



Autostrada dei Fiori

Tronco A10: Savona – Ventimiglia (confine francese)

NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE

CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD
Progr. Km 47+545

PROGETTO DEFINITIVO

GENERALE

SPECIFICHE GENERALI

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO - NORME TECNICHE

PROGETTISTA	RESPONSABILE INTEGRAZIONE ATTIVITÀ SPECIALISTICHE	IMPRESA	COMMITTENTE
Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993	Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993		Autostrada dei Fiori S.p.A. Via della Repubblica, 46 18100 Imperia (IM)

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
							FEBBRAIO 2020	-
							N. Progr.	
A	Febbraio 2020	PRIMA EMISSIONE	SINA	DT/OC	DT	DT		

CODIFICA	PROGETTO	LIV	TRONCO	DOCUMENTO	REV	WBS
	P280	D	A10	SPE NT 001	A	A10IBT0001
						CUP
						I44E14000810005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE

SOMMARIO:

PARTE I - GENERALITÀ - PIANIFICAZIONE - MATERIALI ED ATTREZZATURE	1
1. Premesse generali	1
1.1. Fonti prescrittive	1
1.2. Rispetto delle norme – Marcatura CE.....	1
1.3. Aggiornamento delle norme	4
1.4. Penali	4
1.5. Prescrizioni inerenti la misura e la contabilizzazione	4
1.6. Oneri e criteri generali per i controlli di accettazione	5
2. Pianificazione dei lavori.....	5
3. Caratteristiche dei materiali e dei sistemi da impiegarsi.....	6
3.1. Generalità	6
3.2. Vizi di costruzione	9
3.3. Non Conformità	9
3.4. Macchine, quasi-macchine e insiemi di macchine.....	9
3.5. Caratteristiche dei principali materiali e sistemi	10
3.5.1. Generalità	10
3.5.2. Acqua di impasto per la realizzazione di miscele.....	10
3.5.3. Cementi.....	10
3.5.4. Calci.....	10
3.5.5. Aggregati per opere in terra	10
3.5.6. Aggregati per malte e calcestruzzi	11
3.5.7. Additivi chimici e meccanici per malte e calcestruzzi	11
3.5.7.1. Generalità	11
3.5.7.2. Additivi chimici	11
3.5.7.3. Additivi meccanici (fibre).....	11
3.5.8. Aggregati per sovrastrutture stradali e conglomerati bituminosi	12
3.5.9. Pietre naturali e pietre da taglio	12
3.5.10. Materiali laterizi.....	12
3.5.11. Argilla espansa	12
3.5.12. Blocchi prefabbricati in calcestruzzo vibrocompresso.....	13
3.5.13. Altri elementi prefabbricati in calcestruzzo e simili.....	13
3.5.14. Protezione e riparazione del calcestruzzo	14
3.5.15. Acciaio.....	14
3.5.15.1. Generalità.....	14
3.5.15.2. Acciaio ordinario per barre di armatura del calcestruzzo	18
3.5.15.3. Acciaio ad elevato limite elastico per le armature di precompressione del calcestruzzo ...	22
3.5.15.4. Acciaio ordinario da costruzione (o “per impieghi strutturali” o “da carpenteria”)	23
3.5.16. Acciaio inossidabile	29
3.5.17. Ghisa	29
3.5.18. Zincatura a caldo dei componenti in acciaio o ghisa	30
3.5.19. Alluminio e sue leghe.....	33
3.5.20. Rame e sue leghe	33
3.5.21. Polimetilmetacrilato (PMMA), policarbonato (PC), polipropilene (PP) e altre materie plastiche ..	34
3.5.22. Legno.....	35
3.5.23. Bitumi e leganti bituminosi	36
3.5.24. Vetro	36
3.5.25. Geosintetici	37
3.5.25.1. Generalità	37
3.5.25.2. Classificazione.....	38
3.5.25.3. Geotessili e affini	41
3.5.25.4. Geosintetici in generale e con funzione di barriera	43
3.5.26. Membrane per impermeabilizzazione	44
3.5.27. Tubazioni in ghisa.....	45

3.5.28. Tubazioni in PVC.....	45
3.5.29. Tubazioni in PE.....	47
3.5.30. Tubazioni in gres.....	49
3.5.31. Elementi in fibrocemento.....	49
3.5.32. Elementi in PRFV (vetrosina).....	49
3.5.33. Serramenti.....	51
3.5.34. Materiali per opere a verde.....	52
PARTE II - NORME PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI.....	55
4. Sondaggi e tracciati.....	55
5. Scavi.....	55
5.1. Norme generali.....	55
5.1.1. Definizione e generalità.....	55
5.1.2. Geometria degli scavi.....	56
5.1.3. Puntellature, franamenti, scavo per campioni.....	56
5.1.4. Disboscamento.....	56
5.1.5. Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito.....	57
5.1.5.1. Aspetti ambientali.....	57
5.1.6. Scavi con esplosivi.....	58
5.2. Scavi di sbancamento.....	58
5.3. Scavi di fondazione.....	59
5.4. Scavi subacquei e scavi all'asciutto.....	59
6. Demolizioni e rimozioni.....	60
6.1. Premessa.....	60
6.2. Demolizione di murature, fabbricati e strutture.....	60
6.2.1. Generalità.....	60
6.2.2. Mezzi da impiegare.....	60
6.2.3. Criteri e precauzioni.....	60
6.2.4. Demolizioni su strade ed autostrade in esercizio.....	61
6.2.5. Idrodemolizioni.....	61
6.3. Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso.....	62
6.3.1. Demolizione di pavimentazione mediante frese.....	62
6.3.2. Demolizione dell'intera sovrastruttura realizzata con sistemi tradizionali.....	62
6.4. Rimozioni.....	62
7. Rilevati.....	63
7.1. Generalità.....	63
7.1.1. Definizioni.....	63
7.1.2. Premesse di carattere generale.....	64
7.1.3. Normativa di riferimento.....	65
7.2. Aggregati per la formazione dei rilevati.....	69
7.2.1. Provenienza dei materiali.....	69
7.2.2. Prove sui materiali.....	70
7.2.3. Documentazione soggetta ad approvazione.....	72
7.3. Preparazione del piano di posa dei rilevati.....	72
7.3.1. Scotico, bonifica, gradonature e trincee drenanti.....	72
7.3.2. Strato anticapillare e strati rinforzati.....	75
7.4. Formazione del rilevato.....	76
7.4.1. Generalità e materiali da impiegare.....	76
7.4.1.1. Generalità.....	76
7.4.1.2. Rilevati autostradali.....	77
7.4.1.3. Rilevati in terra "armata" o "rinforzata".....	77
7.4.1.4. Rilevati di precarico e riempimenti.....	79
7.4.2. Costruzione del rilevato.....	82
7.4.2.1. Stesa dei materiali.....	82
7.4.2.2. Compattazione.....	82

7.4.2.3.	Zone di transizione per manufatti	83
7.4.2.4.	Condizioni climatiche avverse	84
7.4.2.5.	Rilevati di prova	84
7.4.2.6.	Caratteristiche di portanza dei piani di posa del rilevato e della sovrastruttura	85
7.5.	Prove di controllo.....	86
7.5.1.1.	Prove di controllo sui piani di posa.....	86
7.5.1.2.	Altre prove di controllo	87
7.6.	Trattamenti delle terre con calce	88
7.6.1.	Generalità	88
7.6.2.	Materiali.....	88
7.6.2.1.	Terreni o aggregati naturali.....	88
7.6.2.2.	Calce	89
7.6.2.3.	Acqua.....	89
7.6.3.	Studi e Prove preliminari	89
7.6.3.1.	Generalità.....	89
7.6.3.2.	Indagini sui terreni naturali	90
7.6.3.3.	Indagini sulle miscele calce-terreno	91
7.6.3.4.	Campi prova	91
7.6.4.	Modalità esecutive.....	92
7.6.4.1.	Prescrizioni generali	92
7.6.4.2.	Attrezzature.....	93
7.6.4.3.	Preparazione del terreno naturale	93
7.6.4.4.	Stesa del terreno naturale.....	93
7.6.4.5.	Stesa della calce.....	94
7.6.4.6.	Miscelazione.....	94
7.6.4.7.	Compattazione	94
7.6.4.8.	Prove di controllo	95
7.7.	Documentazione dei lavori	95
8.	Palancolate	96
8.1.	Generalità	96
8.2.	Normative di riferimento.....	98
8.3.	Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali in generale	99
8.4.	Prove tecnologiche preliminari.....	100
8.5.	Preparazione del piano di lavoro	100
8.6.	Materiali.....	100
8.7.	Installazione	100
8.7.1.	Attrezzature	100
8.7.2.	Tracciamento	101
8.7.3.	Movimentazione e saldature	101
8.7.4.	Infissione.....	102
8.7.5.	Controlli e documentazione lavori.....	102
9.	Diaframmi in cemento armato	102
9.1.	Definizione e campi di impiego.....	102
9.2.	Norme di Riferimento	103
9.3.	Soggezioni geotecniche, geoidrologiche ed ambientali	103
9.4.	Tolleranze geometriche	104
9.5.	Preparazione del piano di lavoro	105
9.6.	Perforazione.....	105
9.6.1.	Attrezzatura	105
9.6.2.	Perforazione a secco	106
9.6.3.	Perforazione in presenza di fluido di stabilizzazione	106
9.6.4.	Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose	107
9.6.5.	Controlli	107
9.7.	Armature metalliche.....	107
9.8.	Getto	108
9.8.1.	Preparazione e trasporto del calcestruzzo.....	108

9.8.2.	Posa in opera del calcestruzzo	109
9.8.3.	Controlli.....	109
9.9.	Formazione dei giunti.....	110
9.10.	Lavori complementari	110
9.11.	Documentazione dei lavori	110
9.12.	Prove preliminari.....	111
9.12.1.	Prove tecnologiche.....	111
9.12.2.	Prove di progetto	111
9.13.	Prove di controllo sugli elementi di diaframma.....	112
9.13.1.	Prove di carico per i soli elementi di diaframma con funzione portante verticale	112
9.13.2.	Controlli non distruttivi	112
10.	Pali di fondazione	113
10.1.	Generalità.....	113
10.1.1.	Tipologie di pali	113
10.1.2.	Norme di riferimento	114
10.1.3.	Soggezioni geotecniche e geoidrologiche ed ambientali generali	114
10.1.4.	Prove preliminari.....	115
10.1.4.1.	Prove tecnologiche	115
10.1.4.2.	Prove di progetto.....	115
10.1.5.	Preparazione del piano di lavoro	116
10.2.	Pali infissi prefabbricati.....	116
10.2.1.	Definizione	116
10.2.2.	Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche	116
10.2.3.	Caratteristiche dei materiali.....	116
10.2.4.	Tolleranze geometriche	118
10.2.5.	Tracciamento	118
10.2.6.	Infissione	118
10.2.6.1.	Generalità	118
10.2.6.2.	Infissione per battitura	119
10.2.6.3.	Infissione per vibrazione.....	119
10.2.6.4.	Aspetti generali d'installazione.....	120
10.2.7.	Controlli e documentazione lavori	120
10.3.	Pali battuti o roto-infissi, gettati in opera	121
10.3.1.	Definizione	121
10.3.2.	Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche.....	121
10.3.3.	Tolleranze geometriche	121
10.3.4.	Tracciamento	121
10.3.5.	Installazione del tubo forma	122
10.3.5.1.	Infissione con Battipalo	122
10.3.5.2.	Roto-infissione del tubo forma.....	123
10.3.6.	Formazione del fusto del palo.....	123
10.3.6.1.	Generalità	123
10.3.6.2.	Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio costipato.....	123
10.3.6.3.	Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio colato	124
10.3.6.4.	Posa in opera delle armature	124
10.3.7.	Controlli e documentazione dei lavori	125
10.4.	Pali trivellati di medio e grande diametro	125
10.4.1.	Definizione	125
10.4.2.	Soggezioni geotecniche e idrogeologiche specifiche	126
10.4.3.	Tolleranze geometriche	126
10.4.4.	Tracciamento	126
10.4.5.	Perforazione.....	127
10.4.5.1.	Attrezzature	127
10.4.5.2.	Perforazione a secco senza rivestimento	127
10.4.5.3.	Perforazione con impiego di tubazione di rivestimento provvisoria.....	127
10.4.5.4.	Perforazione in presenza di fango bentonitico.....	128
10.4.5.5.	Perforazione con elica continua	129
10.4.5.6.	Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose	129

10.4.5.7. Controlli	129
10.4.6. Armature metalliche	130
10.4.7. Formazione del fusto del palo	131
10.4.7.1. Preparazione e trasporto del conglomerato cementizio.....	131
10.4.7.2. Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati.....	131
10.4.7.3. Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati con elica continua.....	132
10.4.7.4. Condizioni particolari.....	132
10.4.7.5. Controlli	133
10.4.8. Documentazione dei lavori	133
10.5. Micropali	134
10.5.1. Definizione, classificazione e campi di applicazione	134
10.5.2. Soggezioni geotecniche e geoidrologiche.....	134
10.5.3. Tolleranze geometriche	134
10.5.4. Tracciamento	134
10.5.5. Perforazione.....	135
10.5.5.1. Attrezzature.....	135
10.5.5.2. Metodologie di perforazione.....	135
10.5.6. Confezione e posa delle armature.....	136
10.5.6.1. Copriferro delle armature	136
10.5.6.2. Armatura con profilati di acciaio	136
10.5.6.3. Armature tubolari in acciaio.....	136
10.5.6.4. Armature in materiale speciale	137
10.5.7. Formazione del fusto del micropalo	137
10.5.7.1. Riempimento a gravità	137
10.5.7.2. Riempimento a bassa pressione.....	137
10.5.7.3. Iniezione ripetuta ad alta pressione	138
10.5.8. Caratteristiche delle miscele cementizie e delle malte cementizie.....	138
10.5.8.1. Miscela cementizia	138
10.5.8.2. Malta cementizia	139
10.5.8.3. Calcestruzzo.....	139
10.5.9. Controlli	139
10.5.10. Documentazione dei lavori	140
10.5.11. Particolari controlli delle malte e miscele cementizie impiegate	140
10.5.11.1. Misure di densità	140
10.5.11.2. Misure della decantazione	140
10.6. Prove di carico.....	141
10.6.1. Generalità	141
10.6.2. Prove su pali di grande diametro.....	141
10.6.2.1. Prove di carico assiale	141
10.6.2.2. Prove di carico su pali strumentati.....	144
10.6.2.3. Prove di carico laterale	145
10.6.3. Prove di carico su micropali	146
10.6.3.1. Prove di carico assiale	146
10.7. Controlli non distruttivi.....	148
10.7.1. Generalità	148
10.7.2. Prove geofisiche.....	148
10.7.3. Carotaggio continuo meccanico	148
10.7.4. Scavi attorno al fusto del palo	149
11. Trattamenti colonnari	149
11.1. Generalità	149
11.2. Normative di riferimento.....	150
11.3. Soggezioni geotecniche, idrologiche ed ambientali	151
11.3.1. Generalità	151
11.3.2. Piano di monitoraggio.....	151
11.3.3. Gestione dei materiali reflui	151
11.4. Campo prove preliminare	151
11.4.1. Generalità	151
11.4.2. Obiettivi del campo prove	152

11.4.3.	Definizione del campo prove	152
11.4.4.	Controlli finali ed accettazione.....	152
11.5.	Perforazione	153
11.5.1.	Attrezzature di perforazione ed iniezione.....	153
11.5.2.	Impianto di preparazione miscele cementizie e di pompaggio	154
11.5.3.	Sistema di acquisizione dei parametri di perforazione ed iniezione.....	154
11.6.	Tolleranze geometriche	155
11.7.	Tracciamento e programma lavori.....	155
11.8.	Esecuzione dei trattamenti	156
11.8.1.	Trattamenti colonnari monofluido.....	156
11.8.2.	Trattamenti colonnari bi e tri-fluido	156
11.9.	Armatura dei trattamenti colonnari	157
11.9.1.	Tipologie di armatura.....	157
11.9.2.	Tubi in acciaio.....	157
11.9.3.	Profilati in acciaio	157
11.9.4.	Barre in acciaio speciale.....	157
11.9.5.	Armature in vetroresina.....	158
11.9.6.	Altri materiali	158
11.10.	Miscele cementizie.....	158
11.10.1.	Materiali di base.....	158
11.10.2.	Dosaggi e caratteristiche.....	159
11.11.	Controlli.....	159
11.12.	Documentazione dei lavori	160
12.	Dreni	161
12.1.	Dreni perforati nel terreno	161
12.1.1.	Generalità.....	161
12.1.2.	Perforazione.....	161
12.1.3.	Fornitura e posa del tubo filtrante.....	161
12.1.4.	Dispositivo di separazione tra il tratto filtrante ed il tratto cieco	162
12.1.5.	Lavaggio e manutenzione dei dreni	162
12.1.6.	Dreni in rocce lapidee	163
12.1.7.	Dreni in terreni argillosi stringenti	163
12.2.	Dreni prefabbricati a nastro.....	163
12.2.1.	Definizioni e campo di impiego.....	163
12.2.2.	Requisiti del nastro prefabbricato.....	163
12.2.3.	Preparazione del piano di lavoro e posa del materasso drenante di collegamento.....	165
12.2.4.	Installazione dei dreni	166
13.	Tiranti di ancoraggio nei terreni	166
13.1.	Definizioni e scopo	166
13.2.	Normative di riferimento	167
13.3.	Prove di carico preliminari	167
13.4.	Linee guida per le prove di carico preliminari.....	168
13.4.1.	Generalità.....	168
13.4.2.	Lunghezza libera apparente.....	168
13.4.3.	<i>Creep</i> critico	169
13.5.	Soggezioni geotecniche, idrogeologiche e ambientali.....	169
13.6.	Materiali ed elementi costruttivi	170
13.6.1.	Acciai e dispositivi di bloccaggio	170
13.6.2.	Miscela di iniezione: composizione e controlli	171
13.6.3.	Protezione dell'armatura	172
13.6.4.	Distanziatori, tamponi e condotti di iniezione	173
13.7.	Elementi di protezione dell'armatura	173
13.8.	Tolleranze geometriche	174
13.9.	Perforazione.....	174
13.10.	Assemblaggio e posa delle armature	175
13.11.	Connessione al terreno	176

13.11.1. Generalità	176
13.11.2. Iniezione semplice o di prima fase.....	176
13.11.3. Iniezione ripetuta in pressione	177
13.11.4. Iniezione in terreni o rocce ad elevata permeabilità	178
13.12. Tesatura e collaudo.....	178
13.13. Operazioni finali e protezione della testata.....	179
13.14. Documentazione dei lavori	180
13.15. Modalità di esecuzione delle prove sulla miscela fresca	181
13.15.1. Misura del peso specifico.....	181
13.15.2. Misura della fluidità	181
13.15.3. Misura della decantazione.....	181
14. Bulloni di ancoraggio e chiodi	181
14.1. Generalità	181
14.2. Materiali.....	182
14.3. Modalità operative	183
14.3.1. Bulloni di ancoraggio.....	183
14.3.2. Chiodi	183
14.3.3. Bulloni e chiodi speciali.....	184
14.3.3.1. Bulloni attivi ad ancoraggio meccanico	184
14.3.3.2. Bulloni frizionali a espansione idraulica (SWELLEX, BELLEX o similari)	185
14.3.3.3. Bulloni autoperforanti (MAI, BELBOR, DYWI Drill o similari).....	186
14.3.3.4. Bulloni costituiti da lamiere, barre o profilati infissi a pressione	187
14.3.3.5. Elementi in vetroresina	187
15. Monitoraggio	188
15.1. Generalità sul monitoraggio	188
15.2. Prescrizioni tecniche generali a cura dell'appaltatore.....	188
15.3. Monitoraggio di aree e opere all'aperto	189
15.3.1. Generalità	189
15.3.2. Monitoraggio topografico.....	190
15.3.2.1. Monitoraggio topografico dei movimenti del terreno e delle strutture	190
15.3.2.2. Topografia convenzionale	191
15.3.2.3. GPS (<i>Global Positioning System</i>).....	191
15.3.2.4. Teodolite a puntamento automatico	193
15.3.2.5. Interferometria terrestre SAR	193
15.3.2.6. Interferometria satellitare SAR.....	195
15.3.3. Il monitoraggio strutturale.....	196
15.3.4. Piezometro tipo Casagrande.....	199
15.3.4.1. Generalità.....	199
15.3.4.2. Specifiche tecniche.....	199
15.3.4.3. Preparazione del foro	199
15.3.4.4. Modalità d'installazione	200
15.3.4.5. Documentazione d'installazione	201
15.3.5. Piezometro elettrico	201
15.3.5.1. Generalità.....	201
15.3.5.2. Specifiche tecniche.....	201
15.3.5.3. Preparazione del foro	202
15.3.5.4. Modalità d'installazione	202
15.3.5.5. Documentazione d'installazione	202
15.3.6. Tubo inclinometrico	203
15.3.6.1. Generalità.....	203
15.3.6.2. Normative e specifiche di riferimento.....	203
15.3.6.3. Caratteristiche della strumentazione	203
15.3.6.4. Controlli preliminari	204
15.3.6.5. Preparazione del foro	204
15.3.6.6. Installazione.....	204
15.3.6.7. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica	205
15.3.6.8. Documentazione richiesta relativa all'installazione	206

15.3.7.	Estensimetro multibase ad aste.....	206
15.3.7.1.	Generalità	206
15.3.7.2.	Normative e specifiche di riferimento	206
15.3.7.3.	Specifiche tecniche	206
15.3.7.4.	Preparazione del foro	207
15.3.7.5.	Installazione	207
15.3.7.6.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	208
15.3.8.	Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx e inclinometrica	209
15.3.8.1.	Generalità	209
15.3.8.2.	Caratteristiche dell'attrezzatura e specifiche tecniche	209
15.3.8.3.	Preparazione del foro	209
15.3.8.4.	Controlli preliminari.....	210
15.3.8.5.	Installazione	210
15.3.8.6.	Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica	211
15.3.8.7.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	211
15.3.9.	Clinometro di superficie	212
15.3.9.1.	Generalità	212
15.3.9.2.	Specifiche tecniche	212
15.3.9.3.	Installazione	212
15.3.9.4.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	212
15.3.10.	Celle di carico toroidali.....	213
15.3.10.1.	Generalità	213
15.3.10.2.	Specifiche tecniche	213
15.3.10.3.	Installazione	213
15.3.10.4.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	213
15.3.11.	Barrette estensimetriche per calcestruzzo	214
15.3.11.1.	Generalità	214
15.3.11.2.	Specifiche tecniche	214
15.3.11.3.	Installazione	214
15.3.11.4.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	215
15.3.12.	Barrette estensimetriche per acciaio	215
15.3.12.1.	Generalità	215
15.3.12.2.	Specifiche tecniche	215
15.3.12.3.	Installazione	216
15.3.12.4.	Documentazione richiesta relativa all'installazione	216
15.4.	Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali	216
15.4.1.	Generalità.....	216
15.4.2.	Caratteristiche delle apparecchiature.....	217
15.4.2.1.	Apparecchiatura a 2 canali	217
15.4.2.2.	Apparecchiature pluricanali.....	217
15.4.3.	Installazione	218
15.4.4.	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	218
15.5.	Cavi elettrici di collegamento.....	219
15.5.1.	Generalità.....	219
15.5.2.	Caratteristiche tecniche	219
15.5.2.1.	Cavi a 6 conduttori.....	219
15.5.2.2.	Cavi multipolari.....	219
16.	Dispositivi per lo smaltimento dell'acqua dagli impalcati.....	220
16.1.	Generalità.....	220
16.2.	Componenti.....	220
16.2.1.	Dispositivi di captazione delle acque	220
16.2.1.1.	Caditoie.....	220
16.2.1.2.	Bocche di lupo	221
16.2.1.3.	Sistemi ibridi bocca di lupo - caditoia	222
16.2.2.	Griglie.....	222
16.2.3.	Bocchettoni	222
16.2.4.	Collettori	222
16.3.	Accettazione e controlli	223

17. Sistemi di drenaggio del corpo stradale	223
17.1. Campo di applicazione	223
17.2. Tubazioni.....	223
17.2.1. Materiali.....	223
17.2.1.1. Generalità.....	223
17.2.1.2. Tubi in PVC-U.....	224
17.2.1.3. Tubi strutturati in PVC-U, PP e PE.....	224
17.2.1.4. Tubi in calcestruzzo con armature tradizionali o fibrorinforzato	224
17.2.2. Posa in opera	225
17.2.2.1. Scarico ed accatastamento.....	225
17.2.2.2. Scavo.....	225
17.2.2.3. Letto di posa	225
17.2.2.4. Installazione.....	225
17.2.2.5. Rinfiando e rinterro	226
17.2.3. Controlli ed accettazione	226
17.2.4. Controlli in cantiere	226
17.2.4.1. Livellette	226
17.2.4.2. Costipamento del rinfiando	227
17.2.4.3. Collaudo in opera	227
17.2.5. Norme di misurazione.....	227
17.3. Pozzetti	227
17.3.1. Materiali.....	227
17.3.1.1. Generalità.....	227
17.3.1.2. Pozzetti prefabbricati in c.a.v.	228
17.3.1.3. Pozzetti in PE strutturato.....	228
17.3.2. Posa in opera	228
17.3.3. Controlli ed accettazione	228
17.3.4. Controlli in cantiere	229
17.3.5. Norme di misurazione.....	229
17.4. Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti.....	229
17.4.1. Definizioni	229
17.4.2. Materiali.....	229
17.4.3. Posa in opera	229
17.4.4. Controlli ed accettazione	230
17.4.5. Controlli in cantiere	230
17.4.6. Norme di misurazione.....	230
17.5. Canali di drenaggio	231
17.5.1. Definizioni	231
17.5.2. Materiali.....	231
17.5.3. Posa in opera	231
17.5.4. Controlli ed accettazione	231
17.5.5. Controlli in cantiere	232
17.5.6. Norme di misurazione.....	232
17.6. Canalette, mantellate, cordonate e simili.....	232
17.6.1. Materiali.....	232
17.6.2. Posa in opera	232
17.6.3. Controlli ed accettazione	233
17.6.4. Controlli in cantiere	233
17.6.5. Norme di misurazione.....	233
18. Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata	233
18.1. Campo di applicazione	233
18.2. Materiali.....	233
18.2.1. Lamiera ondulata	233
18.2.2. Bulloni	233
18.2.3. Giunti	234
18.2.4. Rivestimenti protettivi	234
18.2.4.1. Zincatura.....	234

18.2.4.2. Rivestimento bituminoso.....	234
18.3. Posa in opera.....	234
18.3.1. Fornitura, trasporto e scarico	234
18.3.2. Preparazione del piano di posa.....	234
18.3.3. Montaggio.....	235
18.3.3.1. Generalità.....	235
18.3.3.2. Strutture a piastre multiple	235
18.3.3.3. Strutture ad elementi incastrati	236
18.3.4. Rinfiando e rinterro	236
18.4. Controlli ed accettazione	236
18.4.1. Generalità.....	236
18.4.2. Documentazione	237
18.4.3. Prove sui materiali	237
18.5. Controlli in cantiere.....	237
18.5.1. Pesi.....	237
18.5.2. Serraggio dei bulloni	237
18.5.3. Geometria e deformazioni	238
18.6. Norme di misurazione.....	238
19. Gabbioni e materassi metallici	239
19.1. Campo di applicazione	239
19.2. Materiali.....	239
19.2.1. Filo metallico	239
19.2.2. Rivestimento protettivo	239
19.2.3. Rete	240
19.2.4. Indicazioni sulla vita utile dei prodotti e delle opere.....	241
19.2.5. Riempimento.....	241
19.2.6. Graffe metalliche.....	242
19.3. Posa in opera.....	242
19.4. Controlli ed accettazione	243
19.4.1. Generalità.....	243
19.4.2. Documentazione	243
19.4.3. Prove sul filo metallico	243
19.4.4. Prove sul rivestimento in lega eutettica	243
19.4.5. Prove sul rivestimento in PVC.....	244
19.4.6. Prove sulla rete metallica	244
19.4.7. Prove sul materiale di riempimento	244
19.5. Norme di misurazione.....	244
20. Difese spondali	245
20.1. Campo di applicazione	245
20.2. Materiali.....	245
20.2.1. Elementi in conglomerato cementizio	245
20.2.2. Scogliera di pietrame	245
20.3. Posa in opera.....	245
20.3.1. Generalità.....	245
20.3.2. Elementi in conglomerato cementizio	246
20.3.3. Scogliera di pietrame	246
20.4. Controlli ed accettazione	246
20.4.1. Elementi in conglomerato cementizio	246
20.4.2. Materiale da scogliera.....	246
20.5. Norme di misurazione.....	247
21. Drenaggi	247
21.1. Drenaggi tradizionali	247
21.2. Drenaggi a tergo di murature.....	247
21.3. Drenaggi con filtro in geotessile non tessuto	248
21.4. Drenaggi longitudinali con riempimento in conglomerato cementizio poroso.....	248

21.5.	Drenaggi delle cunette in trincea.....	249
21.6.	Schermi drenanti discontinui modulari	249
21.6.1.	Definizione	249
21.6.2.	Modalità esecutive dei pozzi.....	249
21.6.2.1.	Generalità.....	249
21.6.2.2.	Pozzo drenante non ispezionabile.....	250
21.6.2.3.	Pozzo drenante ispezionabile.....	250
21.6.2.4.	Pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale	251
21.6.3.	Modalità esecutive della condotta di fondo	252
21.6.4.	Caratteristiche del materiale drenante.....	252
22.	Conglomerati cementizi – Malte e boiacche cementizie	252
22.1.	Generalità	252
22.2.	Materiali.....	256
22.2.1.	Aggregati.....	256
22.2.2.	Additivi	257
22.2.2.1.	Generalità.....	257
22.2.2.2.	Additivi fluidificanti e superfluidificanti	258
22.2.2.3.	Additivi aeranti	258
22.2.2.4.	Additivi ritardanti e acceleranti.....	259
22.2.3.	Aggiunte.....	259
22.2.3.1.	Generalità.....	259
22.2.3.2.	Ceneri volanti	259
22.2.3.3.	Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice).....	261
22.2.3.4.	<i>Filler</i>	261
22.3.	Durabilità dei conglomerati cementizi.....	264
22.4.	Tipi e classi dei conglomerati cementizi	264
22.5.	Qualifica preliminare dei conglomerati cementizi.....	266
22.5.1.	<i>Dossier</i> di prequalifica.....	266
22.5.2.	Qualifica all'impianto	266
22.5.3.	Autorizzazione ai getti	267
22.6.	Controlli in corso d'opera	268
22.6.1.	Generalità	268
22.6.2.	Resistenza dei conglomerati cementizi.....	268
22.6.2.1.	Generalità.....	268
22.6.2.2.	Controlli di accettazione con metodo Tipo A	269
22.6.2.3.	Controlli di accettazione con metodo Tipo B	269
22.6.3.	Non conformità dei controlli di accettazione	269
22.7.	Tecnologia esecutiva delle opere	270
22.7.1.	Confezione dei conglomerati cementizi	270
22.7.2.	Condizioni per la posa in opera.....	271
22.7.3.	Getti in clima freddo	271
22.7.3.1.	Generalità.....	271
22.7.3.2.	Mantenimento della temperatura del calcestruzzo per evitare il congelamento.....	272
22.7.3.3.	Coibentazione.....	272
22.7.3.4.	Protezione	273
22.7.3.5.	Requisito di resistenza.....	273
22.7.3.6.	Misure di temperatura	274
22.7.4.	Getti in clima caldo	274
22.7.4.1.	Generalità.....	274
22.7.4.2.	Controllo della temperatura del calcestruzzo fresco	275
22.7.4.3.	Controllo della tendenza all'evaporazione superficiale	276
22.7.5.	Getti massicci	277
22.7.6.	Getti di lunghezza elevata.....	280
22.7.7.	Trasporto e consegna	280
22.7.8.	Prove sui materiali e sul conglomerato cementizio fresco	281
22.7.9.	Casseforme e posa in opera.....	282
22.7.10.	Compattazione.....	283
22.7.11.	Riprese di getto.....	284

22.7.12. Prevenzione delle fessure da ritiro plastico	284
22.7.13. Disarmo e scasseratura	285
22.7.14. Protezione dopo la scasseratura	285
22.7.15. Maturazione accelerata a vapore	285
22.7.16. Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari.....	286
22.7.17. Predisposizione delle armature ordinarie del c.a.	286
22.7.18. Armatura di precompressione	287
22.8. Magroni e malte.....	288
22.8.1. Magroni.....	288
22.8.2. Malta di livellamento	288
22.8.3. Malte speciali per inghisaggi.....	288
22.9. Calcestruzzo reodinamico (o autocompattante)	288
22.9.1. Generalità.....	288
22.9.2. Caratteristiche.....	289
22.10. Calcestruzzi leggeri.....	290
22.10.1. Generalità.....	290
22.10.2. Calcestruzzo leggero strutturale	291
22.10.3. Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare.....	291
22.11. Calcestruzzo proiettato	291
22.11.1. Generalità.....	291
22.11.2. Tipi di calcestruzzo proiettato	292
22.11.3. Composizione del calcestruzzo proiettato	293
22.11.4. Qualifica e controlli	293
22.12. Calcestruzzo fibrorinforzato.....	294
22.13. Calcestruzzo ad alta resistenza	296
22.14. Elementi prefabbricati	296
22.14.1. Generalità.....	296
22.14.2. Prefabbricati prodotti in stabilimento	296
22.14.3. Produzione di prefabbricati a piè d'opera.....	296
22.15. Protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti.....	297
22.16. Allegato 1 - Classi di esposizione secondo UNI 11104	298
22.17. Allegato 2 – Guida alla scelta delle classi di esposizione per manufatti autostradali.....	299
23. Iniezione nei cavi di precompressione	300
23.1. Boiacche cementizie per le iniezioni nei cavi di strutture in c.a.p. nuove	300
23.1.1. Generalità.....	300
23.1.1. Caratteristiche della boiacca	301
23.1.2. Operazioni di iniezione.....	302
23.1.3. Condotti (guaine)	303
23.1.4. Ulteriori prescrizioni per le iniezioni	303
23.2. Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di strutture in c.a.p. esistenti.....	304
23.2.1. Generalità.....	304
23.2.2. Caratteristiche dei materiali.....	304
23.2.2.1. Iniezione con sistemi epossidici.....	304
23.2.2.2. Iniezione con boiacche cementizie	304
23.2.3. Modalità d'iniezione	305
23.2.3.1. Iniezioni tradizionali.....	305
23.2.3.2. Iniezioni sottovuoto	306
23.2.4. Prove	306
24. Ripristino e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio.....	306
24.1. Materiali per il ripristino di superfici degradate	306
24.1.1. Generalità.....	306
24.1.2. Indagini.....	311
24.1.3. Definizione dei materiali per il ripristino.....	311
24.1.4. Tecniche d'intervento e scelta dei materiali	313
24.1.4.1. Generalità	313
24.1.4.2. Degrado lieve – Ripristini di spessore da 1 a 8 mm	314
24.1.4.3. Degrado medio – Ripristini di spessore da 10 a 50 mm	314

24.1.4.4.	Degrado profondo – Ripristini di spessore da 50 a 100 mm	315
24.1.4.5.	Degrado molto profondo – Ripristini di spessore oltre 100 mm	316
24.1.4.6.	Interventi con resine	316
24.2.	Requisiti e metodi di prova dei materiali.....	316
24.2.1.	Generalità	316
24.2.2.	Scelta dei metodi di prova	317
24.3.	Accettazione e specifiche prestazionali dei materiali.....	317
24.4.	Trattamenti prima del ripristino o dell’adeguamento e fasi esecutive	325
24.4.1.	Generalità	325
24.4.2.	Asportazione del calcestruzzo degradato	325
24.4.3.	Pulizia delle armature	325
24.4.4.	Posizionamento di armature aggiuntive	326
24.4.5.	Posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto	326
24.4.6.	Pulizia e saturazione della superficie di supporto.....	327
24.4.7.	Applicazione dei materiali di ripristino	327
24.4.8.	Fratazzatura o staggiatura	328
24.4.9.	Stagionatura.....	328
24.5.	Prove e controlli.....	329
25.	Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio	329
25.1.	Sistemi protettivi filmogeni	329
25.1.1.	Generalità	329
25.1.2.	Definizione e scelta dei sistemi protettivi.....	330
25.1.2.1.	Generalità.....	330
25.1.2.2.	Protezione di ponti, viadotti e cavalcavia.....	330
25.1.2.3.	Protezione di strutture idrauliche	331
25.2.	Requisiti e metodi di prova	332
25.3.	Accettazione e specifiche prestazionali dei sistemi protettivi.....	332
25.4.	Preparazione del supporto e modalità d’applicazione del sistema protettivo.....	333
25.5.	Prove, controllo delle prestazioni e degli spessori, penali	334
26.	Acciaio per carpenteria	335
26.1.	Norme di riferimento.....	335
26.2.	Generalità e classificazione dei tipi di acciaio (secondo UNI EN 10025)	336
26.3.	Approvvigionamento materiali da costruzione.	338
26.3.1.	Generalità	338
26.3.2.	Disegni di fabbricazione	338
26.4.	Lavorazioni di officina	339
26.4.1.	Presentazione documentazione tecnica	339
26.4.2.	Collaudo tecnologico di stabilimento.	340
26.4.3.	Prefabbricazione	340
26.5.	Montaggio.....	341
26.6.	Verniciatura	343
26.6.1.	Generalità	343
26.6.2.	Norme di riferimento.....	343
26.6.3.	Ciclo A	344
26.6.4.	Ciclo B	345
26.6.5.	Ciclo C.....	346
26.6.6.	Preparazione del supporto	347
26.6.7.	Caratteristiche chimico-fisiche di resistenza del ciclo di verniciatura	347
26.6.8.	Prove di accettazione dei prodotti.....	349
26.6.9.	Requisiti particolari	350
26.6.10.	Ciclo di verniciatura con pittura ignifuga intumescente	351
27.	Apparecchi d’appoggio e dispositivi antisismici.....	352
27.1.	Generalità	352
27.2.	Riferimenti normativi principali.....	353
27.3.	Apparecchi d’appoggio	353

27.3.1. Generalità.....	353
27.3.2. Elementi di scorrimento.....	354
27.3.2.1. Generalità	354
27.3.2.2. Requisiti funzionali	354
27.3.2.3. Proprietà dei materiali.....	354
27.3.2.4. Requisiti di Progetto	355
27.3.2.5. Fabbricazione, assemblaggio e tolleranze	357
27.3.2.6. Valutazione di conformità	357
27.3.2.7. Installazione.....	358
27.3.2.8. Criteri per ispezioni in servizio.....	358
27.3.3. Appoggi elastomerici.....	358
27.3.3.1. Generalità	358
27.3.3.2. Caratteristiche e requisiti funzionali.....	358
27.3.3.3. Proprietà dei materiali.....	359
27.3.3.4. Regole di Progetto	360
27.3.3.5. Tolleranze di fabbricazione.....	360
27.3.3.6. Valutazione di conformità	360
27.3.3.7. Installazione	360
27.3.3.8. Criteri per ispezioni di servizio.....	360
27.3.4. Appoggi a rulli	361
27.3.4.1. Generalità	361
27.3.4.2. Caratteristiche e requisiti funzionali.....	361
27.3.4.3. Materiali	361
27.3.4.4. Regole di Progetto	361
27.3.4.5. Tolleranze	361
27.3.4.6. Valutazione di conformità	361
27.3.4.7. Installazione	362
27.3.4.8. Criteri per ispezioni in servizio.....	362
27.3.5. Appoggi a disco elastomerico confinato	362
27.3.5.1. Generalità	362
27.3.5.2. Caratteristiche e requisiti funzionali.....	362
27.3.5.3. Materiali	362
27.3.5.4. Regole di Progetto	363
27.3.5.5. Tolleranze	363
27.3.5.6. Valutazione di conformità	363
27.3.5.7. Installazione.....	363
27.3.5.8. Criteri per ispezioni in servizio.....	363
27.3.6. Appoggi a contatto lineare o puntuale	363
27.3.6.1. Generalità	363
27.3.6.2. Caratteristiche e requisiti funzionali.....	363
27.3.6.3. Materiali	364
27.3.6.4. Regole di Progetto	364
27.3.6.5. Tolleranze	364
27.3.6.6. Valutazione di conformità	364
27.3.6.7. Installazione.....	365
27.3.6.8. Criteri per ispezioni in servizio.....	365
27.3.7. Appoggi sferici e cilindrici con PTFE	365
27.3.7.1. Generalità	365
27.3.7.2. Caratteristiche e requisiti funzionali.....	365
27.3.7.3. Materiali	365
27.3.7.4. Regole di Progetto	365
27.3.7.5. Manifattura, assemblaggio e tolleranze	365
27.3.7.6. Valutazione di conformità	365
27.4. Dispositivi antisismici	366
27.4.1. Generalità.....	366
27.4.2. Strategie di protezione antisismica	366
27.4.3. Dissipatori meccanici (dispositivi a comportamento non lineare).....	367
27.4.4. Dissipatori fluidodinamici (dispositivi a comportamento viscoso)	367
27.4.5. Dispositivi a vincolo rigido temporaneo.....	368

27.4.6.	Dispositivi ad isolamento	368
27.4.6.1.	Dispositivi isolatori elastomerici.....	368
27.4.6.2.	Dispositivi isolatori ad attrito	369
27.4.7.	Dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare	370
27.4.8.	Indicazioni progettuali	370
27.4.9.	Materiali.....	371
27.4.10.	Prove e criteri di accettazione	371
27.4.10.1.	Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio.....	371
27.4.10.2.	Dispositivi a comportamento non lineare e lineare	372
27.4.10.3.	Dispositivi a comportamento viscoso.....	373
27.5.	Protezione.....	374
27.5.1.	Generalità	374
27.5.2.	Requisiti	374
27.5.2.1.	Protezione contro gli effetti ambientali	374
27.5.2.2.	Corrosione elettrolitica.....	375
27.6.	Manutenzione.....	376
27.7.	Operazioni in cantiere.....	376
27.7.1.	Trasporto e immagazzinamento	376
27.7.2.	Operazioni preliminari all'installazione	376
27.7.3.	Installazione.....	377
27.7.3.1.	Generalità	377
27.7.3.2.	Montaggio della sovrastruttura.....	378
27.7.3.3.	Geometria.....	378
27.7.3.4.	Allettamento dei dispositivi.....	378
27.7.3.5.	Bloccaggio temporaneo dei dispositivi.....	379
27.7.3.6.	Rilascio della struttura sugli appoggi.....	380
27.7.3.7.	Registrazioni	380
27.8.	Certificazione di qualità	380
27.9.	Penali	381
27.10.	Sollevamento impalcati per sostituzione appoggi.....	381
28.	Giunti di dilatazione su opere d'arte	381
28.1.	Generalità e tipologie	381
28.2.	Riferimenti normativi.....	383
28.3.	Materiali.....	383
28.3.1.	Acciaio da costruzione	383
28.3.2.	Acciaio inossidabile	384
28.3.3.	Leghe di alluminio	384
28.3.4.	Gomma	384
28.3.5.	Malte, betoncini e resine	385
28.4.	Requisiti funzionali.....	386
28.4.1.	Generalità	386
28.4.2.	Impermeabilità.....	386
28.5.	Posa in opera	386
28.6.	Prove e controlli.....	387
28.6.1.	Generalità e controllo di qualità	387
28.6.2.	Prova funzionale del giunto	387
28.6.3.	Prove di carico.....	388
28.6.4.	Prova a fatica	388
28.6.5.	Prova di adesione al cls.....	388
28.6.6.	Prova di sfilamento tirafondi	388
28.6.7.	Prove di protezione anticorrosiva.....	389
28.6.8.	Controllo delle materie prime e componenti	389
28.6.9.	Controlli in corso di montaggio.....	390
28.6.10.	Controlli sui giunti montati	390
28.6.11.	Controllo dell'inquinamento acustico provocato dai giunti	391
28.6.12.	Manutenzione dei dispositivi.....	392
28.7.	Penali	392

28.8.	Specifiche tecniche particolari per giunti di dilatazione a tampone.....	392
28.8.1.	Generalità.....	392
28.8.2.	Materiali.....	393
28.8.3.	Giunto a tampone viscoelastico.....	394
28.8.3.1.	Generalità.....	394
28.8.3.2.	Modalità di esecuzione del giunto.....	394
28.8.4.	Giunti a tampone “anidro” (brev. Autostrade per l’Italia n. RM 9400038).....	395
28.8.4.1.	Generalità.....	395
28.8.4.2.	Modalità di esecuzione del giunto.....	395
28.8.5.	Prove.....	396
29.	Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi.....	397
29.1.	Generalità.....	397
29.1.1.	Riferimenti normativi.....	397
29.1.2.	Materiali.....	398
29.1.3.	Rinforzo con tessuto in CFRP.....	399
29.1.3.1.	Generalità.....	399
29.1.3.2.	Modalità di esecuzione.....	399
29.1.3.3.	Caratteristiche prestazionali.....	401
29.1.4.	Rinforzo con barre in CFRP.....	401
29.1.4.1.	Descrizione.....	401
29.1.4.2.	Modalità di esecuzione.....	402
29.1.4.3.	Caratteristiche prestazionali.....	402
29.1.5.	Rinforzo con lamelle.....	403
29.1.5.1.	Descrizione.....	403
29.1.5.2.	Modalità di esecuzione.....	403
29.1.5.3.	Caratteristiche prestazionali.....	404
29.1.6.	Rinforzo con lamelle pretese.....	404
29.1.6.1.	Descrizione.....	404
29.1.6.2.	Modalità di esecuzione.....	405
29.1.6.3.	Caratteristiche prestazionali.....	406
29.1.7.	Documenti di qualificazione.....	406
29.1.8.	Prove di accettazione.....	406
29.1.9.	Controlli in corso d’opera e sulle opere finite.....	407
30.	Strato di fondazione in misto granulare non legato.....	407
30.1.	Generalità.....	407
30.1.1.	Caratteristiche dei materiali da impiegare.....	407
30.1.2.	Studio preliminare.....	408
30.1.3.	Modalità esecutive.....	408
30.1.4.	Prove dinamiche di portanza.....	409
30.1.5.	Dati prestazionali.....	412
31.	Strato di fondazione o di sottobase realizzato con miscele legate.....	413
31.1.	Realizzazione con misto cementato confezionato in centrale.....	413
31.1.1.	Descrizione.....	413
31.1.2.	Caratteristiche dei materiali da impiegare.....	413
31.1.2.1.	Inerti.....	413
31.1.2.2.	Legante.....	414
31.1.2.3.	Acqua.....	414
31.1.3.	Studio della miscela in laboratorio.....	414
31.1.4.	Formazione e confezione delle miscele.....	415
31.1.5.	Posa in opera e tempo di maturazione.....	415
31.1.6.	Protezione superficiale.....	416
31.1.7.	Norme di controllo delle lavorazioni, prestazioni e penali.....	416
31.2.	Realizzazione con riciclaggio in sito del misto cementato o granulare, con aggiunta di cemento e acqua.....	417
31.2.1.	Descrizione.....	417
31.2.2.	Caratteristiche dei materiali.....	418
31.2.2.1.	Inerti.....	418

31.2.2.2. Cemento	418
31.2.2.3. Acqua.....	418
31.2.3. Studio della miscela di laboratorio	418
31.2.4. Posa in opera	419
31.2.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni	420
31.3. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di bitume schiumato e cemento	420
31.3.1. Descrizione.....	420
31.3.2. Caratteristiche dei materiali	420
31.3.2.1. Inerti	420
31.3.2.2. Bitume schiumato	421
31.3.2.3. Cemento	421
31.3.2.4. Acqua.....	421
31.3.3. Prescrizioni progettuali	421
31.3.3.1. Studio della miscela in laboratorio	421
31.3.3.2. Prelievi in sito	422
31.3.3.3. Granulometria di progetto	422
31.3.3.4. Studio della miscela di progetto.....	422
31.3.4. Posa in opera	423
31.3.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni.....	423
31.4. Realizzazione con fresato, bitume schiumato e cemento miscelati a freddo in impianto	424
31.4.1. Descrizione.....	424
31.4.2. Caratteristiche dei materiali	424
31.4.2.1. Granulometria di progetto	424
31.4.2.2. Bitume schiumato	425
31.4.2.3. Cemento	425
31.4.2.4. Acqua.....	425
31.4.3. Prescrizioni progettuali	425
31.4.3.1. Progetto della miscela in laboratorio	425
31.4.3.2. Prelievi in sito	425
31.4.3.3. Curva di progetto.....	425
31.4.3.4. Studio della miscela di progetto.....	425
31.4.3.5. Attivanti chimici funzionali (ACF)	426
31.4.4. Posa in opera	426
31.4.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni.....	427
31.5. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di emulsione bituminosa modificata e cemento	427
31.5.1. Generalità	427
31.5.2. Caratteristiche dei materiali	427
31.5.2.1. Granulometria di progetto	427
31.5.2.2. Legante	428
31.5.2.3. Cemento	428
31.5.2.4. Acqua.....	428
31.5.3. Prescrizioni progettuali	428
31.5.3.1. Progetto della miscela di laboratorio	428
31.5.3.2. Prelievi in sito	428
31.5.3.3. Granulometria di progetto	428
31.5.3.4. Studio della miscela di progetto.....	428
31.5.4. Posa in opera	429
31.5.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni.....	430
31.6. Realizzazione con misto cementato realizzato in sito, con impiego di prodotti stabilizzanti ...	430
31.6.1. Descrizione.....	430
31.6.2. Materiali.....	430
31.6.3. Studio della miscela	430
31.6.4. Modalità esecutive.....	430
31.6.5. Norme di controllo delle lavorazioni	431
32. Pavimentazioni in conglomerato bituminoso	431
32.1. Leganti bituminosi di base e modificati	431

32.1.1.	Leganti bituminosi semisolidi - caratteristiche e penali.....	431
32.1.1.1.	Bitumi di base	433
32.1.1.2.	Caratteristiche del bitume di base “BM” per la modifica con polimeri.....	433
32.1.1.3.	Leganti bituminosi modificati	434
32.1.1.4.	Certificazione di qualità	434
32.1.2.	Bitumi modificati con additivi	434
32.1.3.	Bitumi con modifica “MEDIUM”	435
32.1.4.	Bitumi con modifica “HARD”	435
32.1.5.	Emulsioni bituminose cationiche	438
32.1.6.	Attivanti chimici funzionali (A.C.F.)	439
32.1.7.	Dopes di adesione	440
32.1.8.	Modificanti strutturali (MST)	440
32.1.8.1.	Fibre di natura minerale (vetro) e mista (vetro + agglomerante).....	440
32.2.	Conglomerati bituminosi a caldo	441
32.2.1.	Prescrizioni generali	441
32.2.1.1.	Materiali fresati	442
32.2.1.2.	Penali	442
32.3.	Conglomerati bituminosi di base, collegamento, usura confezionati con bitume “Normale”, “Medium” e “Hard”	443
32.3.1.	Descrizione	443
32.3.2.	Bitume	443
32.3.3.	Aggregati	443
32.3.4.	Attivanti chimici di adesione	443
32.3.5.	Posa in opera	443
32.3.6.	Prescrizioni progettuali	445
32.3.6.1.	Percentuale di frantumato nella miscela inerti superiore a 2 mm.	445
32.3.6.2.	Percentuale di frantumato nella miscela inerti inferiore a 2 mm.....	445
32.3.6.3.	Prova Los Angeles	445
32.3.6.4.	Sensibilità al gelo	445
32.3.6.5.	Strati di usura: Valore di levigabilità VL (norma UNI EN 1097-8) e VLmix. (denominati CLA e CLA mix nelle precedenti NTA)	445
32.3.6.6.	Coefficiente di imbibizione	446
32.3.6.7.	Coefficiente di forma	446
32.3.6.8.	Equivalente in sabbia	446
32.3.6.9.	Spogliamento in acqua	446
32.3.6.10.	Additivi	446
32.3.6.11.	Argilla espansa – Resistenza allo schiacciamento.....	446
32.3.7.	Miscela	447
32.3.7.1.	Quantità di bitume	447
32.3.7.2.	Prove volumetriche e meccaniche.....	447
32.3.7.3.	Requisiti di idoneità	448
32.3.8.	Miscela di usura con impiego di argilla espansa	450
32.3.8.1.	Aggregati.....	450
32.3.8.2.	Confezione delle miscele	451
32.3.8.3.	Requisiti di accettazione	451
32.3.8.4.	Posa in opera delle miscele	451
32.4.	Conglomerato bituminoso ad elevata percentuale di vuoti (drenante-fonoassorbente)	451
32.4.1.	Prescrizioni generali	451
32.4.1.1.	Penali	452
32.4.2.	Miscele di: Usura drenante, Usura drenante strutturale	452
32.4.2.1.	Descrizione	452
32.4.2.2.	Bitume	452
32.4.2.3.	Attivanti chimici di adesione.....	452
32.4.2.4.	Materiali inerti	452
32.4.2.5.	Posa in opera	453
32.4.3.	Prescrizioni progettuali	453
32.4.3.1.	Percentuale di frantumato nella miscela inerti superiori a 2 mm.	453
32.4.3.2.	Percentuale di frantumato nella miscela inerti inferiori a 2 mm.....	454
32.4.3.3.	Prova Los Angeles	454

32.4.3.4.	Sensibilità al gelo	454
32.4.3.5.	Valore di levigabilità VL (norma UNI EN 1097-8) e VLmix	454
32.4.3.6.	Coefficiente di imbibizione.....	454
32.4.3.7.	Coefficiente di forma	454
32.4.3.8.	Equivalente in sabbia.....	454
32.4.3.9.	Spogliamento in acqua	455
32.4.3.10.	Additivi	455
32.4.3.11.	Argilla espansa – Resistenza del granulo allo schiacciamento (UNI EN 13055-2)	455
32.4.4.	Miscele	455
32.4.4.1.	Bitume	456
32.4.4.2.	Fibre (minerali o miste)	456
32.4.4.3.	Requisiti di idoneità.....	456
32.5.	Trattamenti superficiali d'irruvidimento	459
32.5.1.	Microtappeti a freddo (tipo Macro Seal)	459
32.5.1.1.	Descrizione	459
32.5.1.2.	Inerti	459
32.5.1.3.	Additivi	460
32.5.1.4.	Miscele	460
32.5.1.5.	Malta bituminosa	460
32.5.1.6.	Composizione e dosaggi della miscela	461
32.5.1.7.	Acqua.....	461
32.5.1.8.	Confezionamento e posa in opera.....	461
32.5.2.	Microtappeti a freddo (Tipo Macro Seal) fibro rinforzati	462
32.5.2.1.	Descrizione	462
32.5.2.2.	Inerti	462
32.5.2.3.	Additivi	462
32.5.2.4.	Miscele	462
32.5.2.5.	Fibre minerali	462
32.5.2.6.	Malta bituminosa	462
32.5.2.7.	Composizione e dosaggi della miscela	462
32.5.2.8.	Acqua.....	463
32.5.2.9.	Confezionamento e posa in opera.....	463
32.5.3.	Trattamento superficiale di irruvidimento (mono strato mono granulare) con resina bicomponente ed inerti ad elevata rugosità ed alta resistenza all'abrasione.....	463
32.5.3.1.	Descrizione	463
32.5.3.2.	Materiali inerti.....	463
32.5.3.3.	Legante	463
32.5.3.4.	Posa in opera	463
32.5.3.5.	Irruvidimento con macchina pallinatrice.....	464
32.6.	Controlli prestazionali e relative penali	464
32.6.1.	Controlli ad alto rendimento: Tutti i tipi di conglomerato bituminoso	465
32.6.1.1.	Portanza: Requisiti.....	465
32.6.1.2.	Portanza: Penali.....	465
32.6.1.3.	Aderenza e Macrotessitura: Requisiti	466
32.6.1.4.	Aderenza e Macrotessitura: Penali.....	467
32.6.1.5.	Regolarità: Requisiti.....	468
32.6.1.6.	Regolarità: Penali.....	469
32.6.1.7.	Regolarità dei giunti: Requisiti e penali	469
32.6.2.	Controlli tradizionali: Tutti i tipi di conglomerati bituminosi	469
32.6.2.1.	Durata a fatica	469
32.6.2.2.	Caratteristiche della miscela	470
32.6.2.3.	Posa in opera della miscela	470
32.6.2.4.	Spessori: penali.....	470
32.7.	Controlli	471
32.7.1.	Prestazioni di controllo da parte della committente	471
33.	Strutture di sostegno e contenimento in elementi prefabbricati	472
33.1.	Generalità	472
33.2.	Muri di sostegno, sottoscarpa e controripa in pannelli prefabbricati.....	472

33.3.	Muri di sostegno in terra armata	473
33.4.	Strutture di sostegno a scomparti in elementi scatolari o cellulari	473
33.5.	Strutture di sostegno in terra rinforzata a paramento verde	474
33.6.	Struttura di sostegno in terra rinforzata con paramento in pietrame.....	475
34.	Impermeabilizzazione di opere d'arte.....	476
34.1.	Norme Generali.....	476
34.2.	Manto con membrana elastica continua in materiale epossipoliuretano	477
34.2.1.	Primer di adesione	477
34.2.2.	Membrana impermeabilizzante sintetica elastica continua spruzzata in opera.....	477
34.2.3.	Mano d'attacco per collegamento della membrana con la pavimentazione.....	477
34.2.4.	Modalità di applicazione	478
34.3.	Manto con cappa di mastice di asfalto	478
34.3.1.	Materiali	478
34.3.2.	Modalità di preparazione del mastice di asfalto colato	479
34.3.3.	Modalità di applicazione	480
34.4.	Manto con bitume modificato con elastomeri ed armato con TNT	480
34.4.1.	Requisiti di accettazione dei materiali impiegati e del manto impermeabilizzante	481
34.4.1.1.	Caratteristiche del bitume elastomerizzato	481
34.4.1.2.	Caratteristiche del tessuto in poliestere.....	481
34.4.1.3.	Caratteristiche del manto impermeabilizzante	482
34.5.	Manto con guaine preformate in bitumi modificati con elastomeri ed armato con TNT	482
34.5.1.	Materiali	482
34.5.2.	Modalità di posa in opera	483
34.6.	Manto con cartongesso bitumato.....	484
34.7.	Manto con membrane prefabbricate a base bituminosa	484
34.8.	Manto con fogli di PVC o di gomma sintetica	484
34.9.	Manto con fogli di PVC e coibentazione in pannelli di poliuretano espanso.....	485
34.10.	Barriera antivapore	485
34.11.	Geotessile.....	485
34.12.	Impermeabilizzazioni vasche	485
35.	Impermeabilizzazione della superficie di estradosso delle gallerie artificiali.....	485
35.1.	Impermeabilizzazione dei tratti sottoposti a reinterro.....	485
35.2.	Strato di geotessile con funzione antipunzonamento	486
35.3.	Guaina impermeabile in PVC	486
35.4.	Strato di geotessile di protezione	487
35.5.	Drenaggio al piede	488
35.6.	Impermeabilizzazione dei tratti non sottoposti a reinterro.	488
35.7.	Sigillatura dei giunti strutturali e/o di costruzione.	489
35.8.	Profilati in PVC (water-stop) per giunti, a tenuta idraulica.....	489
36.	Segnaletica verticale e orizzontale.....	490
36.1.	Premessa	490
36.2.	Capo I – Segnaletica verticale	491
36.2.1.	Produzione	491
36.2.2.	Costruzione dei segnali	491
36.2.2.1.	Forme e dimensioni dei segnali	491
36.2.2.2.	Supporto metallico	491
36.2.2.3.	Rinforzo perimetrale del cartello.....	491
36.2.2.4.	Congiunzioni dei pannelli costituenti i cartelli di grandi dimensioni	492
36.2.2.5.	Traverse di rinforzo.....	492
36.2.2.6.	Saldatura elettrica per punti.....	492
36.2.2.7.	Traverse di irrigidimento	492
36.2.2.8.	Attacchi.....	492
36.2.2.9.	Verniciatura del cartello	492
36.2.2.10.	Faccia anteriore del cartello	493
36.2.2.11.	Faccia posteriore del cartello.....	494

36.2.3.	Costruzione delle strutture	494
36.2.3.1.	Norme progettuali di riferimento.....	494
36.2.3.2.	Sostegni per cartelli	494
36.2.3.3.	Portali e strutture in acciaio	495
36.2.3.4.	Strutture su pensiline	495
36.2.3.5.	Strutture per segnali su New Jersey	495
36.2.3.6.	New Jersey con foro verticale	496
36.2.3.7.	New Jersey con foro orizzontale	496
36.2.3.8.	New Jersey senza fori	496
36.2.3.9.	Supporto per sostegni su barriera metallica	496
36.2.3.10.	Zincatura a caldo per immersione.....	496
36.2.4.	Posa in opera	497
36.2.4.1.	Caratteristiche generali	497
36.2.4.2.	Posa in opera degli impianti su terra.....	498
36.2.4.3.	Posa in opera di portali, monopali e strutture in acciaio	498
36.2.4.4.	Posa in opera di strutture per pensiline	499
36.2.4.5.	Posa in opera degli impianti al new Jersey con foro verticale.....	499
36.2.4.6.	Posa in opera degli impianti al new Jersey con foro orizzontale.....	499
36.2.4.7.	Posa in opera degli impianti al new Jersey senza fori	499
36.2.4.8.	Posa in opera degli impianti su paletti M100 o di sostegno del guardrail	500
36.2.4.9.	Posa in opera degli impianti su punti particolari.....	500
36.2.4.10.	Segnaletica antinebbia	500
36.2.4.11.	Numerazione delle opere soprapassanti.....	500
36.2.4.12.	Segnali di limite massimo di velocità in caso di nebbia.....	501
36.2.4.13.	Segnaletica di indicazione delle modalità di pagamento	501
36.2.5.	Rettifiche e rimozione.....	501
36.2.5.1.	Rettifiche alla segnaletica.....	501
36.2.5.2.	Rimozione della segnaletica	501
36.2.6.	Indicazioni progettuali specifiche	502
36.2.6.1.	Segnali Ponte e Galleria.....	502
36.2.6.2.	Itinerari internazionali	502
36.2.6.3.	Segnali retro-illuminati in galleria	503
36.2.6.4.	Segnali per vie di fuga e luoghi sicuri in galleria	503
36.2.7.	Certificazioni e prove	503
36.2.8.	Penali	503
36.2.8.1.	Forme e dimensioni dei segnali.....	504
36.2.8.2.	Qualità dell'acciaio	504
36.2.8.3.	Bulloneria	504
36.2.8.4.	Unioni saldate.....	504
36.2.8.5.	Zincatura.....	504
36.2.8.6.	Alluminio	504
36.2.8.7.	Pellicole retro-riflettenti.....	504
36.2.8.8.	Posa in opera	504
36.2.9.	Garanzie di durata.....	504
36.2.10.	Norme per la misurazione e valutazione dei lavori	505
36.3.	Capo II – Delineatori	505
36.3.1.	Delineatori stradali	505
36.3.1.1.	Delineatori normali di margine	506
36.3.1.2.	Delineatori speciali	508
36.3.1.3.	Penali	509
36.4.	Capo III – Segnaletica orizzontale	509
36.4.1.	Segnaletica orizzontale	509
36.4.1.1.	Premessa	509
36.4.1.2.	Classificazione dei materiali per segnaletica orizzontale	510
36.4.1.3.	Tratti antinebbia	510
36.4.1.4.	Caratteristiche dei materiali.....	510
36.4.1.5.	Controlli standard prestazionali dei materiali	513
36.4.1.6.	Esecuzione dei lavori	514
36.4.1.7.	Penali	514

37. Sistemi antirumore	515
37.1. Prequalifica del sistema antirumore	515
37.1.1. Requisiti acustici. Modalità di esecuzione delle prove e classificazione dei sistemi.....	516
37.1.1.1. Assorbimento acustico	516
37.1.1.2. Isolamento acustico.....	517
37.1.1.3. Diffrazione del bordo superiore.....	517
37.1.2. Requisiti strutturali	518
37.1.2.1. Premessa	518
37.1.2.2. Requisiti meccanici	518
37.1.2.3. Prove.....	519
37.1.3. Requisiti di sicurezza nell'esercizio e compatibilità ambientale dei materiali impiegati.	519
37.1.3.1. Sistemi anticaduta e Pericolo di caduta di frammenti.....	519
37.1.3.2. Comportamento in presenza di fuoco	519
37.1.3.3. Riflessione della luce	520
37.1.3.4. Trasparenza statica e dinamica	520
37.1.3.5. Vie di fuga in caso di emergenza	521
37.1.3.6. Compatibilità ambientale	521
37.1.4. Requisiti di durabilità e criteri di manutenzione	521
37.2. Caratteristiche dei pannelli e dei materiali costituenti le barriere.....	522
37.2.1. Generalità.....	522
37.2.2. Pannelli metallici	522
37.2.2.1. Caratteristiche del guscio in alluminio.....	522
37.2.2.2. Materiale fonoassorbente	523
37.2.3. Pannelli in legno	525
37.2.3.1. Caratteristiche della struttura scatolare in legno	525
37.2.4. Pannelli trasparenti.....	526
37.2.4.1. Pannelli trasparenti con lastre in polimetilmetacrilato (PMMA).....	526
37.2.4.2. Pannelli trasparenti con lastre in policarbonato protetto a UV	528
37.2.4.3. Pannelli trasparenti con lastre in vetro stratificato	529
37.2.5. Pannelli in calcestruzzo	530
37.2.5.1. Strato in cls armato.....	530
37.2.5.2. Strato fonoassorbente in argilla espansa o pomice.....	530
37.2.6. Sistemi di copertura a “baffles”	532
37.2.7. Diffrattori di sommità per barriere	532
37.2.8. Biomuri in calcestruzzo armato vibrato	533
37.2.9. Biomuri in calcestruzzo armato vibrato a basso ingombro trasversale	534
37.2.10. Pannelli realizzati con altri materiali.....	535
37.2.11. Carpenteria metallica portante.....	535
37.2.12. Accessori	536
37.2.13. Particolarità costruttive della barriera	536
38. Barriere di sicurezza	537
38.1. Premessa.....	537
38.1.1. Generalità.....	537
38.1.2. Finalità dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali	538
38.1.3. Individuazione delle zone da proteggere	538
38.1.4. Conformità dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali e loro installazione	539
38.1.5. Documentazione “as built” da presentare al termine dei lavori.....	540
38.2. Barriere metalliche.....	540
38.2.1. Accettazione dei materiali.....	540
38.2.2. Qualità dei materiali.....	540
38.2.2.1. Caratteristiche dell'acciaio.....	540
38.2.2.2. Tolleranze dimensionali.....	540
38.2.2.3. Unioni bullonate	540
38.2.2.4. Unioni saldate.....	540
38.2.2.5. Zincatura	541
38.2.2.6. Caratteristiche della rete e dei fili metallici.....	541
38.2.3. Modalità d'esecuzione	541
38.2.3.1. Barriere infisse a bordo laterale e spartitraffico.....	541

38.2.3.2.	Barriere per opere d'arte.....	542
38.2.3.3.	Barriere mobili per chiusura varchi dello spartitraffico centrale	542
38.2.4.	Prove.....	543
38.2.4.1.	Prove relative alle caratteristiche dell'acciaio e bulloneria.....	543
38.2.4.2.	Prove relative alle caratteristiche dei rivestimenti anticorrosivi.....	543
38.2.4.3.	Penali per irregolarità d'esecuzione.....	544
38.3.	Barriere prefabbricate a profilo New Jersey.....	544
38.3.1.	NJ in spartitraffico.....	544
38.3.2.	NJ bordo opera	544
38.3.3.	Caratteristiche tecniche.....	544
38.3.4.	Materiali.....	545
38.3.4.1.	Conglomerato cementizio	545
38.3.4.2.	Acciaio	545
38.3.5.	Posa in opera	545
38.3.5.1.	Barriera spartitraffico "monofilare"	545
38.3.5.2.	Barriera laterale parapetto.....	545
38.3.5.3.	Posa in corrispondenza dei giunti di dilatazione.....	546
38.3.5.4.	Verifiche	547
38.3.6.	Barra antiribaltamento	547
38.3.6.1.	Resistenze strutturali e protezione dei materiali	547
38.3.6.2.	Posa in opera	548
38.3.6.3.	Prove sui materiali.....	548
38.4.	Barriere in acciaio a profilo New Jersey.....	549
38.4.1.	Materiali.....	549
38.4.2.	Zincatura	549
38.4.3.	Verniciatura protettiva	549
38.4.4.	Collaudo delle barriere	549
38.5.	Attenuatori frontali.....	550
39.	Recinzioni metalliche	550
39.1.	Caratteristiche delle opere	550
39.1.1.	Recinzione laterale tipo R.1.A alta 1,22 m con rete a maglie elettrosaldate.....	550
39.1.2.	Recinzione laterale tipo R.1.B. alta 2,12 m con rete a maglie elettrosaldate.....	551
39.1.3.	Recinzione laterale tipo R.1.B. "FAUNISTICA" alta m 2,12.....	551
39.1.4.	Recinzione laterale tipo R.2.A. alta 1,25 m con rete a maglie annodate.....	551
39.1.5.	Recinzione laterale tipo R.3.A. alta 1,25 m con rete a maglie elettrosaldate.....	551
39.1.6.	Recinzione laterale tipo R.3.B. alta 1,85 m con rete a maglie elettrosaldate.....	552
39.1.7.	Recinzione di protezione sulle opere d'arte tipo R.9.A. alta 1,98 m.....	552
39.1.8.	Recinzione anticavalcamento per Aree Di Servizio tipo R.4.B. alta 2,40 m.....	553
39.2.	Qualità dei materiali - Prove	553
39.2.1.	Qualità dei materiali	553
39.2.2.	Prove sui materiali	554
39.3.	Accettazione dei materiali	555
39.4.	Modalità d'esecuzione.....	556
39.5.	Penali	557
40.	Opere in verde	557
40.1.	Generalità	557
40.2.	Caratteristiche dei vari materiali	558
40.2.1.	Terreno vegetale.....	558
40.2.2.	Concimi minerali ed organici	559
40.2.3.	Prodotti fitosanitari.....	560
40.2.4.	Materiale vivaistico.....	560
40.2.4.1.	Alberi	561
40.2.4.2.	Piante esemplari.....	561
40.2.4.3.	Arbusti, tappezzanti, rampicanti	561
40.2.4.4.	Sementi.....	561
40.2.5.	Pacciamatura	561
40.2.6.	Torba.....	562

40.2.7.	Acqua	562
40.2.8.	Tappeti erbosi in strisce e zolle	562
40.2.9.	Pali tutori e legature	562
40.3.	Esecuzione dei lavori.....	563
40.3.1.	Prescrizioni generali	563
40.3.2.	Preparazione delle zone d'impianto	563
40.3.2.1.	Pulizia generale del terreno.....	563
40.3.2.2.	Lavorazione del terreno.....	564
40.3.2.3.	Correzione, Ammendamento, Concimazione di fondo e impiego di Fitofarmaci	564
40.3.3.	Tracciamenti.....	564
40.3.4.	Esecuzione degli impianti.....	564
40.3.4.1.	Trasporto del materiale vivaistico	564
40.3.4.2.	Preparazione del materiale vivaistico prima della messa a dimora	564
40.3.4.3.	Messa a dimora del materiale vivaistico	565
40.3.5.	Impianto di tappeti erbosi e/o zolle.....	566
40.3.6.	Semine di prati	566
40.3.7.	Rimboschimento con semenzali e impianto di talee	567
40.3.8.	Protezione scarpate in trincea con stuoie biodegradabili paglia e fibre vegetali	567
40.3.9.	Protezione di scarpate in trincea mediante stuoie in materiale termoplastico.....	567
40.3.10.	Rivestimento di scarpate in roccia con rete metallica	568
40.4.	Manutenzione degli impianti e cure colturali	568
40.4.1.	Sostituzione delle fallanze.....	569
40.4.2.	Ripristino conche d'irrigazione, rinalzi e ripristino tutorazioni e ancoraggi	569
40.4.3.	Potature e spollonature	569
40.4.4.	Scerbature e sarchiature	569
40.4.5.	Taglio delle erbe nelle zone seminate e tosatura dei tappeti erbosi	569
40.4.6.	Rinnovo parti difettose prati seminati e dei tappeti erbosi	570
40.4.7.	Concimazioni chimiche.....	570
40.4.8.	Trattamenti anticrittogamici ed insetticidi	570
40.4.9.	Adacquamenti	570
40.4.10.	Assolcature e Ripristino danni causati da erosione	571
41.	Murature.....	571
41.1.	Norme generali	571
41.2.	Murature di mattoni	571
41.2.1.	Murature di laterizi pieni e forati, per fabbricati	572
41.2.2.	Murature a faccia-vista, per fabbricati.....	572
41.2.3.	Murature ad intercapedine, per fabbricati	572
41.2.4.	Murature in blocchetti forati prefabbricati, per fabbricati	573
41.3.	Murature di pietrame a secco.....	573
41.4.	Murature di pietrame e malta	573
41.5.	Muratura in pietra da taglio.....	574
41.6.	Muratura in pietrame e conglomerato cementizio	575
42.	Intonaci	575
42.1.	Intonaci eseguiti a mano	576
42.2.	Intonaci eseguiti a spruzzo (gunite)	576
42.3.	Prove e controlli di laboratorio	576
43.	Solai	577
43.1.	Generalità.....	577
43.2.	Solai misti in c.a. e laterizi	577
43.3.	Solai alleggeriti a struttura in c.a.	577
43.4.	Solai in lamiera grecata e getto collaborante in c.a.....	577
43.5.	Solai in lastre multifori estruse prefabbricate in c.a.....	578
44.	Controsoffitti	578
44.1.	In pannelli ad impasto gessoso	578
44.2.	In pannelli di fibre minerali	578

44.3.	In pannelli di lamierino d'alluminio	579
44.4.	In elementi modulari a cielo aperto	579
44.5.	In doghe d'alluminio	579
44.6.	In lastre di gesso cartonato su intelaiatura portante	579
44.7.	In tavolato d'abete.....	579
44.8.	Controsoffitto tagliafuoco	580
45.	Coperture	580
45.1.	Norme generali	580
45.2.	In lastre ondulate di fibrocemento	580
45.3.	In lastre nervate d'alluminio	580
45.4.	In pannelli Sandwich autoportanti.....	581
45.5.	In lastre di lamiera grecata	581
45.6.	In lastre di metacrilato.....	582
45.7.	In pannelli d'acciaio inox.....	582
45.8.	In lamiera di rame	582
45.9.	Strato di ghiaia	582
46.	Mantovane	583
47.	Pareti in pannelli prefabbricati	583
47.1.	Pannelli portanti in c.a.v. normale o alleggerito.....	583
47.2.	Pannelli di tamponamento e divisori	583
47.2.1.	In c.a.v. normale o alleggerito	583
47.2.2.	In fibrocemento	584
47.2.3.	In lamiera zincata	584
47.2.4.	In gesso	585
47.2.5.	In gesso cartonato.....	585
47.2.6.	In agglomerato di cemento bianco e lana di vetro (tipo G.R.C.).....	585
48.	Pareti divisorie mobili	585
48.1.	Norme generali	585
48.2.	Pareti in lastre di truciolare ignifugo	586
48.3.	Pareti in lastre di fibrocemento.....	586
49.	Controfodere	587
49.1.	Norme generali	587
49.2.	Controfodera in pannelli di gesso cartonato	587
49.3.	Controfodera in lastre truciolari	587
49.4.	Controfodera in lastre di fibrocemento.....	587
50.	Isolamenti.....	587
51.	Rivestimenti.....	588
51.1.	Plastico al quarzo	588
51.2.	Piastrelle smaltate	588
51.3.	Mattoncini in litoceramica (clinker).....	588
51.4.	Zoccolino battiscopa	589
51.5.	Lastre in pietra naturale.....	589
51.6.	Cordonate in pietra.....	589
51.7.	Gradini prefabbricati.....	589
51.8.	Gradini rivestiti con profilati di gomma.....	590
51.9.	Soglie e davanzali in c.a.	590
51.10.	Rivestimento con pannelli di acciaio porcellanato	590
51.11.	Rivestimento in blocchi prefabbricati.....	591
52.	Vespai.....	591

53. Pavimenti	591
53.1. Norme generali	591
53.2. In cubetti di porfido	592
53.3. In conglomerato cementizio	592
53.3.1. In conglomerato cementizio per nuove pavimentazioni	592
53.3.2. In conglomerato cementizio su pavimentazioni esistenti.....	592
53.3.3. In conglomerato cementizio ad alta resistenza	593
53.3.4. In conglomerato cementizio per corsie di stazione	593
53.4. In lastre di marmo	594
53.5. In piastrelle di grès	595
53.6. In gomma e vinilico	595
53.7. In lastre di calcestruzzo	595
53.8. In elementi modulari autobloccanti in cls vibrato	595
53.9. In mattonelle.....	596
53.10. In lastre di agglomerato vibrocompresso	596
53.11. In moquette	596
53.12. In modulare sopraelevato	596
54. Canali di gronda, pluviali, scossaline, ecc.....	597
54.1. Norme generali	597
54.2. Bocchettoni	597
54.3. Canali di Gronda, Foderature, Converse, Scossaline	597
54.4. Pluviali	598
54.5. Strutture e lattronerie in acciaio inox	598
55. Rivestimenti in alluminio e leghe leggere di alluminio	598
56. Infissi.....	599
56.1. Norme generali	599
56.2. Infissi in legno.....	600
56.2.1. Porte in legno	600
56.2.2. Finestre e Portefinestre	601
56.3. Infissi in ferro	601
56.3.1. Porte.....	602
56.3.2. Finestre e Portefinestre	602
56.3.3. Porte blindate	602
56.3.4. Porte tagliafuoco.....	603
56.4. Infissi in alluminio e sue leghe	603
56.4.1. Porte.....	604
56.4.2. Finestre e portefinestre	605
56.5. Tende alla veneziana.....	605
56.6. Persiane avvolgibili in materia plastica.....	606
56.7. Serrande avvolgibili in acciaio zincato	606
56.8. Porte a bilico	607
56.9. Portoni ad impacco laterale.....	607
56.10. Portoni di tipo sezionale	608
56.11. Lucernari	609
57. Tinteggiature e verniciature	609
57.1. Norme generali	609
57.2. Tinteggiatura	610
57.2.1. Tinteggiatura a tempera	610
57.2.2. Tinteggiatura con idropittura.....	610
57.3. Verniciatura di pareti in muratura	610
57.4. Verniciature di strutture in acciaio	610
57.4.1. Ciclo "A"	612
57.4.2. Ciclo "B".....	613

57.4.3. Ciclo "C"	614
57.4.4. Ciclo "D"	615
57.4.5. Ciclo "E".....	616
57.4.6. Ciclo "F".....	617
57.5. Verniciature di opere in legno	619
57.5.1. Ciclo "A" (ciclo opaco).....	619
57.5.2. Ciclo "B" (ciclo trasparente).....	619
57.6. Protezione al fuoco	620
57.6.1. Con pittura ignifuga intumescente	620
57.6.2. Con strato di fibre minerali miscelate con cemento e collante	620
57.7. Tappezzeria in plastica.....	620
57.8. Rivestimenti plastici.....	621
57.9. Ossidazione anodica	621

Pagina lasciata intenzionalmente bianca.

Capitolato Speciale d'Appalto

NORME TECNICHE

Pagina lasciata intenzionalmente bianca.

PARTE I - GENERALITÀ - PIANIFICAZIONE - MATERIALI ED ATTREZZATURE

1. Premesse generali

1.1. Fonti prescrittive

L'Appaltatore dovrà eseguire le opere in ottemperanza alle leggi ed ai regolamenti vigenti, nonché a quelle che potranno essere impartite dagli Enti competenti ed alle norme contrattuali, con particolare riferimento a quelle contenute nel presente Capitolato. Dovrà infine attenersi agli ordini della Direzione Lavori e, in via residuale, riferirsi alle raccomandazioni, agli usi locali ed alle regole del buon costruire.

Pertanto, ferma restando ogni altra responsabilità a termini di legge dell'Appaltatore e di altri soggetti coinvolti, essa rimane completamente responsabile dell'esecuzione delle opere.

La gerarchia delle fonti prescrittive a contenuto tecnico che riguardano o possono riguardare le opere appaltate, fatta eccezione per le situazioni di emergenza (nelle quali diventano prioritarie le decisioni prese al momento da chi di competenza), è la seguente, distinta in: A) fonti esterne e superiori al contratto di appalto; B) fonti interne al contratto; C) fonti esterne e subordinate al contratto:

- A.1) leggi e decreti a carattere nazionale e/o regionale, secondo le regole di cui alla Parte II, Titolo V, della Costituzione Italiana;
- A.2) regolamenti vigenti o specifici dei soggetti preposti al rilascio di pareri o autorizzazioni o altri adempimenti obbligatori e vincolanti inerenti le opere da realizzare;
- B.1) contratto di appalto (inteso come documento principale del quale il presente Capitolato ed il progetto, fra gli altri, sono allegati) ed elenco dei prezzi contrattuali con relative eventuali analisi;
- B.2) Capitolato Speciale d'Appalto – Norme Generali;
- B.3) norme di misurazione e contabilizzazione delle opere eseguite e delle forniture, soltanto per tali aspetti e quando esse costituiscano uno specifico documento a se stante;
- B.4) specifiche prescrizioni contenute negli elaborati del progetto esecutivo, comprensivo del Piano di Sicurezza e Coordinamento (nel seguito denominato per brevità "progetto") ovvero disegni, relazioni tecniche e di calcolo, tabelle, ecc., tenendo conto del fatto che la sicurezza e salute delle persone prevalgono sempre e comunque sugli aspetti tecnici inerenti le opere;
- B.5) presente Capitolato Speciale d'Appalto – Norme Tecniche (nel seguito denominato per brevità "Capitolato"), anche se formato da più documenti separati, purché tutti allegati al contratto; in quest'ultimo caso i documenti specifici prevalgono su quelli generali;
- B.6) declaratorie delle voci dell'Elenco Prezzi allegato al progetto;
- B.7) ordini del Direttore dei Lavori, del Coordinatore della Sicurezza in Fase di Esecuzione, della Stazione Appaltante, con le avvertenze di cui al precedente punto B.4);
- C.1) normative a carattere non cogente, valide quali raccomandazioni o utili riferimenti;
- C.2) usi locali;
- C.3) buona prassi costruttiva.

Le fonti che seguono sono subordinate a quelle che precedono; in altre parole, nel caso di discrepanze e difformità tra una o l'altra delle citate fonti, prevale quella che precede nella gerarchia. In caso di contrasto tra norme gerarchicamente equivalenti, varrà la più recente.

Le lavorazioni e le opere di cui all'appalto, le cui specifiche non sono riportate nel presente documento, trovano posto in parti indipendenti del Capitolato o comunque all'interno di specifici elaborati progettuali, come indicato al punto B.5 di cui sopra.

1.2. Rispetto delle norme – Marcatura CE

I materiali, le attrezzature e le metodologie da impiegare per i lavori di cui all'appalto dovranno corrispondere, come caratteristiche intrinseche, come installazioni e come impiego, a quanto stabilito dalle leggi e regolamenti ufficiali vi-

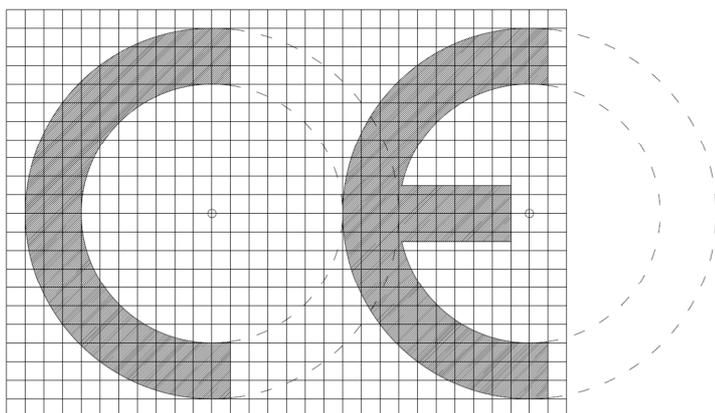
genti in materia, dal presente Capitolato e dalle fonti prescrittive ad esso sovraordinate di cui al paragrafo precedente. In mancanza di una loro precisa specificazione dovranno essere rappresentativi dello “stato dell’arte”, ovvero i migliori reperibili sul mercato.

Tuttavia, anche quando gli stessi siano previsti e disciplinati dal presente Capitolato, fatto salvo il rispetto delle norme ad esso sovraordinate, potranno essere utilizzati materiali, attrezzature e metodologie diversi da quelli previsti, alle seguenti tassative condizioni, che devono essere tutte verificate:

- siano il frutto di un consolidato progresso tecnologico o siano previsti da aggiornamenti delle norme ufficiali (Stato, ISO, CEN, CENELEC, ETSI, UNI, CEI) citate nel presente Capitolato o comunque dal presente Capitolato sottintese, per le quali, ove non si tratti di norme cogenti, si possa dimostrare la compatibilità con le norme vigenti ai sensi del Regolamento UE n. 764/2008 del 09/07/2008 “che stabilisce procedure relative all’applicazione di determinate regole tecniche nazionali a prodotti legalmente commercializzati in un altro Stato membro e che abroga la decisione n. 3052/95/CE”;
- siano equivalenti o migliori rispetto a quelli originariamente previsti;
- siano stati sottoposti con sufficiente anticipo alla Direzione Lavori rispetto al momento teorico del loro primo utilizzo;
- abbiano ottenuto l’approvazione preventiva della Direzione Lavori, che ne dovrà valutare anche l’effettiva ricaduta economica.

In particolare, per i materiali, attrezzature e metodologie, per i quali sia disponibile una norma armonizzata (HS: Harmonized Standard - è sottinteso l’aggettivo European, “europea”), il cui testo o il cui riferimento sia stato pubblicato sulla G.U.U.E. ed il cui recepimento sia regolarmente avvenuto da parte dell’ordinamento giuridico italiano, al termine del “periodo di coesistenza” il loro impiego nelle opere in appalto è possibile, soltanto se in possesso della cosiddetta

“marcatatura CE” (il cui logo – importante in quanto vi sono versioni contraffatte del marchio – è riportato in figura).



Inoltre, per i “materiali (o prodotti) da costruzione”⁽¹⁾, la marcatura CE è regolamentata, a partire dal 01.07.2013, dal Regolamento Europeo sui Prodotti da Costruzione (Reg. UE n. 305/2011 del 09.03.2011), denominato anche CPR (*Construction Products Regulation*), “che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE”.

A tal proposito si informa che l’elenco aggiornato delle norme armonizzate ai sensi del predetto

CPR, con l’indicazione dell’organismo europeo di normalizzazione, della data di entrata in vigore della norma in quanto norma europea armonizzata e della data di scadenza del periodo di coesistenza tra la norma armonizzata e la precedente specifica tecnica nazionale, è stato pubblicato sulla G.U.U.E. n. C226 del 10/07/2015, ulteriormente aggiornato. Detto elenco, scaricabile fra l’altro gratuitamente dal sito ufficiale *EUR-Lex* dell’Unione Europea al seguente URL:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2015:226:TOC>

è riportato in appendice al presente Capitolato.

Per avere un costante aggiornamento sulle norme armonizzate vigenti è possibile anche consultare la banca dati NANDO (*New Approach Notified and Designated Organizations*) della UE, al seguente URL:

<http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/index.cfm?fuseaction=cp.hs&cpr=Y%23>

oppure le pagine GROWTH del sito della Commissione Europea relative alla crescita (GROWTH) ed alle imprese, al seguente URL:

(1) “Prodotto da costruzione” (CPR, art. 2, n. 1) qualsiasi prodotto o *kit* (equipaggiamento, attrezzatura, insieme di elementi o parti destinati alla realizzazione di un elemento completo od allo svolgimento di una specifica funzione) fabbricato e immesso sul mercato per essere incorporato in modo permanente in opere di costruzione o in parti di esse e la cui prestazione incide sulla loro prestazione, rispetto ai requisiti di base per esse previsti.
 “Opere di costruzione” (CPR, art. 2, n. 3): gli edifici e le opere di ingegneria civile. Nella definizione rientrano tutte le opere oggetto dell’appalto.

http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/construction-products/index_en.htm

Ai sensi di legge si presumono idonei al loro impiego i prodotti da costruzione che, ai sensi del CPR, recano la marcatura CE.

Possono essere muniti di marcatura CE i prodotti da costruzione che soddisfano una delle condizioni seguenti:

- conformità al CPR, e quindi alle norme armonizzate, i cui estremi siano stati pubblicati nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- conformità, nel caso in cui tali prodotti non rientrino o rientrino solo in parte entro norme armonizzate, alle norme nazionali riconosciute dalla Commissione Europea, tali da beneficiare della presunzione di conformità. A tal fine le competenti amministrazioni, tramite il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, comunicano alla Commissione Europea i testi delle specificazioni tecniche nazionali ritenute conformi agli specifici requisiti essenziali;
- conformità alla Valutazione Tecnica Europea (ETA: *European Technical Assessment*) (v. anche successivo punto 3.1, 3° capoverso, lett. A).

L'insieme delle norme (riconosciute) e degli ETA costituisce le "specifiche tecniche armonizzate" (HTS: *Harmonised Technical Specifications*), che possono essere europee o nazionali.

Gli ETAG (*European Technical Approval Guidelines*) non sono norme di per sé applicabili, ma sono presupposti (non indispensabili) per il rilascio degli ETA, che devono di norma essere preceduti da un "documento di valutazione europea" (EAD: *European Assessment Document*). In questo caso gli ETAG possono essere impiegati quali EAD.

Gli organismi europei abilitati all'emanazione di ETAG ed al rilascio di ETA sono raggruppati nell'associazione EOTA (*European Organisation for Technical Approvals*), della quale fanno parte, in Italia: l'STC (Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), il CSEA (Centro Studi ed Esperienze Antincendi del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco) e l'ITC (Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR).

La marcatura CE conferisce al prodotto, in tutto il cosiddetto Spazio Economico Europeo (SEE), la presunzione di conformità rispetto ai requisiti essenziali seguenti (CPR, All. I):

1. resistenza meccanica e stabilità,
2. sicurezza in caso d'incendio,
3. igienicità, salubrità e tutela dell'ambiente,
4. sicurezza ed accessibilità nell'uso,
5. protezione contro il rumore,
6. risparmio energetico e ritenzione del calore,
7. uso sostenibile delle risorse naturali.

Gli identificativi ed i documenti che accompagnano la marcatura CE dei prodotti da costruzione (e che dovranno obbligatoriamente essere forniti con congruo anticipo alla Direzione Lavori) sono stabiliti dalle specificazioni tecniche. Di norma essi consistono in:

- "marchio CE" e relative indicazioni sintetiche previste dal CPR (identificativi dell'organismo di controllo, del prodotto e del produttore, anno, numero certificato CE se prescritto, eventuali caratteristiche tecniche del prodotto);
- identificazione di ciascun prodotto attraverso l'apposizione di un numero di tipo, lotto, serie, ecc. e l'indicazione sul prodotto, sul suo imballaggio o sul documento di accompagnamento, del loro nome, della denominazione commerciale registrata (o loro marchio) e dell'indirizzo cui poter essere contattati;
- "Dichiarazione di Prestazione" (DoP: *Declaration of Performance*), rilasciata dal produttore o dal suo mandatario nell'UE secondo varie tipologie e modalità, che di solito prevedono l'intervento di organismi terzi imparziali (organismi di certificazione, organismi di ispezione, laboratori di prova) e l'emanazione di certificazioni ufficiali;
- documento di istruzioni e informazioni sulla sicurezza, redatto in lingua italiana;
- "manuale di installazione, uso e manutenzione", nei casi previsti.

La Direzione Lavori dal canto suo dovrà vigilare affinché non vi siano difformità tra i materiali, attrezzature e metodologie effettivamente impiegati e quelli attesi, dichiarati dall'Appaltatore, con particolare riferimento alle possibili frodi nell'utilizzo della marcatura CE. Qualora sussistano dubbi circa tali eventualità, il Direttore dei Lavori disporrà i controlli ed eventualmente prenderà le decisioni del caso, segnalando le difformità e le frodi riscontrate alla Stazione Appaltante ed all'Organo di Collaudo.

In particolare la Direzione Lavori, per i prodotti da costruzione, potrà comunque sempre richiedere all'Appaltatore copia della documentazione relativa all'ottenimento della marcatura CE, ovvero alla rispondenza del prodotto alle prestazioni dichiarate ed ai requisiti del CPR, con particolare riferimento all'attestazione di "costanza delle prestazioni", secondo la procedura AVCP (*Assessment and Verification of Constancy of Performance*) prevista dallo stesso CPR.

Dovranno essere osservate, nell'impiego di tecnologie, materiali, attrezzature, le norme nazionali e comunitarie che tutelano la proprietà industriale, i brevetti, i marchi di fabbrica. per l'Italia si citano le due principali, costituite dal R.D. 13.09.1934 n. 1602 e dal D.Lgs. 10.02.2005 n. 30.

Dovrà essere infine osservato, per quanto applicabile e salvo diverse e sovraordinate disposizioni, quanto prescritto dal D.M. 19/04/2000 n. 145 (Regolamento recante il capitolato generale d'appalto dei lavori pubblici).

1.3. Aggiornamento delle norme

Le norme citate nel presente Capitolato, anche se accidentalmente riportate con livello di aggiornamento non attuale o aggiornate da altre successivamente emanate, devono sempre essere prese in considerazione, rispettivamente, al loro massimo aggiornamento o nella versione più aggiornata disponibile, e sempre con le ulteriori norme che da esse siano eventualmente richiamate, purché tali riedizioni e norme siano ufficiali e rese pubbliche in tempo utile per il loro utilizzo e tutto ciò avvenga nel rispetto della gerarchia delle fonti precedentemente riportata.

In caso di contrasto tra due norme di pari rilevanza, riguardanti lo stesso argomento, varrà la più recente.

1.4. Penali

Le penali indicate nel presente Capitolato, a tutela della Stazione Appaltante nei casi di non perfetta riuscita delle opere e intese, sia come importi da decurtare dai prezzi di appalto, sia come demolizioni e ricostruzioni di opere realizzate, sia come decurtazione di quantità da contabilizzare, fatto salvo il principio inderogabile del risarcimento del danno ai sensi di legge (art. 2043 e segg. del Codice Civile, artt. 164, 165 e 166 del D.P.R. n. 207/2010, art. 6 del D.P.R. n. 145/2000), non sono mai automatiche ma soggette alla discrezionalità applicativa del Direttore dei Lavori. Egli, sentita la Stazione Appaltante e sentito eventualmente l'Organo di Collaudo, procederà alla loro applicazione soltanto quando le circostanze siano gravi ed ineludibili, il danno sia stato accertato e sia cospicuo e non vi sia stata risoluzione tempestiva da parte dell'Appaltatore delle problematiche emerse (definite anche come "non conformità").

L'accertamento del danno dovrà prioritariamente e per quanto possibile avvenire in contraddittorio con l'Appaltatore. Soltando quando questi si opponga al contraddittorio o, a giudizio del Direttore dei Lavori, si rifiuti di accettare l'evidenza, si potrà procedere comunque.

Inoltre, in particolare, dovrà essere valutata dal Direttore dei Lavori l'applicabilità delle penali in funzione del metodo di contabilizzazione delle opere contrattualmente previsto. Qualora siano ritenute applicabili e la contabilizzazione delle opere interessate sia "a corpo", la penale sarà applicata con riguardo all'incidenza dell'elemento non conforme rispetto al totale del corpo di cui fa parte, valutata con i prezzi dell'elenco allegato al progetto o con altri validi metodi.

La suddette penali e la stessa gerarchia delle fonti sopra riportata, così come ogni altra prescrizione del presente Capitolato, possono essere modificate attraverso le fonti che prevalgono su di esso.

1.5. Prescrizioni inerenti la misura e la contabilizzazione

Come per quanto riguarda le penali, anche le prescrizioni inerenti la misurazione e contabilizzazione delle forniture e opere realizzate, inserite nel presente Capitolato, così come quelle eventualmente presenti e riguardanti aspetti non tecnici (economici, amministrativi, ecc.) sono pienamente efficaci soltanto qualora non siano presenti nel contratto o nei suoi allegati diverse e sovraordinate prescrizioni regolanti tali aspetti.

Qualora, al contrario, si verifichi quest'ultima eventualità, le stesse debbono intendersi soltanto come indicative di una possibile prassi alternativa, a carattere non obbligatorio.

1.6. Oneri e criteri generali per i controlli di accettazione

Per quanto riguarda le prove (in sito o di laboratorio), gli accertamenti (in sito o presso i produttori o presso i centri di trasformazione) e le verifiche tecniche particolari (nel complesso definibili come “controlli di accettazione” di materiali e prodotti da costruzione), obbligatori ai sensi di legge o prescritti dal presente Capitolato, ai sensi dell’art. 16, comma 1, lett. b), punti 2 e 11, dell’art. 167, commi 7 e 8, nonché dall’art. 178, comma 1, lett. b), del D.P.R. 207/2010, disposti dal Direttore dei Lavori o dall’Organo di Collaudo, le relative spese sono da imputare a carico delle somme a disposizione accantonate a tale titolo nel quadro economico.

Gli ulteriori controlli di accettazione, ancorché non prescritti dal presente Capitolato ma ritenuti tuttavia necessari per stabilire l’idoneità dei prodotti da impiegare, sono posti a carico dell’Appaltatore.

In ogni caso l’Appaltatore non può opporsi all’esecuzione dei suddetti controlli ed anzi deve agevolare la loro effettuazione.

Fatta eccezione per i controlli obbligatori per legge o prescritti da norme sovraordinate al presente Capitolato, è da rilevare tuttavia che:

- i controlli prescritti o indicati nel prosieguo del presente Capitolato per materiali, sistemi e opere costituiscono, rispettivamente, una possibilità o una indicazione offerte al Direttore dei Lavori, il quale deve comunque disporre l’esecuzione soltanto dopo aver considerato e valutato le circostanze generali e particolari relative alle forniture ed alle opere cui gli stessi si riferiscono, accogliendoli responsabilmente nella misura ritenuta più opportuna. In particolare ciò vale qualora le opere da controllare siano a carattere temporaneo (opere provvisorie, installazioni temporanee, ecc.) o i materiali e sistemi da approvvigionare siano destinati ad opere a carattere temporaneo;
- la marcatura CE costituisce presunzione di conformità e non necessità di controlli di accettazione, fatto salvo quanto ritenuto necessario dal Direttore Lavori ai fini di cui al penultimo capoverso del punto 1.2.

2. Pianificazione dei lavori

Ferma restando la piena autonomia dell’Appaltatore sulla conduzione del cantiere e qualora il contratto non disponga diversamente, è prevista la consegna alla Direzione Lavori dei seguenti strumenti di controllo dell’andamento dei lavori:

Programma bisettimanale:

In aggiunta al Programma Esecutivo dei Lavori previsto dal Contratto ed alle sue periodiche revisioni, l’Appaltatore per l’intera durata dei lavori dovrà presentare settimanalmente un “cronoprogramma bisettimanale”, in forma di diagramma di Gantt, delle attività programmate nelle due settimane successive.

Convenzionalmente le settimane sono definite dalle ore 0,00 del lunedì alle ore 24,00 della domenica successiva.

Il cronoprogramma bisettimanale dovrà essere presentato per approvazione al Direttore Lavori almeno quattro giorni prima dell’inizio di ciascuna settimana.

Fasi vincolate e segnalate:

Il presente Capitolato indica una serie di lavorazioni che, per la loro specificità, potranno essere effettuate solo in presenza degli incaricati della Direzione Lavori (cosiddette “fasi vincolate”) o solo dopo aver informato per iscritto, anche per le vie brevi, con anticipo di almeno 24 ore, la Direzione Lavori (cosiddette “fasi segnalate”).

Nel programma bisettimanale l’Appaltatore dovrà evidenziare le attività soggette a fasi vincolate o segnalate in modo che la Direzione Lavori possa organizzare per tempo i propri impegni.

Le lavorazioni soggette a fase vincolata realizzate dall’Appaltatore in assenza della Direzione Lavori potranno essere oggetto di procedura di “Non Conformità”.

Le lavorazioni soggette a fase segnalata, correttamente annunciate dall’Appaltatore, potranno venire eseguite anche in assenza della Direzione Lavori una volta trascorso l’orario indicato nella comunicazione dell’Appaltatore. Le lavorazioni non correttamente segnalate o realizzate in anticipo rispetto all’orario indicato, potranno essere oggetto di procedura di “Non Conformità”.

Piano di Impiego dei Macchinari:

Prima dell’inizio di ciascuna lavorazione, l’Appaltatore dovrà presentare per approvazione al Direttore Lavori il “Piano di Impiego” di tutti i macchinari, impianti, equipaggiamenti, dispositivi, strumenti e attrezzature che intende utilizzare, consistente nell’elenco delle attrezzature, corredato dai seguenti documenti (per ciascuna attrezzatura):

- contratto di noleggio o copia conforme del libro cespiti dell'Appaltatore che ne attesti la proprietà e da cui dovrà essere individuabile il valore di ammortamento annuo ed il valore residuo dell'attrezzatura;
- marcature CE;
- libretti di uso e manutenzione, riportanti n° di matricola e caratteristiche tecniche del macchinario;
- elaborati progettuali e relazioni di calcolo (per ponteggi, casseforme, carri varo, impianti betonaggio, ecc.);
- attestati di revisione/verifica e certificati di taratura;
- eventuali autorizzazioni amministrative (messa in servizio, emissioni in atmosfera, scarichi idrici, ecc.).

Procedure di lavoro:

A richiesta della Direzione Lavori, prima dell'inizio di ciascuna lavorazione che sia di particolare rilevanza tecnico-economica o che richieda operazioni ripetute ed il cui svolgimento temporale si sviluppi oltre due settimane (ad es. consolidamenti, avanzamenti o getti in galleria, costruzione di opere per conci, ecc.) l'Appaltatore dovrà presentare per approvazione al Direttore Lavori una "Procedura di Lavoro" che:

- descriva la lavorazione (anche utilizzando appositi elaborati grafici) indicando i documenti progettuali di riferimento;
- definisca il metodo di esecuzione, la sequenza delle attività da porre in opera e la fasizzazione rispetto ad altre attività dotate di Procedura di Lavoro;
- precisi la composizione della Manodopera da utilizzare dichiarando il nominativo del Responsabile o del Capo Squadra;
- precisi i materiali da utilizzare, descrivendone le caratteristiche ed allegandone le relative schede sicurezza prodotto;
- definisca i controlli da eseguire in corso d'opera;
- precisi i macchinari da utilizzare, allegandone il Piano di Impiego.

Appendice A – Fasi vincolate:

- piano degli scavi di fondazione;
- piano di posa rilevati;
- getti delle fondazioni (plinti, pozzi, ecc.);
- armature con materiali compositi fibrosi;
- iniezione cavi di precompressione;
- posa apparecchi d'appoggio e giunti;
- tesatura tiranti;
- getti definitivi in galleria.

Appendice B – Fasi Segnalate:

- demolizioni di strutture e fabbricati;
- campi di preconsolidamento in sotterraneo;
- getti delle elevazioni (pile, pulvini, impalcati, setti, ecc.);
- perforazione volata in avanzamento;
- pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

3. Caratteristiche dei materiali e dei sistemi da impiegarsi

3.1. Generalità

I materiali da impiegare nei lavori (nelle accezioni estensive di legge: "materiali da costruzione" o "prodotti da costruzione") dovranno essere di norma:

- a) identificati riportando le loro caratteristiche nel Documento di Trasporto con cui il materiale viene consegnato in cantiere o a piè d'opera e quando possibile o prescritto, sui materiali stessi. L'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori una copia del Documento di Trasporto e dell'eventuale documentazione allegata;
- b) pregualificati mediante idonee attestazioni rilasciate da chi di competenza e che l'Appaltatore dovrà consegnare in copia al Direttore dei Lavori;
- c) accettati dal Direttore Lavori (D.P.R. 05/10/2010 n. 207, art. 148, comma 3), mediante controllo delle certificazioni cui ai punti precedenti e/o mediante prove sperimentali di accettazione; l'accettazione dei materiali non è in ogni modo definitiva se non dopo che siano stati posti in opera e l'opera sia stata collaudata (v. di seguito);
- d) ulteriormente verificati nel caso in cui il Direttore Lavori ravvisi difformità nella fornitura dei materiali, nelle lavorazioni o nell'opera ultimata rispetto a quanto richiesto dal presente Capitolato.

Per quanto riguarda in particolare i “prodotti da costruzione” di cui al CPR, per quanto attiene all'identificazione ed alla qualificazione (lett. a) e b)), possono configurarsi i seguenti casi:

- A) Materiali e prodotti per i quali siano disponibili norme armonizzate (HS: *Harmonised Standards*) i cui riferimenti siano pubblicati sulla G.U.U.E. (vedi art. 1). Al termine del “periodo di coesistenza” il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se in possesso della “marcatura CE” prevista dal Regolamento Europeo n. 305/2011, esecutivo per tutti gli stati membri dell'UE dal 01.07.2013. I documenti prescritti che accompagnano la marcatura CE sono attualmente costituiti da:
 - “marchio CE” (etichetta o altro sistema consentito di marcatura) e relative indicazioni sintetiche previste dal CPR (identificativi dell'organismo di controllo, del prodotto e del produttore, anno, numero certificato CE se prescritto, eventuali caratteristiche tecniche del prodotto);
 - identificazione di ciascun prodotto attraverso l'apposizione di un numero di tipo, lotto, serie, ecc. e l'indicazione sul prodotto, sul suo imballaggio o sul documento di accompagnamento, del loro nome, della denominazione commerciale registrata (o loro marchio) e dell'indirizzo cui poter essere contattati;
 - “Dichiarazione di Prestazione” (DoP: *Declaration of Performance*), rilasciata dal produttore o dal suo mandatario nell'UE secondo varie tipologie e modalità, che di solito prevedono l'intervento di organismi terzi imparziali (organismi di certificazione, organismi di ispezione, laboratori di prova) e l'emanazione di certificazioni ufficiali;
 - documento di istruzioni e informazioni sulla sicurezza, redatto in lingua italiana;
 - “manuale di installazione, uso e manutenzione”, nei casi previsti;
- B) Materiali e prodotti innovativi o comunque non ricadenti nella tipologia precedente. In tali casi il Produttore potrà pervenire alla marcatura CE in conformità alla “Valutazione Tecnica Europea” (ETA), rilasciata dalle autorità competenti. In alternativa dovrà essere in possesso di un “Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego” rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture, sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- C) Materiali e prodotti per i quali non siano disponibili norme armonizzate (ovvero le stesse ricadano nel periodo di coesistenza), per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle norme tecniche nazionali (ad es. il D.M. 14/01/2008). E' fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il Produttore abbia volontariamente optato per la marcatura CE.

Per quanto attiene all'accettazione (lettera c)), il Direttore dei Lavori dovrà:

- per i prodotti soggetti a marcatura CE (caso A) e caso B) con ETA), accertarsi del possesso dei documenti e dei requisiti prescritti dal CPR ed altresì verificare che i prodotti effettivamente pervenuti in cantiere siano riconducibili in modo certo ed univoco ai predetti requisiti e documentazione;
- per i prodotti non recanti la marcatura CE, accertarsi del possesso e del regime di validità dell'Attestato di Qualificazione (caso C)) o del Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (caso B) senza ETA);
- per i prodotti (strutturali) non tradizionali o non trattati nelle norme tecniche vigenti, accertarsi che sia per essi presente l'autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale, su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che riguarderà l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte, sulla base di procedure definite dallo stesso Servizio Tecnico Centrale.

In generale, per l'accettazione e le ulteriori verifiche (lettere c) e d)) il Direttore dei Lavori dovrà effettuare i controlli sui prodotti prescritti dalle norme cogenti e potrà effettuare quelli ritenuti necessari per valutare l'idoneità dei prodotti all'impiego, a suo insindacabile giudizio, sentito eventualmente il Progettista.

Ai fini della marcatura CE (vedere anche il punto specifico del presente Capitolato), nel caso A), le attività di certificazione, ispezione, prove su materiali e prodotti, ecc., dovranno essere eseguite dai soggetti previsti nel relativo sistema di valutazione delle prestazioni e di verifica della costanza delle prestazioni⁽¹⁾, ai sensi del CPR. Saranno comunque eseguite in generale, a seconda delle specifiche procedure applicabili e come specificato eventualmente nel seguito, da:

- laboratori di prova notificati ai sensi dell'art. 18 della Direttiva n. 89/106/CEE;
- laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001;
- altri laboratori dotati di adeguata competenza ed idonee attrezzature, appositamente abilitati dal Servizio Tecnico Centrale.

Qualora si tratti di prove ed accertamenti non riconducibili a tali laboratori (ad es. analisi chimiche, tossicologiche, ambientali, ecc.) o, per qualche inderogabile motivo compatibile con le leggi vigenti, non sia possibile avvalersi di laboratori ufficiali, la Direzione Lavori potrà disporre l'effettuazione presso laboratori di propria fiducia.

Inoltre, ai sensi del citato D.P.R. 207/2010 (art. 167):

- 1) I materiali e i componenti, ancorché provenienti da località o fabbriche di convenienza dell'Appaltatore, devono corrispondere alle prescrizioni del presente Capitolato ed essere della migliore qualità: possono essere messi in opera solamente dopo l'accettazione da parte del Direttore dei Lavori; in caso di controversia, si procede ai sensi dell'articolo 164 del citato D.P.R. 207/2010;
- 2) L'accettazione dei materiali e dei componenti è definitiva solo dopo la loro posa in opera. Il Direttore dei Lavori può rifiutare in qualunque tempo i materiali e i componenti deperiti dopo la introduzione in cantiere, o che per qualsiasi causa non fossero conformi alle caratteristiche tecniche risultanti dai documenti allegati al contratto; in questo ultimo caso l'Appaltatore deve rimuoverli dal cantiere e sostituirli con altri a sue spese;
- 3) Ove l'Appaltatore non effettui la rimozione nel termine prescritto dal Direttore dei Lavori, la Stazione Appaltante può provvedervi direttamente a spese dell'Appaltatore, a carico del quale resta anche qualsiasi onere o danno che possa derivargli per effetto della rimozione eseguita d'ufficio;
- 4) Anche dopo l'accettazione e la posa in opera dei materiali e dei componenti da parte dell'Appaltatore, restano fermi i diritti e i poteri della Stazione Appaltante in sede di collaudo.
- 5) L'Appaltatore che di sua iniziativa abbia impiegato materiali o componenti di caratteristiche superiori a quelle prescritte nei documenti contrattuali, o eseguito una lavorazione più accurata, non ha diritto ad aumento dei prezzi e la contabilità è redatta come se i materiali avessero le caratteristiche stabilite;
- 6) Nel caso sia stato autorizzato, per ragioni di necessità o convenienza, da parte del Direttore dei Lavori, l'impiego di materiali o componenti aventi qualche carenza nelle dimensioni, nella consistenza o nella qualità, ovvero sia stata autorizzata una lavorazione di minor pregio, verrà applicata una adeguata riduzione del prezzo in sede di contabilizzazione, sempre che l'opera sia accettabile senza pregiudizio e salve le determinazioni definitive dell'Organo di Collaudo;
- 7) Gli accertamenti di laboratorio e le verifiche tecniche, obbligatori ovvero specificamente previsti dal presente Capitolato, sono disposti dalla Direzione dei Lavori o dall'Organo di Collaudo, imputando la spesa a carico delle somme a disposizione accantonate a tale titolo nel quadro economico. Per le stesse prove la Direzione dei Lavori provvede al prelievo del relativo campione ed alla redazione di apposito verbale di prelievo; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali deve riportare espresso riferimento a tale verbale;
- 8) La Direzione dei Lavori o l'Organo di Collaudo possono disporre ulteriori prove ed analisi ancorché non prescritte dal presente Capitolato, ma ritenute necessarie per stabilire l'idoneità dei materiali o dei componenti. Le relative spese sono poste a carico dell'Appaltatore.

I campioni per le prove saranno per quanto possibile individuati e/o prelevati in contraddittorio. Degli stessi potrà essere ordinata la conservazione nei locali indicati dalla Direzione Lavori, previa apposizione di sigilli e firme del Direttore Lavori e dell'Appaltatore e nei modi più adatti a garantirne l'autenticità e la conservazione.

⁽¹⁾ Per la valutazione della conformità e per tutte le procedure che coinvolgono gli organismi valutatori e certificatori come "terze parti indipendenti", ovvero "organismi notificati" (NB: *Notified Bodies*) ed il loro accreditamento, si faccia riferimento, oltre che al CPR (Capo VII), alle norme in vigore delle serie UNI CEI EN 45000 e UNI CEI EN ISO/IEC 17000.

La scelta di un tipo di materiale nei confronti di uno alternativo, o tra diversi tipi dello stesso materiale, quando ciò non risulti in modo inequivocabile dagli elaborati di progetto, sarà fatta di volta in volta dalla Direzione Lavori.

3.2. Vizi di costruzione

Qualora la Direzione Lavori, dopo espletamento delle opportune verifiche in contraddittorio con l'Appaltatore - che questi non può esimersi dall'eseguire - accerti l'esistenza di vizi di costruzione, le spese per le verifiche stesse, per l'eliminazione dei vizi ed ogni altra ad essi conseguente, saranno a carico dell'Appaltatore.

L'Appaltatore deve pertanto demolire e ricostruire a proprie spese le opere o ripetere le lavorazioni che il Direttore Lavori abbia accertato recare vizi di costruzione o essere eseguite senza la necessaria diligenza o con materiali diversi da quelli prescritti contrattualmente, in altre parole che siano accertate dalla Direzione Lavori come "non conformi".

Ove l'Appaltatore non effettui la demolizione, rimozione delle materie di risulta non riutilizzabili e ricostruzione delle opere o la ripetizione delle lavorazioni nel termine prescritto dal Direttore dei Lavori, la Stazione Appaltante può provvedervi direttamente a spese dell'Appaltatore, a carico del quale resta anche qualsiasi onere o danno che possa derivargli per effetto di tali operazioni d'ufficio

3.3. Non Conformità

Qualora ciò sia contrattualmente previsto o qualora questa procedura sia istituita dalla Direzione Lavori o dalla Stazione Appaltante, previa informazione all'Appaltatore, la stessa Direzione Lavori potrà rilevare, utilizzando eventualmente un apposito modulo, le cosiddette "Non Conformità (NC)", ovvero significativi scostamenti rispetto alle prescrizioni contrattuali nei materiali, nelle forniture e nel loro impiego, ovvero nelle varie lavorazioni o nelle caratteristiche delle opere realizzate (in tutto o in parte).

Le lavorazioni o forniture interessate da "Non Conformità" non verranno contabilizzate, fino a quando il Direttore dei Lavori le dichiarerà "chiusa", attestando la loro intervenuta risoluzione. Le "Non Conformità" che non troveranno risoluzione potranno senz'altro comportare, a discrezione della Direzione Lavori, il rifiuto delle forniture e la demolizione delle opere non conformi.

3.4. Macchine, quasi-macchine e insiemi di macchine

Le "macchine", le "quasi-macchine" e gli "insiemi di macchine" impiegati per le lavorazioni, fatte salve le esclusioni espressamente previste, devono rispettare le norme di cui al D.Lgs. 27/01/2010 n. 17, che recepisce la Direttiva Europea 2006/42/CE del 17/05/2006.

Tale Direttiva sostituisce la precedente 98/37/CE, che si riferiva a tutti i tipi di macchinario e ai loro componenti di sicurezza messi isolatamente sul mercato. La nuova norma si applica ai seguenti prodotti: macchine; attrezzature intercambiabili; componenti di sicurezza; accessori di sollevamento; catene, funi e cinghie; dispositivi amovibili di trasmissione meccanica; quasi-macchine (insiemi che costituiscono quasi una macchina ma che, da soli, non sono in grado di garantire un'applicazione ben determinata - ad es. un sistema di azionamento - unicamente destinati ad essere incorporati o assemblati ad altre macchine o ad altre quasi-macchine o apparecchi per costituire una macchina).

La stessa definisce i requisiti essenziali in materia di sicurezza e salute ai quali devono rispondere i prodotti sopra indicati in occasione della loro fabbricazione e prima della loro immissione sul mercato. La conformità ai suddetti requisiti è quindi presunta allorché sia presente all'atto dell'utilizzo la marcatura CE di tali prodotti, corredata dalla prescritta documentazione.

Per tutte le altre macchine e attrezzature sarà sufficiente redigere e conservare un fascicolo tecnico in accordo con quanto riportato nell'allegato del D.Lgs. 17/2010.

I prodotti di cui sopra non rispondenti ai requisiti della norma non potranno essere utilizzati e dovranno essere allontanati prima possibile dal cantiere.

3.5. Caratteristiche dei principali materiali e sistemi

3.5.1. Generalità

I materiali e sistemi⁽¹⁾ da utilizzare, sia nei siti e nelle fabbriche di produzione delle opere prefabbricate e dei semilavorati, sia in cantiere, dovranno trovarsi, al momento del loro uso, in perfetto stato di conservazione ed idonei all'impiego previsto.

Di seguito si riportano le caratteristiche richieste per i principali materiali e sistemi, tenendo conto che l'elenco non può considerarsi esaustivo, che ulteriori specificazioni per gli stessi materiali e sistemi o per materiali e sistemi non riportati nel presente paragrafo si possono reperire nei capitoli successivi del presente Capitolato e che, sia per i materiali, sia per le loro caratteristiche, deve farsi riferimento ai principi generali precedentemente riportati.

Anche l'elencazione delle normative è per ovvi motivi parziale, limitandosi qui generalmente all'indicazione di quelle principali. In questo contesto di solito le norme europee armonizzate assumono il ruolo di "norme quadro", che a loro volta ne richiamano altre e queste altre ancora e così via fino a formare, per ciascun prodotto, il "corpus" normativo completo.

Le norme europee armonizzate sono in questo articolo evidenziate in **grassetto** e sono tutte riportate nello specifico documento in Appendice. Le norme indicate con il solo numero sono della tipologia (UNI EN, UNI CEN/TS, UNI, ecc. precedentemente indicata).

Per quanto riguarda le opere interagenti con la rete ferroviaria, dovranno essere osservate anche le pertinenti norme ferroviarie emanate da Rete Ferroviaria Italiana (RFI).

3.5.2. Acqua di impasto per la realizzazione di miscele

Proverrà da origini ben definite, che diano acqua di caratteristiche costanti. Sono ammesse come acqua di impasto per i conglomerati cementizi l'acqua potabile, l'acqua proveniente da depuratori delle acque di aggettamento di cantiere, l'acqua di riciclo degli impianti di betonaggio, qualora rispondenti ai requisiti di cui alla norma UNI EN 1008.

Sono escluse le acque provenienti da scarichi (industriali ecc.).

L'acqua di impasto dovrà avere un contenuto in sali disciolti inferiore a 1 g per litro. La quantità di materiale inorganico in sospensione dovrà essere inferiore a 2 g/l; la quantità di sostanze organiche (COD: *chemical oxygen demand*) inferiore a 0,1 g/l.

L'acqua dovrà essere aggiunta nella quantità prescritta per ciascuna miscela qualificata in relazione al tipo di conglomerato cementizio, tenendo conto delle condizioni di umidità e dell'assorbimento negli aggregati.

3.5.3. Cementi

Saranno impiegati esclusivamente cementi provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 197-1** (cementi comuni), UNI EN 413-1 (da muratura), UNI 9156 (resistenti ai solfati), UNI 9606 (resistenti al dilavamento della calce), UNI EN 14216 (a basso calore di idratazione), UNI EN 14647 (alluminosi), UNI EN 15743 (sovrasolfatati) e con prove eseguite secondo le norme UNI EN 196, 413, UNI CEN/TR 15697, UNI 10397.

3.5.4. Calci

Saranno impiegate esclusivamente calci da costruzione (aeree o idrauliche) provviste di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 459-1** (definizioni, specifiche e criteri di conformità), 459-2 (metodi di prova), 459-3 (valutazione della conformità).

3.5.5. Aggregati per opere in terra

Saranno impiegati esclusivamente aggregati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 13055-2** (aggregati leggeri per miscele bituminose, trattamenti superficiali e per applicazioni in strati legati e non legati), **13242** (aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade), 13285 (miscele non legate: specifiche).

⁽¹⁾ Si intende qui per "sistema" un insieme di componenti prefabbricati interconnessi tra di loro e con l'ambiente esterno, progettato per comportarsi in modo unitario al fine di perseguire obiettivi prestazionali prefissati, secondo specifiche regole.

Per ulteriori specificazioni vedere l'articolo riguardante i rilevati.

3.5.6. Aggregati per malte e calcestruzzi

Saranno impiegati esclusivamente aggregati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 12620** (aggregati per calcestruzzo), UNI 8520-1 e 8520-2 (istruzioni per l'applicazione della UNI EN 12620), **UNI EN 13055-1** (aggregati leggeri), **UNI EN 13139** e 11320 (aggregati per malte), **13242** (aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici) e con prove eseguite secondo le norme UNI EN 932, 933, 1097, 1367, 1744, 1936, 11013.

3.5.7. Additivi chimici e meccanici per malte e calcestruzzi

3.5.7.1. Generalità

Si possono suddividere in:

- additivi propriamente detti (chimici);
- additivi meccanici (fibre), che possono ulteriormente dividersi, quanto a geometria, in “macrofibre” (lunghezza 25-65 mm, spessore 0.2-0.8 mm) e “microfibre” (lunghezza 0.8-50 mm, spessore < 0.1 mm) e quanto a materiale, possono essere in acciaio, in materiale polimerico o in materiale inorganico (carbonio, vetro).

3.5.7.2. Additivi chimici

Saranno impiegati per il confezionamento di calcestruzzi, malte da muratura e malte per iniezione, esclusivamente additivi provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 480** (parti 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14: additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - metodi di prova), 934-1 (requisiti comuni), **934-2** (additivi per calcestruzzo), **934-3** (additivi per malte per opere murarie), **934-4** (additivi per malta per cavi di precompressione), **934-5** (additivi per calcestruzzo proiettato), 934-6 (campionamento e controlli).

3.5.7.3. Additivi meccanici (fibre)

Per quanto riguarda questi particolari additivi, in forma solida, le “macrofibre” sono soprattutto in grado di determinare un miglioramento delle prestazioni del calcestruzzo allo stato indurito e quindi delle sue caratteristiche meccaniche significative ai fini strutturali (resistenza, tenacità, comportamento a fatica), mentre le “microfibre” sono particolarmente efficaci ai fini del controllo della fessurazione allo stato plastico (per ritiro, variazioni termiche, coazioni).

In base a quanto sopra, ai fini degli impieghi strutturali, hanno molta più importanza le macrofibre, le quali agiscono principalmente in due modi: incrementando la resistenza delle sezioni già fessurate (*tension softening* o *tension hardening* – v. figura) e la capacità di trasmissione degli sforzi dal calcestruzzo alle barre di armatura (*tension stiffening*).

Per la preparazione del calcestruzzo strutturale fibrorinforzato (FRC) saranno impiegate unicamente fibre provviste di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Le fibre stesse, i prodotti semilavorati ed i loro impieghi dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 1916** (tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali), 14487-1 (calcestruzzo proiettato: definizioni, specificazioni e conformità), 14487-2 (calcestruzzo proiettato: esecuzione), 14488 (calcestruzzo proiettato: prova di aderenza per trazione diretta sulle carote), 14650 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: regole generali per il controllo di produzione in fabbrica del calcestruzzo con fibre di acciaio), 14721 (metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche: misurazione del contenuto di fibre nel calcestruzzo fresco e nel calcestruzzo indurito), **14889-1** (fibre di acciaio), **14889-2** (fibre polimeriche), UNI 11037 (fibre di acciaio), 11188 (elementi strutturali di calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio: progettazione, esecuzione e controllo), CNR-DT 204/2006 rev. 04/02/2008 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di strutture in calcestruzzo fibrorinforzato).

Per quanto riguarda le prove ed altri riferimenti internazionali, se ne riporta di seguito un sommario elenco:

- RILEM, 2001, *Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: uniaxial tension test for steel fibre reinforced concrete*;
- RILEM TC 162-TDF *Recommendations, Materials and Structures*;
- RILEM, 2000, *Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: beam test*;
- Documenti dell'*ACI Committee 544, Fiber-Reinforced Concrete*;
- JCI, 1984, *Method of tests for flexural strength and flexural toughness of fiber reinforced concrete*;

- JCI Standard SF-4, *JCI Standards for test methods of fiber reinforced concrete*;
- ASTM C1609-10, *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*;
- ASTM C1399-10, *Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete*;
- ASTM C1550-10a, *Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber-Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)*.

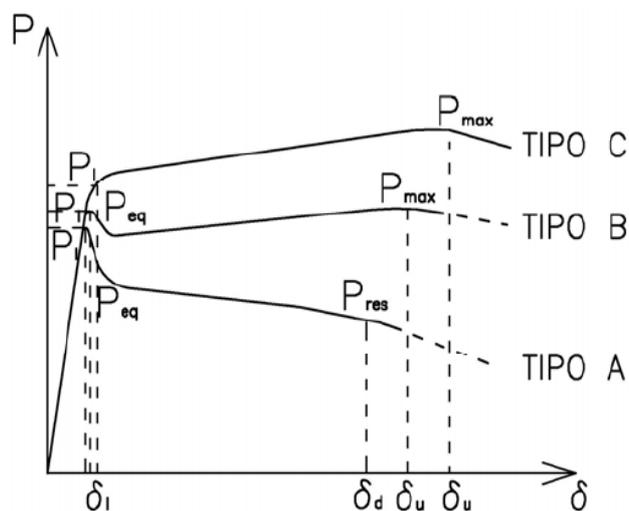


Diagramma P- δ da prova di trazione o flessione su provino in FRC.

Significato dei simboli: δ = deformazione imposta al provino, P = carico corrisp. a δ , P_1 = carico di prima fessurazione, δ_1 = deformazione alla prima fessurazione, P_{eq} = carico post-picco equivalente (al netto della resistenza a trazione del materiale che incorpora le fibre), δ_d = deformazione di calcolo, P_{res} = carico residuo, P_{max} = carico massimo raggiunto dopo fessurazione, δ_u = deformazione corrispondente a P_{max} .

Curva tipo A: comportamento degradante (*tension softening*)

Curva tipo B: comportamento includente (*tension hardening*)

Curva tipo C: comportamento sovraresistente (*over-resistance*)

3.5.8. Aggregati per sovrastrutture stradali e conglomerati bituminosi

Saranno impiegati esclusivamente aggregati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 13043** (aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali), **13242** (aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici), **13285** (aggregati per miscele non legate), con prove eseguite secondo le norme UNI EN 932, 933, 1097, 1367, 1744, 1936, 13179.

3.5.9. Pietre naturali e pietre da taglio

Saranno impiegate esclusivamente pietre naturali provviste di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: UNI/TR 11351 (istruzioni complementari per marcatura CE), **UNI EN 771-6** (elementi per muratura), **845-2** (architravi in vari materiali), **1341** (lastre per pavimentazioni esterne), **1342** (cubetti per pavimentazioni esterne), **1343** (cordoli per pavimentazioni esterne), **1467** (blocchi grezzi), **1468** (lastre grezze), **1469** (lastre per rivestimenti), **12057** (marmette modulari), **12058** (lastre per pavimentazioni e per scale), **12059** (lavori a massello), **12440** (denominazione), **12670** (terminologia), con prove eseguite secondo le norme UNI EN 1925, 1926, 1936, 12370, 12371, 12372, 12407, 13161, 13364, 13373, 13639, 13755, 14066, 14146, 14147, 14157, 14158, 14205, 14231, 14579, 14580, 14581, 16140.

3.5.10. Materiali laterizi

Saranno impiegati esclusivamente prodotti in laterizio provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 771-1** (elementi per murature), **1024** e **1304** (tegole e relativi accessori), **1344** (elementi per pavimentazioni), **1806** (camini a parete singola), **13084-5** (mattoni per condotti interni di ciminiera), **15037-3** (blocchi per solai), UNI 9460 (tegole), 9730-1 e 9730-2 (elementi per solai), 11128 (tavelloni, tavelle e tavelline), con prove eseguite secondo le norme UNI EN 538, 539-1, 539-2, 772-3, 772-5, 772-7, 772-9, 772-11, 772-19, 772-21, 1344, 1806, 14437, 15087, 15209, UNI CEN/TS 772-22, UNI 8635-14, 8635-16, 9730-3.

3.5.11. Argilla espansa

Per quanto riguarda il suo impiego come prodotto sfuso per il confezionamento in sito di isolanti termici, sarà impiegata esclusivamente argilla espansa provvista di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovrà in particolare essere conforme alle norme: **UNI EN 14063-1** (argilla espansa sfusa per prodotti fabbricati in sito). Per

l'impiego come aggregato leggero nelle miscele di conglomerato bituminoso il materiale dovrà essere conforme alla norma UNI 11298, per analogo impiego ma nel confezionamento delle miscele di calcestruzzo, il materiale dovrà essere conforme alle norme UNI 7548-1, 7548-2 e 11013.

3.5.12. Blocchi prefabbricati in calcestruzzo vibrocompresso

Saranno impiegati esclusivamente elementi prefabbricati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alla norma **UNI EN 771-3** (blocchi per muratura in calcestruzzo vibrocompresso). Inoltre dovranno soddisfare i seguenti ulteriori requisiti:

Lo spessore minimo delle costole perimetrali non deve essere minore di 1,5 volte la massima dimensione dell'aggregato utilizzato.

La resistenza a rottura degli elementi dovrà essere almeno pari a:

- 8 MPa per i blocchi in calcestruzzo non alleggerito aventi funzione portante;
- 3 MPa per i blocchi in calcestruzzo alleggerito aventi funzione portante.

La foratura dei blocchi (verticale) dovrà essere non maggiore del:

- 60%, nel caso di blocchi non aventi funzione portante;
- 35%, nel caso di blocchi aventi funzione portante.

3.5.13. Altri elementi prefabbricati in calcestruzzo e simili

Saranno impiegati esclusivamente elementi prefabbricati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

Dovranno in particolare essere conformi alle seguenti norme:

Elemento	Norme europee armonizzate
Tegole:	UNI EN 490 (tegole di calcestruzzo e relativi accessori per coperture e rivestimenti murari: specifiche di prodotto);
Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato:	UNI EN 771-4 (specifica per elementi per muratura: elementi di calcestruzzo aerato autoclavato per muratura);
Pietra artificiale:	UNI EN 771-5 (specifica per elementi per muratura: elementi di pietra agglomerata per muratura);
Lastre alveolari:	UNI EN 1168 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: lastre alveolari);
Pavimentazioni:	UNI EN 1338 (masselli di calcestruzzo per pavimentazione: requisiti e metodi di prova), UNI EN 1339 (lastre di calcestruzzo per pavimentazione: requisiti e metodi di prova), 12737 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: lastre per pavimentazioni di stalle);
Cordonati:	UNI EN 1340 (cordoli di calcestruzzo: requisiti e metodi di prova);
Componenti in calcestruzzo alleggerito:	UNI EN 1520 (componenti prefabbricati armati di calcestruzzo alleggerito con struttura aperta, con armatura strutturale o non-strutturale);
Camini:	UNI EN 1857 (camini – componenti: condotti fumari di calcestruzzo), 1858 (camini – componenti: blocchi di calcestruzzo), 12446 (camini – componenti: elementi esterni di calcestruzzo);
Tubi e relativi raccordi:	UNI EN 1916 (tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali);
Pozzetti:	UNI EN 1917 (pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali);
Fondazioni:	UNI EN 12794 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: pali di fondazione), 14991 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi di fondazione);
Recinzioni:	UNI EN 12839 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi per recinzioni);
Antenne e pali:	UNI EN 40-4 (pali per illuminazione pubblica: requisiti per pali per illuminazione di calcestruzzo armato e precompresso), 12843 (prodotti prefabbricati

Elemento	Norme europee armonizzate
	di calcestruzzo: antenne e pali);
Solai:	UNI EN 13224 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi nervati per solai), 15037-1 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: travetti), 15037-2 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di calcestruzzo), 15037-3 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di laterizio), 15037-4 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di polistirene espanso) ;
Travi e pilastri per edifici:	UNI EN 13225 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo:: elementi strutturali lineari);
Elementi speciali per coperture:	UNI EN 13693 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi speciali per coperture);
Particolari edifici prefabbricati:	UNI EN 13978-1 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - garage prefabbricati di calcestruzzo: requisiti per garage di calcestruzzo armato realizzati con elementi monolitici o composti da elementi singoli a tutta dimensione);
Scale:	UNI EN 14843 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: scale);
Scatolari:	UNI EN 14844 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi scatolari);
Pareti:	UNI EN 14992 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi di parete – proprietà e prestazioni di prodotto);
Ponti:	UNI EN 15050 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi da ponte);
Muri di sostegno:	UNI EN 15258 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi per muri di sostegno);
Casserature:	UNI EN 15435 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito: proprietà e prestazioni dei prodotti), 15498 (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - blocchi cassero di calcestruzzo con truciol di legno: proprietà e prestazioni dei prodotti).

3.5.14. Protezione e riparazione del calcestruzzo

Saranno impiegati esclusivamente sistemi e prodotti per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 1504-1** (definizioni), **1504-2** (sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo), **1504-3** (riparazione strutturale e non strutturale), **1504-4** (incollaggio strutturale), **1504-5** (iniezione del calcestruzzo), **1504-6** (ancoraggio dell'armatura di acciaio), **1504-7** (protezione contro la corrosione delle armature), **1504-8** (controllo di qualità e valutazione della conformità), **1504-9** (principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi), **1504-10** (applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori).

3.5.15. Acciaio

3.5.15.1. Generalità

Tutti gli acciai devono essere dotati di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo, fatta eccezione per i casi di assenza di norma armonizzata. In tali casi gli acciai dovranno comunque essere conformi alle norme vigenti, con particolare riferimento al D.M. 14/01/2008 ed alle prescrizioni generali di cui al presente Capitolato.

Per quanto riguarda i ponti ferroviari o scavalcanti ferrovie, dovranno essere osservate anche le norme ferroviarie RFI-DIN-INC-MA-PO-00-001-C "Manuale di progettazione dei ponti", integrato con la RFI-DTC-INC-SP-IFS-002-A, specifica per i cavalcaferrovie.

Per comodità si riportano stralci delle prescrizioni generali di cui al D.M. citato.

Controlli

Le presenti norme prevedono tre forme di controllo obbligatorie:

- in stabilimento di produzione, da eseguirsi sui lotti di produzione;

- nei centri di trasformazione, da eseguirsi sulle forniture;
- di accettazione in cantiere, da eseguirsi sui lotti di spedizione.

A tale riguardo valgono le seguenti definizioni:

- Lotti di produzione: si riferiscono a produzione continua, ordinata cronologicamente mediante apposizione di contrassegni al prodotto finito (rotolo finito, bobina di trefolo, fascio di barre, ecc.). Un lotto di produzione deve avere valori delle grandezze nominali omogenee (dimensionali, meccaniche, di formazione) e può essere compreso tra 30 e 120 tonnellate;
- Forniture: sono lotti formati da massimo 90 t, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee;
- Lotti di spedizione: sono lotti formati da massimo 30 t, spediti in un'unica volta, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee.

Controlli di produzione in stabilimento e procedure di qualificazione

Tutti gli acciai oggetto delle presenti norme, siano essi destinati ad utilizzo come armature per cemento armato ordinario o precompresso o ad utilizzo diretto come carpenterie in strutture metalliche devono essere prodotti con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione.

Fatto salvo quanto disposto dalle norme europee armonizzate, ove applicabili, il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che operi in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021.

Ai fini della certificazione del sistema di gestione della qualità del processo produttivo il produttore e l'organismo di certificazione di processo potranno fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle relative norme UNI EN disponibili (es. UNI EN 10080, 10025, 10210, 10219).

Quando non sia applicabile la marcatura CE, la valutazione della conformità del controllo di produzione in stabilimento e del prodotto finito è effettuata prioritariamente con le modalità definite al punto 3.1, lettera c) del presente Capitolato o comunque attraverso la procedura di qualificazione presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti indicata nel D.M. 14/01/2008, che ha termine con il rilascio dell'Attestato di Qualificazione (valido 5 anni), condizione necessaria per l'immissione del prodotto sul mercato. Tale attestato deve essere poi mantenuto seguendo le modalità pure ivi indicate.

Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità.

Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi da quelli di prodotti aventi differenti caratteristiche, ma fabbricati nello stesso stabilimento e con identificativi differenti da quelli di prodotti con uguali caratteristiche ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso produttore. La marchiatura deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

Per stabilimento si intende una unità produttiva a sé stante, con impianti propri e magazzini per il prodotto finito. Nel caso di unità produttive multiple appartenenti allo stesso produttore, la qualificazione deve essere ripetuta per ognuna di esse e per ogni tipo di prodotto in esse fabbricato.

Considerata la diversa natura, forma e dimensione dei prodotti, le caratteristiche degli impianti per la loro produzione, nonché la possibilità di fornitura sia in pezzi singoli sia in fasci, differenti possono essere i sistemi di marchiatura adottati, anche in relazione all'uso, quali ad esempio l'impressione sui cilindri di laminazione, la punzonatura a caldo e a freddo, la stampigliatura a vernice, la targhettatura, la sigillatura dei fasci e altri. Permane comunque l'obbligatorietà del marchio di laminazione per quanto riguarda barre e rotoli.

Comunque, per quanto possibile, anche in relazione all'uso del prodotto, il produttore è tenuto a marciare ogni singolo pezzo. Ove ciò non sia possibile, per la specifica tipologia del prodotto, la marchiatura deve essere tale che prima dell'apertura dell'eventuale ultima e più piccola confezione (fascio, bobina, rotolo, pacco, ecc.) il prodotto sia riconducibile al produttore, al tipo di acciaio nonché al lotto di produzione e alla data di produzione.

Tenendo presente che l'elemento determinante della marchiatura è costituito dalla sua inalterabilità nel tempo e, dalla impossibilità di manomissione, il produttore deve rispettare le modalità di marchiatura dichiarate nella documentazione presentata al Servizio Tecnico Centrale e deve comunicare tempestivamente eventuali modifiche apportate.

La mancata marchiatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile.

Qualora, sia presso gli utilizzatori, sia presso i commercianti, l'unità marchiata (pezzo singolo o fascio) venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità sia degli utilizzatori sia dei commercianti documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale.

Nel primo caso i campioni destinati al laboratorio incaricato delle prove di cantiere devono essere accompagnati dalla sopraindicata documentazione e da una dichiarazione di provenienza rilasciata dal Direttore dei Lavori, quale risulta dai documenti di accompagnamento del materiale.

I produttori ed i successivi intermediari devono assicurare una corretta archiviazione della documentazione di accompagnamento dei materiali garantendone la disponibilità per almeno 10 anni. Ai fini della rintracciabilità dei prodotti, il costruttore deve inoltre assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marchiature o etichette di riconoscimento, fino al completamento delle operazioni di collaudo statico.

Eventuali disposizioni supplementari atte a facilitare l'identificazione e la rintracciabilità del prodotto attraverso il marchio possono essere emesse dal Servizio Tecnico Centrale.

Tutti i certificati relativi alle prove meccaniche degli acciai, sia in stabilimento che in cantiere o nel luogo di lavorazione, devono riportare l'indicazione del marchio identificativo, rilevato a cura del laboratorio incaricato dei controlli, sui campioni da sottoporre a prove. Ove i campioni fossero sprovvisti di tale marchio, oppure il marchio non dovesse rientrare fra quelli depositati presso il Servizio Tecnico Centrale le certificazioni emesse dal laboratorio non possono assumere valenza ai sensi delle presenti Norme e di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

In tal caso il materiale non può essere utilizzato ed il Laboratorio incaricato è tenuto ad informare di ciò il Servizio Tecnico Centrale.

Forniture e documentazione di accompagnamento

Tutte le forniture di acciaio, per le quali non sussista l'obbligo della marcatura CE, devono essere accompagnate dalla copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale.

L'attestato può essere utilizzato senza limitazione di tempo.

Il riferimento a tale attestato deve essere riportato sul documento di trasporto.

Le forniture effettuate da un commerciante intermedio devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal Produttore e completati con il riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso.

Il Direttore dei Lavori prima della messa in opera, è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture non conformi, ferme restando le responsabilità del produttore.

Prove di qualificazione e verifiche periodiche della qualità

I laboratori incaricati, di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, devono operare secondo uno specifico piano di qualità approvato dal Servizio Tecnico Centrale.

I certificati di prova emessi dovranno essere uniformati ad un modello standard elaborato dal Servizio Tecnico Centrale.

I prelievi in stabilimento sono effettuati, ove possibile, dalla linea di produzione.

Le prove possono essere effettuate dai tecnici del laboratorio incaricato, anche presso lo stabilimento del produttore, qualora le attrezzature utilizzate siano tarate e la loro idoneità sia accertata e documentata. Di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione nel rapporto di prova nel quale deve essere presente la dichiarazione del rappresentante del laboratorio incaricato relativa all'idoneità delle attrezzature utilizzate.

In caso di risultato negativo delle prove il Produttore deve individuare le cause e apportare le opportune azioni correttive, dandone comunicazione al Laboratorio incaricato e successivamente ripetere le prove di verifica.

Le specifiche per l'effettuazione delle prove di qualificazione e delle verifiche periodiche della qualità, ivi compresa la cadenza temporale dei controlli stessi, sono riportate nei paragrafi specifici del D.M. citato.

Centri di trasformazione

Si definisce Centro di trasformazione un impianto esterno alla fabbrica e/o al cantiere, fisso o mobile, che riceve dal produttore di acciaio elementi base (barre o rotoli, reti, lamiere o profilati, profilati cavi, ecc.) e confeziona elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni.

Il Centro di trasformazione può ricevere e lavorare solo prodotti qualificati all'origine, accompagnati dalla documentazione prevista.

Particolare attenzione deve essere posta nel caso in cui nel centro di trasformazione, vengano utilizzati elementi base, comunque qualificati, ma provenienti da produttori differenti, attraverso specifiche procedure documentate che garantiscano la rintracciabilità dei prodotti.

Il trasformatore deve dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di assicurare che le lavorazioni effettuate non comportino alterazioni tali da compromettere le caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti originari previste dalle presenti norme.

Il sistema di gestione della qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che operi in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021.

Tutti i prodotti forniti in cantiere dopo l'intervento di un trasformatore devono essere accompagnati da idonea documentazione, specificata nel seguito, che identifichi in modo inequivocabile il centro di trasformazione stesso.

I centri di trasformazione sono identificati, ai sensi delle vigenti norme, come "luogo di lavorazione" e, come tali, sono tenuti ad effettuare una serie di controlli atti a garantire la permanenza delle caratteristiche, sia meccaniche che geometriche, del materiale originario. I controlli devono essere effettuati secondo le disposizioni riportate nel D.M. citato, per ciascuna tipologia di acciaio lavorato.

Nell'ambito del processo produttivo deve essere posta particolare attenzione ai processi di piegatura e di saldatura. In particolare il Direttore Tecnico del centro di trasformazione deve verificare, tramite opportune prove, che le piegature e le saldature, anche nel caso di quelle non resistenti, non alterino le caratteristiche meccaniche originarie del prodotto. Per i processi sia di saldatura che di piegatura, si potrà fare utile riferimento alla normativa europea applicabile.

Per quanto sopra, è fatto obbligo a tali centri di nominare un Direttore Tecnico dello stabilimento che opererà secondo il disposto dell'art. 64, comma 3, del DPR 380/01.

I centri di trasformazione sono tenuti a dichiarare al Servizio Tecnico Centrale la loro attività, indicando l'organizzazione, i procedimenti di lavorazione, le massime dimensioni degli elementi base utilizzati, nonché fornire copia della certificazione del sistema di gestione della qualità che sovrintende al processo di trasformazione. Ogni centro di trasformazione dovrà inoltre indicare un proprio logo o marchio che identifichi in modo inequivocabile il centro stesso. Nella dichiarazione deve essere indicato l'impegno ad utilizzare esclusivamente elementi di base qualificati all'origine. Alla dichiarazione deve essere allegata la nota di incarico al Direttore Tecnico del centro di trasformazione, controfirmata dallo stesso per accettazione ed assunzione delle responsabilità, ai sensi delle presenti norme, sui controlli sui materiali.

Il Servizio Tecnico Centrale attesta l'avvenuta presentazione della dichiarazione di cui sopra, che deve essere riconfermata annualmente, con allegata una dichiarazione attestante che nulla è variato rispetto al precedente deposito, ovvero siano descritte le avvenute variazioni.

Ogni fornitura in cantiere di elementi presaldati, presagomati o preassemblati deve essere accompagnata:

- da dichiarazione, su documento di trasporto, degli estremi dell'attestato di avvenuta dichiarazione di attività, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;
- dall'attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno fatte eseguire dal Direttore Tecnico del centro di trasformazione, con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Qualora il Direttore dei Lavori lo richieda, all'attestazione di cui sopra potrà seguire copia dei certificati relativi alle prove effettuate nei giorni in cui la lavorazione è stata effettuata.

Il Direttore dei Lavori è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture non conformi, ferme restando le responsabilità del centro di trasformazione. Della documentazione di cui sopra dovrà prendere atto il collaudatore, che riporterà, nel Certificato di collaudo, gli estremi del centro di trasformazione che ha fornito l'eventuale materiale lavorato.

3.5.15.2. Acciaio ordinario per barre di armatura del calcestruzzo

Norme da osservare

E' ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili ad aderenza migliorata qualificati e controllati con le modalità previste dal D.M. 14/01/2008 e dalla norma UNI EN 10080 (di recente ritirata dall'elenco delle norme armonizzate europee). E' un importante riferimento anche la norma UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2). Le caratteristiche meccaniche saranno accertate in conformità alle norme UNI EN 15630-1 (acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - metodi di prova: barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato), 15630-2 (acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - metodi di prova: reti saldate), UNI EN ISO 6892-1 (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura ambiente), 6892-2 (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura elevata).

Tipi impiegabili

Oltre agli acciai inossidabili ed agli acciai da zincare a caldo indicati più avanti, è impiegabile unicamente acciaio saldabile, qualificato ai sensi delle vigenti norme, delle classi B450C e B450A, fornito in barre o rotoli, oppure in tralicci e reti elettrosaldate, e sempre ad aderenza migliorata. Tali classi devono essere impiegate:

- la classe B450C, per barre laminate a caldo con diametro nominale compreso tra 6 e 40 mm;
- la classe B450A, per barre trafilate a freddo con diametro nominale compreso tra 5 e 10 mm.

I due suddetti tipi di acciaio dovranno rispettare i requisiti minimi sulle caratteristiche meccaniche previste nella tabella più avanti riportata.

Il diametro nominale di una barra è quello della barra tonda liscia equipesante, calcolato assumendo per la densità dell'acciaio il valore di 7,85 kg/dm³. Gli scostamenti massimi ammessi per le barre effettivamente messe in opera, in termini di diametro nominale misurato, sono pari a:

$$\begin{aligned} &\pm 6\% \quad \text{per} \quad 5 \leq \varnothing \leq 8 \text{ mm;} \\ &\pm 4,5\% \quad \text{per} \quad 8 < \varnothing \leq 40 \text{ mm.} \end{aligned}$$

In altri termini, avendo prelevato in cantiere uno spezzone di barra del diametro nominale teorico \varnothing (mm) ed avendone misurato la lunghezza L (cm) e il peso P (kg), deve risultare:

$$\begin{aligned} 0,007389 \leq K \leq 0,008323 & \quad \text{per} \quad 5 \leq \varnothing \leq 8 \text{ mm} \\ 0,007499 \leq K \leq 0,008205 & \quad \text{per} \quad 8 < \varnothing \leq 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

essendo: $K = \frac{\sqrt{\frac{P}{L}}}{\varnothing}$.

Le due classi di acciaio da impiegare, più sopra indicate, devono avere le caratteristiche indicate nella tabella più avanti riportata, derivante da quelle riportate al paragrafo 11.3.2.1 del D.M. 14/01/2008.

L'impiego delle medesime classi di acciaio avverrà con i seguenti criteri, validi per tutte le opere in progetto:

TIPO DI ORDITURA	DIAM. [mm]	B450C	B450A
Barre singole	≥ 6	X	
	$6 \leq \varnothing \leq 10$	X	X
Reti e tralicci elettrosaldati	$5 \leq \varnothing \leq 6$		X
	$10 \leq \varnothing \leq 16$	X	

La tolleranza di cantiere rispetto alla massa nominale delle barre (valutata con l'impiego del diametro nominale e della densità nominale dell'acciaio, pari a 7850 kg/m³) è la seguente:

Diametro nominale della barra (mm)	
≥ 8	$\pm 6.0 \%$
> 8	$\pm 4.5 \%$

Per quanto concerne l'accertamento in cantiere delle caratteristiche meccaniche, i valori di resistenza ed allungamento di ogni campione, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nella tabella seguente (valori di accettazione):

CARATTERISTICHE	VALORE LIMITE	NOTE
f_y minimo	425 N/mm ²	(450-25) N/mm ²
f_y massimo	572 N/mm ²	[450x(1.25+0.02)] N/mm ²
A_g minimo	≥ 6.0%	Per acciai B450C
A_g minimo	≥ 2.0%	Per acciai B450A
Rottura / snervamento	$1.13 \leq f_r / f_y \leq 1.37$	Per acciai B450C
Rottura / snervamento	$f_r / f_y \geq 1.03$	Per acciai B450A
Piegamento / raddrizzamento	Assenza di cricche	Per tutti

Reti e tralici elettrosaldati

Per le reti ed i tralici costituiti con acciaio B450C le barre devono avere diametro D che rispetti la limitazione:

$$6 \text{ mm} \leq D \leq 16 \text{ mm.}$$

Per le reti ed i tralici costituiti con acciaio B450A le barre devono avere diametro D che rispetti la limitazione:

$$5 \text{ mm} \leq D \leq 10 \text{ mm.}$$

Il rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralici deve essere:

$$D_{\min} / D_{\max} \geq 0,6.$$

CARATTERISTICHE DEGLI ACCIAI ORDINARI PER IL C.A. E IL C.A.P.

Acciaio B450C

$f_{y \text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm ²

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 ϕ	

Acciaio B450A

$f_{y \text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm ²

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 2,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
per $\phi \leq 10 \text{ mm}$	4 ϕ	

I nodi (incroci) delle reti devono resistere ad una forza di distacco determinata in accordo con la UNI EN ISO 15630-2, pari ad almeno il 25% della forza di snervamento della barra, da computarsi per quella di diametro maggiore con il valore nominale di 450 MPa.

Barre zincate a caldo

E' ammesso l'uso di acciai zincati purché le loro caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche, accertate dopo la zincatura, siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai normali.

Gli acciai da sottoporre al trattamento di zincatura a caldo dovranno essere conformi alla norma UNI 10622 (barre e vergella (rotoli) di acciaio d'armatura per cemento armato, zincati a caldo) e avere tenori di silicio e fosforo tali per cui il valore del "silicio equivalente Si,eq", definito convenzionalmente dalla citata norma, sia $\leq 0,35\%$ (quando $0,12 \leq Si \leq 0,26\%$ e $P \leq 0,045\%$); possono altresì essere ritenuti idonei alla zincatura gli acciai a tenore di silicio equivalente $\leq 0,11\%$ (quando $Si \leq 0,4\%$).

Inizialmente gli elementi da zincare vengono sottoposti ad un trattamento preliminare, che comprende le operazioni di sgrassaggio decapaggio, risciacquo, flussaggio, essiccamento e preriscaldamento. Successivamente gli stessi vengono immersi nel bagno di zinco fuso.

Dovrà essere impiegato zinco vergine o di prima fusione in pani da fonderia, secondo la norma UNI EN 1179. Il bagno di zinco fuso dovrà avere temperatura compresa tra 710 e 723 °K; in nessun caso dovrà essere superata la temperatura massima di 730 °K.

Il tempo di immersione delle barre nel bagno di zinco sarà variabile in funzione del loro diametro e del peso del rivestimento in zinco: la massa di zinco per unità di superficie (espressa in g/mq) non deve essere minore di 468 g/mq ($\cong 65 \mu\text{m}$) per il tondo di diametro 5 mm e di 540 g/mq ($\cong 75 \mu\text{m}$) per diametri maggiori e comunque non superiore 1070 g/mq ($\cong 150 \mu\text{m}$).

Dopo l'immersione nel bagno di zinco fuso, il prodotto può essere sottoposto ad un'azione di asciugatura con aria compressa e/o con vapore per rimuovere il metallo fuso in eccesso dalla superficie e per meglio garantire la continuità e l'uniformità dello spessore del rivestimento di zinco.

Seguirà il trattamento di cromatazione, se previsto in progetto, per impedire eventuali reazioni tra le barre e il calcestruzzo fresco (formazione della cosiddetta "ruggine bianca").

Le caratteristiche del rivestimento finito dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- Aspetto: il rivestimento sui prodotti zincati a caldo deve essere compatto ed uniforme, privo di zone scoperte, di bolle, di macchie di flusso, di inclusioni, di scorie, di macchie acide o nere; possono essere ammesse delle discontinuità nello spessore di zinco con ispessimenti, in particolare alla base delle nervature, pur nel rispetto dei parametri di forma delle norme di prodotto di riferimento per barre ad aderenza migliorata;
- Adesione: il rivestimento di zinco deve essere ben aderente alle barre di armatura, in modo da non poter essere rimosso da ogni usuale processo di movimentazione, lavorazione e posa in opera;
- Massa di zinco: la massa di zinco per unità di superficie dovrà corrispondere ai requisiti del punto 6.3.4 delle norme UNI 10622;
- Continuità del rivestimento: la continuità del rivestimento deve essere tale che il valore caratteristico dello spessore del rivestimento sia maggiore o uguale a 360 g/mq (circa 50 μm).

In seguito alle operazioni di zincatura, le barre non devono presentarsi incollate fra loro; barre eventualmente incollate fra di loro e barre che presentano gocce e/o punte aguzze saranno rifiutate.

Il trattamento di zincatura a caldo potrà essere effettuato prima o dopo la lavorazione e piegatura delle barre, salvo diverse disposizioni della Direzione Lavori. Quando la zincatura è effettuata prima della piegatura, eventuali scagliature del rivestimento di zinco nella zona di piegatura e gli eventuali tagli dovranno essere trattati con ritocchi di primer zincante organico bicomponente dello spessore di 80÷100 μm .

Barre in acciaio inossidabile

Per la realizzazione delle armature è ammesso l'impiego di acciai inossidabili, purché le caratteristiche meccaniche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai ordinari da c.a. di cui allo specifico paragrafo dell'articolo sui mate-

riali (in questo caso nelle tabelle, al termine f_t , relativo alla tensione di rottura, andrà sostituito il termine $f_{7\%}$, ossia la tensione corrispondente ad un allungamento $A_{gt} = 7\%$).

Nel rispetto di quanto sopra detto, gli acciai inossidabili dovranno essere del tipo austenitico, denominati con le sigle 1.4306 e 1.4435 della classificazione UNI EN 10088.

La composizione chimica (analisi di colata) degli acciai inossidabili per c.a. sarà quella prevista al prospetto 3 della norma UNI EN 10088, di cui si riporta uno stralcio:

Sigla UNI EN 10088	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
1.4306	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	18÷20	10÷12	-
1.4435	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	17÷19	12.5÷15	2.5 ÷ 3

La saldabilità di tali acciai va documentata attraverso prove di saldabilità certificata da un laboratorio autorizzato ed effettuate secondo gli specifici procedimenti di saldatura, da utilizzare in cantiere o in officina, previsti dal produttore. Dovranno inoltre risultare positivi gli esiti delle seguenti prove:

- piegamento e raddrizzamento su mandrino;
- indice di aderenza eseguito secondo il metodo "beam test".

Per i controlli da effettuare in cantiere vale quanto previsto per le armature realizzate con acciaio ordinario.

3.5.15.3. Acciaio ad elevato limite elastico per le armature di precompressione del calcestruzzo

Norme da osservare

Gli acciai per armature da precompressione devono rispettare principalmente il D.M. 14/01/2008. Le loro caratteristiche devono essere accertate in conformità alle norme UNI EN 15630-3 (metodi di prova: acciaio per calcestruzzo armato precompresso, UNI EN ISO 6892-1 (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura ambiente), 6892-2 (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura elevata). E' un importante riferimento anche la norma UNI EN 1992-1 (Eurocodice 2). I prodotti semilavorati (fili, trecce e trefoli) devono rispondere alle norme: UNI 7675 (fili per calcestruzzo armato precompresso), 7676 (trecce a 2-3 fili e trefoli a 7 fili per calcestruzzo armato precompresso).

Caratteristiche dell'acciaio

Non devono essere inferiori a quelle riportate nella seguente tabella:

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli	Trefoli a fili sagomati	Trecce
Tensione caratteristica di rottura f_{ptk} (MPa)	≥ 1000	≥ 1570	≥ 1860	≥ 1820	≥ 1900
Tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua $f_{p(0.1)k}$ (MPa)	---	≥ 1420	---	---	---
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale $f_{p(1)k}$ (MPa)	---	---	≥ 1670	≥ 1620	≥ 1700
Tensione caratter. di snervamento f_{pyk} (MPa)	≥ 800	---	---	---	---
Allungam. sotto carico massimo A_{gt} (MPa)	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5

Prodotti semilavorati

L'acciaio per armature da precompressione è generalmente fornito sotto forma di uno dei seguenti prodotti semilavorati:

- Filo: prodotto trafilato di sezione piena che possa fornirsi in rotoli;
- Barra: prodotto laminato di sezione piena che possa fornirsi soltanto in forma rettilinea;
- Treccia: 2 o 3 fili avvolti ad elica intorno al loro comune asse longitudinale;

- **Trefolo:** fili avvolti ad elica intorno ad un filo rettilineo, in modo da ricoprirlo completamente.

I fili possono essere tondi o di altra forma e, come già detto, non è consentito l'impiego di fili lisci nelle strutture pre-compresse ad armature pretese.

Le barre possono essere lisce, a filettatura continua o parziale, con risalti.

La marcatura dei prodotti sarà generalmente costituita da sigillo o etichettatura sulle legature e dovrà essere conforme a quanto previsto dalle norme vigenti.

Gli acciai possono essere forniti in rotoli (fili, trecce, trefoli), in bobine (trefoli), in fasci (barre).

I fili devono essere forniti in rotoli di diametro tale che all'atto dello svolgimento, allungati al suolo su un tratto di 10 m, non presentino curvatura con freccia superiore a 400 mm; il produttore deve indicare il diametro minimo di avvolgimento.

Ciascun rotolo di filo deve essere esente da saldature; sono tuttavia ammesse le saldature di fili destinati alla produzione di trecce e di trefoli, ma soltanto se effettuate prima della trafilatura.

Non sono ammesse, per i trefoli, saldature durante l'operazione di cordatura.

Allo scopo di assicurare la centratura dei cavi nelle guaine si prescrive l'impiego di una spirale costituita da una treccia di acciaio armonico del diametro di 6 mm, avvolta intorno ad ogni cavo con passo di 80÷100 cm.

I filetti delle barre e dei manicotti di giunzione dovranno essere protetti fino alla posa in opera con prodotto antiruggine privo di acidi. Se l'agente antiruggine è costituito da grasso, è necessario sia sostituito con olio prima della posa in opera, per evitare che all'atto dell'iniezione gli incavi dei dadi siano intasati di grasso.

All'atto della posa in opera gli acciai devono presentarsi privi di ossidazione, corrosione, difetti superficiali visibili e pieghe.

3.5.15.4. Acciaio ordinario da costruzione (o "per impieghi strutturali" o "da carpenteria")

Norme da osservare

Saranno impiegati esclusivamente acciai da costruzione provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo, secondo le norme armonizzate europee specifiche di ogni loro tipologia.

Le norme vigenti che devono essere rispettate sono assai numerose; se ne indicano le principali: **UNI EN 1090-1** (esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio: requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali) e **1090-2** (esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio: requisiti tecnici per strutture di acciaio), D.M. 14/01/2008, **UNI EN 1992** (Eurocodice 2), **1993** (Eurocodice 3), **10025-1** (prodotti laminati a caldo: condizioni tecniche generali di fornitura), **10025-2÷6** (prodotti laminati a caldo), **10027-1** (designazione simbolica), **10027-2** (designazione numerica), **10149-1** (prodotti piani ad alto limite per formatura a freddo), **10210-1** (profilati cavi finiti a caldo), **10219-1** (profilati cavi formati a freddo), **10224** (tubi e raccordi per liquidi acquosi), **10255** (tubi), **10311** (giunzioni di tubi per liquidi acquosi), **10340** (getti di acciaio), **10343** (acciai da bonifica), **10346** (acciai rivestiti per immersione a caldo in continuo).

Per le prove si citano le norme: **UNI EN ISO 6892-1** (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura ambiente), **6892-2** (materiali metallici - prova di trazione: metodo di prova a temperatura elevata).

Una elencazione assai estesa delle norme vigenti, relativa agli acciai da costruzione ed alla loro componentistica, è riportata nella citata norma **UNI EN 1090-2**. Dalla medesima si riportano più avanti tre tabelle, relative rispettivamente ai seguenti tipi di acciaio da costruzione:

- acciai al carbonio;
- acciai per nastri e lamiere idonei alla formatura a freddo;
- acciai inossidabili.

L'acciaio da impiegarsi sarà comunque esente da scorie, soffiature, saldature (eccettuate quelle previste dal prodotto semilavorato) e da qualsiasi altro difetto, risponderà alle norme tecniche in vigore e sarà correntemente designato secondo la norma **UNI EN 10027-1** (come più avanti riportato), alla quale si riferiscono le successive tabelle nn. 4 e 5, relative agli acciai per impieghi strutturali.

1 - Norme relative agli acciai al carbonio da costruzione

Products	Technical delivery requirements	Dimensions	Tolerances
I and H sections	EN 10025-1 and EN 10025-2 EN 10025-3 EN 10025-4 EN 10025-5 EN 10025-6 As relevant	Not available	EN 10034
Hot-rolled taper flange I sections		Not available	EN 10024
Channels		Not available	EN 10279
Equal and unequal leg angles		EN 10056-1	EN 10056-2
T Sections		EN 10055	EN 10055
Plates, flats, wide flats		Not applicable	EN 10029 EN 10051
Bars and rods		EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061
Hot finished hollow sections	EN 10210-1	EN 10210-2	EN 10210-2
Cold formed hollow sections	EN 10219-1	EN 10219-2	EN 10219-2

NOTE EN 10020 gives definitions and classifications of grades of steel. Steel designations by name and number are given in EN 10027-1 and -2 respectively.

2 - Norme relative agli acciai per nastri e lamiere idonei alla formatura a freddo

Products	Technical delivery requirements	Tolerances
Non-alloy structural steels	EN 10025-2	EN 10051
Weldable fine grain structural steels	EN 10025-3, EN 10025-4	EN 10051
High yield strength steels for cold forming	EN 10149-1, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10268	Not available
Cold reduced steels	ISO 4997	EN 10131
Continuously coated hot dip coated steels	EN 10292, EN 10326, EN 10327	EN 10143
Continuously organic coated steel flat products	EN 10169-2, EN 10169-3	EN 10169-1
Narrow strips	EN 10139	EN 10048 EN 10140

3 - Norme relative agli acciai inossidabili

Products	Technical delivery requirements	Tolerances
Sheets, plates and strips	EN 10088-2	EN 10029, EN 10048, EN 10051, EN ISO 9445
Tubes (welded)	EN 10296-2	EN ISO 1127
Tubes (seamless)	EN 10297-2	
Bars, rods and sections	EN 10088-3	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061

NOTE Steel designations by name and number are given in EN 10088-1.

Designazione

La designazione di un acciaio per impieghi strutturali con codifica alfanumerica (UNI EN 10027-1, v. tabella completa più avanti riportata), per il Gruppo 1 (designazione in base all'impiego ed alle caratteristiche meccaniche o fisiche), è di norma la seguente (x = lettera, N = numero, A, B = gruppi simbolici alfanumerici):

$$x N A +B$$

x = S (acciaio per impiego strutturale), G (acciaio per getti);

N = tensione di snervamento minima prescritta per spessori ≤ 16 mm, espressa in N/mm²;

A = designazione della qualità relativamente ai valori di resilienza, ai trattamenti termici e ad altre caratteristiche (es. J, K, L = resilienze minime, W = acciaio autopassivante "cor-ten" o similare: v. nota);

+B = particolare designazione dello stato della fornitura, quanto a particolari requisiti, rivestimenti o trattamenti (es. +Z = zincato a caldo, +Q = calmato).

Per quanto riguarda il Gruppo 2 (designazione in base alla composizione della lega metallica), questa è impiegata per lo più per gli acciai speciali o quando è importante evidenziare aspetti legati al comportamento chimico (es. per gli acciai inossidabili).

La designazione degli acciai con codifica numerica (UNI EN 10027-2) è meno usata dell'altra: se ne riporta una tabella di raffronto per un certo numero di tipi di acciaio, con riportata anche la vecchia designazione di cui alla norma UNI 7070:

10027-1	10027-2	UNI 7070 (sup.)	10027-1	10027-2	UNI 7070 (sup.)
S235JR	1.0038	Fe 360 B	S275J2	1.0145	Fe 430 D
S235JO	1.0114	Fe 360 C	S355JR	1.0045	Fe 510 B
S235J2	1.0117	Fe 360 D	S355J0	1.0553	Fe 510 C
S275JR	1.0044	Fe 430 B	S355J2	1.0577	Fe 510 D
S275J0	1.0143	Fe 430 C	S355K2	1.0596	--

4 - Acciaio da costruzione – Esempificazione di acciai con relative norme di riferimento

Examples of steel names for structural steels	
Standard	Steel name according to EN 10027-1
EN 10025-2	S235JR S355JR S355J0 S355J2 S355K2 S450J0
EN 10025-3	S355N S355NL
EN 10025-4	S355M S355ML
EN 10025-5	S235J0W S235J2W S355J0WP S355J2WP S355J0W S355J2W S355K2W
EN 10025-6	S460Q S460QL S460QL1
EN 10149-2	S355MC
EN 10149-3	S355NC
EN 10210-1	S355J2H
EN 10248-1	S355GP
EN 10326	S350GD S350GD+Z

5 - Acciaio da costruzione – Designazione secondo UNI EN 10027-1

Principal symbols		Additional symbols for steel		Additional symbols for steel products			
G S n n n		an		+an +an			
Principal symbols		Additional symbols					
Letter	Mechanical property	For steel				For steel product	
		Group 1 ^b		Group 2 ^{c d}			
G = steel casting (where necessary) S = structural steel	nnn = specified minimum yield strength ^e in MPa ^f for the smallest thickness range	Impact property Energy Joules (J)		Test temperature °C	C = Special cold forming D = Hot dip coating E = Enamelling F = Forgings H = Hollow section L = Low temperature M = Thermomechanically rolled N = Normalised or normalised rolled P = Sheet piling Q = Quenched and tempered S = Ship building T = Tubes W = Weather resistant an = Chemical symbol of specified additional elements, e.g. Cu, together, where necessary, with a single digit representing 10 x the average (rounded to 0,1%) of that specified range of the content of that element	Tables 16, 17 and 18	
		27J	40J				60J
		JR	KR	LR			20
		J0	K0	L0			0
		J2	K2	L2			-20
		J3	K3	L3			-30
		J4	K4	L4			-40
		J5	K5	L5			-50
		J6	K6	L6			-60
		A = Precipitation hardening M = Thermomechanically rolled N = Normalised or normalised rolled Q = Quenched and tempered G = Other characteristics followed, where necessary by 1 or 2 digits					

^a n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters.
^b Symbols A, M, N and Q in Group 1 apply to fine grain steels.
^c Symbols of Group 2, other than chemical symbols, may be suffixed by one or two digits in order to distinguish between qualities in accordance with the relevant product standard.
^d If two of the symbols of this Group are needed the chemical symbol shall be the last one.
^e The term "yield strength" refers to upper or lower yield strength (R_{eH}) or (R_{eL}) or proof strength (R_p), or proof strength total extension (R_t) depending on the requirement specified in the relevant product standard.
^f 1 MPa = 1 N/mm².

Caratteristiche del materiale e delle forniture

La norma fondamentale è la UNI EN 10025 (prodotti laminati a caldo per impieghi strutturali), che è divisa nelle seguenti parti:

– Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura

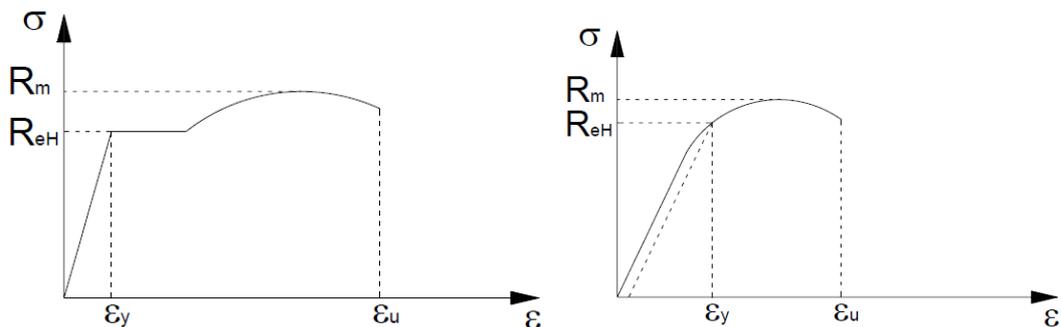
Concerne gli acciai per prodotti piani e lunghi laminati a caldo. Sono gli acciai che costituiscono i prodotti ottenuti mediante laminazione a caldo, quali: travi laminate, travi integrate, travi alveolari, prodotti piani purchè laminati a caldo. Le possibili condizioni di fornitura sono legate al procedimento produttivo utilizzato:

- AR: acciaio grezzo di laminazione *as rolled*;
- N: acciaio di laminazione normalizzata;

- M: acciaio di laminazione termomeccanico;
- W: acciaio con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica (*weathering steel*, ex “cor-ten”⁽¹⁾). Nel seguito del presente Capitolato denominato per brevità “autopassivante”;
- Q: acciaio ad alto limite di snervamento, bonificato (*quenched and tempered*).

Caratteristiche meccaniche fondamentali degli acciai, con riferimento ai due diagrammi tipici tensione-deformazione sotto riportati, rispettivamente per acciai “non legati” (o “basso legati” o “a basso tenore di carbonio”) e “legati” (o “altolegati” o “ad alto tenore di carbonio” – in questo caso è $R_{eH} = R_{p0,2}$):

- carico unitario minimo di snervamento: R_{eH} [N/mm²];
- modulo di elasticità: E [N/mm²];
- allungamento minimo a rottura: A [%];
- resistenza minima di trazione a rottura: R_m [N/mm²];
- resilienza (o energia di rottura): KV [J].



– Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali

Gli acciai non legati sono forniti di norma nelle condizioni: AR, N o M.

Le loro caratteristiche meccaniche principali sono le seguenti:

Resilienza		
min. 27 J	min. 40 J	Temp. °C
JR	KR	20
J0	K0	0
J2	K2	-20
J3	K3	-30
J4	K4	-40

Designazione	ReH (MPa)								
	Spessori nominali (mm)								
	<16	16 - 40	40 - 63	63 - 80	80 - 100	100 - 150	150 - 200	200 - 250	250 - 400
S235JR(J0/J2)	235	225	215	215	215	195	185	175	165 (solo J2)
S275JR(J0/J2)	275	265	255	245	235	225	215	205	195 (solo J2)
S355JR(J0/J2/K2)	355	345	335	325	315	295	285	275	265 (solo J2/K2)
S450J0	450	430	410	390	380	380	-	-	-

⁽¹⁾ *Weathering steel*, o *weather resistant steel*, è la nuova denominazione internazionale dell'acciaio meglio noto come “cor-ten” (scritto anche senza trattino). L'acronimo sta per *corrosion resistance – tensile strenght*. La USS Corp. (*United States Steel Corporation*), che ha inventato questo acciaio, possiede il marchio COR-TEN[®], anche se a suo tempo ne ha ceduto il brevetto di produzione ad *International Steel Group*, successivamente divenuto Arcelor-Mittal. La stessa USS lo continua tuttavia a produrre e commercializzare correntemente. Il principio che regola il funzionamento di questo acciaio, se esposto all'aria, si basa sulla iniziale formazione di uno strato superficiale di ossidi, con buone caratteristiche di uniformità e di resistenza, che protegge il materiale sottostante dall'avanzamento della corrosione. E' prodotto comunemente nei gradi A (fino a spessori di circa 12 mm, più resistente alla corrosione), B e C (per tutti gli impieghi strutturali). Sono tuttavia in commercio tipi di acciaio di caratteristiche simili, denominati con marchi diversi o comunque aventi composizione non identica.

Designazione	Rm (MPa)				
	Spessori nominali (mm)				
	<3	3 < t < 100	100 < t < 150	150 < t < 250	250 < t < 400
S235JR(J0/J2)	da 360 a 510	da 360 a 510	da 350 a 500	da 340 a 490	da 330 a 480 (solo J2)
S275JR(J0/J2)	da 430 a 580	da 410 a 560	da 400 a 540	da 380 a 540	da 380 a 540 (solo J2)
S355JR(J0/J2/K2)	da 510 a 680	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600	da 450 a 600 (solo J2/K2)
S450J0	-	da 550 a 720	da 530 a 700	-	-

- Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato

Sono definiti come quegli acciai aventi struttura del grano con un indice equivalente della grossezza del grano ferritico > 6, determinato in conformità alla EN ISO 643.

Le loro caratteristiche meccaniche principali sono le seguenti:

Resilienza: grado L (KV ≥ 60 J) con utilizzi a T ≥ -50 °C.

Designazione (EN 10027)	ReH (MPa)								Rm (Mpa)		
	Spessori nominali (mm)								Spessori nominali (mm)		
	<16	>16 <40	>40 <63	>63 <80	>80 <100	>100 <150	>150 <200	>200 <250	<100	>100 <200	>200 <250
S275N(NL)	275	265	255	245	235	225	215	205	da 370 a 510	da 350 a 480	da 350 a 480
S355N(NL)	355	345	335	315	315	295	285	275	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600
S420N(NL)	420	400	390	360	360	340	330	320	da 520 a 680	da 500 a 650	da 500 a 650
S460N(NL)	460	440	430	400	400	380	370	-	da 540 a 720	da 530 a 710	-

- Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termo meccanica

Le loro caratteristiche meccaniche principali sono le seguenti:

Resilienza: grado L (KV ≥ 60 J) con utilizzi a T ≥ -50 °C.

Designazione (EN 10027)	ReH (MPa)						Rm (Mpa)				
	Spessori nominali (mm)						Spessori nominali (mm)				
	<16	>16 <40	>40 <63	>63 <80	>80 <100	>100 <120	<40	>40 <63	>63 <80	>80 <100	>100 <120
S275M(ML)	275	265	255	245	245	240	370 - 530	360 - 520	350 - 510	350 - 510	350 - 510
S355M(ML)	355	345	335	325	325	320	470 - 630	450 - 610	440 - 600	440 - 600	430 - 590
S420M(ML)	420	400	390	380	370	365	520 - 680	500 - 660	480 - 640	470 - 630	460 - 620
S460M(ML)	460	440	430	410	400	385	540 - 720	530 - 710	510 - 690	500 - 680	490 - 660

- Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica

La loro designazione tipica è: S nnn [indicaz. resilienza] WP+[AR o N] (P indica un tenore di fosforo maggiorato).

Le loro caratteristiche meccaniche principali sono le seguenti:

Resilienza come per Parte 2.

Designazione (EN 10027)	ReH (MPa)						Rm (Mpa)		
	Spessori nominali (mm)						Spessori nominali (mm)		
	<16	16 - 40	40 - 63	63 - 80	80 - 100	100 - 150	<3	3 - 100	100 - 150
S235J0(J2)W	235	225	215	215	215	195	360 - 510	360 - 510	350 - 500
S355J0(J2)WP	355	345	-	-	-	-	510 - 680	470 - 630	-
S355J0(J2/K2) W	355	345	335	325	315	295	510 - 680	470 - 630	450 - 600

- Parte 6: Condizioni tecniche di fornitura per prodotti piani di acciai per impieghi strutturali ad alto limite di snervamento allo stato bonificato

Le loro caratteristiche meccaniche principali sono le seguenti:

Resilienza	
L	per la qualità con i valori minimi specificati di resilienza a temperature non minori di -40°C
L1	per la qualità con i valori minimi specificati di resilienza a temperature non minori di -60 °C

Designazione (EN 10027)	ReH (MPa)			Rm (Mpa)		
	Spessori nominali (mm)			Spessori nominali (mm)		
	3 < t < 50	50 < t < 100	100 < t < 150	3 < t < 50	50 < t < 100	100 < t < 150
S460Q (QL/QL1)	460	440	400	da 550 a 720		da 500 a 670
S500Q (QL/QL1)	500	480	440	da 590 a 770		da 540 a 720
S550Q (QL/QL1)	550	530	490	da 640 a 820		da 590 a 770
S620Q (QL/QL1)	620	580	560	da 700 a 890		da 650 a 830
S690Q (QL/QL1)	690	650	630	da 770 a 940	da 760 a 930	da 710 a 900
S890Q (QL/QL1)	890	830	-	da 940 a 1000	da 880 a 1100	-
S960Q (QL)	960	-	-	da 980 a 1150	-	-

3.5.16. Acciaio inossidabile

Si faccia riferimento anche all'ultima delle tabelle riportate al punto precedente.

Saranno impiegati esclusivamente acciai inossidabili provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 502** (elementi non autoportanti per coperture), **508-3** (elementi autoportanti per coperture), **1124-1** (tubi e raccordi saldati con giunto a bicchiere per acque reflue), **1993-1-4** (Eurocodice 3: regole supplementari per acciai inossidabili), **10028-7** (prodotti piani per recipienti a pressione), **10088-1** (lista acciai), **10088-2** (condizioni tecniche di fornitura per lamiere, fogli e nastri, per impieghi generali), **10088-3** (condizioni tecniche di fornitura per semilavorati, barre, vergella, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo, per impieghi generali), **10088-4** (condizioni tecniche di fornitura per fogli, lamiere e nastri, per impieghi nelle costruzioni), **10088-5** (condizioni tecniche di fornitura per barre, vergelle, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo, per impieghi nelle costruzioni), **10216-5** e **10217-7** (tubi saldati per impieghi a pressione), **10250** (elementi fucinati), **10264** (fili), **10312** (tubi saldati per liquidi acquosi incluso acqua potabile), **UNI EN ISO 1127** (tolleranze per tubi), **9444-2** (tolleranze per nastri larghi, fogli e lamiere da coils a caldo), **9445** (tolleranze per nastri e lamiere da coils a freddo), **18286** (tolleranze per lamiere laminate a caldo).

In aggiunta alla classificazione UNI EN potrà essere usata anche la classificazione AISI (*American Iron and Steel Institute*).

3.5.17. Ghisa

La ghisa è una lega ferro-carbonio a tenore di carbonio relativamente alto ($2,11\% < C < 6,67\%$ che è il limite di saturazione), ottenuta per riduzione o comunque trattamento a caldo dei minerali di ferro.

L'impiego principale della ghisa è quello intermedio nella produzione di acciaio, che si ottiene per decarburazione della stessa ghisa in apparecchiature dette convertitori in cui viene insufflato ossigeno o aria. Rispetto all'acciaio dolce ($C < 1,5\%$), la ghisa presenta maggiore durezza (e quindi maggior resistenza all'abrasione) e minore resilienza (e quindi maggiore fragilità). Inoltre ha un coefficiente di dilatazione termica più basso (0,000010 contro 0,000012), questa caratteristica, aggiunta all'effetto lubrificante del carbonio presente nella lega sotto forma di grafite, la rende adatta per accoppiamenti ove vi siano variazioni di temperatura. La presenza del carbonio in elevata quantità nella ghisa ha inoltre una notevole attività antiruggine, tale che spesso, specie negli arredi urbani, (panchine, fontanelle, tombini), possono essere verniciati non per particolare protezione ma solo per motivi estetici. La struttura molecolare discontinua della ghisa costituisce altresì uno smorzatore delle vibrazioni meccaniche.

In sostanza le caratteristiche che consentono il conveniente uso della ghisa in molte applicazioni sono:

- economicità nella produzione;
- resistenza all'usura;
- buona lavorabilità con macchine utensili;
- resistenza meccanica paragonabile all'acciaio;
- possibilità di realizzare forme molto complesse mediante semplice fusione;

- elevata durezza e resistenza a compressione;
- ottima colabilità.

La ghisa pertanto si presta di norma ad essere impiegata nelle costruzioni:

- per elementi massicci;
- per la realizzazione di tubazioni e relativi raccorderia, valvolame e simili;
- per la realizzazione di elementi minuti di finitura quali caditoie, chiusini, griglie e simili;
- per elementi di arredo o aventi finalità prevalentemente estetiche.

I tipi di ghisa normalmente impiegati sono i seguenti:

- ghisa lamellare, detta anche ghisa grigia (C compreso tra il 2.5% e il 4% in peso, Si tra l'1% e il 3% sempre in peso, P): più economica è però molto fragile e meno resistente proprio a causa della struttura grafitica lamellare;
- ghisa sferoidale, detta anche ghisa duttile (composizione non molto dissimile dalla precedente ma con assenza totale di carburi e con struttura grafitica di tipo sferoidale): è più duttile ed omogenea. Può a sua volta, a seconda della matrice entro cui si formano i noduli di grafite, essere di uno dei seguenti tre tipi:
 - ferritica;
 - ferritico-perlitica;
 - perlitica;
- ghisa bianca, detta anche ghisa “in conchiglia”, non contenente grafite ma soltanto cementite: è molto dura (fino a 500 gradi Brinell);
- ghisa malleabile, ottenuta dalla ghisa bianca con successivi trattamenti di malleabilizzazione.

Le principali normative di riferimento per la ghisa, in quanto materiale base, sono le seguenti: UNI 6047 (difetti), 7737 (ghisa austenitica), 7857 (ghisa speculare), UNI EN 1559-3 (condizioni tecniche di fornitura: requisiti aggiuntivi per getti), 1560 (designazione), 1561 (ghisa grigia), 1562 (ghisa malleabile), 1563 (ghisa sferoidale), 1564 (ghisa ausferritica sferoidale), 12513 (ghisa resistente all'abrasione), 12680-3 (controllo ultrasonico su getti: ghisa sferoidale), 16079 (ghisa a grafite compatta o vermicolare), 16124 (ghisa ferritica sferoidale debolmente legata per impieghi ad alte temperature), UNI CEN/TR 10261 (metodi disponibili per l'analisi chimica), UNI EN ISO 14284 (acciaio e ghisa - campionamento e preparazione dei campioni per la determinazione della composizione chimica).

Secondo le norme, la ghisa viene designata con la sigla GJ, seguita dalla lettera: L se trattasi di ghisa lamellare, S se trattasi di ghisa sferoidale. Il gruppo di lettere è seguito da un numero che indica la resistenza minima a trazione in MPa (es. GJL-250).

Per quanto riguarda le applicazioni della ghisa, oltre alle tubazioni di cui allo specifico punto, si citano qui gli elementi di chiusura e di finitura posti a filo ed all'interno di aree sottoposte al transito di pedoni e/o automezzi (ad es.: chiusini, griglie, caditoie). Questi sono sottoposti alla norma UNI EN 124:1995 (dispositivi di coronamento e di chiusura per zone di circolazione utilizzate da pedoni e da veicoli - principi di costruzione, prove di tipo, marcatura, controllo di qualità), che al momento è sottoposta a revisione e non risulta ancora armonizzata (e quindi non obbliga alla marcatura CE dei prodotti).

3.5.18. Zincatura a caldo dei componenti in acciaio o ghisa

Quando ciò sia previsto in progetto profilati, lamiere e tubi d'acciaio, di qualsiasi sezione, spessore o diametro, tanto in elementi singoli quanto assemblati in strutture composte, dovranno essere approvvigionati già zincati per immersione in zinco fuso, secondo le norme UNI EN 10346 (prodotti piani rivestiti per immersione in continuo), UNI EN ISO 14713-1 (linee guida: progettazione), 14713-2 (zincatura a caldo), 14713-3 (linee guida: “sherardizzazione”), 1461 (specificazioni e metodi di prova), con prove secondo le norme UNI EN ISO 1460, 1461 e 2178, materiale di apporto (zinco) secondo la norma UNI EN 1179 e corrosione valutata secondo norme ISO, delle quali si cita soltanto la ISO 9223 (*Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation*).

La prima delle suddette norme specifica i requisiti per i prodotti rivestiti per immersione a caldo in continuo di:

- acciai a basso tenore di carbonio, idonei alla formatura a freddo;
- acciai per costruzione;

- acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo rivestiti con zinco (Z), lega zinco-ferro (ZF), lega zinco-alluminio (ZA), lega alluminio-zinco (AZ) e lega alluminio-silicio (AS),

e per i prodotti rivestiti per immersione a caldo in continuo di:

- acciai multifase idonei alla formatura a freddo e rivestiti con zinco (Z), lega zinco-ferro (ZF) o lega zinco-alluminio (ZA), con spessori da 0,35 mm fino a 3 mm inclusi se non diversamente concordato. Lo spessore è lo spessore finale del prodotto fornito, dopo l'applicazione del rivestimento. Si applica ai nastri di tutte le larghezze, alle lamiere da essi derivate e alle bandelle.

La massa specifica dello zinco del rivestimento è considerata pari a $7,2 \text{ g/cm}^3$.

La quantità minima di zinco apportata sul materiale sottoposto al trattamento, determinata a spessore (μm) e a massa per unità di area (g/m^2), su campioni prelevati secondo la norma UNI EN ISO 1461, salvo diverse prescrizioni deve essere pari almeno a quella indicata nelle seguenti tabelle, costruite per una durabilità rapportata all'importanza ed allo spessore degli elementi, in condizioni di aggressività atmosferica media:

Masse minime di rivestimento (in relazione agli spessori) su campioni non centrifugati ^{a)}

Articolo e suo spessore	Rivestimento locale (minimo) ^{b)}		Rivestimento medio (minimo) ^{c)}	
	g/m^2	μm	g/m^2	μm
Acciaio $\geq 6 \text{ mm}$	505	70	610	85
Acciaio $\geq 3 \text{ mm}$ fino a $< 6 \text{ mm}$	395	55	505	70
Acciaio $\geq 1,5 \text{ mm}$ fino a $< 3 \text{ mm}$	325	45	395	55
Acciaio $< 1,5 \text{ mm}$	250	35	325	45
Fusioni di ghisa $\geq 6 \text{ mm}$	505	70	575	80
Fusioni di ghisa $< 6 \text{ mm}$	430	60	505	70

Masse minime di rivestimento (in relazione agli spessori) su campioni centrifugati ^{a)}

Articolo e suo spessore	Rivestimento locale (minimo) ^{b)}		Rivestimento medio (minimo) ^{c)}	
	g/m^2	μm	g/m^2	μm
Articoli filettati:				
diametro $\geq 20 \text{ mm}$	325	45	395	55
diametro $\geq 6 \text{ mm}$ fino a $< 20 \text{ mm}$	250	35	325	45
diametro $< 6 \text{ mm}$	145	20	180	25
Altri articoli (comprese fusioni di ghisa):				
$\geq 3 \text{ mm}$	325	45	395	55
$< 3 \text{ mm}$	250	35	325	45

- a) Il procedimento di centrifugazione tende ad eliminare qualunque eccedenza di metallo di apporto dalle superfici trattate. Caso tipico è costituito dalle filettature.
- b) Valore medio dello spessore del rivestimento ottenuto dal numero specificato di misurazioni entro un'area di riferimento per una prova magnetica (misura dello spessore) o il singolo valore per una prova gravimetrica (misura della massa).
- c) Valore medio dello spessore o della massa locali del rivestimento, su un grande articolo o su tutti gli articoli nel campione per il controllo. Può essere calcolato anche per conversione dello spessore medio misurato.

Per una valutazione approssimativa della durabilità degli elementi zincati esposti all'aria, si può fare riferimento alla seguente tabella:

Aggressività ambientale (ISO 9223)	Categoria di corrosività (UNI EN ISO 14713-1 – ISO 9223)	Diminuzione media annua dello spessore del rivestimento [μm] (UNI EN ISO 14713-1)
C1 - Molto bassa	Interno: asciutto	< 0,1
C2 - Bassa	Interno: condensa occasionale Esterno: area rurale esposta nell' entro-terra	0,1 ÷ 0,7
C3 - Media	Interno: alta umidità, leggero inquinamento dell' aria Esterno: area entroterra urbana o costiera temperata	0,7 ÷ 2
C4 - Alta	Interno: alta umidità, leggero inquinamento dell' aria Esterno: area entroterra urbana o costiera temperata	2 ÷ 4
C5 – Molto alta	Esterno: area industriale con alta umidità o area costiera ad alta salinità	4 ÷ 8
CX – Molto alta	Esterno: condense permanenti e/o elevato inquinamento da attività produttive	8 ÷ 25
Im2 – Molto alta	Acqua marina in regioni temperate	10 ÷ 20

Durante l' estrazione dei pezzi dalla vasca, può accadere che lo zinco fluido, gocciolando, indurisca formando leggeri ispessimenti, gocciolature, piccole membrane. Generalmente, se tali difetti hanno dimensioni modeste e non creano problemi al manufatto, possono essere tollerati. Tuttavia, qualora le parti zincate debbano essere assemblate o montate in maniera precisa e comunque in caso di difficoltà, i sovrassessori e gli accumuli devono essere rimossi con idonee modalità, in stabilimento o in cantiere.

In ogni caso le imperfezioni vanno eliminate quando sono acuminatae, poiché in fase di trasporto, montaggio o utilizzo, potrebbero causare ferite agli operatori oppure staccarsi, lasciando scoperto l'acciaio.

Qualora vi siano elementi filettati, occorre provvedere, con idonee modalità (es. centrifugazione post-bagno o fiammatura) a che il rivestimento si presenti perfettamente uniforme e del dovuto spessore o, in alternativa (purché ciò sia previsto in progetto o autorizzato dalla Direzione Lavori) evitando del tutto che la filettatura risulti zincata.

Nelle operazioni di zincatura, deve essere in particolare evitata l'inclusione di sali di flussaggio che, ove si presenti, deve essere rimossa con accuratezza e deve essere seguita da un trattamento di riparazione dello strato, tramite vernici ad alto tenore di zinco, spray, ovvero tramite metallizzazione o riporto di zinco con barrette di lega a basso punto di fusione. Stesso destino per le piccole aree che per diversi motivi dovessero risultare non ricoperte dallo zinco.

Le aree riparate non possono superare in totale lo 0.5% della superficie del manufatto ed ogni singola area da riparare non può superare i 10 cm² di estensione, secondo la norma UNI EN ISO 1461.

Deve essere tenuto debito conto della possibilità di corrosione galvanica dello zinco, evitando comunque nel modo più assoluto il contatto con il rame. Analogamente, quando ciò non sia previsto progettualmente o avvenga in modo volontario e controllato, deve essere evitato il contatto con sostanze acide o comunque corrosive per lo zinco e con materiali in grado di rilasciare, nel tempo di vita utile della struttura, tali sostanze.

Deve altresì essere evitato il permanere di elementi zincati, soprattutto se da poco tempo, in condizioni di umidità elevata e scarsa ventilazione (es. fittamente accatastati e/o coperti con teli impermeabili, in condizioni di elevata umidità ambientale), per prevenire la formazione della cosiddetta "ruggine bianca" (idrossido di zinco).

In ogni caso gli elementi trattati, all'atto della posa in opera, devono risultare dotati di un rivestimento in ottime condizioni di conservazione).

3.5.19. Alluminio e sue leghe

Le norme che riguardano questi materiali sono numerosissime e inerenti i vari aspetti metallurgici ed applicativi. Devono nondimeno essere applicate integralmente nella produzione e predisposizione dei materiali da impiegare nelle opere da realizzare. In particolare devono essere impiegati, per la realizzazione delle strutture, componenti strutturali dotati di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alla norma **UNI EN 1090-1** (esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio: requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali) e 1090-3 (esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio: requisiti tecnici per le strutture di alluminio).

Si riportano qui alcune tra le principali ulteriori norme da osservare, riguardanti l'alluminio e le leghe di alluminio per applicazioni nel campo dell'ingegneria civile ed impiantistica, divise per argomenti:

- Produzione: UNI 11245 (leghe per trattamento superficiale), UNI EN 575 (leghe ottenute per fusione), 12681 (radiografie in fonderia);
- Prodotti: **UNI EN 485** (lamiere, nastri, piastre), 486 (billette), 487 (placche da laminazione), 507 (elementi per coperture non autoportanti), 508-2 (elementi per coperture autoportanti), 573 (composizione chimica e forma prodotti), 586 (fucinati), 603 (semilavorati per fucinatura), 604, 1559-4 e 1706 (getti), 754 (barre e tubi trafilati a freddo), 755 (barre, tubi e profilati estrusi), 1301 (filo trafilato), 1386 (lamiere goffrate), 1396 (lamiere e nastri trattati, in coils), 1592 (tubi elettrosaldati), 1715 (vergella), 10143 (lamiere sottili e nastri con rivestimento a caldo in continuo), 12020 (profilati di precisione estrusi), 13957 (tubi tondi estrusi), 13958 (tubi tondi trafilati), 14121 (prodotti per applicazioni elettrotecniche), **15088** (applicazioni strutturali), UNI 3952 (serramenti), 10429 (getti pressofusi), 10569 (getti pressocolati);
- Trattamenti: UNI 7796 (anodizzazione a spessore), 9921 (cromatazione e fosfocromatazione), 10681 (strati di ossido decorativi), 11246 (trattamento anti-graffiti), UNI/TS 11398 (verniciatura per getti), UNI EN 1456 (rivestimenti elettrolitici), 12206 (rivestimenti a polvere), 12487 (rivestimenti cromati), UNI EN ISO 7599 (anodizzazione);
- Applicazioni: **UNI EN 40-6** (pali per illuminazione), 1011-4 (saldature), 12258 (termini e definizioni), 12517 (accettazione giunti saldati), 13981 (applicazioni ferroviarie strutturali), 15530 (aspetti ambientali), UNI EN ISO 9692-3, 10042, 13919-2, 14327, 14532, 15614, 18594, 18595 e 18723 (saldature);
- Controlli e prove: UNI 3345-5, 4115, 9834, 10731, 10733, UNI/TS 11398, UNI EN 12681, UNI EN ISO 1669, 2085, 2106, 2128, 2143, 2376, 2931, 3210, 3211, 3613, 6581, 6719, 7668, 7759, 7799, 8251, 8993, 8994, 10215, 11846, 14242, 14726, 15329, 18595;
- Progettazione: UNI EN 1999 (Eurocodice 9: strutture di alluminio), CNR-DT 208/2011 del 08/11/2011 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di alluminio).

3.5.20. Rame e sue leghe

Le norme che riguardano questi materiali sono numerosissime e inerenti i vari aspetti metallurgici ed applicativi. Devono nondimeno essere applicate integralmente nella produzione e predisposizione dei materiali da impiegare nelle opere da realizzare. In particolare devono essere impiegati, per il trasporto di acqua e gas e quando previsto in progetto, tubi senza saldatura dotati di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo, in conformità alla norma **UNI EN 1057** (tubi rotondi di rame senza saldatura per acqua e gas nelle applicazioni sanitarie e di riscaldamento).

Si riportano qui alcune tra le principali norme riguardanti il rame e le sue leghe, per applicazioni nel campo dell'ingegneria civile ed impiantistica, divise per argomenti:

- Prodotti: UNI EN 506 (elementi autoportanti per coperture), 1057 (tubi senza saldatura per acqua e gas), 1172 (lastre e nastri per edilizia), 7391 (PC per stampaggio e estrusione), 12166 (fili);
- Particolari applicazioni: UNI 10724 (sistemi di raccolta e smaltimento acque meteoriche con elementi discontinui), UNI 10372 (coperture con lastre metalliche).

Occorre fare particolare attenzione alle proprietà galvaniche del rame che, avendo potenziale elettrochimico molto alto, tende a determinare la corrosione dei metalli con i quali è a contatto. Per effettuare fissaggi e giunzioni occorre pertanto utilizzare lo stesso rame o metalli o leghe compatibili, quali l'ottone e l'acciaio inossidabile AISI 316 ed ogni qualvolta ciò non sia possibile, utilizzare opportuni elementi dielettrici di separazione.

3.5.21. Polimetilmetacrilato (PMMA), policarbonato (PC), polipropilene (PP) e altre materie plastiche

Le norme che riguardano questi materiali sono numerosissime e inerenti i vari aspetti della produzione ed applicativi. Devono nondimeno essere applicate integralmente nella produzione e predisposizione dei materiali da impiegare nelle opere da realizzare. In particolare devono essere impiegati elementi in materiale plastico dotati di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo, in conformità alle norme seguenti: **UNI EN 1873** (cupole monolitiche di materiale plastico per coperture: specifica di prodotto e metodi di prova), **14471** (sistemi di camini con condotti interni di plastica: requisiti e metodi di prova), **14963** (lucernari continui di materiale plastico con o senza basamenti: classificazione, requisiti e metodi di prova).

Si riportano qui alcune tra le principali ulteriori norme da osservare riguardanti il PMMA ed altre materie plastiche, per applicazioni nel campo dell'ingegneria civile ed impiantistica, divise per argomenti, rimandando ai paragrafi specifici per particolari categorie di prodotti in plastica (ad es. membrane e geosintetici):

- Prodotti: UNI 10452 (lastre ondulate e alveolari trasparenti), UNI EN 1013 (lastre trasparenti a parete semplice), UNI EN ISO 1043 (termini e definizioni), 1873 (polipropilene per stampaggio e estrusione), 7823 (lastre in PMMA), 8257 (materiali a base di PMMA per stampaggio o estrusione), 11963 (lastre di PC), 14021 (etichettatura a fini ambientali);
- Prove: UNI 8068 (materiali cellulari rigidi: reazione al fuoco), UNI EN ISO 75 (temperatura di inflessione sotto carico), 178 (proprietà flessionali), 179-1 (resistenza all'urto), 306 (temperatura di rammollimento), 527 (resistenza a trazione), 1183-1 (metodi per la determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari: metodo ad immersione, metodo del picnometro in mezzo liquido e metodo per titolazione), 1183-2 (metodi per la determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari: metodo della colonna a gradiente di massa volumica), 1183-3 (metodi per la determinazione della massa volumica delle materie plastiche non alveolari: metodo del picnometro a gas), 4589 (parti 1, 2, 3: comportamento al fuoco - indice di ossigeno), 8256 (resistenza ad urto-trazione), 9773 (comportamento al fuoco: contatto con piccola fiamma), 9969 (rigidezza anulare tubi), 10093 (prove al fuoco: sorgenti di accensione), 11925-2 (accendibilità dei prodotti sottoposti all'attacco diretto della fiamma: prova con l'impiego di una singola fiamma), 12017 (lastre estruse a doppia e tripla parete in PMMA), 15791 (prove al fuoco su una scala intermedia: guida generale), UL 94 (prove al fuoco).

Nell'uso delle materie plastiche deve essere posta particolare attenzione alle seguenti proprietà:

- durabilità, ovvero mantenimento nel tempo delle caratteristiche prestazionali, in funzione anche delle condizioni ambientali e del tipo di impiego previsti;
- sicurezza nei confronti delle persone e, in subordine, nei confronti delle cose, legata spesso alla possibilità di rottura fragile, con eventuale formazione di schegge ed alla sicurezza nei confronti della possibilità di incendio, ovvero al comportamento al fuoco delle materie plastiche, valutabile attraverso parametri quali l'emissione di fumi tossici e/o corrosivi, l'autoestinguenza e l'indice di ossigeno.

Per quanto riguarda in particolare il comportamento al fuoco, si deve tenere debito conto dell'eventuale aggiunta alle materie plastiche di ritardanti di fiamma, sostanze (in genere alogenati o fosforo) che, pur conferendo autoestinguenza ai materiali, durante la combustione danno origine a fumi tossici, opachi e corrosivi che possono causare danni a persone e cose.

A titolo esemplificativo si riporta la valutazione dell'autoestinguenza di alcune materie plastiche non modificate (secondo codifica internazionale) come da norme UL 94, tenendo conto che vale la seguente classificazione:

- provino in orizzontale e di spessore ≤ 3 mm:
 - classe HB (*Horizontal Burning*): brucia ad una velocità ≤ 76 mm/1';
- provino in verticale e di spessore specificato (3-6 mm), esposto dapprima a becco Bunsen per 10 s:
 - classe V0: la fiamma si estingue entro 10 secondi;
 - classe V1: la fiamma si estingue entro 30 secondi senza gocciolamento;
 - classe V2: la fiamma si estingue entro 30 secondi con gocciolamento.

Polimero	Cl. UL 94	Polimero	Cl. UL 94	Polimero	Cl. UL 94
PA6	HB - V2	PEI	V0	POM.h	HB

PA66	HB - V2	PPS GF40	V0	PET	HBP
PA66.6	HB - V2	PP	HB	PVDF	V0
PA6G	HB - V2	PE.300	HB	PTFE	V0
PA11	V2	PE.500	HB	PES	V0
PC	HB - V2	PE.1000	HB	PSU	HB - V2
PPOm	HB	PVC	HB		
ABS	HB	POM.c	HB		

Sempre a titolo esemplificativo si riporta la valutazione dell'indice di ossigeno (LOI: *Limiting Oxygen Index*) di alcune materie plastiche come sopra, come da norma UNI EN ISO 4589, tenendo conto che L'indice di ossigeno è la concentrazione minima di ossigeno in presenza della quale il campione di materiale riesce ad alimentare la combustione per 3 minuti o a bruciare per 50 mm. Più alto è il LOI minore è la probabilità di combustione.

Polimero	LOI	Polimero	LOI	Polimero	LOI
PTFE	92	PESU	38	PET	22
PVDF	43	PC	26	PP	18
PI	36	PPO.m	31	PE	18
PSU	37	PA66	25	POM	16

3.5.22. Legno

Per la realizzazione di strutture in legno saranno impiegati esclusivamente prodotti semilavorati provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 13986** (pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni: caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura), **14080** (legno lamellare incollato: requisiti), **14081-1** (legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza: requisiti generali), **14081-2** (legno strutturale con sezione rettangolare classificato a macchina secondo la resistenza: requisiti aggiuntivi per le prove iniziali di tipo), **14081-4** (legno strutturale con sezione rettangolare classificato a macchina secondo la resistenza: regolazioni per i sistemi di controllo a macchina), **14081-3** (legno strutturale con sezione rettangolare classificato a macchina secondo la resistenza: requisiti aggiuntivi per il controllo della produzione in fabbrica), **14229** (pali per linee elettriche aeree), **14250** (strutture in legno assemblate con elementi in lamiera punzonata), **14342** (pavimentazioni in legno: caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura), **14374** (LVL: *laminated veneer lumber* ovvero elementi multistrato in sfogliati di legno), **14545** (connettori: requisiti), **14592** (elementi di collegamento di forma cilindrica: requisiti), **14915** (rivestimenti interni ed esterni di pareti con elementi di legno massiccio).

Inoltre, con riferimento soprattutto alla progettazione, dovranno essere osservate le norme di cui al D.M. 14/01/2008 e, per quanto applicabili, di cui alla norma UNI EN 1995 (Eurocodice 5: strutture in legno). Utile riferimento sono anche le istruzioni CNR-DT 206/2007 rev. 07.10.2008 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno).

Altre norme importanti da applicare, tra le moltissime, sono le seguenti: UNI EN 313 (classificazione pannelli in compensato), 335 e 1001 (durabilità), 336 (dimensioni), 384 (proprietà meccaniche e massa volumica), 385 e 387 (legno strutturale con giunti a dita), 390 (dimensioni lamellare), 622 (pannelli in fibra di legno), 635 e 636 (pannelli in compensato), 912 (connettori), 975 (classificazione segati di latifoglie in base all'aspetto), 1313 (dimensioni legno tondo e segati), 1315 (legno tondo), 844, 1312 e 1313 (legno tondo e segati), 1438 (simbologia), 1611 (classificazione segati di conifere in base all'aspetto), 1912 (classi di resistenza), 1927 (classificazione legno tondo di conifere), 13145 (traverse ferroviarie), 13227 (pavimentazioni non ad incastro), 13226 e 13228 (pavimentazioni ad incastro), 13353 (pannelli in legno massiccio), 13629 (tavole preassemblate per pavimentazioni), 13647 (pavimenti e rivestimenti a elementi discontinui), 13756 (terminologia pavimentazioni), 14220 (infissi esterni), 14221 (infissi interni), 14272 e 12369-2 (calcolo pannelli in compensato), UNI/TR 11436 (durabilità), UNI 4390 (caratteristiche macroscopiche), 8662 (trattamenti preservanti), 9784 (preservazione del legno), 11035 (classificazione a vista del legno strutturale secondo la resistenza meccanica), UNI CEN/TS 12169 (conformità lotto di segati).

3.5.23. Bitumi e leganti bituminosi

Saranno impiegati esclusivamente prodotti provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. , Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 12591** (bitumi per applicazioni stradali), **13808** (emulsioni cationiche bituminose), **13924** (bitumi di grado duro, anche denominati *hard*, per pavimentazioni), **14023** (bitumi modificati con polimeri), **15322** (leganti bituminosi fluidificati e flussati).

3.5.24. Vetro

Il prodotto di base (miscuglio solido di ossidi, dei quali il principale è il biossido di silicio: SiO₂) è il cosiddetto vetro "piano" o "lustro" o *float*, ottenuto per galleggiamento del vetro fuso su stagno liquido. Così realizzate, in continuo e perfettamente levigate, le lastre costituiscono già un semilavorato direttamente utilizzabile. Tuttavia, per gli utilizzi più comuni, c'è bisogno di ulteriori trattamenti, quali:

- la modifica della composizione, per la produzione di vetri colorati e vetri speciali (per es. aggiungendo piombo si ottiene il cosiddetto "vetro cristallo");
- la associazione con altri materiali, che permette la realizzazione di prodotti compositi quali: vetro e PVB (polivinilbutirrale - per vetri stratificati di sicurezza), vetro e resina (per isolamento acustico), vetro e gel (per vetrate anti-fuoco), vetro con particolari funzioni estetiche (vetro decorativo);
- la trasformazione della superficie (molatura, sabbatura, satinatura, acidatura, stampatura, serigrafia, verniciatura, laccatura, ecc.);
- il deposito superficiale ("coatizzazione" o *coating*) di strati sottili di particolari composti per la fabbricazione di specchi (argentatura), vetri smaltati (smaltatura), vetri a controllo solare, vetri per risparmio energetico, ecc.;
- l'indurimento meccanico (tempra termica o chimica) per la produzione di vetri di sicurezza.
- l'HST (*Heat Soak Test*), consistente in un trattamento termico, successivo alla tempra, destinato ad eliminare i vetri che presentano rischi di rotture spontanee;
- la curvatura (o bombatura) delle lastre;
- la stratificazione, che si ottiene interponendo materiale plastico (in genere membrane sottili di PVB) tra due o più lastre di vetro, sotto l'azione combinata di calore e pressione.

Un particolare prodotto a base di vetro, non tirato in lastre ma che ha un notevole impiego nelle costruzioni stradali ed anche come additivo per materie plastiche, sono le microsfere di vetro (dette anche "perline"), che attribuiscono alle vernici cosiddette "spartitraffico" migliori prestazioni e alle stesse e alle loro applicazioni proprietà retroriflettenti. Tali microsfere possono essere premiscelate alle vernici o "post-spruzzate" sulle superfici immediatamente dopo la verniciatura. La loro granulometria è caratterizzata dai seguenti diametri massimi: 200÷250 µm per perline da premiscelare con funzione di retroriflettenza, 60÷90 µm per perline da premiscelare per miglioramento prestazioni vernice, 850÷1000 µm per perline da post-spruzzare.

Prodotto affine è costituito dai cosiddetti "granuli di vetro", a spigoli vivi e anch'essi da post-spruzzare, aventi funzione antiderapante o antiscivolo, per i quali il diametro massimo può superare i 1000 µm.

Nelle costruzioni saranno comunque impiegati esclusivamente prodotti in vetro provvisti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 572-9** (prodotti di base di vetro di silicato sodocalcico: valutazione della conformità/norma di prodotto), **1036-2** (specchi di vetro *float* argentato per uso in interni: valutazione di conformità/norma di prodotto), **1051-2** (mattoni di vetro per pareti e pavimentazioni: valutazione di conformità/norma di prodotto), **1096-4** (vetri rivestiti: valutazione della conformità/norma di prodotto), **1279-5** (vetrate isolanti: valutazione della conformità), **1423** (microsfere di vetro, granuli antiderapanti e loro miscele, per post-spruzzatura nelle applicazioni di segnaletica orizzontale), **1748-1-2** (vetri borosilicati: valutazione di conformità/norma di prodotto), **1748-2-2** (vetro ceramica: valutazione della conformità/norma di prodotto), **1863-2** (vetro di silicato sodocalcico indurito termicamente: valutazione della conformità/norma di prodotto), **12150-2** (vetro di silicato sodocalcico di sicurezza temprato termicamente: valutazione di conformità/norma di prodotto), **12337-2** (vetro di silicato sodocalcico indurito chimicamente: valutazione della conformità/norma di prodotto), **13024-2** (vetro di borosilicato di sicurezza temprato termicamente: valutazione della conformità/norma di prodotto), **13167** (prodotti di vetro cellulare, o CG: *cellular glass*, ottenuti in fabbrica: specificazione), **14178-2** (prodotti di base di vetro a matrice alcalina: valutazione della conformità/norma di prodotto), **14179-2** (vetro di sicurezza di silicato sodocalcico temprato termicamente e sottoposto ad *heat soak test*: valutazione della conformità/norma di prodotto), **14321-2** (vetro di sicurezza a matrice alcalina temprato termicamente: valutazione della conformità/norma di prodotto), **14449** (vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza: valutazione della conformità/norma di prodotto).

Ulteriori norme da osservare sono le seguenti, divise per argomenti:

- Prodotti di base: UNI EN 572-1 (definizioni e proprietà generali fisiche e meccaniche del vetro per edilizia), 572-2 (vetro *float*), 572-3 (vetro lustrato armato), 572-4 (vetro tirato), 572-5 (vetro stampato), 572-6 (vetro stampato armato), 572-7 (vetro profilato armato e non armato), 572-8 (forniture di vetro in dimensioni fisse);
- Vetri rivestiti: UNI EN 1096-1 (definizioni e classificazione), 1096-2 (requisiti e metodi di prova per rivestimenti di classe A, B ed S), 1096-3 (requisiti e metodi di prova per rivestimenti di classe C e D);
- Vetri stratificati: 12543-1 (definizioni e descrizione delle parti componenti), 12543-2 (vetro stratificato di sicurezza), 12543-3 (vetro stratificato), 12543-4 (metodi di prova per la curabilità), 12543-5 (dimensioni e finitura dei bordi), 12543-6 (aspetto);
- Vetri trattati termicamente: UNI EN 1863-1 (vetro indurito termicamente: definizione e descrizione), 12150-1 (vetro temperato termicamente: definizione e descrizione);
- Vetri trattati chimicamente: UNI EN 12337-1 (vetro indurito chimicamente: descrizione e definizione);
- Vetrate isolanti: UNI EN 1279-1 (generalità, tolleranze dimensionali e regole per la descrizione del sistema), 1279-2 (metodo per la prova di invecchiamento e requisiti per la penetrazione del vapore d'acqua), 1279-3 (prove d'invecchiamento e requisiti per la velocità di perdita di gas e per le tolleranze di concentrazione del gas), 1279-4 (metodo di prova per le proprietà fisiche delle sigillature del bordo), 1279-6 (controllo della produzione in fabbrica e prove periodiche), 12758 (vetrazioni e isolamento acustico per via aerea: descrizioni del prodotto e determinazione delle proprietà), 12898 (determinazione dell'emissività), 673 (determinazione della trasmittanza termica (valore U): metodo di calcolo), 674 (determinazione della trasmittanza termica (valore U): metodo della piastra calda con anello di guardia), 675 (determinazione della trasmittanza termica (valore U): metodo dei termoflussimetri), 410 (determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate);
- Sicurezza: UNI EN 356 (vetro di sicurezza: prove e classificazione contro l'attacco manuale), 1063 (vetrate di sicurezza: classificazione e prove di resistenza ai proiettili), 12600 (prova del pendolo: metodo della prova di impatto e classificazione per vetro piano), 13541 (vetro di sicurezza: prove e classificazione della resistenza alla pressione causata da esplosioni);
- Varie: UNI 6534 (vetrazioni in opere edilizie: progettazione, materiali e posa in opera), 7143 (vetri piani: spessore dei vetri piani per detrazioni in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico neve), 7697 (criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie), UNI EN 1288 (determinazione della resistenza a flessione del vetro).

In ogni caso le lastre impiegate dovranno essere delle richieste dimensioni, di un sol pezzo, di spessore uniforme, di prima qualità, perfettamente incolori, trasparenti, prive di scorie, bolle, soffiature, ondulazioni, nodi, opacità lattiginose, macchie e qualsiasi altro difetto.

3.5.25. Geosintetici

3.5.25.1. Generalità

I "geosintetici" sono prodotti ad alta tecnologia, molto variegati e di tipo prefabbricato, costituiti dall'unione di materie derivanti in parte dalla petrolchimica ed in parte dall'industria tessile. Hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- sono prefabbricati;
- sono disponibili in rotoli (di altezza in genere compresa tra 1 e 6 metri) o talvolta in pannelli;
- sono impiegati in opere di ingegneria geotecnica (strade, ferrovie, opere di sostegno, rilevati rinforzati, sistemi di drenaggio, gallerie, dighe, bacini, canali, discariche controllate e opere di contenimento reflui), in conformità al D.M. 14/01/2008 e, per quanto applicabile, alla norma UNI EN 1997 (Eurocodice 7: geotecnica).

Il loro utilizzo nelle opere in appalto deve tenere conto delle seguenti problematiche: tipologia di geosintetico, materiali (fibre polimeriche eventualmente abbinate a fibre naturali), proprietà tecniche (peso, spessore, resistenza alla trazione o al taglio, allungamento, permeabilità, ecc.).

Deve essere valutato con particolare attenzione l'impiego di tali materiali quando vi sia possibilità di degrado accelerato da parte di agenti esterni (agenti chimici, radiazione UV, calore, ecc.), tra i quali si segnala l'azione dei percolati e l'esposizione al fuoco o al calore prodotto da possibili incendi.

Alcuni materiali polimerici impiegati nella realizzazione di geosintetici sono i seguenti: polietilene (PE), polietilene ad alta densità (HDPE), polipropilene (PP), poliestere (polietilentereftalato – PET), polivinilcloruro (PVC), poliammide (PA), etilene propilene diene monomero (EPDM). Vari polimeri miscelati possono formare una poliolefina flessibile termoplastica (TPO – *Thermoplastic Poly-Olefin* o FPO – *Flexible Poly-Olefin*), che genera una famiglia di prodotti di ultima generazione, dalle ottime prestazioni ed ecocompatibili.

Nonostante non siano costituiti da materiale sintetico, vengono solitamente inseriti in questa categoria anche prodotti con forma e funzioni analoghe ma costituiti da materiali naturali, solitamente fibre vegetali (cocco, iuta, ecc.). Tali prodotti sono di per se ecocompatibili e biodegradabili, quindi idonei a funzioni di tipo provvisorio come ad esempio di controllo dell'erosione e/o della stabilità dei pendii e delle sponde di corsi d'acqua, prima del loro rinverdimento con le essenze vegetali previste.

3.5.25.2. Classificazione

I geosintetici si suddividono nelle seguenti categorie, suggerite dalla IGS (*International Geosynthetics Society*):

Simbolo	Denominazione internazionale	Denominazione italiana
GSY	<i>Geosynthetic material</i>	Geosintetico
GBA	<i>Geobar</i>	Geobarra
GBL	<i>Geoblanquet</i>	Geostuoia, biostuoia (di solito biodegradabile e provvisoria)
GCE	<i>Geocell</i>	Geocella
GCD	<i>Geocomposite drain</i>	Geocomposito per drenaggio
GCL	<i>Geocomposite clay liner</i>	Geocomposito bentonitico
GEC	<i>Geosynthetic erosion control material</i>	Geosintetico per il controllo dell'erosione
GEK	<i>Electrokinetic geosynthetic</i>	Geosintetico elettrocinetico (realizzato con polimeri elettrosensibili)
GFO	<i>Geofoam</i>	Geoschiuma
GFR	<i>Geoform</i>	Geoforma (destinata a riempimento)
GGR	<i>Geogrid</i>	Geogriglia
GMA	<i>Geomat</i>	Geostuoia (a struttura tridimensionale)
GMB	<i>Geomembrane</i>	Geomembrana
GMT	<i>Geomatress</i>	Geomaterasso
GNT	<i>Geonet</i>	Georete
GSP	<i>Geospacer</i>	Geodistanziatore
GST	<i>Geostrip</i>	Geostriscia
GTX	<i>Geotextile</i>	Geotessile
GTXw	<i>Woven geotextile</i>	Geotessile tessuto
GTXnw	<i>Nonwoven geotextile</i>	Geotessile nontessuto

Geotessili

Sono manufatti permeabili e filtranti disponibili in fogli, strisce e pannelli e possono essere di tipo tessuto, tessuto "maglieria" e nontessuto.

- Geotessili tessuti: strutture piane e regolari formate dall'intreccio di due o più serie di fili costituiti da fibre sintetiche: fili di ordito (paralleli al senso di produzione) e fili di trama (perpendicolari ai primi), che consentono di ottenere aperture regolari e di piccole dimensioni. In relazione alla sezione della fibra e alla tipologia di tessitura, possono essere suddivisi in

geotessili tessuti monofilamento, geotessili tessuti a "bandelette" (nastri appiattiti) e geotessili tessuti DOS (*Directionally Oriented Structure*).

- Geotessili tessuti a maglieria: di tipo DOS, sono prodotti con sistema maglieria, in catena con inserzione di trama.
- Geotessili non-tessuti: strutture piane composte da fibre sintetiche disposte casualmente e coesionate con metodi meccanici o termici. In relazione alla lunghezza delle fibre, i geotessili nontessuti agulati possono essere a filamento continuo oppure a fibra corta ("fiocco").

Geogriglie

Possono essere di tipo estruso, di tipo tessuto o del tipo "a nastri saldati". Svolgono soprattutto una funzione di rinforzo, che viene anche favorita dalla loro particolare struttura, tale da esercitare un effetto cerchiante rispetto alle particelle di terreno che trovano alloggio nelle aperture della geogriglia stessa.

- Geogriglie estruse: strutture piane realizzate con materiali polimerici (in genere polietilene ad alta densità o polipropilene) mediante un processo di estrusione e successiva stiratura, che può essere svolto in una sola direzione (da cui le geogriglie monodirezionali, caratterizzate da una resistenza a trazione in senso longitudinale nel campo tra 45 e 200 kN/m) o nelle due direzioni principali (da cui le geogriglie bidirezionali, che hanno una resistenza minore, ma circa uguale nei due sensi, compresa tra 10 e 50 kN/m).
- Geogriglie a nastri saldati (*bonded*): strutture piane, in cui due o più serie di fibre o altri elementi sintetici vengono connessi ad intervalli regolari per mezzo di saldatura. Tali geogriglie sono in genere costituite da un nucleo di filamenti in poliestere ad alta tenacità e da un rivestimento in polietilene e sono caratterizzate da resistenze variabili nelle due direzioni e comprese tra 15 e 1200 kN/m.
- Geogriglie tessute: strutture piane a forma di rete costituite da fibre sintetiche ad elevato modulo (in genere poliestere), ricoperte da un ulteriore strato protettivo, sempre in materiale sintetico, in grado di garantire una resistenza strutturale delle giunzioni.

Geomembrane

Sono materiali impemeabili, disponibili in forma di manufatti laminari, che possono essere sintetici, bituminosi o bentonitici (propriamente detti geocompositi bentonitici).

- Geomembrane sintetiche: omogenee o rinforzate, a seconda che esista o meno un elemento di rinforzo (sintetico o metallico) all'interno dello spessore, possono inoltre essere di tipo plastomerico od elastomerico. Le geomembrane plastomeriche sono fogli con spessore compreso tra 0.5 e 2.5 mm, fabbricati con diversi metodi produttivi (calandratura, estrusione e spalmatura) e caratterizzati da coefficienti di permeabilità molto ridotti. Le geomembrane elastomeriche sono fogli con spessore compreso tra 0.5 e 2.0 mm, caratterizzati da coefficienti di permeabilità molto ridotti e fabbricati mediante una lavorazione che si sviluppa in due fasi: una prima fase, in cui si produce un impasto omogeneo, costituito dal polimero non vulcanizzato (gomma cruda) e da una serie di additivi vari con specifiche funzioni; una seconda fase di calandratura.
- Geomembrane bituminose: fogli con spessore compreso tra 3.0 e 6.0 mm e larghezza variabile da 1.0 a 1.5 m, fabbricati mediante la lavorazione di una miscela fusa (costituita da bitumi, polimeri plastomerici e/o elastomerici e cariche minerali) e caratterizzati da coefficienti di permeabilità molto ridotti. In fase di produzione, generalmente si parte da un supporto (nontessuto o tessuto, in poliestere o fibra di vetro) che, nel corso di un processo continuo, viene impregnato nella miscela fusa, successivamente raffreddato ed accoppiato a fogli antiaderenti, prima dell'avvolgimento.

Georeti

Strutture a maglia costituite da due serie sovrapposte di fili (di spessore compreso tra 3 e 15 mm) che si incrociano con angolo costante (in genere compreso tra 60° e 90°), in modo da formare aperture regolari costanti (in genere comprese tra 10 e 20 mm d'ampiezza); vengono prodotte per estrusione di polimeri termoplastici (in genere polietilene ad alta densità) e la saldatura delle due serie di fili viene realizzata per parziale compenetrazione nei punti di contatto, quando il polimero è ancora allo stato semifluido. Le georeti, se applicate congiuntamente a geotessili come filtri e/o geomembrane come elementi di tenuta, possono assolvere funzioni di drenaggio, cioè di trasmissione dei fluidi nel proprio spessore.

Geostuoie

Sono costituite da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene od altro), aggrovigliati in modo da formare uno strato molto deformabile dello spessore di 10-20 mm, caratterizzato inoltre da un indice dei vuoti assai elevato (mediamente superiore al 90%). Le geostuoie possono essere impiegate su pendii e scarpate per migliorare la resistenza all'erosione provocata dall'impatto delle gocce di pioggia e dalle acque di ruscellamento, in modo da costituire un rinforzo superficiale nella fase di crescita della vegetazione. In certi casi le geostuoie possono essere impiegate anche come elementi di protezione dall'erosione in sponde di canali o corsi d'acqua: il loro uso è limitato essenzialmente al rivestimento della parte di sponda normalmente non bagnata dall'acqua e sottoposta quindi alla sola azione delle acque meteoriche e di ruscellamento. Come le georeti, in certi casi le geostuoie possono essere impiegate anche come elementi di trasmissione dei fluidi (drenaggio) congiuntamente a geotessili e/o geomembrane: il loro uso in questo settore è limitato a quei progetti in cui i geosintetici sono sottoposti a limitati carichi statici.

Geocelle

Sono costituite da celle giustapposte prodotte per assemblaggio o estrusione di strisce di materiali sintetici di altezza pari a circa 100 mm, che realizzano una struttura a nido d'ape o similare. La funzione principale delle geocelle è quella di contenimento del terreno o di altri materiali sciolti. Tale funzione consente alle geocelle, una volta riempite di terreno, o di altri materiali sciolti di evitare lo scivolamento del terreno superficiale su scarpate e pendii.

Geocompositi

L'unione di più geosintetici, anche dalle caratteristiche contrastanti, nella risoluzione in un unico prodotto di più problematiche o di aspetti diversi della stessa problematica, da origine ai cosiddetti "geocompositi", dei quali di seguito sono descritte le due principali tipologie in uso.

- Geocompositi per drenaggio: possono essere costituiti da elementi omogenei o da elementi compositi. Nel primo caso (elementi omogenei), si tratta di elementi sintetici stampati con profilo particolare, in modo da consentire la massima capacità drenante nel caso siano posti a contatto con superfici piane (muri di sostegno, sottofondazioni, etc.). Nel secondo caso (elementi compositi), sono costituiti dall'associazione in fase di produzione di uno strato di georete (o di geostuoia o di elemento stampato) racchiuso tra 2 strati di geotessile: la georete (o la geostuoia o l'elemento stampato) ha funzione drenante ed i due geotessili hanno funzione filtrante. Talvolta i geocompositi per il drenaggio possono essere anche realizzati associando un solo geotessile alla georete (o alla geostuoia o all'elemento stampato) oppure, per particolari esigenze, possono essere costituiti da un geotessile, con funzione di filtro, da una georete (o geostuoia o elemento stampato), con funzione drenante (trasmissione dei fluidi), e da una geomembrana, con funzione di barriera. Lo spessore complessivo del geocomposito può variare tra 5 e 30 mm. Per espletare la funzione di trasmissione dei fluidi di fondamentale importanza risulta lo studio del comportamento sotto carico e nel tempo (creep).
- Geocompositi bentonitici: prodotti costituiti da bentonite sodica e geosintetici: essi consistono di un sottile strato di argilla (bentonite) racchiuso tra 2 geotessili o incollato ad una geomembrana sintetica. Allo stato attuale sono disponibili in commercio tre tipi di geocompositi bentonitici:
 - il primo tipo è realizzato fissando meccanicamente (mediante processo di agugliatura o di cucitura) uno strato di bentonite interposto tra due geotessili: tale sistema di vincolo determina un incremento di resistenza al taglio all'interfaccia bentonite-geotessile. In corrispondenza delle giunzioni in sito, i materiali vengono semplicemente sovrapposti e, nel caso di GCL prodotto mediante agugliatura, della polvere di bentonite è interposta lungo la striscia di sovrapposizione. La sigillatura si realizza quando la bentonite viene idratata, senza la necessità di alcuna cucitura di tipo meccanico;
 - il secondo tipo è realizzato mescolando polvere di bentonite sodica a granulometria controllata con un collante solubile in acqua che è poi posto tra i due geotessili. Il collante ha lo scopo di tenere insieme il materiale durante le operazioni di trasporto e di posa. Il geotessile inferiore è molto sottile e con tessitura larga, cosicché in corrispondenza delle sovrapposizioni la bentonite fuoriesce dalle aperture del geotessile quando si idrata, realizzando in tal modo la sigillatura della sovrapposizione;

- il terzo tipo è realizzato mescolando la bentonite con un collante che la fa aderire ad una geomembrana di polietilene ad alta densità (HDPE). Come nel caso del secondo tipo, il materiale è autosigillante in corrispondenza delle sovrapposizioni.

Geosintetici biologici

Sono realizzati assemblando, tramite tessitura, agugliatura, incollaggio, cucitura, confinamento, ecc., materie e/o fibre vegetali come, ad esempio, paglia, juta, cocco, fibre legnose, ecc., a formare fogli forniti in rotoli o pannelli, dello spessore di qualche millimetro, talora abbinati ad altre membrane a formare geocompositi, talora già caricati con sementi e/o fertilizzanti. In molti casi il loro degrado va a costituire esso stesso un fertilizzante.

Per le motivazioni suddette essi trovano numerosi e molteplici campi di applicazione e di impiego, quali: rivestimento di scarpate di rilevati stradali e ferroviari, rivestimento di argini spondali, fluviali, lacustri e marini (in tali applicazioni occorre verificare che le tensioni tangenziali di trascinamento siano compatibili con la resistenza meccanica dei prodotti impiegati), rivestimento di paramenti di dighe in terra o di aree bonificate, rinforzo delle terre quali ritentori di fino (solitamente in abbinamento ad altri geosintetici di rinforzo), recupero di cave, sistemazione di scarpate, rinaturazioni, impianti sportivi.

Sono forniti in genere in forma di tessuti o stuoie (quando sono spesse assumono la forma di veri e propri materassi).

- Biotessili: sono costituiti da fibre naturali (tipo juta e cocco) assemblate in modo da formare una struttura tessuta, da non aperta a molto aperta, molto deformabile, in grado di ben adattarsi al supporto. I biotessili, proprio per la natura dei materiali costituenti, possono assolvere esclusivamente funzioni provvisorie, quali la protezione dall'erosione di pendii e scarpate durante la fase di crescita della vegetazione.
- Biostuoie: sono costituite da fibre naturali (paglia, cocco, sisal, ecc.), in genere contenute tra reti in materiale sintetico (tipo polipropilene o poliammide) o naturale (tipo juta). Le biostuoie hanno uno spessore che può arrivare a qualche decina di mm, sono anch'esse di solito disponibili in rotoli e, analogamente ai biotessili, possono essere impiegate su pendii e scarpate per facilitare la crescita della vegetazione definitiva e migliorare dunque le caratteristiche di resistenza all'erosione nella fase preliminare.

3.5.25.3. Geotessili e affini

Generalità

I prodotti da impiegarsi dovranno essere marchiati CE e dotati della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 13249** (caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico, escluse ferrovie e l'inclusione in conglomerati bituminosi), **13250** (caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di ferrovie), **13251** (caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno), **13252** (caratteristiche richieste per l'impiego nei sistemi drenanti), **13253** (caratteristiche richieste per l'impiego nelle opere di controllo dell'erosione: protezione delle coste, rivestimenti di sponda), **13254** (caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di bacini e dighe), **13255** (caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di canali), **13256** (caratteristiche richieste per la costruzione di gallerie e strutture in sotterraneo), **13257** (caratteristiche richieste per l'impiego in discariche di rifiuti solidi), **13265** (caratteristiche richieste per l'impiego nei progetti di contenimento dei rifiuti liquidi).

Potrà essere qualificato prima dell'impiego, a discrezione della Direzione Lavori, mediante prove da eseguire in funzione delle singole applicazioni (se ne riporta di seguito un elenco a titolo indicativo).

Prova	Norma
Campionatura (per N deve intendersi il rotolo o la pezza)	UNI 8279-1
Permeabilità all'aria	UNI 8279-3, UNI EN ISO 9073-15
Resistenza a trazione (metodo di Grab)	UNI 8279-4, UNI EN 13934-2, UNI EN ISO 9073-18
Resistenza alla perforazione (metodo della sfera)	UNI 8279-11, UNI EN ISO 9073-5
Variazione dimensionale a caldo	UNI 8279-12
Permeabilità radiale all'acqua	UNI 8279-13, UNI EN ISO 9073-17
Resistenza al punzonamento e relativa deformazione a rottura	UNI 8279-14
Termosaldabilità	UNI 8279-15

Prova	Norma
Tempo di assorbimento di acqua (metodo della goccia)	UNI 8279-16
Stabilità agli agenti atmosferici artificiali	UNI 8279-17
Massa areica e lineare	UNI 5114
Massa areica	UNI EN 29073-1, UNI EN ISO 9864
Resistenza a trazione (su striscia di 5 cm di larghezza) e allungamento	UNI EN 29073-3, UNI EN ISO 13934-1
Spessore, in mm	UNI EN ISO 9073-2, UNI EN ISO 9863-2
Resistenza alla lacerazione	UNI EN ISO 9073-4
Identificazione in sito	UNI EN ISO 10320
Permeabilità all'acqua perpendicolare al piano, senza carico	UNI EN ISO 11058
Resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione	UNI EN 13562
Resistenza agli agenti atmosferici	UNI EN 12224
Resistenza microbiologica mediante prova di interrimento	UNI EN 12225
Resistenza all'idrolisi in acqua	UNI EN 12447
Capacità drenante nel piano	UNI EN 12958
Dimensione di apertura (<i>opening size</i>) caratteristica	UNI EN 12956
Resistenza all'abrasione (metodo del blocco scorrevole)	UNI EN ISO 13427
Proprietà viscosive a trazione (<i>tensile creep</i>) fino a rottura	UNI EN ISO 13431
Messa in opera e prelievo campioni nel terreno per le prove di lab.	UNI EN ISO 13437
Resistenza all'ossidazione	UNI EN 13438
Efficacia nel tempo di geotessili in contatto con geosintetici-barriera	UNI EN 13719
Resistenza allo sfilamento dal terreno	UNI EN 13738
Resistenza a liquidi acidi e alcalini	UNI EN 14030
Comportamento nei confronti di batteri e funghi	UNI sperim. 8986

Si riportano di seguito alcune caratteristiche preferenziali dei geotessili, per gli usi di cui al presente Capitolato. Caratteristiche diverse dovranno essere adeguatamente motivate.

Geotessili non-tessuti

I geotessili non-tessuti dovranno essere ottenuti da fibre poliolefiniche (polipropilene e/o polietilene) o poliestere (con esclusione di fibre riciclate), agglomerate mediante sistema di agglutivazione meccanica, termofusione, termocalandratura e termolegatura stabilizzate ai raggi UV, con esclusione di collanti, resine, additivi chimici. I geotessili non-tessuti possono essere a filo continuo, quando il filamento ha lunghezza teoricamente illimitata, a fiocco, quando il filamento viene tagliato prima della cardatura.

Nello specchio che segue sono riepilogate, in relazione alla natura chimica dei polimeri impiegati, le principali caratteristiche degli stessi:

Caratteristiche tecniche	Poliestere	Polipropilene
Densità: g/cm ³	1,38	0,90
Punto di rammollimento: °K	503÷523	413
Punto di fusione: °K	533÷538	443÷448
Punto d'umidità: % a 65% di umidità relativa	0,4	0,04

I geotessili, salvo specifiche prescrizioni di progetto dovranno: non avere superficie liscia, essere imputrescibili ed atossici, essere resistenti ai raggi ultravioletti, ai solventi, alle reazioni chimiche che si producono nel terreno, alle cementazioni naturali, all'azione di microrganismi, essere antinquinanti ed isotropi.

Dovranno altresì essere forniti in rotoli di larghezza la più ampia possibile in relazione alle modalità di impiego.

Geotessili tessuti

I geotessili tessuti devono essere prodotti con la tecniche della tessitura industriale a trama e ordito, con filati o bande in polipropilene o poliestere, stabilizzate ai raggi UV, con l'esclusione di materia prima riciclata.

Dovranno essere forniti in rotoli di larghezza la più ampia possibile in relazione alle modalità di impiego.

3.5.25.4. Geosintetici in generale e con funzione di barriera

I prodotti da impiegarsi dovranno essere marchiati CE e dotati della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme seguenti:

- geosintetici in generale: **UNI EN 12226** (geosintetici: prove generali per valutazioni successive a prove di durabilità), **14151** (geosintetici: determinazione della resistenza allo scoppio), **14574** (geosintetici: determinazione della resistenza al punzonamento piramidale su supporto), **15381** (geosintetici e prodotti affini: requisiti per l'impiego in pavimentazioni e strati di usura), **UNI EN ISO 9862** (geosintetici: campionamento e preparazione dei provini), **9863-1** (geosintetici: determinazione dello spessore a pressioni specificate di strati singoli), **9864** (geosintetici: determinazione della massa areica di geotessili e prodotti affini), **10318** (geosintetici: termini e definizioni), **10319** (geosintetici: prova di trazione a banda larga), **10321** (geosintetici: prova di trazione a banda larga per giunzioni e cuciture), **10722** (geosintetici: indice per la valutazione del danneggiamento meccanico causato da materiale granulare sotto carico ripetuto), **12236** (geosintetici: prova di punzonamento statico con metodo CBR), **12957-1** (geosintetici: determinazione delle caratteristiche di attrito - prova di taglio diretto), **12957-2** (geosintetici: determinazione delle caratteristiche di attrito - prova su piano inclinato), **13429** (geosintetici: determinazione dell'efficacia di protezione dal danneggiamento dovuto a un urto), **13433** (geosintetici: prova di punzonamento dinamico (prova di caduta del cono)), **13719** (geotessili e prodotti affini: determinazione dell'efficacia della protezione a lungo termine di geotessili in contatto con geosintetici con funzione barriera), **14196** (geosintetici: metodi di prova per la misurazione della massa areica di geocompositi bentonitici), **14414** (geosintetici: metodo di prova selettivo per la determinazione della resistenza chimica per applicazioni in discariche);
- geosintetici con funzione barriera: **UNI EN 13361** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di bacini e dighe), **13362** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di canali), **13491** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego come barriere ai fluidi nella costruzione di gallerie e strutture in sotterraneo), **13492** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di discariche per smaltimento, di opere di trasferimento o di contenimento secondario di rifiuti liquidi), **13493** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di discariche per accumulo e smaltimento di rifiuti solidi), **14150** (geosintetici con funzione barriera: determinazione della permeabilità ai liquidi), **14415** (geosintetici con funzione barriera: metodo di prova per la determinazione della resistenza alla percolazione), **14575** (geosintetici con funzione barriera: metodo di prova per la determinazione della resistenza all'ossidazione), **14576** (metodo di prova per la determinazione della resistenza di geosintetici polimerici con funzione barriera alla fessurazione da sollecitazione ambientale), **15382** (geosintetici con funzione barriera: caratteristiche richieste per l'impiego in infrastrutture di trasporto), **UNI 11309** (geosintetici polimerici con funzione di barriera a base di polietilene a media e alta densità: caratteristiche e limiti di accettazione), **11332** (geocompositi bentonitici con funzione barriera: caratteristiche e limiti di accettazione), **UNI CEN/TS 14416** (geosintetici con funzione barriera: metodo di prova per la determinazione della resistenza alle radici), **14417** (geosintetici con funzione barriera: metodo di prova per la determinazione dell'influenza dei cicli di asciutto/ bagnato sulla permeabilità dei geocompositi bentonitici), **14419** (geosintetici con funzione barriera: metodo di prova per la determinazione dell'influenza dei cicli gelo/disgelo sulla permeabilità dei geocompositi bentonitici).

3.5.26. Membrane per impermeabilizzazione

Si intendono qui le membrane impermeabili, prefabbricate, in materiale sintetico o naturale (catrame, asfalto, bitume, caucciù, cartone, bentonite sodica), da impiegarsi nelle costruzioni al di fuori di quelle già descritte nel paragrafo “geosintetici”. Si tratta in massima parte di membrane, semplici o rinforzate, a singolo strato o a più strati, destinate ad essere applicate a strutture di vario genere che devono essere preservate dal contatto con liquidi. Ciò nonostante alcuni prodotti, pur garantendo impermeabilità ai liquidi, consentono tuttavia il passaggio di gas e vapori (es.: membrana in non-tessuto Tyvek ⁽¹⁾).

Sono in genere fornite in rotoli, ma qualche volta anche in pannelli e sono realizzate con materiali di molti tipi diversi. Le più comuni sono quelle a base di bitume modificato con polimeri (PMB – *Polymer Modified Bitumen*) elastomerici o plastomerici, quelle in polimeri termoplastici (ad es.: PVC-P, TPO, HDPE, EPDM) e quelle in bentonite sodica.

Per applicazioni che richiedono contemporaneamente buone prestazioni ed eco compatibilità sono da preferire le membrane in TPO (*Thermoplastic Poly-Olefin*), denominate anche: FPO (*Flexible Poly-Olefin*), FPP (*Flexible Poly-Propylen*) o FPA (*Flexible Polypropylen Alloys*). Questi materiali, ottenuti per polimerizzazione con processo denominato “*catalloy*” (brevetto iniziale Montell, poi divenuta Basell – acronimo derivante da BASF e Shell – oggi LyondellBasell):

- non contengono sostanze cancerogene,
- non contengono cloro,
- non rilasciano sostanze tossiche nell’ambiente, quali i plastificanti spesso impiegati nella produzione di membrane polimeriche,
- sono riciclabili o smaltibili in termovalorizzatore senza rilascio di diossine.

I prodotti da impiegarsi dovranno essere marchiati CE e dotati della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 13707** (membrane bituminose armate per l’impermeabilizzazione di coperture: definizioni e caratteristiche), **13859-1** (definizioni e caratteristiche dei sottostrati: sottostrati per coperture discontinue), **13859-2** (definizioni e caratteristiche dei sottostrati: sottostrati murari), **13956** (membrane di materia plastica o gomma per l’impermeabilizzazione di coperture: definizioni e caratteristiche), **13967** (membrane di materiale plastico e di gomma impermeabili all’umidità incluse membrane di materiale plastico e di gomma destinate a impedire la risalita di umidità dal suolo: definizioni e caratteristiche), **13969** (membrane bituminose destinate a impedire la risalita di umidità dal suolo: definizioni e caratteristiche), **13970** (strati bituminosi per il controllo del vapore d’acqua: definizioni e caratteristiche), **13984** (strati di plastica e di gomma per il controllo del vapore: definizioni e caratteristiche), **14695** (membrane bituminose armate per l’impermeabilizzazione di impalcati di ponte di calcestruzzo e altre superfici di calcestruzzo soggette a traffico: definizioni e caratteristiche), **14909** (membrane di materiale plastico e di gomma destinate ad impedire la risalita di umidità: definizioni e caratteristiche), **14967** (membrane bituminose per muratura destinate ad impedire la risalita di umidità: definizioni e caratteristiche).

Ulteriori norme da osservare, fra le altre, sono le seguenti, divise per argomenti:

- applicazioni: UNI EN 15836 (membrane di policloruro di vinile plastificato (PVC-P) per piscine interrate);
- prove: UNI EN 1108 (membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture: determinazione della stabilità di forma in condizioni di variazioni cicliche di temperatura), 1110 (membrane bituminose per l’impermeabilizzazione delle coperture: determinazione dello scorrimento a caldo), 1548 (membrane di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture: metodo per esposizione al bitume), 1847 (membrane di materiale plastico e gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture: metodi per l’esposizione agli agenti chimici liquidi, acqua inclusa), 1849 (determinazione dello spessore e della massa areica), 12316 (determinazione della resistenza al distacco delle giunzioni), 12317 (determinazione della resistenza al taglio delle giunzioni), 12691 (membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture: determinazione della resistenza all’urto), 13111 (sottostrati per coperture discontinue e pareti: determinazione della resistenza alla penetrazione dell’acqua), 13948 (membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per l’impermeabilizzazione delle coperture: determinazione della resistenza alla penetrazione delle radici), 14223 (impermeabilizzazione di ponti di calcestruzzo ed altre superfici di calcestruzzo soggette al transito di veicoli: determinazione dell’assorbimento d’acqua), 14224 (impermeabilizzazione di ponti di calcestruzzo ed altre superfici di calcestruzzo soggette al transito di veicoli: determinazione della capacità di resistenza alla

⁽¹⁾ Tyvek è un marchio di proprietà della Du Pont de Nemours BVBA (Belgio).

fessurazione), 14693 (impermeabilizzazione di impalcati di ponte di calcestruzzo e altre superfici di calcestruzzo trafficabili da veicoli: determinazione del comportamento delle lastre bituminose durante l'applicazione di mastici d'asfalto), 15976 (determinazione dell'emissività), 16002 (determinazione della resistenza al carico del vento di membrane flessibili fissate meccanicamente per l'impermeabilizzazione del tetto);

- posa in opera: UNI 11333 (formazione e qualificazione degli addetti alla posa).

3.5.27. Tubazioni in ghisa

Saranno impiegate tubazioni in ghisa dotate di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme:

- Tubazioni ed accessori: UNI 7685 (tubi e raccordi filettati, portacavi, per impianti elettrici antideflagranti a prova di esplosione (AD-PE) - manicotti di ghisa, zincati), 9163 (tubi, raccordi e pezzi accessori di ghisa a grafite sferoidale per condotte in pressione - giunto elastico automatico - dimensioni di accoppiamento ed accessori di giunto), **UNI EN 545** (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale e loro assemblaggi per condotte d'acqua - requisiti e metodi di prova), **598** (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale e loro giunti per fognatura - requisiti e metodi di prova), **877** (tubi e raccordi di ghisa, loro assemblaggi e accessori per l'evacuazione dell'acqua dagli edifici - requisiti, metodi di prova e assicurazione della qualità), **969** (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale e loro assemblaggi per condotte di gas - prescrizioni e metodi di prova), 1092-2 (flange e loro giunzioni - flange circolari per tubazioni, valvole, raccordi e accessori designate mediante PN - flange di ghisa), 1171 (valvole industriali - valvole a saracinesca di ghisa), 10242 (raccordi di tubazione filettati di ghisa malleabile), 12334 (valvole industriali - valvole di ritegno di ghisa), 12842 (raccordi di ghisa sferoidale per sistemi di tubazioni di PVC-U o PE - requisiti e metodi di prova), 13789 (valvole industriali - valvole a globo di ghisa), 14525 (adattatori di flange e manicotti a larga tolleranza da utilizzare con tubazioni di materiali differenti: ghisa duttile, ghisa grigia, acciaio, PVC-U PE, fibrocemento), UNI ISO 8180 (tubazioni di ghisa duttile - manicotto di polietilene per applicazione in cantiere);
- Trattamenti e rivestimenti: UNI EN 12502-5 (protezione di materiali metallici contro la corrosione - raccomandazioni sulla valutazione della probabilità di corrosione in impianti di distribuzione e di deposito di acqua - parte 5: fattori che hanno influenza su ghisa e su acciai non legati o basso legati), 14628 (tubi, raccordi ed accessori di ghisa sferoidale - rivestimento esterno di polietilene per tubi - requisiti e metodi di prova), 14901 (tubi, raccordi e accessori in ghisa sferoidale - rivestimento epossidico rinforzato dei raccordi e degli accessori in ghisa sferoidale - requisiti e metodi di prova), 15189 (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale - rivestimento esterno di poliuretano dei tubi - requisiti e metodi di prova), 15542 (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale - rivestimento esterno di malta cementizia per tubi - requisiti e metodi di prova), 15655 (tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale - rivestimento interno in poliuretano per tubi e raccordi - requisiti e metodi di prova), ;
- Saldatura: UNI EN 1011-8 (saldatura - raccomandazioni per la saldatura di materiali metallici - parte 8: saldatura della ghisa), UNI EN ISO 1071 (materiali d'apporto per saldatura - elettrodi rivestiti, fili, bacchette e fili animati tubolari per la saldatura per fusione della ghisa - classificazione);
- Controlli e prove: UNI ISO 10802 (tubazioni di ghisa a grafite sferoidale - prove idrostatiche dopo posa).

Se le tubazioni e gli elementi a corredo sono destinati all'adduzione di acqua per il consumo umano, devono essere rispettati i requisiti di cui al D.M. 06/04/2004 n. 174.

3.5.28. Tubazioni in PVC

Generalità

Saranno impiegate, per le normali opere all'esterno, tubazioni in cloruro di polivinile vergine, non plastificato e idoneo all'estrusione (PVC-U), dei tipi definiti dalle norme UNI EN 1401, 1452, UNI CEN/TS 13598-3 e UNI 10972, con giunti a bicchiere muniti di guarnizione di gomma, da installare con i previsti raccordi, anch'essi come definiti dalle normative

specifiche. Se destinate all'adduzione di acqua per il consumo umano, devono essere rispettati i requisiti di cui al D.M. 174/2004.

Nel caso specifico di tubazioni a parete "strutturata", ovvero non costituita soltanto da un unico strato liscio, bensì da uno strato esterno avente profilo corrugato (tale cioè da garantire una buona resistenza allo schiacciamento abbinata alla flessibilità longitudinale), eventualmente accoppiato ad uno strato interno liscio, oppure da una serie di strati lisci accoppiati, tali da conferire comunque alla tubazione caratteristiche meccaniche superiori, queste saranno dei tipi definiti dalle norme UNI EN 13476.

Per impieghi nei fabbricati le norme di riferimento saranno le seguenti: UNI EN 1329, 1453, 1565, UNI EN 12200.

Per impieghi in elementi a perdere o comunque di limitatissima importanza, nei quali il progetto preveda PVC non vergine, la norma di riferimento è la UNI CEN/TS 14541.

I tubi ed i raccordi dovranno essere certificati dall' I.I.P. (Istituto Italiano dei Plastici) con marchio di conformità IIP-UNI o Piip o rilasciato da altro organismo di certificazione di prodotto equivalente, accreditato in conformità alla norma UNI EN 45011. Dovranno essere altresì colorati, in massa, in uno dei colori previsti (grigio, arancio, avorio).

Quando osservate senza ingrandimento, le superfici interne e esterne dei tubi e dei raccordi dovranno essere lisce, pulite ed esenti da screpolature, cavità ed altri difetti superficiali che possano influire sulla conformità alla norma.

Il materiale non dovrà contenere alcuna impurità visibile senza ingrandimento.

Le estremità dei tubi dovranno essere tagliate in modo netto e perpendicolarmente all'asse del tubo. Tutti i tubi dovranno essere permanentemente marcati in maniera leggibile lungo la loro lunghezza riportando, con frequenza non minore di un metro, almeno le seguenti informazioni:

- identificazione del fabbricante;
- marchio di conformità IIP-UNI o Piip o equivalente;
- riferimento alla norma UNI EN;
- materiale (PVC-U);
- dimensioni nominali;
- pressione nominale PN;
- data di produzione (data o codice).

Tutti i raccordi dovranno essere permanentemente marcati in maniera leggibile riportando almeno le seguenti informazioni:

- identificazione del fabbricante;
- marchio di conformità IIP-UNI o Piip o equivalente (*);
- riferimento alla norma UNI EN (*);
- materiale (PVC-U o PVC-UH);
- dimensioni nominali;
- pressione nominale PN (*);
- data di produzione (data o codice) (*).

(*) Informazione che è possibile riportare anche su di un'etichetta.

Stoccaggio, movimentazione e trasporto

Durante la movimentazione ed il trasporto delle tubazioni dovranno essere prese tutte le necessarie precauzioni per evitarne il danneggiamento; le stesse non dovranno venire in contatto con oggetti taglienti e, quando scaricate, non dovranno essere gettate o lasciate cadere o trascinate a terra. Dovranno essere stoccate su superfici piane e pulite ed in cataste ordinate e di altezza tale da evitare deformazioni e danneggiamenti, con particolare attenzione ai bicchieri dei tubi.

Progettazione, installazione e collaudo

La progettazione delle tubazioni interrato dovrà avvenire ai sensi della norma UNI EN 1295-1.

L'installazione ed il collaudo delle tubazioni dovranno essere eseguiti, come applicabili, in conformità alle norme UNI ENV 1046, UNI EN ISO 1452-12, UNI ENV 1401-3.

In ogni caso le giunzioni e le curvature delle tubazioni in PVC-U non dovranno mai essere realizzate per saldatura o comunque per mezzo del calore. Si dovranno prendere le necessarie precauzioni quando si maneggiano ed installano le tubazioni a temperature inferiori ai 0°C.

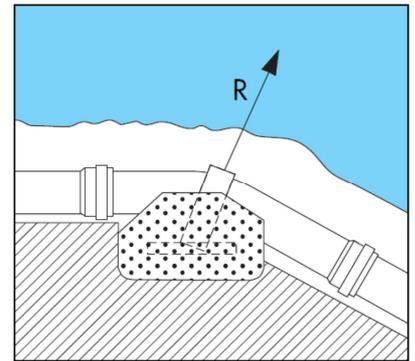
Nel caso di interrimento, il materiale di riempimento per il letto di posa e per la trincea dovrà essere costituito da sabbia priva di ciottoli, sassi taglienti, pietre, agglomerati d'argilla, creta, sostanze organiche o eventuale terreno gelato.

Per le installazioni sopra terra, si dovrà tenere conto delle variazioni dimensionali e le tubazioni dovranno essere posizionate in modo da comportare nel sistema il minimo sforzo possibile dovuto alle espansioni e contrazioni di elementi strutturali e delle tubazioni medesime.

Giunzioni ad anello elastomerico

I tubi dovranno essere forniti con idonei anelli elastomerici al fine di assicurare la tenuta delle giunzioni. Se gli anelli elastomerici non sono già posizionali nel tubo, al momento dell'installazione e prima del posizionamento, si dovrà procedere alla pulizia della loro sede ed eventualmente alla lubrificazione in conformità alle istruzioni del fornitore.

Nel caso in cui i tubi vengano tagliati in cantiere, il taglio dovrà essere perpendicolare all'asse e si dovrà effettuare lo smusso del codolo. I codoli dovranno essere inseriti nei bicchieri fino alla linea di riferimento (se presente) evitando contaminazioni.



Nel caso di utilizzo di giunzioni ad anello elastomerico che non sopportano sforzi assiali, la separazione della giunzione nelle applicazioni interrate dovrà essere prevenuta mediante blocchi di ancoraggio in cemento (v. figura), mentre sopra il suolo dovranno essere utilizzate apposite staffe di ancoraggio.

Giunzioni ad incollaggio

Per le tubazioni destinate al trasporto di acqua per uso umano, dovranno essere utilizzati unicamente adesivi idonei. Per la giunzione delle tubazioni mediante incollaggio dovranno essere seguite le istruzioni del fornitore e le seguenti:

- nel caso i tubi vengano tagliati in cantiere, il taglio dovrà essere perpendicolare alle estremità e si dovrà effettuare lo smusso del codolo;
- assicurarsi che le superfici da giuntare siano pulite ed asciutte;
- applicare l'adesivo in modo uniforme ed in direzione longitudinale;
- procedere, nei tempi specificati dal fornitore, alla giunzione delle estremità;
- rimuovere i residui di adesivo;
- lasciare asciugare per almeno cinque minuti;
- non sottoporre la tubazione alla pressione interna prima di quanto indicato dal fornitore.

3.5.29. Tubazioni in PE

Generalità

I tubi e i relativi raccordi ed accessori in polietilene delle categorie PE 80 e PE 100, utilizzati per trasporto di acqua in pressione o di altri fluidi, dovranno essere in materiale vergine ed avere i requisiti previsti dalla normativa vigente, ed in particolare dalle norme:

- UNI EN 12201 (sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua e per scarico e fognature in pressione - Polietilene (PE)), suddivisa nelle seguenti parti: 1) generalità, 2) tubi, 3) raccordi, 4) valvole, 5) idoneità allo scopo del sistema, 7) guida per la valutazione della conformità;
- UNI EN 13598 (sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione: policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE)), suddivisa nelle seguenti parti: 1) specifiche per raccordi ausiliari inclusi i pozzetti di ispezione poco profondi, 2) specifiche per i pozzetti di ispezione accessibili al personale e per le camere di ispezione, per installazioni interrate in aree di traffico ed in profondità.

Nel caso specifico di tubazioni a parete “strutturata”, ovvero non costituita soltanto da un unico strato liscio, bensì da uno strato esterno avente profilo corrugato (tale cioè da garantire una buona resistenza allo schiacciamento abbinata alla flessibilità longitudinale), eventualmente accoppiato ad uno strato interno liscio, oppure da una serie di strati lisci accoppiati, tali da conferire comunque alla tubazione caratteristiche meccaniche superiori, queste saranno dei tipi definiti dalle norme UNI EN 13476.

Se i componenti sono destinati all’adduzione di acqua per il consumo umano, devono essere rispettati i requisiti di cui al D.M. 174/2004.

Per impieghi in elementi a perdere o comunque di limitatissima importanza, nei quali il progetto preveda PE non vergine, la norma di riferimento è la UNI CEN/TS 14541.

I tubi e gli altri componenti dovranno essere certificati dall’ I.I.P. (Istituto Italiano dei Plastici) con marchio di conformità IIP-UNI o Piip o rilasciati da altro organismo di certificazione di prodotto, regolarmente accreditato.

I tubi ed i raccordi dovranno essere ottenuti da *compound* di polietilene e dovranno essere di colore blu o nero con strisce blu. I raccordi dovranno essere di colore blu o nero.

Quando osservate senza ingrandimento, le superfici interne e esterne dei tubi e dei raccordi dovranno essere lisce, pulite ed esenti da rigature, cavità ed altri difetti superficiali che possano influire sulla conformità alla norma.

Le estremità dei tubi dovranno essere tagliate in modo netto e perpendicolarmente all’asse del tubo. Tutti i tubi dovranno essere permanentemente marcati in maniera leggibile lungo la loro lunghezza riportando, con frequenza non minore di un metro, almeno le seguenti informazioni:

- identificazione del fabbricante;
- marchio di conformità IIP-UNI o Piip o equivalente;
- riferimento alla norma UNI EN;
- dimensioni nominali;
- serie SDR;
- materiale e designazione (PE 80 o PE 100);
- codice del compound PE utilizzato;
- pressione nominale PN;
- data di produzione (data o codice).

Tutti i raccordi dovranno essere permanentemente marcati in maniera leggibile riportando almeno le seguenti informazioni:

- identificazione del fabbricante;
- marchio di conformità IIP-UNI o Piip o equivalente (*);
- riferimento alla norma UNI EN (*);
- dimensioni nominali / serie SDR;
- intervallo SDR di saldabilità (*);
- materiale e designazione (PE 80 o PE 100);
- pressione nominale PN (*);
- data di produzione (data o codice).

(*) Informazione che è possibile riportare anche su di un’etichetta.

Stoccaggio, movimentazione e trasporto

Durante la movimentazione ed il trasporto delle tubazioni dovranno essere prese tutte le necessarie precauzioni per evitarne il danneggiamento; i tubi non dovranno venire in contatto con oggetti taglienti e, quando scaricati, non dovranno essere gettati o lasciati cadere o trascinati a terra. I tubi dovranno essere stoccati su superfici piane e pulite ed in cataste ordinate e di altezza tale da evitare deformazioni e danneggiamenti. I tubi di colore blu dovranno essere protetti dall’esposizione diretta ai raggi solari.

Progettazione, installazione e collaudo

La progettazione delle tubazioni interrato dovrà avvenire ai sensi della norma UNI EN 1295-1.

L'installazione ed il collaudo delle tubazioni dovranno essere eseguiti, come applicabili, in conformità alle norme UNI ENV 1046, UNI EN 12666, UNI 11149, 10520, UNI ISO/TR 7474, UNI 7616.

Il materiale di riempimento per il letto di posa e per la trincea delle installazioni interrato dovrà essere costituito da sabbia priva di ciottoli, sassi taglienti, pietre, agglomerati d'argilla, creta, sostanze organiche o eventuale terreno gelato.

L'installazione delle tubazioni interrato con le tecnologie che non prevedono lo scavo di trincee (*no-dig, trenchless technologies*) dovrà essere effettuato seguendo le indicazioni della IATT (*Italian Association for Trenchless Technologies*).

Saldatura ad elementi termici per contatto (saldatura testa a testa)

La saldatura ad elementi termici per contatto dovrà essere effettuata da personale in possesso di certificazione ("patentino") in conformità alla norma UNI 9737, rilasciata da un organismo di certificazione del personale accreditato ed eseguita in conformità alle norme UNI 10520 e UNI 10967 per quanto applicabili ed alla norma UNI 11024. Dovranno essere utilizzate apparecchiature conformi alla norma UNI 10565.

Prima di procedere alla saldatura si dovrà verificare che le superfici delle tubazioni da saldare di testa siano tagliate perpendicolarmente all'asse, prive di difetti e pulite.

Saldatura per elettrofusione

La saldatura per elettrofusione dovrà essere effettuata da personale in possesso di certificazione ("patentino") in conformità alla norma UNI 9737 rilasciata da un organismo di certificazione del personale accreditato ed eseguita in conformità alla norma UNI 10521 ed alla norma UNI 11024. Dovranno essere utilizzate apparecchiature conformi alla norma UNI 10566. Prima di procedere alla saldatura si dovrà procedere alla raschiatura con idoneo strumento ed alla pulizia della superficie di fusione del codolo.

3.5.30. Tubazioni in gres

Per gli impianti di raccolta e smaltimento di liquami e acque reflue saranno impiegate tubazioni in gres e relativi accessori, dotate di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo. Dovranno in particolare essere conformi alle norme: **UNI EN 195-1** (specificazioni), 295-2 (controllo della qualità e campionamento), 295-3 (metodi di prova), 295-4 (requisiti per elementi complementari speciali, elementi di adattamento ed accessori compatibili), 295-5 (requisiti per i tubi perforati e per gli elementi complementari di gres), 295-6 (requisiti per pozzetti di gres), 295-7 (requisiti per tubi e sistemi di giunzione di gres per tubazioni con posa a spinta), **295-10** (requisiti di prestazione).

3.5.31. Elementi in fibrocemento

Il fibrocemento è costituito generalmente da una miscela di acqua, cemento, fibre ed additivi (filler), con assoluta esclusione di fibre di amianto.

Potranno essere impiegati elementi in fibrocemento quali: tubi e relativi raccordi ed accessori, pozzetti, lastre piane, lastre nervate o ondulate, ecc., in osservanza delle seguenti principali norme: **UNI EN 492** (tegole piane e relativi accessori), **494** (lastre nervate e relativi accessori), 512 (tubi e giunti per condotte in pressione), 588-1 (tubi per fognature e sistemi di scarico a gravità), **588-2** (tubi per fognature e sistemi di scarico: pozzetti e camere di ispezione), 1444 (tubazioni: guida per la posa e per le pratiche di cantiere), **12467** (lastre piane), 12763 (tubi e raccordi per sistemi di scarico per edifici: dimensioni e termini tecnici di distribuzione), 15057 (lastre nervate: prova di resistenza all'urto), UNI 10636 (lastre odulate: istruzioni per l'installazione).

3.5.32. Elementi in PRFV (vetroresina)

Il PRFV (Plastica Rinforzata con Fibre di Vetro) o, in inglese, FRP (*Fiberglass-Reinforced Plastic*) o GFRP (*Glass Fiber-Reinforced Plastic*), è un materiale composito, costituito da una matrice polimerica termoindurente (poliestere, vinilestere, epossidica, ecc.) nella quale sono incorporate fibre di vetro continue in forma di tessuti o tessuti-non-tessuti o corte e casualmente orientate (feltri). Talora le fibre di vetro possono essere accompagnate o sostituite da quelle aramidiche⁽¹⁾. Questo materiale è spesso identificato in Italia con l'acronimo VTR.

⁽¹⁾ Le fibre in "aramide" o "aramidiche" sono fibre polimeriche ad altissime prestazioni meccaniche, ottenute per lavorazione di poliammidi aromatiche. Dalla contrazione del termine inglese per queste ultime (*aromatic polyamides*) deriva il termine aramide (*aramid*).

Gode di eccellenti caratteristiche prestazionali, anche di tipo strutturale, si presta a molteplici modalità di produzione, si accoppia facilmente a rivestimenti e ad altri materiali e di conseguenza ha un enorme numero di impieghi. Nelle costruzioni civili, soprattutto per la realizzazione di elementi prefabbricati, talora di forma complessa, soprattutto nel settore impiantistico (serbatoi, vasche, tubazioni, pozzetti, armadi, pali di sostegno, ecc.) e nelle opere di finitura (coperture, grigliati, recinzioni, rivestimenti, ecc.) e di arredo urbano.

Sono soggetti ad obbligo di marcatura CE unicamente i pali per illuminazione pubblica in PFRV, secondo la norma **UNI EN 40-7** (requisiti per pali per illuminazione pubblica di compositi polimerici fibrorinforzati). Sono tuttavia da osservare le ulteriori seguenti norme, che riguardano tanto il materiale base quanto i prodotti:

- in generale: UNI EN 59 (materie plastiche rinforzate con fibre di vetro: determinazione della durezza mediante durometro barcol), 61 (materie plastiche rinforzate con fibre di vetro: determinazione delle caratteristiche a trazione), UNI EN ISO 25762 (guida per la valutazione delle caratteristiche e delle prestazioni al fuoco dei compositi di polimeri rinforzati con fibre), UNI 9900 (materie plastiche rinforzate con vetro tessile: materiali da stampaggio in fogli (SMC) e in massa (BMC) - determinazione del contenuto di fibre di vetro - metodo di lavaggio con ultrasuoni), 9901 (materie plastiche rinforzate con vetro tessile: determinazione del contenuto in massa di fibre di vetro e cariche (metodo della calcinazione));
- tubi: UNI EN 761 (tubi: determinazione del fattore di scorrimento sotto carico allo stato secco), 1119 (giunti per tubi e raccordi: metodi di prova per la tenuta e la resistenza al danneggiamento dei giunti flessibili non resistenti alla spinta con guarnizioni di tenuta in elastomero), 1120 (tubi: determinazione della resistenza all'attacco chimico dall'interno di una sezione sottoposta a flessione), 1226 (tubi: metodo di prova per verificare la resistenza alla deformazione anulare iniziale), 1228 (tubi: determinazione della rigidità anulare specifica iniziale), 1229 (tubi: metodi di prova per determinare la tenuta idraulica della parete sottoposta ad una pressione interna di breve durata), 1393 (tubi: determinazione delle proprietà iniziali in trazione longitudinale), 1394 (tubi: determinazione della resistenza in trazione circonferenziale apparente iniziale), 1447 (tubi: determinazione della resistenza a lungo termine alla pressione interna), 1638 (tubi: metodo di prova per gli effetti della pressione interna ciclica), 1796 (sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature, scarichi e per la distribuzione dell'acqua in pressione in PFRV a base di resina poliestere insatura), 1862 (tubi: determinazione del fattore di scorrimento (*creep*) relativo a flessione a seguito dell'esposizione ad un ambiente chimico), 9033-1 (tubi: metodi di prova – generalità e campionamento), 9033-2 (tubi: controllo delle materie prime), 9033-3 (tubi: ispezione visiva), 9033-4 (tubi: controllo delle dimensioni), 9033-6 (tubi: determinazione del grado di polimerizzazione tramite il contenuto residuo di stirene monomero e del contenuto medio, in massa, di vetro), 9033-9 (tubi: determinazione della resistenza all'urto mediante caduta di un corpo percussore), 9033-10 (tubi: determinazione della resistenza al taglio della parete del tubo), 9033-11 (tubi: determinazione della resistenza all'abrasione dello strato interno), 9033-14 (tubi: determinazione della rigidità trasversale a lungo termine), 9033-16 (tubi: determinazione del rilassamento), 9033-17 (tubi: determinazione della pressione esterna o depressione interna di collasso), UNI 9032 (tubi: linee guida per la definizione dei requisiti per l'impiego);
- sistemi di tubazioni: UNI CEN/TS 14578 (sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua o scarico e fognatura in PFRV a base di resina poliestere insatura: procedure raccomandate per l'installazione), 14632 (sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature, scarichi e per la distribuzione dell'acqua in pressione e non in PFRV a base di resina poliestere insatura: guida per la valutazione della conformità), 14807 (sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature, scarichi e per la distribuzione dell'acqua in pressione e non in PFRV a base di resina poliestere insatura: guida per l'analisi strutturale delle tubazioni interrato), 15729 (sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature, scarichi e per la distribuzione dell'acqua in pressione in PFRV a base di resina poliestere insatura: rapporto sulla determinazione della abrasione media dopo un numero definito di cicli di prova), UNI EN 14364 (sistemi di tubazioni di materia plastica per

fognature, scarichi e per la distribuzione dell'acqua in pressione e non in PFRV a base di resina poliestere insatura: specifiche per tubi, raccordi e giunzioni), serbatoi e contenitori fuori terra: UNI EN 13121-1 (serbatoi e contenitori per utilizzi fuori terra: condizioni di specifica e per l'uso), 13121-2 (serbatoi e contenitori per uso fuori terra in materiali compositi: resistenza chimica), 13121-3 (serbatoi e contenitori per utilizzi fuori terra: progettazione e lavorazione), 13121-4 (serbatoi e contenitori per utilizzi fuori terra: consegna, installazione e manutenzione), 13280 (specifiche per serbatoi rinforzati di fibre di vetro monoblocco e ad elementi componibili per l'accumulo fuori terra di acqua fredda);

- serbatoi interrati: UNI EN 976-1 (serbatoi interrati cilindrici orizzontali per l'immagazzinamento non a pressione di carburanti o combustibili liquidi derivati dal petrolio: requisiti e metodi di prova per serbatoi a parete semplice), 976-2 (serbatoi interrati cilindrici orizzontali per l'immagazzinamento non a pressione di carburanti o combustibili liquidi derivati dal petrolio: trasporto, maneggio, immagazzinamento ed installazione di serbatoi a parete semplice), 977 (serbatoi interrati: metodo di esposizione ai fluidi da una sola parte), 978 (serbatoi interrati: determinazione del fattore a e del fattore b);
- lastre e simili: UNI EN 1013-2 (lastre profilate che trasmettono la luce, per copertura a parete semplice: requisiti specifici e metodi di prova), UNI 10452 (lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico trasparente, incolore o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi: tipi, dimensioni, requisiti e metodi di prova);
- progettaz., esecuzione, controllo: CNR-DT 200 R1/2012 08/03/2012 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati), CNR-DT 205/2007 09/10/2008 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di strutture realizzate con profili pultrusi di materiale composito fibrorinforzato (FRP)), *ACI Committee 440, 2008: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, *ISIS Canada Corporation, 2008: ISIS Design Manual No. 4: FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures*.

3.5.33. Serramenti

Si intendono per serramenti i dispositivi progettati per la chiusura fissa o apribile di porte, finestre ed altre aperture entro muri o pareti.

Dovranno essere impiegati nelle opere definitive e nei casi previsti dalle norme, serramenti e relativi accessori dotati di marcatura CE e conformi alle vigenti norme, delle quali si riportano le principali, con particolare riferimento a quelle armonizzate:

- Serramenti in generale: UNI EN 1670 (resistenza alla corrosione), 14637 (sistemi di uscita controllati elettricamente per assemblaggi di porte tagliafumo), UNI 3952 (serramenti di alluminio e sue leghe per l'edilizia), 8938 (idoneità delle specie legnose per serramenti interni), 8975 (dimensioni di coordinazione);
- Accessori: **UNI EN 179** (dispositivi per uscite di emergenza azionati mediante maniglia a leva o piastra a spinta per l'utilizzo sulle vie di fuga: requisiti e metodi di prova), **1125** (dispositivi per le uscite antipanico azionati mediante una barra orizzontale per l'utilizzo sulle vie di esodo), **1154** (dispositivi di chiusura controllata delle porte), **1155** (dispositivi elettromagnetici fermoporta per porte girevoli), **1158** (dispositivi per il coordinamento della sequenza di chiusura delle porte), 1303 (cilindri per serrature), 1527 (accessori per porte scorrevoli e porte a libro), **1935** (cerniere ad asse singolo), 12051 (catenacci per porte e finestre), **12209** (serrature azionate meccanicamente, chiavistelli e piastre di bloccaggio), 12320 (lucchetti e accessori), 12365 (parti 1, 2, 3, 4: guarnizioni per porte, finestre, chiusure oscuranti e facciate continue), 13126 (parti 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19: accessori per finestre e porte finestre), 14648 (accessori per chiusure oscuranti), **14846** (serrature azionate elettromeccanicamente e piastre di bloccaggio), UNI CEN/TS 13126 (parti 3, 9, 13, 14: accessori per finestre e porte finestre), UNI CEN/TR 15894 (ausili per porte per l'utilizzo da parte di bambini, anziani e disabili in edifici residenziali e pubblici: guida per gli operatori).

3.5.34. Materiali per opere a verde

Terra vegetale

Il materiale da impiegarsi per il rivestimento delle scarpate dei rilevati e delle trincee, per la formazione dei cigli erbosi e degli arginelli ai margini della piattaforma stradale, delle isole spartitraffico a verde e per la formazione, livellazione o ripresa di aree comunque destinate a verde, dovrà essere terra "vegetale", ovvero a granulometria fine sabbio-limo-argillosa, proveniente di preferenza dallo scotico del terreno a precedente destinazione agraria o comunque dagli scavi, effettuati nell'ambito del medesimo cantiere o dei cantieri relativi alle opere in appalto, o comunque in aree compatibili con quelle oggetto di successiva ricollocazione, da prelevarsi fino alla profondità massima di 1,00 m.

Dovrà inoltre risultare, per quanto possibile, di reazione neutra, sufficientemente dotato di sostanza organica e di elementi nutritivi, di medio impasto, privo di pietre, ciottoli, detriti, radici, erbe infestanti. Qualora tali caratteristiche non siano presenti, possono essere ottenute con adeguato trattamento correttivo.

Nel prelievo e reimpiego della terra vegetale dovranno essere osservate le norme di cui al D.Lgs. 03/04/2006 n. 152 nonché altre normative specifiche in vigore (i.e. D.P.R. 120/2017).

Nell'asportazione della terra da riutilizzare, occorre operare in condizioni di umidità non eccessiva della stessa e, per quanto possibile, separando gli orizzonti superficiali (primi 20-30 cm), dagli orizzonti sottostanti ed in ogni caso dal substrato inerte non pedogenizzato.

Il suolo asportato deve essere temporaneamente stoccato in un apposito sito, seguendo le seguenti modalità di carattere generale:

- depositare lo strato superiore e lo strato inferiore del suolo separatamente;
- la superficie di deposito deve avere buona permeabilità e non deve essere eccessivamente sensibile al costipamento;
- non asportare la parte più ricca di sostanza organica (humus) dalla superficie di deposito;
- la formazione del deposito deve essere compiuta a ritroso, ossia senza ripassare sullo strato depositato;
- non circolare mai con veicoli ed evitare il pascolo sui depositi intermedi;
- rinverdire eventualmente con piante a radici profonde (preferenzialmente leguminose).

In caso di interventi molto brevi (ad es. la posa di condotte), può essere evitato il rinverdimento del deposito.

Il deposito per lo strato superiore del suolo non dovrebbe di regola superare i 3 m d'altezza e semmai occorre ridurre tale valore in presenza di una spiccata tendenza del materiale all'autocompattamento.

Devono essere evitati i ristagni d'acqua nei cumuli o intorno ad essi e la loro erosione per ruscellamento superficiale delle acque meteoriche. A tal fine dovrà essere convenientemente individuata la pendenza delle scarpate, che in generale non dovrà essere superiore a 2/3.

Il progetto dovrebbe definire le caratteristiche e qualità dei suoli destinati ad opere a verde, definiti anche "suoli-obiettivo", che dovrebbero rispondere alle diverse esigenze di rinverdimento e che possono essere, sia suoli di aree pertinenziali o interstiziali rispetto alle opere principali in appalto, sia suoli a ripristino di aree interessate da opere temporanee o sotterranee. Nel secondo caso, salvo disposizioni particolari del progetto, il suolo obiettivo dovrebbe riprodurre per quanto possibile quello originario.

Qualora tali suoli-obiettivo non siano stati definiti in progetto, la loro definizione avverrà durante la fase realizzativa, seguendo i criteri indicati e le prescrizioni della Direzione Lavori.

Si possono indicare, schematicamente, tre strati corrispondenti a tre distinte funzioni della terra vegetale riportata o da riportare in una determinata area e di cui si deve tenere conto:

- strato superficiale (circa 0-30 cm), con funzione prevalente di nutrizione;
- strato sottostante (30-100 cm), con funzione prevalente di serbatoio idrico;
- substrato (> 100 cm), con funzioni prevalenti di drenaggio e ancoraggio.

Questa indicazione è di carattere generale e deve essere adattata alla situazione specifica ed alle necessità di cantiere. Ad esempio, in molti casi il terzo orizzonte si viene a formare direttamente per alterazione fisica del substrato in loco o a ripartire dagli orizzonti profondi residui dopo la prima asportazione.

Inoltre, occorre tenere in considerazione le specie vegetali piantumate, in quanto il loro apparato radicale, il loro peso e la loro morfologia nella parte fuori terra possono necessitare di maggiore o minore spessore di terra e di tutti o parte dei suddetti tre strati tipologici.

Orientativamente:

- per specie erbacee, gli strati possono ridursi al 1°, di spessore pari ad almeno 30 cm;
- per specie arbustive gli strati 1° e 2° possono essere distinti o unificati, con spessore complessivo pari a 50-100 cm;
- per specie arboree dovrebbero sussistere tutti e tre gli strati, per uno spessore complessivo di 100-200 cm.

Per quanto riguarda il contenuto in carbonio organico all'atto della realizzazione o ripristino dei suoli, questo può non essere troppo elevato, per non dover eccedere con la concimazione nella fase iniziale. Si può tuttavia considerare che nel corso del tempo, a seguito della naturale evoluzione vegetativa, si possano raggiungere condizioni più soddisfacenti.

Qualora il prelevamento della terra sia fatto da terreni naturali non coltivati, la profondità di prelevamento sarà limitata al primo strato di suolo esplorato dalle radici delle specie a portamento erbaceo, ossia a quello spessore ove la presenza di humus e le caratteristiche fisico-microbiologiche del terreno permettono la normale vita dei vegetali, ma in ogni caso non superiore a 50 cm.

In ogni caso le caratteristiche pedologiche della terra da sistemare nelle varie aree dovranno essere tali da consentire un buon attecchimento e sviluppo delle specie vegetali previste in progetto per ciascuna di esse.

L'Appaltatore, prima di effettuare il prelevamento della terra, dovrà darne comunicazione alla Direzione dei Lavori. La stessa potrà richiedere un prelievo di campioni in contraddittorio, per le analisi di idoneità del materiale, da effettuarsi presso un laboratorio di chimica agraria riconosciuto, di norma a cura e spese dell'Appaltatore.

Concimi

I concimi minerali semplici o complessi usati per la concimazione di fondo od in copertura dovranno essere di marca nota sul mercato nazionale, avere titolo dichiarato ed essere approvvigionati e conservati negli involucri originali di fabbrica.

Materiale vivaistico

L'Appaltatore deve dichiararne preventivamente la provenienza e la Direzione Lavori potrà accettare il materiale, previa visita ai vivai, che devono essere dislocati in zone limitrofe o comunque non eccessivamente distanti dai luoghi di impianto.

Piantine e talee dovranno essere comunque, all'impianto, immuni da qualsiasi malattia o attacco da parte di parassiti.

Sementi

L'Appaltatore dovrà fornire sementi di ottima qualità e rispondenti esattamente a genere e specie richiesti dal progetto, sempre nelle confezioni originali sigillate munite di certificato di identità ed autenticità, con l'indicazione del grado di purezza e di germinabilità e della data di scadenza stabiliti dalle norme vigenti.

Per evitare che possano alterarsi o deteriorarsi, le sementi devono essere immagazzinate in locali freschi, ben aerati e privi di umidità.

Per ulteriori approfondimenti riguardanti i materiali per le opere a verde, si faccia riferimento a quanto riportato negli specifici articoli del presente capitolato.

Materiali per l'idrosemina

L'idrosemina è una tecnica d'ingegneria naturalistica che sfrutta un mezzo liquido, l'acqua, per distribuire, su delle superfici specifiche le sementi e alcuni altri elementi coadiuvanti.

Tale operazione viene effettuata con l'idroseminatrice, un'apposita macchina specializzata, nella cui cisterna vengono inseriti i suddetti materiali. Questi sono miscelati in modo continuo ed omogeneo e distribuiti uniformemente sulla superficie da inerbire.

I materiali da impiegare sono di norma i seguenti:

- a) Miscuglio di sementi: Il miscuglio, che deve essere adatto alle condizioni locali, è normalmente composto da sole specie erbacee. Per la scelta del miscuglio, a volte può essere utile fare un'analisi vegetazionale, che tuttavia non è da considerare vincolante. Può essere indicato un miscuglio plurispecifico (generalmente: 70-80% graminacee, 15-20% leguminose, il restan-

te le altre famiglie), con il quale si ha un ampio range di adattabilità a tutte le situazioni. Se si lavora in un ambiente fortemente antropizzato, nel quale si vuole creare una copertura efficace e veloce, si adopereranno prevalentemente specie a rapido accrescimento e bassa variabilità. Invece, per un ambiente pregiato dal punto di vista naturalistico, bisognerà adottare miscugli più specifici;

- b) **Collanti:** Visto che si opera in condizioni spesso difficili, i collanti sono indispensabili per tenere compatta e stabilizzare la miscela, riducendo i fenomeni di dilavamento o asportazione. I collanti di origine sintetica possono essere liquidi o pulverulenti. Quelli liquidi possono, in misura piuttosto bassa, ritardare la germinazione delle sementi (specialmente leguminose), ma hanno il merito di miscelarsi facilmente e di avere un'efficacia maggiore, con effetto più duraturo. Dei collanti sintetici pulverulenti esistono dei tipi a bassissimo dosaggio, molto efficaci e particolarmente indicati per un utilizzo su grosse superfici, in quanto permettono un certo contenimento dei costi. I collanti di origine naturale possono essere in polvere o granulari e sono costituiti da farine vegetali o alghe brune disidratate. A contatto con l'acqua diventano gelatinosi ma, se non ben miscelati, possono formare grumi. Hanno anche effetto di concime e ammendante;
- c) **Concimi organici, minerali od organo-minerali:** Servono a compensare le situazioni di squilibrio del suolo, creando condizioni di sviluppo più favorevoli alle piantine. I concimi organici od organico-minerali devono sempre raggiungere un livello ottimale di maturazione ed essere venduti in forma non compatta (granulare-terrosa), al fine di rendere agevole la miscelazione. Possono essere usati anche i concimi minerali, anche nella loro forma idrosolubile;
- d) **Pacciamanti:** Sono i cosiddetti *mulch*, che servono a creare condizioni microclimatiche idonee per lo sviluppo delle sementi e a trattenere l'umidità necessaria alla germinazione. Costituiti da vari materiali (paglia, fieno, fibre di legno o cellulosa), a volte sono già dotati di una minima quantità di collante. Il dosaggio è in funzione della natura del prodotto e delle condizioni climatiche e stagionali. In generale: per semine d'alta quota, s'impiegano anche 300-400 g/mq di paglia mentre, per scarpate autostradali, si utilizzano anche 200 g/mq di mulch di fibre di legno; in condizioni più favorevoli, spesso bastano anche 60-75 g/mq di fibra di cellulosa;
- e) **Attivatori del terreno:** Accelerano alcuni processi chimico-fisici del terreno (scambi gassosi, umificazione, aggregazione particelle terrose), creando condizioni ideali per lo sviluppo delle radici e dell'attività della microflora/fauna del terreno. Il loro dosaggio è basso, in quanto presentano un'elevatissima carica batterica;
- f) **Correttivi ed ammendanti:** Rappresentano tutte quelle sostanze che servono per correggere difetti fisici e chimici del terreno. Generalmente, le anomalie più ricorrenti sono la scarsa dotazione di sostanza organica e l'alterazione del pH;
- g) **Torba o terriccio:** Si utilizzano nelle idrosemine a spessore, dov'è necessario costituire alcuni centimetri di substrato fertile per lo sviluppo della vegetazione;
- h) **Acqua:** Deve essere impiegata acqua priva di sostanze inquinanti e/o comunque tali da inibire o danneggiare le sementi o il loro attecchimento. La quantità da impiegarsi deve essere abbondante e commisurata alle condizioni meteorologiche del momento ed a quelle prevedibili nel periodo immediatamente successivo.

PARTE II - NORME PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI

4. Sondaggi e tracciati

Subito dopo la consegna dei lavori e prima di dare inizio alle opere, qualora ciò non risulti già dagli elaborati progettuali, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese (quando queste non siano a diverso titolo già previste a carico della Stazione Appaltante) e d'intesa con la Direzione Lavori, all'esecuzione di una opportuna campagna geognostica, atta a conseguire una ragionevolmente completa caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere da realizzare.

Prima di porre mano ai lavori di sterro e riporto, l'Appaltatore è obbligato ad eseguire la picchettazione completa del lavoro, in modo che risultino indicati i limiti degli scavi e dei riporti, in base alla larghezza del piano autostradale, all'inclinazione delle scarpate, alla formazione delle cunette.

A suo tempo dovrà pure installare, nei tratti che indicherà la Direzione Lavori, le modine o garbe necessarie a determinare con precisione l'andamento delle scarpate, tanto degli sterri che dei rilevati, curandone poi la conservazione e rimettendo quelle manomesse durante l'esecuzione dei lavori.

Qualora ai lavori in terra siano connesse opere murarie, l'Appaltatore dovrà procedere al tracciamento delle stesse, con l'obbligo della conservazione dei picchetti, ed eventualmente delle modine, come per i lavori in terra.

5. Scavi

5.1. Norme generali

5.1.1. Definizione e generalità

Per scavo, qui inteso a cielo aperto, o comunque eseguito con modalità analoghe a quelle dello scavo a cielo aperto, s'intende l'asportazione dalla loro sede di terreni e materiali litoidi di qualsiasi natura. L'asportazione comprende la rimozione dei materiali scavati ed il loro trasporto per l'eventuale riutilizzo nell'ambito del cantiere o per la destinazione a rifiuto.

Per lo scavo relativo alle opere in sotterraneo si faccia riferimento allo specifico capitolo del presente Capitolato.

La demolizione di sovrastrutture stradali preesistenti è considerata, salvo che essa non figuri autonomamente tra le voci dell'Elenco Prezzi allegato al progetto e salvo casi particolari, come un lavoro di scavo.

Gli scavi sono di norma finalizzati a realizzare superfici o cavità a geometria definita e si dividono in:

- scavi di sbancamento;
- scavi di fondazione (detti talora anche "scavi a sezione obbligata").

In relazione agli spazi operativi disponibili, alla vicinanza di strutture preesistenti, alle geometrie da rispettare ed alla consistenza dei materiali da scavare gli scavi potranno essere eseguiti a mano, con mezzi meccanici e con l'impiego di esplosivi.

L'Appaltatore dovrà provvedere ad apporre alle aree di scavo opportune recinzioni e segnaletiche diurne e notturne secondo le vigenti norme di legge e le prescrizioni del Piano di Sicurezza e Coordinamento. Dovrà inoltre adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, sondaggi, scavi campione ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e reti interrati di qualsiasi natura, comprese tra le cautele la temporanea sostituzione dei manufatti, la deviazione delle reti ed il tempestivo ripristino a fine lavori.

Ai sensi dell'art. 35 del D.P.R. n. 145/2000, fatta eccezione per i diritti che spettano allo Stato a termini di legge, appartiene alla Stazione Appaltante la proprietà degli oggetti di valore e di quelli che interessano la scienza, la storia, l'arte o l'archeologia, compresi i relativi frammenti, che si dovessero reperire nei fondi occupati per l'esecuzione dei lavori e per i rispettivi cantieri e nella sede dei lavori stessi. L'Appaltatore ha diritto al rimborso delle spese sostenute per la loro conservazione e per le speciali operazioni che fossero state espressamente ordinate al fine di assicurarne l'integrità ed il diligente recupero. Inoltre, il reperimento di cose di interesse artistico, storico o archeologico, deve essere immediatamente comunicato alla Stazione Appaltante. L'Appaltatore non può demolire o comunque alterare i reperti, né può rimuoverli senza autorizzazione della Stazione Appaltante.

Nell'esecuzione dei lavori di scavo l'Appaltatore dovrà comunque farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati, a titolo descrittivo e non limitativo.

5.1.2. Geometria degli scavi

L'Appaltatore è tenuto a rispettare la geometria degli scavi prevista dal progetto. In particolare dovrà rifinire il fondo e le pareti dello scavo secondo quote e pendenze di progetto, curando anche che il fondo degli scavi sia compattato secondo le indicazioni del progetto.

Per quanto riguarda le opere di sostegno multitirantate, nessuno scavo potrà essere eseguito al disotto della quota prevista per la realizzazione dell'ordine di tiranti in corso, se prima l'ordine stesso non sarà completato e messo in tensione.

Qualora negli scavi si fossero superati i limiti assegnati, l'Appaltatore dovrà ricostituire i volumi scavati in più, utilizzando materiali idonei.

Prima di procedere a fasi di lavoro successive, l'Appaltatore dovrà segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi per l'eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori.

5.1.3. Puntellature, franamenti, scavo per campioni

Qualora, per la qualità del terreno o per qualsiasi altro motivo, fosse necessario puntellare, sbadacchiare ed armare le pareti degli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedervi a sue spese, adottando tutte le precauzioni necessarie per impedire smottamenti e franamenti. In ogni caso resta a carico dell'Appaltatore il risarcimento per i danni dovuti a tali motivi, subiti da persone, cose o dall'opera medesima.

Nel caso di franamento degli scavi è a carico dell'Appaltatore procedere alla rimozione dei materiali ed al ripristino del profilo di scavo. Nulla è dovuto all'Appaltatore per il mancato recupero, parziale o totale, del materiale impiegato per le armature e sbadacchiature.

Nel caso che, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni nelle quali i lavori si svolgono, lo richiedano, l'Appaltatore sarà tenuta a coordinare opportunamente per campioni la successione e l'esecuzione delle opere di scavo e murarie.

L'Appaltatore dovrà prevedere tutti gli opportuni e necessari accorgimenti realizzativi (opere, riprofilature, berme intermedie, regimazione e allontanamento delle acque superficiali, proiezione di betoncino stabilizzante, rivestimenti con membrane, ecc.) per garantire durante tutte le fasi del lavoro la stabilità dei fronti di scavo con adeguati margini di sicurezza.

Qualora il caso lo richieda, per prevenire possibili danni a persone e cose nelle zone adiacenti agli scavi, l'Appaltatore dovrà altresì mettere in opera un'opportuna strumentazione di misura, fissa e/o mobile, atta a valutare i movimenti del terreno e/o le sue vibrazioni, indotti dagli scavi da effettuare, in corso o già effettuati.

La realizzazione degli scavi deve avvenire per conci successivi, la cui estensione dovrà essere ponderata alla luce di:

- condizioni idrauliche;
- effettive condizioni di stabilità del fronte (condizioni geotecniche, stratigrafiche);
- necessità di interventi e/o accorgimenti.

La fasistica e la tempistica realizzativa degli scavi devono essere tali da garantirne la stabilità, in riferimento alla natura dei terreni (permeabilità, granulometria, plasticità, ecc.), con riguardo alla loro importanza e tenuto conto dei rischi che da essi derivano. In questo contesto, i tempi di apertura degli scavi dovranno essere sufficientemente contenuti al fine di considerare realistiche le ipotesi di condizioni non drenate per il terreno residuo e per scongiurare il rischio di fenomeni di rilascio tensionale e rotture progressive dei terreni coinvolti (decadimento della resistenza al taglio).

Le pendenze degli scavi provvisori riportate sugli elaborati grafici di progetto sono del tutto indicative e dovranno essere verificate alla luce delle effettive condizioni geotecniche, idrogeologiche ed idrauliche in sito.

5.1.4. Disboscamento

L'Appaltatore dovrà inoltre procedere, quando necessario, al taglio delle piante presenti nell'area di cantiere, all'estirpazione delle ceppaie ed all'eventuale loro trasporto in aree apposite.

5.1.5. **Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito**

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista della compatibilità ambientale, a cura dell'Appaltatore, qualora non fossero già disponibili presso la Committente, in accordo con la normativa vigente (D.Lgs. 152/2006 e altre normative specifiche).

Nel caso in cui venga accertata la compatibilità ambientale, tale materiale potrà essere utilizzato secondo quanto previsto negli elaborati di progetto e l'Appaltatore dovrà, tra l'altro, farsi carico dell'eventuale deposito intermedio (prima del riutilizzo) e custodia dello stesso.

Nel caso contrario, i materiali di scavo dovranno essere trattati come rifiuti e potranno essere riutilizzati e/o smaltiti secondo quanto previsto dalla normativa vigente in merito.

Qualora l'Appaltatore dovesse eseguire scavi in terreni lapidei, giudicati idonei dalla Direzione Lavori, il materiale di risulta potrà essere riutilizzato in cantiere, previa le opportune lavorazioni: per opere di protezione idraulica, per le murature, per la formazione di rilevati o riempimenti, per i drenaggi nel terreno, per opere di ingegneria ambientale, per formazione degli aggregati da impiegare nel confezionamento delle miscele dei conglomerati, ecc.; il tutto a cura e spese dell'Appaltatore e secondo le prescrizioni delle vigenti norme, del progetto e del presente Capitolato.

5.1.5.1. **Aspetti ambientali**

Per quanto relativo alle terre e rocce derivanti dagli scavi, dal punto di vista ambientale, l'Impresa Appaltatrice, qualora non fossero già disponibili presso la Committente, dovrà provvedere a eseguire le caratterizzazioni previste dalla normativa vigente – nei modi e nei tempi stabiliti dalla medesima salvo diversa indicazione della Committente – con riferimento alla destinazione/riutilizzo previsto.

Ci si riferisce in particolare ai seguenti testi di legge (e loro successive modifiche e integrazioni):

- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 *“Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164”*;
- D.M. 27 settembre 2010 *“Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 3 agosto 2005”* e ss.mm.ii.;
- D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 *“Norme in materia ambientale”* e ss.mm.ii.;
- D.M. 5 febbraio 1998 *“Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del D. Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22”* e ss.mm.ii..

In relazione all'elenco precedente le terre e rocce potranno essere trattate – e quindi caratterizzate - come:

- **Rifiuti** (CER 17 05 04 o 17 05 03*): le terre e rocce da scavo assumono tale connotazione qualora il produttore intendesse o se ne dovesse disfare (art. 183 comma 1, lett. a del D. Lgs. 152/2006). Le terre così considerate dovranno essere gestite come indicato dalla normativa di settore e in particolare:
 - Art. 183 del D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.;
 - Parte Quarta del D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.;
 - D.M. 5 febbraio 1998 e ss.mm.ii.;
 - D.M. 27 settembre 2010 e ss.mm.ii.;
 - Art. 23 del D.P.R. 120/2017.

In tal caso i materiali dovranno essere sottoposti alle caratterizzazioni necessarie previste dai decreti specifici e con riferimento alla loro destinazione (i.e. caratterizzazione per stabilirne l'eventuale pericolosità, determinazione del codice CER, test di cessione per valutazione della possibilità di sottoporli a recupero oppure per loro smaltimento in discarica);

- **Materiali esclusi dalla disciplina sui rifiuti**: i materiali ricadenti in tale categoria dovranno essere conformi ai requisiti cui all'art. 185 del D. Lgs. 152/2006 (comma 1 lett. c) ovvero *“il suolo non contaminato e altro*

materiale allo stato naturale scavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato scavato”.

In tal caso i materiali dovranno essere sottoposti alle caratterizzazioni necessarie per valutare il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) – con riferimento alla specifica destinazione d’uso – nelle modalità stabilite dagli Allegati 2 e 5 al Titolo V della Parte Quarta del D. Lgs. 152/2006;

- **Sottoprodotti:** i materiali, per ricadere in tale categoria, dovranno soddisfare tutti i requisiti previsti dall’art. 184-bis - comma 1 del D. Lgs. 152/2006 e saranno sottoposti al regime del D.P.R. 120/2017.

I materiali dovranno pertanto essere caratterizzati secondo quanto previsto dagli Allegati 1, 2 e 4 del D.P.R. 120/2017. Qualora le terre da scavo dovessero contenere “materiali di riporto” (nella percentuale massima indicata nell’art. 4 e calcolata come da Allegato 10 del D.P.R. 120/2017), oltre al rispetto della qualità ambientale appena citata, dovranno essere sottoposti al test di cessione in ottemperanza a quanto riportato nell’art. 4 – comma 3 del D.P.R. 120/2017.

Sarà cura dell’Appaltatore provvedere ad effettuare eventuali verifiche/approfondimenti necessari in fase di scavo.

5.1.6. Scavi con esplosivi

Per l'impiego di esplosivi (mine) nell’esecuzione degli scavi l'Appaltatore dovrà ottenere, a sua cura e spese, le autorizzazioni da parte delle autorità competenti ed osservare tutte le prescrizioni imposte dalle leggi e dai regolamenti in vigore.

Lo sparo di mine effettuato in vicinanza di strade, di ferrovie, di luoghi abitati, di linee aeree di ogni genere, dovrà essere attuato con opportune cautele in modo da evitare il danneggiamento delle proprietà limitrofe a causa sia della proiezione a distanza del materiale sia degli effetti vibrazionali nocivi, che dovranno essere tenuti sotto controllo mediante monitoraggio.

In particolare, l’ Appaltatore dovrà attenersi alle prescrizioni contenute nelle norme:

- UNI 9614 (misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo), UNI EN ISO 9614 (acustica: determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensi metrico), UNI ISO 2631-1 (vibrazioni meccaniche e urti: valutazione dell’esposizione dell’uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - requisiti generali), ISO 2631-2 (*mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration: vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*) per disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori;
- UNI 9916 (criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici) e ISO 4866 (*mechanical vibration and shock - vibration of fixed structures: guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*) per danni che si possono arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante le volate.

Nel caso che per la vicinanza di agglomerati civili o industriali o per i risultati del monitoraggio, le cautele sopracitate non fossero ritenute sufficienti ad evitare danneggiamenti alle proprietà limitrofe, l'Appaltatore dovrà eseguire gli scavi con opportuni mezzi meccanici.

5.2. Scavi di sbancamento

Sono così denominati, salvo diverse e sovraordinate disposizioni, gli scavi occorrenti per:

- la formazione del sedime d'imposta dei fabbricati;
- l'apertura delle sedi stradali, dei piazzali e delle opere accessorie, portati a finitura secondo i tipi di progetto;
- le gradonature di ancoraggio dei rilevati, previste per terreni con pendenza superiore al 20%;
- le bonifiche del piano di posa di rilevati o di altre opere;
- gli spianamenti del terreno;
- l'impianto di opere d'arte;

- il taglio delle scarpate di trincee, rilevati e sponde di corsi d'acqua;
- la formazione o approfondimento di cunette, fossi e canali.

5.3. Scavi di fondazione

Per scavi di fondazione s'intendono quelli chiusi da pareti, di norma verticali, riproducenti il perimetro dell'opera, effettuati al di sotto del piano orizzontale passante per il punto più depresso del terreno lungo il perimetro medesimo.

Questo piano sarà determinato, a giudizio della Direzione Lavori, o per l'intera area di fondazione o per più parti in cui questa può essere suddivisa, a seconda sia dell'accidentalità del terreno, sia delle quote dei piani finiti di fondazione.

Gli scavi saranno, a giudizio insindacabile della Direzione Lavori, spinti alle necessarie profondità, fino al rinvenimento del terreno della capacità portante prevista in progetto.

Qualora si rendesse necessario, dopo l'esecuzione dello scavo, il ripristino delle quote per l'impronta della fondazione dell'opera, i materiali da utilizzare saranno costituiti da materiale arido da riempimento, appartenente alla categoria A1 e ben costipato e, per l'ultimo strato (di spessore pari orientativamente a $5 \div 30$ cm), preferibilmente da sabbia fine lavata o da terra stabilizzata tramite idoneo legante o da calcestruzzo a bassa o bassissima resistenza meccanica.

Al termine del ripristino dei piani d'imposta, salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate dalla necessità di garantire maggiore stabilità alla fondazione, il modulo di deformazione M_0 al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm), dovrà risultare non inferiore a 40 MPa nell'intervallo $1,5 \div 2,5$ daN/cm².

I piani di fondazione, salvo diverse prescrizioni del progetto, saranno di norma perfettamente orizzontali, o disposti a gradoni con leggera pendenza verso monte per quelle opere che ricadessero sopra falde inclinate; le pareti saranno verticali od a scarpa.

Gli scavi di fondazione potranno essere eseguiti, ove ragioni speciali non lo vietino, anche con pareti a scarpa aventi la pendenza minore di quella prevista, ma in tal caso, salvo diverse e sovraordinate prescrizioni, nulla è dovuto per il maggiore scavo di fondazione e di sbancamento eseguito di conseguenza.

L'Appaltatore dovrà evitare che il terreno di fondazione subisca rimaneggiamenti o deterioramenti prima della costruzione dell'opera. In particolare eventuali acque ruscellanti o stagnanti dovranno essere allontanate dagli scavi.

È vietato all'Appaltatore, sotto pena di demolire il già fatto, di porre mano alle murature o ai getti prima che la Direzione Lavori abbia verificato ed accettato i piani delle fondazioni.

L'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese al riempimento, con materiali idonei, sia dal punto di vista prestazionale sia da quello della compatibilità ambientale, dei vuoti residui degli scavi di fondazione intorno alle murature, ed al loro costipamento fino alla quota prevista. Per gli scavi a sezione obbligata, necessari per la collocazione di tubazioni (condotte per acqua o reflui, condotte per gas, condotte per cavi elettrici, cavi elettrici autoprotetti, ecc.), l'Appaltatore dovrà provvedere al rinterro con materiali idonei, da sottoporre preventivamente ad approvazione nel caso in cui tali servizi siano gestiti da soggetti terzi, sopra le condotte e le fognature.

Per gli scavi di fondazione si applicheranno le norme previste dal D.M. 14/01/2008, con particolare riferimento al paragrafo 6.8.

5.4. Scavi subacquei e scavi all'asciutto

L'Appaltatore dovrà assicurare in ogni caso il regolare deflusso delle acque interessanti le aree di cantiere, sia relative a corpi idrici preesistenti, sia dovute alle infiltrazioni nel terreno, sia dovute a precipitazioni atmosferiche, facendosi carico di tutti gli oneri per la regimazione temporanea e per i necessari ripristini, secondo le vigenti norme di legge.

Gli scavi sono considerati "subacquei", solo se eseguiti a profondità maggiore di 20 cm sotto il livello costante a cui si stabilizzano le acque eventualmente esistenti nel terreno.

Comunque, ove possibile, tale circostanza deve essere scongiurata e quindi gli scavi verranno eseguiti di norma all'asciutto, cioè in assenza di accumuli d'acqua sul fondo degli stessi. A tal fine l'Appaltatore dovrà predisporre adeguati drenaggi e aggettamenti per captare e allontanare con continuità eventuali venute d'acqua di infiltrazione o di ruscellamento.

I mezzi predisposti per l'aggettamento dell'acqua dovranno essere nel numero e con le portate e le prevalenze necessarie e sufficienti per garantire la continuità del prosciugamento del fondo dello scavo ed essere sempre mantenuti in perfetta efficienza.

Resta comunque inteso che, nell'esecuzione di tutti gli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedere, di sua iniziativa ed a sue cura e spese:

- ad assicurare il naturale deflusso delle acque che si riscontrassero scorrenti sulla superficie del terreno, allo scopo di evitare che esse si versino negli scavi;
- a togliere ogni impedimento ed ogni causa di rigurgito, che si opponesse al regolare deflusso delle acque, anche ricorrendo all'apertura di canali fuggatori;
- agli adempimenti previsti dalle vigenti leggi in ordine alla tutela delle acque dall'inquinamento;
- all'espletamento delle pratiche per l'autorizzazione allo scarico temporaneo;
- agli oneri per l'eventuale trattamento e/o smaltimento delle acque.

6. Demolizioni e rimozioni

6.1. Premessa

Ai sensi dell'art. 36 del D.P.R. n. 145/2000, fatto salvo il rispetto di quanto riportato in progetto circa il loro riutilizzo o altre sovraordinate clausole contrattuali, i materiali provenienti da escavazioni o demolizioni sono di proprietà dell'Amministrazione. L'Appaltatore deve trasportarli e regolarmente accatastarli nel luogo stabilito negli atti contrattuali, intendendosi di ciò compensato coi prezzi degli scavi e delle demolizioni relative. Qualora gli atti contrattuali prevedano la cessione di detti materiali all'Appaltatore, il prezzo ad essi convenzionalmente attribuito deve essere dedotto dall'importo netto dei lavori, salvo che la deduzione non sia stata già fatta nella determinazione dei prezzi.

I materiali di risulta provenienti da demolizioni o rimozioni dovranno essere gestiti secondo quanto prescritto dalla normativa vigente (D.Lgs. 152/2006 nonché normativa specifica di settore con riferimento alla gestione dei rifiuti).

6.2. Demolizione di murature, fabbricati e strutture

6.2.1. Generalità

Rientrano in questo capitolo le demolizioni di fabbricati, di murature e di strutture di qualsiasi genere. In particolare per quel che riguarda i manufatti in calcestruzzo sono contemplati sia quelli in calcestruzzo semplice sia quelli in calcestruzzo armato o precompresso. Le demolizioni potranno essere integrali o parziali a sezione obbligata e potranno essere eseguite in qualsiasi dimensione anche in breccia, entro e fuori terra, a qualsiasi altezza.

6.2.2. Mezzi da impiegare

Per le demolizioni di cui sopra si potranno impiegare vari mezzi:

- meccanici: scalpello manuale o meccanico, martello demolitore; cesoia manuale o elettromeccanica, fiamma ossidrica;
- chimici ad azione lenta: agenti espansivi senza propagazione di onda d'urto
- chimici ad azione rapida: agenti esplosivi
- idraulici: pompe ad altissima pressione (idrodemolizione)

L'Appaltatore impiegherà i mezzi previsti dal progetto o, in mancanza, quelli di propria convenienza, purché idonei allo scopo e ritenuti tali dalla Direzione Lavori.

6.2.3. Criteri e precauzioni

Le demolizioni dovranno essere eseguite con ordine e con le necessarie precauzioni ed accorgimenti in modo da garantire la sicurezza delle operazioni ed in particolare prevenire qualsiasi infortunio al personale addetto, evitando inoltre tassativamente di gettare dall'alto i materiali i quali dovranno invece essere trasportati o guidati in basso. L'Appaltatore dovrà anche definire modalità operative finalizzate ad evitare la formazione e dispersione di polveri nell'atmosfera.

Inoltre l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, ad adottare tutti gli accorgimenti tecnici per puntellare e sbadacchiare le parti pericolanti e tutte le possibili cautele al fine di non danneggiare le strutture sottostanti e circostanti e le proprietà di terzi.

L'Appaltatore sarà pertanto responsabile di tutti i danni che una cattiva conduzione nelle operazioni di demolizioni potessero arrecare alle persone, alle opere e cose, anche di terzi.

L'Appaltatore dovrà anche mettere in atto una recinzione provvisoria, la necessaria segnaletica diurna e notturna ed ove necessario la guardiania, nei luoghi interessati dalle demolizioni.

Nel caso d'impiego di esplosivi saranno a carico dell'Appaltatore gli oneri connessi con la richiesta e l'ottenimento di tutti i permessi necessari da parte delle competenti Autorità, la fornitura di tutti i materiali necessari e il loro trasporto, stoccaggio e impiego in linea con le misure di sicurezza fissate dalla legge. Inoltre l'Appaltatore sarà tenuto ad utilizzare personale in possesso dei titoli di qualifica previsti dalla legge, documentandolo opportunamente.

Saranno a carico dell'Appaltatore, qualora non diversamente ed esplicitamente previsto in contratto, le operazioni connesse alla risoluzione, fino a ripristino, delle eventuali interferenze di ogni genere connesse con le demolizioni da effettuare (es. strade, ferrovie, corsi d'acqua, linee elettriche, condotte).

Nel caso di demolizioni parziali del calcestruzzo armato potrà essere richiesto il trattamento con getto di vapore e pressione di $0,7 \div 0,8$ MPa, per ottenere superfici di attacco pulite e pronte a ricevere i nuovi getti; i ferri di armatura dovranno essere tagliati, sabbiati e risagomati secondo le disposizioni progettuali.

Tra gli oneri dell'Appaltatore rientra anche, salvo diverse prescrizioni di progetto, la pulizia delle aree sulle quali sono eseguite le opere di demolizione, nonché il riempimento di eventuali scavi, fino ad ottenere un piano di lavoro adeguato allo svolgimento delle successive operazioni previste dal progetto. Tutte queste operazioni, ed in particolare gli eventuali rinterrati, devono essere eseguite in linea con le prescrizioni delle altre sezioni del presente Capitolato.

6.2.4. Demolizioni su strade ed autostrade in esercizio

Per le demolizioni da eseguirsi su strade o autostrade in esercizio, l'Appaltatore dovrà adottare tutte le precauzioni e cautele atte ad evitare ogni possibile danno all'utenza e concordare con la Direzione di Tronco del Gestore dell'autostrada, o con l'Ufficio preposto dell'Ente proprietario, tramite la Direzione Lavori o in accordo con essa, le eventuali interruzioni di traffico, che potranno avvenire anche in ore notturne e in giorni determinati.

In particolare, la demolizione degli impalcati di gallerie artificiali e cavalcavia in c.a., c.a.p. e in struttura mista, collocati a scavalco di strade e autostrade in esercizio, dovrà essere eseguita per quanto possibile fuori opera, previ tagli in parti delle strutture esistenti e loro separazione e rimozione per tramite di opportune attrezzature. Durante tali operazioni, che devono essere effettuate da parte di personale specializzato, dovrà essere sempre garantita la sicurezza degli operatori. Le parti così asportate saranno poi demolite con le modalità più appropriate, entro aree appositamente prestabilite.

6.2.5. Idrodemolizioni

L'idrodemolizione di strati di conglomerato cementizio su strutture di ponti e viadotti dovrà essere effettuata con l'impiego di idonee attrezzature, atte a produrre getti d'acqua collimati, a pressione modulabile almeno fino a 1500 bar, con portate fino a 300 l/min e regolabili per quanto attiene la velocità operativa.

Gli interventi dovranno risultare selettivi ed asportare gli strati di conglomerato degradati, senza intaccare quelli aventi resistenza uguale o superiore alla minima indicata in progetto.

L'Appaltatore dovrà provvedere all'approvvigionamento dell'acqua occorrente per la demolizione del materiale e la pulizia della superficie risultante.

Dovrà altresì curare che la caduta di materiali e della stessa acqua, mista a polveri, nella zona sottostante ed adiacente quella di lavoro, non abbia a provocare danni alle persone e, nel caso di eventuali danni alle cose, questi dovranno essere stati previsti ed autorizzati dalla Direzione Lavori e dai proprietari delle cose stesse e ne dovrà eventualmente essere stato previsto il ripristino.

Tra i danni di cui sopra, da evitare o da produrre in modo controllato, devono essere tenuti in considerazione quelli all'ambiente, nella piena osservanza delle norme vigenti.

Le attrezzature impiegate dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori; dovranno essere dotate di sistemi automatici di comando e controllo a distanza, nonché di idonei sistemi di sicurezza contro la proiezione del materiale demolito, dovendo operare anche in presenza di traffico. Dovranno rispondere inoltre alle vigenti norme di Legge in materia antinfortunistica, alle quali l'Appaltatore dovrà uniformarsi in sede operativa.

6.3. Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso

La demolizione di pavimentazioni in conglomerato bituminoso può essere realizzata mediante specifiche attrezzature fresatrici o mediante attrezzature tradizionali polifunzionali.

6.3.1. Demolizione di pavimentazione mediante frese

La demolizione della parte della sovrastruttura legata a bitume per l'intero spessore o parte di esso deve essere effettuata con idonee attrezzature munite di frese a tamburo funzionanti a freddo, munite di nastro caricatore per il carico del materiale di risulta. Su parere della Direzione Lavori potranno essere impiegate fresatrici a sistema misto (pre-riscaldamento leggero), purché non compromettano il legante esistente nella pavimentazione da demolire.

Le attrezzature tutte devono essere perfettamente efficienti e funzionanti e di caratteristiche meccaniche, dimensioni e produzioni approvate preventivamente dalla Direzione Lavori. Devono inoltre avere caratteristiche tali che il materiale risultante dall'azione di scarifica risulti idoneo a giudizio della Direzione Lavori per il reimpiego nella confezione di nuovi conglomerati.

La superficie del cavo (nel caso di demolizioni parziali del pacchetto) deve risultare perfettamente regolare in tutti i punti, priva di residui di strati non completamente fresati che possono compromettere l'aderenza dei nuovi tappeti da porre in opera.

L'Appaltatore si deve scrupolosamente attenere agli spessori ed alle larghezze di demolizione definiti dal progetto. Qualora questi dovessero risultare inadeguati a contingenti situazioni in essere e comunque diversi per difetto o per eccesso rispetto all'ordinativo di lavoro, l'Appaltatore è tenuto a darne immediata comunicazione al Direttore dei Lavori o ad un suo incaricato che potranno autorizzare la modifica delle quote di scarifica.

Il rilievo dei nuovi spessori deve essere effettuato in contraddittorio.

Lo spessore della demolizione deve essere mantenuto costante in tutti i punti e deve essere valutato mediando l'altezza delle due pareti laterali con quella della parte centrale del cavo.

La pulizia del piano di scarifica, nel caso di fresature corticali o subcorticali, deve essere eseguita con attrezzature approvate dalla Direzione Lavori, munite di spazzole e dispositivi aspiranti, in grado di dare un piano depolverizzato, perfettamente pulito.

Se la demolizione dello strato legato a bitume interessa uno spessore inferiore ai 15 cm, essa potrà essere effettuata con un solo passaggio di fresa, mentre per spessori superiori a 15 cm si devono effettuare due passaggi, di cui il primo pari ad 1/3 dello spessore totale, avendo cura di formare un gradino tra il primo ed il secondo strato demolito di almeno 10 cm di base per lato.

Le pareti dei giunti longitudinali devono risultare perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e prive di sgretolature.

Sia la superficie risultante dalla fresatura che le pareti del cavo devono, prima della posa in opera dei nuovi strati di riempimento, risultare perfettamente pulite, asciutte e uniformemente rivestite dalla mano di attacco di legante bituminoso tal quale o modificato.

6.3.2. Demolizione dell'intera sovrastruttura realizzata con sistemi tradizionali

La demolizione dell'intera sovrastruttura può anche essere eseguita con impiego di attrezzature tradizionali quali escavatori, pale meccaniche, martelli demolitori ecc. a discrezione della Direzione Lavori ed a suo insindacabile giudizio. Le pareti verticali dello scavo devono essere perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e privo di sgretolature.

Eventuali danni causati dall'azione dei mezzi sulla parte di pavimentazione da non demolire devono essere riparati a cura e spese dell'Appaltatore. L'Appaltatore è inoltre tenuta a regolarizzare e compattare il piano di posa della pavimentazione demolita nel caso che non si proceda alla stesa del misto granulometricamente stabilizzato.

6.4. Rimozioni

Per rimozione s'intende una o più delle seguenti lavorazioni:

- smontaggio di recinzione costituita da rete metallica e relativi montanti;
- smontaggio di sicurvità di qualunque tipo, sia con montanti infissi, sia con montanti ancorati tramite piastra o inghiati;

- smontaggio completo di strutture metalliche o edifici in carpenteria metallica, costituiti da struttura portante in acciaio ad elementi di qualsiasi sezione e dimensione, anche composta a traliccio e dalle relative opere di finitura ed impiantistiche;
- rimozione di box, baracche prefabbricate ed altre strutture prevalentemente in lamiera o profili sagomati a freddo, compresa la demolizione degli ancoraggi ed opere accessorie tutte;
- rimozione di parti delle suddette strutture ed edifici;
- rimozione di lastre contenenti fibre di amianto, da eseguirsi secondo le modalità prescritte dalle specifiche normative vigenti. L'esecutore di tale attività dovrà essere iscritto all' Albo Nazionale Gestori Ambientali per la Categoria 10.

Nelle rimozioni sopra elencate sono compresi gli oneri per lo smaltimento in deposito o discarica autorizzata o il trasporto nei depositi che saranno indicati dalla Direzione Lavori.

7. Rilevati

7.1. Generalità

7.1.1. Definizioni

Rilevato	Insieme di operazioni di scavo e di riporto per costituire con aggregati naturali, industriali, riciclati o misti uno stabile piano di posa della sovrastruttura (o pavimentazione) a quota superiore al piano di imposta. La definizione si applica sia alle strade sia ai piazzali. In presenza di strato di bonifica, il rilevato si appoggia su questo.
Rilevato rinforzato	Rilevato che ingloba tra gli strati di aggregato naturale elementi di rinforzo disposti in direzione orizzontale o sub-orizzontale, su uno o più livelli.
Trincea	Insieme di operazioni di scavo e di riporto al fine di costituire uno stabile piano di posa della sovrastruttura (o pavimentazione) a quota inferiore al piano di imposta.
Piano di imposta (o di posa)	Si intende la superficie, generalmente in piano o in leggera pendenza, sulla quale poggia il rilevato o la sovrastruttura. Può essere ottenuta, o tramite semplice scotico del terreno (di norma per uno spessore medio di 20 cm), o approfondendo lo scavo (bonifica) per asportare un ulteriore strato di terreno, di caratteristiche non considerate soddisfacenti, che viene poi sostituito con materiale idoneo (strato di bonifica). Il piano di imposta può essere assoggettato a trattamenti vari, dalla semplice compattazione ai trattamenti con leganti idraulici. Può essere denominato "di scotico", quando non è prevista alcuna bonifica.
Bonifica	Asportazione di uno strato di terreno, sottostante la scotico, ritenuto non idoneo a sopportare le successive soprastanti opere previste in progetto.
Sottofondo	Strato di terra (spesso considerata convenzionalmente con spessore di 30 cm), immediatamente sottostante la sovrastruttura (o pavimentazione), costituito dal terreno naturale, eventualmente trattato con leganti, o da aggregati naturali, riciclati o misti riportati, costituenti l'ultimo strato del rilevato. Può coincidere con lo strato di bonifica.
Sovrastruttura (o pavimentazione)	Struttura sovrapposta al sottofondo, destinata a sopportare il regolare moto dei veicoli, costituita da uno o più strati. Nel caso più complesso di sovrastruttura stradale, a partire dal basso, si possodi norma no avere i seguenti strati: fondazione, sottobase, base, strato di collegamento, strato (o tappeto, o manto) di usura. Di norma i due strati più superficiali (collegamento, usura) sono sempre in conglomerato bituminoso.
Terreno	Si intende la roccia, sia essa sciolta (terra) o lapidea, considerata nella sua collocazione naturale.
Terra	Si intende ogni roccia allo stato sciolto, ottenuta per intervento non naturale.
Terra stabilizzata	Terra trattata in modo tale che la suscettibilità all'acqua risulti ridotta e le caratteristiche meccaniche risultino migliorate durevolmente.
Aggregato naturale	Materiale sciolto di origine minerale che non è stato assoggettato a nient'altro che a lavo-

	razioni meccaniche; può essere prodotto anche dalla frantumazione di rocce lapidee.
Aggregato industriale	Materiale sciolto di origine minerale derivante da un processo industriale che implica una modificazione termica o di altro tipo. Nel presente Capitolato, per ragioni di eco-compatibilità è contemplato l'esclusivo uso di argille espanse.
Aggregato riciclato	Materiale sciolto risultante dalla lavorazione di materiale inorganico precedentemente utilizzato nelle costruzioni. Nel presente Capitolato si fa riferimento all'utilizzo di calcestruzzo e misti cementati di risulta da demolizioni, e da fresatura di pavimentazioni bituminose.
Aggregato misto	Miscela di aggregati naturali e di aggregati riciclati.
Aggregati non alleggeriti	Materiali costituiti da particelle di densità compresa tra 19.6 kN/m^3 e 29.4 kN/m^3 .
Aggregati alleggeriti	Materiali costituiti da particelle di densità $< 19.6 \text{ kN/m}^3$ e con pesi di volume del materiale allo stato sciolto $< 11.8 \text{ kN/m}^3$.
Dimensioni dell'aggregato	Designazione in termini di dimensioni minime (d) e massime (D) del setaccio espressa come d/D. La designazione accetta che alcune particelle possano essere trattenute dal setaccio di dimensioni massime D e che alcune particelle possano non essere trattenute al setaccio di dimensioni minime d.
Aggregato grossolano	Materiale caratterizzato da $d \geq 1 \text{ mm}$ e $D \geq 2 \text{ mm}$.
Strato anticapillare	Strato costituito da aggregati naturali, riciclati o misti di idonea composizione granulometrica, atto ad impedire la risalita capillare di acqua nel corpo del rilevato o nella sovrastruttura (o pavimentazione).
Strato di bonifica	Materiale costituito da terra stabilizzata o da aggregati naturali, riciclati o misti, di idonea composizione granulometrica, compattati, messi in opera previa asportazione del terreno naturale di non adeguate caratteristiche. Di norma questo strato è sottostante lo scotico, il cui spessore è considerato nel rilevato o nella sovrastruttura.
Elementi di rinforzo	Elementi in acciaio o in sostanze polimeriche inglobati tra gli strati di aggregato naturale, in grado di migliorare le condizioni di stabilità del rilevato, grazie alla loro resistenza a trazione.
M_{d1}	Modulo di compressibilità (o di deformazione), determinato mediante prova di carico in sito statica (o quasi-statica) su piastra da 30 cm di diametro, il cui valore minimo è richiesto sul sottofondo, ovvero sul piano di posa della sovrastruttura (o pavimentazione).
M_{d2}	Modulo di compressibilità (o di deformazione), determinato mediante prova di carico in sito su piastra da 30 cm di diametro, il cui valore minimo è richiesto sul piano di imposta, in assenza o in presenza dello strato di bonifica.
E_{din}	Modulo elastico dinamico, determinato con prove di carico in sito a massa battente (FWD, HWD, LWD) o massa vibrante (RVM) ⁽¹⁾

7.1.2. Premesse di carattere generale

Le prescrizioni riportate nei paragrafi seguenti si applicano al corpo dei rilevati e all'eventuale strato di bonifica; per quanto riguarda la sovrastruttura (o pavimentazione) si rimanda integralmente a quanto riportato negli articoli del presente Capitolato specificatamente dedicati.

Le caratteristiche geometriche del corpo del rilevato, la natura e le proprietà geometriche (dimensioni delle particelle, composizione granulometrica), fisico-meccaniche e chimiche dei materiali che costituiscono il corpo del rilevato (da piano di imposta a piano appoggio della sovrastruttura) e l'eventuale strato di bonifica (al di sotto del piano di scotico), nonché le modalità e sequenze esecutive ed il piano di monitoraggio a controllo delle previsioni progettuali sono quelle indicate nel progetto esecutivo.

⁽¹⁾ FWD: *Falling Weight Deflectometer* (definizione generica o attribuita all'attrezzatura trainata mediamente pesante, destinata prevalentemente ad usi stradali); HWD (o HFWD): *Heavy (Falling) Weight Deflectometer* (definizione attribuita all'attrezzatura trainata pesante, destinata prevalentemente ad usi aeroportuali ma anche stradali); LWD (o LFWD): *Light (Falling) Weight Deflectometer* (definizione attribuita all'attrezzatura portatile); RVM: *Road Vibration Machine*.

Resta inteso che, a richiesta della Direzione Lavori e comunque qualora l'Appaltatore non dovesse reperire i materiali previsti, questo dovrà predisporre e sottoporre a preventiva approvazione da parte della Direzione Lavori un documento di dettaglio, a conforto ed integrazione del progetto esecutivo, nel quale dovrà indicare la natura e le proprietà geometriche, fisico-meccaniche e chimiche dei materiali che intende adottare, le modalità esecutive, le sequenze cronologiche degli interventi, nonché il piano di monitoraggio.

In merito all'attività di monitoraggio, risultano a carico dell'Appaltatore la fornitura e la posa della strumentazione mentre a carico della Direzione Lavori risultano la gestione del monitoraggio, intesa come elaborazione dati ed interpretazione ingegneristica degli stessi.

Il progetto di monitoraggio sarà portato a conoscenza dell'Appaltatore all'inizio delle lavorazioni; l'Appaltatore potrà installare strumentazione integrativa rispetto a quanto proposto dalla Direzione Lavori, così come potrà eseguire proprie letture ed elaborazioni della strumentazione installata dalla Direzione Lavori, purché garantisca l'integrità della stessa. L'Appaltatore è tenuto a redigere rapporti mensili di interpretazione dei dati di monitoraggio, sia relativamente a quelli elaborati dalla Direzione Lavori, sia relativamente ai propri dati.

L'indagine sui terreni di imposta (qualora a carico dell'Appaltatore) e sui materiali da costruzione, comprenderà anche prove chimiche per la valutazione della loro ecocompatibilità, ai sensi della legislazione vigente in materia, nonché delle eventuali caratteristiche di aggressività nei confronti dei manufatti costituenti l'opera da realizzare; analoghe considerazioni valgono per le acque sotterranee che dovessero interferire con l'opera da realizzare. In ogni caso il piano delle indagini e dei controlli sarà sottoposto per approvazione al Direttore dei Lavori.

L'Appaltatore dovrà dimostrare che il programma di costruzione:

- non comprometterà la stabilità del complesso rilevato terreno di fondazione;
- sia compatibile con il fatto che gli assestamenti residui alla consegna dell'opera risultino non superiori al 10% dei cedimenti teorici residui attesi.

L'installazione degli strumenti di monitoraggio e controllo delle previsioni di progetto, saranno effettuate da Imprese specializzate di gradimento della Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

Salvo diverse e più stringenti indicazioni della Direzione Lavori, i punti di indagine sul piano di imposta saranno posti ad intervalli non maggiori di 200 m e le indagini saranno spinte ad una profondità almeno pari alla metà della larghezza del piano di posa del rilevato, salvo attestarsi nell'eventuale substrato roccioso.

7.1.3. Normativa di riferimento

Le norme-quadro sono quelle armonizzate a livello europeo, legate alla marcatura CE: **UNI EN 13055-2** (aggregati leggeri per miscele bituminose, trattamenti superficiali e per applicazioni in strati legati e non legati), **13242** (aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade). Devono inoltre essere osservate le norme in materia ambientale tra cui il D.Lgs. 03/04/2006 n. 152 e la Circ. Min. Ambiente 15/07/2005 n. 5205 (indicazioni per l'uso dei materiali riciclati).

Vi sono comunque molte altre normative che devono essere prese in considerazione. Di queste si riportano a titolo indicativo ma in un elenco abbastanza completo le seguenti:

- UNI EN ISO 14688-1, Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione;
- UNI EN ISO 14688-2, Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione;
- UNI EN 932-1, Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento;
- UNI EN 932-2, Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Metodi per la riduzione dei campioni di laboratorio;
- UNI EN 932-3, Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata;
- UNI EN 932-5, Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Attrezzatura comune e taratura;
- UNI EN 932-6, Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Definizioni di ripetibilità e riproducibilità;

- UNI EN 933-1, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura;
- UNI EN 933-2, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Determinazione della distribuzione granulometrica - Stacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture;
- UNI EN 933-3, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 3: Determinazione della forma dei granuli - Indice di appiattimento;
- UNI EN 933-5, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 5: Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi;
- UNI EN 933-6, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Valutazione delle caratteristiche superficiali - Coefficiente di scorrimento degli aggregati;
- UNI EN 933-7, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Determinazione del contenuto di conchiglie - Percentuale di conchiglie negli aggregati grossi;
- UNI EN 933-8, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia;
- UNI EN 933-9, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 9: Valutazione dei fini - Prova del blu di metilene;
- UNI EN 933-10, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 10: Valutazione dei fini - Granulometria dei filler (setacciatura a getto d'aria);
- UNI EN 933-11, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 11: Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati;
- UNI EN 1097-1, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza all'usura (micro-Deval);
- UNI EN 1097-2, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione;
- UNI EN 1097-3, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari;
- UNI EN 1097-4, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della porosità del filler secco compattato;
- UNI EN 1097-5, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato;
- UNI EN 1097-6, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua;
- UNI EN 1097-7, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 7: Determinazione della massa volumica del filler - Metodo con picnometro;
- UNI EN 1097-8, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 8: Determinazione del valore di levigabilità;
- UNI EN 1097-9, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 9: Determinazione della resistenza all'usura per abrasione da pneumatici chiodati - Prova scandinava;
- UNI EN 1097-10, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Determinazione dell'altezza di suzione dell'acqua;
- UNI EN 1367-1, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo;
- UNI EN 1367-2, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 2: Prova al solfato di magnesio;
- UNI EN 1367-3, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Prova di bollitura per basalto "Sonnenbrand";
- UNI EN 1367-4, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 4: Determinazione del ritiro per essiccamento;

- UNI EN 1367-5, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 5: Determinazione della resistenza allo shock termico;
- UNI EN 1367-6, Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 6: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo in presenza di sale (NaCl);
- UNI EN 1744-1, Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica;
- UNI EN 1744-3, Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Preparazione di eluati per dilavamento di aggregati;
- UNI EN 1744-4, Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della sensibilità all'acqua dei filler per miscele bituminose;
- UNI EN 1744-5, Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione dei sali cloruri solubili in acido;
- UNI EN 1744-6, Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione dell'influenza di un estratto di aggregato riciclato sul tempo di inizio presa del cemento;
- UNI EN 13285, Miscele non legate – Specifiche;
- UNI EN 13286-1, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 1: Metodi di prova della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Introduzione, requisiti generali e campionamento;
- UNI EN 13286-2, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Costipamento Proctor⁽¹⁾;
- UNI EN 13286-3, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Metodo di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Vibrocompressione a parametri controllati;
- UNI EN 13286-4, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Metodo di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Martello vibrante;
- UNI EN 13286-5, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 5: Metodi di prova della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Tavola vibrante;
- UNI EN 13286-7, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Metodi di prova - Parte 7: Prova triassiale ciclica per miscele non legate;
- UNI EN 13286-40, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 40: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a trazione diretta di miscele legate con leganti idraulici;
- UNI EN 13286-41, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 41: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici;
- UNI EN 13286-42, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta di miscele legate con leganti idraulici;
- UNI EN 13286-43, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 43: Metodo di prova per la determinazione del modulo di elasticità di miscele legate con leganti idraulici;

⁽¹⁾ La prova di costipamento in questione è denominata sia "Proctor", sia "AASHTO" ed è eseguita, per le opere stradali, di solito nella versione "modificata". Le norme di riferimento, oltre alla UNI EN 13286-2 sono, per la prova standard la ASTM D698 (*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*) e la AASHTO T099-10-UL (*Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in.) Drop, Single User Digital Publication*), mentre per la versione modificata sono la ASTM D1557-12 (*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft lbf/ft³ (2,700 kN m/m³))*) e la AASHTO T180-10-UL (*Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop, Single User Digital Publication*).

Tipo di prova	Dimensioni del cilindro			Dimensioni del pestello		Numero degli strati	Numero colpi per strato	Altezza caduta pestello [cm]	Energia di costipamento [kg cm/cm ³]
	Ø [cm]	H [cm]	V [cm ³]	Ø [mm]	Peso [kg]				
Standard AASHTO	10.16	11.7	945	50.8	2.5	3	25	30.5	6.05
Modificata AASHTO	10.16	11.7	945	50.8	4.54	5	25	45.7	27.5

- UNI EN 13286-44, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Metodo di prova per la determinazione del coefficiente alfa di scorie vetrificate d altoforno;
- UNI EN 13286-45, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 45: Metodo di prova per la determinazione del periodo di lavorabilità di miscele legate con leganti idraulici;
- UNI EN 13286-46, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Metodi di prova per la determinazione della costipabilità mediante MCV (*Moisture Condition Value* – ndr);
- UNI EN 13286-47, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 47: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento;
- UNI EN 13286-48, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 48: Metodo di prova per la determinazione del grado di polverizzazione;
- UNI EN 13286-49, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 49: Prova di rigonfiamento accelerata per suoli trattati con calce e/o legante idraulico;
- UNI EN 13286-50, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 50: Metodo per la preparazione di provini di miscela legate con leganti idraulici mediante attrezzatura Proctor oppure compattazione con tavola vibrante;
- UNI EN 13286-51, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 51: Metodo per la preparazione di provini di miscela legate con leganti idraulici mediante compattazione con martello vibrante;
- UNI EN 13286-52, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 52: Metodo per la preparazione di provini di miscela legate con leganti idraulici mediante vibro compressione;
- UNI EN 13286-53, Miscela non legate e legate con leganti idraulici - Parte 53: Metodo per la preparazione di provini di miscela legate con leganti idraulici mediante compressione assiale;
- UNI CEN ISO/TS 17892-1, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua;
- UNI CEN ISO/TS 17892-2, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 2: Determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine;
- UNI CEN ISO/TS 17892-3, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 3: Determinazione della massa volumica dei granuli solidi - Metodo del picnometro;
- UNI CEN ISO/TS 17892-4, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica;
- UNI CEN ISO/TS 17892-5, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5: Prova edometrica ad incrementi di carico;
- UNI CEN ISO/TS 17892-6, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 6: Prova con la punta conica;
- UNI CEN ISO/TS 17892-7, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 7: Prova di compressione non confinata su terreni a grana fine;
- UNI CEN ISO/TS 17892-8, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 8: Prova triassiale non consolidata non drenata;
- UNI CEN ISO/TS 17892-9, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 9: Prove di compressione triassiale, consolidate, su terreni saturi;
- UNI CEN ISO/TS 17892-10, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 10: Prove di taglio diretto;
- UNI CEN ISO/TS 17892-11, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 11: Determinazione della permeabilità con prove a carico costante o a carico variabile;
- UNI CEN ISO/TS 17892-12, Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti di Atterberg;
- UNI EN 14227-1, Miscela legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 1: Miscela legate con cemento per fondi e sottofondi stradali;
- UNI EN 14227-3, Miscela legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 3: Miscela legate con ceneri volanti;

- UNI EN 14227-4, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 4: Ceneri volanti per miscele legate con leganti idraulici ;
- UNI EN 14227-5, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 5: Miscele legate con leganti idraulici per strade;
- UNI EN 14227-10, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 10: Terra trattata con cemento;
- UNI EN 14227-11, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 11: Terra trattata con calce;
- UNI EN 14227-12, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 12: Terra trattata con scorie;
- UNI EN 14227-13, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 13: Terra trattata con legante idraulico per strade;
- UNI EN 14227-14, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 14: Terra trattata con ceneri volanti;
- AAHSTO T/99, T/180, *Moisture-density relations of soil*;
- CNR BU n. 22, Peso specifico apparente in sito;
- CNR BU n. 69, Prova di costipamento di una terra;
- CNR BU n. 146, Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

Per quanto riguarda la formazione di rilevati in “terra rinforzata” (v. più avanti), dovrà essere osservata la norma:

- UNI EN 14475, Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata.

7.2. Aggregati per la formazione dei rilevati

7.2.1. Provenienza dei materiali

L'Appaltatore dovrà utilizzare i materiali indicati in progetto.

Se provenienti da cave di prestito indicate in progetto, la Stazione Appaltante provvederà ad ottenere dagli Enti competenti il benessere necessario.

L'Appaltatore potrà aprire, a sua cura e spese, cave di prestito ovunque lo riterrà di sua convenienza, subordinatamente alle vigenti disposizioni di legge, all'idoneità dei materiali, nonché all'osservanza di eventuali disposizioni della Direzione Lavori; in tale caso, prima di essere autorizzata ad iniziare la costruzione dei rilevati l'Appaltatore, in relazione a quanto previsto dalle vigenti leggi regionali, dovrà sottoporre alla Direzione Lavori la seguente documentazione (v. anche più avanti all'art. 8.2.3):

- benessere degli Enti eventualmente competenti ad autorizzare la coltivazione della cava;
- una mappa dell'area di cava in scala opportuna, indicante l'ubicazione dei saggi esplorativi;
- una relazione completa delle prove di laboratorio eseguite tanto per i materiali da cave che dagli scavi;
- il programma di coltivazione delle cave e delle eventuali fasi di lavorazione successive;
- i prescritti progetti di ripristino ambientale.

In ogni caso, sarà cura dell'Appaltatore provvedere alla fornitura, trasporto, stoccaggio e rimozione dei materiali provenienti da cave di prestito, così come di quelli provenienti dagli scavi o di quelli riciclati dalle demolizioni.

Prima di impiegare i materiali provenienti sia dalle cave di prestito, sia dagli scavi in roccia (sciolti e lapidei), sia dal riciclo di materiali da costruzione, verrà eseguita dall'Appaltatore una campagna di indagine corredata da prove di laboratorio atte a fornire alla Direzione Lavori un'esauriente documentazione in merito alla natura, ai requisiti geometrici (dimensioni delle particelle, composizione granulometrica), ai requisiti fisici, ai requisiti chimici dei materiali, al fine di ottenere l'idoneità all'utilizzo, secondo quanto indicato dal presente Capitolato e/o nel progetto esecutivo, anche in termini di resistenza alla frammentazione, durabilità ed aggressività, nonché in termini di problematiche ambientali (ecocompatibilità) ai sensi della legislazione vigente in materia. A titolo indicativo, per ogni zona di provenienza, dovrà essere eseguito almeno un sondaggio ogni 20.000 m³ di materiale.

L'Appaltatore è tenuto a sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori, il programma di utilizzo dei materiali, il programma delle eventuali fasi di lavorazioni successive (quali, frantumazione, vagliatura e miscelazione) atte a conferire ai materiali le caratteristiche di idoneità previste dal Capitolato Speciale e dal progetto esecutivo.

L'eventuale frantumazione, vagliatura e miscelazione del materiale, al fine di portarlo ad idonea pezzatura, è a cura e spese dell'Appaltatore.

Prima di avviare la coltivazione delle cave di prestito o prima dell'impiego di materiali di scavo, dovranno essere asportate eventuali coltri vegetali, sostanze organiche, rifiuti e tutti quegli agenti che possono provocare la contaminazione del materiale durante la coltivazione.

Le cave di prestito dovranno essere coltivate nel rispetto delle vigenti leggi in modo che, tanto durante la cavatura che a cavatura ultimata, non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica.

Le stesse condizioni di sicurezza dovranno essere garantite per le eventuali aree di stoccaggio e/o di lavorazione di cui, a sua cura e spese, l'Appaltatore dovesse avvalersi.

In relazione alla variabilità della provenienza, gli aggregati ottenuti dal riciclo di materiali da costruzione verranno impiegati unicamente se:

- prevalentemente costituiti da frammenti di laterizi, di murature, di intonaci, di conglomerati cementizi, di sovrastrutture stradali e ferroviarie, di allettamenti, di rivestimenti, di prodotti ceramici, di scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in calcestruzzo, di materiali lapidei.
- facenti parte di lotti (o partite), previamente caratterizzati secondo quanto previsto dalle normative e leggi vigenti.

E' ammesso l'utilizzo di aggregati misti prodotti miscelando aggregati naturali e aggregati riciclati.

Gli aggregati utilizzati devono essere identificati almeno nei seguenti termini (designazione):

- fonte e produttore; se il materiale è stato stoccato in un deposito devono essere indicati sia la fonte sia il deposito;
- tipo di aggregato (ai sensi anche della norma EN 932-3);
- dimensione dell'aggregato in termini d/D.

La bolla di consegna deve contenere almeno le seguenti informazioni:

- designazione;
- data di spedizione;
- numero di serie della bolla.

Per l'ultimo strato di 30 cm, costituente sottofondo della sovrastruttura stradale, dovranno essere impiegati materiali appartenenti esclusivamente ai gruppi A1 e A3 (il materiale appartenente al gruppo A3 dovrà in particolare presentare un coefficiente di uniformità (D_{60}/D_{10}) maggiore o uguale a 7.

Di norma la dimensione della massima pezzatura ammessa per l'aggregato, salvo diverse proscrizioni di progetto, non dovrà superare i due terzi dello spessore dello strato compattato.

7.2.2. Prove sui materiali

I materiali che si intendono utilizzare saranno preventivamente sottoposti a prove che attestino la loro ecocompatibilità (sia alla fonte che nell'area di stoccaggio e al momento della loro messa in opera), ai sensi della legislazione vigente in materia.

Le caratteristiche e l'idoneità dei materiali ai fini dell'ingegneria geotecnica e strutturale delle opere saranno accertate mediante prove di laboratorio.

Le prove sugli aggregati naturali non alleggeriti, industriali alleggeriti e sugli aggregati riciclati, verranno effettuate in accordo a quanto previsto dalle normative precedentemente citate.

A titolo indicativo e non esaustivo le prove di laboratorio comprenderanno:

Aggregati naturali non alleggeriti:

- Analisi granulometrica completa, comprensiva anche dalla valutazione del contenuto di fine;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua.
- Determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità;
- Prova di compattazione ed esecuzione eventuale di:
 - analisi granulometrica sui materiali impiegati nella prova di compattazione, prima e dopo la prova stessa, limitatamente a quei materiali per i quali è sospetta la presenza di componenti instabili;

- prova edometrica, limitatamente ai materiali a grana fine prelevati dal campione dopo l'esecuzione della prova e compattati al 95% della densità massima ($\pm 2\%$);
- Resistenza alla frammentazione per gli aggregati grossolani ($d \geq 1\text{mm}$; $D \geq 2\text{mm}$). Tale resistenza verrà valutata in accordo con la norma UNI EN 1097-2. Si esclude l'impiego di materiali di categoria LA > 40, salvo diversa indicazione fornita dalla Direzione Lavori;
- Perdita di massa e resistenza alla frammentazione nel caso di basalti. Tale resistenza verrà valutata in accordo con la norma UNI EN 1097-2. L'incremento del coefficiente LA dovrà risultare inferiore all'8%, salvo diversa indicazione fornita dalla Direzione Lavori;
- Peso specifico delle particelle;
- Contenuto di solfati solubili agli acidi. Tale contenuto verrà valutato in accordo con la norma UNI EN 1744-1. Tale contenuto dovrà essere inferiore allo 0.8%, salvo diversa indicazione fornita dalla Direzione Lavori;
- Contenuto di zolfo. Tale contenuto verrà valutato in accordo con la norma UNI EN 1744-1. Tale contenuto dovrà essere inferiore all'1.0%, salvo diversa indicazione fornita dalla Direzione Lavori;
- Resistenza a cicli di gelo e disgelo (in zone a clima avverso). Tale Resistenza verrà valutata in accordo con la norma UNI EN 1097-6. Il materiale dovrà rientrare nelle categorie F1 e F2, salvo diversa indicazione fornita dalla Direzione Lavori;

Aggregati industriali alleggeriti:

- Peso di volume dell'aggregato sciolto.
- Peso specifico delle particelle.
- analisi granulometrica completa, comprensiva anche dalla valutazione del contenuto di fine.
- Contenuto d'acqua del materiale prima della posa in opera.
- Prova di assorbimento d'acqua nei vuoti intra-particellari.
- Resistenza alla frantumazione;
- Resistenza a cicli di gelo e disgelo (in zone a clima avverso).
- Prova di compattazione.

I limiti di accettabilità saranno indicati in progetto.

Aggregati riciclati:

Prove di classificazione indicate nell'Allegato C della circolare n. 5205 del 15/07/2005, applicativa del D.M. 08/05/2003 n. 203 inerente l'impiego da parte di enti di diritto pubblico di materiali riciclati.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire le prove iniziali e a sottoporre il relativo programma all'approvazione della Direzione Lavori ogni volta si presentino le seguenti circostanze:

- venga utilizzato una nuova fonte di aggregato;
- sia subentrato un cambiamento significativo della natura e caratteristiche dell'aggregato e delle condizioni di lavorazione, tale da influenzarne le proprietà geometriche, fisiche, chimiche e meccaniche.

I risultati delle prove iniziali dovranno essere documentati e costituire un punto di partenza per il controllo di produzione.

Il numero dei controlli di produzione, da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori, sarà non inferiore a quello previsto dalle già citate norme e sottoposto all'approvazione della Direzione Lavori.

Le registrazioni tenute dovranno indicare quali procedimenti di controllo qualità sono stati messi in atto durante la produzione dell'aggregato.

L'esito di ciascuna prova verrà allegato al Piano di Controllo Qualità e farà parte del *dossier* di qualità dell'opera. Su ciascun certificato dovrà essere chiaramente indicato:

- l'opera di riferimento;
- la designazione dell'aggregato;
- la normativa utilizzata;

- la data di esecuzione della prova;
- i risultati ottenuti su supporto informatico e cartaceo.

Le prove iniziali di qualifica saranno effettuate da laboratori ufficiali certificati.

La Direzione Lavori potrà indicare, a sua discrezione, i punti per il campionamento dei materiali.

7.2.3. Documentazione soggetta ad approvazione

Prima di iniziare la costruzione dei rilevati, l'Appaltatore, dovrà sottoporre alla Direzione Lavori la seguente documentazione:

Aggregati naturali provenienti da cave di prestito

- benessere degli enti competenti ad autorizzare la coltivazione della cava;
- una mappa dell'area di cava in scala opportuna, indicante l'ubicazione dei saggi esplorativi;
- documentazione riportante i risultati delle prove iniziali, attestante la conformità dei materiali;
- il programma di coltivazione delle cave e delle eventuali fasi di lavorazione successive (frantumazione, vagliatura, miscelazione);
- documentazione provante il fatto che le cave di prestito verranno coltivate nel rispetto delle vigenti leggi in modo che, tanto durante la cavatura che a cavatura ultimata, non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica. Analoga documentazione dovrà essere prodotta per le eventuali aree di stoccaggio e/o di lavorazione di cui, a sua cura e spese, l'Appaltatore dovesse avvalersi;
- progetti di ripristino ambientale in accordo con le normative e leggi vigenti;

Aggregati naturali provenienti da scavi

- una mappa in scala opportuna, indicante l'ubicazione dei saggi esplorativi;
- documentazione riportante i risultati delle prove iniziali, attestante la conformità dei materiali (ambientale e tecnica);
- il programma delle eventuali fasi di lavorazione successive (frantumazione, vagliatura, miscelazione);
- documentazione provante il fatto che gli scavi verranno effettuati nel rispetto delle vigenti leggi in modo che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica. Analoga documentazione dovrà essere prodotta per le eventuali aree di stoccaggio e/o di lavorazione di cui, a sua cura e spese, l'Appaltatore dovesse avvalersi;

Aggregati riciclati

- documentazione indicante le modalità di caratterizzazione e campionamento dei lotti;
- documentazione riportante i risultati delle prove iniziali, attestante la conformità dei materiali;
- il programma delle eventuali fasi di lavorazione successive (frantumazione, vagliatura, miscelazione);
- documentazione provante il fatto che le eventuali aree di stoccaggio e/o di lavorazione di cui, a sua cura e spese, l'Appaltatore dovesse avvalersi verranno eseguite nel rispetto delle vigenti leggi in modo che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica;

Aggregati industriali

- documentazione riportante i risultati delle prove iniziali, attestante la conformità dei materiali.

7.3. Preparazione del piano di posa dei rilevati

7.3.1. Scotico, bonifica, gradonature e trincee drenanti

Per la preparazione del piano di posa dei rilevati l'Appaltatore dovrà provvedere, nei limiti dell'area di costruzione, innanzitutto alle verifiche nei confronti della presenza di ordigni bellici e di sottoservizi; successivamente procederà al taglio delle piante e all'estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc. (diserbamento), al loro sistematico ed immediato allontanamento a deposito autorizzato.

La Direzione Lavori indicherà tutti gli alberi, i cespugli, le piante ed altro che dovranno essere lasciati sul posto.

Sarà di seguito eseguita la totale asportazione del terreno vegetale sottostante l'impronta del rilevato (scotico) per la profondità stabilita in progetto e/o in accordo con le risultanze delle eventuali indagini di cui al punto 7.1.2, secondo le direttive impartite dalla Direzione Lavori.

L'Appaltatore provvederà a far sì che il piano di posa dei rilevati sia il più possibile regolare, privo di bruschi avvallamenti e tale da evitare il ristagno di acque piovane, provvedendo al riempimento delle buche effettuate nelle operazioni di estirpamento delle radici delle piante. Tale riempimento dovrà essere effettuato con materiale idoneo (aggregati naturali, riciclati o misti) di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, messo in opera a strati di conveniente spessore e compattato.

Il piano di posa dei rilevati, costipato mediante rullatura, dovrà essere approvato previa ispezione e controllo da parte della Direzione Lavori; in quella sede la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, potrà richiedere ulteriori scavi di sbancamento (bonifica) per rimuovere eventuali materiali a grana fine, teneri o torbosi o materiali rimaneggiati/rammolliti per negligenza da parte dell'Appaltatore, ciò al fine di sostituirli con aggregati naturali, riciclati o misti, idonei, messi in opera per strati di conveniente spessore, compattati ed in grado di garantire il raggiungimento delle caratteristiche dei piani di posa di cui al punto seguente. In alternativa agli ulteriori scavi di sbancamento la Direzione Lavori potrà ordinare di trattare i terreni di imposta secondo le modalità di cui al punto 7.5.

Laddove le peculiari caratteristiche dei terreni in posto (materiali a grana fine, saturi o parzialmente saturi) rendessero inefficace la rullatura, la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, procederà ad un intervento di bonifica con l'impiego di aggregati naturali, riciclati o misti idonei, messi in opera per strati di conveniente spessore (vedi l'articolo 8.4.2) e compattati.

La Direzione Lavori, in relazione alla natura dei terreni sul piano di scotico e di bonifica potrà ordinare l'adozione di provvedimenti atti a prevenire la contaminazione dei materiali di apporto, fra cui la posa di geomembrane e/o teli geotessili.

Laddove una maggiorazione di scavo fosse da imputarsi ad errori topografici, alla necessità di asportare quei materiali rimaneggiati o rammolliti per negligenza dell'Appaltatore o a bonifiche non preventivamente autorizzate dalla Direzione Lavori, l'Appaltatore eseguirà detti scavi e il relativo riempimento con materiali idonei di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, a sua cura e spese.

Salvo diverse prescrizioni contenute nel progetto o impartite dalla Direzione Lavori, il materiale utilizzato per riempire gli scavi di scotico e bonifica avrà caratteristiche simili a quelle del materiale da rilevato.

Il reinterro degli scavi relativi a tubazioni interrato dovrà essere sabbioso, o comunque di composizione granulometrica tale da non danneggiare le tubazioni stesse.

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista ambientale, a cura e spese dell'Appaltatore (qualora non già disponibile presso la Committente), nei modi e nei tempi stabiliti dalla normativa vigente salvo diversa indicazione della Committente.

Il materiale scavato relativo agli strati di scotico e di bonifica, dovrà essere trasportato a deposito autorizzato o, se idoneo, riutilizzato per opere di riambientalizzazione e/o come terra vegetale per la finitura delle aree oggetto di rinverdimento.

Il quantitativo da reimpiegarsi nella sistemazione a verde delle scarpate sarà accantonato in località e con modalità autorizzate dalla Direzione Lavori; il deposito temporaneo di detti materiali dovrà comunque consentire il regolare deflusso delle acque e risultare tale che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica.

Nei casi in cui fossero riscontrati in fase di scavo livelli di falda a quote superiori a quella del letto dello strato di sottofondo l'Appaltatore progetterà ed eseguirà, previa approvazione della Direzione Lavori, un sistema di trincee drenanti longitudinali e trasversali al corpo stradale di altezza e pendenza adeguate per abbassare il livello di falda e per lo smaltimento delle acque di filtrazione convogliate nel sistema drenante. Il materiale drenante (aggregato naturale, riciclato o misto) dovrà avere caratteristiche granulometriche tali da assicurare un facile deflusso delle acque attraverso di esso e nello stesso tempo da evitare l'intasamento per effetto del trascinarsi degli elementi fini. In particolare dovrà risultare:

$$5 d_{15} \leq D_{15} \leq 5 d_{85} \quad (1)$$

essendo:

D_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante;

d_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare;

d_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare.

Nel caso in cui lo smaltimento delle acque drenate avvenga per mezzo di tubi forati, tra la granulometria del materiale drenante posto attorno al tubo e la minima dimensione dei fori dei tubi, ovvero degli interstizi fra i tubi, andrà rispettata la seguente relazione:

$$D_{85} \geq 1.5 d \quad (2)$$

essendo:

D_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante;

d = diametro dei fori dei tubi o larghezza degli interstizi tra i tubi.

Affinchè siano rispettate sia la (1) che la (2) il materiale drenante sarà disposto a strati con elementi di dimensioni decrescenti a partire dal tubo verso il terreno da drenare.

I drenaggi non devono raccogliere l'acqua superficiale per cui saranno chiusi superiormente da uno strato di terreno impermeabile.

Quando siano prevedibili cedimenti dei piani di posa dei rilevati superiori a 15 cm, l'Appaltatore sottoporrà alla Direzione Lavori un programma per l'installazione di piastre assestometriche.

L'Appaltatore dovrà provvedere a reintegrare i maggiori volumi di rilevato per il raggiungimento della quota di progetto ad avvenuto esaurimento dei cedimenti.

Ogni qualvolta i rilevati poggino su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.

Ogni qualvolta i rilevati poggiano su declivi caratterizzati dalla presenza di acque sotterranee superficiali, i primi strati costituenti il corpo del rilevato verranno realizzati con materiale a grana grossa (aggregato naturale o riciclato o misto) con permeabilità significativamente superiore a quella del terreno naturale, da valutare sulla base di specifiche analisi di filtrazione, ciò al fine di impedire l'imbibizione del corpo del rilevato e assicurarne la stabilità. Gli strati drenanti, se realizzati con materiali di cui al punto 7.3.3, potranno avere anche funzione anticapillare.

Oltre a quanto sopra, nell'esecuzione dei lavori l'Appaltatore dovrà farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati:

- controllo geometrico allo scopo di verificare che gli scavi siano stati eseguiti secondo le pendenze, le dimensioni e le quote di progetto. I risultati delle verifiche saranno riportati in apposite schede e trasmessi alla Direzione Lavori;
- segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi di scotico e di bonifica per l'eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori, prima di procedere a fasi di lavoro successive;
- provvedere alla rimozione di trovanti di qualsiasi natura e dimensione provvedendo altresì alla frantumazione dei materiali non trasportabili e/o non riutilizzabili;
- provvedere al carico, trasporto e scarico del materiale proveniente dagli scavi che si intende riutilizzare, purchè idoneo; è incluso l'onere per il reperimento di idonee aree di stoccaggio, eventualmente indicate dalla Direzione Lavori, nonché per il deposito ordinato e per la ripresa dei materiali per il loro riutilizzo;
- recintare e apporre sistemi di segnaletica diurna e notturna alle aree di lavoro;
- provvedere con qualsiasi sistema (palancole, sbadacchiature, abbassamento provvisorio della falda ecc.) al contenimento delle pareti degli scavi in accordo a quanto previsto nel progetto e in conformità alle norme di sicurezza;
- adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, scavi campione, ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e servizi interrati esistenti di qualsiasi natura; è inclusa, ove necessario, la temporanea deviazione ed il tempestivo ripristino delle opere danneggiate o temporaneamente messe fuori servizio;
- provvedere ad un adeguato drenaggio per effettuare gli scavi all'asciutto, per evitare accumuli d'acqua nel fondo scavo, fino ad ultimazione delle operazioni di riempimento.

7.3.2. Strato anticapillare e strati rinforzati

In relazione alle locali caratteristiche idrogeologiche, nonché alla natura dei materiali costituenti il rilevato, quando previsto in progetto e/o quando le indagini condotte lo rendessero necessario, al di sopra del piano di scotico sarà eseguita:

- la stesa di uno strato granulare con funzione anticapillare;
- la stesa di uno strato di geotessile non tessuto con funzione di separazione;
- la stesa di uno o più strati di geotessili (tessuto e/o griglie), con funzione di rinforzanti costituenti il corpo del rilevato.

Strato granulare anticapillare

Lo strato dovrà avere uno spessore compreso tra 0,3 e 0,5 m; sarà composto da aggregati naturali, riciclati o misti aventi granulometria assortita 2 ÷ 50 mm, con passante al vaglio da 2 mm non superiore al 15% in peso e comunque con un passante al vaglio UNI 0,075 mm non superiore al 3%. Nel caso di impiego di aggregati riciclati dovranno essere rispettate anche le prescrizioni contenute nell'Allegato C5 della citata Circ. n. 5205/2005.

Sarà possibile l'impiego di materiali di diversa granulometria solo nei casi in cui l'Appaltatore, seguendo le indicazioni della Direzione Lavori esegua una sperimentazione volta a dimostrare che la massima altezza di risalita capillare non supera la metà dello strato anticapillare stesso.

Il materiale dovrà risultare del tutto esente da componenti instabili (gelivi, solubili, ecc.) e da resti vegetali; è ammesso l'impiego di materiali ottenuti mediante frantumazione.

A compattazione avvenuta i materiali dovranno presentare una densità del secco pari o superiore al 90% di quella massima individuata dalla prova di compattazione AASHTO modificata.

Qualora gli strati di rilevato siano costituiti da terre appartenenti ai gruppi A2-6,A2-7, tra tali strati e l'anticapillare sarà interposto uno strato di geotessile.

Geotessile non tessuto di separazione

Lo strato di geotessile da stendere sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) con funzione di separatore dovrà essere del tipo nontessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 kN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti (long.+trasv./2) maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da garantire una permeabilità minima di 60 l/(m²s) e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.

La campionatura del materiale dovrà essere fatta secondo la Norma UNI EN ISO 9862, con la frequenza indicata dalla Direzione Lavori.

I prelievi dei campioni saranno eseguiti, a cura dell'Appaltatore e sotto il controllo della Direzione Lavori, preliminarmente su materiali approvvigionati in cantiere, prima del loro impiego; successivamente, su materiali prelevati durante il corso dei lavori.

Dalle prove, effettuate da laboratori ufficiali certificati, dovranno risultare soddisfatti i seguenti requisiti minimi:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	≥ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	≥ 35 (MD e CD) ≥ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	≥ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	≥ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	≤ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	≥ 60 l/m ² s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60 ÷ 150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.

La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà richiedere ulteriori prove preliminari o prelevare in corso d'opera campioni di materiali da sottoporre a prove presso Laboratori qualificati, restando a carico dell'Appaltatore il relativo onere.

Nel suo conferimento al cantiere, il geotessile dovrà essere marcato indelebilmente secondo le specifiche della norma UNI EN ISO 10320, nonché identificato con marchio CE.

Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI ENV ISO 1722-1, per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.

I rotoli di geotessile dovranno essere opportunamente protetti durante il periodo di stoccaggio del materiale in accordo alle raccomandazioni del produttore; analogamente il tempo intercorrente tra la stesa del geotessile e la sua copertura con strati costituiti da aggregati dovrà essere inferiore a quello raccomandato dal produttore, comunque non superiore a 24 ore.

Il piano di stesa del geotessile dovrà essere perfettamente regolare, privo di discontinuità o di materiali che possano arrecare danneggiamenti al geotessile; se necessario la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.

Dovrà essere curata la giunzione dei teli mediante sovrapposizione di almeno 30 cm nei due sensi longitudinale e trasversale.

I teli non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.

Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:

- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive.

Geotessile e/o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa

Per gli strati di geotessile o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa si rimanda a quanto indicato nell'articolo 8.4.1.

7.4. Formazione del rilevato

7.4.1. Generalità e materiali da impiegare

7.4.1.1. Generalità

Si considerano separatamente le seguenti categorie di lavoro:

- Rilevati autostradali;
- Rilevati autostradali realizzati con la tecnica della "terra rinforzata";
- Rilevati di precarico e riempimenti.
- La classificazione delle terre e la determinazione del loro gruppo di appartenenza sarà conforme alle norme UNI EN ISO 14688-1. Per motivi di continuità con la prassi tradizionale e poiché le nuove norme non hanno altrettanta immediatezza applicativa e non coincidono perfettamente con gli argomenti trattati dalla precedente norma CNR-UNI 10006:2002, è richiesto anche che il materiale venga classificato in accordo alle caratteristiche prestazionali indicate nella Tabella 1 riportata più avanti (cui il presente Capitolato fa spesso riferimento), in conformità alla medesima norma ed ancorché essa sia stata ritirata nel marzo 2004 e sostituita dalle norme UNI EN 13242 e 13285, UNI EN ISO 14688-1. Per gli aggregati riciclati si aggiungono inoltre i criteri prestazionali indicati in Tabella 2.

Salvo diverse indicazioni del progetto o impartite dalla Direzione Lavori, le prescrizioni qui riportate, relative ai rilevati autostradali (strade di categoria A e relative intersezioni, strade di servizio e altre pertinenze) valgono anche per i rilevati delle strade ordinarie, delle categorie B, C, D, F (le strade delle categorie E ed F-bis sono invece da considerarsi di tipo speciale e quindi per esse potranno essere adottate soluzioni specifiche).

7.4.1.2. Rilevati autostradali

Di norma e salvo diverse prescrizioni di progetto, dovranno essere impiegati aggregati naturali, riciclati o misti appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3, fatta eccezione per l'ultimo strato di 30 cm (sottofondo), ove dovranno essere impiegati aggregati naturali appartenenti esclusivamente ai gruppi A1-a e A3. Nel caso di impiego di aggregati riciclati dovranno essere rispettate anche le prescrizioni riportate nella Tabella 2.

Per lo strato di sottofondo non sarà ammesso l'impiego di rocce frantumate con pezzature grossolane; l'impiego di rocce frantumate è ammesso nella restante parte di rilevato (a partire dal piano di scotico o di bonifica) se di natura non geliva, se stabili con le variazioni del contenuto d'acqua e se tali da presentare pezzature massime non eccedenti i 20 cm. Il materiale la cui dimensione sia compresa tra 7 e 20 cm deve essere di pezzatura disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume di rilevato. In ogni caso il rapporto tra il passante al setaccio D60 ed il passante al setaccio D10 dovrà essere maggiore di 15.

Nel caso di aggregati del gruppo A3 il rapporto D_{60}/D_{10} dovrà risultare superiore a 7.

Di norma la dimensione delle massime pezzature ammesse non dovrà superare i due terzi dello spessore dello strato compattato. I materiali impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi o comunque instabili nel tempo.

Non è ammesso l'utilizzo di aggregati provenienti da formazioni di origine vulcanica se non indicato nel progetto o autorizzato dalla Direzione Lavori.

Gli aggregati impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi, frantumabili o comunque instabili nel tempo (esempio: rocce argilloso-scistose). L'idoneità del materiale nei confronti della frantumabilità dovrà essere provata mediante prove di laboratorio preliminari, condotte su campioni prelevati prima e dopo la compattazione in sito.

Nel caso di impiego di aggregati industriali alleggeriti dovranno essere rispettate le prescrizioni indicate nel progetto. In ogni caso non sarà ammesso l'impiego di aggregati industriali alleggeriti per la formazione di sottofondi.

A compattazione avvenuta i materiali dovranno presentare una densità pari o superiore al 90% della densità massima individuata dalle prove di compattazione AASHTO T/180-57, salvo per l'ultimo strato di 30 cm costituente il sottofondo, che dovrà presentare una densità pari o superiore al 95% sempre della densità massima individuata dalle prove di compattazione AASHTO T/180-57.

L'intero corpo del rilevato dovrà in ogni caso essere protetto, sulle scarpate e sulle banchine non carreggiabili, dall'azione diretta degli agenti atmosferici, mediante inerbimento e piantagioni e, se necessario, con l'apporto di uno strato di terreno vegetale.

Nel caso di rilevati aventi notevole altezza, dovranno essere realizzate banchine di scarpata della larghezza di 2 m a quota idonea e comunque ad una distanza verticale dal ciglio del rilevato non superiore a 6 m.

Impiego di terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7

Saranno impiegate terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7, solo se:

- provenienti dagli scavi e se previsto nel progetto; il loro utilizzo è previsto per la formazione di rilevati soltanto al di sotto di 2,0 m dal piano di posa della sovrastruttura, previa sovrapposizione ad uno strato anticapillare di spessore non inferiore a 30 cm. Il grado di densità e la percentuale di umidità secondo cui costipare i rilevati formati con materiale dei gruppi in oggetto, dovranno essere preliminarmente determinati. Quanto sopra allo scopo di contenere entro limiti minimi fenomeni di ritiro e di rigonfiamento dei materiali. In ogni caso lo spessore degli strati sciolti, prima della compattazione, non dovrà superare 30 cm ed il materiale dovrà essere convenientemente disaggregato;
- stabilizzate a calce, secondo le modalità di cui all' articolo 3.5 (trattamento delle opere con calce).

7.4.1.3. Rilevati in terra "armata" o "rinforzata"

In generale valgono le prescrizioni di cui al punto precedente, con le seguenti ulteriori aggiunte.

Dovranno essere impiegati solo aggregati naturali di cava o di scavo appartenenti ai gruppi A1, A3, A2-4 e A2-5.

Eventuali deroghe potranno essere autorizzate dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, solo se supportate da accurate verifiche e indagini di laboratorio e/o in sito da eseguirsi a cura e spese dell'Appaltatore.

Gli aggregati impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi, frantumabili o comunque instabili nel tempo. L'idoneità del materiale nei confronti della frantumabilità

dovrà essere provata mediante prove di laboratorio preliminari, condotte su campioni prelevati prima e dopo la compattazione in sito.

L'Appaltatore è altresì tenuto a garantire che le proprietà degli aggregati utilizzati siano conformi anche nei confronti di:

- fenomeni di aggressività e danneggiamento degli elementi di rinforzo e dell'eventuale facciata;
- attrito e coesione previsti in progetto;

secondo quanto riportato in progetto, in accordo con la citata norma UNI EN 14475.

Analoghe garanzie dovranno essere fornite per il terreno naturale, nei casi in cui gli elementi di rinforzo siano a contatto con esso, e per l'acqua di falda, qualora essa sia prossima al piano di fondazione e possa quindi venire ad interessare il materiale costituente il rilevato rinforzato.

La massima dimensione delle particelle dell'aggregato utilizzato non dovrà superare il valore indicato in progetto, definito in funzione dello spessore degli strati di aggregato, della spaziatura degli elementi di rinforzo, delle dimensioni degli eventuali elementi di facciata, della tipologia degli elementi di rinforzo e della necessità di contenere entro limiti minimi il danneggiamento prodotto dalla messa in opera. Viene del tutto esclusa la possibilità di impiegare materiali con pezzature superiori ai 150 mm.

Allo scopo di garantire un comportamento omogeneo della terra rinforzata, qualora i materiali di cava o di scavo non mantenessero la prescritta uniformità di caratteristiche granulometriche e chimiche, gli stessi saranno preventivamente stoccati in apposita area al fine di essere opportunamente mescolati.

La compattazione di detti aggregati dovrà risultare tale da garantire una densità del secco non inferiore al 95% di quella massima individuata mediante la prova AASHTO modificata.

Gli elementi di rinforzo messi in opera dovranno essere identificati ed ispezionati in dettaglio al fine della dichiarazione di conformità alle caratteristiche richieste che dovrà essere documentata.

Qualora venga previsto l'uso di geosintetici, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:

- pH compreso tra 3 e 9, per geosintetici costituiti da fibre di PET ancorchè ricoperte;
- pH > 3 per geosintetici costituiti da poliolefine (HDPE o PP) e da fibre in PVA-L.

Nel caso di impiego di armature metalliche, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:

- contenuto in sali;
- solfuri, del tutto assenti;
- solfati, solubili in acqua, minori di 500 mg/kg;
- cloruri, minori di 100 mg/kg;
- pH, compreso tra 5 e 10 (il che preclude l'utilizzo dei terreni trattati a calce e cemento);
- resistività elettrica superiore a 1.000 ohmxcm per opere all'asciutto, superiore a 3.000 ohmxcm per opere immerse in acqua;
- contenuto organico minore dell'1%.

In presenza di terre armate e/o rinforzate, relative ad opere di pertinenza non autostradale o comunque ad opere di carattere provvisorio (vita utile minore di 2 anni), che ricorrono ad elementi di rinforzo di tipo metallico rivestito con leghe di zinco e protetto con rivestimento plastico, è possibile il ricorso a terre stabilizzate con tecniche che portino il pH a valori superiori a 10; l'utilizzo è subordinato all'esecuzione di un numero adeguato di campi prova in grado di dimostrare che i terreni che si intendono utilizzare, in fase di stesa e di compattazione non determinino alcun danneggiamento al rivestimento plastico.

I campi prova, da realizzarsi a cura e spese dell'appaltatore sotto la supervisione della Direzione Lavori, dovranno essere eseguiti prevedendo il ricorso a terreni con caratteristiche granulometriche e di natura e forma degli elementi che costituiscono lo scheletro solido identiche al materiale che si intende utilizzare, impiegando, modalità di stesa e compattazione identiche a quelle di realizzazione dell'opera di sostegno.

Tutte le operazioni di movimentazione e stoccaggio degli elementi di rinforzo dovranno avvenire nel rispetto delle specifiche di progetto e delle raccomandazioni del fornitore. Ogni elemento di rinforzo sarà steso su una superficie

perfettamente regolare, priva di materiali che possano arrecare danneggiamenti; se necessaria la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.

La stesa del geosintetico avverrà (se non diversamente indicato in progetto) perpendicolarmente all'asse del rilevato, senza giunzioni e con risvolto eventualmente indicato nel progetto; la sovrapposizione in direzione longitudinale sarà quella indicata in progetto.

Nel caso di elementi di rinforzo caratterizzati da resistenze a trazione differenti nelle varie direzioni la stesa avverrà conformemente all'orientazione specificata in progetto, e comunque tale da garantire adeguata sovrapposizione degli elementi di rinforzo eventualmente prevedendo strati aggiuntivi con opportuna orientazione.

Al fine di minimizzare le deformazioni necessarie alla mobilitazione della resistenza a trazione, gli elementi di rinforzo saranno stesi sottoponendoli ad un leggero tiro e tenuti in quella posizione prima della messa in opera dello strato di aggregato che avverrà entro il tempo specificato in progetto, comunque non oltre 24 ore dalla stesa dell'elemento di rinforzo.

Gli elementi di rinforzo non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.

La sequenza di messa in opera dello strato di aggregato sugli elementi di rinforzo poggianti su terreni a grana fine teneri dovrà avvenire in accordo alle specifiche di progetto, e comunque in modo tale che non venga procurata la rottura del terreno di fondazione e la formazione di fenomeni di sollevamento ("bow waves") che possono danneggiare gli elementi di rinforzo; tale fenomeno andrà evitato, eventualmente riducendo al minimo lo spessore di aggregato messo in opera per la transitabilità dei mezzi.

7.4.1.4. Rilevati di precarico e riempimenti

Potranno essere impiegati materiali di qualsiasi natura fatta eccezione, per i riempimenti, per quelli appartenenti ai gruppi A7 e A8.

I materiali provenienti da scavi potranno essere impiegati soltanto se ritenuti idonei dalla Direzione Lavori.

Non è richiesto il conseguimento di una densità minima; il materiale dovrà essere steso in strati regolari di spessore prestabilito e le modalità di posa dovranno essere atte a conseguire la densità uniforme dichiarata nel progetto, controllata con sistematicità, comunque tale da garantire l'opera nei confronti di fenomeni instabilità ed erosioni.

Tabella 1: Caratteristiche prestazionali delle terre naturali (CNR-UNI 10006)

Classificazione generale	Terre ghiaio-argillose							Terre limo-argillose					Torbe e terre organiche palustri
	Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332<35%							Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332>35%					
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica													
Frazione passante al setaccio													
2 UNI EN 933	≤ 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,4 UNI EN 933	≤ 30	≤ 50	≤ 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,063 UNI EN 933	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI EN 933													
Limite liquido	--	--	--	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10	> 10
											IP≤1.1.-30	IP>1.1.-30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressib.	Limi fortemente compressib.	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente						Da scartare come sottofondo	
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa					Scarsa o nulla				
Identificazione del terreno in sito	Facilmente individuabile a vista		Aspri al tatto, incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo, aspri al tatto. Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alle prove di scuotimento (*). Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento (*). Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di colore bruno o nero. Facilmente individuabili a vista
(*) Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi e le argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.													

Tabella 2: Caratteristiche prestazionali degli aggregati riciclati – Corpo dei rilevati (Circolare 5205/2005)

PARAMETRO	MODALITA' DI PROVA	LIMITE
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm (rif. UNI EN 13285:2004)	> 70% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 15% in massa
Conglomerati bituminosi (fresato)	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume. Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0,1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.)	Idem	≤ 0,6% in massa
Passante al setaccio da 63 mm	UNI EN 933/1 (**)	85 – 100%
Passante al setaccio da 4 mm	UNI EN 933/1 (**)	≤ 60%
Passante al setaccio da 0,063 mm	UNI EN 933/1 (**)	≤ 15%
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	> 20
Dimensione massima D _{max}	UNI EN 933/1	= 125 mm
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Al. 3 del D.M. 05.02.1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 05.02.1998
<p>(*) Il gesso deve essere riconosciuto mediante l'osservazione del cromatismo, la valutazione della durezza, la presenza di effervescenza a contatto con gocce di soluzione costituita da una parte di HCl e due parti di H₂O.</p> <p>(**) La serie di setacci deve essere composta al minimo dai seguenti setacci delle serie ISO 3310-1, ISO 3310-2: aperture 63, 31,5, 16, 8, 4, 2, 0,5, 0,063 mm.</p> <p>Nota 1: La preparazione del campione da sottoporre ad analisi granulometrica va eseguita, se necessario, in stufa ventilata a 50-60° (secondo UNI EN 1097/5).</p> <p>Nota 2: I costituenti della frazione trattenuta al setaccio da 63 mm devono essere compatti e privi di vuoti interni (blocchi di roccia, mattoni pieni, calcestruzzo scervo di armatura sporgente): non possono essere accettati mattoni forati, blocchi forati e simili, se non frantumati fino a risultare passanti al setaccio da 63 mm.</p> <p>Nota 3 (Frequenza delle Prove): gli aggregati riciclati per miscele non legate e legate idraulicamente destinati a lavori stradali e altri lavori di ingegneria civile devono essere caratterizzati conformemente a quanto indicato nella Norma Armonizzata UNI EN 13242. Al fine di prevenire disomogeneità dovute alla variabilità dei materiali costituenti, il materiale va caratterizzato per lotti. Tali lotti possono rappresentare la produzione di un periodo di una settimana (frequenza minima allegato C UNI EN 13242) e devono comunque avere dimensione massima pari a 3000 m³. Possono essere impiegati esclusivamente lotti precedentemente caratterizzati e tale caratterizzazione è da intendersi valida esclusivamente per il lotto cui si riferisce.</p>		

7.4.2. Costruzione del rilevato

7.4.2.1. Stesa dei materiali

Su ciascuna sezione trasversale i materiali impiegati per ciascuno strato dovranno essere dello stesso tipo ed anche longitudinalmente, le inevitabili disomogeneità dovranno essere raccordate in modo che non si risentano indesiderati effetti di deformazione differenziale in grado di ripercuotersi sul piano viabile.

La stesa del materiale dovrà essere eseguita con sistematicità per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.

Durante le fasi di lavoro si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 2%.

In presenza di paramenti di rilevati in terra rinforzata o di muri di sostegno in genere, la pendenza sarà contrapposta ai manufatti. Ciascuno strato potrà essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere certificato mediante prove di controllo l'idoneità dello strato precedente.

Lo spessore allo stato sciolto (prima della compattazione) di ogni singolo strato sarà stabilito in relazione alle caratteristiche degli aggregati, delle modalità di compattazione e delle finalità del rilevato.

Comunque, tale spessore non dovrà risultare superiore ai seguenti limiti:

- 30 cm per rilevati formati con aggregati naturali, riciclati o misti;
- 40 cm per rilevati formati con aggregati industriali alleggeriti e per rilevati in terra rinforzata.

Per i rilevati eseguiti con la tecnica della terra rinforzata e in genere per quelli delimitati da opere di sostegno flessibili (quali gabbioni) sarà tassativo che la stesa avvenga sempre parallelamente al paramento esterno.

Ai fini di garantire che siano raggiunte condizioni di compattazione adeguate anche nella zona di scarpata, sarà onere dell'Appaltatore effettuare la stesa di materiale in eccesso di almeno 30 cm rispetto alla sezione teorica e successiva rimozione e riprofilatura.

Nel caso di allargamento di un rilevato esistente, previa asportazione dello strato di terreno vegetale, si dovrà con cautela gradonare la scarpata del rilevato esistente, sulla quale verrà addossato il materiale costituente il rilevato di allargo. Tale operazione avverrà per fasi, avendo cura di fare seguire immediatamente ad ogni gradonatura (dell'altezza massima di 50 cm) la stesa del relativo nuovo strato ed il suo costipamento.

Nel caso di interruzione e/o sospensione dei lavori e quando la stesa dello strato di aggregato successivo avvenga oltre 72 ore dalla compattazione dello strato sottostante sarà cura e onere dell'Appaltatore spargere, per l'intera larghezza del rilevato, fitociti, antigerminali e anche taletissici. Prima della ripresa del lavoro, il rilevato già eseguito dovrà essere ripulito dalle erbe e dalla vegetazione in genere, praticandovi dei solchi per il collegamento del nuovo strato con quello già messo in opera. Sullo strato già messo in opera dovranno essere ripetuti i controlli di compattazione.

Sarà cura ed onere dell'Appaltatore provvedere alla riprofilatura delle scarpate, delle banchine e dei cigli, nonché alla maggiorazione delle dimensioni di progetto per tenere conto degli assestamenti delle terre affinché al momento del collaudo i rilevati siano conformi alle caratteristiche previste in progetto in termini di altezza e larghezza in sommità.

Si dovrà inoltre garantire la sistematica e tempestiva protezione delle scarpate mediante la stesa di uno strato di terreno vegetale tale da assicurare il pronto attecchimento e sviluppo del manto erboso. Lo spessore minimo dello strato di terreno vegetale sarà di 20 cm, da stendere a cordoli orizzontali, opportunamente costipati, ricavando se necessario gradoni di ancoraggio.

La semina dovrà essere eseguita con semi scelti in relazione al periodo di semina e alle condizioni locali, in modo da ottenere i migliori risultati. La semina dovrà essere ripetuta fino ad ottenere un adeguato ed uniforme inerbimento.

Qualora si dovessero manifestare erosioni di sorta l'Appaltatore dovrà provvedere al restauro delle zone ammalorate a sua cura e spese e secondo le disposizioni impartite di volta in volta dalla Direzione Lavori.

Durante la costruzione dei rilevati si dovrà disporre in permanenza di apposite squadre e mezzi di manutenzione per rimediare ai danni causati dal traffico di cantiere oltre a quelli dovuti alla pioggia e al gelo.

7.4.2.2. Compattazione

La compattazione potrà aver luogo soltanto dopo aver accertato che il contenuto d'acqua delle terre sia prossimo ($\pm 1,5\%$ circa) a quello ottimo determinato mediante la prova AASHTO modificata.

Se tale contenuto d'acqua dovesse risultare superiore, il materiale dovrà essere essiccato per aerazione; se inferiore l'aumento sarà conseguito per umidificazione e con modalità tali da garantire una distribuzione uniforme entro l'intero spessore dello strato.

Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, risultando le prove abituali non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua. In alternativa verranno effettuate prove di carico su piastra di diametro 30 cm; i moduli M_d dovranno risultare > 20 MPa, comunque tali da garantire il rispetto delle condizioni da verificare sui piani di posa indicate nell'articolo 7.3.2.

Il tipo, le caratteristiche e il numero dei mezzi di compattazione nonché le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza) dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori; nelle fasi iniziali del lavoro, l'Appaltatore dovrà adeguare le modalità esecutive in funzione degli aggregati da impiegare e dei mezzi disponibili.

La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo.

Per garantire una compattazione uniforme lungo i bordi del rilevato, le scarpate dovranno essere riprofilate, una volta realizzata l'opera, rimuovendo i materiali eccedenti la sagoma.

In presenza di paramenti flessibili e murature laterali, la compattazione a tergo delle opere dovrà essere tale da escludere una riduzione nell'addensamento e nel contempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare si dovrà evitare che grossi rulli vibranti operino entro una distanza inferiore a 1,5 m dai paramenti di terre rinforzate.

A tergo dei manufatti si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti, rulli azionati a mano, provvedendo a garantire i requisiti di deformabilità e densità richiesti anche operando su strati di spessore ridotto.

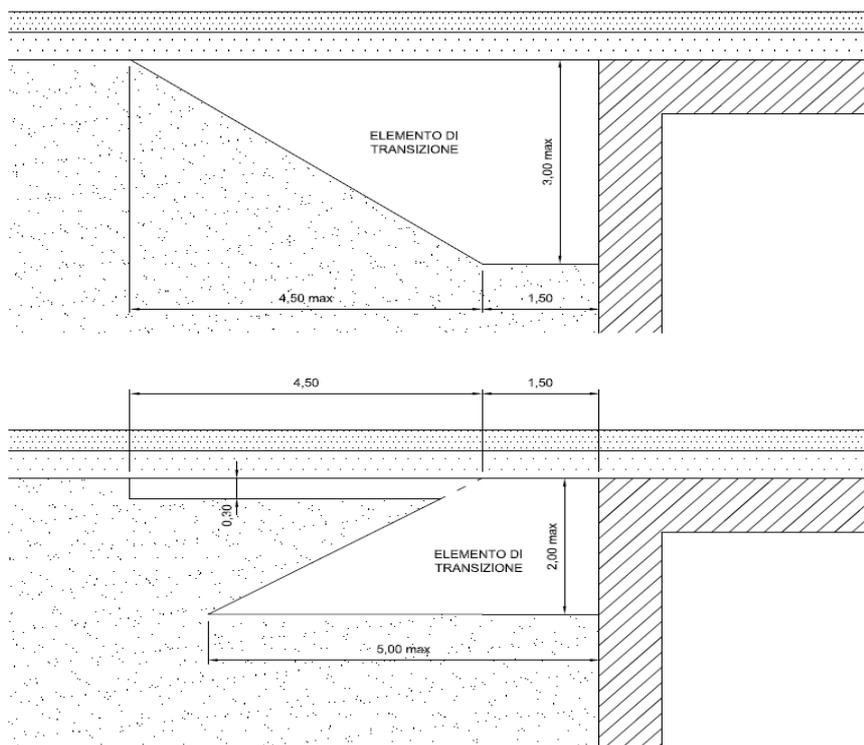
Nella formazione di tratti di rilevato rimasti in sospeso per la presenza di tombini, canali, cavi, ecc. si dovrà garantire la continuità con la parte realizzata impiegando materiali e livelli di compattazione identici.

7.4.2.3. Zone di transizione per manufatti

A ridosso di manufatti disposti all'interno del rilevato (solitamente in senso trasversale con obliquità o meno), per evitare un brusco salto di deformabilità e salvo diverse previsioni di progetto (per es. solette di transizione), si dovranno realizzare zone di transizione, a deformabilità graduata, dal minimo in corrispondenza del bordo del manufatto alla deformabilità corrente del rilevato sullo stesso piano di riferimento.

Tali zone potranno essere ottenute sostituendo il normale rilevato, in una porzione di opportuna geometria, con materiale praticamente incompressibile rispetto al primo. Si considerano due casi possibili:

- 1) Impiego di aggregato inerte di frantumazione, da pietra resistente e non geliva, privo di frazione fine (pietrischetti o pietrischi, con $D \geq 4$ mm) e con granulometria grossolana e poco assortita, in modo da determinare una forte presenza di vuoti e quindi una totale insensibilità alla presenza di acqua ed anzi un buon drenaggio della medesima. Ottimale sarebbe l'utilizzo del pietrisco per massicciate ferroviarie, opportunamente intasato sulla superficie di appoggio dei soprastanti strati con inerte più fine o da essi separato per tramite di un opportuno telo geotessile, di peso non inferiore a 300 g/m^2 . La geometria deve essere a trapezio rettangolo rovesciato nella sezione longitudinale, con: il lato verticale coincidente con il paramento murario del manufatto e di altezza pari a questo ultimo, con un massimo di 3 m a partire dalla quota di estradosso, coincidente con il piano di imposta della sovrastruttura; la base minore, in basso, di lunghezza minima pari a 1.5 m e la base maggiore, in alto, di lunghezza pari a $1.5 + 1.5H$ m, con massimo pari a 6 m (figura in alto).
- 2) Impiego del cosiddetto "misto cementato", materiale legato, preconfezionato in centrali di betonaggio, ottenuto per miscelazione di aggregato, rispondente alle norme richiamate in precedenza e cemento, in ragione del 2.5-4.0% in peso dell'inerte secco. Per le sue caratteristiche e modalità di posa e di controllo si rimanda al punto specifico del capitolo sulle sovrastrutture stradali. In questo caso la geometria, in sezione longitudinale, può essere duplice:
 - a trapezio rettangolo rovesciato, come nel caso precedente (figura in alto);
 - a trapezio rettangolo come nel caso precedente ma non rovesciato, di altezza massima pari a 2 m, con una stecca a proseguire di uno strato di misto cementato a spessore costante pari a 30 cm, per una lunghezza di ulteriori 4.5 m (figura in basso). Con questa soluzione è possibile realizzare l'elemento trapezio prima degli strati di rilevato ad esso adiacenti, che possono così essere compattati in modo più agevole.



In ciascuno dei due suddetti casi, nei quali l'elemento di transizione deve spingersi trasversalmente fino alle scarpate, il materiale, sia se legato, sia soprattutto se non legato, deve essere compattato adeguatamente, almeno fino al 95% della densità massima ottenuta in laboratorio, procedendo per strati di spessore non superiore ai 30 cm.

7.4.2.4. Condizioni climatiche avverse

In presenza di gelo, di pioggia persistente o di neve non sarà consentita in linea generale la costruzione dei rilevati, fatte salve particolari deroghe da parte della Direzione Lavori, limitatamente ai materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. pietrischi).

Nell'esecuzione dei rilevati con terre ad elevato contenuto di frazione fine (limi e argille) dovranno essere tenuti a disposizione anche carrelli pigiatori gommati che consentano di chiudere la superficie dello strato in lavorazione in caso di pioggia. Alla ripresa del lavoro la stessa superficie dovrà essere convenientemente erpicata, provvedendo eventualmente a rimuovere lo strato superficiale rammollito.

7.4.2.5. Rilevati di prova

L'Appaltatore procederà all'esecuzione di rilevati di prova in tali circostanze:

- quando sono previsti in progetto; in tale caso verranno rispettate le specifiche di progetto;
- su ordine della Direzione Lavori, per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati in progetto o negli articoli del presente Capitolato, esempio: materiali a pezzatura grossolana (pietrame), materiali a grana fine (appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7) ed a comportamento instabile, etc..

Il rilevato di prova consentirà di verificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.

L'ubicazione del campo prova, le modalità esecutive del rilevato di prova e delle relative prove di controllo saranno stabilite di volta in volta dalla Direzione Lavori; a titolo indicativo si adotteranno le seguenti prescrizioni:

- l'area prescelta per il rilevato di prova dovrà essere caratterizzata da condizioni dei terreni di fondazione (natura e proprietà geotecniche) prossime a quelle dell'area ove verrà realizzato il rilevato autostradale;
- la larghezza del rilevato di prova dovrà risultare almeno pari a tre volte la larghezza del rullo, i materiali saranno stesi in strati di spessore costante (o variabile qualora si voglia individuare lo spessore ottimale) e si provvederà a compattarli con regolarità ed uniformità simulando, durante tutte le fasi di lavoro, le modalità esecutive che poi saranno osservate nel corso dei lavori di costruzione del rilevato autostradale.

In generale per ciascun tipo di materiale e per ciascun tipo di modalità esecutiva si provvederà a mettere in opera almeno 2 o 3 strati successivi; per ogni strato si provvederà ad eseguire le prove di controllo dopo successive passate (ad esempio dopo 4, 6, 8, passate). Le prove di controllo da adottarsi saranno principalmente finalizzate ad individuare nel dettaglio le caratteristiche di densità, deformabilità e i contenuti d'acqua degli aggregati. In taluni casi si potrà ricorrere a prove speciali (ad esempio la prova di carico su piastra previa saturazione del materiale sottostante la piastra, prove geofisiche ecc.) e a prelievo di campioni indisturbati da destinarsi alle prove di laboratorio ponendo particolare attenzione a quei materiali considerati instabili o presunti tali, quali le rocce tenere di origine sedimentaria.

Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, risultando le prove abituali non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua.

L'Appaltatore sarà tenuto a documentare in apposita relazione tutte le fasi di lavoro, i mezzi e le procedure impiegate. L'approvazione dei materiali nonché delle modalità esecutive spetta esclusivamente alla Direzione Lavori.

7.4.2.6. Caratteristiche di portanza dei piani di posa del rilevato e della sovrastruttura

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate in sede di progettazione dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, il modulo di deformazione M_d valutato con prova su piastra, con piastra di diametro 300 mm ed, dovranno risultare, al primo ciclo di carico, non inferiori a:

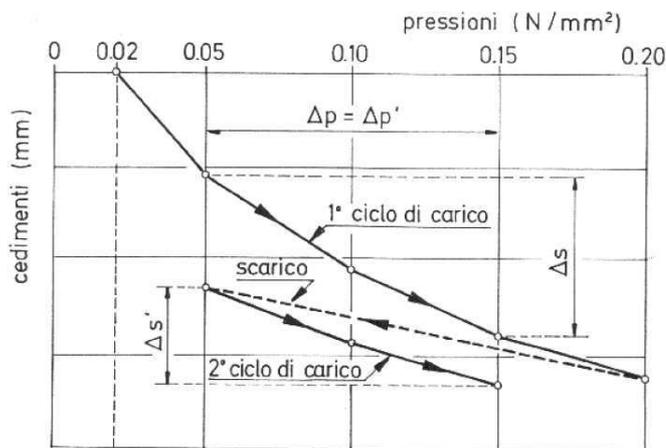
- 60 MPa: sul piano di posa della sovrastruttura stradale in rilevato, in trincea o nel riempimento dell'arco rovescio in galleria (intervallo di pressione di riferimento pari a 0,15 ÷ 0,25 MPa);
- 20 MPa: sul piano di imposta del rilevato (come in precedenza definito), quando posto a 1,00 m da quello della sovrastruttura (intervallo di pressione di riferimento pari a 0,05 ÷ 0,15 MPa);
- 15 MPa: sul piano di imposta del rilevato, quando posto a 2,00 m da quello della sovrastruttura (intervallo di pressione di riferimento pari a 0,05 ÷ 0,15 MPa).

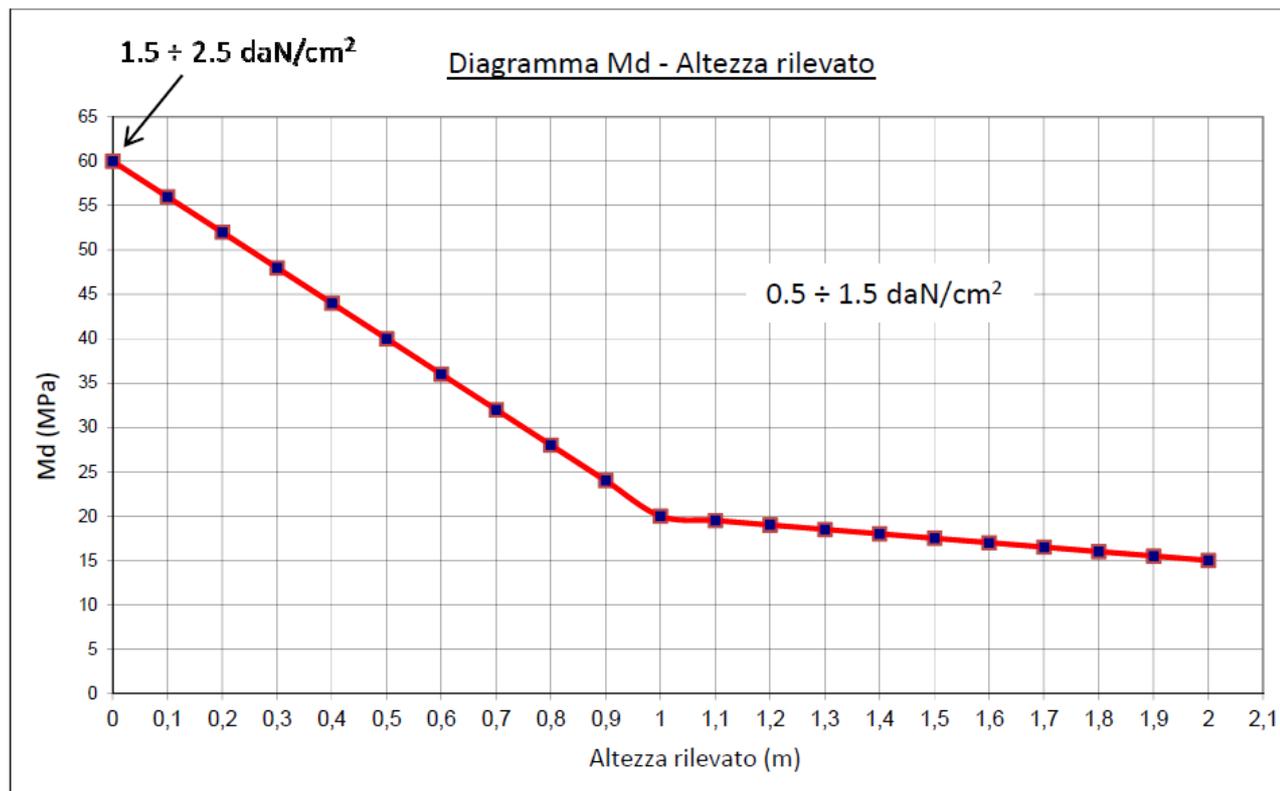
L'adozione, per il primo dei suddetti valori di M_d , di valori inferiori a quello indicato, con minimo di 50 MPa, potrà essere autorizzata dalla Direzione Lavori, sentito il Progettista, soltanto qualora particolari circostanze lo ritengano opportuno o rendano impossibile od eccessivamente oneroso il rispetto del valore minimo di 60 MPa.

La variazione del valore minimo del modulo di deformazione (nell'intervallo 0,05 ÷ 0,15 MPa) dovrà risultare lineare al variare della differenza di quota tra il piano di posa del rilevato ed il piano di posa della sovrastruttura, come dal diagramma più avanti riportato.

Per altezze di rilevato superiori a 2 m potranno essere accettati valori inferiori a 15 MPa, sempre che siano garantiti la stabilità dell'opera e la compatibilità dei cedimenti, sia totali sia differenziali, tenuto conto del loro decorso nel tempo.

Le caratteristiche di deformabilità dovranno essere accertate in modo rigoroso e dovranno ritenersi sufficientemente garantite, anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli. A questo proposito, qualora fossero stati posti in opera materiali (ad es. di riciclo) per i quali possa prevedersi un comportamento variabile nel tempo, dovranno essere condotte valutazioni basate su prove più accurate e di altro tipo, quali quelle edometriche, di carico su piastra in condizioni sature, ecc., secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori.



Prova di carico su piastra e diagramma risultante tipico (CNR – BU n. 146/1992 ⁽¹⁾)


7.5. Prove di controllo

7.5.1.1. Prove di controllo sui piani di posa

A rullatura eseguita dovranno riscontrarsi in sito, sui piani di posa, le seguenti caratteristiche:

- densità secca almeno pari al 90% di quella massima AASHTO modificata, sul piano di posa dei rilevati, comunque tale da consentire il raggiungimento dei moduli sopra specificati. Qualora ciò non accada, in alternativa alla bonifica mediante scavo e sostituzione con materiale idoneo, potrà essere prescritto dalla Direzione Lavori di trattare il terreno in posto con le modalità di cui all' articolo 8.5, in modo che tale trattamento consenta il raggiungimento dei moduli previsti;
- densità secca almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata, sullo strato di sottofondo o sul piano di posa della sovrastruttura in trincea, comunque tale da consentire il raggiungimento dei moduli sopra specificati.

Il numero minimo delle prove di controllo da eseguire sul piano di posa dei rilevati (piano di scotico) e della sovrastruttura sia in trincea che in rilevato è messo in relazione alla sopra citata differenza di quota (S) fra i piani di posa del rilevato (piano di scotico) e della sovrastruttura, come indicato nella tabella che segue.

⁽¹⁾ La norma consente fra l'altro di calcolare il "modulo di deformazione" Md, dalla prova in sito con l'opportuna attrezzatura (v. foto in figura), tramite la formula:

$$M_d = D \cdot \Delta p / \Delta s \quad [\text{MPa}]$$

essendo:

D il diametro (mm) della piastra,

Δp l'incremento di pressione (MPa) preso a riferimento ,

Δs l'incremento di abbassamento (mm) valutato come media delle misure ai tre comparatori a 120° impiegati.

La prova prevede un leggero precarico pari a 0.02 MPa e viene spinta, a gradini di 0.05 MPa, oltre il limite previsto (v. diagramma di figura). Vengono poi effettuati due cicli di carico, per valutare la risposta ad una maggiore compattazione, anche se il valore significativo è quello relativo al primo ciclo.

Prove	S = 0 ÷ 1 m	S = 1 ÷ 2 m	S > 2 m
prove di carico su piastra: - una ogni	1500 m ²	2000 m ²	3000 m ²
prove di densità in sito: - una ogni	1500 m ²	2000 m ²	2000 m ²

Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati conseguiti in sede di preparazione dei piani di posa, in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati. La Direzione Lavori potrà richiedere, in presenza di terreni "instabili", l'esecuzione di prove speciali (prove di carico su piastra previa saturazione ecc.).

Il controllo dello strato anticapillare sarà effettuato mediante analisi granulometriche da eseguirsi in ragione di almeno 10 ogni 1000 m³.

Sul piano di posa della sovrastruttura in rilevato o in trincea, a discrezione della Direzione Lavori ed eventualmente anche in sostituzione delle prove su piastra, potrà essere misurato il modulo elastico dinamico per tramite della strumentazione FWD (*Falling Weight Deflectometer*) nelle sue varie versioni (leggera portatile o pesante trainata da automezzo – v. paragrafo sulle definizioni). In tal caso la media dei valori di modulo ricavata da misure effettuate ogni 100 m³ (equivalenti a circa una ogni 50 m per ogni corsia di marcia) e riferite a tratti omogenei di lavoro di almeno 300 m di lunghezza, deve risultare non inferiore a 150 MPa.

Nel caso si riscontrassero valori inferiori, l'Appaltatore dovrà intervenire, in accordo con la Direzione Lavori, per raggiungere i valori richiesti.

7.5.1.2. Altre prove di controllo

L'Appaltatore sarà tenuto a controllare il rispetto degli spessori degli strati prima della compattazione effettuando misure per ogni strato ed in numero minimo di 1 ogni 1000 m². attraverso misure topografiche prima e dopo la compattazione con una griglia di punti avente una densità non superiore ad un punto/80 m².

Prima che sia messo in opera uno strato successivo, ogni strato di rilevato dovrà essere sottoposto alle prove di controllo per verificare che siano rispettati i requisiti di costipamento minimi richiesti.

La frequenza delle prove di seguito specificata (in m³) deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato, della variabilità delle procedure di compattazione e di altri eventuali fattori di potenziale disuniformità.

La serie di prove sui primi 5000 m³ sarà effettuata una volta tanto a condizione che i materiali mantengano caratteristiche omogenee e siano costanti le modalità di compattazione. In caso contrario la Direzione Lavori potrà prescrivere la ripetizione della serie. Le prove successive devono intendersi riferite a quantitativi appartenenti allo stesso strato di rilevato.

Tipo di prova	Rilevati Autostradali				Terre Rinforzate ed Armate		Rilevati precarico Riempimenti banche	
	Corpo del rilevato		Ultimo strato di spess. 30 cm		primi 5000 m ³	successivi m ³	primi 5000 m ³	successivi m ³
	primi 5000 m ³	successivi m ³	primi 5000 m ³	successivi m ³				
Classificazione UNI 10006	500	10000	500	2500	500	5000	5000	20000
Costipamento AASHTO Mod. CNR	500	10000	500	2500	500	5000	5000	20000
Rilievo FWD	-	-	100***	100***	-	-	-	-
Densità in sito CNR 22	250	5000	250 500***	1000 2000***	250	1000	1000	1000
Carico su piastra CNR 9-70317	*	*	500 1000***	1000 2000***	1000	5000	-	-
Controllo umidità	**	**	**	**	**	**	**	**
Resistività	*	*	*	*	500	5000	*	*
pH	*	*	*	*	500	5000	*	*

Tipo di prova	Rilevati Autostradali				Terre Rinforzate ed Armate		Rilevati precarico Riempimenti banche	
	Corpo del rilevato		Ultimo strato di spess. 30 cm					
	primi 5000 m ³	successivi m ³	primi 5000 m ³	successivi m ³	primi 5000 m ³	successivi m ³	primi 5000 m ³	successivi m ³
Solfati e cloruri	*	*	*	*	500	5000	*	*
Solfuri	*	*	*	*	500	5000	*	*

Note:

* Su prescrizioni della Direzione Lavori;

** Frequenti e rapportate alle condizioni meteorologiche locali e alle caratteristiche di omogeneità dei materiali portati a rilevato;

*** Frequenze corrispondenti all'incirca ad una prova ogni 50 m per ogni corsia di marcia.

L'Appaltatore è altresì tenuto a effettuare controlli, su tutta la lunghezza dell'opera, dell'altezza del rilevato, della larghezza delle banchine (se presenti), della differenza di quota tra banchina e ciglio del rilevato in modo da verificare la conformità con il progetto.

Dovrà inoltre essere controllato lo spessore dello strato di terreno vegetale, l'eventuale realizzazione di gradoni di ancoraggio e l'uniformità dell'inerbimento; tali controlli dovranno essere effettuati su entrambe le scarpate con una frequenza di 1 ogni 2000 m².

7.6. Trattamenti delle terre con calce

7.6.1. Generalità

Con trattamento a calce di una terra si intende la miscelazione della stessa calce, viva o idrata, in quantità tali da migliorare, attraverso reazioni chimico-fisiche, le sue caratteristiche di lavorabilità e di suscettibilità all'acqua, nonché le sue proprietà meccaniche. La presente norma si riferisce all'utilizzo della tecnica di trattamento a calce delle terre per:

- la costruzione del corpo dei rilevati;
- il trattamento del terreno naturale al di sotto del piano di scotico.

Nel presente Capitolato si fa riferimento alla sola operazione di mescolazione delle terre o degli aggregati con calce, sul sito di realizzazione del rilevato.

7.6.2. Materiali

7.6.2.1. Terreni o aggregati naturali

Potranno essere trattati a calce terreni naturali in posto o gli aggregati naturali provenienti dagli scavi (di bonifica, di sbancamento e in galleria) o da cave di prestito di cui sia dimostrata, mediante una opportuna serie di analisi di laboratorio, la capacità di dare luogo a quelle trasformazioni chimico-fisiche che conducono al miglioramento delle caratteristiche di lavorabilità e delle proprietà meccaniche. Indicativamente, sono idonee al trattamento con calce:

- le terre/aggregati fini plastiche limose-argillose dei gruppi A6 - A7 con valori dell'indice plastico normalmente compresi fra 10 e 50 o anche superiori;
- terre/aggregati appartenenti al gruppo A5, quando di origine vulcanica;
- le terre/aggregati appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7, quando contengano una frazione di passante al setaccio 0.4 UNI superiore al 35%.

In ogni caso:

- la curva granulometrica dovrà rientrare all'interno del fuso granulometrico riportato nella norma CNR B.U. 36;
- Il contenuto di sostanze organiche dovrà essere inferiore al 2%; tale valore potrà essere portato fino al 4% nel caso di trattamento del piano di posa, purché sia dimostrato il raggiungimento dei requisiti di resistenza e deformabilità e durabilità richiesti;
- I solfati totali (solfati e solfuri) dovranno essere inferiori al 2%;
- Contenuto d'acqua W_n inferiore a $1.3 W_{n\ opt}$ essendo quest'ultimo il contenuto d'acqua alla densità ottimale secondo la prova AASHTO mod T/180-57.

7.6.2.2. Calce

Sono ammessi i due seguenti tipi di calce da costruzione, purché dotati di marcatura CE: CL 90 o CL 80 (dove CL indica che trattasi di "calci calciche" e il numero rappresenta il contenuto minimo di CaO + MgO). Ciascuno di essi può essere utilizzato nelle due seguenti forme:

- calce aerea idrata (Ca(OH)₂), con le designazioni: CL 90-S, CL 80-S;
- calce area viva macinata (CaO), con le designazioni: CL 90-Q, CL 80-Q.

I requisiti (chimici) della calce sono indicati nella tabella seguente:

Requisiti chimici della calce^{a)}

	Tipo di calce da costruzione	CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Calce libera
1	CL 90	≥90	≤5 ^{c)}	≤4	≤2	-
2	CL 80	≥80	≤5 ^{c)}	≤7	≤2	-

a) Valori espressi come percentuale in massa;

c) E' ammesso un contenuto di MgO fino al 7% se si supera la prova di stabilità di cui al punto 5.3 della norma UNI EN 459-2.

Ad essi devono essere aggiunti i seguenti ulteriori requisiti:

REQUISITO	CALCE VIVA	CALCE IDRATA
Umidità	-	< 2%
Acqua legata chimicamente	< 2%	-
Reattività all' acqua	> 60 °C entro 25'	-
Dimensione massima dei grani	< 2 mm	< 2 mm
Percentuale passante, in peso	setaccio 0.2 mm: > 90% setaccio 0.075 mm: > 50%	setaccio 0.075 mm: > 50%

La calce potrà essere approvvigionata in sacchi o allo stato sfuso. Nel primo caso i sacchi saranno alloggiati in ambienti coperti e al riparo dall'umidità; nel caso di approvvigionamento allo stato sfuso, la calce sarà stoccata in cantiere in appositi silos, con sistema di abbattimento delle polveri, derivanti dallo scarico pneumatico dalle autobotti di approvvigionamento della calce. La quantità di calce disponibile in cantiere dovrà essere sufficiente ad assicurare almeno 2 giorni di piena operatività del cantiere.

7.6.2.3. Acqua

L'acqua da utilizzare per le eventuali correzioni di umidità del terreno naturale dovrà essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche o comunque dannose (oli, acidi, alcali, cloruri, solfati, ecc.) e da qualsiasi altra sostanza nociva alle reazioni terra-calce. La fonte di approvvigionamento sarà indicata alla Direzione Lavori per approvazione.

7.6.3. Studi e Prove preliminari

7.6.3.1. Generalità

Scopo degli studi preliminari è quello di verificare il raggiungimento del miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno, con il minimo impiego di calce e tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.

Per verificare la compatibilità del terreno al trattamento a calce dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre a prove di laboratorio. Sulla base dei risultati ottenuti su questi campioni dovranno essere definite delle fasce di terreno "omogeneo", inteso come terreno che dovrà essere trattato con il medesimo quantitativo di calce.

Lo studio si articolerà attraverso:

- indagini sui terreni naturali,
- studio delle miscele sperimentali in laboratorio,
- studio delle miscele in sito mediante la realizzazione di campi prova in scala reale.

Il programma delle prove di laboratorio e in sito, nonché il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall' Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.

I risultati ottenuti dovranno essere descritti in dettaglio in specifiche relazione illustrative ed approvate dalla Direzione Lavori

Tali studi e relativi oneri saranno a carico dell' Appaltatore.

7.6.3.2. Indagini sui terreni naturali

Per ogni tipo di terreno o aggregato da utilizzare per la costruzione del corpo del rilevato, saranno condotte analisi di laboratorio, intese quali prequalifiche dei materiali e - come tali - a carico dell'Appaltatore.

Le prove di laboratorio, da effettuare su ciascun tipo di terreno/aggregato, sono le seguenti:

- contenuto di sostanze organiche,
- tenore in solfati e solfuri,
- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida,
- peso specifico dei grani,
- limiti di Atterberg,
- contenuto d' acqua naturale,
- esame diffrattometrico per la ricerca dei minerali argillosi,
- esame ottico per la ricerca dei minerali silicei amorfi,
- prova di compattazione aashto mod. t/180-57,
- indice cbr immediato (ipi),
- indice CBR con imbibizione, a 96 hr,
- analisi chimico-fisiche dell' acqua di falda: sali disciolti, Ph.

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d' acqua $W_{n\ opt}$:

- compressione a espansione laterale libera con misura dei moduli di deformazione,
- compressione edometrica,
- taglio diretto,
- taglio residuo.

Nel caso nel quale il terreno sia naturale in sito o provenga da scavi di bonifica, sbancamento e in galleria dovranno essere prelevati n. 1 campione ogni volta che il terreno abbia caratteristiche differenti e in ogni caso almeno 1 ogni 1000 mq secondo uno schema a maglie e comunque rappresentativo dell'area da trattare.

Qualora il terreno da trattare provenga da una cava di prestito, dovrà essere prelevato un campione per ogni quantitativo di terreno omogeneo e comunque almeno 1 ogni 2000 mc.

Il terreno da prelevare in cava dovrà essere identificato mediante scavi di pozzetti e/o sondaggi di profondità adeguata per individuare l'omogeneità del fronte di scavo.

I campioni dovranno essere di adeguata dimensione (del peso complessivo di 30-40 kg cadauno).

7.6.3.3. Indagini sulle miscele calce-terreno

I medesimi campioni rappresentativi dei terreni indagati, saranno utilizzati anche per la caratterizzazione fisico-meccanica delle miscele terreno – calce. Di norma, la percentuale di calce viva da utilizzare per la miscela sarà pari al 3% in peso (nel caso di calce idrata 4% in peso).

Tali percentuali sono da intendersi riferite al peso del terreno naturale prima del trattamento e del costipamento.

La Direzione Lavori potrà comunque richiedere uno specifico studio per verificare l'opportunità di utilizzare una diversa percentuale di calce.

Tale studio avrà come scopo la definizione di correlazione empiriche che legano il dosaggio in calce, il contenuto d'acqua del terreno e i parametri che definiscono le caratteristiche del terreno trattato, ovvero:

- l'indice CBR immediato per gli strati di rilevato
- l'indice CBR per gli strati di rilevato
- il modulo elastico di Young in prova di compressione ad espansione laterale libera (modulo al 50% del carico di rottura).

Per la definizione di tali correlazione si richiede la sperimentazione di miscele con tre contenuti di calce, ciascuna delle quali effettuata con almeno quattro contenuti d'acqua (tra cui quello ottimo).

Le prove di laboratorio da effettuare su ciascun tipo di miscela terreno-calce sono le seguenti:

- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida,
- limiti di Atterberg ,
- contenuto d'acqua,
- prova di compattazione AASHTO mod. T/180-57,
- indice CBR immediato,
- indice CBR per tempi di maturazione pari a 96 hr, a 7 e a 28 giorni,
- indice CBR con imbibizione, a 96 h, per tempi di maturazione pari a 96 h, a 7 e a 28 giorni.

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d'acqua W_{nopt} del terreno trattato:

- compressione edometrica,
- taglio diretto,
- taglio residuo.

Anche tali prove saranno eseguite a differenti tempi di maturazione (96 h, 7 e 28 giorni).

In fase di indagine sono richieste anche le analisi chimico-fisiche dell'acqua utilizzata nella preparazione degli impasti.

7.6.3.4. Campi prova

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali e prima dell'inizio delle attività di costruzione dei rilevati, e per ogni diverso tipo di materiale, L'Appaltatore dovrà provvedere alla realizzazione di un campo prova.

Finalità del campo prova sono:

- verificare in scala reale i dati ottenuti in laboratorio,
- il controllo delle attrezzature, di miscelazione e compattazione,
- la definizione delle fasi e metodi delle lavorazioni, con particolare riferimento all'apporto di calce (eventualmente anche in più fasi, ad es. una prima passata all'1% e una seconda al 2%),
- schemi di miscelazione (n° di passate del Pulvimixer ottimali necessari ad ottenere la granulometria prevista) e rullatura (n° di passate del rullo), in relazione alle attrezzature adottate dall'Appaltatore stesso,
- la definizione delle modalità di controllo e dei limiti di accettabilità dei tenori di umidità dei terreni posti in opera e delle miscele terreno – calce, prima della rullatura finale.

L'ubicazione di ciascun rilevato, le sue modalità esecutive, l'ampiezza ed il grado di approfondimento delle indagini di laboratorio e le prove di controllo in sito saranno stabilite dalla Direzione Lavori, in base ai risultati delle indagini e degli studi specialistici di progetto di cui ai punti precedenti, nonché all'entità e importanza dell'opera.

In linea generale, quando è previsto il trattamento a calce delle terre del piano di posa dei rilevati e della sovrastruttura per le sedi in trincea, dovrà essere realizzato un campo prova per ogni zona omogenea di terreno naturale di lunghezza utile di 30 m e larghezza tale pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo e di spessore pari a quanto previsto in progetto per il rilevato vero e proprio.

Quando è previsto il trattamento a calce delle terre da impiegare per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati, dovranno essere realizzati almeno tre strati per un'altezza totale di 0.9m costituito da materiale omogeneo. La dimensione utili in sommità dovranno essere pari a 50 m di lunghezza e larghezza pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo.

L'area prescelta per la prova dovrà essere perfettamente livellata, con pendenza superiore al 0,5% (cinque per mille), e compattata in modo tale da garantire un piano di imposta uniforme e stabile per gli strati terreno-calce successivamente posti in opera. Il campo prova dovrà essere realizzato secondo le stesse modalità di esecuzione del rilevato.

Dovranno essere messi in opera tipi diversi di compattazione scelti in funzione del terreno da compattare; indicativamente saranno provati 2-4 passate del Pulvi-mixer e due-quattro schemi di rullatura.

Dovranno essere sperimentate almeno 2 miscele tra quelle ritenute idonee dallo studio di laboratorio.

Per la realizzazione del campo prova, sia per il piano di posa sia per gli strati del corpo del rilevato dovranno essere effettuate le operazioni che seguono:

- 1) dovrà essere tarata la spanditrice di calce come riportato al punto per il controllo del dosaggio;
- 2) prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua del terreno e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele;
- 3) dopo la miscelazione dovrà essere di nuovo controllato il valore del contenuto d'acqua e verranno eseguiti i prelievi (da 1 a 3 campioni di 30-40 kg cadauno) per l'esecuzione di prove di classificazione, prove Proctor e CBR e prove geotecniche indicate all'art. 8.6.3.3;
- 4) la miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati;
- 5) in sommità dello strato finale dovrà essere determinato il modulo di deformazione, con piastra da 30 cm. Le misurazioni dovranno essere effettuate almeno al tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), a 3, 7 e 28 gg su almeno 3 punti appartenenti ad una porzione di rilevato omogenea sia per la miscela che per le modalità di compattazione;
- 6) agli stessi tempi delle prove di carico su piastra, dovranno inoltre essere misurati i valori del CBR in situ, delle densità in situ e del contenuto d'acqua, da eseguirsi su porzioni di terreno in vicinanza dei punti di misura del modulo;
- 7) le stesse prove di carico su piastra e CBR dovranno essere eseguite dopo imbibimento;
- 8) dovrà essere controllato lo spessore dello strato finito (rilevati) o controllato la profondità del trattamento (piano di posa) mediante pozzetti e spruzzaggio di soluzione alcolica di fenoltaleina.

Il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.

I risultati ottenuti dovranno confermare quelli dello studio. Nel caso nel quale i requisiti minimi, previsti in progetto, non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra/calce fino ad ottenere i requisiti minimi richiesti; in caso contrario si dovrà scartare il prodotto sperimentato.

La miscela ottimale scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova e, in ogni caso, dovrà essere approvata dalla Direzione Lavori.

7.6.4. Modalità esecutive

7.6.4.1. Prescrizioni generali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori il programma delle fasi di lavorazione, comprensivo degli elaborati grafici (planimetrie e sezioni) che evidenzino le aree progressivamente interessate dai lavori di costruzione dei rilevati, nonché le eventuali aree di stoccaggio provvisorio dei materiali.

Il trattamento a calce del terreno non dovrà essere effettuato in caso di pioggia, di temperature inferiori al suolo di 2 °C, in presenza di vento forte (> 40 km/h), che sollevi la calce stesa, e nel caso nel quale ci sia presenza di acqua o venute di acqua sul piano dove viene steso il terreno da trattare.

Nel caso che il terreno sia saturo fino al p.c., prima di procedere al trattamento con calce del piano di posa del rilevato, si dovrà obbligatoriamente provvedere ad abbassare il livello d'acqua e a mantenerlo tale per un tempo, sufficiente a non inficiare l'esito del trattamento.

7.6.4.2. Attrezzature

Ad ogni consegna dell'area di lavoro, l'Appaltatore presenterà l'elenco e le schede tecniche delle attrezzature da utilizzare per lo spargimento della calce, per lo spargimento dell'acqua, per la frantumazione e miscelazione del terreno nonché dei mezzi di compattazione. I mezzi dovranno presentare adeguatezza, completezza e omogeneità di prestazioni/produzione; poiché l'attrezzatura più specialistica è rappresentata dal Pulvimixer, alla sua produttività dovrebbero essere legate le prestazioni delle restanti attrezzature. Si prescrivono comunque le seguenti caratteristiche minime:

Spandicalce:

- precisione del dosaggio: $\pm 10\%$;
- capacità di stesa in grado di consentire la stesa in un'unica passata;
- piena efficienza delle bandelle (in materiale plastico) per il contenimento delle polveri all'atto della stesa della calce;

Pulvimixer:

- profondità di lavoro massima: > 40 cm;
- n° dei denti/palette > 80% del nominale;
- 4 ruote motrici;

Rulli:

- rulli a piede di montone del peso statico > 16 t;
- rulli lisci per le operazioni di finitura.

7.6.4.3. Preparazione del terreno naturale

Il terreno/aggregato pronto per il trattamento a calce dovrà essere esente da sostanze organiche e, nel caso di materiale provenienti dagli scavi, da eventuali residui di lavorazione (blocchi di calcestruzzo proiettato, elementi di vetroresina, ecc.).

Il terreno/aggregato non dovrà presentare elementi di dimensioni superiori a 4 cm.

In particolare, laddove sia previsto l'impiego di smarino di galleria, l'Appaltatore provvederà a sua cura e spese all'adozione delle più opportune tecnologie di scavo o all'eventuale frantumazione e vagliatura del materiale stesso, al fine di ridurlo ad idonea pezzatura.

Qualora il terreno da trattare sia troppo secco, dovrà essere umidificato aggiungendo un'opportuna quantità di acqua con controllo finale su più punti del contenuto W_n raggiunto.

7.6.4.4. Stesa del terreno naturale

Nel caso di strati di rilevato, la stesa del terreno/aggregato naturale dovrà essere preceduta dalla preparazione della superficie dello strato precedente mediante erpicatura. Lo spessore del materiale steso, dopo una prima livellazione, dovrà risultare non superiore a quello massimo stabilito in progetto o a seguito dei risultati del campo prove. Indicativamente, lo spessore del materiale steso, da controllare con dime, sarà pari a quello finale previsto, aumentato del 15-20%. Terminata l'operazione di stesa, si procederà alla determinazione dell'umidità naturale che non si dovrà discostare dal campo di valori ottimali definiti a seguito dei risultati delle analisi di laboratorio e del campo prove. Nel caso in cui l'umidità naturale risulti in eccesso, si provvederà ad erpicare ed arieggiare il materiale per favorire

l'evaporazione; nel caso di umidità naturale insufficiente, l'Appaltatore provvederà ad umidificare il terreno mediante aspersione d'acqua con autobotte.

7.6.4.5. Stesa della calce

Si spargerà la calce solo sulla superficie che potrà essere lavorata in giornata, in modo da evitare sia la asportazione della calce da parte degli agenti atmosferici che il fenomeno della sua parziale carbonatazione. La stesa della calce sarà effettuata mediante impiego di apposita attrezzatura (spandicalce) a controllo volumetrico o gravimetrico capace di assicurare un dosaggio costante sia in senso trasversale che longitudinale. La velocità dello spandicalce non dovrà essere superiore a 4 km/hr. Al termine delle operazioni di stesa della calce si verificherà visivamente l'omogeneità della stesa e l'assenza di eventuali zone non trattate. Il controllo della quantità distribuita, nella misura a metro quadrato tale da raggiungere la percentuale in peso prevista in sede di progetto della miscela, sarà effettuato ad ogni inizio turno o ad ogni richiesta della Direzioni Lavori, posizionando un telo quadrato con superficie 1 mq sul terreno prima del passaggio della macchina spandicalce e pesando poi la calce su di esso depositata a passaggio avvenuto. La quantità di calce distribuita non dovrà risultare inferiore a quella di progetto.

7.6.4.6. Miscelazione

Ultimata la stesa della calce si procederà alla miscelazione entro le successive 2 ore. La miscelazione sarà ottenuta eseguendo il numero di passate di Pulvimixer stabilito a seguito dei risultati del campo prove, e comunque in numero tale, che il terreno miscelato soddisfi le seguenti condizioni granulometriche:

- passante inferiore a 25 mm: 75%;
- passante al crivello 5 UNI: $\geq 50\%$.

Il numero di passaggi e la velocità di avanzamento della macchina dovranno essere tali da raggiungere condizioni omogenee di trattamento. L'omogeneità del trattamento è verificata mediante scavo di pozzetti, in ragione di uno ogni 500 mq e comunque almeno 4 giornalieri; si controllerà il colore delle pareti prima e dopo lo spruzzaggio di soluzione alcolica di fenoltaleina all'1%, che impartirà colore rossastro. L'avvenuto controllo sarà documentato mediante fotografia.

Ogni 1.000 mq si controllerà l'umidità della miscela, che dovrà rientrare nei limiti stabiliti a seguito dei risultati del campo prove e delle analisi di laboratorio. Quando necessario, durante o dopo la miscelazione, si irrorerà il terreno trattato fino a rientrare nei limiti suddetti.

I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione su stese contigue devono risultare sovrapposti per almeno 15 cm; inoltre nella stessa giornata lavorativa devono essere completati tratti di tracciato per tutta la loro larghezza prevista dal progetto.

Nei giunti di lavoro trasversali, perpendicolari all'asse del tracciato, la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nelle quali il contenuto di calce, lo spessore, o il grado di compattazione risultino inadeguati e/o disomogenei.

Le riprese dovranno essere eseguite all'inizio della successiva giornata lavorativa, nello strato indurito, in modo da presentare superficie verticale, per evitare la possibilità che si manifestino successive fessurazioni.

Nel caso di trattamento su più strati i giunti longitudinali e trasversali dovranno essere opportunamente sfalsati ed inoltre è necessario che lo strato superiore venga miscelato con uno spessore tale da garantire un'ammorsamento di qualche cm nello strato sottostante.

7.6.4.7. Compattazione

Il tipo, le caratteristiche e il numero dei mezzi di compattazione, nonché il dettaglio delle modalità esecutive (numero di passate, velocità operativa, frequenza), dovranno essere fissate a seguito delle indagini sul campo prove e sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.

Prima dell'inizio delle operazioni di rullatura si procederà alla regolarizzazione della superficie dello strato, mediante motolivellatore (graeder).

La compattazione dovrà essere condotta con metodologie atte ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo. La velocità massima del rullo sarà di 4 km/hr. Nel caso

di stabilizzazione con calce idrata, lo strato di terra trattata dovrà essere compattato immediatamente dopo la miscelazione.

Nel caso di trattamento con calce viva, la compattazione dovrà essere eseguita dopo il completamento della reazione esotermica di spegnimento della calce, avendo verificato che il contenuto d'acqua sia quello atteso.

La completa idratazione della calce viva richiede un tempo variabile in funzione della temperatura e umidità del suolo; per temperature superiori ai 3 °C, 1 - 3 ore di maturazione della miscela sono sufficienti.

Nella costruzione dei rilevati occorrerà procedere a fronte chiuso, completando in giornata le operazioni di miscelazione e compattazione e sovrapponendo il primo strato di terreno naturale che sarà trattato il giorno successivo, a sua volta leggermente compattato, per minimizzare la carbonatazione e proteggere gli strati sottostanti in maturazione. Qualora le condizioni climatiche siano tali che gli strati lavorati possano subire dannosi effetti di essiccamento/umidificazione, si procederà alla protezione dei medesimi con uno dei seguenti metodi:

- manto di protezione di bitume liquido BL350-700 (BU CNR n. 7) in ragione di 1.0 kg/mq;
- emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL55 (BU CNR n. 3) in ragione di 1.8 kg/mq.

Tale protezione dovrà essere rimossa con cura alla ripresa delle lavorazioni.

7.6.4.8. Prove di controllo

L'Appaltatore è tenuto ad instaurare un sistema di controllo di produzione. Le registrazioni tenute dovranno indicare quali procedimenti di controllo qualità sono stati messi in atto durante la produzione. In particolare, i controlli di produzione avverranno secondo quanto indicato nel seguito.

Calce

La calce dovrà provenire da fornitori qualificati ed approvati da Committente. Le caratteristiche della calce, dovranno essere certificate dal produttore ogni 1200 kN (120 ton) di prodotto consegnato.

Terreno naturale da trattare

Sul terreno da trattare dovrà essere prelevato 1 campione ogni 1.000 m²; per ciascun campione prelevato si dovrà verificare che i valori ottenuti siano congruenti con quelli degli studi preliminari.

Terreno miscelato

Sul prodotto miscelato dovrà essere effettuata:

- contenuto d'acqua W_n ogni 1000 m²;
- una prova CBR e prova di compattazione AASHTO mod T/180-57, ogni 3000 m².

Il controllo della taratura della spanditrice dovrà essere effettuato per ogni variazione di percentuale di calce da utilizzare e ad ogni inizio di lavorazione. Durante la lavorazione dovranno comunque essere effettuate le verifiche sulla qualità e omogeneità dello spandimento della calce almeno ogni 2000 m² di terreno trattato secondo le modalità indicate in precedenza.

Nel caso di utilizzo di spanditrici che producano un diagramma dello spandimento, il controllo dovrà essere effettuato solo durante la fase di taratura della macchina.

Dopo la fase di miscelazione dovrà essere verificato che la componente limo-argillosa passi per il 75% al setaccio da 25 mm. Il controllo dovrà essere effettuato con una frequenza di 1/2000 m².

Terreno miscelato dopo compattazione

Sugli strati intermedi verranno eseguite le prove di densità in sito ogni 2000 m² e comunque non meno di una prova per strato. Il peso secco dell'unità di volume dovrà risultare maggiore o uguale al 95% del massimo peso secco dell'unità di volume della miscela terreno - calce determinato con prova AASHTO Mod. T/180-57.

Sui piani di posa, il modulo di deformazione al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm) dovrà essere conforme alle prescrizioni dell'articolo 8.3.2.

7.7. Documentazione dei lavori

L'Appaltatore sarà tenuto a documentare in apposita relazione:

- la provenienza ed i certificati riportanti le caratteristiche dei materiali impiegati;
- le fasi di lavoro;
- i mezzi e le procedure impiegate;
- i controlli effettuati in corso d'opera.

L'approvazione dei materiali nonché delle modalità esecutive e dei risultati dei controlli e dei monitoraggi spetta esclusivamente alla Direzione Lavori.

Relativamente al monitoraggio dell'opera, sarà cura e onere dell'Appaltatore fornire alla Direzione Lavori rapporti illustrativi dei risultati ottenuti, confrontati con le previsioni di progetto, alle varie cadenze di lettura programmate e comunque ogni volta che si verificano scostamenti significativi con le previsioni di progetto.

8. Palancole

8.1. Generalità

Le palancole (o palancolati) sono opere geotecniche ad andamento prevalentemente bidimensionale, costituite dall'assemblaggio, di norma per tramite di collegamenti meccanici a cerniera orizzontale, ma talvolta per semplice accostamento o per solidarizzazione degli elementi tramite saldatura, di elementi modulari prefabbricati ad andamento prevalentemente monodimensionale, denominati "palancole".

E' opportuno dire tuttavia che le singole palancole possono anche essere assemblate o utilizzate singolarmente in elementi prevalentemente monodimensionali, come ad esempio pali di fondazione, pilastri, travi, ecc..

Le palancole, salvo casi molto particolari, possono essere:

- in acciaio (profilati laminati a caldo o formati a freddo);
- in materiale plastico composito (profilati per lo più prodotti con processo di "pultrusione", forma contratta di *pull extrusion*);
- in calcestruzzo armato.

Quanto alla loro geometria (costituita da un, essa può essere la più varia, soprattutto per quanto riguarda i pezzi speciali che consentono particolari impieghi o modalità di assemblaggio; gli elementi più tipici, ossia le vere e proprie palancole, sono tuttavia per lo più delle seguenti tipologie di sezione trasversale:

- Larssen (forma approssimativa ad U);
- Hoesch (forma approssimativa a Z);
- Union (forma approssimativa ad I);
- Peine (forma approssimativa a doppio T);
- di forma approssimativa ad Ω ;
- ad onde multiple di varia forma;
- rettangolari (con elementi longitudinali di giunzione).

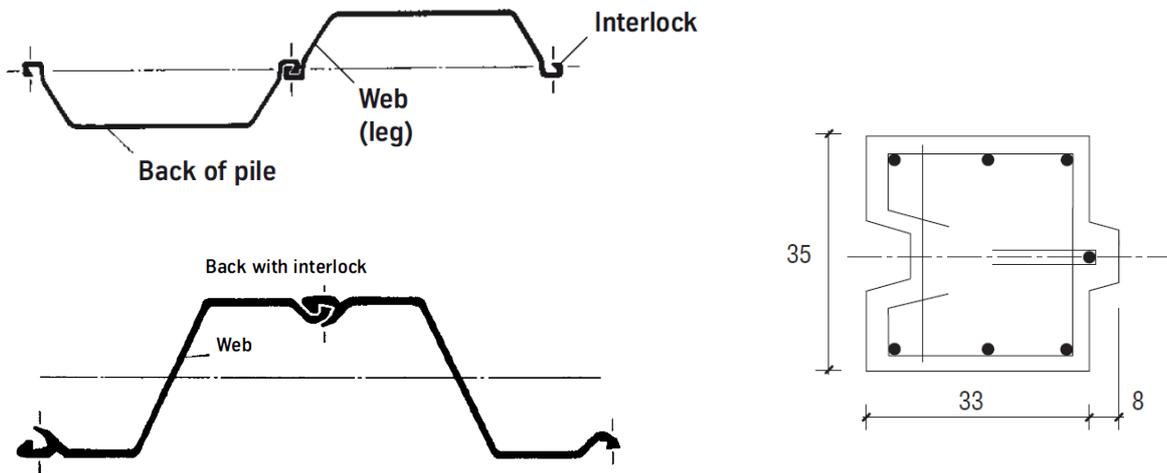
La composizione delle sezioni semplici, soprattutto se con utilizzo di pezzi speciali, genera una grandissima varietà di sezioni possibili che possono a loro volta far variare, entro un intervallo assai ampio, la rigidità della palancole.

Quanto allo schema statico, esso è del tutto analogo a quello di altre simili opere geotecniche (paratie di pali, diaframmi continui, ecc.). Subiscono cioè una infissione nel terreno, che determina un vincolo elastoplastico nel tratto di infissione ed inoltre possono essere tirantate o appoggiate a puntoni nella parte fuori terra.

La realizzazione avviene per tramite di infissione nel terreno di ogni singolo elemento, con appositi dispositivi vibranti, a semplice percussione o a vibropercussione.

Quanto alle caratteristiche di impiego, le palancole possono essere tanto opere provvisorie quanto definitive e possono subire trattamenti superficiali di vario tipo come qualunque altra struttura (verniciatura, zincatura, ecc.). E' comunque importante in molti casi, nei quali tali strutture devono contrastare la spinta idrostatica, il requisito dell'impermeabilità, che poi si riferisce essenzialmente ai soli giunti, i quali possono essere dotati di opportune guarnizioni di tenuta.

Nel seguito saranno descritte unicamente le palancolate dei primi due tipi indicati, con particolare riferimento a quelle in acciaio, di più frequente impiego. Per quelle in c.a., valgono in quanto applicabili le prescrizioni relative ai pali in c.a. infissi e, più in generale, agli elementi prefabbricati in c.a., con in più le eventuali prescrizioni di tenuta riguardanti i giunti.



LARSEN section Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
LARSEN 43, 430 Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
HOESCH section (finger-and-socket interlock) Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
PEINE interlock steel/ PEINE sheet piling Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
UNION straight-web section Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
KL lightweight section Interlock design conforming to DIN EN 10249-2	
Ball-and-socket interlock	

Nelle figure sono riportate alcune sezioni esemplificative di palancole (a sin. in alto: Larsen, in basso: Hoesch; a des.: rettangolare in c.a.) e i più frequenti tipi di giunti impiegati per l'assemblaggio delle palancole (non in c.a.), con le relative norme di riferimento.

8.2. Normative di riferimento

- UNI EN 996: Apparecchiature di palificazione – Requisiti di sicurezza;
- UNI EN 12063: Esecuzione di lavori geotecnica speciali – Palancole;
- UNI EN 10219-1: Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura;
- UNI EN 10219-2: Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo;

- UNI EN 10248-1: Palancole laminate a caldo di acciai non legati – Condizioni tecniche di fornitura;
- UNI EN 10248-2: Palancole laminate a caldo di acciai non legati – Tolleranze dimensionali e di forma;
- UNI EN 10249-1: Palancole profilate a freddo di acciai non legati – Condizioni tecniche di fornitura;
- UNI EN 10249-2: Palancole profilate a freddo di acciai non legati – Tolleranze dimensionali e di forma;
- UNI EN ISO 15614-1: Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Prove di qualificazione della procedura di saldatura - Parte 1: Saldatura ad arco e a gas degli acciai e saldatura ad arco del nichel e leghe di nichel;
- UNI EN ISO 15614-7: Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Prove di qualificazione della procedura di saldatura - Parte 7: Riporto mediante saldatura;
- UNI EN ISO 9692-1: Saldatura e procedimenti connessi - Raccomandazioni per la preparazione dei giunti - Parte 1: Saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti, saldatura ad arco con elettrodo fusibile sotto protezione di gas, saldatura a gas, saldatura TIG e saldatura mediante fascio degli acciai;
- ASTM D4945-08 *Standard test method for high-strain dynamic testing of deep foundations*;
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circ. M.I.T. 02/02/2009 n. 617 Istruzioni per l’applicazione delle NTC;
- UNI EN 1993-5 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole.

Per le palancole in c.a. valgono, per quanto applicabili, le norme relative ai pali infissi ed al c.a..

8.3. Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali in generale

L'installazione di palancole presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di progetto circa le caratteristiche degli elementi, anche delle informazioni inerenti il terreno da attraversare.

In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:

- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l'uso di utensili speciali,
- chimica dei materiali da attraversare e dell'acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, si presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza dello stato in essere. In particolare, esiste l'obbligo per l'Appaltatore di verifica e collaborazione nella realizzazione di tutte le opere di presidio dei terreni interrati dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni.

Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente e alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale.

Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza di linee ferroviarie;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte;
- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione delle palancole (norme UNI 9614, UNI ISO 2631-1);

- danni che l'installazione delle palancole può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI 9916 e ISO 4866).

Durante l'infissione delle palancole, la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione delle palancole infisse non danneggi le proprietà vicine.

Qualora nel corso delle misure vibrazionali fossero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione delle palancole.

8.4. Prove tecnologiche preliminari

Qualora sia prevista l'installazione di palancole in prossimità di strutture sensibili, prima di dare inizio ai lavori, la metodologia esecutiva e nella stessa sequenza esecutiva prevista, dovrà essere messa a punto dall'Appaltatore mediante la messa in opera di un adeguato numero di elementi non inferiore al 2% del numero totale previsto.

Le prove dovranno essere eseguite alla presenza della Direzione Lavori cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive da adottarsi.

Durante tali prove dovranno essere previste misure vibrazionali sulle strutture interessate.

Ciò premesso le prove tecnologiche saranno totalmente a carico dell'Appaltatore.

Qualora l'Appaltatore proponga di variare nel corso dei lavori la metodologia esecutiva sperimentata ed approvata inizialmente, si dovrà dar corso alle prove tecnologiche sopradescritte.

8.5. Preparazione del piano di lavoro

Il piano di lavoro dovrà avere le caratteristiche di portanza e capacità drenante, in modo tale da garantire le condizioni di sicurezza per la movimentazione e per le operazioni a cui sono adibite le attrezzature utilizzate per le lavorazioni in oggetto.

Per palancolati in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere.

8.6. Materiali

Ogni partita di materiale approvvigionato per la realizzazione delle palancole deve essere dotato di marcatura CE.

I profilati in acciaio devono essere conformi alle seguenti e già richiamate norme: UNI EN 10248-1, UNI EN 10248-2, UNI EN 10249-1, UNI EN 10249-2.

Nel caso siano utilizzate sezioni tubolari, esse dovranno essere conformi alle richiamate norme UNI EN 10219-1 e UNI EN 10219-2.

Qualora sia richiesta la impermeabilità del giunto di accoppiamento, l'Appaltatore dovrà fornire tutti i dettagli tecnici relativi al sigillante utilizzato. In particolare dovrà dimostrare che il materiale utilizzato non viene danneggiato nella fase di accoppiamento degli elementi sia che non è affetto da deterioramento a lungo termine, precisandone eventualmente i valori garantiti di durata.

8.7. Installazione

8.7.1. Attrezzature

L'attrezzatura d'infissione e di estrazione deve avere caratteristiche conformi allo scopo di assicurare il raggiungimento della profondità d'infissione richiesta in funzione del profilo stratigrafico e della possibilità di dovere estrarre gli elementi non definitivi.

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme UNI EN 996;

L'installazione dell'elemento potrà avvenire per battitura, vibrazione o per un combinazione dei due sistemi.

Nel caso di battitura, l'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo di battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero dei colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica e il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

Nel caso di infissione per vibrazione, l'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di vibrazione che intende utilizzare:

- peso della morsa vibrante;
- ampiezza e frequenza del vibratore.

La forza centrifuga e l'ampiezza del vibratore dovranno essere scelte in funzione della sezione della palanca, del terreno e delle condizioni al contorno quali la presenza di strutture. In prossimità di strutture sensibili, è obbligatorio l'impiego di vibratorii ad alta frequenza (> 2000 vpm o 33 Hz) e dotati di sistemi anti-risonanti per la fase di avvio e di arresto delle masse eccentriche.

8.7.2. Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura e spese dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione del palancolato.

L'Appaltatore dovrà presentare:

- una pianta della palancolata con la posizione planimetrica di tutti gli elementi;
- un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine.

8.7.3. Movimentazione e saldature

Durante la fase di messa in opera, l'Appaltatore dovrà adottare tutti i provvedimenti necessari per garantire i requisiti di verticalità, complanarità e di mutuo incastro degli elementi costitutivi.

Lo stoccaggio e la movimentazione delle palancole in cantiere dovrà avvenire in modo tale da non provocare danneggiamenti e distorsioni dei profili metallici e dei giunti di accoppiamento, mediante l'utilizzo di speciali utensili quali pinze di aggancio appropriati distanziatori e selle di appoggio.

Le procedure di saldatura dovranno essere eseguite in modo tale da evitare fenomeni di incrudimento dell'acciaio e conseguente incremento di fragilità nella zona prossima alla saldatura, mediante opportuni processi di preriscaldamento che tengano conto del tipo di acciaio utilizzato (contenuto in carbonio equivalente), tipo di giunto e tipo di saldatura.

Le saldature dovranno essere conformi a quanto prescritto nelle norme specifiche più sopra richiamate.

In caso in cui le palancole siano composte da più parti saldate, le saldature di due elementi adiacenti dovranno essere sfalsate di almeno mezzo metro.

8.7.4. Infissione

I criteri di battitura e gli elementi che ne influenzano il processo dovranno essere preventivamente definiti in modo che non si generino nelle palancole tensioni superiori a quelle ammissibili.

L'Appaltatore dovrà dimostrare tale presupposto con i metodi di calcolo noti nella letteratura tecnica (equazione dell'onda d'urto), oppure con referenze adeguatamente documentate circa tecnologie già impiegate in precedenti ed analoghi lavori.

Qualora le condizioni del sito fossero tali da rendere incerta la valutazione, per via teorica, delle sollecitazioni indotte, la Direzione Lavori, nell'ambito delle prove tecnologiche preliminari, potrà richiedere che le prove di battitura siano eseguite in presenza di dispositivi di monitoraggio dinamico.

Le misure dinamiche sulle palancole in fase di battitura verranno eseguite secondo le modalità descritte nella norma ASTM D4945-08, durante l'intera fase di battitura di tutte le palancole del campo prova.

Durante la battitura dovrà essere sempre verificato che lo sforzo di trazione/compressione nell'acciaio non superi il valore di $0.9f_{yk}$, dove f_{yk} è la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio.

Le palancole dovranno essere infisse con l'ausilio di uno scavo guida d'invito, di dimensioni adeguate.

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico delle palancole:

- sulla posizione planimetria in testa ± 75 mm;
- deviazione rispetto alla verticale: $< 2\%$.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa, tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di elementi in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, comprese palancole aggiuntive ed opere di collegamento.

Durante la fase d'infissione, L'Appaltatore potrà, previa approvazione della Direzione Lavori delle modalità utilizzate, ricorrere a delle iniezioni di acqua in pressione per facilitare il superamento di livelli granulari addensati.

In caso di qualsiasi anomalia rilevata nel corso dell'infissione e comunque nel caso di mancato raggiungimento della prevista quota finale, sia nel caso di infissione per battitura che per vibrazione, l'esecutore dovrà dare immediata informazione alla Direzione Lavori e concordare con la stessa gli interventi da eseguire.

8.7.5. Controlli e documentazione lavori

L'infissione di ogni singolo elemento o gruppi di elementi dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:

- identificazione degli elementi;
- data di infissione;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- velocità di avanzamento/colpi maglio ogni 0,10 m;
- profondità raggiunta;
- profondità di progetto;
- rifiuti di eventuale ribattitura.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

9. Diaframmi in cemento armato

9.1. Definizione e campi di impiego

Si definiscono diaframmi in c.a. opere con funzione di sostegno, di fondazione, di difesa di fondazioni di opere preesistenti o da costruire, di difese fluviali, traverse in alveo ecc., ottenute gettando il conglomerato cementizio entro cavi

di forma planimetrica allungata realizzati nel terreno, di norma in presenza di fanghi bentonitici. In questo contesto sono considerati quindi unicamente i diaframmi in c.a. gettati in opera.

Tali strutture devono rispondere principalmente alle prescrizioni di cui al D.M. 14/01/2008 e successivi aggiornamenti.

I diaframmi, analogamente alle palancolate, possono costituire opere di sostegno, sia autoportanti che vincolate da puntelli o tiranti ancorati nel terreno; essi possono essere costituiti da elementi accostati, oppure staccati uno dall'altro per limitare l'ostacolo al deflusso della falda, oppure con giunti a tenuta idraulica, in modo da impedire qualunque filtrazione attraverso la parete.

In relazione alla tenuta idraulica dei diaframmi, si osserva che si definiscono "giunti a tenuta", elementi in cui la presenza d'acqua si manifesta esclusivamente sotto forma di "trasudazione" ed umidità nella zona di contatto fra pannelli adiacenti. Non sono quindi ammesse condizioni di trafilamento d'acqua o formazione di veri e propri fenomeni di circolazione idrica fra monte e valle della paratia, sia nella parte esposta, sia nella parte immersata nel terreno

Può essere prevista l'eventuale rifinitura della faccia a vista; la stuccatura e stilatura dei giunti con malta cementizia; la formazione di fori di drenaggio e convogliamento, nel numero e nella posizione prescritta.

Lo scavo dei diaframmi può avvenire con fango a riposo mediante l'impiego di benna mordente per la disaggregazione, la rimozione e l'evacuazione del materiale di risulta, avendo il fango la sola funzione di sostegno delle pareti di scavo.

In alternativa, lo scavo può essere eseguito con fango in movimento mediante idrofresa che realizza un taglio verticale continuo nel terreno, in un'unica passata, eliminando i detriti di scavo per via idraulica con circolazione rovescia del fluido di perforazione.

9.2. Norme di Riferimento

Oltre alle norme relative al conglomerato cementizio armato, si considerino in particolare le seguenti:

- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circ. M.I.T. 02/02/2009 n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle NTC;
- Norma UNI EN 1538: Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Diaframmi;
- UNI EN 1993-5 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole.

9.3. Soggezioni geotecniche, geoidrologiche ed ambientali

L'esecuzione dei diaframmi presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di progetto circa la geometria dei diaframmi e la distribuzione dell'armatura, anche delle informazioni inerenti il terreno da attraversare.

In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:

- presenza di strati altamente permeabili ($D_{10} > 4$ mm), o cavità che possono essere causa di perdita improvvisa del fluido di stabilizzazione,
- presenza di terreni coesivi soffici che possono essere causa di instabilità dello scavo,
- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono essere causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l'uso di utensili speciali,
- presenza di livelli piezometrici artesiani,
- chimica dei materiali da attraversare e dell'acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati nelle varie fasi di costruzione del diaframma.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, si presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza dello stato in essere. In particolare dovranno essere eseguite anticipatamente tutte le opere di presidio dei terreni interrati dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei diaframmi in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochi-

no danni, a seguito delle lavorazioni. E' obbligo dell'Appaltatore la verifica e la collaborazione con il Committente alla risoluzione del problema ai sensi della normativa vigente.

In presenza di terreni superficiali instabili (per esempio zone di riporto) o nelle zone di bonifica preventiva dalle strutture interrato esistenti demolite, dovranno essere realizzate tutte le azioni preventive a protezione del tratto di scavo instabile

Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno o restrizioni nella destinazione dei materiali di risulta, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente e alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale.

Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- presenza di detriti provenienti dagli scavi e inquinati dai fanghi di perforazione che dovranno essere asportati dall'area di lavoro e trasportati nelle apposite discariche;
- rumori o vibrazioni causati dalle attrezzature operanti che dovranno essere contenuti entro i limiti tollerati dalla legislazione vigente (norme UNI9614 e ISO 2631 per il disturbo alle persone; UNI9916 e ISO4866 per il danneggiamento a edifici circostanti, sottoservizi e strutture in genere);
- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte;
- lavorazioni in adiacenza a linee ferroviarie.

La tecnica di perforazione sarà basata sull'impiego di fanghi bentonitici o eventualmente con fanghi polimerici biodegradabili, tenendo in opportuna considerazione le prescrizioni indicate dagli Enti aventi giurisdizione legislativa in materia di salvaguardia delle acque di falda.

Nel caso di terreni uniformemente argillosi e per profondità non eccedenti i limiti indicati successivamente, la perforazione potrà essere eseguita "a secco", quindi in assenza di fluido stabilizzante, sempreché le condizioni permettano di escludere la presenza di eccessivi fenomeni deformativi o di instabilità del cavo.

Durante la perforazione occorrerà tener conto dell'esigenza di non peggiorare le caratteristiche meccaniche del terreno circostante il diaframma; dovranno quindi essere minimizzati:

- il rammollimento degli strati coesivi;
- la diminuzione di densità relativa degli strati incoerenti;
- la diminuzione delle tensioni orizzontali efficaci proprie dello stato naturale;
- la riduzione dell'aderenza diaframma-terreno da un improprio impiego dei fanghi.

9.4. Tolleranze geometriche

I diaframmi dovranno essere realizzati nella posizione e con le dimensioni definite nel progetto, adottando le seguenti tolleranze ammissibili, salvo più rigorose limitazioni indicate in progetto costruttivo:

Diaframmi aventi funzione di opera di sostegno agli scavi

- Posizione planimetrica dell'asse longitudinale rispetto al teorico ≤ 20 mm verso lo scavo, ≤ 50 mm contro terra, valutato a testa diaframma;
- Verticalità assoluta $\leq 1\%$ in entrambe le direzioni e lungo qualsiasi direttrice verticale; con idrofresa si riduce il limite si riduce a $\leq 0.5\%$.

Nel caso di diaframmi a tenuta idraulica dovrà essere garantita una tolleranza pari al valore minimo fra i due seguenti valori:

- 0.5% o $S/(6L)$ (S = Spessore; L = profondità del diaframma);
- Quota testa diaframma: ± 50 mm rispetto al teorico;
- Eventuali protuberanze non dovranno eccedere di 60 mm rispetto al piano medio interno della paratia.

Elementi singoli aventi funzione di fondazione profonda

- Posizione planimetrica ± 50 mm rispetto al teorico nelle due direzioni ortogonali;
- Verticalità assoluta $\leq 2\%$ in entrambe le direzioni e lungo qualsiasi direttrice verticale; con idrofresa si riduce il limite si riduce a $\leq 0.8\%$;
- Quota testa diaframma: ± 50 mm rispetto al teorico.

In generale, per entrambi i casi, valgono inoltre i seguenti criteri costruttivi:

- le tolleranze ΔS sullo spessore, verificate in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito, sono le seguenti:
 - per ciascun elemento, in base al suo assorbimento globale: $-0,01S < \Delta S < 0,1S$;
 - per ciascuna sezione degli elementi sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose (dose = autobetoniera): $-0,01S < \Delta S < 0,01S$;
- la profondità "L" dovrà risultare conforme al progetto ± 150 mm;
- la posizione di eventuali inserti, elementi di collegamento strutturali (manicotti, fazzoletti saldati: ± 75 mm rispetto al quota teorica verticale);
- tolleranza verticale sulla posizione della gabbia: ± 50 mm rispetto al quota teorica verticale.

L'ordine di realizzazione dei singoli pannelli potrà essere fissato o variato a giudizio della Direzione Lavori, senza che perciò l'Appaltatore abbia diritto ad alcuno speciale compenso.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per garantire piena funzionalità al diaframma in caso di esecuzione non conforme alle tolleranze stabilite.

9.5. Preparazione del piano di lavoro

L'Appaltatore dovrà predisporre, lungo il tracciato planimetrico del diaframma, due cordoli guida in conglomerato cementizio debolmente armato gettati esternamente contro terra, delle dimensioni non inferiori a 25 cm di larghezza e 80÷100 cm di profondità dal piano di lavoro, distanti tra loro dello spessore del diaframma aumentato di 4÷6 cm, allo scopo di definire la posizione degli utensili di scavo, di assicurare un riferimento stabile per il posizionamento delle armature e di evitare il franamento del terreno nella fascia di oscillazione del livello del fango.

Qualora lungo il tracciato del diaframma venga accertata la presenza di manufatti, canalizzazioni, tubazioni, sarà necessario approfondire i cordoli stessi al disotto degli ostacoli o in alternativa potrà essere eseguita una bonifica del terreno interessato. Quest'ultimo dovrà essere sostituito con calcestruzzo magro o misto stabilizzato, fino alla quota interessata dai lavori di risanamento.

La testa dei cordoli guida e della piattaforma di lavoro dovranno essere poste ad 1.5 m sopra la quota di massima fluttuazione del livello di falda, tenendo in conto degli eventuali fenomeni di artesianesimo.

Nella realizzazione dei cordoli si dovrà aver cura di posizionare con precisione le cassature, in modo da ottenere che la linea mediana delle corree non si discosti dalla posizione planimetrica del diaframma in misura superiore a ± 20 mm.

Durante le operazioni di scavo, i cordoli guida dovranno essere reciprocamente puntellati.

Per diaframmi in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere.

9.6. Perforazione

9.6.1. Attrezzatura

Il tipo, la potenza e la capacità operativa delle attrezzature dovranno in ogni caso essere adeguate alla consistenza del terreno da attraversare, alle caratteristiche e dimensioni dei diaframmi da eseguire nei tempi previsti. Marcature disposte ad intervalli regolari (1-2 m) sugli organi di manovra degli utensili di scavo dovranno consentire il rapido apprezzamento della profondità alla quale gli utensili stanno operando. La verticalità delle aste di guida rigide dovrà essere controllata da un indicatore a pendolo disposto sulle stesse.

L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di opportuni sistemi meccanici e/o elettronici per il controllo e la registrazione della profondità di scavo.

Per la verifica e la registrazione della deviazione dello scavo sono richiesti inclinometri biassiali montati sull'utensile di scavo o su apposito testimone calato nello scavo ultimato o, in alternativa, mediante sistemi basati sul metodo di "eco-scandaglio" delle pareti del foro.

Nel caso sia utilizzata l'idrofresa (macchina dotata di un utensile a frese multiple rotanti che consente esecuzioni assai accurate), sull'attrezzatura deve essere sempre previsto un sistema di correzione attivo della deviazione di scavo in direzione longitudinale e trasversale, con relativo monitoraggio e registrazione in tempo reale dell'effettiva geometria. Qualora l'Appaltatore lo ritenga necessario, lo stesso tipo modalità di correzione potrà essere previsto anche per attrezzature di scavo con Benne mordente, mediante appositi sistemi meccanici montati sul corpo dell'utensile.

9.6.2. Perforazione a secco

Può essere effettuata esclusivamente nei terreni coesivi di media o elevata consistenza (coesione non drenata $> 0,03$ MPa) non fessurati, esenti da intercalazioni incoerenti e non interessati da falde che possano causare ingresso di acqua nel foro con trascinarsi di materiale e frammenti; essendo le massime profondità raggiungibili in funzione della coesione non drenata del terreno, dovrà essere rispettata la seguente condizione:

$$L < 250 C_u$$

Dove L è la profondità massima raggiungibile espressa in metri e C_u è la coesione non drenata espressa in MPa.

9.6.3. Perforazione in presenza di fluido di stabilizzazione

Il fluido di stabilizzazione dovrà essere preparato, trattato e controllato seguendo le modalità descritte nell'articolo specifico.

La perforazione sarà eseguita mediante benna mordente o idrofresa; Nel primo caso, il corpo dell'utensile dovrà lasciare uno spazio tra esso e la parete del foro di ampiezza sufficiente ad evitare "effetti pistone" allorché l'utensile è sollevato.

Le benne dovranno avere conformazione tale da non lasciare sul fondo del foro detriti smossi o zone di terreno rimaneggiato.

La benna mordente sarà provvista delle aperture per la fuoriuscita del fango all'atto dell'estrazione.

Nell'idrofresa, i detriti, sono rimossi e disgregati dalle due ruote fresanti in movimento rotativo sincrono opposto e, in sospensione nel fluido di perforazione, sono convogliati ad una stazione di trattamento dei fanghi, mediante una pompa installata all'interno del corpo fresante.

Con entrambe le attrezzature di scavo, il livello del fango nel foro dovrà essere in ogni caso più alto della massima quota piezometrica delle falde presenti nel terreno lungo la perforazione.

Il franco dovrà risultare di norma non inferiore a 1,00 m e all'atto dell'estrazione dell'utensile dal foro non dovrà essere minore di 0,70 e comunque, il livello del fango non dovrà scendere al disotto del piano di imposta dei cordoli guida. A tale scopo si potrà disporre di una sufficiente polmone all'interno dei cordoli guida stessi.

Nel caso di utilizzo di idrofresa, si dovrà comunque prevedere che i primi metri dello scavo siano condotti con benna mordente/ braccio rovescio almeno fino al raggiungimento della profondità necessaria per avere una colonna di fluido d'innescio della pompa di aspirazione del fango incorporata nell'idrofresa.

Ciascun tratto di diaframma sarà eseguito in due fasi: si procederà dapprima alla perforazione ed al getto di elementi alterni (primari) e si completerà il tratto in seconda fase, con l'esecuzione degli elementi di chiusura (secondari) ad avvenuta presa del conglomerato cementizio di quelli eseguiti in prima fase.

Nel proporre diverse lunghezze di scavo rispetto a quanto indicato nel progetto, l'Appaltatore dovrà tener conto delle esigenze costruttive dell'opera, della natura del terreno, della profondità di scavo, della sicurezza delle opere adiacenti.

Nei casi in cui è comprovata la stabilità dello scavo (mediante analisi numeriche, esperienze eseguite o prove preliminari) può essere ammessa l'esecuzione di elementi multipli gettati in un'unica fase.

L'impianto di preparazione e stoccaggio dei fanghi di stabilizzazione, dovrà essere dimensionato in modo tale da assicurare una quantità di fango disponibile non inferiore al volume totale del pannello di maggiori dimensioni previste

nel progetto, in modo da garantire una sufficiente alimentazione in caso di perdita improvvisa del fango all'interno dello scavo.

Qualora non fosse possibile ripristinare il livello con opportuni volumi di fango, l'Appaltatore dovrà sempre prevedere di riempire lo scavo con materiale stabile e riscavabile (magrone o similare).

Al termine della perforazione si dovrà procedere alla pulizia dei detriti rimasti sul fondo e alla parziale o totale sostituzione totale del fango presente nel pannello al fine di riportarlo alle caratteristiche richieste per l'esecuzione del getto, come indicato all' articolo specifico. I controlli del fango prima del getto dovranno essere eseguiti a più livelli (con la quota più profonda a 50 cm dal fondo).

Le operazioni dovranno essere programmate e condotte in modo da evitare interazioni pregiudizievoli alla buona riuscita del lavoro tra elementi in corso di esecuzione o appena ultimati.

Qualora si accertasse l'impossibilità di fare eseguire immediatamente il getto all'ultimazione della perforazione (per sosta notturna, difficoltà di approvvigionamento del conglomerato cementizio o qualunque altro motivo), si dovrà interrompere la perforazione almeno un metro sopra alla profondità finale prevista e riprenderla successivamente, in modo da ultimare nell'imminenza del getto.

Il materiale di risulta dovrà essere sistematicamente smaltito, secondo la legislazione vigente.

9.6.4. Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose

Nel caso di benna mordente, in presenza nel terreno di trovanti lapidei, non estraibili con i normali metodi di estrazione, o di strati rocciosi o cementati e per conseguire un'adeguata immorsatura del diaframma nei substrati rocciosi di base si farà ricorso all'impiego di scalpelli frangiroccia azionati a percussione, di peso e forma adeguati.

L'uso di queste attrezzature dovrà essere frequentemente alternato a quello della benna o del secchione, che hanno il compito di estrarre dal foro i materiali di risulta.

In alternativa l'Appaltatore potrà anche prevedere una serie di fori preliminari di alleggerimento eseguiti a rotazione con altre attrezzature di perforazione, in anticipo sullo scavo con benna mordente.

Nel caso dell'idrofresa, essa consente l'attraversamento di terreni di qualsiasi tipo e dei materiali lapidei in forma di strati o banchi omogenei.

La rimozione di eventuali trovanti isolati potrà avvenire per distruzione degli stessi o per rimozione con benna mordente, in funzione delle dimensioni e della natura dei materiali.

9.6.5. Controlli

La Direzione Lavori controllerà in fase di esecuzione del perforo la rispondenza delle stratigrafie di progetto con quelle effettive.

In presenza di eventuali discordanze, o nel caso che alla base del diaframma si rinvenga un terreno più compressibile e/o molto meno resistente del previsto, o si rinvenivano altre anomalie, la Direzione Lavori, con l'eventuale collaborazione del Progettista, procederà al riesame delle condizioni progettuali, provvedendo se del caso alle opportune modifiche.

Durante la perforazione saranno continuamente condotti i controlli sulla qualità del fango stabilizzante, riportandolo se necessario entro i limiti previsti nello specifico articolo, registrandoli su un opportuno modulo di cantiere.

La misura di profondità verrà verificata mediante l' apposito strumento montato sull' attrezzatura di scavo. In alcuni pannelli al termine della perforazione La Direzione Lavori si riserverà la possibilità di misurare la profondità del cavo operando con uno scandaglio in più punti di esso.

Nel caso di misura delle deviazioni, i dati monitorati dovranno essere restituiti mediante opportuni diagrammi riportanti l' andamento dell' asse pannello con la profondità nella direzione trasversale e longitudinale.

9.7. Armature metalliche

Le armature metalliche dovranno essere realizzate in conformità alle indicazioni di progetto e rispondere alle prescrizioni del presente Capitolato e delle normative per le costruzioni in cemento armato.

Le armature metalliche verticali saranno costituite da barre ad aderenza migliorata; verranno pre-assemblate fuori opera in «gabbie»; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro, mediante punti di saldatura elettrica.

Le armature trasversali saranno costituite da riquadri o staffe a più braccia, con ampio spazio libero centrale per il passaggio del tubo di getto; esse saranno di norma esterne alle armature verticali. Al fine di irrigidire le gabbie d'armatura dovranno essere predisposti i necessari ferri diagonali, ad Ω , di irrigidimento.

In casi particolari possono essere previsti opportuni telai di movimentazione per il sollevamento e trasporto delle gabbie in sicurezza ed in assenza di deformazioni.

L'impiego di profilati metallici è consentito, purché la configurazione delle armature sia tale da assicurare il completo piazzamento del fango stabilizzante e che durante il getto si garantisca un continuo immersione degli elementi metallici nel calcestruzzo. Tale condizione dovrà essere verificata preventivamente con prove in scala reale che dimostrino, dopo il getto la totale assenza di sacche di fango di perforazione misto a terreno intrappolate nel calcestruzzo in prossimità delle superfici di contatto con l'acciaio.

In caso di gabbie composte da più elementi verticali, la giunzione verrà realizzata con sovrapposizione o manicotti.

Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo rispetto alla parete di scavo di 75 mm.

Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio (diametro $12 \div 15$ cm, larghezza > 6 cm) con perno in tondino metallico fissato a due ferri verticali contigui. I centratori saranno posti a gruppi di 3÷4 regolarmente distribuiti sul periodo e con spaziatura verticale di $3,0 \div 4,0$ m.

Per le armature verticali si ammette:

- l'uso di ferri raggruppati;
- la distribuzione su doppio strato purché la distanza fra i ferri sia almeno due volte il diametro massimo degli inerti.

L'intervallo netto minimo tra due barre adiacenti, misurato lungo il perimetro che ne unisce i centri, dovrà essere:

- ≥ 80 mm, con aggregati aventi dimensione ≤ 20 mm;
- ≥ 100 mm con aggregati aventi dimensione inferiore ≤ 25 mm;
- ≥ 140 mm con aggregati aventi dimensione inferiore ≤ 32 mm.

Per inerti con diametro inferiore a 25 mm, nella zona di sovrapposizione di due elementi verticali delle gabbie è ammessa la riduzione dell'intervallo netto di 80 mm.

La distanza minima dei ferri trasversali dovrà essere pari a 200, che può essere ridotta a 150 mm con aggregati aventi dimensione inferiore o uguale a 20 mm.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del cavo.

La distanza minima fra il fondo dello scavo e la gabbia di armatura dovrà essere pari a 200 mm.

9.8. Getto

9.8.1. Preparazione e trasporto del calcestruzzo

In accordo con le norme UNI EN 206, il calcestruzzo dovrà essere di classe S4 o S5. Si raccomanda un *slump* al cono di Abrams > 18 , secondo la norma UNI EN 12350-2.

Il calcestruzzo dovrà essere fornito con dichiarazione di conformità del prodotto e dei certificati di conformità (marcatura CE) per i materiali impiegati nel suo confezionamento. Per soddisfare entrambi questi requisiti potrà essere aggiunto all'impasto un idoneo additivo superfluidificante non aerante; è ammesso altresì l'uso di ritardanti di presa o superfluidificanti con effetto ritardante (UNI EN 934-2:2001).

I prodotti commerciali che l'Appaltatore si propone di usare dovranno essere sottoposti all'esame ed all'approvazione preventiva della Direzione Lavori. I mezzi di trasporto dovranno essere tali da evitare segregazioni dei componenti.

Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato e trasportato con un ritmo tale da consentire di completare il getto di ciascun elemento di diaframma senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile.

La centrale di confezionamento dovrà quindi consentire l'erogazione nell'unità di tempo di volumi di conglomerato cementizio almeno doppi di quelli teorici richiesti, secondo le prescrizioni di cui al punto seguente.

9.8.2. Posa in opera del calcestruzzo

Il conglomerato cementizio sarà posto in opera a caduta o mediante pompa, impiegando un tubo di convogliamento costituito da elementi di opportuna lunghezza. Nel primo caso, il tubo dovrà avere un diametro minimo di 20-25 cm; nel secondo caso, un diametro minimo di 15 cm e comunque non inferiore a 6 volte il diametro massimo degli inerti.

L'interno dei tubi sarà pulito, privo di irregolarità e strozzature.

Le giunzioni tra sezione e sezione dei tubi dovranno garantire la perfetta tenuta idraulica (con filettatura o innesto con guarnizione).

Nel metodo a caduta, il tubo sarà provvisto, all'estremità superiore, di una tramoggia di carico avente una capacità di almeno 0.5-0.6 m³, e mantenuto sospeso da un mezzo di sollevamento.

Prima di installare il tubo getto sarà eseguita una ulteriore misura del fondo foro; qualora lo spessore del deposito superi i 20 cm si provvederà all'estrazione della gabbia d'armatura ed alle operazioni di pulizia.

Il tubo di convogliamento sarà posto in opera arrestando il suo piede a 30 cm dal fondo della perforazione; al fine di evitare azioni di contaminazione/dilavamento del primo calcestruzzo gettato, prima di iniziare il getto si disporrà entro il tubo, in prossimità del suo raccordo con la tramoggia, un tappo formato da una palla di malta plastica oppure da uno strato di 30 cm di spessore di vermiculite granulare o da palline di polistirolo galleggianti sul liquido, oppure ancora da un pallone di plastica. Per diaframmi perforati a secco non occorre alcun tappo alla sommità di separazione.

All'inizio del getto si dovrà disporre di un volume di conglomerato cementizio pari a quello del tubo getto di almeno 3÷4 m di diaframma.

Durante il getto il tubo convogliatore sarà opportunamente manovrato per un'ampiezza di 20÷30 cm, in modo da favorire l'uscita e la risalita del calcestruzzo.

Prima verifica del livello raggiunto, utilizzando uno scandaglio metallico a fondo piatto, il tubo di convogliamento sarà accorciato per tratti successivi nel corso del getto, sempre conservando un'immersione minima nel calcestruzzo di 2.5 m.

Il getto dovrà essere alimentato con una cadenza effettiva, inclusi tutti i tempi morti, non inferiore a 25 m³/h. e, in ogni caso, dovrà essere considerato un rifornimento che, in funzione del volume del pannello, garantisce una velocità di risalita minima del getto di 3m/h., con un'interruzione mai superiore ai 20 minuti. Il getto di un pannello dovrà comunque essere completato in un tempo tale che il calcestruzzo rimanga sempre lavorabile. In presenza di pannelli di lunghezza superiore a 4 m, devono essere previsti due o più tubi getto secondo le seguenti prescrizioni:

- distanza fra i tubi < 3 m,
- distanza di ogni tubo getto dall'estremità più vicina del pannello < 2m.

In questo caso i tubi dovranno essere alimentati in modo sincrono – per assicurare la risalita uniforme del calcestruzzo.

Per nessuna ragione il getto dovrà venire sospeso prima del totale riempimento del pannello. Il getto proseguirà fino a che il calcestruzzo non contaminato di fango avrà raggiunto il livello prescritto di progetto. All'atto dell'esecuzione del getto dovrà essere controllata la regolarità dell'assorbimento del calcestruzzo, misurando le profondità raggiunte nell'elemento in corso di getto, ogni 6-8 m³ di calcestruzzo immesso.

9.8.3. Controlli

Si dovrà provvedere all'esecuzione di:

- una prova con il cono di Abrams per ogni betoniera o 8 m³ di conglomerato cementizio impiegato secondo le norme UNI 9418;
- il rilievo della quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni elemento di diaframma;
- ogni 10 elementi ed ogni qualvolta la Direzione Lavori lo richieda, il rilievo dose per dose (dose = autobetoniera) del livello del conglomerato cementizio entro il foro in corso di getto, in modo da poter ricostruire l'andamento dello spessore medio effettivo lungo il diaframma (profilo di getto); s'impiegherà allo scopo uno scandaglio a base piatta.

- una serie di prove di carico a rottura su cubetti di conglomerato cementizio prelevati in numero e con modalità conformi a quanto prescritto nel presente Capitolato e la Normativa vigente, ed inoltre secondo quanto eventualmente richiesto dalla Direzione Lavori o specificatamente indicato nel progetto.

9.9. Formazione dei giunti

Nei casi in cui sia richiesta l'impermeabilità del diaframma o la collaborazione statica tra gli elementi che lo compongono, i giunti tra gli elementi dovranno essere opportunamente conformati.

A tale scopo prima del getto degli elementi primari, si poseranno ai due estremi del pannello da gettare e per tutta la profondità due casseforme metalliche a sezione circolare (o di diversa sezione opportunamente sagomata ed approvata dalla Direzione Lavori).

A presa iniziata, si provvederà ad estrarre le casseforme mediante un'opportuna attrezzatura oleodinamica, ripetendo l'operazione in tempi successivi qualora le dimensioni dell'elemento comportino durate del getto notevoli e quindi tempi di presa scaglionati per le diverse fasce di profondità di ciascun elemento. A presa ultimata per tutto il pannello si provvederà all'estrazione completa delle casseforme.

In alternativa, le casseforme potranno essere rimosse a presa avvenuta, per strappo laterale da effettuarsi durante lo scavo del pannello secondario.

La superficie esterna delle casseforme dovrà essere continua, liscia, priva di incrostazioni ed all'occorrenza spalmata di un prodotto disarmante, in modo da permettere l'esecuzione agevole delle operazioni sopra indicate, senza danni per il getto.

Nello scavo dei pannelli secondari) si dovrà aver cura di pulire la sagoma lasciata dal tubo-spalla, mediante opportuni raschiatori montati sull'utensile di scavo

In funzione delle prescrizioni di progetto, per una migliore garanzia di tenuta idraulica del giunto, in aggiunta alla particolare sagomatura fornita dalla cassaforma può essere richiesto l'impiego di "water-stop" in materiale plastico (HDPE o PVC), inserito permanentemente e trasversalmente al giunto di due pannelli adiacenti per tutta o parziale profondità.

Qualora sia utilizzata l'idrofresa è possibile realizzare i giunti senza l'impiego di cassetta metallica, provvedendo ad alesare i pannelli primari già gettati. Per la formazione del giunto fresato la dimensione della lingua di terreno non scavato tra due pannelli primari adiacenti dovrà essere minore della dimensione del corpo fresante. In questo modo si assicura, con il pannello secondario intermedio, un'adeguata sovrapposizione che tenga conto delle deviazioni durante lo scavo. In presenza di scavi sotto falda la sovrapposizione teorica deve essere $\geq 0.7\%$ della profondità di scavo dei pannelli con un minimo di 10 cm.

9.10. Lavori complementari

È obbligo assoluto che la scapitozzatura delle teste dei diaframmi sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del diaframma non rispondono a quelle previste da progetto.

In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del diaframma sino alla quota di sottoplinto o alla quota testa diaframma di progetto.

Nel caso che, durante l'eventuale scopertura del paramento in vista del diaframma, si riscontrassero difetti di esecuzione (quali soluzioni di continuità nel conglomerato, non perfetta tenuta dei giunti di collegamento, sbulbature fuori sagome media ecc.), sarà onere dell'Appaltatore adottare a sua cura e spese i provvedimenti che saranno necessari a giudizio insindacabile della Direzione Lavori.

In particolare per i giunti, eventuali interventi di riparazione mediante iniezioni cementizie, iniezioni con resine speciali o *jet-grouting* a tergo, dovranno essere proposti dall'Appaltatore, a cui saranno addebitati i maggiori oneri eventualmente derivanti.

9.11. Documentazione dei lavori

Prima dell'inizio dei lavori, l'Appaltatore dovrà presentare una documentazione generale comprendente fra l'altro:

- la numerazione e la sequenza esecutiva dei pannelli, definita sulla base delle attrezzature selezionate e compatibili con i criteri di progetto;
- le schede di qualificazione dei prodotti utilizzati;
- le caratteristiche geometriche costruttive degli eventuali giunti;
- le caratteristiche dei componenti del conglomerato cementizio e gli esiti delle relative prove di qualificazione del calcestruzzo, in accordo con la norma UNI EN 206, il CPR (Reg. UE 305/2011) e le relative norme europee armonizzate;

L'esecuzione di ogni elemento di diaframma dovrà comportare la registrazione su apposita scheda dei seguenti dati:

- identificazione del pannello;
- data e ora di inizio/fine perforazione e di inizio/fine getto;
- risultati dei controlli eseguiti sul fango eventualmente usato per la perforazione;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- diagramma di deviazione dall'asse teorico verticale nelle due direzioni (ove richiesto);
- profondità del fondo cavo prima della posa del tubo getto;
- *Slump* del conglomerato cementizio;
- assorbimento totale effettivo del conglomerato cementizio e volume teorico dell'elemento diaframma;
- «profilo di getto» su tutti i pannelli;
- risultati delle prove di rottura a compressione semplice di provini di conglomerato cementizio.

9.12. Prove preliminari

9.12.1. Prove tecnologiche

Le modalità scelte dall'Appaltatore per la realizzazione dei diaframmi di progetto dovranno essere messe a punto prima di dare inizio ai lavori attraverso la realizzazione di un adeguato numero di "diaframmi di prova delle tecnologie esecutive".

I diaframmi di prova dovranno essere eseguiti alla presenza della Direzione Lavori in aree rappresentative dal punto di vista geotecnico e idrogeologico, prossime a quelle dei diaframmi di progetto. Il numero dei diaframmi di prova dovrà essere non minore dello 0,5% del numero dei diaframmi di progetto, con un minimo di uno.

In ogni caso dovranno essere seguite le prescrizioni della Direzione Lavori, cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive.

Qualora l'Appaltatore proponga durante il corso dei lavori di variare le modalità esecutive già inizialmente sperimentate ed approvate, egli dovrà ripetere le prove tecnologiche sopra descritte ed ottenere nuovamente l'approvazione da parte della Direzione Lavori.

Ciò premesso, va inteso che le prove tecnologiche sono totalmente a carico dell' Appaltatore.

9.12.2. Prove di progetto

Nel caso di diaframmi aventi funzione portante verticale, la Direzione Lavori potrà disporre l'esecuzione di ulteriori "prove di progetto" su "diaframmi pilota" appositamente realizzati per la determinazione della capacità resistente, in analogia a quanto previsto per i pali di fondazione dal D.M. 14/01/2008 (cap.6.4.3.7.1).

Le prove di progetto devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso diaframma-terreno, o comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del diaframma in funzione dei carichi e dei tempi.

In ogni caso l'Appaltatore dovrà seguire le indicazioni fornite dalla Direzione Lavori.

Gli oneri per l'esecuzione delle prove di progetto ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

9.13. Prove di controllo sugli elementi di diaframma

9.13.1. Prove di carico per i soli elementi di diaframma con funzione portante verticale

Nel caso di diaframmi aventi funzione portante verticale ci si comporterà in analogia a quanto previsto per i pali di fondazione. Pertanto, in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 (cap. 6.4.3.7.2), sui diaframmi devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica per controllarne principalmente la corretta esecuzione e il comportamento sotto le azioni di progetto. Tali prove devono pertanto essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non deve essere inferiore al 2% del totale del numero degli elementi, con un minimo di due.

La scelta dei diaframmi di prova è di competenza della Direzione Lavori che dovrà tenere in conto la necessità di testare, per quanto possibile, tutte le diverse situazioni del sottosuolo.

Al momento della prova il calcestruzzo del diaframma dovrà avere almeno ventotto giorni di stagionatura.

Per il programma esecutivo della prova, sia per quanto riguarda lo schema di applicazione del carico (numero degli step e tempi di mantenimento a carico assiale costante, numero e caratteristiche dei cicli di carico-scarico, ecc.), sia per quanto riguarda la lettura dei cedimenti (frequenza delle letture, criteri per individuare l'avvenuta stabilizzazione del cedimento, ecc.), vedere l'analogo punto dell'articolo riguardante i pali di grande diametro.

Il carico sarà applicato mediante un martinetto, contrastato mediante un'adeguata zavorra o elementi di reazione, il cui manometro (o cella di carico) dovrà essere corredato da un certificato di taratura con data non anteriore ad un mese.

Le misure dei cedimenti dovranno essere rilevate mediante quattro micrometri centesimali, interposti tra la testa dell'elemento di diaframma e una struttura porta micrometri solidale al terreno in punti sufficientemente distanti dall'elemento di prova e dal sistema di contrasto, così da evitare l'influenza delle operazioni di carico e scarico.

I supporti di tale struttura devono distare non meno di 3,0 m dall'elemento di diaframma di prova e non meno di 3 volte lo spessore dell'elemento di prova, e non meno di 2,0 m dall'impronta della zavorra o da elementi di diaframma di reazione. La struttura portamicrometri dovrà essere protetta da vibrazioni e urti accidentali e schermata dai raggi solari per minimizzare le deformazioni di natura termica.

Di ciascuna prova dovrà essere redatto apposito verbale, controfirmato dalle parti, nel quale saranno riportati tra l'altro: data e ora di ogni variazione di carico, entità del carico, le letture ai micrometri e il diagramma di carichi-cedimenti. Al verbale saranno allegati i certificati di taratura del manometro (o cella di carico).

In taluni casi la Direzione Lavori potrà richiedere l'esecuzione di prove di carico orizzontali; date le peculiarità di tale tipologia di prova, le modalità esecutive e il programma di carico dovranno essere di volta in volta stabilite dalla Direzione Lavori e riportate sul verbale di prova.

9.13.2. Controlli non distruttivi

Scopo dei controlli non distruttivi è quello di verificare le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi di diaframma non compromettendone l'integrità strutturale.

A tale scopo potrà essere richiesta l'esecuzione di:

- prove geofisiche;
- carotaggio continuo meccanico;
- scavi attorno al fusto del palo.

Prove geofisiche

Esse sono eseguite mediante emissione di impulsi direttamente lungo il fusto entro tubi metallici precedentemente predisposti ed annegati nel getto.

Il numero dei controlli sarà di volta in volta stabilito dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera, alle caratteristiche geotecniche e idrogeologiche dei terreni di fondazione e alle anomalie riscontrate durante l'esecuzione dei diaframmi.

Almeno il 50% dei pannelli dovranno essere attrezzati con i tubi metallici estesi a tutta la profondità dell'elemento, entro cui potranno scorrere le sonde di emissione e ricezione. I tubi metallici saranno solidarizzati alla gabbia di armatura, resi paralleli tra loro e protetti dall'ingresso di materiale.

I tubi saranno disposti a coppie contrapposte lungo i lati maggiori del pannello, in numero comunque non inferiore a quattro (vertici del pannello), rispettando una distanza massima fra i tubi di 2.50 m o comunque in funzione delle capacità dei sensori emittenti e riceventi.

Le prove d'integrità verranno eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. La Direzione Lavori potrà richiedere la ripetizione delle prove con un tempo di maturazione anche superiore.

I percorsi di misura verranno eseguiti per tutte le combinazioni possibili di allineamento fra i tubi presenti nel pannello.

Le prove dovranno essere eseguite alternando entro i fori le posizioni delle sonde trasmittente e ricevente.

Gli elementi di diaframma da sottoporre a controllo mediante prove geofisiche saranno prescelti dalla Direzione Lavori su almeno il 20% del numero totale dei pannelli con un minimo di 4.

Carotaggio continuo meccanico

Il carotaggio dovrà essere eseguito con utensili e attrezzature tali da garantire la verticalità del foro e consentire il prelievo continuo, allo stato indisturbato, del conglomerato e se richiesto del sedime di imposta.

Allo scopo saranno impiegati doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo non inferiore a 1.2 volte il diametro massimo degli inerti e comunque non inferiore a 60 mm.

Nel corso della perforazione dovranno essere rilevate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti, indicando in dettaglio la posizione e il tipo delle fratture, le percentuali di carotaggio, le quote raggiunte con ogni singola manovra di avanzamento.

All'interno del foro potranno essere richieste la predisposizione e l'esecuzione di prove di permeabilità o la predisposizione di tubazione per l'esecuzione di carotaggi sonici.

Su alcuni spezzoni di carota saranno eseguite prove di laboratorio atte a definire le caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche. Al termine del carotaggio si provvederà a riempire il foro mediante boiaccia di cemento immessa dal fondo foro. Il carotaggio si eseguirà in corrispondenza di quegli elementi di diaframma ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato di Appalto e alle disposizioni della Direzione Lavori.

Scavi attorno al fusto del diaframma

Saranno richiesti dalla Direzione Lavori, ogni qualvolta si nutrano dubbi sulla verticalità e regolarità della sezione nell'ambito dei primi 4,0 - 5,0 m di diaframma.

Il fusto del diaframma dovrà essere messo a nudo e pulito con un violento getto d'acqua e reso accessibile all'ispezione visiva.

Successivamente si provvederà a riempire lo scavo con materiali e modalità di costipamento tali da garantire il ripristino della situazione primitiva.

Tali operazioni saranno eseguite in corrispondenza di quegli elementi del diaframma ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato di Appalto e alle disposizioni della Direzione Lavori.

10. Pali di fondazione

10.1. Generalità

10.1.1. Tipologie di pali

Vengono considerate le seguenti categorie di pali:

- pali con spostamento parziale del terreno, installati senza scavo, con minima o assente rimozione del materiale, tra i quali rientrano:
 - pali infissi prefabbricati in c.a., o c.a.p. o in acciaio;
 - pali battuti o roto-infissi, gettati in opera;

- pali con rimozione del terreno, tra i quali rientrano:
 - pali trivellati;
 - pali ad elica continua;
- micropali, particolare tipologia di pali con rimozione di terreno, caratterizzati dall'aver il diametro inferiore a 300 mm.

10.1.2. Norme di riferimento

Oltre alle norme relative al conglomerato cementizio armato, si considerino in particolare le seguenti:

- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circ. M.I.T. 02/02/2009 n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle NTC;
- UNI EN 1993-5 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole;
- UNI EN 791 Macchine perforatrici - Sicurezza;
- UNI EN 996 Apparecchiature di palificazione - Requisiti di sicurezza;
- UNI EN 1536 Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Pali trivellati;
- UNI EN 12699 Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Pali eseguiti con spostamento del terreno;
- UNI EN 14199 Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Micropali;
- UNI EN 12794 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Pali di fondazione (norma armonizzata);
- UNI EN 10025 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parti 1,2,3,4,5,6 (la Parte 1 è una norma armonizzata);
- UNI EN 10034 Travi ad I e H di acciaio per impieghi strutturali;
- UNI EN 10080 Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità;
- UNI EN 10210-1 Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura (norma armonizzata);
- UNI EN 10210-2 Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo;
- UNI EN 10219-1 Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura (norma armonizzata);
- UNI EN 10219-2 Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo;
- UNI EN 10255 Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura - Condizioni tecniche di fornitura (norma armonizzata);
- ASTM D4945-08 *Standard test method for high-strain dynamic testing of deep foundations.*

10.1.3. Soggezioni geotecniche e geoidrologiche ed ambientali generali

L'esecuzione dei pali presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni e degli elementi, anche delle informazioni inerenti il terreno da attraversare.

In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:

- presenza di strati altamente permeabili ($D_{10} > 4$ mm),
- presenza di terreni coesivi soffici che possono essere causa di instabilità dello scavo,
- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono essere causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l'uso di utensili speciali,
- presenza di livelli piezometrici artesiani,

- chimica dei materiali da attraversare e dell' acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati nelle varie fasi di costruzione del palo.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, si presuppone da parte dell' Appaltatore la conoscenza dello stato in essere. In particolare, esiste l'obbligo per l' Appaltatore di verifica e collaborazione nella realizzazione di tutte le opere di presidio dei terreni interrati dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni.

In presenza di terreni superficiali instabili (per esempio zone di riporto) o nelle zone di risanamento preventivo dalle strutture interrate esistenti demolite, dovranno essere realizzate tutte le azioni preventive per la protezione del tratto di scavo instabile.

Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno o restrizioni nella destinazione dei materiali di risulta, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente e alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale.

Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte;
- lavorazioni in adiacenza di linee ferroviarie.

10.1.4. Prove preliminari

10.1.4.1. Prove tecnologiche

Le modalità scelte dall'Appaltatore per la realizzazione dei pali di progetto dovranno essere messe a punto prima di dare inizio ai lavori attraverso la realizzazione di un adeguato numero di "pali di prova delle tecnologie esecutive".

I pali di prova dovranno essere eseguiti alla presenza della Direzione Lavori in aree rappresentative dal punto di vista geotecnico e idrogeologico, prossime a quelle dei pali di progetto. Il numero dei pali di prova dovrà essere non minore dello 0,5% del numero dei pali di progetto, con un minimo di un palo per ciascun tipo di tecnologia esecutiva.

In ogni caso dovranno essere seguite le prescrizioni della Direzione Lavori, cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive.

Qualora l'Appaltatore proponga durante il corso dei lavori di variare le modalità esecutive già inizialmente sperimentate ed approvate, egli dovrà ripetere le prove tecnologiche sopra descritte ed ottenere nuovamente l'approvazione da parte della Direzione Lavori.

Ciò premesso, va inteso che le prove tecnologiche sono totalmente a carico dell' Appaltatore.

10.1.4.2. Prove di progetto

La Direzione Lavori potrà disporre l'esecuzione di ulteriori "prove di progetto" su "pali pilota" appositamente realizzati per la determinazione della resistenza del singolo palo, ai sensi del D.M. 14/01/2008 (cap. 6.4.3.7.1).

Le prove di progetto devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso palo-terreno, o comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del palo in funzione dei carichi e dei tempi.

In ogni caso l'Appaltatore dovrà seguire le indicazioni fornite dalla Direzione Lavori.

Gli oneri per l'esecuzione delle prove di progetto ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

10.1.5. Preparazione del piano di lavoro

Il piano di lavoro dovrà avere le caratteristiche di portanza e capacità drenante, in modo tale da garantire le condizioni di sicurezza per la movimentazione e per le operazioni a cui sono adibite le attrezzature utilizzate per le lavorazioni in oggetto.

Per pali in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere.

10.2. Pali infissi prefabbricati

10.2.1. Definizione

Appartengono a questa categoria i pali infissi, prefabbricati in c.a. o c.a.p. o in acciaio, costituiti da elementi a sezione circolare o poligonale, variabile o non, pieni o cavi internamente, di norma di forma cilindrica o tronco conica.

A seconda che i pali siano prefabbricati in stabilimento od in cantiere, saranno adottate le seguenti tipologie costruttive:

- pali prefabbricati in stabilimento: in calcestruzzo centrifugato ed eventualmente precompresso, di norma a sezione circolare, di forma cilindrica, tronco-conica o cilindro-tronco-conica;
- pali prefabbricati in cantiere: in calcestruzzo vibrato, di norma a sezione quadrata.

10.2.2. Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche

L'adozione dei pali infissi prefabbricati è condizionata da una serie di fattori ambientali e geotecnici; quelli che meritano particolare attenzione sono:

- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione dei pali (norme UNI 9614 e ISO 2631-1);
- danni che l'infissione può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno (norme UNI 9916 e ISO 4866);
- danni che l'infissione dei pali può causare ai pali adiacenti.

Durante l'infissione dei pali prova la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.

Qualora nel corso delle misure vibrazionali fossero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun palo.

10.2.3. Caratteristiche dei materiali

I pali in c.a. saranno realizzati fuori opera con conglomerato cementizio avente resistenza caratteristica di classe non inferiore a 40/50 MPa; devono perciò impiegarsi impasti con basso rapporto acqua-cemento (*slump* inferiore a 7,5 cm) e costruiti in accordo con la norma UNI EN 12794.

Il conglomerato cementizio deve essere opportunamente centrifugato o vibrato; il ricoprimento del ferro dovrà risultare uniforme e maggiore di 25 mm.

Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni del presente Capitolato, tenendo conto delle sollecitazioni cui i pali saranno sottoposti durante il trasporto, il sollevamento e le successive fasi di infissione e di esercizio. L'estremità inferiore del palo sarà protetta e rinforzata da piastre o puntazze metalliche la cui configurazione dipenderà dalla natura e dalle caratteristiche dei terreni del sottosuolo.

In caso di infissione per battitura la testa del palo dovrà essere opportunamente conformata ed eventualmente rinforzata con elementi metallici in grado di ripartire uniformemente nel calcestruzzo le tensioni dovute all'impatto.

La punta del palo potrà essere conica o dotata di una opportuna protezione metallica nel caso che sia previsto l'attraversamento di strati compatti o granulari.

Qualora il palo utilizzato fosse composto da elementi giuntati, i giunti di collegamento dovranno garantire le condizioni di continuità strutturale e in grado di assicurare un livello di durabilità equivalente.

Tali attributi dovranno essere supportati, oltre che da opportuna documentazione tecnica di calcolo, da prove sperimentali in scala reale eseguite presso laboratori certificati e approvati dalla Direzione Lavori.

Ogni partita di pali dovrà essere dotata di marcatura CE e dalla prescritta documentazione a corredo, in accordo con la norma UNI EN 12794, attestante la resistenza caratteristica del conglomerato cementizio impiegato, la distribuzione delle armature, la data di getto. La Direzione Lavori ha la facoltà di fare eseguire prove di controllo della geometria del fusto e delle armature e delle caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati.

Per quanto riguarda i pali in acciaio, il materiale utilizzato dovrà rispondere ai criteri specificati nel presente Capitolato ed i prodotti semilavorati dovranno essere dotati di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

L'acciaio dovrà essere saldabile, non legato a grano fine in conformità con le norme UNI EN 10210 e UNI EN 10219.

Non dovranno essere utilizzati tubi spiralati.

Per un tubo formato da più elementi le eventuali saldature longitudinali dovranno essere sfalsate di 90°, inoltre tutte le saldature circolari dovranno essere controllate e certificate mediante:

- ispezione visive;
- controlli radiografici (raggi X o gamma), in accordo con le norme UNI EN 1290 e UNI EN 1291;
- controlli mediante liquidi penetranti- filtranti, in accordo con le norme UNI EN 1289:2003.

Per le saldature valgono comunque le prescrizioni elencate nella norme UNI EN 15609, UNI EN ISO 5817 e UNI EN ISO 9692, riassunte nella tabella qui riportata.

In caso di infissione per battitura, il tubo potrà eventualmente contenere una zona di rinforzo in corrispondenza della testa per assicurare un'adeguata ripartizione del carico trasmesso dalla cuffia del battipalo o, nel caso di battitura sul fondo, dovrà essere dotato di un particolare spessore e fondello nella zona di contatto con il mandrino di prolunga.

In questo ultimo caso dovranno essere effettuati opportuni trattamenti termici per evitare fenomeni di fragilità nelle zone di saldatura fra il tappo di fondo e l'elemento tubolare.

Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali dei tubi valgono le seguenti prescrizioni:

- Tolleranza sul diametro esterno = +0.3% / -0.75% dello spessore nominale e , comunque, con l'ulteriore condizione sulle estremità pari a +2.4 mm / - 0.8 mm;
- Tolleranza sull'ovalizzazione = la differenza fra diametro maggiore esterno e diametro minore esterno dovrà essere inferiore all'1% del diametro nominale esterno;
- Spessore = le differenze dovranno essere comprese fra +15% e -12,5% ;
- Rettilinearità = La deviazione della linea retta dovrà essere inferiore od uguale allo 0.1% della lunghezza del tubo. La misura della deviazione sarà fatta tirando un nastro od una fune fra le due estremità del tubo, e misurando la deviazione massima del tubo dalla retta; la rettilinearità delle barre dovrà essere verificata in almeno due piani ortogonali fra di loro.

Tabella prescrizioni per saldature

SALDATURA						CONTROLLI		
Tipo di giunzione	Tipo di saldatura	Preparazione giunzione	Tipo di elettrodo	Tipo di processo (EN ISO 4063)	Saldatura	Classe di accettazione difetti	Tipo di test	Estensione
giunto di testa-A	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692	EN 499	111	UNI EN 15609	D	osservazione	100%
Giunto di sovrapposizione-A	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692		114				
giunto di testa- B	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692		12				
giunto di sovrapposizione-B	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692		131				
				135		D	osservazione	100%
				136		D	osservazione	100%

A) per giunzioni strutturali

B) per giunzioni non strutturali

10.2.4. Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:

- sulla lunghezza: uguale a $\pm 1\%$;
- sul perimetro: uguale a $\pm 2\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto: $<3\%$;
- errore rispetto alla posizione planimetrica: ± 0.1 m in tutte le direzioni.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa, tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per avviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

10.2.5. Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura e spese dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo. Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.

L'Appaltatore dovrà presentare:

- una pianta della palificata con la posizione planimetrica di tutti i pali, inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo;
- un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine e sui pali già installati.

10.2.6. Infissione

10.2.6.1. Generalità

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme UNI EN 996;

L'installazione del palo potrà avvenire per battitura, vibrazione o per un combinazione dei due sistemi.

I tipi di battipalo impiegati per l'infissione dei pali sono i seguenti:

- battipalo a vapore ad azione singola;
- battipalo a vapore a doppia azione;
- battipalo diesel;
- battipalo idraulico.

10.2.6.2. Infissione per battitura

L'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo di battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero dei colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica e il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

I criteri di battitura e gli elementi che ne influenzano il processo dovranno essere preventivamente definiti in modo che non si generino nei pali tensioni superiori a quelle ammissibili.

L'Appaltatore dovrà dimostrare tale presupposto con i metodi di calcolo noti nella letteratura tecnica (equazione dell'onda d'urto).

Qualora le condizioni del sito fossero tali da render incerta la valutazione, per via teorica, delle sollecitazioni indotte, la Direzione Lavori, nell'ambito delle prove tecnologiche preliminari, potrà richiedere che le prove di battitura siano eseguite in presenza di dispositivi di monitoraggio dinamico.

Le misure dinamiche sui pali in fase di battitura verranno eseguite, secondo le modalità descritte nella norma ASTM 0-4945, durante l'intera fase di battitura di tutti i pali del campo prova.

Le misure dinamiche verranno interpretate dallo stesso specialista che esegue le misure mediante il risolutore dell'equazione d'onda CAPWAP (Holloway, 1978) o altro metodo simile, preventivamente approvato dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

Durante la battitura dovranno essere sempre verificate le seguenti condizioni di tensione massima nei materiali:

- Sforzo di compressione, nei pali prefabbricati in c.a./c.a.p. (inclusa la precompressione): $\leq 0.8 \times R_{ck}$ ove: R_{ck} = resistenza caratteristica del calcestruzzo al momento dell'installazione;
- Sforzo di trazione, nei pali prefabbricati in c.a./c.a.p.: $\leq (0.8 f_{yk} - R_p)$ ove: f_{yk} = resistenza caratteristica a snervamento delle armature, R_p = sforzo generato dalla precompressione;
- Sforzo di trazione/compressione, nei pali in acciaio: $\leq 0.9 f_{yk}$ ove: f_{yk} = resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'attivazione di elevati sforzi di trazione nel passaggio da uno strato di elevata compattezza ad uno strato di particolare deformabilità.

10.2.6.3. Infissione per vibrazione

L'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di vibrazione che intende utilizzare:

- peso della morsa vibrante;
- ampiezza e frequenza del vibratore.

La forza centrifuga e l'ampiezza del vibratore dovranno essere scelte in funzione del palo, del terreno e delle condizioni al contorno quali la presenza di strutture. In prossimità di strutture sensibili, è obbligatorio l'impiego di vibratorii ad alte frequenze (> 2000 vpm o 33 Hz) e dotati di sistemi anti-risonanti per la fase di avvio e di arresto delle masse eccentriche.

10.2.6.4. Aspetti generali d'installazione

Prima di essere infisso, il fusto del palo dovrà essere suddiviso in tratti di 0,25 m, contrassegnati con vernice di colore contrastante rispetto a quello del palo.

Gli ultimi 2,0 m - 4,0 m del palo dovranno essere suddivisi in tratti da 0,1 m, onde rendere più precisa la rilevazione dei rifiuti nella parte terminale della battitura.

L'arresto della battitura del palo potrà avvenire solo dopo aver raggiunto:

- a) la lunghezza minima di progetto;
- b) il rifiuto minimo specificato.

Precisazioni dettagliate concernenti il punto B) saranno fornite all'Appaltatore dalla Direzione Lavori, note le caratteristiche del sistema d'infissione.

Nei casi in cui fosse evidenziata l'impossibilità di raggiungere le quote minime di progetto, dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano alla Direzione Lavori di prendere le opportune decisioni, sentito eventualmente il Progettista.

In condizioni geotecniche particolari la Direzione Lavori può richiedere la ribattitura di una parte dei pali già infissi per un tratto in genere non inferiore a 0,3÷0,5 m.

In questo caso si dovranno rilevare i "rifiuti" per ogni 0,1 m di penetrazione, evidenziando in modo chiaro nei rapporti di cantiere che si tratta di ribattitura.

In caso di "rifiuto" anticipato rispetto alle condizioni di progetto, sono eventualmente ammessi metodi ausiliari di installazione del palo quali:

- perforazione di fori di alleggerimento,
- iniezioni di acqua ad alta energia ,
- predemolizione con esplosivo,
- perforazione in avanzamento,

purchè tali metodi non influenzino negativamente la capacità portante del palo e producano effetti sulla stabilità di terreni e conseguenze sulle strutture in più immediata adiacenza.

10.2.7. Controlli e documentazione lavori

L'infissione di ogni singolo palo dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:

- identificazione del palo;
- data di costruzione del palo;
- data di infissione;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- velocità di avanzamento/colpi maglio ogni 0,10 m negli ultimi 1,0 m - 2,0 m e ogni 1,0 m nel tratto precedente;
- profondità raggiunta;
- profondità di progetto;
- rifiuti di eventuale ribattitura.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

Qualora prevista il monitoraggio dinamico di battitura, dovranno essere resi disponibili diagrammi riportanti le grandezze rilevate ed interpretate in funzione della profondità e in funzione del tempo.

La scheda di ciascun palo dovrà inoltre contenere i dati relativi all' effettivo posizionamento piano-altimetrico della testa del palo e, qualora richiesto in progetto, la misura della deviazione dalla verticale effettuata con strumento topografico od inclinometrico approvato dalla Direzione Lavori.

10.3. Pali battuti o roto-infissi, gettati in opera

10.3.1. Definizione

Si tratta di pali in c.a. realizzati, con minima o senza asportazione di terreno, previa installazione di un tuboforma – cilindrico liscio o corrugato o ad elica cava - provvisorio o permanente costituito da un tubo metallico di adeguato spessore chiuso inferiormente da un tappo provvisorio o non.

Completata l'infissione del tubo forma, dopo aver installato la gabbia d'armatura si procede al getto del conglomerato cementizio estraendo contemporaneamente, se previsto, il tuboforma.

La gabbia d'armatura potrà essere installata preventivamente o successivamente alla formazione del fusto in calcestruzzo.

Il tappo di fondo potrà essere in acciaio o in conglomerato cementizio realizzato forzando, mediante battitura, il conglomerato cementizio contro le pareti del tubo forma e contro il terreno alla base.

L'adozione della tipologia di esecuzione sarà conforme a quanto esposto in progetto.

10.3.2. Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche

L'adozione dei pali infissi prefabbricati è condizionata da una serie di fattori ambientali e geotecnici; quelli che meritano particolare attenzione sono:

- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione dei pali (norme UNI9614 e ISO 2631);
- danni che l'installazione dei pali può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI 9916 e ISO 4866);
- danni che l'infissione dei pali può causare ai pali adiacenti.

Durante l'infissione dei pali prova la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.

Qualora nel corso delle misure vibrazionali risultassero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun palo.

10.3.3. Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:

- sulla lunghezza: uguale a $\pm 1\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto: $<3\%$;
- deviazione rispetto alla posizione planimetrica: ± 0.1 m in tutte le direzioni.

Inoltre la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di progetto.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a sua esclusiva cura e spese tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

10.3.4. Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura ed onere dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo; su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.

L'Appaltatore dovrà presentare:

- una pianta della palificata con la posizione planimetrica di tutti i pali inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo;
- un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine e sui pali già installati.

10.3.5. Installazione del tubo forma

L'installazione del tubo forma potrà avvenire mediante battitura, vibro-infissione o roto-infissione.

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme EN996:1995.

10.3.5.1. Infissione con Battipalo

I tipi di battipalo impiegabili per l'infissione dei pali sono i seguenti:

- battipalo diesel;
- battipalo idraulico;

L'infissione può avvenire battendo il tuboforma in sommità oppure sul fondo; in questo ultimo caso essa avverrà attraverso un mandrino rigido. Il tappo di fondo potrà essere di conglomerato cementizio a consistenza appena umida, di ghiaia o metallico.

L'Appaltatore dovrà fornire le seguenti informazioni concernenti il sistema d'infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo del battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero di colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica ed il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

Prima di essere infisso, il tuboforma dovrà essere suddiviso in tratti di 0,25 m, contrassegnati con vernice.

Gli ultimi 2,0 - 4,0 m del turbo-forma dovranno essere suddivisi in tratti da 0,1 m onde rendere più precisa la rilevazione dei rifiuti nella parte terminale della battitura.

L'arresto della battitura del tuboforma potrà avvenire dopo aver raggiunto:

- a) la lunghezza minima di progetto;
- b) il rifiuto minimo specificato.

Precisazioni dettagliate concernenti il punto b) saranno fornite all'Appaltatore dalla Direzione Lavori, note le caratteristiche del sistema di infissione.

Nei casi in cui fosse evidenziata l'impossibilità di raggiungere le quote minime di progetto, dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano alla Direzione Lavori di prendere le opportune decisioni, sentito eventualmente il Progettista.

In condizioni geotecniche particolari la Direzione Lavori può richiedere la ribattitura di una parte dei tubi forma già infissi per un tratto in genere non inferiore a 0,3÷0,5 m.

In questo caso si dovranno rilevare i "rifiuti" per ogni 0,1 m di penetrazione, evidenziando in modo chiaro nei rapporti che si tratta di ribattitura.

10.3.5.2. Roto-infissione del tubo forma

Le attrezzature impiegate dovranno essere fornite di sufficiente coppia torcente e spinta in modo assicurare un processo di installazione del tubo forma continuo, senza interruzioni.

Nel caso che il tubo forma abbia geometria variabile con la lunghezza, tale per cui la sezione prevalente del tubo risulta essere inferiore rispetto a quella dell'utensile di avanzamento, nella parte inferiore esso dovrà essere dotato di un utensile di opportuna conformazione, in grado di esercitare una azione di compattazione sulla superficie laterale del fusto durante la sua fase di estrazione.

10.3.6. Formazione del fusto del palo

10.3.6.1. Generalità

Durante l'installazione e nella eventuale successiva fase di estrazione non dovrà in alcun modo verificarsi l'entrata di acqua all'interno del tubo forma.

Nel caso di pali eseguiti con tuboforma temporaneo, nessun nuovo palo potrà essere eseguito ad una distanza inferiore a sei diametri (da centro a centro) dal palo appena completato, sino a che quest'ultimo non avrà raggiunto una sufficiente resistenza. In assenza di riscontri effettivi sui tempi di presa del calcestruzzo si dovrà assumere un tempo minimo di attesa di 24 ore.

Nel caso di terreni coesivi soffici con una coesione non drenata inferiore a 50 kPa, la distanza minima sopra indicata (da centro a centro) dovrà essere aumentata secondo quanto mostrato in tabella:

Cu (kPa)	Distanza Minima (m)
50	6
40	7
30	8
20	9.5
15	10

10.3.6.2. Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio costipato

Ultimata l'infissione del tubo forma si provvederà, se previsto in progetto, all'espulsione del tappo ed alla formazione del bulbo di base, forzando mediante battitura il conglomerato cementizio nel terreno ed evitando nel modo più assoluto l'ingresso di acqua e/o terreno nel tuboforma.

Per la formazione del bulbo di base si adotterà un conglomerato cementizio avente:

- rapporti acqua-cemento: $A/C < 0,4$;
- slump al cono di Abrams: $S < 4$ cm.

Il getto del fusto del palo si effettuerà evitando segregazioni ed in totale assenza di acqua, introducendo dall'alto piccole quantità di conglomerato cementizio da costiparsi via via per battitura o a pressione.

Dopo aver formato il bulbo, la formazione del fusto avverrà con modalità di posa del calcestruzzo analoghe, ma energie minori di costipamento.

Tale metodologia di formazione del fusto non è ammessa allorché:

- è previsto il tuboforma permanente;
- il terreno circostante il palo sia argilloso non saturo;
- il terreno circostante sia così deformabile da provocare la deformazione della gabbia di armatura durante il costipamento del conglomerato cementizio.

Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato impiegando aggregati di appropriata granulometria previamente approvata dalla Direzione Lavori e dovrà avere la resistenza caratteristica di progetto, risultando comunque di classe non inferiore a 25/30 MPa.

Contemporaneamente alle operazioni di getto del conglomerato cementizio si procederà, se previsto, all'estrazione del tubo forma controllando di mantenere comunque un dislivello minimo tra conglomerato cementizio all'interno del palo e la scarpa del tubo forma tale da evitare l'entrata dell'acqua e/o terreno circostante.

Per una corretta e sistematica identificazione del livello del conglomerato cementizio, il cavo di sostegno del mandri-no/massa battente dovrà essere munito di opportuni e frequenti contrassegni.

In ogni caso l'Appaltatore dovrà fornire prima di iniziare i lavori una dettagliata descrizione delle modalità di getto che si impegna a adottare.

10.3.6.3. Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio colato

Per la metodologia "conglomerato cementizio colato" si adotteranno impasti aventi:

- rapporto acqua-cemento: $A/C = 0,5$;
- *slump* al cono di Abrams: $S > 16$ cm.

Il calcestruzzo verrà posto in opera mediante tubo di convogliamento con tramoggia o direttamente dal cavo interno del tubo forma sempre mediante tramoggia o pompa da calcestruzzo.

Nel caso di calcestruzzo pompato dal cavo interno del tubo forma, l'alimentazione di calcestruzzo dovrà essere controllata in termini di volume gettato (mediante flussimetro o sensore volumetrico alla pompa) e di pressione del fluido all'interno del tubo stesso mediante sensori di pressione.

Qualora il tubo forma abbia funzione temporanea e venga estratto, durante la fase di getto dovranno verificarsi le seguenti condizioni:

- nel caso di utilizzo di un tubo convogliatore, la base di quest'ultimo dovrà risultare ad una quota inferiore al tubo forma di almeno un metro, mentre il livello del calcestruzzo dovrà sempre essere più alto di almeno tre metri rispetto alla scarpa inferiore del tubo forma;
- nel caso di calcestruzzo pompato, che il volume effettivo di getto progressivo e puntuale risulta essere sempre superiore al valore teorico e che la pressione di alimentazione risulti essere sempre positiva.

10.3.6.4. Posa in opera delle armature

Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni del presente Capitolato, ed essere conformi al progetto.

La quantità minima di armatura dovrà essere superiore a:

- 0.50 % della sezione nominale del palo;
- non inferiore a n. 4 barre $\varnothing 12$ mm.

Le armature trasversali dei pali saranno costituite da una spirale in tondino esterna ai ferri longitudinali di diametro minimo pari a 6 mm e ad una distanza pari a quelle delle armature longitudinali.

Le armature verranno pre-assemblate fuori opera in "gabbie"; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro oppure mediante punti di saldatura elettrica. Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo di:

- 40 mm con tubo forma permanente;
- 50 mm con tubo forma temporaneo;
- 75 mm con classe di esposizione pari a 5 secondo le norme UNI EN 206 o quando le gabbie sono installate dopo la posa del calcestruzzo.

Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio con perno in tondino fissato ai ferri verticali contigui.

I centratori saranno posti a gruppi di 3-4 regolarmente distribuiti sul perimetro e con spaziatura verticale di 3,0 - 4,0 m.

Si ammette la distribuzione delle barre verticali su doppio strato; l'intervallo netto minimo tra barra e barra, misurato lungo la circonferenza che ne unisce i centri, non dovrà in alcun caso essere inferiore a:

- 80 mm con aggregati inferiori o uguali a 20 mm;

- 100 mm con aggregati di diametro superiore.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto e mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del foro. La posa della gabbia all'interno del tubo forma potrà aver luogo solo dopo aver accertato l'assenza dell'acqua e/o terreno all'interno dello stesso.

Qualora all'interno del tuboforma si dovesse riscontrare la presenza di terreno soffice o di infiltrazioni di acqua, la costruzione del palo dovrà essere interrotta previo riempimento con conglomerato cementizio magro; tale palo sarà successivamente sostituito, a spese dell'Appaltatore, da uno o due pali supplementari, previa approvazione della Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista. L'Appaltatore dovrà inoltre adottare gli opportuni provvedimenti atti a ridurre la deformazione della gabbia durante l'esecuzione del fusto; a getto terminato si dovrà comunque registrare la variazione della quota della testa dei ferri di armatura.

10.3.7. Controlli e documentazione dei lavori

Si dovrà provvedere alla esecuzione di una serie di prove di carico a rottura su cubetti di conglomerato cementizio in modo conforme a quanto prescritto dal presente Capitolato ed alle preventive richieste della Direzione Lavori.

L'esecuzione di ogni singolo palo sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori, di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- identificazione del palo;
- geometria della cassaforma;
- tipo di tappo impiegato;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- rifiuto ogni 0,1 m negli ultimi 1 m - 2 m e per ogni metro nel tratto precedente;
- rifiuti di eventuale ribattitura;
- data del getto;
- quantità di conglomerato cementizio posta in opera nella formazione dell'eventuale bulbo e del fusto; limitatamente ai pali eseguiti con conglomerato cementizio costipato si provvederà, nell'ambito dei primi 10 pali e in seguito un palo ogni 20 eseguiti, al rilievo degli assorbimenti parziali ogni 1,0 m;
- misura dell'abbassamento al cono di Abrams (*slump*), rapporto acqua-cemento;
- lunghezza totale del palo: quote fondo e testa palo;
- geometria della gabbia d'armatura;
- registrazione delle eventuali misure vibrazionali.

Nel caso di getto mediante pompa attraverso il cavo interno del tuboforma dovrà essere fornito un diagramma di getto riportante i parametri di getto (portata, volume puntuale di getto e cumulativo e pressione) in funzione della profondità del palo.

10.4. Pali trivellati di medio e grande diametro

10.4.1. Definizione

Si definiscono pali trivellati quelli ottenuti per asportazione del terreno e sua sostituzione con conglomerato cementizio armato mediante perforazione a rotazione o rotopercussione, eseguiti in materiali di qualsiasi natura e consistenza (inclusi murature, calcestruzzi, trovanti e roccia dura), anche in presenza di acqua e/o in alveo con acqua fluente. Durante la perforazione la stabilità dello scavo può essere garantita dall'ausilio di fanghi stabilizzanti, oppure tramite l'infissione di un rivestimento metallico provvisorio.

Si definiscono pali trivellati ad elica continua, i pali realizzati mediante infissione per roto-traslazione di una asta ad elica continua, in cui la stabilità del foro è assicurata dal terreno stesso contenuto fra le spire dell' utensile. La successiva immissione di calcestruzzo avviene attraverso il cavo interno dell'elica, con portate e pressioni controllate con-

temporaneamente all'estrazione dell' utensile. L'eventuale gabbia di armatura viene posta in opera a getto di calcestruzzo completato.

10.4.2. Soggezioni geotecniche e idrogeologiche specifiche

Le tecniche di perforazione devono essere le più adatte in relazione alla natura del terreno attraversato; in particolare:

- la perforazione "a secco" senza rivestimento è ammessa solo in terreni uniformemente argillosi dove può essere eseguita senza alcun ingresso di acqua nel foro;
- la perforazione a fango non è consigliabile in terreni molto aperti senza frazioni medio-fini. Durante la perforazione occorrerà tener conto della esigenza di non peggiorare le caratteristiche meccaniche del terreno circostante il palo; dovranno quindi essere minimizzati:
 - il rammollimento degli strati coesivi;
 - la diminuzione di densità relativa degli strati incoerenti;
 - la diminuzione delle tensioni orizzontali efficaci proprie dello stato naturale;
 - la riduzione dell'aderenza palo-terreno causata da un improprio impiego di fanghi.

La scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto, a cura e spese dell'Appaltatore, mediante l'esecuzione di perforazioni di prova, approvate dalla Direzione Lavori prima dell'inizio della costruzione dei pali di progetto.

L'Appaltatore avrà cura di non provocare inquinamenti di superficie o della falda per incontrollate scariche dei detriti e/o dei fanghi bentonitici provenienti dagli scavi; il materiale di risulta dovrà essere sistematicamente portato a deposito, previo trattamento dei fanghi bentonitici, nel caso d'uso, secondo quanto previsto dalla legislazione vigente.

10.4.3. Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:

- sulla lunghezza: uguale a $\pm 1\%$;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di progetto: $<2\%$;
- errore rispetto alla posizione planimetrica:
 - ± 0.1 m in tutte le direzioni con $D \leq 1.0$ m;
 - $\pm 10\% D$ in tutte le direzioni con $1.0 \text{ m} < D \leq 1.5$ m;
 - ± 0.15 m in tutte le direzioni con $D > 1.5$ m.

Si osservi che per la definizione delle tolleranze geometriche, si assume che alla testa il centro del palo corrisponda al centro geometrico delle armature longitudinali o, qualora il palo non sia armato, al centro del cerchio che circonda completamente la sezione effettiva del palo.

Le tolleranze sul diametro nominale D , verificate in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito rilevate con la frequenza indicata successivamente sono le seguenti:

- per ciascun palo, in base all'assorbimento complessivo, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra « $-0,01D$ » e « $+0,1D$ »;
- per ciascuna sezione dei pali sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra « $-0,01D$ » e « $+0,1D$ ».

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

10.4.4. Tracciamento

Prima di iniziare la perforazione, a cura e spese dell'Appaltatore si dovrà indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.

Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.

Tale pianta, redatta e presentata alla Direzione Lavori dall'Appaltatore, dovrà indicare la posizione di tutti i pali, inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo.

In corrispondenza di ciascun palo sarà posto in opera un avampozzo provvisorio di lamiera d'acciaio con funzioni di guida dell'utensile, di riferimento per la posizione planaltimetrica della sommità del palo e di difesa dall'erosione del terreno ad opera del liquido eventualmente presente nel foro.

Esternamente all'avampozzo saranno installati riferimenti atti a permettere il controllo della sua posizione planimetrica durante la perforazione.

10.4.5. Perforazione

10.4.5.1. Attrezzature

Il tipo, la potenza e la capacità operativa delle attrezzature dovranno in ogni caso essere adeguate alla consistenza del terreno da attraversare, alle caratteristiche e dimensioni dei diaframmi da eseguire nei tempi previsti.

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme UNI EN 996;

L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di opportuni sistemi meccanici e/o elettronici per il controllo della profondità di scavo.

Per la verifica e la registrazione della deviazione dello scavo è richiesta la misura mediante inclinometri biassiali montati sull'utensile di scavo o su apposito testimone calato nello scavo ultimato o, in alternativa, mediante sistemi basati sul metodo di "eco-scandaglio" delle pareti del foro.

10.4.5.2. Perforazione a secco senza rivestimento

Può essere effettuata esclusivamente nei terreni coesivi di media o elevata consistenza (coesione non drenata > 0,03 MPa) non fessurati, esenti da intercalazioni incoerenti e non interessati da falde che possano causare ingresso di acqua nel foro con trascinarsi di materiale e franamenti.

Vale inoltre la seguente condizione:

$$L \leq 3 C_u / \gamma$$

dove:

C_u = coesione non drenata del materiale,

L = lunghezza di scavo,

γ = peso totale del terreno.

10.4.5.3. Perforazione con impiego di tubazione di rivestimento provvisoria

La tubazione sarà costituita da tubi di acciaio, di diametro esterno pari al diametro nominale del palo, suddivisi in spezzoni lunghi 2,0÷2,5 m connessi tra loro mediante manicotti esterni filettati o innesti speciali a baionetta, con risalti interni raccordati di spessore non superiore al 2% del diametro nominale.

L'infissione della tubazione di rivestimento sarà ottenuta, imprimendole un movimento rototraslatorio mediante la testa di rotazione dotata di opportuno adattatore, da una morsa azionata da comandi oleodinamici, oppure applicandole in sommità un vibratore di adeguata potenza.

In questo secondo caso la tubazione potrà essere suddivisa in spezzoni più lunghi di 2,50 m o anche essere costituita da un unico pezzo di lunghezza pari alla profondità del palo.

L'infissione con vibratore sarà adottata in terreni poco o mediamente addensati, privi di elementi grossolani e prevalentemente non coesivi.

È ammessa la giunzione per saldatura degli spezzoni purché non risultino varchi nel tubo che possano dar luogo all'ingresso di terreno.

La perforazione all'interno dei tubi di rivestimento potrà essere eseguita mediante:

- benna automatica con comando a fune o azionata oleodinamicamente;
- secchione (bucket) manovrato da un'asta rigida o telescopica;

ed in entrambi i casi si dovrà conseguire la disagregazione del terreno e la estrazione dei detriti dal foro.

In terreni sabbiosi si potrà fare ricorso anche ad utensili disagregatori rotanti con risalita dei detriti per trascinamento ad opera di una corrente ascendente di acqua.

Nel caso di presenza di falda, il foro dovrà essere costantemente tenuto pieno d'acqua (o eventualmente di fango bentonitico), con un livello non inferiore a quello della piezometrica della falda.

In generale la perforazione non dovrà essere approfondita al disotto della scarpa del tubo di rivestimento.

10.4.5.4. Perforazione in presenza di fango bentonitico

Il fango bentonitico dovrà essere preparato, trattato e controllato seguendo le modalità descritte nello specifico articolo del presente Capitolato d' Appalto.

La perforazione sarà eseguita mediante "Bucket" azionato da asta rigida o telescopica oppure mediante benna dotata di virola superiore di centramento e guida.

In entrambi i casi il corpo dell'utensile dovrà lasciare uno spazio anulare tra esso e la parete del foro di ampiezza sufficiente ad evitare "effetti pistone" allorché l'utensile viene sollevato.

Gli utensili di perforazione dovranno avere conformazione tale da non lasciare sul fondo del foro detriti smossi o zone di terreno rimaneggiato.

Il Bucket dovrà essere provvisto delle aperture per la fuoriuscita del fango all'atto dell'estrazione.

Il livello del fango nel foro dovrà essere in ogni caso più alto della massima quota piezometrica delle falde presenti nel terreno lungo la perforazione.

Il franco dovrà risultare di norma non inferiore a 1,00 m e non dovrà scendere al di sotto di 0,70 m all'atto dell'estrazione dell'utensile dal foro;

Per assicurare sempre un'opportuna condizione di carico idraulico ed un'opportuno polmone di fluido e la stabilità superficiale, l'avampozzo dovrà avere un'altezza superiore al carico idraulico richiesto e una profondità di immersione e non inferiore a 3 m.

La distanza minima fra due perforazioni attigue in corso, appena ultimate o in corso di getto, dovrà essere tale da impedire pericolosi fenomeni di interazione e comunque non inferiore ai 5 diametri (da centro a centro).

Il materiale portato in superficie dovrà essere sistematicamente portato a deposito.

L' impianto di preparazione e stoccaggio dei fanghi di stabilizzazione, dovrà essere dimensionato in modo tale da assicurare una quantità di fango disponibile non inferiore al volume totale del palo di maggiori dimensioni previste nel progetto, in modo da garantire una sufficiente alimentazione in caso di perdita improvvisa del fango all'interno dello scavo.

Qualora non fosse possibile ripristinare il livello con opportuni volumi di fango, l'Appaltatore dovrà sempre prevedere di riempire lo scavo con materiale stabile e riscavabile (magrone o similare).

Al termine della perforazione si dovrà procedere alla pulizia dei detriti rimasti sul fondo e alla parziale o totale sostituzione totale del fango presente nel pannello al fine di riportarlo alle caratteristiche richieste per l'esecuzione del getto, come indicato all' articolo specifico. I controlli del fango prima del getto dovranno essere eseguiti a più livelli (con la quota più profonda a 50 cm dal fondo).

Le operazioni dovranno essere programmate e condotte in modo da evitare interazioni pregiudizievoli alla buona riuscita del lavoro tra elementi in corso di esecuzione o appena ultimati.

Qualora in fase di completamento della perforazione fosse accertata l'impossibilità di eseguire rapidamente il getto (sosta notturna, mancato trasporto del conglomerato cementizio ecc.), sarà necessario interrompere la perforazione alcuni metri prima ed ultimarla solo nell'imminenza del getto.

10.4.5.5. Perforazione con elica continua

Si utilizzerà un'elica continua cilindrica, gradualmente infissa nel terreno con moto rotatorio, fino alla profondità della base del palo. I detriti verranno in parte portati a giorno dalla rotazione dell'elica, in parte vi aderiscono e saranno estratti insieme ad essa alla fine della perforazione. Nei terreni più deformabili parte del volume corrispondente al palo è assorbita dalle deformazioni radiali del terreno.

Una "puntazza" temporanea dovrà essere a tenuta al fine di evitare la risalita di materiale e acqua all'interno della parte cava dell'asta.

La perforazione dovrà essere condotta con la massima velocità di avanzamento e minimizzando il numero di rotazioni effettuata dall'elica.

Durante la fase di avanzamento si dovrà sempre garantire la presenza di materiale fra le spire dell'elica, in grado di assicurare la stabilità del foro e che il materiale estratto non sia superiore al volume teorico del foro.

In presenza di materiale instabile avente uno spessore superiore al diametro del palo, la fattibilità del metodo dovrà essere dimostrata alla Direzione Lavori con prove preliminari o con esperienze eseguite in terreni simili. Si definisce come terreno instabile, un materiale avente le seguenti caratteristiche:

- Terreno granulare con un coefficiente di uniformità (D_{60}/D_{10}) < 1.5 sotto falda,
- Terreno granulare con densità relativa D_r inferiore al 30 %,
- Argille sensitive,
- Terreni coesivi con coesione non drenata $C_u < 15$ kPa.

Durante la perforazione non è ammessa nessuna estrazione parziale dell'utensile e nessuna contro-rotazione; nel caso dovesse verificarsi tale eventualità l'esecuzione del palo dovrà essere sospesa e la cavità riempita con calcestruzzo magro. Tutti gli oneri di rifacimento del palo e conseguenti oneri di riadattamento delle opere di fondazione saranno a carico dell'Appaltatore.

Durante la perforazione è richiesta la registrazione in continuo e la relativa elaborazione grafica:

- della velocità di perforazione verticale,
- della velocità di rotazione delle aste ad elica,
- della spinta verticale o bilanciamento,
- della coppia torcente applicata alle aste.

10.4.5.6. Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose

Nel caso di presenza nel terreno di trovanti lapidei, non estraibili con i normali metodi di scavo, o di strati rocciosi o cementati e per conseguire una adeguata immorsatura del palo nei substrati rocciosi di base, si farà ricorso all'impiego di scalpelli frangiroccia azionati a percussione, di peso e forma adeguati.

L'uso di queste attrezzature dovrà essere frequentemente alternato a quello della benna o del bucket, che hanno il compito di estrarre dal foro i materiali di risulta.

In alternativa, ed in relazione alla natura dei materiali attraversati, potranno essere impiegate speciali attrezzature fresanti a circolazione inversa di fango.

10.4.5.7. Controlli

La Direzione Lavori controllerà in fase di esecuzione del perforo la rispondenza delle stratigrafie di progetto con quelle effettive.

In presenza di eventuali discordanze o nel caso che alla base del palo si rinvenga un terreno più compressibile e/o molto meno resistente del previsto, o comunque altre anomalie, dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano alla Direzione Lavori di prendere le opportune decisioni, sentito eventualmente il Progettista.

Durante la perforazione saranno continuamente condotti i controlli sulla qualità del fango stabilizzante, riportandolo se necessario entro i limiti previsti nello specifico articolo, registrandoli su un opportuno modulo di cantiere.

Alla fine della perforazione si misurerà, in contraddittorio con la Direzione Lavori, la profondità del perforo con uno scandaglio e tramite il sistema di controllo elettronico installato sull'attrezzatura; l'operazione verrà effettuata anche all'inizio ed al termine di eventuali interruzioni prolungate della lavorazione in corrispondenza dei turni di riposo o per altri motivi.

Nel caso di misura delle deviazioni, i dati monitorati dovranno essere restituiti mediante opportuni diagrammi riportanti l'andamento dell'asse palo con la profondità, nelle due direzioni trasversali.

Per i pali ad elica continua, dovranno essere forniti i diagrammi in funzione della profondità e del tempo dei parametri di perforazione.

10.4.6. Armature metalliche

Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni del presente Capitolato ed essere conformi al progetto.

Le armature trasversali dei pali saranno costituite da una spirale in tondino esterna ai ferri longitudinali.

Le armature verranno pre-assemblate fuori opera in "gabbie"; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro oppure mediante punti di saldatura elettrica.

La quantità minima di armatura dovrà essere superiore a:

- 0.50% di A_c (sezione A_c nominale del palo), se $A_c \leq 0.5 \text{ m}^2$,
- 0.0025 m^2 , se $0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$,
- 0.25% di A_c , se $0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$,
- non inferiore a n. 4 barre $\varnothing 12 \text{ mm}$.

Le armature trasversali dei pali saranno costituite da una spirale in tondino esterna ai ferri longitudinali di diametro minimo pari a 6 mm e ad una distanza pari a quelle delle armature longitudinali.

Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo (inteso come distanza tra pareti di scavo ed esterno staffa) di:

- 50 mm, se il diametro del palo $D \leq 0.60 \text{ m}$,
- 60 mm, se $D > 0.60 \text{ m}$,
- 75 mm con classe di esposizione pari a 5 secondo le norme UNI EN 206, quando le gabbie sono installate dopo la posa del calcestruzzo, quando il getto avviene in condizioni subacquee.

Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo (inteso come distanza tra pareti di scavo ed esterno staffa) rispetto alla parete di scavo.

Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio (diametro $12 \div 15 \text{ cm}$ - larghezza $> 6 \text{ cm}$) con perno in tondino fissato a due ferri verticali contigui.

I centratori saranno posti a gruppi di $3 \div 4$, regolarmente distribuiti sul perimetro e con spaziatura verticale di $3 \div 4 \text{ m}$.

Posizioni concentriche, così come indicato dalla UNI EN 1536, di barre longitudinali dovrebbero essere evitate ove possibile. Laddove si utilizzino posizioni concentriche di barre longitudinali si dovrà rispettare quanto segue:

- il massimo numero di posizioni deve essere di due per i pali trivellati circolari;
- le barre delle singole posizioni devono essere posizionate radialmente l'una alle altre;
- la minima distanza libera tra le posizioni di barre deve essere pari alla misura maggiore tra il doppio del diametro della barra longitudinale e le dimensioni dell'aggregato grossolano moltiplicato per 1,5.

L'intervallo netto minimo tra barra e barra, misurato lungo la circonferenza che ne unisce i centri, non dovrà in alcun caso essere inferiore a:

- 80 mm con aggregati inferiori o uguali a 20 mm;
- 100 mm con aggregati di diametro superiore.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto e mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del foro.

In caso di gabbie composte da più elementi verticali, la giunzione verrà realizzata con sovrapposizione o manicotti

Ai fini della esecuzione delle prove geofisiche descritte nel relativo paragrafo, l'Appaltatore dovrà fornire e porre in opera, a sua cura e spese, nel 5% del numero totale di pali trivellati con un minimo di 2 pali, quattro tubi estesi a tutta la lunghezza del palo, solidarizzati alla gabbia di armatura.

La distanza minima fra il fondo dello scavo e la gabbia di armatura dovrà essere pari a 200 mm.

L'impiego di profilati metallici è consentito, purché la configurazione delle armature sia tale da assicurare il completo spiazamento del fango stabilizzante e che durante il getto si garantisca un continuo immersionamento degli elementi metallici nel calcestruzzo. Tale condizione dovrà essere verificata preventivamente con prove in scala reale che dimostrino, dopo il getto la totale assenza di sacche di fango di perforazione misto a terreno intrappolate nel calcestruzzo in prossimità delle superfici di contatto con l'acciaio.

10.4.7. Formazione del fusto del palo

10.4.7.1. Preparazione e trasporto del conglomerato cementizio

Il conglomerato cementizio sarà conforme a quanto previsto nello specifico articolo del presente Capitolato.

La dimensione massima degli aggregati dovrà essere inferiore al valore minimo di interspazio tra le armature e comunque non superiore a 32 mm.

Il conglomerato cementizio dovrà risultare di classe di resistenza bassa o media, comunque con resistenza caratteristica non inferiore a 25 MPa.

Il rapporto acqua/cemento non dovrà superare il valore di 0,60 nella condizione di aggregato saturo a superficie asciutta, con un quantitativo minimo di cemento pari a 360 kg/m³.

In accordo con le norme UNI EN 206, il calcestruzzo dovrà essere di classe S4 o S5; si raccomanda uno *slump* al cono di Abrams:

- S >18 per pali trivellati;
- S > 20 per pali trivellati ad elica continua;
- S > 22 o SCC per pali trivellati ad elica continua con lunghezza superiore a 30 m.

Il calcestruzzo dovrà essere fornito con dichiarazione di conformità del prodotto e con i certificati di conformità (marcatura CE) per i materiali impiegati nel suo confezionamento.

Per soddisfare entrambi questi requisiti potrà essere aggiunto all'impasto un idoneo additivo superfluidificante non aerante; è ammesso altresì l'uso di ritardanti di presa o superfluidificanti con effetto ritardante (UNI EN 934-2).

I prodotti commerciali che l'Appaltatore si propone di usare dovranno essere sottoposti all'esame ed all'approvazione preventiva della Direzione Lavori. I mezzi di trasporto dovranno essere tali da evitare segregazioni dei componenti.

Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato e trasportato con un ritmo tale da consentire di completare il getto del palo senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile. In ogni caso ciascun getto dovrà venire alimentato con una cadenza effettiva, inclusi tutti i tempi morti, non inferiore a 15 m³/h per pali di diametro < 800 mm e di 20 m³/h per pali di diametro > 800 mm, in ogni caso, con un interruzione mai superiore ai 20 minuti.

Il getto di un palo dovrà comunque essere completato in un tempo tale che il calcestruzzo rimanga sempre lavorabile. La centrale di confezionamento dovrà quindi consentire l'erogazione nell'unità di tempo di volumi di conglomerato cementizio almeno doppi di quelli teorici richiesti, secondo le prescrizioni di cui al punto seguente.

Per i pali trivellati in presenza di acqua di falda in movimento, potrà essere prevista la posa in opera un in lamierino di adeguato spessore per il contenimento del getto.

10.4.7.2. Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati

Il getto del conglomerato cementizio avverrà impiegando il tubo di convogliamento.

Esso sarà costituito da sezioni non più lunghe di 2,50 m di un tubo in acciaio avente diametro interno 20 - 25 cm.

L'interno del tubo dovrà essere pulito, privo di irregolarità e strozzature.

Il tubo sarà provvisto, all'estremità superiore, di una tramoggia di carico avente una capacità di $0,4\pm 0,6 \text{ m}^3$ e mantenuto sospeso da un mezzo di sollevamento.

Prima di installare il tubo di convogliamento sarà eseguita una ulteriore misura del fondo foro.

Per pali trivellati in presenza di acqua di falda o impiegando fango bentonitico, il tubo di convogliamento sarà posto in opera arrestando il suo piede a $30\div 60 \text{ cm}$ dal fondo della perforazione; prima di iniziare il getto si disporrà entro il tubo, in prossimità del suo raccordo con la tramoggia, un tappo formato da una palla di malta plastica oppure da uno strato di 30 cm di spessore di vermiculite granulare o palline di polistirolo galleggianti sul liquido, oppure ancora da un pallone di plastica.

All'inizio del getto si dovrà disporre di un volume di conglomerato cementizio pari a quello del tubo di convogliamento e di almeno $3,0$ o $4,0 \text{ m}$ di palo.

Il tubo di convogliamento sarà accorciato per tratti successivi nel corso del getto, sempre conservando una immersione minima nel conglomerato cementizio di $2,5 \text{ m}$ e massima di $6,0 \text{ m}$.

Per pali trivellati a secco non occorre alcun tappo alla sommità del tubo di getto.

Viene inoltre precisata la necessità assoluta che la scapitozzatura delle teste dei pali sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del palo non rispondono a quelle previste.

In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del palo sino alla quota di sottopinto.

10.4.7.3. Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati con elica continua

Il calcestruzzo sarà posto in opera pompandolo nell'asta cava dell'elica, mentre essa viene gradualmente sollevata con rotazione minima e senza mai invertirne il senso.

Il calcestruzzo verrà iniettato con una pressione atta al distacco dell'eventuale fondello-puntazza che occlude alla base dell'elica. L'elica verrà quindi progressivamente estratta, nel corso del getto, applicando uno sforzo di trazione sempre leggermente minore del peso dell'elica e sfruttando la controspinta fornita dal calcestruzzo iniettato che tende a risalire dalla base del palo.

La risalita dell'elica sarà quindi concomitante alla salita del cls nel foro. Nel caso di terreni compressibili, si avrà cura di prevenire rotture e allargamenti a bulbo riducendo il peso dell'elica continua tramite un sistema (regolabile) di sospensione elastica della medesima o modificando la pressione di iniezione.

L'alimentazione di calcestruzzo dovrà essere controllata in termini di volume puntuale e progressivo gettato (mediante flussimetro o sensore volumetrico alla pompa) e di pressione del fluido all'interno della tubazione mediante sensori di pressione. E' quindi richiesta la registrazione in continuo e la relativa elaborazione grafica della velocità di risalita, della pressione di iniezione e della quantità di cls iniettato.

Viene inoltre precisata la necessità assoluta che la scapitozzatura delle teste dei pali sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del palo non rispondono a quelle previste. In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del palo sino alla quota di sottopinto.

10.4.7.4. Condizioni particolari

La quota finale di getto dovrà essere opportunamente incrementata nei casi in cui:

- la quota finale di getto è posta ad una certa profondità dal piano di lavoro,
- il getto avviene in condizione subacquee,
- il getto avviene con recupero di un rivestimento temporaneo.

Quando la quota finale di getto risulta essere inferiore alla quota del piano di lavoro, al termine del getto, la parte di perforazione "a vuoto" dovrà essere riempita con opportuno materiale evitando qualsiasi contaminazione del calcestruzzo gettato con tutti gli accorgimenti necessari ed evitare qualsiasi danneggiamento o movimento della gabbia di armatura.

In presenza di un terreno caratterizzato da un decadimento delle caratteristiche meccaniche nel tempo, nel caso in cui il palo in esecuzione non possa essere completato nel normale turno di lavoro giornaliero, la perforazione eseguita nel giorno successivo per il suo completamento dovrà essere superiore:

- ad almeno due volte il diametro,

- non meno di 1.5 m.

10.4.7.5. Controlli

Si dovrà provvedere alla esecuzione di:

- una analisi granulometrica ogni 500 m³ di inerte impiegato;
- una serie di prove di carico a rottura su provini di conglomerato cementizio prelevati in numero e modalità conformi a quanto prescritto nel presente Capitolato e inoltre quando richiesto dalla Direzione Lavori;
- una prova con il cono per ogni betoniera o 8 m³ di conglomerato cementizio impiegato (abbassamento al cono UNI EN 12350-2);
- il rilievo della quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni palo.

Nei pali trivellati, il rilievo per dose (dose = autobetoniera) dell'assorbimento di conglomerato cementizio e del livello raggiunto dallo stesso entro il foro in corso di getto, sarà fatto impiegando uno scandaglio a base piatta su almeno i primi 10 pali e sul 10% dei pali successivi.

In base a questo rilievo potrà essere ricostituito l'andamento del diametro medio effettivo lungo il palo (profilo di getto).

Nei pali trivellati a elica, per tutti gli elementi realizzati dovranno essere forniti i diagrammi riportanti, in funzione della profondità e del tempo, i parametri operativi di getto:

- velocità di risalita,
- portata,
- pressione,
- volume puntuale unitario di getto (medio su tratto di lunghezza < 25 cm),
- volume cumulativo di getto.

10.4.8. Documentazione dei lavori

L'esecuzione di ogni singolo palo dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:

- identificazione del palo;
- data di inizio perforazione e di fine getto;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- profondità del fondo foro prima della posa del tubo getto;
- *slump* del conglomerato cementizio (UNI EN 12350-2);
- assorbimento totale effettivo del conglomerato cementizio e volume teorico del palo;
- "profilo di getto" ove richiesto.

Nella documentazione generale dovrà inoltre comparire:

- una scheda con le caratteristiche delle polveri bentonitiche e relativi additivi eventualmente usati;
- una scheda con le caratteristiche dei componenti del conglomerato cementizio.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

10.5. Micropali

10.5.1. Definizione, classificazione e campi di applicazione

Si definiscono micropali i pali trivellati di fondazione aventi diametro inferiore a 300 mm con fusto costituito da malta/miscela cementizia od eventualmente calcestruzzo superfluido gettata in opera e da idonea armatura di acciaio.

Per casi particolari, previsti in progetto, è ammesso l'uso di armature speciali in VTR, fibre aramidiche o carbonio.

Modalità ammesse per la formazione del fusto:

- tipo a) Riempimento a gravità;
- tipo b) Riempimento a bassa pressione;
- tipo c) Iniezione ripetuta ad alta pressione.

La modalità tipo c) è particolarmente indicata per essere eseguita in terreni fortemente eterogenei e per conseguire capacità portanti elevate (> 30 t) anche in terreni poco addensati.

10.5.2. Soggezioni geotecniche e geoidrologiche

Le tecniche di perforazione e le modalità di getto dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali.

La scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto, a cura e spese dell'Appaltatore.

10.5.3. Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse sono le seguenti:

- la posizione planimetrica non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 50 mm, salvo diverse indicazioni della Direzione Lavori;
- la posizione altimetrica della testa del micropalo non dovrà scostarsi da quelle di progetto ± 50 mm;
- la lunghezza del micropalo non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 50 mm;
- la deviazione dell'asse del micropalo verticale rispetto all'asse di progetto non dovrà essere maggiore del 2%. Nel caso di micropali inclinati, tale tolleranza è incrementata al 4%;
- la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di progetto;
- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di perforazione di progetto.

Ogni micropalo che risultasse non conforme alle tolleranze qui stabilite dovrà essere idoneamente sostituito, a cura e spese dell'Appaltatore.

10.5.4. Tracciamento

Prima di iniziare la perforazione l'Appaltatore dovrà, a sua cura ed onere, individuare sul terreno la posizione dei micropali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.

Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del micropalo quale risulta dalla pianta della palificata.

Tale pianta, redatta e presentata alla Direzione Lavori dall'Appaltatore, dovrà indicare la posizione planimetrica di tutti i micropali, inclusi quelli di prova, contrassegnati con numero progressivo.

10.5.5. Perforazione

10.5.5.1. Attrezzature

Le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle norme EN 791 e EN996.

Le pompe di alimentazione del fluido di perforazione ed iniezione dovranno assicurare le opportune portate e pressioni richieste dalla metodologia adottata.

Durante la perforazione, le pompe dovranno assicurare portate di almeno 250 lt/min con pressioni minime di 20 bar.

10.5.5.2. Metodologie di perforazione

La perforazione, eseguita mediante rotazione o rotopercolazione in materie di qualsiasi natura e consistenza (inclusi murature, calcestruzzi, trovanti e roccia dura), anche in presenza d'acqua, deve essere in generale condotta con modalità ed utensili tali da consentire la regolarità delle successive operazioni di formazione del fusto del micropalo e in modo tale da garantire il trasferimento adeguato del carico dall'armatura al terreno; in particolare dovrà essere minimizzato il disturbo del terreno nell'intorno del foro.

Il tipo b) necessita che la perforazione sia eseguita con posa di rivestimento provvisorio per tutta la profondità del palo.

Per i tipi a) e c) la perforazione potrà essere eseguita con o senza rivestimento provvisorio, a secco o con circolazione di acqua o di fango di cemento e bentonite, in funzione dell'attitudine delle formazioni attraversate a mantenere stabili le pareti del foro.

La scelta della metodologia sarà stabilita sulla scorta dei risultati ottenuti nelle prove tecnologiche e sui risultati delle prove di carico.

In caso di terreni con strati o frazioni incoerenti medio-fini (sabbie, sabbie e limi) con perforazione ad aria, si dovranno prevenire i fenomeni di fratturazione del terreno ed evitare il violento emungimento della falda a seguito dell'effetto eiettore ed il conseguente dilavamento del terreno, mediante appositi accorgimenti e con l'utilizzo di fluidi di perforazione anti-dilavanti.

In presenza di falda artesiane, dovranno essere messe in opera tutte le opportune precauzioni al fine di evitare fenomeni di espulsione incontrollata di materiale da bocca-foro e il successivo dilavamento delle miscele/malte durante la formazione del fusto del micropalo.

A termine della perforazione il foro dovrà essere accuratamente sgombrato dai detriti azionando il fluido di circolazione o l'utensile asportatore, senza operare con l'utensile disgregatore.

Il materiale di risulta dovrà essere portato a rifiuto dopo aver trattato i fanghi secondo le leggi vigenti.

L'ordine di esecuzione dei pali nell'ambito di ciascun gruppo dovrà assicurare la non interferenza delle perforazioni con fori in corso di iniezione o in attesa di riempimento, ove occorra anche spostando la perforatrice su gruppi contigui prima di ultimare la perforazione dei micropali del gruppo in lavorazione.

Per un micropalo ogni 50, e comunque su almeno un micropalo nel caso di numero totale di micropali inferiore a 50, dovrà essere eseguita una ricostruzione stratigrafica qualitativa in funzione delle informazioni ricavate dalla velocità di avanzamento degli utensili di perforazione impiegati e dall'osservazione dei materiali di risulta.

Tale ricostruzione stratigrafica, la quale dovrà essere eseguita in contraddittorio tra impresa e personale tecnico della Direzione Lavori, è finalizzata essenzialmente alla individuazione delle quote del tetto dell'eventuale substrato litoide. Qualora tale quota risulti inferiore di circa 1.0 m rispetto a quanto assunto in fase di dimensionamento, si dovranno fornire alla Direzione Lavori le necessarie evidenze, affinché possano essere prese le decisioni del caso, sentito eventualmente il Progettista.

Le sonde di perforazione impiegate per la realizzazione dei "micropali geognostici" dovranno essere attrezzate con un sistema di registrazione automatica computerizzata per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la restituzione in continuo dei seguenti parametri (DAC test ⁽¹⁾):

- profondità di perforazione;

⁽¹⁾ Monitoraggio di determinati parametri tramite Diagrafia Automatica Continua (DAC). I parametri in questione sono misurati e registrati in continuo dal datalogger, elaborati da un PLC (*Programmable Logic Controller*) o da un *computer* e restituiti graficamente sotto forma di diagrammi continui.

- velocità di perforazione;
- velocità di rotazione in fase di perforazione;
- spinta in fase di perforazione;
- portata del fluido di perforazione;
- pressione del fluido di perforazione;
- energia specifica.

Le risultanze (grafici e dati numerici) dei DAC test dovranno essere tempestivamente trasmesse alla Direzione Lavori, in forma cartacea e su supporto informatico.

10.5.6. Confezione e posa delle armature

Le armature dovranno soddisfare le prescrizioni di cui al presente articolo e saranno in ogni caso estese a tutta la lunghezza del micropalo.

10.5.6.1. Copriferro delle armature

In funzione del materiale impiegato per la formazione del fusto del micropalo, dovranno essere assicurati i seguenti copriferri S minimi:

- miscela cementizia: $S \geq 30$ mm che può essere ridotto 20 mm nel caso in cui l'elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,
- malta cementizia: $S \geq 40$ mm che può essere ridotto 35 mm nel caso in cui l'elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,
- calcestruzzo: $S \geq 50$ mm.

Maggiori valori di copriferro S potranno essere prescritti in progetto, sulla base di particolari condizioni di aggressività delle acque presenti nel sottosuolo (acque contaminate e salmastre). Per la definizione di tali condizioni viene fatto riferimento alle classi di esposizione indicate nella norma UNI EN 206.

10.5.6.2. Armatura con profilati di acciaio

Le caratteristiche geometriche e meccaniche dei profilati dovranno essere conformi a quanto prescritto nei disegni di progetto.

Di norma i profilati dovranno essere costituiti da elementi unici. Saranno ammesse giunzioni saldate, realizzate con l'impiego di adeguati fazzoletti laterali, nel caso di lunghezze superiori ai valori degli standard commerciali ($12 \div 14$ m).

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di richiedere che il saldatore abbia la qualifica a norma UNI 4634.

10.5.6.3. Armature tubolari in acciaio

Si useranno tubi di acciaio rispondenti alle norme UNI EN 10210 o UNI EN 10219 e conformi a quanto riportato nel presente Capitolato all'art. 3. Il tipo di acciaio dovrà corrispondere a quanto riportato in progetto.

Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo dovranno essere ottenute mediante manicotti filettati; Il sistema di filettatura e le sezioni geometriche della zona di raccordo dovranno assicurare una trazione ammissibile pari almeno all'80% carico ammissibile a compressione.

Nel caso i tubi di armatura siano anche dotati di valvole per l'iniezione, essi dovranno essere scovolati internamente dopo l'esecuzione dei fori di uscita della malta allo scopo di asportare le sbavature lasciate dal trapano.

Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli in fili d'acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto. La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.

Non sono ammesse valvole a scomparsa, in cui il foro di uscita della miscela non è protetto da una guaina plastica di ripartizione.

Le armature tubolari dovranno essere dotate di distanziatori non metallici per assicurare il copriferro minimo richiesto. Lungo il fusto del micropalo, l'interspazio fra i distanziatori non dovrà superare i 3 m.

10.5.6.4. Armature in materiale speciale

Nel caso in cui i micropali abbiano un funzione temporanea, limitata nel tempo, per un periodo specificato nei documenti di progetto e comunque non superiore a 12 mesi, è ammesso l'impiego di barre o elementi tubolari in VTR conformi a quanto riportato nel presente Capitolato.

Nell'ambito di interventi definitivi è ammesso l'impiego di armature o elementi tubolari in carbonio. Le caratteristiche dei materiali utilizzati dovranno essere conformi a quanto prescritto in progetto.

10.5.7. Formazione del fusto del micropalo

La formazione del fusto dovrà iniziare in una fase immediatamente successiva alla perforazione di ciascun palo. In caso contrario la perforatrice resterà in posizione fino alla successiva ripresa del lavoro e provvederà quindi alla pulizia del perforo subito prima che inizino le operazioni di posa delle armature e di getto della malta.

In ogni caso non dovrà trascorrere più di un'ora tra il termine della perforazione e l'inizio della formazione del fusto del micropalo.

Fanno eccezione solo i micropali perforati interamente in roccia, senza presenza di franamenti e di acqua nel perforo. Viene inoltre precisata la necessità assoluta che la scapitozzatura delle teste dei pali sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del micropalo non rispondono a quelle previste. In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del palo sino alla quota di sottoplinto.

10.5.7.1. Riempimento a gravità

Il riempimento del perforo, dopo la posa delle armature, dovrà avvenire :

- attraverso il tubo di armatura (dotato di appositi orifizi alla base) mediante una apposita campana di adduzione installata sulla testa del tubo stesso ed alimentata da pompa volumetrica o a pistone;
- tramite un tubo di alimentazione disceso fino a 10÷15 cm dal fondo e dotato superiormente di un imbuto o tramoggia di carico.

Il riempimento sarà proseguito fino a che la malta/miscela immessa risalga in superficie scevra di inclusioni e miscele con il fluido di perforazione.

Si attenderà per accertare la necessità o meno di rabbocchi e si potrà quindi estrarre il tubo di convogliamento allorché il foro sarà intasato e stagnato.

Eventuali rabbocchi da eseguire prima di raggiungere tale situazione vanno praticati esclusivamente dal fondo del foro.

10.5.7.2. Riempimento a bassa pressione

Il foro dovrà essere interamente rivestito; la posa della malta/miscela avverrà in un primo momento entro il rivestimento provvisorio tramite un tubo di convogliamento come descritto al punto precedente.

Successivamente si applicherà al rivestimento una idonea testa a tenuta entro la quale verrà pompata in pressione la stessa miscela cementizia o, in alternativa, si invierà aria in pressione (0,5-0,6 MPa) mentre si solleverà gradualmente il rivestimento fino alla sua prima giunzione.

Si smonterà allora la sezione superiore del rivestimento e si applicherà la testa di pressione alla parte rimasta nel terreno; nel caso di utilizzo di aria tale operazione avverrà dopo il rabboccamento dall'alto per riportare a livello la malta/miscela.

Si procederà analogamente per le sezioni successive fino a completare l'estrazione del rivestimento.

In relazione alla natura del terreno potrà essere sconsigliabile applicare la pressione d'aria agli ultimi 5 - 6 m di rivestimento da estrarre per evitare la fratturazione idraulica degli strati superficiali.

10.5.7.3. Iniezione ripetuta ad alta pressione

Le fasi e modalità della posa in opera saranno le seguenti:

- riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo a valvole e le pareti del perforo, ottenuta alimentando con apposito condotto di iniezione e otturatore semplice la valvola più bassa finché la miscela risale fino alla bocca del foro (formazione della guaina);
- lavaggio con acqua all'interno del tubo;
- avvenuta la presa della miscela precedentemente posta in opera, iniezione, valvola per valvola, dei volumi di miscela prefissati, senza superare durante l'iniezione la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno ("claquage"). Per ciascuna valvola, durante la fase iniziale di apertura, non dovrà essere superata la pressione massima di 6 MPa; in caso di superamento, la valvola dovrà essere abbandonata;
- durante le prove tecnologiche preliminari, l'Appaltatore dovrà mettere a punto e definire i tempi di inizio della fase di iniezione rispetto alla precedente formazione della guaina, in modo da assicurare che la miscela abbia raggiunto un sufficiente indurimento ma senza una resistenza eccessiva tale da precludere la sua iniziale idro-fratturazione;
- l'iniezione dovrà essere eseguita con portate non superiori a 8 lt/min;
- indicativamente, salvo diverse prescrizioni di progetto, i volumi di iniezione non saranno inferiori a tre volte il volume teorico della sezione di foro associato a ciascuna valvola.
- lavaggio con acqua all'interno del tubo;
- avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, ripetizione dell'iniezione in pressione limitatamente alle valvole per le quali:
 - il volume iniettato non abbia raggiunto il limite predetto a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
 - le pressioni residue nette di iniezione, misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico, non superino 0,5 MPa.
- al termine delle iniezioni, riempimento a gravità dell'interno del tubo.

Le attrezzature per l'iniezione dovranno essere munite di flussimetri o opportuni "contacolpi" certificati al fine di verificare i quantitativi effettivamente iniettati e di sensori di pressione certificati installati sia a bocca foro e sia alle pompe.

10.5.8. Caratteristiche delle miscele cementizie e delle malte cementizie

In funzione delle condizioni di aggressività del terreno, come riportato nella norma UNI EN 206, dovrà essere selezionato l'opportuno tipo di cemento in conformità alle relative norme.

In presenza di falda in movimento, non è ammesso l'impiego di miscele cementizie; inoltre per le malte o calcestruzzi dovranno essere impiegati additivi antidilavanti.

10.5.8.1. Miscela cementizia

Il rapporto acqua/cemento dovrà essere non superiore a 0.55.

Altrimenti specificato nel progetto, dovrà essere effettuato un prelievo di miscela dall'impianto di miscelazione ogni 7 giorni lavorativi sul quale verranno effettuate prove di densità e di decantazione.

Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: $\pm 2\%$;
- decantazione a due ore dalla preparazione: $\leq 3\%$ in volume.

Con la miscela prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di tre campioni da sottoporre alle prove di resistenza.

Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice, o dovrà essere superiore a 30 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.

10.5.8.2. Malta cementizia

Il rapporto acqua/cemento dovrà essere non superiore a 0.5.

Se non diversamente richiesto in progetto, il contenuto in cemento non dovrà comunque essere inferiore a 600 kg/m³.

Gli aggregati utilizzati non dovranno superare il diametro massimo di 8 mm, con l'85% ≤ 4 mm.

Altrimenti specificato nel progetto, dovrà essere effettuato un prelievo di miscela dall'impianto di miscelazione ogni 7 giorni lavorativi sul quale verranno effettuate prove di densità e di decantazione

Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ± 5%,
- decantazione a ventiquattro ore dalla preparazione: ≤ 3 % in volume.

Con la miscela prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di tre campioni da sottoporre alle prove di resistenza.

Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice, o dovrà essere superiore a 30 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.

10.5.8.3. Calcestruzzo

Il rapporto acqua/cemento dovrà essere non superiore a 0.6.

Se non diversamente richiesto in progetto, il contenuto in cemento non dovrà comunque essere inferiore a 375 kg/m³.

Il diametro massimo degli aggregati dovrà essere inferiore al minimo fra i seguenti valori:

- 16 mm,
- 0.25 dell'interspazio netto fra le barre o del copriferro teorico,
- 0.15 del diametro interno del tubo di convogliamento.

Altrimenti specificato nel progetto, dovrà essere effettuato un prelievo di miscela dall'impianto di miscelazione ogni 7 giorni lavorativi, sul quale verranno effettuate prove di densità e di decantazione.

Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ±5%,
- decantazione a ventiquattro ore dalla preparazione: ≤3% in volume

Il peso specifico verrà calcolato assumendo il peso specifico assoluto del cemento pari a quello riportato nelle schede tecniche del prodotto, 2,65 g/cm³ quello degli aggregati, nell'ipotesi che non venga inclusa aria.

Con la miscela prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di tre campioni da sottoporre alle prove di resistenza.

Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 30 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.

Le modalità di prova dovranno essere conformi alle normative vigenti ed alle preventive richieste della Direzione Lavori.

10.5.9. Controlli

Il controllo della profondità dei perfori, rispetto alla quota di sottoplinto, verrà effettuato in doppio modo:

- a) in base alla lunghezza delle aste di perforazione immerse nel foro al termine della perforazione, con l'utensile appoggiato sul fondo;

b) in base alla lunghezza dell'armatura.

La differenza tra le due misure dovrà risultare $< 0,10$ m; in caso contrario occorrerà procedere alla pulizia del fondo del foro asportandone i detriti accumulatisi, dopo aver estratto l'armatura.

L'accettazione delle armature verrà effettuata:

- nel caso di armature in barre longitudinali a aderenza migliorata, in base alla rispondenza al progetto dei vari diametri nominali e delle lunghezze;
- nel caso di armature a tubo di acciaio, in base alle lunghezze, al diametro e allo spessore dei tubi previsti in progetto.

L'accettazione della miscela avverrà secondo i criteri indicati al pertinente paragrafo del presente Capitolato.

10.5.10. Documentazione dei lavori

L'esecuzione di ogni singolo micropalo sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- identificazione del micropalo;
- data di inizio perforazione e termine del getto (o iniezione);
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione (detta "A");
- profondità del foro all'atto della posa dell'armatura (detta "B");
- assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione;
- per i micropali formati mediante iniezione ripetuta ad alta pressione, pressioni residue minime e quantità complessive iniettate per ogni fase di iniezione ad alta pressione.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

10.5.11. Particolari controlli delle malte e miscele cementizie impiegate

10.5.11.1. Misure di densità

Si userà di regola una bilancia (pesa di Baroid) che consiste in un'asta graduata in g/l impernata al basamento e munita ad un estremo di contrappeso ed all'altro di un contenitore.

Quest'ultimo una volta riempito sarà chiuso con un coperchio forato; si garantirà il completo riempimento del contenitore facendo in modo che della miscela fuoriesca dal foro.

Successivamente si avrà cura di pulire l'esterno del contenitore e del coperchio.

Si sposterà il cursore posto sull'asta finché questa assumerà una posizione orizzontale, individuata dalla bolla della livella montata sull'asta.

In tale posizione si leggerà direttamente sull'asta il peso di volume racchiuso nel contenitore.

Per la taratura si riempirà il contenitore di acqua distillata controllando che il peso di volume indicato dal cursore corrisponda a 1000 g/l; in caso contrario si toglieranno o aggiungeranno dei pallini di piombo nel corpo del contrappeso. L'approssimazione delle misure dovrà essere di ± 5 g/l.

10.5.11.2. Misure della decantazione

Si userà di regola una buretta graduata da un litro.

Il materiale prelevato verrà versato nel recipiente e lasciato a riposo per due ore. Al termine di tale periodo verrà misurato il quantitativo di acqua essudato. Il rapporto fra l'altezza dell'acqua separata e l'altezza complessiva del campione rappresenta il valore di decantazione.

10.6. Prove di carico

10.6.1. Generalità

In ottemperanza al D.M. 14/01/2008 (cap. 6.4.3.7.2), sui pali di fondazione devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica per controllarne principalmente la corretta esecuzione e il comportamento sotto le azioni di progetto. Tali prove devono pertanto essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

Qualora il progetto esecutivo non comprenda anche l'esecuzione di tali prove, queste dovranno essere condotte dall'Appaltatore, in accordo con la Direzione Lavori. Nel prosieguo del presente paragrafo si farà per semplicità riferimento alla figura dell'Appaltatore.

In presenza di pali strumentati per il rilievo separato delle curve di mobilitazione delle resistenze lungo la superficie e alla base, il massimo carico assiale di prova può essere posto pari a 1,2 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non deve essere inferiore a:

- 1 se il numero di pali è inferiore o uguale a 20,
- 2 se il numero di pali è compreso tra 21 e 50,
- 3 se il numero di pali è compreso tra 51 e 100,
- 4 se il numero di pali è compreso tra 101 e 200,
- 5 se il numero di pali è compreso tra 201 e 500,
- il numero intero più prossimo al valore $5 + n/500$, se il numero n di pali è superiore a 500.

Il numero di prove di carico di verifica può essere ridotto se sono eseguite prove di carico dinamiche, da tarare con quelle statiche di progetto, e siano effettuati controlli non distruttivi su almeno il 50% dei pali.

La scelta dei pali di prova è di competenza della Direzione Lavori che dovrà tenere in conto la necessità di testare, per quanto possibile, tutte le diverse situazioni del sottosuolo.

Al momento della prova il calcestruzzo del palo dovrà avere almeno ventotto giorni di stagionatura.

Il carico sarà applicato mediante un martinetto, contrastato mediante un'adeguata zavorra o pali di reazione, il cui manometro (o cella di carico) dovrà essere corredato da un certificato di taratura con data non anteriore ad un mese.

Le misure dei cedimenti dovranno essere rilevate mediante tre micrometri centesimali, disposti a 120° attorno al palo, interposti al terreno in punti sufficientemente distanti dal palo di prova e dal sistema di contrasto, così da evitare l'influenza delle operazioni di carico e scarico.

I supporti della struttura portamicrometri dovranno distare non meno di 3.0 m e non meno di 3 diametri dal palo di prova, e infine non meno di 2.0 m dalla impronta della zavorra o da eventuali pali di reazione. La struttura portamicrometri dovrà essere protetta da vibrazioni e urti accidentali e schermata dai raggi solari per minimizzare le deformazioni di natura termica.

Di ciascuna prova dovrà essere redatto apposito verbale, controfirmato dalle parti, nel quale saranno riportati tra l'altro: data e ora di ogni variazione di carico, entità del carico, letture ai micrometri, diagramma carichi-cedimenti. Al verbale verranno allegati i certificati di taratura del manometro (o cella di carico).

In taluni casi la Direzione Lavori potrà richiedere l'esecuzione di prove di carico orizzontali; date le peculiarità di tale tipologia di prova, le modalità esecutive e il programma di carico dovranno essere di volta in volta stabiliti dalla Direzione Lavori e riportati sul verbale di prova.

10.6.2. Prove su pali di grande diametro

10.6.2.1. Prove di carico assiale

Carichi di prova

I carichi di prova saranno definiti di volta in volta dal progettista, in relazione alle finalità della prova stessa.

Di norma il massimo carico di prova P_{prova} sarà così determinato:

$$P_{prova} = 1.5 P_{es} \text{ per } D \leq 100 \text{ cm, con } P_{prova} \leq P_{lim}$$

$$P_{prova} = 1.2 P_{es} \text{ per } D > 100 \text{ cm, con } P_{prova} \leq P_{lim}$$

ove con P_{lim} si indica la portata limite dell'insieme palo-terreno e con P_{es} il massimo carico di esercizio.

Attrezzatura e dispositivi per la prova

Il carico sarà applicato mediante uno o più martinetti idraulici, con corsa ≥ 200 mm, posizionati in modo da essere perfettamente centrati rispetto all'asse del palo.

I martinetti saranno azionati da una pompa idraulica esterna. Martinetti e manometro della pompa saranno corredati da un certificato di taratura recente (rilasciato da non oltre 3 mesi circa).

Nel caso di impiego di più martinetti occorre che essi siano uguali fra loro e che l'alimentazione del circuito idraulico sia per tutti la stessa.

La reazione di contrasto sarà di norma ottenuta tramite di una zavorra, la cui massa M dovrà essere non inferiore a 1.2 volte la massa equivalente al massimo carico di prova, ovvero:

$$M \geq 1.2 P_{prova} / g = 0.12 P_{prova}$$

La zavorra sarà sostenuta con una struttura costituita da una trave metallica di adeguata rigidità, sul cui estradosso, tramite una serie di traversi di ripartizione, saranno posizionati blocchi di calcestruzzo o altri idonei elementi di peso elevato.

In alternativa la zavorra potrà essere sostituita con:

- pali di contrasto, dimensionati per la trazione necessaria all'esecuzione della prova;
- tiranti di ancoraggio, collegati ad un dispositivo di contrasto.

In questi casi si avrà cura di ubicare i pali o i bulbi di ancoraggio dei tiranti a sufficiente distanza dal palo di prova (minimo 3 diametri).

L'Appaltatore, nel caso di prove di carico con pali di contrasto, dovrà redigere un progetto dettagliato delle prove di carico, indicando numero, interassi, dimensioni, e lunghezza dei pali;

Qualora sia richiesto l'uso di una centralina oleodinamica preposta a fornire al/ai martinetti la pressione necessaria, questa dovrà essere di tipo sufficientemente automatizzato per poter impostare il carico con la velocità richiesta, variarla in caso di necessità e mantenere costante il carico durante le soste programmate.

Per misurare il carico applicato alla testa del palo si interporrà tra il martinetto di spinta ed il palo una cella di carico, del tipo ad estensimetri elettrici, di opportuno fondo scala.

Nel caso non fosse disponibile tale tipo di cella, il carico imposto al palo verrà determinato in base alla pressione fornita ai martinetti misurata con un manometro oppure, dove previsto, misurata con continuità da un trasduttore di pressione collegato al sistema di acquisizione automatico e, in parallelo, con un manometro.

Il manometro ed il trasduttore di pressione, se utilizzati, dovranno essere corredati da un certificato di taratura rilasciato da non oltre 3 mesi da un laboratorio ufficiale.

Lo strumento di misura dovrà avere fondo scala e risoluzione adeguati, quest'ultima non inferiore al 5% del carico applicato, per i manometri, e del 2% per le celle di carico. In particolare, qualora venga impiegato soltanto il manometro, il relativo quadrante dovrà avere una buona leggibilità, oltre alla risoluzione adeguata alla precisione richiesta per la misura.

E' raccomandato l'inserimento di un dispositivo automatico in grado di mantenere costante (± 20 kN) il carico applicato sul palo, per tutta la durata di un gradino di carico ed indipendentemente dagli abbassamenti della testa del palo.

Per la misura dei cedimenti saranno utilizzati tre comparatori centesimali, con corsa massima non inferiore a 50 mm, disposti a $\approx 120^\circ$ intorno all'asse di applicazione del carico.

Il sistema di riferimento sarà costituito da una coppia di profilati metallici poggianti su picchetti infissi nel terreno ad una distanza di almeno 3 diametri dal palo. Il sistema, prima e durante la prova dovrà essere adeguatamente protetto dall'irraggiamento solare.

Preliminarmente all'esecuzione delle prove saranno eseguiti cicli di misure allo scopo di determinare l'influenza delle variazioni termiche e/o di eventuali altre cause di disturbo. Dette misure, compreso anche il rilievo della temperatura, saranno effettuate per un periodo di 24 ore con frequenze di 2 ore circa.

Preparazione della prova

I pali prescelti saranno preliminarmente preparati mediante regolarizzazione della testa, previa scapitozzatura del cls e messa a nudo del fusto per un tratto di ≈ 50 cm. Nel tratto di fusto esposto saranno inserite n. 3 staffe metalliche, a 120° , per la successiva installazione dei comparatori.

Sopra la testa regolarizzata si stenderà uno strato di sabbia di circa 3 cm di spessore, oppure una lastra di piombo.

Si provvederà quindi a poggiare una piastra metallica di ripartizione del carico di diametro adeguato, in modo da ricondurre la pressione media sul conglomerato a valori compatibili con la sua resistenza a compressione semplice.

La zavorra sarà collocata dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti ad almeno 3 diametri dall'asse del palo. L'altezza dei due appoggi deve essere sufficiente a consentire il posizionamento dei martinetti e dei relativi centratori e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti ($h_{\min} = 1.5$ m circa).

Tra i martinetti e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.

Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave o struttura di contrasto faccia capo a pali o tiranti di ancoraggio.

Programma di carico

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alla finalità della prova.

Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede due cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

1° CICLO

- a) Applicazione di "n" ($n \geq 4$) gradini di carico successivi, di entità pari a ΔP , fino a raggiungere il carico P_{es} .
- b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza: $t = 0$ (applicazione del carico), 2', 4', 8', 15'. Si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.

Il cedimento è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive ($\Delta t = 15'$):

$$\Delta s \leq 0.025 \text{ mm.}$$

Per il livello corrispondente a P_{es} il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 4 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a: $t = 0, 5', 10', 15'$.

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a: $t = 30', 45', 60'$.

2° CICLO

- a) Applicazione di "m" ($m \geq 9$) gradini di carico ΔP fino a raggiungere il carico P_{prova} (o P_{lim}).
- b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al punto "b" del 1° ciclo.
- c) Il carico P_{prova} , quando è minore di P_{lim} , sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini (di entità $3 \Delta P$) con misure a: $t = 0, 5', 10', 15'$.

A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a $t = 60'$; una lettura finale sarà effettuata 12 ore dopo che il palo è stato completamente scaricato.

Si considererà raggiunto il carico limite P_{lim} , e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando risulti verificata una delle seguenti condizioni:

- cedimento (P_{lim}) $\geq 2 * \text{cedimento} (P_{lim} - \Delta P)$;
- cedimento (P_{lim}) ≥ 0.10 diametri.

Risultati della prova

Le misure dei cedimenti saranno registrate utilizzando moduli contenenti:

- il n° del palo con riferimento ad una planimetria;
- l'orario di ogni singola operazione;
- la temperatura;
- il carico applicato;

- il tempo progressivo di applicazione del carico;
- le corrispondenti misure di ogni comparatore;
- i relativi valori medi;
- le note ed osservazioni.

Le tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento costituiranno il verbale della prova.

Le date e il programma delle prove dovranno essere altresì comunicati alla Direzione Lavori con almeno 7 giorni di anticipo sulle date di inizio.

La documentazione fornita dall'esecutore della prova dovrà comprendere i seguenti dati:

- tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento;
- indicazioni dei singoli comparatori e la loro media aritmetica;
- fotocopie chiaramente leggibili della documentazione originale di cantiere ("verbale");
- diagrammi carichi-cedimenti finali per ciascun comparatore e per il valore medio;
- diagrammi carichi-cedimenti (a carico costante) per ciascun comparatore e per il valore medio;
- numero di identificazione e caratteristiche nominali del palo (lunghezza, diametro);
- stratigrafia del terreno rilevata durante la perforazione (pali trivellati);
- illustrazione grafico-geometrica della prova (dispositivo di contrasto, travi portamicrometri, ecc.);
- disposizione, caratteristiche e certificati di taratura della strumentazione;
- scheda tecnica del palo, preparata all'atto della sua esecuzione.
- relazione tecnica riportante l'elaborazione dei dati e l'interpretazione della prova medesima, nonché l'individuazione del carico limite con il metodo di Chin o "della pendenza inversa" ⁽¹⁾.

10.6.2.2. Prove di carico su pali strumentati

Quando richiesto, le prove di carico assiali, oltre che per definire la curva carico-cedimento alla testa del palo, avranno lo scopo di valutare l'entità e la distribuzione del carico assiale e della curva di mobilitazione dell'attrito lungo il palo. Pertanto dovranno essere predisposte una serie di sezioni strumentate nel fusto del palo, e anche alla base del palo stesso. I dispositivi indicati nel presente paragrafo sono pertanto da considerarsi aggiuntivi rispetto a quanto descritto precedentemente.

Per i pali strumentati, ad ultimazione del getto, verrà eseguito un controllo generale della strumentazione per verificare l'integrità a seguito delle operazioni di realizzazione del palo.

Ulteriori controlli con registrazione dei dati verranno eseguiti a 7, 14 e 28 giorni ed immediatamente prima della prova di carico. Quest'ultima costituirà la misura di origine per le successive letture.

Attrezzature e dispositivi di prova

Lungo il fusto del palo saranno predisposte sezioni strumentate il cui numero e la cui ubicazione saranno stabiliti di volta in volta in accordo con la Direzione Lavori. In ogni caso dovranno essere previste almeno 4 sezioni strumentate.

Indicativamente la sezione strumentata superiore sarà ubicata in prossimità della testa del palo, esternamente al terreno.

Qualora non fosse possibile realizzare la sezione strumentata di testa al di sopra del piano lavoro, dopo l'esecuzione del palo si procederà ad isolare il palo dal terreno circostante fino alla quota della sezione strumentata di testa che, in questo caso, sarà posizionata il più vicino possibile al piano lavoro.

Le dimensioni geometriche di questa sezione strumentata dovranno essere accuratamente misurate prima delle prove. Tale sezione consentirà di avere indicazioni sul modulo del calcestruzzo in corrispondenza dei vari gradini di carico e sarà di riferimento per il comportamento di tutte le altre.

⁽¹⁾ Si tratta di un metodo basato sull'ipotesi che la curva principale carico-spostamento (Q, S) desunta da una prova di carico possa essere approssimata da una relazione iperbolica di equazione $Q = S/(m + nS)$, la quale ha come asintoto il valore $Q = 1/n$. Tale relazione, in termini di S/Q si trasforma nella retta $S/Q = m + nS$, di pendenza n. Pertanto, una volta riportati i valori di misura in un grafico (S/Q, S) ed interpolati con una retta, si ricava n, da cui $Q_{lim} = 0,9/n$.

Ogni sezione strumentata sarà dotata di almeno 3 estensimetri elettrici disposti sulla circonferenza, a circa 120° l'uno dall'altro. Le celle estensimetriche saranno fissate all'armatura longitudinale e protette dal contatto diretto con il calcestruzzo. Saranno altresì corredate di certificato di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale.

Per ogni sezione strumentata si ammetteranno tolleranze non superiori a 10 cm rispetto alla quota teorica degli estensimetri elettrici.

La punta del palo verrà strumentata mediante una cella di carico dotata anch'essa di estensimetri elettrici e ubicata alla distanza di circa un diametro dalla base del palo.

La misura degli spostamenti alla base del palo verrà realizzata con un estensimetro meccanico a base lunga, destinato a misurare le deformazioni relative tra la base e la testa del palo. L'ancoraggio dello strumento sarà posizionato alla quota degli estensimetri elettrici e la misura sarà riportata in superficie mediante un'asta di acciaio rigida avente coefficiente di dilatazione termica comparabile con quello del calcestruzzo. Sarà eliminato il contatto con il calcestruzzo circostante mediante una tubazione rigida di acciaio di circa 1" di diametro esterno. Particolare cura sarà posta nel rendere minimo l'attrito tra asta interna e tubazione esterna utilizzando, ad esempio, distanziali di materiale antifrizione e altri sistemi analoghi, prestando attenzione ad usarne un numero sufficiente, ma non eccessivo. Occorrerà inoltre garantire una perfetta tenuta tra l'ancoraggio ed il tubo esterno al fine di evitare intrusioni di calcestruzzo nell'intercapedine asta-tubo di protezione all'atto del getto.

Come per gli altri tipi di tubazione anche questa sarà portata sino in superficie a fuoriuscire dalla testa del palo a fianco della piastra di ripartizione. In questo punto verranno installati dei trasduttori di spostamento lineari con fondo scala di circa 20÷30 mm e precisione dello 0.2% del fondo scala, per la misura in continuo degli spostamenti relativi fra il tubo di protezione (testa del palo) e l'ancoraggio solidale alla base del palo.

La testa di questo strumento andrà adeguatamente protetta contro avverse condizioni atmosferiche, contro urti meccanici accidentali e contro le variazioni di temperatura.

Gli estensimetri andranno fissati alle staffe dell'armatura e saranno dotati di barre di prolunga in acciaio da entrambi i lati non inferiori a 50 cm.

Gli strumenti saranno adeguatamente protetti da possibili urti del tubo getto con rinforzi e protezioni in acciaio da definirsi sul posto.

Tutti i cavi elettrici provenienti dagli estensimetri dovranno essere protetti dal diretto contatto meccanico con i ferri d'armatura.

Normalmente si farà in modo che le tubazioni da inserire nella gabbia siano simmetricamente disposte all'interno della sezione.

L'uscita dei cavi dalla testa del palo non dovrà costituire un ingombro alle operazioni successive.

Le modalità di installazione e protezione dei cavi saranno comunicate alla Direzione Lavori.

Preparazione ed esecuzione della prova

Si applicano integralmente le specifiche riportate al punto precedente.

10.6.2.3. Prove di carico laterale

Queste prove dovranno essere effettuate nel caso in cui ai pali di fondazione sia affidato il compito di trasmettere al terreno carichi orizzontali di rilevante entità.

Il numero ed i pali da sottoporre a prova saranno definiti dal progettista e/o concordati con la Direzione Lavori.

Nella esecuzione delle prove ci si atterrà alle prescrizioni già impartite per le prove di carico assiale, salvo quanto qui di seguito specificato.

Il contrasto sarà di norma ottenuto utilizzando un palo di caratteristiche geometriche analoghe, distante almeno 3 diametri.

Il martinetto sarà prolungato mediante una trave di opportuna rigidità.

Gli spostamenti saranno misurati su entrambi i pali. Si utilizzeranno per ciascun palo 2 coppie di comparatori centesimali fissati alla stessa quota; la prima coppia sarà disposta in posizione frontale rispetto alla direzione di carico; la seconda coppia sarà disposta in corrispondenza dell'asse trasversale alla direzione di carico.

Per la misura delle deformazioni durante la prova di carico, la Direzione Lavori indicherà i pali nei quali posizionare, prima del getto, tubi inclinometrici.

Si utilizzeranno tubi in alluminio a 4 scanalature, diametro 81/76 mm, resi solidali alla gabbia di armatura a mezzo di opportune legature.

Le misure saranno effettuate con una sonda inclinometrica perfettamente efficiente, di tipo bi-assiale, previo rilevamento delle torsioni iniziali del tubo-guida.

Se richiesto dalla Direzione Lavori, anche i pali sottoposti a prove di carico laterale potranno avere sezioni strumentate con estensimetri elettrici a varie profondità.

10.6.3. Prove di carico su micropali

10.6.3.1. Prove di carico assiale

Carichi di prova

I carichi di prova saranno definiti di volta in volta dal progettista, in relazione alle finalità della prova stessa.

Di norma il massimo carico di prova P_{prova} sarà:

$$P_{prova} = 1.5 P_{es}, \text{ con } P_{prova} \leq P_{lim}$$

ove con P_{lim} si indica la portata limite dell'insieme palo-terreno e con P_{es} il massimo carico di esercizio.

Attrezzature e dispositivi di prova

Le attrezzature ed i dispositivi per l'applicazione e per la misura del carico, ed i dispositivi per la misura dei cedimenti saranno conformi alle specifiche di cui ai punti precedenti.

E' ammessa l'esecuzione di prove di carico a compressione mediante contrasto a trazione su micropali laterali, a condizione che:

- le armature tubolari e le eventuali giunzioni filettate dei micropali di contrasto siano in grado di resistere senza danni ai conseguenti sforzi di trazione;
- la terna di micropali sia giacente sullo stesso piano verticale o inclinato.

Nel caso di micropali inclinati dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti ad evitare l'insorgere di carichi orizzontali e/o momenti flettenti dovuti ad eccentricità, che potrebbero influenzare i risultati della prova.

I risultati forniti dai micropali di contrasto potranno essere utilizzati quali valori relativi a prove di carico a trazione, se i carichi effettivamente applicati sono per tali prove significativi.

I micropali prescelti saranno preparati mettendo a nudo il fusto per un tratto di ≈ 20 cm ed eliminando tutte le superfici di contatto e di attrito con eventuali plinti, solette, murature, etc..

Nel tratto di fusto esposto saranno inserite 3 staffe metalliche, a circa 120° , per il posizionamento dei micrometri.

Si provvederà quindi a fissare sulla testa del micropalo una piastra metallica di geometria adeguata ad ospitare il martinetto, ed a trasferire il carico sul micropalo.

La zavorra sarà collocata dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti a conveniente distanza (almeno 3 m) dall'asse del micropalo.

L'altezza degli appoggi dovrà essere sufficiente a consentire il posizionamento del martinetto e del relativo centratore, e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti.

Tra il martinetto e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.

Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave di contrasto faccia capo ad una coppia di micropali posti lateralmente a quello da sottoporre a prova di compressione.

Programma di carico

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alle finalità della prova.

Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede 3 cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

1° CICLO

- a) Applicazione di "n" ($n \geq 4$) gradini di carico successivi, di entità pari a ΔP , fino a raggiungere il carico P_{es} .
- b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza: $t = 0$ (applicazione del carico), 2', 4', 8', 15'. Si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.

Il cedimento è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive ($\Delta t = 15'$):

$$\Delta s \leq 0.025 \text{ mm.}$$

Per il livello corrispondente a P_{es} il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 4 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a: $t = 0, 5', 10', 15'$.

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a: $t = 30', 45', 60'$.

2° CICLO

- a) Applicazione rapida di un carico di entità $1/3 P_{es}$.
- b) Lettura dei cedimenti a $t = 0, 1', 2', 4', 8', 15'$.
- c) Scarico rapido e letture a $t = 0$ e $5'$.
- d) Applicazione rapida di un carico di entità $2/3 P_{es}$.
- e) Lettura dei cedimenti come in "b".
- f) Scarico come in "c".
- g) Applicazione rapida di un carico di entità pari a P_{es} .
- h) Lettura dei cedimenti come in "b".
- i) Scarico con letture a $t = 0, 5', 10', 15'$ e $30'$.

3° CICLO

- a) Applicazione di "m" ($m \geq 9$) gradini di carico successivi, di entità pari a ΔP , fino a raggiungere il carico P_{prova} (o P_{lim}).
- b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al 1° ciclo, punto "b".
- c) Il carico P_{prova} , quando è $< P_{lim}$, sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini, con misure a $t = 0, 5', 10, 15'$.

A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a $t = 60'$.

Si considererà raggiunto il carico limite P_{lim} , e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando misurando il cedimento S risulterà verificata una delle seguenti condizioni:

$$S(P_{lim}) \geq 2 s (P_{lim} - \Delta P)$$

$$S(P_{lim}) \geq 0.2 D + S_{el}$$

essendo:

D = diametro del micropalo

S_{el} = cedimento elastico del micropalo.

Risultati delle prove

Le misure dei cedimenti saranno registrate ed interpretate con le stesse modalità indicate ai punti precedenti.

10.7. Controlli non distruttivi

10.7.1. Generalità

Scopo dei controlli non distruttivi è quello di verificare le caratteristiche geometriche e meccaniche dei pali, non compromettendone l'integrità strutturale.

A tale scopo potrà essere richiesta l'esecuzione di:

- a) prove geofisiche;
- b) carotaggio continuo meccanico;
- c) scavi attorno al fusto del palo.

10.7.2. Prove geofisiche

Possono essere eseguite mediante emissione di impulsi direttamente alla testa del palo o lungo il fusto entro fori precedentemente predisposti.

Il primo tipo di controllo potrà essere eseguito per qualsiasi tipo di palo; il secondo sarà applicato ai soli pali trivellati di diametro > 600 mm.

Il numero dei controlli sarà di volta in volta stabilito dalla Direzione Lavori anche in relazione alla importanza dell'opera, al tipo di palo, alle caratteristiche geotecniche e idrogeologiche dei terreni di fondazione e alle anomalie riscontrate durante l'esecuzione dei pali.

I pali da sottoporre a controllo mediante prove geofisiche saranno prescelti dalla Direzione Lavori.

Prove geofisiche da testa palo verranno eseguite sul 20% del numero totale dei pali e comunque su tutti quei pali ove fossero state riscontrate inosservanze rispetto a quanto prescritto dal Capitolato Speciale d'Appalto.

Con riferimento ai soli pali gettati in opera, si dovrà provvedere all'esecuzione di controlli eseguiti entro fori precedentemente predisposti, sul 5% del numero totale dei pali.

Sui pali prescelti per tali prove, lungo il fusto dovrà essere predisposta, prima delle operazioni di getto, l'installazione di tubi estesi a tutta la lunghezza del palo, entro cui possono scorrere le sondine di emissione e ricezione degli impulsi. Nei fori si dovranno inoltre eseguire delle misure inclinometriche, al fine di ricavare la distanza tra foro trasmittente ed il foro ricevente.

I tubi saranno solidarizzati alla gabbia di armatura, resi paralleli tra loro e protetti dall'ingresso di materiali. Verranno predisposti almeno due tubi per pali aventi diametro < 800 mm, tre tubi per diametri $800 < D < 1200$, ed almeno quattro per diametri superiori. Le prove dovranno essere eseguite alternando entro i fori le posizioni delle sonde trasmettente e ricevente.

Le prove d'integrità verranno eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. La Direzione Lavori Potrà richiedere la ripetizione delle prove con un tempo di maturazione anche superiore

I percorsi di misura verranno eseguiti per tutte le combinazioni possibili di allineamento fra i tubi presenti nel palo.

10.7.3. Carotaggio continuo meccanico

Il carotaggio dovrà essere eseguito con utensili e attrezzature tali da garantire la verticalità del foro e consentire il prelievo continuo allo stato indisturbato del conglomerato e se richiesto del sedime d'imposta.

Allo scopo saranno impiegati doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo non inferiore a 1.2 volte il diametro massimo degli inerti e comunque non inferiore a 60 mm.

Nel corso della perforazione dovranno essere rilevate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti, indicando in dettaglio la posizione e il tipo delle fratture, le percentuali di carotaggio, le quote raggiunte con ogni singola manovra di avanzamento.

Su alcuni spezzoni di carota saranno eseguite prove di laboratorio atte a definire le caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche.

All' interno del foro potranno essere richiesta la predisposizione e l' esecuzione di prove di permeabilità o la predisposizione di tubazione per l' esecuzione di carotaggi sonici.

Al termine del carotaggio si provvederà a riempire il foro mediante boiaccia di cemento immessa dal fondo foro.

Il carotaggio si eseguirà, quando ordinato dalla Direzione Lavori, in corrispondenza di quei pali ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al Capitolato Speciale d'Appalto e alle disposizioni della medesima.

10.7.4. Scavi attorno al fusto del palo

Verranno richiesti ogni qualvolta si nutrano dubbi sulla verticalità e regolarità della sezione nell'ambito dei primi 4,0÷5,0 m di palo.

Il fusto del palo dovrà essere messo a nudo e pulito con un violento getto d'acqua e reso accessibile all'ispezione visiva.

Successivamente si provvederà a riempire lo scavo con materiali e modalità di costipamento tali da garantire il ripristino della situazione primitiva.

Tali operazioni saranno eseguite in corrispondenza di quei pali ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato e alle disposizioni della Direzione Lavori.

11. Trattamenti colonnari

11.1. Generalità

Si definiscono trattamenti colonnari di gettiniezione (*jet grouting*) quei trattamenti di consolidamento-impermeabilizzazione realizzati attraverso il seguente procedimento:

- iniziale perforazione mediante sonda dotata di dispositivo di gettiniezione (*monitor*) ad uno o più ugelli, posto all'estremità inferiore dell'asta della macchina ed a sua volta dotato di utensile disgregante;
- pompaggio di un fluido ad altissima pressione (40÷60 MPa) all'interno del circuito di perforazione, per fuoriuscire ad altissima velocità attraverso gli ugelli del *monitor*, determinando la disgregazione per idrodemolizione del terreno con getti ad alta energia;
- la parziale asportazione del terreno in superficie, utilizzando come liquido convettore il fluido disgregante immesso, e come percorso di risalita la medesima perforazione;
- la successiva stabilizzazione delle porzioni di terreno, rimosse ma non asportate, con un liquido cementizio stabilizzante, coincidente o meno con quello disgregante secondo il tipo di tecnologia adottata; il terreno risulterà quindi consolidato e caratterizzato da migliorate caratteristiche meccaniche e ridotte caratteristiche di permeabilità.

I trattamenti dovranno essere eseguiti secondo modalità di dettaglio approvate dalla Direzione Lavori (ad esempio l'impiego di rivestimenti provvisori per stabilizzare le pareti del foro, l'utilizzo di attrezzature per l'attraversamento di trovanti), e potranno essere realizzati con asse verticale o comunque inclinato, in relazione alle previsioni/necessità progettuali ed adottando la tecnica di gettiniezione adeguata.

In funzione delle necessità di progetto i trattamenti consentono varie applicazioni, atte alla realizzazione di:

- colonne orizzontali e verticali, ottenute con la rotazione delle aste in fase di iniezione, come sopra descritto;
- setti verticali, ottenuti bloccando la rotazione delle aste in fase di iniezione;
- setti sub-orizzontali, ottenuti a rotazione, ma consentendo l'estrazione delle aste solo per valori discreti.

In funzione del numero di fluidi utilizzati, si distinguono tre principali sistemi di gettiniezione:

1 - Sistema mono-fluido

L'iniezione ad alta velocità della miscela avviene attraverso gli ugelli laterali di una testa "monitor" montata sulla batteria di aste di perforazione e solidale all'utensile di disgregazione.

La miscela, eiettata ad elevata pressione, funge da mezzo disgregante e di miscelazione del terreno circostante.

2 - Sistema bi-fluido

L'iniezione ad alta pressione della miscela avviene attraverso degli ugelli a fori coassiali, che permettono di iniettare la miscela cementizia dal foro centrale insieme ad un getto di aria in pressione uscente dal foro anulare. Con ta-

le sistema si riesce a mantenere coerente ed energizzato su più lunga distanza il getto di miscela cementizia, l'aria fungendo da elemento "contenitore" della rosa di apertura di quest'ultimo.

3 - Sistema tri-fluido

L'iniezione ad alta pressione della miscela avviene attraverso un ugello posto nella parte inferiore della batteria di aste di perforazione mentre la disgregazione del terreno avviene attraverso un secondo ugello, posto al di sopra del primo, che inietta acqua ad elevata pressione. L'efficacia del getto d'acqua è incrementata da un getto coassiale (ed anulare) di aria compressa.

Con tale sistema l'azione disgregante avviene quindi tramite il getto ad elevata pressione di acqua ed aria, mentre la miscela viene iniettata nel terreno già disgregato e con contenuto d'acqua incrementato.

Il numero di fluidi impiegati implica tipologie di aste di adduzione, da 1 a 3 vie, di diametro e peso differente, che condizionano le possibili inclinazioni di trattamento. Detta "I" l'inclinazione sulla verticale in gradi sessagesimali, si hanno, indicativamente, i seguenti limiti:

Tipologia trattamento	Inclinazione "I"
Mono-fluido	100°
Bi-fluido	15°
Tri-fluido	0°

Tra le possibili varianti metodologiche ai sistemi principali sopra elencanti si ammettono:

- la possibilità di eseguire una disgregazione preliminare del terreno con un operazione preventiva all' iniezione vera e propria con getto ad alta energia di sola acqua, cosiddetta di pretaglio o prelavaggio;
- l' accoppiamento di acqua e miscela ad alta energia senza l' utilizzo dell' aria.

Le finalità dei trattamenti di gettiniezione possono essere:

- di consolidamento, se mirati a modificare le caratteristiche meccaniche, resistenza e deformabilità del mezzo trattato;
- di impermeabilizzazione, se mirati a modificare le caratteristiche idrauliche, o di permeabilità del mezzo trattato.

Le specifiche che seguono sono da intendersi relative principalmente ad opere a carattere definitivo. Per quanto riguarda quelle a carattere temporaneo, il Direttore dei Lavori potrà eventualmente semplificarle, purché ciò avvenga nel rispetto del progetto e senza alcun pregiudizio per la sicurezza e la funzionalità richiesta a tali opere. Ciò potrà farsi, in particolare, per quanto riguarda i controlli, in conformità a quanto riportato nelle premesse generali al presente Capitolato.

11.2. Normative di riferimento

Nella esecuzione dei trattamenti di gettiniezione, oltre alle norme relative a cementi, malte, calcestruzzi, additivi ed elementi in acciaio, si farà principalmente riferimento alle seguenti norme:

- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circ. M.I.T. 02/02/2009 n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle NTC;
- UNI EN 791 Macchine perforatrici - Sicurezza;
- UNI EN 12716 Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Getti per iniezione (*jet grouting*).

11.3. Soggezioni geotecniche, idrologiche ed ambientali

11.3.1. Generalità

Le tecniche di perforazione e le modalità di gettinizzazione dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali.

La scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto, a cura e spese dell'Appaltatore, mediante l'esecuzione delle prove tecnologiche riportate più avanti.

In particolare, la tecnica di gettinizzazione si caratterizza, nella sua efficienza e riuscita, per una forte connessione alle caratteristiche idrogeologiche del terreno; inoltre, in determinate circostanze, può determinare effetti non desiderati nell'ambiente e quindi sulle preesistenze.

Attesa la possibile invasività del metodo, previamente alla esecuzione di ogni trattamento andranno accertati i possibili effetti dei trattamenti sull'ambiente; al minimo saranno obbligatori i seguenti accertamenti:

- effetti della gettinizzazione su falde accertate dall'indagine idrogeognostica;
- effetti di rigonfiamento del terreno a seguito della gettinizzazione, specie in presenza di formazioni coesive;
- accertamento dello stato di consistenza delle preesistenze interessate dai trattamenti; l'accertamento deve essere spinto sino la valutazione delle soglie di attenzione ed allarme strutturale a seguito di sollevamenti ed effetti distorsivi; per ogni unità verrà redatta una dettagliata scheda di accertamento e rilievo anche strutturale;
- stato di consistenza dei piani inferiori delle preesistenze (cantine e scantinati inclusi) a diretto contatto con il terreno;
- accertamento di obiettivi impiantistici sensibili esposti ad eventuali effetti derivati dalla gettinizzazione.

11.3.2. Piano di monitoraggio

A seguito degli accertamenti precedenti, l'Appaltatore deve provvedere ad integrare il piano di monitoraggio di progetto esecutivo, se esistente, o comunque ad elaborarlo; in particolare andranno indicati esplicitamente:

- il monitoraggio geotecnico
- il monitoraggio delle preesistenze, automatico o manuale
- le forme di presidio da attuare
- le precauzioni da assumere, quale la provvisoria evacuazione di cose e/o persone da ambienti privati o pubblici.

11.3.3. Gestione dei materiali reflui

Il metodo implica la produzione di ingenti volumi di materiale refluo terreno/miscela; l'Appaltatore, previamente ad ogni attività produttiva, deve verificare la possibilità di sistemazione a deposito di detti volumi, acquisirne i diritti, ottimizzare il trasporto, ecc.

Tutte queste informazioni dovranno venire raccolte in uno studio completo che l'Appaltatore presenterà all'approvazione della Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto all'avvio dei lavori.

11.4. Campo prove preliminare

11.4.1. Generalità

Le tecniche di perforazione e le modalità di iniezione della miscela stabilizzante dovranno essere messe a punto, in relazione alla natura dei materiali da trattare ed alle caratteristiche idrogeologiche locali, mediante esecuzione di colonne di prova in numero rapportato alla funzione e alla quantità di colonne di terreno consolidato previste in progetto, con un minimo di una colonna di prova per elemento strutturale e comunque secondo le prescrizioni indicate nel progetto e dalla Direzione Lavori.

11.4.2. Obiettivi del campo prove

Il campo prove preliminare deve essere mirato a:

- ottimizzare la scelta delle metodologie e dei prodotti di gettiniezione idonei ai trattamenti in progetto e quindi che garantiscano il conseguimento dei requisiti progettuali (in termini di diametro reso, geometria esecutiva e caratteristiche meccaniche dei terreni trattati), nei tempi programmati;
- valutare l'influenza della eventuale falda, in termini di carico idraulico e velocità di filtrazione, per le tarature tecnologiche e la definizione dei prodotti da impiegare;
- verificare l'idoneità delle attrezzature programmate alle condizioni ambientali, morfologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni;
- verificare ed ottimizzare la maglia del trattamento e miscele da impiegare.

11.4.3. Definizione del campo prove

Previamente alla esecuzione del campo prove, l'Appaltatore presenterà all'approvazione della Direzione Lavori una relazione tecnica che, interpretando le necessità del progetto e le indicazioni di opportunità espresse dalla Direzione Lavori, evidenzia:

- la geometria del trattamento di prova (maglia) con estensione tale da garantire un volume di terreno omogeneamente trattato sufficiente per le sperimentazioni e verifiche;
- l'ubicazione del campo prove, evidenziandone la totale corrispondenza altimetrica e geologica con il sito interessato dal progetto di consolidamento;
- le tecniche di gettiniezione che verranno impiegate.

11.4.4. Controlli finali ed accettazione

Sulle colonne di prova verranno eseguiti, in base alle richieste della Direzione Lavori, le prove sottoelencate:

- In sito: perforazioni con carotaggio continuo, non prima di 20 gg dalla data di completamento delle gettiniezioni. Nel caso di colonne singole, i carotaggi verranno eseguite su tutti gli elementi realizzati per l'intera loro lunghezza; le perforazioni saranno ubicate sia in asse alle colonne sia all'incirca a metà del raggio teorico di ciascuna colonna; nel caso di trattamenti concatenati, i carotaggi interesseranno: il centro di alcune colonne, alcuni punti di sovrapposizione fra le colonne e alcune direzioni; inoltre devono anche essere previsti carotaggi inclinati attraversanti il blocco di terreno trattato. Il numero verrà definito con la Direzione Lavori. Il carotiere utilizzato avrà diametro minimo di 85 mm. La percentuale di carotaggio non dovrà risultare inferiore all'85% della lunghezza teorica della colonna con RPM (recupero percentuale modificato) non inferiore al 50%;
- In sito: per i trattamenti di impermeabilizzazione si eseguiranno prove con acqua tipo Lefranc o Lugeon (a pressioni inferiori a quelle di idrofratturazione del terreno trattato);
- In laboratorio: su campioni scelti dalla Direzione Lavori, ricavati dai predetto carotaggi continui, e da preparare in laboratorio, con altezza pari a 2 volte il diametro della carota, dovranno essere eseguite le prove di laboratorio, secondo specifica di progetto o indicazioni della Direzione Lavori, comunque comprendenti:
 - prove di rottura a compressione semplice, con rilievo della curva sforzi-deformazioni, da eseguire: dopo ventotto giorni di maturazione della miscela per terreni incoerenti, dopo quaranta giorni per terreni coesivi, ed inoltre ai tempi di maturazione corrispondenti a quelli dell'effettivo utilizzo nel lavoro;
 - prove di trazione brasiliana;
 - prove triassiali;
 - determinazione del valore dell'R.Q.D. (*Rock Quality Designation*) ⁽¹⁾;

⁽¹⁾ La *Rock Quality Designation* (RQD) è una classificazione geotecnica delle rocce sviluppata nel 1964 da D. U. Deere. È basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio ed identifica empiricamente la qualità della roccia. Oggi viene usata soprattutto come parametro in classificazioni maggiori, come la RMR (*Rock Mass Rating*, Z. T. Bieniawski) o la *Q-system* (N. Barton, R. Lien R.e J. Lunde). Il valore RQD è definito dalla formula: $RQD = \Sigma *$

- prove di permeabilità.

Se dalle prove di cui sopra risulterà che non sono stati raggiunti i limiti di resistenza e continuità di cui ai successivi punti, la Direzione Lavori ordinerà la verifica del sistema ed eventualmente proporrà al Progettista la revisione del progetto.

Al termine del campo prove l'Appaltatore presenterà un documento consuntivo completo dei seguenti punti:

- 1 - una esplicita dichiarazione che la fase sperimentale condotta sia risultata esauriente per accertare qualsiasi aspetto geologico e metodologico influente sul consolidamento da eseguire;
- 2 - una relazione di quanto eseguito, specificando le attrezzature impiegate, la metodologia esecutiva del sistema adottato, le miscele approntate ed iniettate, le maglie ed i criteri di iniezione osservati;
- 3 - i risultati di tutte le prove eseguite, in sito ed in laboratorio;
- 4 - le comprovazioni di efficienza del campo sperimentale eseguito;
- 5 - una relazione propositiva per il trattamento in progetto, con ogni definizione inerente le attrezzature da impiegare, la metodologia esecutiva da osservare, la composizione delle miscele da iniettare, gli eventuali additivi, le maglie ed i criteri di iniezione da osservare.

La Direzione Lavori, sulla base del documento consuntivo presentato, potrà richiedere ulteriori chiarimenti od approfondimenti; oppure darà approvazione per l'avvio della fase realizzativa, ferma restando la responsabilità dell'Appaltatore sulle proprie scelte realizzative.

11.5. Perforazione

11.5.1. Attrezzature di perforazione ed iniezione

Le attrezzature, gli utensili e le modalità di perforazione dovranno essere scelti dall'Appaltatore in modo da assicurare il raggiungimento delle lunghezze previste in progetto, l'attraversamento di eventuali strati di terreno lapidei o cementati, il superamento di eventuali residui in muratura o calcestruzzo, il superamento di trovanti di durezza e dimensione qualsiasi, la stabilità delle pareti di perforazione, indipendentemente dalle previsioni geognostiche formulate in progetto.

Le attrezzature di perforazione dovranno essere inoltre idonee a garantire il rispetto delle tolleranze più ristrette fra quante di seguito indicate e quelle di progetto.

Le attrezzature, dovranno essere conformi a tutte le norme di sicurezza ed igiene del lavoro vigenti ed in particolare alla norma UNI EN 791, per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, esse dovranno rientrare nelle seguenti prescrizioni tecniche:

- la giunzione e lo sviamento della batteria di perforazione/iniezione deve avvenire per mezzo di apposite morse;
- tutte le attrezzature dovranno essere dotate di un'antenna di altezza adeguata per eseguire l'iniezione della colonna gettiniettata senza interruzioni per all'avvitamento/svitamento di aste nella colonna di aste, salvo condizioni particolari per lunghezza della colonna o per condizionamenti dall'ambito operativo;
- l'attrezzatura deve essere in grado di garantire i limiti di tolleranza posti per la perforazione, impiegando la tipologia di aste, da 1 a 3 vie, prevista in funzione del trattamento da eseguire;
- dovranno essere munite di dispositivi di comando e di contagiri per il controllo della velocità di rotazione delle aste ed inoltre di dispositivi per la regolazione della velocità di risalita delle aste stesse (temporizzatore a scatti o simili), atti a regolare le velocità di risalita e rotazione tramite temporizzatore od altro idoneo dispositivo che determini

$100 / L_{tot}$, essendo: ΣA la somma delle lunghezze dei tratti di carotaggio più lunghi di 10 cm, L_{tot} la lunghezza totale del carotaggio. Una possibile classificazione basata su tale valore può essere la seguente:

RQD [%]	Qualità roccia
0 ÷ 25	Molto scarsa
25 ÷ 50	Scarsa
50 ÷ 75	Discreta
75 ÷ 90	Buona
90 ÷ 100	Molto buona

una risalita continua, od a scatti uniformi (massimo 3÷5 cm) ad intervalli prestabiliti: il sistema di risalita dovrà comunque garantire la continuità della colonna resa.

11.5.2. Impianto di preparazione miscele cementizie e di pompaggio

Le miscele cementizie saranno confezionate con impianti a funzionamento automatico o semiautomatico, costituiti dai seguenti principali componenti:

- sili per cemento;
- contenitore di additivi;
- bilance elettroniche per componenti solidi;
- vasca volumetrica per acqua, o contaltri elettronici regolabili;
- mescolatore primario ad elevata turbolenza (min. 1500 giri/min);
- vasca di agitazione secondaria e dosatori volumetrici per le miscele cementizie.

L'impianto dovrà essere certificato nel funzionamento e nella taratura degli strumenti di misura ponderale e volumetrica; la verifica delle tarature potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori con periodicità da questa prefissata e comunque ove le circostanze lo suggeriscano.

La centrale di pompaggio si comporrà di pompe ad alta pressione per l'invio del fluido disgregante, di pompe a media pressione per l'invio della miscela cementante nel sistema tri-fluido, e di compressori d'aria quando richiesta dal sistema di iniezione.

Le pompe di iniezione ad alta pressione dovranno essere dotate di appositi dispositivi automatici di sicurezza che, in caso di anomali sovrappressioni, ne blocchino istantaneamente il funzionamento.

Le pompe dovranno essere provviste di manometri di primo impiego, installati direttamente sulla mandata ed in prossimità del raccordo tra i tubi ad alta pressione e la batteria delle aste di iniezione. Le pompe dovranno essere dotate di dispositivi che consentano la regolazione della portata; le stesse dovranno garantire, a regime, la normale erogazione di fluido ai seguenti livelli di prestazione:

- pressione di pompaggio: 60 MPa;
- portata di pompaggio: 300 l/min.

Tutte le linee di iniezione e tutti i componenti di ciascuna (tubazioni, raccorderia, manometri, pistoncini, guarnizioni, cavalletti di iniezione, eccetera) devono essere idonei a sopportare le pressioni massime di impiego previste e dovranno essere dotate di appositi fusibili di protezione, in caso di superamento di predeterminati valori della pressione in linea.

11.5.3. Sistema di acquisizione dei parametri di perforazione ed iniezione

Tutti i parametri di perforazione dovranno essere acquisiti con un sistema di registrazione in automatico; il sistema dovrà essere al minimo in grado di acquisire e restituire i seguenti valori alle varie quote:

- spinta;
- coppia;
- velocità di avanzamento;
- energia di perforazione;
- portate e pressioni del fluido di perforazione.

L'attrezzatura di registrazione dovrà prevedere il controllo dei valori su video installato accanto al quadro comandi dell'operatore, in modo da consentire a questi il controllo delle operazioni.

Le attrezzature d'iniezione dovranno essere dotate di sistema automatico di registrazione dei parametri principali di iniezione:

- portate e pressioni di iniezione dei fluidi, a seconda della tecnologia prescelta (mono, bi, tri-fluido);
- velocità di rotazione e di risalita del monitor;

- volume della miscela iniettata per colonna.

I dati acquisiti dovranno essere riportati graficamente in diagrammi singoli in scala che ne consenta un'agevole interpretazione, con diagrammi dei parametri registrati in funzione sia della profondità che dei tempi esecutivi; tali registrazioni verranno fornite giornalmente alla Direzione Lavori in formato cartaceo e formato elettronico con relativo programma interpretativo.

La centralina del sistema di acquisizione dati dovrà essere integrata con software per la combinazione dei dati di tutti gli assi trattati e rappresentazione grafica piana e spaziale.

11.6. Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse sull'assetto geometrico delle colonne di terreno consolidato sono le seguenti:

- la posizione dell'asse di ciascun punto di trattamento non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm salvo diverse prescrizioni della Direzione Lavori;
- la deviazione dell'asse della colonna rispetto all'asse di progetto non dovrà essere maggiore del 1,5%;
- la lunghezza non dovrà differire di ± 15 cm da quella di progetto;
- il diametro delle colonne non dovrà in nessun caso risultare inferiore a quello nominale indicato in progetto;
- nel caso di colonne sovrapposte, le sovrapposizioni dovranno essere tali da garantire la prescritta funzionalità del trattamento.

I limiti di tolleranza indicati hanno valenza generale; per circostanze particolari potranno essere imposti limiti più restrittivi, secondo prescrizioni indicate nel progetto.

Nel caso di trattamenti concatenati, ove è richiesta la sovrapposizione geometrica delle colonne, potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori la verifica di deviazione dalla verticale per tutte le colonne, mediante sistema inclinometrico (o similare purché approvato). Sarà onere dell'Appaltatore fornire la restituzione geometrica d'insieme delle deviazioni ottenute.

L'Appaltatore sarà tenuto ad eseguire a proprio totale onere tutte le opere sostitutive e/o complementari che si rendessero necessarie per rendere piena funzionalità all'opera in caso di esecuzione non rientrante nelle tolleranze specificate, secondo le istruzioni impartite dalla Direzione Lavori.

11.7. Tracciamento e programma lavori

Prima di iniziare le attività di perforazione l'Appaltatore dovrà indicare sul terreno la posizione dei punti di trattamento da contrassegnare con picchetti, marche od altro, sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun punto di trattamento, salvaguardando elementi di riferimento esterno non amovibili nel corso dei lavori medesimi.

Precedentemente ad ogni attività di esecuzione, l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la seguente documentazione:

- una mappa dei trattamenti con la posizione di tutti i punti, contrassegnati con un numero progressivo;
- un programma cronologico di perforazione ed iniezione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi della perforazione/iniezione sulle colonne consolidate già eseguite;
- una relazione riportante le caratteristiche dei materiali, da impiegare, ed inoltre le caratteristiche delle macchine e degli impianti;
- una relazione procedurale con l'esatta definizione delle modalità operative che seguirà nel corso delle iniezioni, indicando pressioni, velocità, portate, composizione delle miscele impiegate, numero e tipo di ugelli, eccetera;
- una relazione indicante gli accorgimenti che adotterà per evitare che i trattamenti abbiano a danneggiare le preesistenze, i monitoraggi strumentali e non che attuerà nel confronto delle preesistenze, eccetera.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né verranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

11.8. Esecuzione dei trattamenti

11.8.1. Trattamenti colonnari monofluido

In genere si eseguono fino ad 1,00 m di diametro nominale. comprendono le seguenti fasi di lavorazione:

- perforazione a rotazione o rotopercolazione, di diametro adeguato, eseguita con impiego di rivestimento provvisorio, se necessario;
- miscelazione e pompaggio iniezione di una miscela di acqua e cemento tipo I II III IV V 42.5, o 42.5 R nei rapporti ponderali successivamente indicati allo specifico punto, con l'impiego di additivi stabilizzanti, fluidificanti, acceleranti o ritardanti di presa, espansivi, impermeabilizzanti, antidilavamento, ecc., secondo le indicazioni del progetto esecutivo o le risultanze del campo prove.

La pressione di pompaggio della miscela, misurata al manometro a bocca foro, dovrà essere superiore a 30 MPa e la quantità di miscela iniettata dovrà superare il 70 % del volume teorico del terreno da trattare, con un minimo di 350 kg di cemento (peso secco) per metro cubo di terreno trattato.

In fase di gettiniezione attraverso gli ugelli posti alla estremità inferiore delle aste di iniezione, a queste ultime viene impresso un moto di rotazione ed estrazione a velocità predeterminata, tale comunque da soddisfare le seguenti condizioni:

- velocità di rotazione: 15÷35 giri/min;
- velocità di estrazione: 40÷100 cm/min.

La resistenza a compressione semplice del terreno consolidato dovrà risultare > 6 MPa a ventotto giorni nei materiali incoerenti, con limite minimo di 1.5 MPa a ventotto giorni o in alternativa 2 MPa a quaranta giorni negli eventuali interstrati di terreni coesivi, salvo diverse indicazioni fornite dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, a seguito dei risultati del campo prova.

Il valore dell'R.Q.D. dovrà risultare non inferiore al 70%.

11.8.2. Trattamenti colonnari bi e tri-fluido

In genere si eseguono per diametri nominali superiori ad 1,00 m; comprendono le seguenti fasi di lavorazione:

- perforazione a rotazione o rotopercolazione di diametro adeguato, eseguito con impiego di rivestimento provvisorio, se necessario;
- attraverso ugelli separati, dalle aste di perforazione vengono iniettati: acqua oppure aria ed acqua ad altissima pressione per la disgregazione del terreno; una miscela di acqua e cemento tipo I II III IV V 42,5, o 42,5 R per il consolidamento del terreno, nei rapporti ponderali successivamente indicati all'art. 7.10.4, con l'impiego di additivi stabilizzanti, fluidificanti, acceleranti o ritardanti di presa, espansivi, impermeabilizzanti, antidilavamento, ecc., secondo le disposizioni del progetto esecutivo o le risultanze del campo prove.

La pressione di alimentazione nel circuito di iniezione dell'acqua dovrà essere superiore a 40 MPa; quella della miscela di 2-7 MPa e la quantità di miscela iniettata dovrà superare il 70% del volume teorico del terreno da trattare, con un minimo di 400 kg di cemento (peso secco) per metro cubo di terreno trattato. Mentre aria, acqua e miscela fuoriescono dagli ugelli posti all'estremità della batteria di aste di iniezione, a quest'ultima viene impresso un moto di rotazione e risalita a velocità predeterminata, tale comunque da soddisfare le seguenti condizioni:

a) trattamento bi-fluido:

- velocità di rotazione: 5÷15 giri/min;
- velocità di risalita: 10÷25 cm/min;

b) trattamento tri-fluido:

- velocità di rotazione: 3÷10 giri/min;
- velocità di risalita: 5÷12 cm/min.

La resistenza a compressione semplice del terreno consolidato dovrà risultare > 6 MPa a ventotto giorni nei materiali incoerenti, con limite minimo di 1.5 MPa a ventotto giorni o in alternativa 2 MPa a quaranta giorni negli eventuali interstrati di terreni coesivi, salvo diverse indicazioni fornite dalla Direzione Lavori, a seguito dei risultati del campo prova.

Il valore dell'R.Q.D. dovrà risultare non inferiore al 70%.

11.9. Armatura dei trattamenti colonnari

11.9.1. Tipologie di armatura

Quando previsto in progetto, le colonne dovranno essere armate con elementi strutturali da porre in opera con uno dei seguenti 2 sistemi:

- se in materiale rigido, gli elementi potranno essere introdotti a spinta con idonea attrezzatura nel corpo delle colonne in corrispondenza del perforo appena ultimata l'iniezione e prima che la miscela inizi la presa;
- se da introdurre ad avvenuta presa della miscela, si dovrà procedere alla esecuzione di un foro di diametro adeguato nel corpo delle colonne, all'introduzione dell'armatura (tubi o barre in acciaio) ed al suo inghisaggio mediante iniezione a pressione di malta di cemento; la malta verrà iniettata attraverso lo stesso tubo in acciaio, in caso d'impiego di armatura metallica e tubolare, ed attraverso un tubo in PVC quando l'armatura è in barre.

11.9.2. Tubi in acciaio

I tubi, di caratteristiche geometriche e qualità dell'acciaio conformi a quanto indicato nei disegni di progetto, dovranno essere del tipo senza saldature, con giunzioni filettate interne.

Le caratteristiche delle giunzioni (filettatura, lunghezza, sezioni utili) dovranno consentire una trazione ammissibile pari almeno al 70% del carico ammissibile a compressione.

Per le prove di qualificazione dei materiali da impiegare dovrà essere fatto riferimento a quanto previsto dalle norme specifiche:, con particolare riferimento a quelle europee armonizzate.

Al fine di garantire l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti approvvigionati, le tubazioni dovranno essere marcate, sull'intera lunghezza di ciascun elemento e ad intervalli non inferiori a 3.0 m, con i parametri definiti nel paragrafo 10 della norma UNI EN 10210-1.

Di ogni partita di materiale consegnato dovranno essere conservate e rese eventualmente disponibili alla Direzione Lavori le bolle di consegna e i certificati di prova; saranno prelevati campioni per prove meccaniche a carico dell'Appaltatore secondo le prescrizioni che la Direzione Lavori impartirà.

Qualora all'atto dell'arrivo in cantiere dei materiali, non fosse fornita la certificazione d'origine, tutta la fornitura sarà considerata non idonea e verrà immediatamente allontanata dal cantiere stesso a totale cura e spese dell'Appaltatore.

11.9.3. Profilati in acciaio

Le caratteristiche geometriche e meccaniche dei profilati dovranno essere conformi a quanto prescritto dai disegni di progetto e dalle specifiche norme vigenti, con particolare riferimento a quelle europee armonizzate.

Qualora la lunghezza di progetto superi le lunghezze standard di fabbricazione, o per motivate opportunità di messa in opera, i profilati dovranno essere giuntati; le giunzioni potranno essere saldate e/o imbullonate, realizzate con l'impiego di fazzoletti laterali.

Le giunzioni saranno dimensionate ed eseguite in conformità alle norme in vigore; le saldature dovranno essere eseguite da un operatore qualificato secondo le norme vigenti.

Il tipo di giunzione scelta, prima di essere adottata, dovrà essere sottoposto a verifica statica della quale sarà fornita copia alla Direzione Lavori per approvazione.

Qualora all'atto dell'arrivo in cantiere dei materiali, non fosse fornita la certificazione d'origine, tutta la fornitura sarà considerata non idonea e verrà immediatamente allontanata dal cantiere stesso a totale cura e spese dell'Appaltatore.

11.9.4. Barre in acciaio speciale

Le barre dovranno essere in acciaio del tipo ad aderenza migliorata di qualità e caratteristiche conformi a quanto specificato dalle vigenti norme.

E' consentito, ove espressamente previsto dai disegni di progetto, l'impiego di barre in acciai speciali ed a filettatura continua ad alto limite di snervamento o simili.

Le caratteristiche di tali acciai dovranno essere certificate dal produttore ai sensi delle norme vigenti, con particolare riferimento a quelle europee armonizzate.

11.9.5. Armature in vetroresina

Sono ammesse armature in vetroresina, sia a sezione circolare, piena o cava, con diametri variabili da 20 a 60 mm, sia in guisa di profilati ed elementi piatti o con geometria particolare: a doppio T, a U, prismatica.

Per i profilati a sezione cava si richiedono spessori minimi non inferiori a 5 mm.

La superficie dei profilati dovrà essere del tipo ad aderenza migliorata, ottenuta mediante trattamento di filettatura continua o apporto di materiale.

I profilati dovranno essere non giuntati per lunghezze fino a 15 m mentre, per lunghezze maggiori, la giunzione dovrà essere ottenuta mediante manicotti di resistenza non inferiore a quella del tubo. Non sono ammesse giunzioni incollate.

L'impiego di profilati con sezioni e di profilati piatti compositi potrà essere consentito se previsto dal progetto e dopo verifica dell'efficacia da parte della Direzione Lavori.

I materiali utilizzati dovranno essere certificati dal produttore. Le caratteristiche minime richieste dovranno essere comprese entro i limiti fissati all' articolo 1, relativo ai materiali, delle presenti norme.

11.9.6. Altri materiali

L'Appaltatore potrà proporre l'uso di armature composte con materiali differenti da quanti sopra indicati, fornendo alla Direzione Lavori, per la relativa eventuale approvazione, ogni documentazione tecnica necessaria alla relativa qualificazione.

11.10. Miscele cementizie

11.10.1. Materiali di base

Il processo iniziale di qualificazione, anche nell'ambito del campo prove iniziale, deve accertare sia l'idoneità dei prodotti da aggregare, sia la composizione ottimale per il conseguimento degli obiettivi progettuali posti.

Il cemento impiegato dovrà essere scelto in relazione alle esigenze di resistenza richiesta alle colonne ed alle caratteristiche ambientali considerando, in particolare, l'aggressività dell'ambiente esterno. A tal fine il cemento dovrà rispondere alle caratteristiche previste nelle Norme UNI EN 197.

L'acqua da utilizzare sarà chiara, dolce, di provenienza accertata, esente da materie terrose e presenze organiche inquinanti. Le sue caratteristiche chimico-fisiche devono soddisfare i requisiti specificati nelle norme vigenti (UNI EN 206 per ambienti aggressivi), e devono rientrare nei limiti indicati in tabella, accertati dall'Appaltatore, preliminarmente all'inizio dei lavori presso un laboratorio ufficiale, mediante analisi chimica:

Caratteristica	Limiti accettabilità
Contenuto solfati	$SO_4^{2-} \leq 800 \text{ mg/l}$
Contenuto cloruri	$CL^- \leq 300 \text{ mg/l}$
Contenuto acido solfidrico	$\leq 50 \text{ mg/l}$
Contenuto sali minerali	$\leq 3.000 \text{ mg/l}$
Contenuto sostanze organiche	$\leq 100 \text{ mg/l}$
Contenuto sostanze solide sospese	$\leq 2.000 \text{ mg/l}$

Analoga certificazione dovrà essere eseguita ad ogni cambio di fornitura od a richiesta della Direzione Lavori.

Per quanto riguarda gli additivi, è ammesso l'impiego di:

- additivi fluidificanti non aeranti;
- ritardanti di presa o di fluidificanti con effetto ritardante;
- stabilizzanti e, nel caso di impiego di bentonite, in dosaggio inferiore al 3% del cemento.

In presenza di falde in movimento è prescritto l'impiego di prodotti acceleranti di presa o di additivi di protezione della miscela dal dilavamento, di tipo idrorepellente.

I prodotti commerciali che l'Appaltatore proponga dovranno essere sottoposti all'approvazione preventiva della Direzione Lavori, previa comprovazione nel corso del campo prove iniziale.

Tutti gli additivi impiegati dovranno essere conformi alle norme UNI vigenti (vedere capitolo relativo al calcestruzzo).

L'Appaltatore, per ogni additivo impiegato deve presentare una specifica documentazione indicante:

- le caratteristiche chimico-fisiche;
- le motivazioni d'impiego;
- i dosaggi ottimali;
- eventuali effetti collaterali dell'additivo sulla malta;
- modalità di miscelazione e scheda di sicurezza.

11.10.2. Dosaggi e caratteristiche

Per interventi di consolidamento le miscele cementizie sono preparate adottando un dosaggio in peso acqua/cemento usualmente compreso entro:

$$0,7 \leq A/C \leq 1,2$$

Il dosaggio proposto deve essere finalizzato agli obiettivi del progetto e deve esserne comprovata l'idoneità attraverso il campo prove.

A meno che altrimenti specificato nel progetto, dovrà essere effettuato un prelievo di miscela dall'impianto di miscelazione ogni giorno lavorativo, sul quale verranno effettuate prove di densità e di decantazione.

Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: $\pm 2\%$;
- decantazione a due ore dalla preparazione: $\leq 15\%$ in volume o comunque quanto specificato in progetto.

Con la miscela prelevata, la Direzione Lavori potrà richiedere di preparare un gruppo di tre campioni da sottoporre alle prove di resistenza.

11.11. Controlli

Trascorsi almeno 20 giorni dall'esecuzione dei consolidamenti, si procederà ai controlli dei risultati conseguiti.

I controlli sui trattamenti colonnari da eseguire con la frequenza di seguito indicata, dovranno essere finalizzati a verificare la congruenza dei risultati conseguiti in sede operativa con le tolleranze ammesse e le soglie minime di resistenza.

La geometria dei trattamenti (diametro, posizione e deviazione dell'asse, lunghezza) e la resistenza a compressione del terreno consolidato dovranno essere accertati con le prove sotto elencate su colonne scelte dalla Direzione Lavori:

- scavi di ispezione e prelievo di campioni indisturbati su tratti di colonne in ragione di una colonna ogni 100 eseguite; gli scavi dovranno essere spinti almeno fino alla profondità di 4 m e successivamente rinterrati procedendo a strati accuratamente compattati;
- sondaggi sulle colonne, in ragione di una colonna ogni 100 eseguite mediante carotaggio a rotazione continua con batteria di aste e doppio carotiere tipo T2 e/o T6s con corone diamantate di diametro nominale > 100 mm.

Il sondaggio dovrà essere posizionato all'incirca a metà del raggio teorico della colonna e dovrà essere spinto per tutta la lunghezza della colonna fino a penetrare nel terreno naturale alla base della stessa. Si dovrà evitare che l'acqua di spurgo dilavi la carota.

Le carote estratte devono essere custodite con cura in apposite cassette catalogatrici.

In questa fase dovrà essere determinato l'indice R.Q.D. (Indice di Recupero Modificato) espresso come percentuale di recupero del carotaggio tenendo conto dei soli spezzoni di carota di lunghezza > 100 mm:

La Direzione Lavori selezionerà un certo numero di campioni per carota (mediamente da 3 a 5) da sigillare con paraffina entro fustelle in PVC e da inviare in laboratorio per le prove di resistenza a compressione.

Negli scomparti delle cassette catalogatrici saranno inseriti distanziatori al posto dei campioni di carota prelevati per il Laboratorio e su ciascuno saranno indicati la quota e la lunghezza del campione.

Ogni cassetta verrà fotografata utilizzando film a colori ed avendo cura che le quote ed i riferimenti (cantiere, numero sondaggio) risultino leggibili anche nel fotogramma.

In alternativa, o in accoppiata, potranno prevedersi ulteriori comprovazioni del tipo:

- carotaggi a distruzione con prove d'acqua tipo Lefranc e prove pressiometriche.
- perforazioni a distruzione con registrazione automatica dei parametri di perforazione.

Qualora dalle prove di cui sopra risultasse che anche uno solo dei parametri sottoelencati:

- tolleranze geometriche;
- posizione dell'asse;
- deviazione dell'asse;
- lunghezza;
- diametro;
- resistenza a compressione semplice;
- valore di R.Q.D.;

è variato rispetto a quanto stabilito in sede di progettazione o a seguito delle definizioni emerse dal campo prove indicato all'articolo 7.4, la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, effettuerà una verifica della sicurezza progettuale residua.

Nel caso che tale verifica dia esito positivo, il trattamento colonnare verrà accettato, ma verrà penalizzato il lotto oggetto di difetto della prova.

In caso di esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese al rifacimento dei trattamenti, oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, per quindi essere realizzati.

11.12. Documentazione dei lavori

L'esecuzione di ogni trattamento colonnare sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori, di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti acquisiti in manuale ed in automatico:

- data di inizio perforazione e termine iniezione;
- identificazione della colonna corrispondente alla planimetria di progetto;
- profondità di perforazione con inizio e fine del tratto consolidato; restituzione dei dati di perforazione acquisiti in automatico;
- dati dell'iniezione:
 - parametri impiegati;
 - tipo di miscela impiegata, con composizione e caratteristiche rilevate;
 - assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione;

- tipo e quantitativo di additivi eventualmente impiegati;
 - volume iniettato
 - eventuali perdite e/o comunicazioni in superficie;
 - restituzione dei dati di iniezione acquisiti in automatico;
- tipo di armatura posto in opera.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello e tempestivamente trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

La mancata, o parziale, evasione dei documenti richiesti non consentirà la contabilizzazione delle relative quantità.

12. Dreni

12.1. Dreni perforati nel terreno

12.1.1. Generalità

Si designano con il termine di dreni perforati quelli ottenuti inserendo nel terreno, grazie ad una trivellazione, un tubo almeno in parte filtrante.

Salvo esplicito diverso avviso si farà nel seguito riferimento a terreni sciolti e non a rocce lapidee.

I dreni hanno lo scopo di captare venute localizzate o di limitare al valore richiesto dal progetto la quota massima della piezometrica della falda avente sede nei terreni attraversati.

Le caratteristiche del sistema drenante (tipo, interasse, lunghezza e disposizione dei dreni) sono quelle stabilite in progetto.

Dovranno essere osservate le norme UNI EN 15237 (Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Drenaggio verticale).

12.1.2. Perforazione

La perforazione dovrà essere condotta con un unico calibro per tutto il tratto filtrante; si ammetterà un calibro maggiore per il solo tratto eventualmente equipaggiato con tubo cieco se ciò risulta utile per il raggiungimento della lunghezza totale richiesta.

In ogni caso durante la perforazione dovrà essere garantita la stabilità del foro anche mediante un rivestimento metallico provvisorio fino alla posa del tubo filtrante.

Si potranno adottare attrezzature a rotazione o a rotopercolazione e circolazione di acqua (preferibilmente) oppure di aria; non è ammessa la circolazione di fango bentonitico.

Al termine della perforazione il foro interamente rivestito dovrà essere sgombrato dai detriti residui mediante lavaggio con il fluido di circolazione.

La rigidità delle aste di perforazione dovrà essere tale da consentire di mantenere le deviazioni dell'asse del foro rispetto alla retta di progetto entro un cono avente 1° 30' di semiapertura con vertice a bocca foro.

L'ordine d'esecuzione sarà tale da evitare la perforazione contemporanea di dreni posti ad interassi < 10 m.

12.1.3. Fornitura e posa del tubo filtrante

Il tubo filtrante sarà dotato di fessure calibrate di apertura adeguata alle caratteristiche del terreno, disposte lungo l'intera circonferenza oppure su un settore di 240°; in quest'ultimo caso le giunzioni dei tubi dovranno essere marcate e gli spezzoni di tubo dovranno essere assemblati in modo da mantenere per tutta la lunghezza il settore non fessurato nella medesima posizione rispetto all'asse del dreno, a cavallo della generatrice inferiore del tubo.

I tubi saranno costituiti da materiale plastico non alterabile (PVC, Polietilene o altro) che dovrà essere scelto sulla base del chimismo delle acque da drenare e del terreno nel quale il dreno viene installato. Il diametro interno dei tubi filtranti sarà quello previsto dal progetto, che di norma sarà compreso tra 50 e 90 mm, salvo diverse indicazioni della

Direzione Lavori. I dreni saranno scanalati longitudinalmente e dovranno avere spessori e resistenze tali da garantire la corretta posa in opera nelle diverse condizioni di applicazione e la invariabilità geometrica nel tempo; in ogni caso lo spessore non dovrà essere inferiore a 4,5 mm.

La differenza tra il diametro esterno del tubo filtrante (esclusi i manicotti di giunzione) ed il diametro interno del perforo o dell'eventuale rivestimento provvisorio dello stesso, non dovrà essere superiore a 20 mm.

12.1.4. Dispositivo di separazione tra il tratto filtrante ed il tratto cieco

Ove richiesto, il tubo sarà dotato degli accessori atti a permettere la separazione del tratto filtrante da quello cieco, mediante la cementazione dell'intercapedine che rimane tra tubo e perforo lungo il tratto cieco.

A questo scopo si predisporranno:

- n. 2 valvole a manicotto a distanza di 100 cm e 150 cm circa dal punto di giunzione tra il tubo filtrante ed il tubo cieco;
- un tubolare in geotessile (oppure tela juta o tessuto di consimile trama) avente 30÷40 cm di diametro e 200 cm di lunghezza posto sulla parte terminale più profonda del tubo cieco e pieghettato in modo da aderirvi ("sacco otturatore"). Il tubolare in geotessile sarà strettamente legato alle estremità e ricoprirà le due valvole a manicotto di cui sopra;
- una o più valvole a manicotto lungo la parte cieca del tubo non occupato dal sacco otturatore.

Le operazioni di cementazione saranno eseguite ponendo in opera una miscela acqua/cemento con rapporto A/C=0,5 mediante un condotto di iniezione munito di doppio otturatore, subito dopo l'estrazione del rivestimento provvisorio.

La sequenza operativa sarà la seguente:

- 1 - posa del doppio otturatore in corrispondenza della valvola inferiore. La seconda valvola compresa entro il sacco servirà in caso di mancato funzionamento della prima;
- 2 - iniezione di un volume di miscela corrispondente a quello del sacco otturatore interamente riempito; la pressione di iniezione espressa in MPa dovrà risultare compresa tra $0,02 \cdot g \cdot Z$ (dove «Z» è la differenza di quota tra la valvola inferiore e la bocca del foro e «g» è il peso specifico del terreno) ed un valore che assicuri un adeguato margine di sicurezza rispetto alla pressione che provoca la lacerazione del sacco tubolare o il suo sfilamento dalle legature alle estremità;
- 3 - spostamento del doppio otturatore sulla valvola appena al di sopra del sacco otturatore ed iniezione di miscela cementizia fino al suo rifluimento a bocca foro;
- 4 - solo nel caso che franamenti o rigonfiamenti del terreno impediscano la risalita a giorno della miscela, l'operazione potrà essere proseguita tramite la valvola (o le valvole) ulteriormente disposte lungo il tratto cieco.

12.1.5. Lavaggio e manutenzione dei dreni

Subito dopo l'installazione del tubo (o subito dopo l'ultimazione delle operazioni di cementazione di cui all'art. precedente) ciascun dreno dovrà essere abbondantemente lavato con acqua pulita.

Allo scopo si dovrà inserire entro il tubo una lancia con tratto terminale metallico, munito di ugelli a direzione radiale e di pattini che ne consentano lo scorrimento lungo il tubo senza danneggiarlo.

Il lavaggio con acqua verrà iniziato con la lancia inserita fino in fondo al tubo; esso verrà proseguito fino ad ottenere che l'acqua riemergente alla bocca del tubo sia limpida, ritirando poi gradualmente la lancia.

L'operazione di lavaggio dovrà essere ripetuta una o più volte durante il periodo iniziale di esercizio dei dreni e, nel seguito, fino al collaudo delle opere qualora le operazioni di ispezione e controllo ne rivelassero un parziale intasamento ad opera delle frazioni più fini del terreno attraversato.

Il primo lavaggio ed i lavaggi successivi dovranno conseguire lo scopo di selezionare granulometricamente il terreno nelle immediate adiacenze del tubo filtrante, in modo da creare un ulteriore filtro rovescio naturale che consenta a regime l'esercizio del dreno senza trasporto di materia solida.

12.1.6. Dreni in rocce lapidee

I dreni in rocce lapidee fessurate potranno essere costituiti da:

- semplici perforazioni non rivestite;
- perforazioni equipaggiate con tubi in materiale plastico bucherellati (diametro dei fori 4÷7 mm) ed avvolti da calze di geotessile;
- perforazioni equipaggiate con tubi in materiale plastico microfessurati.

Si useranno le prime in presenza di rocce con fessure non occupate da detriti fini, le seconde nel caso di fessure contenenti riempimenti argillosi e le ultime nel caso si incontrino detriti di granulometria prevalentemente compresa nel campo dei limi e delle sabbie.

Le caratteristiche dei materiali costituenti i tubi drenanti e i diametri delle perforazioni saranno analoghi a quanto indicato più avanti per lavorazioni similari.

12.1.7. Dreni in terreni argillosi stringenti

Verranno equipaggiati con tubi in materiale plastico bucherellati e rivestiti di calza in geotessile; non saranno sottoposti ad ulteriori lavaggi dopo l'installazione.

Per le rimanenti operazioni vale quanto indicato ai paragrafi precedenti.

12.2. Dreni prefabbricati a nastro

12.2.1. Definizioni e campo di impiego

Si definiscono dreni prefabbricati a nastro quelli costituiti da un elemento di materiale termoplastico, perforato ed ondulato, altamente drenante, avvolto in geotessili in polipropilene non tessuto ad elevata permeabilità.

L'installazione nel terreno dei dreni avverrà mediante un'asta cava metallica ("mandrino"), di dimensioni trasversali poco superiori a quelle del nastro, che verrà infissa a pressione in direzione verticale, o più raramente inclinata, fino alla profondità richiesta. Successivamente verrà estratto il mandrino abbandonando in posto il dreno in esso contenuto.

Allorché la natura del terreno superficiale o la presenza di ostacoli non consentano la penetrazione del mandrino, si potrà ovviare facendo precedere l'esecuzione di un preforo (generalmente a rotopercolazione) per l'attraversamento del tratto in cui è impedita l'infissione.

Scopo dei dreni è quello di provvedere, in seno a strati compressibili di bassa permeabilità (limi ed argille di elevata compressibilità), vie di espulsione dell'acqua interstiziale aventi bassa resistenza idraulica e disposte ad interassi ravvicinati, in modo da ridurre a termini accettabili il tempo di consolidazione primaria degli strati interessati sotto i carichi statici loro imposti.

12.2.2. Requisiti del nastro prefabbricato

Il nastro prefabbricato (vedi anche figura esemplificativa sottostante) dovrà essere del tipo previsto e approvato dalla Direzione Lavori. Dovrà avere un'anima di materia plastica (P.V.C., polietilene, polipropilene) sagomata in modo da costituire un insieme di canali paralleli longitudinali, aperti lateralmente verso l'involucro filtrante.

L'involucro filtrante sarà costituito da un geotessile non tessuto in polipropilene a filo continuo opportunamente trattato, in modo da garantire resistenza e durata nel tempo adeguate all'impiego. Salvo diversa indicazione del progetto, dovranno essere precisati e garantiti i seguenti parametri caratteristici, da sottoporre al beneplacito della Direzione Lavori:

- capacità di trasporto acqua alla pressione laterale, esercitata sull'involucro in geotessile, di 0,3 MPa: > 500 m³/anno;
- permeabilità radiale all'acqua dell'involucro in geotessile, alla pressione di 0,002 MPa, non inferiore a 0,1 cm/s.

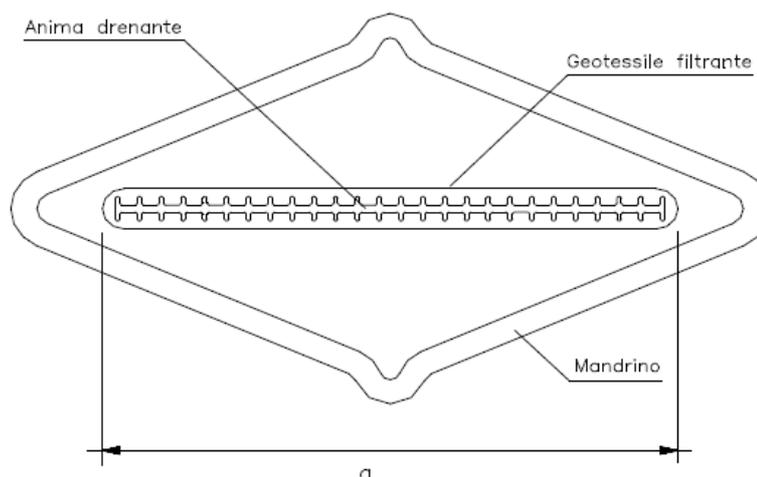
Gli altri requisiti di accettazione del nastro drenante sono riportati nella tabella seguente:

Caratteristica	Unità di misura	Normativa	Requisito d'accettazione
Resistenza a trazione dreni (α)	kN/m	UNI EN ISO 10319	$\alpha_{D+F} > 12$ kN/m $\alpha_D > 8$ kN/m $\alpha_F > 6$ kN/m
Resistenza a trazione giunzioni ($\alpha_{g,F}$)	kN/m	UNI EN ISO 10321	$\alpha_{g,F} > 3$ kN/m
Coeff. di permeabilità normale al piano del geotessile ($K_{n,F}$)	m/s	UNI EN ISO 11058 UNI EN 13562	$K_{n,F} > 10^{-3}$
Diametro (massimo del passante) di filtrazione del geotessile (O_F)	μm	NF G38-017 (CNR BU n. 145)	$50 \mu\text{m} \leq O_F \leq 250 \mu\text{m}$
Capacità drenante del dreno (q_{D+F})	m^3/anno	ASTM D4716	$q_{D+F} > 500 \text{m}^3/\text{anno}$

Dove: D = anima drenante, F = geotessile filtrante.

Sono inoltre previsti i seguenti controlli:

- verifica del peso per metro lineare del nastro ogni 5000 m di dreno installato. Il peso del materiale installato deve essere il medesimo di quello qualificato in fase di accettazione del dreno con una tolleranza del 3%;
- verifica dei requisiti di accettazione dei dreni definiti nella Tabella precedente ogni 50.000 m di dreno installato.


DEFINIZIONI

a	larghezza nominale del drenante nel suo complesso
α_{D+F} (kN/m)	resistenza a trazione del drenante nel suo complesso (anima drenante+geotessile filtrante)
α_D (kN/m)	resistenza a trazione della sola anima drenante
α_F (kN/m)	resistenza a trazione del solo geotessile filtrante
$\alpha_{g,F}$ (kN/m)	resistenza a trazione delle giunzioni del geotessile filtrante
$k_{n,F}$ (m/s)	coefficiente di permeabilità normale al piano per il solo geotessile filtrante
T_F (m)	spessore nominale del solo geotessile filtrante
O_F (μm)	diametro di filtrazione del solo geotessile filtrante (misurato in una prova di filtrazione idrodinamica)
q_{D+F} (m^3/anno)	capacità drenante del drenante nel suo complesso (anima drenante + geotessile filtrante) misurata in corrispondenza di una pressione di 200 kPa ed un gradiente idraulico unitario

12.2.3. Preparazione del piano di lavoro e posa del materasso drenante di collegamento

Preventivamente all'installazione dei dreni il piano di campagna dovrà essere scoticato, asportando ogni residuo di terreno vegetale e regolarizzando la superficie. Sul piano così preparato si porrà in opera un materasso drenante formato da uno strato di sabbia medio-grossa dello spessore previsto in progetto, avente curva granulometrica compresa entro i limiti seguenti:

APERTURA vaglio UNI (mm)	PASSANTE %	
	MIN	MAX
0,075	0	3
0,40	0,00	10,00
2,00	15,00	45,00
5,00	35,00	75,00
10,00	70,00	100,00

Il materiale costituente il materasso drenante dovrà essere privo di sostanze organiche. E' inoltre esclusa la fornitura di scorie vulcaniche quali pozzolane, tufiti e pomici.

Si procederà quindi, in accordo con la Direzione Lavori, al tracciamento della maglia dei dreni, posizionando un picchetto di legno di appropriate dimensioni nella posizione di ciascun drenante da installare.

12.2.4. Installazione dei dreni

La sezione trasversale del mandrino dovrà essere la minima compatibile con la rigidità necessaria per consentire l'infissione.

All'estremità inferiore il dreno dovrà essere collegato al mandrino con una piastra di ancoraggio a perdere, in grado di assolvere alle seguenti funzioni:

- impedire l'ingresso di terreno nel mandrino;
- vincolare l'estremità inferiore del dreno alla base del mandrino durante l'infissione;
- vincolare l'estremità inferiore del dreno al terreno, durante l'estrazione del mandrino.

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori le caratteristiche seguenti delle attrezzature che propone di impiegare:

- massima spinta verso il basso che può essere esercitata sul mandrino durante l'infissione;
- massima profondità raggiungibile;
- esigenze specifiche del piano di lavoro per assicurare la movimentazione delle attrezzature di infissione;
- sezione trasversale del mandrino e dimensioni della piastra di ancoraggio, che dovranno essere le minime compatibili con la loro funzionalità.

Nel caso che la manovra di infissione a pressione debba essere preceduta dal preforo, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla approvazione della Direzione Lavori il tipo di attrezzatura prescelto per il preforo e le modalità operative proposte. La posizione effettiva di ciascun dreno non dovrà scostarsi più di 10 cm da quella di progetto; per i dreni che non rispettassero questa tolleranza dovranno essere eseguiti dreni aggiuntivi a cura e spese dell'Appaltatore, nelle posizioni che saranno indicate dalla Direzione Lavori, in misura non superiore ad un dreno aggiuntivo per ogni dreno non correttamente installato.

Il sistema d'infissione dei dreni (torre guida del mandrino collegata alla gru semovente con la base d'appoggio della piattaforma d'infissione) deve essere in grado di posizionare il mandrino, prima di iniziare l'infissione, con una tolleranza sulla verticalità del 3%.

Per ciascun dreno la cui estremità superiore risulti risalita più di 100 cm dopo l'estrazione del mandrino dovrà essere installato un nuovo dreno a cura ed a spese dell'Appaltatore.

L'argilla portata a giorno ritirando il mandrino dopo l'inserimento di ciascun dreno deve essere totalmente ed immediatamente asportata dalla superficie del materasso drenante e depositata in apposito deposito temporaneo esterno all'area di lavoro. Nel compiere tale operazione l'Appaltatore dovrà accertare che sia completamente asportata l'argilla eventualmente rimasta nel cono creato attorno al dreno nel materasso di sabbia.

Nel caso in cui il dreno risultasse strappato durante l'inserimento o l'estrazione del mandrino, dovrà essere eseguito a cura e spese dell'Appaltatore un altro in adiacenza.

Le giunzioni del nastro dei dreni, che sono normalmente eseguite quando un rotolo di nastro termina prima del completo inserimento, devono essere fatte in modo che ci sia sovrapposizione (cioè continuità) nell'anima interna e che il tratto di anima risultante sia sempre avvolto dal geotessile filtrante.

13. Tiranti di ancoraggio nei terreni

13.1. Definizioni e scopo

I tiranti di ancoraggio sono elementi strutturali operanti in trazione ed atti a trasmettere forze al terreno. Il tirante si compone delle seguenti parti:

- la testa di ancoraggio, costituita dal dispositivo di bloccaggio e dalla piastra di ripartizione;
- il tratto libero, che è il tratto intermedio di collegamento tra la testa e il tratto attivo;
- il tratto attivo, o vincolato, o di fondazione, che trasmette al terreno le forze di trazione del tirante.

In relazione alla durata di esercizio definita nel progetto i tiranti si distinguono in:

- temporanei, se la durata della funzionalità non supera i ventiquattro mesi;
- permanenti, se la durata della funzionalità eguaglia o supera i ventiquattro mesi.

Le caratteristiche geometriche e strutturali dei tiranti sono definite nel progetto esecutivo.

13.2. Normative di riferimento

- D.M. 14/01/2008 Norme tecniche per le costruzioni;
- AICAP-AGI 2012 Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni (giugno 2012);
- UNI EN 1992 (Eurocodice 2);
- UNI EN 1997 (Eurocodice 7);
- Circ. Ministero Infrastr. e Trasp. 02.02.2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni;
- UNI EN 1537 Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio;
- UNI EN 197-1 Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni;
- UNI EN 791 Macchine perforatrici – Sicurezza;
- UNI EN 10080 Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità.

13.3. Prove di carico preliminari

Prima di dare inizio ai lavori l'Appaltatore dovrà mettere a punto la metodologia esecutiva (perforazione, iniezione, ecc.) e testarne l'efficacia mediante un adeguato numero di prove di carico su tiranti di ancoraggio preliminari, i quali dovranno essere realizzati con lo stesso sistema costruttivo degli ancoraggi di progetto e, una volta sottoposti a prova di carico, non potranno più essere utilizzati per l'impiego successivo.

I tiranti preliminari di prova dovranno essere eseguiti in prossimità e nelle stesse condizioni ambientali degli ancoraggi di progetto, in condizioni comunque rappresentative dal punto di vista geotecnico e idrogeologico, dopo l'esecuzione di quelle operazioni - quali scavi e riporti - che possano influire sulla capacità portante della fondazione.

Il numero degli ancoraggi di prova sarà stabilito dalla Direzione Lavori in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del sottosuolo e, in ogni caso, non potrà essere inferiore a:

- 1, se il numero degli ancoraggi di progetto è inferiore a 30;
- 2, se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 31 e 50;
- 3, se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 51 e 100;
- 7, se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 101 e 200;
- 8, se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 201 e 500;
- 10, se il numero degli ancoraggi di progetto è superiore a 500.

La realizzazione dei tiranti preliminari e le successive prove di carico dovranno svolgersi in presenza della Direzione Lavori, alla quale spetta l'approvazione delle modalità esecutive dei tiranti di progetto.

L'accettazione delle modalità esecutive sarà subordinata al buon esito delle prove di carico, ovvero all'idoneità dei tiranti in termini prestazionali (conferma sperimentale delle ipotesi analitiche avanzate in fase di predimensionamento delle lunghezze dei bulbi di ancoraggio, raggiungimento del carico limite di progetto, compatibilità degli spostamenti, ecc.).

Le prove di carico dovranno essere spinte fino a portare a rottura il complesso tirante-terreno, determinando il carico limite e definendo significativi diagrammi dei cedimenti in funzione dell'entità e della durata di applicazione del carico, tali da cogliere gli effetti del comportamento viscoso del terreno e dei materiali che costituiscono l'ancoraggio del tirante.

Il programma di prova (modalità di applicazione, livelli intermedi e valore massimo del carico, sequenza dei cicli di carico-scarico, ecc.) sarà quello riportato in progetto o verrà prescritto dalla Direzione Lavori. In assenza di specifiche

prescrizioni di progetto, le prove potranno essere eseguite in accordo alla Norma UNI EN 1537 o come riportato nel successivo articolo, previa autorizzazione della Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà in ogni caso provvedere all'esecuzione di tutte le prove di controllo che la Direzione Lavori riterrà necessarie per dirimere ogni dubbio sulla corretta realizzazione dei tiranti.

Ciò premesso, gli oneri per l'esecuzione delle prove di carico preliminari e delle prove di controllo ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

Qualora l'Appaltatore proponga di variare nel corso dei lavori la metodologia esecutiva già sperimentata e preliminarmente approvata, egli dovrà dare nuovamente corso alle prove sopradescritte, le quali, in tal caso, rimarranno totalmente a suo carico.

13.4. Linee guida per le prove di carico preliminari

13.4.1. Generalità

Si prevede che vengano eseguite prove di carico su almeno tre tipologie di tiranti preliminari:

- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione ridotta rispetto a quella di progetto, con armatura equivalente a quella di progetto, eseguito con la metodologia identica a quella prevista dall'Appaltatore. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato alle condizioni limite della fondazione o comunque ad un carico P_p non superiore ad un limite di sicurezza dell'armatura pari al 95% di P_{yk} (P_{yk} carico limite corrispondente allo snervamento dell'acciaio);
- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione pari a quella di progetto, con armatura sovradimensionata, eseguito con metodologia di perforazione ed iniezione simile a quella prevista; in questo caso sono ammessi calibri di perforazione maggiorati al fine di consentire l'installazione delle armature. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato alle condizioni limite della fondazione o comunque ad un carico P_p non superiore ad un limite di sicurezza dell'armatura pari al 95% di P_{yk} ;
- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione e armatura pari a quella di progetto, eseguito con metodologia di perforazione ed iniezione scelta sulla base dei risultati delle prime due prove. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato ad un carico P_p non superiore ad un limite di sicurezza dell'armatura pari al 95% di P_{yk} .

Come linee guida principali della fase di tesatura si prevede quanto segue:

- ogni elemento dovrà essere caricato con cicli di carico-scarico, partendo dal carico di riferimento iniziale $0.1P_p$ sino al carico massimo della prova P_p (pari al presunto carico R_a = resistenza limite del tratto vincolato del tirante, comunque inferiore a $0.95P_{yk}$);
- l'elemento dovrà essere caricato fino al carico P_p con almeno sei incrementi di carico, con misura degli allungamenti;
- per ogni gradino di carico si manterrà il valore raggiunto per un periodo di tempo (ΔT) almeno pari a 60' per terreni non coesivi e di 180' per terreni coesivi, e comunque prolungato sino a che la velocità di *creep* K_s (come definita nel seguito) risulti stabilizzata;
- su richiesta della Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, potranno essere richiesti, per un determinato livello di carico, periodi anche superiori alle 72 ore, di osservazione degli allungamenti dell'elemento in condizioni di carico costante.

I criteri di accettazione del tirante, si baseranno sulla valutazione della lunghezza libera apparente e sulla valutazione del valore limite a rottura della interfaccia terreno/fondazione del tirante, anche alla luce dei fenomeni di allungamento a carico costante (*creep* caratteristico e *creep* critico).

La valutazione limite a rottura della interfaccia terreno/fondazione dovrà essere effettuata mediante analisi geotecniche che consentano di differenziare i contributi alla resistenza del tirante offerti dal tratto libero e dal tratto attivo.

13.4.2. Lunghezza libera apparente

Per calcolare la lunghezza libera apparente L_{app} si dovrà usare la seguente relazione:

$$L_{app} = A_t E_t \Delta s / \Delta P$$

dove:

- A_t è l'area della sezione trasversale dell'armatura;
- E_t è il modulo elastico dell'armatura;
- Δs è l'allungamento elastico dell'armatura (valutato per l'intervallo di carico ΔP);
- ΔP è l'intervallo di carico corrispondente al massimo livello di carico raggiunto nel ciclo di carico-scarico analizzato, meno il carico iniziale di riferimento.

I limiti entro i quali deve trovarsi L_{app} sono:

limite superiore:

$$L_{app} \leq L_l + L_e + 0.5 L_b$$

$$L_{app} \leq 1.1 L_l + L_e$$

considerando il maggiore dei due valori

limite inferiore:

$$L_{app} \geq 0.8 L_l + L_e$$

dove:

- L_b = lunghezza del tratto vincolato;
- L_l = lunghezza libera teorica del tirante (dalla testata di ancoraggio all'inizio del tratto vincolato);
- L_e = lunghezza del tratto libero dell'armatura compreso fra la testata di ancoraggio e il punto di presa del martinetto idraulico.

Se la lunghezza libera apparente dell'armatura risulta fuori dei limiti, si può comunque sottoporre il tirante a cicli ripetuti di carico fino a P_p e nel caso in cui il comportamento carico/allungamento risulta di buona ripetibilità, il tirante potrà essere accettato dalla Direzione Lavori.

13.4.3. Creep critico

L'incremento degli spostamenti della testa d'ancoraggio rispetto a un punto fisso viene misurato per ciascun ciclo di carico al raggiungimento del carico massimo corrispondente e successivamente con il mantenimento di tale carico per un intervallo di tempo specificato.

Si definisce come velocità di *creep* K_s :

$$K_s = (s_2 - s_1) / \log(t_2/t_1)$$

dove:

- s_1 è lo spostamento della testa al tempo t_1 ;
- s_2 è lo spostamento della testa al tempo t_2 ;
- t è il tempo intercorso dopo l'applicazione dell'incremento di carico.

La velocità di *creep* caratteristica K_{sc} viene determinata dopo che K_s essa risulta costante su due intervalli di tempo consecutivi.

Le misurazioni degli spostamenti della testa di ancoraggio si svolgeranno ai tempi seguenti (minuti): 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 180, ed eventuali tempi superiori.

Il creep critico K_{sc} è la velocità massima di *creep* ammessa ad uno specificato livello di carico corrispondente a 2.5 mm.

13.5. Soggezioni geotecniche, idrogeologiche e ambientali

Le tecniche di perforazione e le modalità di connessione al terreno - messi a punto mediante l'esecuzione di tiranti di ancoraggio preliminari di prova, approvati dalla Direzione Lavori prima dell'inizio della costruzione dei tiranti di progetto - dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali.

Particolare cura dovrà essere posta relativamente alla verifica dell'aggressività dell'ambiente nei riguardi del cemento impiegato nella realizzazione della miscela di iniezione dei tiranti. L'ambiente verrà dichiarato aggressivo quando:

- il grado idrotimetrico (durezza) dell'acqua del terreno o di falda risulti $< 3F$;
- il valore del pH dell'acqua risulti < 6 ;
- il contenuto in CO_2 disciolta nell'acqua risulti > 30 mg/l;
- il contenuto in NH_4 dell'acqua risulti > 30 mg/l;
- il contenuto in ioni Mg dell'acqua risulti > 300 mg/l;
- il contenuto in ioni SO dell'acqua risulti > 600 mg/l o > 6000 mg/kg di terreno secco;
- i tiranti si trovino in vicinanza di linee ferroviarie o di altri impianti a corrente continua non isolati e con potenze maggiori di 50 kW;
- l'opera risulti situata a distanza < 300 m dal litorale marino.

In caso di ambiente aggressivo accertato, l'utilizzo del tipo di cemento dovrà essere approvato dalla Direzione Lavori.

13.6. Materiali ed elementi costruttivi

Ogni partita di tiranti confezionati in stabilimento dovrà essere accompagnata da un attestato di conformità, in accordo con il D.M. 246 del 21 Aprile 1993 e successivi aggiornamenti, attestante le caratteristiche dei materiali utilizzati.

13.6.1. Acciai e dispositivi di bloccaggio

Gli acciai impiegati nella realizzazione dei tiranti di ancoraggio dovranno essere conformi al D.M. 14/01/2008.

Le armature (fili, barre, trefoli) e i dispositivi di bloccaggio, al momento del loro arrivo in cantiere dovranno essere corredati della certificazione d'origine riferita ad ogni loro componente. Qualora così non fosse, la fornitura non verrà accettata ed immediatamente allontanata, a cura e spese dell'Appaltatore, dal cantiere stesso.

In corso d'opera si eseguiranno controlli sui tiranti, prelevando anche campioni di guaina protettiva (se prevista in acciaio) e di piastre, nella misura di un prelievo per ogni fornitura giunta in cantiere.

Trefoli tipo c.a.p.

Gli acciai per armature da precompressione devono possedere proprietà meccaniche garantite dal produttore non inferiori a quelle di seguito riportate ed in conformità al D.M. 14/01/2008:

Proprietà	Barre	Fili	Trecce e trefoli	Trecce e trefoli a fili sagomati
Tensione caratteristica di rottura f_{ptk} (MPa)	≥ 1000	≥ 1570	≥ 1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua $f_{p(0.1)k}$ (MPa)	---	≥ 1420	---	---
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale $f_{p(1)k}$ (MPa)	---	---	≥ 1670	≥ 1620
Tensione caratteristica di snervamento f_{pyk} (MPa)	≥ 800	---	---	---

Il produttore dovrà controllare la composizione chimica e la struttura metallografia al fine di garantire le proprietà meccaniche prescritte. Si utilizzeranno trefoli $\Phi 6/10''$ in acciaio liscio.

Di conseguenza le tensioni ammissibili sono:

- in esercizio: $\sigma_a \leq 0.6 f_{ptk}$;
- in fase provvisoria: $\sigma_{ai} \leq 0.85 f_{p(1)k}$.

Barre

Le barre, ove impiegate, saranno del tipo in acciaio speciale ed a filettatura continua (Dywidag o simili). Le caratteristiche di tali acciai dovranno essere certificate dal produttore, e verificate secondo le norme già richiamate nel presente Capitolato.

Dispositivi di bloccaggio

I dispositivi di bloccaggio dovranno essere idonei all'impiego in abbinamento alle barre cui sono destinati, dovranno garantire una resistenza allo SLU superiore a quella della sezione corrente della barra e dovranno essere conformi alle disposizioni del D.M. 14/01/2008.

Piastre di ripartizione

Si adotteranno piastre di ripartizione le cui dimensioni dovranno essere scelte in relazione alle caratteristiche geometriche e di portata dei tiranti ed alle caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale di contrasto. Le stesse dovranno comunque garantire una resistenza allo SLU superiore a quella dei tiranti cui le stesse forniscono supporto.

Nel caso in cui più tiranti usufrissero di una stessa piastra di ripartizione, la resistenza allo SLU della piastra deve comunque superare quella relativa allo SLU anche progressivo dei tiranti.

13.6.2. Miscele di iniezione: composizione e controlli

Delle miscele da impiegare dovrà essere presentato alla Direzione Lavori, per riceverne l'approvazione, uno studio preliminare riportante le modalità di confezione, miscelazione ed iniezione della miscela stessa e comprovante l'effettiva corrispondenza a quanto previsto nel presente Capitolato.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori. Non verranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Miscele tipo a base di cemento

Saranno usate miscele a base di cemento, con rapporto acqua/cemento inferiore o uguale a 0.5.

Con riferimento alla Norma UNI EN 197/1 il cemento potrà essere:

- del tipo II 32.5 N, 32.5 R, 42.5 N o 42.5 R in presenza di ambiente non aggressivo;
- del tipo III A 32.5 R o 42.5 R oppure IV A 32.5 R o 42.5 R in presenza di ambiente aggressivo;

Non sono ammessi cementi di tipo I 52.5 N o 52.5 R.

E' ammesso l'eventuale impiego di *filler* calcareo o siliceo con rapporto non superiore al 30% sul peso in cemento.

Il *filler* dovrà presentare un residuo al setaccio n. 37 della serie UNI n. 2332 (apertura 0,075 mm) inferiore al 3% in peso.

Sono ammessi additivi che hanno un contenuto totale di cloruri, solfuri e nitrati inferiore allo 0.1% in peso. Gli additivi non dovranno essere aeranti e dovranno essere conformi alle norme indicate nell'articolo sulle caratteristiche dei materiali.

La miscela, confezionata con i cementi precedentemente menzionati, dovrà presentare i seguenti requisiti, periodicamente controllati durante le lavorazioni:

- peso specifico della miscela che non potrà discostarsi per più del 2% da quello ottimale definito in sede progettuale;
- fluidità Marsh da 40" a 50";
- decantazione < 2%.

La resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 MPa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice o pari a 30 MPa su cubetti.

Miscele cementizie premiscelate

Qualora si verificasse l'esigenza di ottenere resistenze elevate alle brevissime od alle brevi stagionature (1 d, 3 d o 7 d), anche in presenza di temperature minori di 5 °C, oppure in casi particolari in cui si verificano critiche condizioni al contorno (acque di falda in condizioni dinamiche; terreni fortemente assorbenti, che possono ostacolare la connessione del tirante e provocare lo sfilamento dello stesso in fase di tesatura; eccezionale aggressività ambientale ecc.), la Direzione Lavori potrà ordinare all'Appaltatore l'utilizzo di malte cementizie premiscelate con granulometria dell'eventuale inerte non superiore a 0,3 mm formate da leganti solfato resistenti, additivi superfluidificanti ed espansivi.

La miscela confezionata con boiaccia premiscelata è in genere caratterizzata da un rapporto acqua/sostanza secca molto basso (0,20-0,25). Essa dovrà presentare i seguenti requisiti minimi, salvo diverse disposizioni indicate in progetto o prescritte durante la fase esecutiva, da controllarsi periodicamente durante le lavorazioni

- peso specifico della miscela che non potrà discostarsi per più del 3% da quello ottimale definito in sede progettuale;
- fluidità Marsh da 40" a 50";
- decantazione < 1%;
- resistenza a flessione: a 1 giorno > 5 MPa; a 7 giorni > 9 MPa; a 28 giorni > 10 MPa;
- resistenza cubica a compressione: a 1 giorno > 30 MPa; a 7 giorni > 50 MPa; a 28 giorni > 60 MPa.

Frequenza e modalità dei controlli

La miscela dovrà essere perfettamente omogenea: a questo scopo dovrà essere confezionata mediante mescolatori ad alta velocità di rotazione (> 20 giri/s) o a ciclone.

Le prove sulla miscela "fresca", cioè la misura del peso specifico, la prova di fluidità e la prova di decantazione, dovranno essere eseguite sistematicamente all'inizio di ciascuna giornata lavorativa e dovranno essere in ogni caso ripetute secondo necessità a semplice richiesta della Direzione Lavori.

Se, in occasione di tali controlli, anche solo una delle tre due prove non fornisce risultati conformi a quanto prescritto, le iniezioni devono essere sospese e potranno riprendere solo dopo la confezione di una nuova miscela dalle idonee caratteristiche.

Le apparecchiature, necessarie alla esecuzione delle prove sulla miscela di iniezione fresca, dovranno essere a disposizione in cantiere durante le lavorazioni.

Relativamente alle loro caratteristiche e alle modalità di esecuzione delle prove corrispondenti si farà riferimento a quanto indicato a seguire nel presente Capitolato.

Per il controllo della resistenza cubica a compressione della miscela i prelievi saranno fatti secondo la frequenza richiesta dalla Direzione Lavori e comunque almeno una volta alla settimana. Per ogni prelievo si dovrà provvedere alla confezione di almeno tre coppie di provini.

Le prove per il controllo della resistenza delle miscele utilizzate dovranno essere eseguite presso Laboratori Ufficiali.

13.6.3. Protezione dell'armatura

La protezione dell'armatura è realizzata mediante guaine e tubi di materiale plastico o anche mediante tubi di acciaio.

Guaine e tubi in plastica

Per tiranti temporanei la protezione consisterà in una guaina di PVC, polietilene o polipropilene, che avvolge il tratto libero.

Per tiranti permanenti la protezione sarà costituita da una guaina in PVC, polietilene o polipropilene estesa a tutta la lunghezza del tirante. In corrispondenza del tratto libero la guaina è normalmente prevista in PVC flessibile, liscia. In corrispondenza del tratto di fondazione la guaina è normalmente in PVC rigido, "grecata".

Lo spessore della guaina non dovrà essere inferiore a 1,5 mm e dovrà garantire contro lacerazioni in tutte le fasi di lavorazione e posa ed in presenza delle sollecitazioni meccaniche e chimiche previste in esercizio.

La sezione interna della guaina dovrà essere pari ad almeno quattro volte la sezione trasversale complessiva delle armature (trefoli o barre) contenute e dovrà comunque assicurare uno spessore di iniezione per il ricoprimento degli elementi più esterni dell'armatura di almeno 10 mm.

Per le guaine corrugate dovrà risultare una distanza tra due nervature successive > 5 mm ed una differenza tra i diametri interni, maggiore e minore, superiore a 8 mm.

Ciascun trefolo o barra dovrà essere ulteriormente protetto:

- da una guaina individuale in PVC, polietilene o polipropilene nella parte libera;
- da un'eventuale verniciatura in resina epossidica elasticizzata nel tratto di fondazione.

Gli spazi residui tra guaina e pareti del perforo e tra armatura e guaina dovranno essere riempiti con miscela cementizia.

Tubi d'acciaio

La protezione dei tiranti permanenti può essere costituita anche da una guaina rigida in tubi di acciaio che riveste l'armatura su tutta la loro lunghezza. In ambiente aggressivo la guaina sarà rivestita con resina epossidica elasticizzata.

Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo saranno ottenute mediante manicotti saldati o filettati. Nel tratto di fondazione i tubi saranno dotati di valvole per l'iniezione, secondo le indicazioni di progetto, e dovranno essere scovolati internamente dopo l'esecuzione dei fori di uscita della miscela, allo scopo di asportare le sbavature lasciate dal trapano.

Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli di filo di acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto.

La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.

Il tubo guaina dovrà essere dotato di distanziatori non metallici, posizionati di preferenza in corrispondenza dei manicotti di giunzione, per assicurare la centratura all'interno del perforo e quindi la protezione esterna del tubo mediante uno spessore uniforme di miscela cementizia.

La sezione interna del tubo guaina dovrà essere tale da consentire l'alloggiamento dei trefoli provvisti di distanziatori, in conformità a quanto previsto dal presente Capitolato.

13.6.4. Distanziatori, tamponi e condotti di iniezione

I distanziatori avranno lo scopo di disporre l'armatura di ancoraggio nel foro di alloggiamento in modo che sia garantito il ricoprimento dell'acciaio da parte della miscela di iniezione.

La forma dei distanziatori dovrà quindi essere tale da consentire il centraggio dell'armatura nel foro di alloggiamento durante tutte le fasi di manipolazione e nello stesso tempo non dovrà ostacolare il passaggio della miscela; in ogni caso in corrispondenza del distanziatore la sezione libera di foro deve essere pari ad almeno due volte la sezione del condotto di iniezione.

I distanziatori dovranno essere realizzati in materiali non metallici di resistenza adeguata agli sforzi che devono sopportare ed essere disposti a intervalli non superiori a 5 m nel tratto libero; nel tratto di fondazione saranno intercalati da legature e disposti a interassi di 2,0÷2,5 m in modo da dare al fascio di trefoli una conformazione a ventri e nodi.

Per armature costituite da barre i distanziatori non saranno alternati a legature.

I tamponi di separazione fra la parte libera e la fondazione dovranno essere impermeabili alla miscela e tali da resistere alle pressioni di iniezione.

I tamponi dovranno essere realizzati o con elementi meccanici o con elementi chimici (materiale iniettato) aventi caratteristiche tali da garantire l'armatura dalla corrosione.

Le caratteristiche dei condotti di iniezione da impiegare dovranno essere tali da soddisfare i seguenti requisiti:

- avere resistenza adeguata alle pressioni di iniezione risultando cioè garantiti per resistere alla pressione prevista con un coefficiente di sicurezza pari ad 1,5 e comunque avere una pressione di rottura non inferiore a 10 bar;
- avere diametro interno non inferiore a 10 mm nel caso in cui non siano presenti aggregati, non inferiore a 16 mm in caso contrario; ciò al fine di consentire il passaggio della miscela d'iniezione.

Nel caso sia richiesta l'iniezione ripetuta in pressione, il tirante dovrà essere equipaggiato con un condotto assiale d'iniezione, opportunamente dotato di valvole a manicotto, di diametro interno adeguato a consentire il passaggio del doppio otturatore (non inferiore a 25 mm) e di resistenza adeguata a sopportare l'elevata pressione di apertura delle valvole a manicotto (pressione di rottura non inferiore a 8 MPa).

13.7. Elementi di protezione dell'armatura

La protezione di base del tirante nel terreno è costituita dal corretto riempimento di ogni suo elemento mediante la miscela d'iniezione, che deve garantire su ogni elemento una copertura minima di 10 mm verso la parete del foro di alloggiamento.

In relazione poi all'aggressività dell'ambiente e alla durata di progetto del tirante, il tirante stesso deve essere munito di ulteriori elementi di protezione.

In linea con quanto già detto all'art. 14.5 circa le soggezioni ambientali del tirante, sono ammesse le seguenti due classi di protezione:

- classe 1, per tiranti temporanei, in ambiente aggressivo e non aggressivo, per un periodo di esercizio inferiore a ventiquattro mesi;
- classe 2, per tiranti permanenti, in ambiente aggressivo e non aggressivo, per un periodo di esercizio uguale o comunque superiore a ventiquattro mesi

Per la classe 1 è richiesto:

- per il tratto vincolato, la semplice protezione di ciascuna armatura mediante la già indicata copertura minima di 10 mm verso la parete del foro (salvo valutare ulteriori protezioni in caso di ambiente aggressivo);
- per il tratto libero, una guaina di plastica per ogni singola armatura, sigillata contro la penetrazione dell'acqua o riempita di un prodotto anticorrosione; la guaina può essere comune a tutte le armature e in questo caso può essere di plastica, ma anche di acciaio.

Per la classe 2 è richiesta invece una doppia protezione che può essere realizzata:

- per il tratto vincolato, ad esempio con una delle due seguenti soluzioni:
 - un tubo corrugato di plastica, contenente l'armatura, preiniettato con miscela cementizia (copertura minima di 5 mm tra tubo ed armatura; larghezza delle fessure nella miscela tra tubo ed armatura non superiore a 0,1 mm sotto il tiro di esercizio); il tubo avrà uno spessore di 1-2 mm a seconda del diametro e sarà a sua volta ricoperto da uno spessore di almeno 10 mm di miscela cementizia verso la parete del foro;
 - un tubo corrugato di plastica o un tubo di acciaio, contenente l'armatura (copertura minima di 5 mm tra tubo ed armatura), munito di valvole a manicotto (spessore minimo 3 mm); il tubo sarà ricoperto da uno spessore di almeno 20 mm di miscela cementizia iniettata in pressione attraverso le valvole (pressione minima di 0,5 MPa; larghezza delle fessure nella miscela non superiore a 0,2 mm sotto il tiro di esercizio);
- per il tratto libero, ad esempio con una delle due seguenti soluzioni:
 - una guaina di plastica per ciascuna armatura (riempita di composto protettivo lubrificante), con una guaina plastica comune per tutte le armature, riempita con prodotto anticorrosione molle o miscela cementizia;
 - una guaina di plastica per ciascuna armatura (riempita di composto protettivo lubrificante), con un tubo d'acciaio comune per tutte le armature, riempito con miscela cementizia.

Per i sistemi di protezione anticorrosione è previsto che venga eseguita almeno una prova del sistema per verificarne l'ammissibilità. Il tipo di prova da realizzare per ogni sistema di tirante deve essere approvato dalla Direzione Lavori.

È facoltà della Direzione Lavori di richiedere la prova elettrica della protezione anticorrosione, cioè la misurazione dell'isolamento elettrico tra un tirante e il terreno circostante o la struttura. Le modalità di prova sono illustrate nell'Appendice A della norma UNI 1537.

13.8. Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse nella realizzazione dei fori di alloggiamento dei tiranti sono le seguenti:

- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di progetto e non superiore del 10% di tale diametro;
- la lunghezza totale di perforazione dovrà risultare conforme al progetto;
- la variazione di inclinazione e di direzione azimutale non dovrà essere maggiore di $\pm 2^\circ$;
- la posizione della testa foro (intersezione dell'asse del tirante con il piano d'intestazione) non dovrà discostarsi più di 10 cm dalla posizione di progetto.

La lunghezza totale dell'armatura e la lunghezza del tratto attivo, posizionato nella parte terminale della perforazione, dovranno risultare conformi alle indicazioni progettuali.

13.9. Perforazione

Le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle norme UNI EN 791 e UNI EN 996.

Le pompe di alimentazione del fluido di circolazione dovranno assicurare le opportune portate e pressioni richieste dalla metodologia di perforazione adottata.

La perforazione potrà essere eseguita a rotazione o a rotopercolazione, in materie di qualsiasi natura e consistenza, compreso calcestruzzi, murature, trovanti e/o roccia dura, anche in presenza di acqua.

Il perforo potrà essere eseguito a qualsiasi altezza e l'Appaltatore dovrà provvedere ad eseguire idonei ponteggi ed impalcature.

Il foro dovrà essere rivestito mediante rivestimenti tubolari metallici provvisori nel caso che il terreno sia rigonfiante o non abbia coesione sufficiente ad assicurare la stabilità delle pareti del foro durante e dopo la posa delle armature.

Il fluido di perforazione potrà essere acqua, aria, una miscela di entrambe eventualmente additivata con tensioattivi (schiume). Per perforazioni in terreni sciolti, in alternativa al rivestimento provvisorio del foro, è anche ammesso l'uso di fanghi polimerici, purché biodegradabili, e di miscele cementizie di opportuna densità. L'impiego di aria non è consentito in terreni incoerenti sotto falda.

Quando sia previsto dal progetto e sia compatibile con la natura dei terreni, si potranno eseguire, mediante l'impiego di appositi utensili allargatori, delle scampanature di diametro noto, regolarmente intervallate lungo la fondazione del tirante.

In base alle indicazioni emerse nel corso della esecuzione dei tiranti preliminari di prova, in presenza di falde artesiane o quando la testa del foro si trovi a livello inferiore rispetto alla falda freatica in terreni particolarmente permeabili, dovranno essere messe in atto tutte le opportune precauzioni al fine di evitare fenomeni di espulsione incontrollata di materiale da bocca-foro ed il successivo dilavamento delle miscele durante la formazione del fusto del tirante. L'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese, a preventive iniezioni di intasamento che si rendessero necessarie all'interno del foro con miscele e modalità approvate dalla Direzione Lavori.

Per un tirante ogni 50, e comunque su almeno un tirante se il numero totale dei tiranti risulta inferiore a 50, dovrà essere eseguita una ricostruzione stratigrafica qualitativa in funzione delle informazioni ricavate dalla velocità di avanzamento degli utensili di perforazione impiegati e dall'osservazione dei materiali di risulta.

Tale ricostruzione stratigrafica, la quale dovrà essere eseguita in contraddittorio tra impresa e personale tecnico della Direzione Lavori, è finalizzata alla conferma delle ipotesi avanzate in fase di dimensionamento in merito alla natura geologica-geotecnica delle formazioni che saranno coinvolte nella realizzazione dei bulbi di fondazione dei tiranti.

Le sonde di perforazione impiegate per la realizzazione dei "tiranti geognostici" dovranno essere attrezzate con un sistema di registrazione automatica computerizzata (*data logger*) per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la restituzione in continuo dei seguenti parametri (*DAC test*):

- profondità di perforazione;
- velocità di perforazione;
- velocità di rotazione in fase di perforazione;
- spinta in fase di perforazione;
- portata del fluido di perforazione;
- pressione del fluido di perforazione;
- energia specifica.

Le risultanze (grafici e dati numerici) dei *DAC test* dovranno essere tempestivamente trasmesse alla Direzione Lavori, in forma cartacea e su supporto informatico.

Qualora le risultanze stratigrafiche ed i diagrammi dei *DAC test* rivelassero formazioni "peggiori" di quelle ipotizzate in fase di dimensionamento, si dovranno fornire alla Direzione Lavori le necessarie evidenze per le valutazioni del caso, sentito eventualmente il Progettista.

13.10. Assemblaggio e posa delle armature

Per l'impiego di armature a trefoli (di norma in acciaio controllato in stabilimento con fili aventi tensione caratteristica al limite elastico convenzionale dello $0,1\% f_{p(1)k} > 1670$ MPa e tensione caratteristica a rottura $f_{ptk} > 1860$ MPa) gli elementi costitutivi dell'ancoraggio dovranno essere preferibilmente confezionati in stabilimento e pervenire in cantiere già arrotolati e inguainati, salvo eventualmente il dispositivo di bloccaggio che potrà essere montato in cantiere.

Ove, per particolari motivi, fosse necessario effettuare l'assemblaggio degli elementi costitutivi degli ancoraggi in cantiere, dovrà essere predisposta a cura e spese dell'Appaltatore, ed in prossimità del luogo di impiego, una adeguata attrezzatura per confezionare correttamente gli ancoraggi stessi.

In tal caso i componenti ed in particolare l'acciaio, dovranno essere immagazzinati convenientemente, possibilmente al coperto, in modo che non subiscano danneggiamenti durante la giacenza. Dovrà essere inoltre accuratamente evitato il contatto con il terreno o altri materiali che possono danneggiare l'ancoraggio.

Pertanto la confezione degli ancoraggi dovrà avvenire sempre su apposito banco e non a terra. La confezione degli ancoraggi dovrà essere affidata a personale esperto e consisterà nelle seguenti fasi principali:

- taglio dei trefoli a misura;
- interposizione dei distanziatori interni ai trefoli;
- montaggio dei condotti di iniezione;
- infilaggio delle guaine su tutta la lunghezza dell'ancoraggio o sulla parte libera dello stesso;
- esecuzione del tampone di separazione tra la fondazione e la parte libera dell'ancoraggio;
- montaggio degli eventuali distanziatori, necessari al centraggio dell'ancoraggio nel foro di alloggiamento;
- eventuale montaggio del dispositivo di bloccaggio nei casi in cui questa operazione sia prevista prima dell'infilaggio dell'ancoraggio nel foro;
- accurata sigillatura di tutte le giunzioni per evitare le perdite di impermeabilità della guaina.

Per l'impiego di ancoraggi con armature a barre o tubolari, nei quali l'assemblaggio è fatto in opera, le operazioni di assemblaggio dovranno essere eseguite da personale esperto ed essere effettuate via via che la barra viene infilata nel foro avendo cura che il collegamento dei vari tronchi, mediante manicotti di giunzione, avvenga secondo le modalità previste dal costruttore e che parallelamente le sigillature della eventuale guaina siano accuratamente eseguite.

La posa in opera delle armature dovrà avvenire secondo modalità approvate dalla Direzione Lavori che ne assicurino il corretto posizionamento e l'efficacia della connessione al terreno.

I trefoli o barre ed i condotti d'iniezione dovranno fuoriuscire a bocca-foro per un tratto adeguato a consentire le successive operazioni di iniezione e di tesatura.

13.11. Connessione al terreno

13.11.1. Generalità

La connessione del tirante al terreno è realizzata mediante la posa in opera (iniezione) della miscela d'iniezione. Questa avviene in fasi successive a seconda del tipo di tirante:

- iniezione semplice o di prima fase;
- riempimento dei dispositivi di separazione e protezione interni del tirante (sacco otturatore e tampone interno, ove non prefabbricato);
- iniezione selettiva ripetuta in pressione;
- iniezione di riempimento del tratto libero del tirante.

Le fasi d'iniezione saranno effettuate in accordo a quanto previsto successivamente.

13.11.2. Iniezione semplice o di prima fase

L'iniezione semplice o di prima fase consiste nel riempimento, per tutta la lunghezza del foro, dello spazio tra la struttura del tirante e le pareti del foro stesso. Essa viene di norma eseguita immediatamente dopo la posa in opera del tirante, ma può essere eseguita anche immediatamente prima della posa del tirante, quando questa procedura possa costituire un'ulteriore garanzia della stabilità del foro e dell'agevole introduzione del tirante in esso.

Il riempimento sarà fatto con la miscela precedentemente descritta e, per i tiranti permanenti a trefoli, interesserà oltre all'intercapedine tra la guaina ed il foro, anche tutto lo spazio tra l'eventuale guaina corrugata e l'armatura lungo la fondazione del tirante. Tale spazio dovrà essere collegato alla bocca del foro da un tubetto di sfiato che consenta la

fuoriuscita di tutta l'aria contenuta e l'iniezione dovrà essere proseguita fino alla fuoriuscita della miscela dal tubetto di sfiato.

L'iniezione semplice è adatta :

- in terreni di granulometria grossolana (ghiaie, ciottoli) nei quali una porzione rilevante della malta iniettata va a compenetrare il terreno intorno al foro;
- in rocce lapidee ed in terreni coesivi mediamente compatti, congiunta eventualmente alla tecnica di perforazione con allargatori.

In questi tipi di terreno l'iniezione semplice è normalmente sufficiente ad assicurare le prestazioni del tirante (cioè la sua resistenza esterna intesa come resistenza a trazione all'interfaccia tra fondazione e terreno), mentre in terreni di caratteristiche diverse si rende necessaria l'iniezione ripetuta in pressione.

Il riempimento dello spazio tra struttura del tirante e foro, e quindi anche dell'intercapedine tra foro e guaina della parte libera, sarà assicurato immettendo la miscela nel punto più profondo del foro tramite gli appositi condotti ed osservando che essa risalga fino a boccaforo e vi permanga finché interviene la presa: ove occorra si provvederà a riprese dell'iniezione o a rabbocchi per ottenere che la condizione di riempimento sia rispettata.

13.11.3. Iniezione ripetuta in pressione

Se la struttura del tirante prevede la presenza di un sacco otturatore per l'ulteriore separazione tra tratto libero e tratto vincolato (fondazione) del tirante, l'iniezione di riempimento del sacco viene di norma eseguita prima dell'iniezione ripetuta in pressione, attraverso le valvole del condotto d'iniezione assiale, che intercettano il sacco. L'iniezione deve essere condotta lentamente ed a bassa pressione (non superiore a 0,5 MPa) per evitare di lacerare il sacco.

L'iniezione ripetuta in pressione consente di ottenere la resistenza esterna richiesta al tirante in terreni di qualunque natura, caratterizzati da un modulo di deformazione a breve termine sensibilmente inferiore a 500 MPa. L'iniezione di quantità controllate della miscela cementizia in più fasi successive, fino ad ottenere pressioni di iniezione residue di 0,8-1,5 MPa, dovrà avere lo scopo di ottenere una serie di sbulbature lungo la fondazione del tirante e ad instaurare nel terreno circostante un campo tensionale di compressione, favorevole alla mobilitazione di elevate resistenze al taglio per attrito.

L'iniezione in pressione avverrà tramite un tubo a perdere dotato di valvole di non ritorno a manicotto, regolarmente intervallate a 50 cm di interasse lungo il tratto di fondazione del tirante.

Il tubo potrà essere disposto:

- coassialmente all'armatura ed avere diametro adeguato nel caso di tiranti senza guaina lungo la fondazione;
- esterno all'armatura, in acciaio, posto in opera preventivamente alla posa dell'armatura;
- coassiale all'armatura, ma interno alla guaina grecata di protezione e dotato di valvole che sboccano all'esterno di essa per la formazione delle sbulbature nel terreno; altre valvole, interne alla guaina, servono per il riempimento dell'intercapedine guaina/armatura.

Le fasi dell'iniezione saranno le seguenti:

- I. Riempimento della cavità a ridosso delle pareti della perforazione, ottenuta alimentando la miscela dalla valvola più profonda in modo da ottenere la risalita fino alla bocca del foro (iniezione di prima fase di cui all'art. 14.7.1). Al termine si effettuerà un lavaggio con acqua all'interno del tubo a valvole per renderlo agibile per le successive fasi d'iniezione;
- II. Avvenuta la presa della malta precedentemente posta in opera, si inietteranno valvola per valvola (isolando ciascuna valvola mediante un otturatore doppio) volumi di miscela non eccedenti le seguenti quantità:

Diametro foro (mm)	Volume max (l/valvola)
da 90 a 120	30,0
da 121 a 170	45,0
da 171 a 220	60,0

Tali iniezioni dovranno essere effettuate senza superare la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno (claquage).

La massima pressione di apertura delle valvole non dovrà superare il limite di 6 MPa. In caso che una valvola non si apra entro questo limite, la valvola stessa potrà essere abbandonata, salvo diverse istruzioni impartite dalla Direzione Lavori.

Al termine si effettuerà un lavaggio con acqua all'interno del tubo;

III. Avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, si ripeterà l'iniezione in pressione, osservando gli stessi limiti di volume, limitatamente alle valvole per le quali, nella fase II):

- il volume non abbia raggiunto i limiti sopra indicati a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
- le pressioni residue di iniezione misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico non superino 0,8 MPa.

IV. L'iniezione può essere ripetuta ulteriormente, sempre senza superare i limiti di volume anzidetti e dopo la presa delle iniezioni delle fasi precedenti, qualora ciò risultasse necessario per il raggiungimento della desiderata capacità portante (resistenza esterna) del tirante.

Al termine delle operazioni di connessione al terreno del tirante si procederà alla posa in opera del dispositivo di bloccaggio, il quale dovrà essere in perfette condizioni e privo di ruggine e di incrostazioni di qualsiasi natura.

13.11.4. Iniezione in terreni o rocce ad elevata permeabilità

In terreni altamente permeabili o in rocce fessurate si potranno verificare perdite incontrollate di miscela che potrebbero pregiudicare la formazione del tratto vincolato. In tali condizioni, preliminarmente alla posa del tirante dovranno essere eseguite nel foro prove in sito di permeabilità (prove d'acqua).

Nel caso che tali prove indicassero, per il tratto ancorato perdite superiori a 5.0 lt/min con pressioni di 0.1 MPa, si dovranno attuare misure preventive di riduzione del grado di permeabilità quali pre-iniezioni con apposite miscele di intasamento.

A seguito di tali operazioni, per la posa in opera del tirante si renderà necessaria la riperforazione del foro di alloggiamento, a cui seguiranno la posa del tirante e le normali iniezioni.

13.12. Tesatura e collaudo

Trascorsi ventotto giorni dall'ultima iniezione, o meno, secondo il tipo di miscela, ogni tirante verrà sottoposto a tesatura di collaudo.

L'inizio delle operazioni di collaudo dovrà essere comunque autorizzato dalla Direzione Lavori.

Il carico di collaudo (P_c) è pari a 1.2 volte il carico di esercizio (P_{es}) e comunque non superiore a $0.9 P_{t(0.1)k}$ (carico di snervamento dell'acciaio).

La prova di collaudo si eseguirà assegnando dapprima al tirante un carico di riferimento iniziale $P_o = 0.10 P_c$ e misurando la corrispondente posizione delle armature rispetto alla piastra di testata.

Il tirante dovrà essere caricato fino P_c con almeno tre incrementi uguali. Poi il tirante dovrà essere scaricato al carico P_o e caricato di nuovo al tiro di bloccaggio P_b .

Al carico P_c la durata del periodo di controllo delle deformazioni a carico costante per la definizione della velocità di *creep* K_s (art 14.4.3) dovrà essere:

- 5' per tiranti in roccia o in terreni non coesivi;
- 15' per tiranti con fondazione in terreni coesivi compatti (coesione non drenata > 0,2 MPa);
- 30' per tiranti con fondazione in terreni coesivi non compatti (coesione non drenata < 0,2 MPa).

In caso di non raggiunta determinazione della velocità caratteristica di *creep*, dovranno essere considerati tempi maggiori di attesa, tali da garantire l'ottenimento di tale valore.

Per l'accettazione del singolo tirante dovranno essere verificate le seguenti condizioni:

- lunghezza libera apparente L_{app} in accordo con l'articolo 14.4.2.;
- la velocità di *creep* K_s non superiore a 1 mm.

Valori più elevati di K_s potranno comunque essere ammessi se considerati accettabili nelle precedenti prove preliminari.

I tiranti che non soddisferanno i predetti requisiti di collaudo verranno sostituiti con nuovi tiranti di caratteristiche e posizione concordate con la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

Resta inteso che comunque i maggiori oneri che ne deriveranno saranno a totale carico dell'Appaltatore.

E' facoltà della Direzione Lavori accettare diverse modalità di prova, facendo riferimento a quanto previsto nella norma UNI EN 1537.

Le apparecchiature impiegate dovranno consentire le seguenti precisioni di misurazione:

- per gli allungamenti di 0,01 mm;
- per le forze, del 2% della trazione massima di esercizio (N_{es}).

Esse dovranno essere tarate presso un laboratorio Ufficiale; è facoltà della Direzione Lavori richiedere la ripetizione della taratura in caso di impieghi prolungati, o ripetuti per più di 50 tiranti, o in caso di risultati che diano adito a dubbi sulla loro attendibilità.

13.13. Operazioni finali e protezione della testata

La protezione anticorrosiva del tratto libero del tirante sarà completata iniettando all'interno della guaina la miscela, dopo il completamento delle operazioni di tesatura del tirante.

L'iniezione nel tratto libero della miscela cementizia prima della tesatura o di fasi eventuali di ritesatura, potrà avvenire solo per armature costituite da trefoli a sezione compatta, ingrassati e protetti da guaine individuali in P.V.C., in modo che sia assicurato lo scorrimento tra guaina e trefolo con minime resistenze.

Per la testa di ancoraggio del tirante il grado di protezione richiesto è diverso a seconda che il tirante rientri nella classe 1 o nella classe 2. Quanto segue riguarda essenzialmente i tiranti permanenti (classe 2), ma anche per i tiranti temporanei (classe 1) sarà cura dell'Appaltatore mettere in atto tutti i provvedimenti perché le teste d'ancoraggio mantengano la loro funzionalità per tutto il tempo di esercizio previsto, anche in vista di eventuali controlli o riprese del tiro dei tiranti.

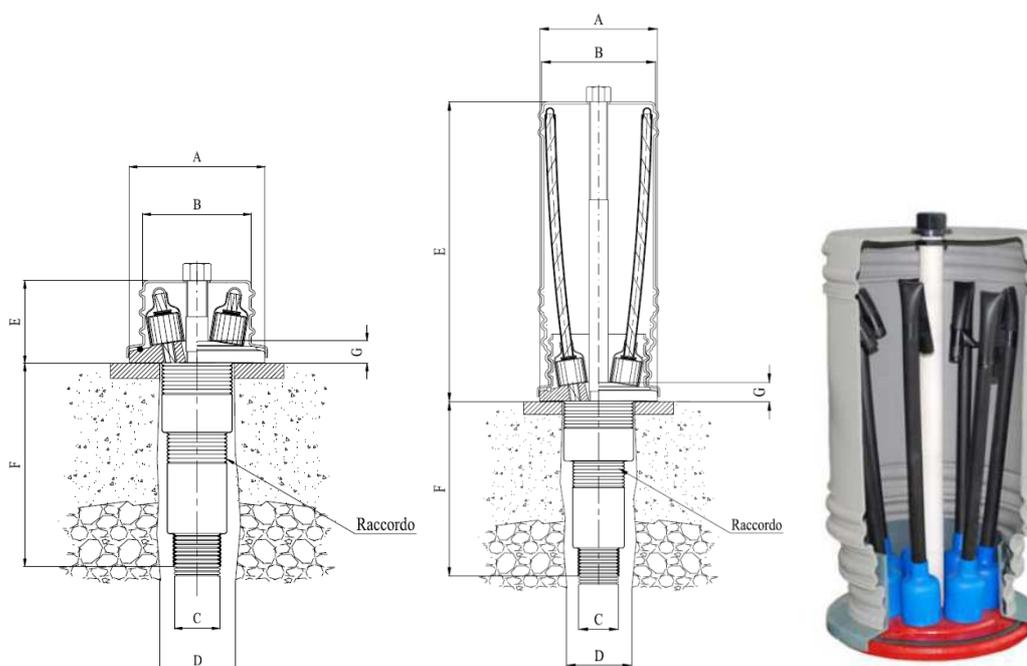
La protezione della testa d'ancoraggio si esplica in due direzioni: la protezione del piccolo tratto d'armatura immediatamente sotto la piastra di appoggio e la protezione della piastra stessa con i dispositivi di bloccaggio e l'eventuale armatura in esubero.

Per la prima sarà predisposto un sistema d'iniezione atto a procurare un'efficace estensione all'ultimo tratto dell'armatura della protezione applicata al tratto libero: normalmente si provvede iniettando resine o miscele cementizie con additivi antiritiro attraverso condotti appositamente inseriti nella testa di ancoraggio.

Per la seconda si applicheranno alla piastra ed agli altri componenti di acciaio della testa le protezioni previste dalle specifiche norme e dal presente Capitolato (zincatura, verniciatura, ecc.) per le strutture in acciaio. Inoltre, salvo i casi di deroga espressamente previsti in Progetto od autorizzati dalla Direzione Lavori, si dovrà consentire la successiva ispezione della testa, il controllo del tiro residuo e le eventuali successive riprese del tiro. Ciò potrà attuarsi di norma con uno dei seguenti provvedimenti, in ordine di preferenza decrescente:

- predisposizione di una apposita cavità attorno alla testa, accessibile dall'esterno e protetta con idoneo dispositivo di chiusura a tenuta stagna, sufficientemente robusto e dotato di serratura a chiave, il quale a sua volta dovrà essere mantenuto in efficienza nel tempo. Qualora la testa sia a filo esterno della struttura, la cavità potrà essere sostituita da una capsula metallica, avente però le stesse caratteristiche prestazionali di tenuta, robustezza, difficoltà di effrazione e durabilità;
- incapsulamento della testa e di ogni altro elemento metallico da essa sporgente mediante calotte o involucri protettivi in polietilene o polipropilene o anche di acciaio (spessore minimo pari a 2 mm), completi di guarnizioni di tenuta e successivo inglobamento entro un getto di calcestruzzo armato. In questo caso le parti metalliche, prima del loro incapsulamento dovranno essere abbondantemente ingrassate con apposito grasso protettivo stabile nel tempo (per es. grasso alla grafite o al rame) o le capsule si esse iniettate a saturazione con grasso o paraffina stabili nel tempo. Inoltre sull'esterno della struttura, in posizione direttamente corrispondente a quella delle teste, dovranno essere applicate apposite marche atte a consentire, per tutta la vita utile della struttura, l'individuazione della posizione delle teste stesse.





Esempi di teste di ancoraggio con protezioni sotto la piastra ed esterne ad essa (Mod. "TTR Cap corto" e "TTR Cap lungo", della TTM Tension Technology S.r.l.)

In ogni caso, per un periodo adeguato (ove non espressamente determinato non inferiore a centottanta giorni), decorrente dalla data della ultimazione delle operazioni di tesatura di collaudo, le teste di tutti i tiranti dovranno essere lasciate accessibili per le operazioni di controllo e ripresa di tiro da eseguire in tale periodo (ove non espressamente determinato a novanta e centottanta giorni dalla data della tesatura di collaudo) nelle quantità che saranno prescritte dalla Direzione Lavori, che comunque non dovranno essere inferiori al 20% dei tiranti per ciascuna opera.

È facoltà della Direzione Lavori richiedere che il sistema di protezione applicato alla testa d'ancoraggio sia sottoposto ad una prova preliminare di idoneità secondo le modalità che saranno indicate dalla Direzione Lavori.

13.14. Documentazione dei lavori

Per ogni tirante, sia preliminare di prova che di progetto, dovrà essere compilata dall'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori, una scheda recante le seguenti indicazioni:

- diametro, lunghezza e sistema di perforazione;
- eventuali iniezioni preliminari di intasamento;
- tipo e dimensioni delle armature metalliche;
- lunghezza del tratto attivo;
- quantità di miscela iniettata nelle varie fasi e sua composizione;
- date di perforazione, iniezione e tesatura di collaudo.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello e tempestivamente trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

Operativamente, poiché le lavorazioni relative ad ogni singolo tirante si svolgono in fasi successive distanziate nel tempo, per consentire la tempestiva trasmissione dei dati parziali alla Direzione Lavori, la scheda citata sarà costituita da almeno tre sezioni concernenti rispettivamente:

- perforazione, posa del tirante ed iniezione di prima fase;
- iniezione ripetuta in pressione;
- collaudo e messa in tiro.

13.15. Modalità di esecuzione delle prove sulla miscela fresca

13.15.1. Misura del peso specifico

La misura del peso specifico o peso di volume della miscela verrà eseguita in cantiere mediante l'apposita bilancia Ba-roid, secondo le modalità delle raccomandazioni API-RP13B, riprese anche in "Appendice" all'art. 6.6 – Micropali del presente Capitolato.

13.15.2. Misura della fluidità

La misura della fluidità o viscosità della miscela verrà eseguita in cantiere mediante il cono di Marsh. L'apparecchio è costituito da un recipiente (imbuto) tronco-conico caratterizzato dalle seguenti dimensioni:

- diametro della base superiore: 152 mm;
- altezza del tronco di cono: 305 mm;
- capienza del tronco di cono: 1.500 cm³;
- base inferiore costituita da un ugello di diametro interno 4,76 mm e di altezza 50,8 mm

La prova viene eseguita riempiendo completamente il cono di miscela (previa filtratura di eventuali grossolane impurità attraverso l'apposita rete metallica applicata alla base superiore del cono) e misurando il tempo di deflusso di 1.000 cm³ in un contenitore graduato sottostante al cono. Il tempo di deflusso, espresso in secondi, esprime il valore della fluidità o viscosità Marsh.

13.15.3. Misura della decantazione

La misura della decantazione della miscela verrà eseguita mediante una provetta cilindrica graduata da 1.000 cm³. La provetta verrà riempita di miscela esattamente al limite di 1.000 cm³ e tenuta in riposo al riparo dall'aria. La lettura diretta, ripetuta nel tempo, dell'altezza dell'acqua separatasi in sommità, rapportata all'altezza totale iniziale, esprime il valore dell'essudazione in funzione del tempo. Si assume convenzionalmente come valore finale dell'essudazione il valore rilevato dopo tre ore dal riempimento della provetta.

Il valore dell'essudazione sarà ritenuto accettabile se non sarà superiore ai limiti indicati ai paragrafi precedenti per i vari tipi di miscela.

14. Bulloni di ancoraggio e chiodi

14.1. Generalità

Si tratta di elementi strutturali ad andamento rettilineo, a geometria prevalentemente monodimensionale, destinati al rinforzo in sito di ammassi di terreno, eventualmente inclusivi di muri o altre opere d'arte esistenti a contatto con il terreno stesso, o all'ancoraggio in essi di elementi strutturali.

Trovano largo impiego sia nelle opere all'aperto, sia nelle opere in sotterraneo e sono realizzati sia in acciaio, sia in materiali compositi (generalmente vetroresina). Nel secondo caso l'impiego è prevalentemente destinato ad opere provvisorie, in quanto tali materiali abbinano il basso costo alla facilità di demolizione. Nel caso poi di materiali compositi dielettrici, non è da trascurare la loro insensibilità alle correnti vaganti, tipiche ad esempio nelle opere ferroviarie.

Per l'esecuzione di interventi di rinforzo del terreno e/o di opere a contatto con il terreno, impieganti chiodi (denominati anche "chiodature del terreno" o *soil nailing*), dovranno essere osservate le norme UNI EN 14490 (Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Chiodature del terreno (*soil nailing*)).

Bulloni di ancoraggio

Sono elementi sollecitati a trazione o a trazione e taglio e sono generalmente attivi (ossia pretesi), anche se in qualche caso la pretensione può essere limitata o addirittura eliminata (tiranti passivi).

L'armatura è costituita da una unica barra metallica solidarizzata alla roccia per semplice cementazione o per frizione concentrata (nella zona di testa) o diffusa (su tutta la lunghezza) mediante dispositivi ad espansione meccanica.

Per quanto riguarda parti componenti, modalità di sollecitazione e durata di esercizio, i bulloni non presentano differenze dai tiranti di ancoraggio, salvo essere generalmente caratterizzati dalla peculiarità di possedere dispositivi di ancoraggio provvisorio o definitivo ad espansione meccanica, laddove i tiranti classici prevedono invece soltanto l'aderenza all'ammasso per sola cementazione.

Sono anche impiegabili bulloni in vetroresina, pretesi, per impieghi a carattere provvisorio. In questo caso tutto il sistema, con particolare riferimento ai dispositivi di tesatura, deve essere adeguatamente calibrato affinché non si verifichino danni ai bulloni e/o degrado incontrollato delle loro prestazioni.

Chiodi

Sono elementi strutturali passivi operanti generalmente in un dominio di taglio e di trazione indotta dalle deformazioni conseguenti al taglio.

Possano avere sia funzione di ancoraggio, sia di consolidamento dell'ammasso interessato.

L'armatura è costituita da un unico elemento resistente, di varia tipologia:

- barra in acciaio ad aderenza migliorata, eventualmente cava;
- profilato metallico;
- barra o tubo in vetroresina o altro materiale composito con superficie corrugata o scabra.

I chiodi non presentano differenze realizzative in funzione della durata di esercizio.

14.2. Materiali

Per la realizzazione di bulloni e chiodi a carattere definitivo si utilizzeranno di norma barre in acciaio del tipo ad aderenza migliorata, di qualità e caratteristiche conformi a quanto specificato nelle norme.

E' consentito, ove espressamente previsto dai disegni di progetto o autorizzato dalla Direzione Lavori, l'impiego di barre in acciai speciali ed anche a filettatura continua. Le caratteristiche di tali acciai dovranno essere certificate dal produttore, da verificare secondo regolamenti citati.

Per la realizzazione di chiodi a comportamento frizionale (vedere più avanti) si potranno utilizzare anche tubi metallici pre-schiacciati, di caratteristiche certificate dal produttore.

Si potranno utilizzare infine, nei casi in cui ciò sia previsto in progetto, elementi in vetroresina, per i quali dovranno essere certificate le caratteristiche meccaniche di cui alla seguente tabella, recante anche le rispettive norme di riferimento.

Caratteristica	Elemento	U. di m.	Valore minimo	Norma di riferimento
Massa volumica	Tubo / Barra a sez. rett.	g/cc	1.9	UNI EN ISO 1183-1, 1183-2
Resistenza a trazione	Tubo	MPa	600	UNI EN 61
	Barra a sez. rettang.		1000	
Resistenza a flessione	Tubo		600	ASTM D790
	Barra a sez. rettang.		1000	
Modulo elastico	Tubo		30000	UNI EN 61 (ASTM D790)
	Barra a sez. rettang.		40000	
Resistenza a taglio	Tubo		100	ASTM D732
	Barra a sez. rettang.		140	

Nel caso delle barre in vetroresina a sezione circolare, ad aderenza migliorata ottenuta tramite una sagomatura elicoidale a rilievo, questa dovrà essere realizzata senza l'ausilio di lavorazioni meccaniche che comportino asportazione di materiale con conseguente taglio delle fibre di rinforzo. Tali barre sono utilizzate principalmente per la realizzazione di

gabbie di armatura o come chiodi o tiranti (attivi e passivi); le relative caratteristiche da certificare sono quelle di cui alla seguente tabella.

Diam. tondino (mm)	Area sez. (mm ²)	Resistenza a traz. media (MPa)	Resistenza a traz. caratteristica (MPa)	Resistenza a trazione (ton)	Modulo elastico (GPa)
10	78	1000	900	7	41
12	113	900	900	10	41
16	201	900	800	16	41
22	380	900	780	29	41
25	490	900	730	35	41
26	530	900	730	38	41
30	706	900	690	48	41
32	804	900	670	53	41

14.3. Modalità operative

14.3.1. Bulloni di ancoraggio

Assemblato il bullone ed eseguita la perforazione, si procederà quindi con le operazioni in analogia a quanto previsto per i tiranti, tenendo conto che:

- nel caso di bulloni ad ancoraggio continuo eseguiti in calotta di galleria naturale, quando l'inclinazione sull'orizzontale sia superiore a 30°, si dovrà procedere preliminarmente al loro bloccaggio entro il foro mediante espansione di un ancoraggio meccanico posizionato all'estremità del bullone a fondo foro;
- nel caso di bulloni con ancoraggio meccanico, la connessione alla roccia si otterrà direttamente in fase di tensionamento.

Completata la perforazione e rimossi i relativi detriti mediante adeguato prolungamento della circolazione dei fluidi, si dovrà provvedere a realizzare l'ancoraggio, procedendo, ad eccezione dei bulloni frizionali e dei bulloni ancorati con resine, in sequenza analoga a quella prevista per i tiranti. Si terranno in conto specifiche indicazioni del fabbricante del bullone.

Nell'esecuzione di iniezioni con resine sintetiche di bulloni e chiodi si adotteranno modalità operative conformi alle raccomandazioni fornite dal produttore, previa approvazione della Direzione Lavori.

Per barre di piccolo diametro ($\varnothing = 15\div 20$ mm), e di lunghezza limitata a 3÷5 m, si potrà adottare il sistema a "cartuccia":

- la cartuccia, in vetro o in materiale plastico sottile, contenente i componenti della resina opportunamente separati, viene posizionata al fondo foro;
- si infila quindi la barra, facendola ruotare per rompere la cartuccia e mescolare i componenti della resina, dando così luogo al processo di polimerizzazione.

Per barre di diametro e lunghezze superiori si adotteranno di norma resine fluide, iniettate tramite un condotto di mandata con ugello di fuoriuscita posto in prossimità del fondo del foro. La testata sarà dotata di un tubicino di sfiato, di norma in rame, che sarà occluso per piegatura a iniezione completata.

Le operazioni di collaudo saranno eseguite con criteri e valori di tiro analoghi a quelli indicati per i tiranti.

Anche per la protezione della testa del bullone si procederà con criteri analoghi a quelli indicati per i tiranti.

14.3.2. Chiodi

La posa in opera dei chiodi dovrà essere eseguita attraverso le seguenti operazioni:

- perforazione, da condurre in accordo con le prescrizioni indicate per le precedenti tipologie di ancoraggio; in relazione alla natura della roccia e alla geometria del foro è ammesso l'impiego di attrezzature leggere, operanti a percussione esterna ad aria compressa;
- introduzione dell'armatura;
- esecuzione dell'iniezione, fino al completo riempimento dell'intercapedine.

In casi, e per tipologie od applicazioni particolari, i chiodi potranno essere inseriti a pressione, con o senza battitura, con o senza *jetting* attraverso la sezione cava, in funzione della metodologia indicata dal costruttore e preventivamente approvata da parte della Direzione Lavori.

Le prove di rottura su chiodi dovranno essere eseguite tesando il chiodo con velocità costante, tale da consentire di raggiungere la forza corrispondente allo snervamento dell'armatura (limite allo 0,2%) in un tempo minimo di 15'.

Ciascuna prova dovrà avere termine: o quando si giunge alla rottura del tratto connesso, o quando è raggiunta la forza corrispondente allo snervamento dell'armatura (limite allo 0,2%).

14.3.3. Bulloni e chiodi speciali

14.3.3.1. Bulloni attivi ad ancoraggio meccanico

a) Caratteristiche delle teste di ancoraggio

Le teste di ancoraggio dovranno essere dotate esclusivamente di dispositivo a espansione automatico in modo che, anche a distanza di tempo dalla posa e a seguito di deformazioni dell'ammasso roccioso, la testa possa continuare a espandere mantenendo efficace l'ancoraggio.

Le parti dell'ancoraggio, destinate a trasmettere sforzi di attrito, dovranno essere costituite da materiale duttile in leghe resistenti all'azione aggressiva delle acque.

La conformazione dell'ancoraggio (contatto tra le parti interne e i corpi espandenti) dovrà garantire l'invariabilità della posizione durante le operazioni di posa e tensionamento.

Le teste di ancoraggio dovranno essere scelte in funzione del tipo di ammasso roccioso (lunghezza delle alette) e del diametro di perforazione (calibro).

La tolleranza sul diametro della testa di ancoraggio non dovrà essere superiore a 0,15 mm rispetto al diametro nominale.

La testa di ancoraggio dovrà avere una espansione massima superiore di almeno 6 (sei) mm al diametro di perforazione.

b) Caratteristiche delle barre

Le barre dovranno essere realizzate con acciai a elevata resistenza aventi le seguenti caratteristiche:

- resistenza al limite di snervamento non inferiore a 420 N/mm^2 ;
- resistenza a rottura non inferiore a 700 N/mm^2 ;
- allungamento a rottura non inferiore al 15%;
- resilienza a 20°C non inferiore a 30 J.

c) Piastra di ripartizione

La piastra di ripartizione dovrà avere una sede emisferica opportunamente sagomata, atta all'alloggiamento del dado di bloccaggio.

L'inclinazione delle perforazioni rispetto alla superficie di appoggio della piastra di ripartizione non dovrà discostarsi di un angolo superiore a 20° dalla perpendicolare.

d) Prove a rottura

Dovranno essere eseguiti controlli sistematici sull'1% dei bulloni posti in opera. La prova consisterà nel portare a snervamento gli ancoraggi per trazione con apposito martinetto che dovrà essere sempre disponibile in cantiere.

Di ogni singola prova l'Appaltatore dovrà fornire i diagrammi sforzi/deformazioni.

Sulla testa di ciascun bullone dovranno essere inoltre punzonati i dati caratteristici per consentire l'identificazione del materiale e del luogo di produzione.

Qualora il progetto preveda che i bulloni siano sollecitati da sforzi di taglio, dovranno essere iniettati con miscele cementizie, preparate in conformità alle prescrizioni dei precedenti specifici paragrafi.

14.3.3.2. Bulloni frizionali a espansione idraulica (SWELLEX, BELLEX o similari)¹

Sono ancoraggi ad aderenza continua su tutta la lunghezza del foro, in profilato tubolare d'acciaio speciale, che può anche essere trattato superficialmente per garantirne una maggiore durabilità. In questo caso si tratta di un rivestimento applicato mediante immersione, dopo opportuna pulizia e sgrossatura, in una vernice gommosa mono-componente a base di bitume modificato (ciclizzato) e componenti attivi allo zinco.

Devono avere le seguenti caratteristiche minime:

a) Acciaio

Le caratteristiche dell'acciaio dovranno soddisfare i seguenti valori:

- tipo S275JR;
- $f_{tk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$
- $f_{tk} \geq 390 \text{ N/mm}^2$;
- allungamento a rottura $\geq 15\%$.

b) Ancoraggio

- diametro minimo: 36 mm (prima dell'espansione);
- diametro max corrispondente (dopo l'espansione): 54 mm;
- spessore $\geq 3 \text{ mm}$;
- diametro della perforazione: 43 ÷ 52 mm;
- carico di snervamento $\geq 200 \text{ kN}$;
- allungamento a rottura $\geq 10\%$;

c) Resinatura

c1) Caratteristiche della vernice protettiva

Di tipo monocomponente, a base di gomme ciclizzate e di bitumi modificati aventi le seguenti caratteristiche:

- contenuto secco: 49% in volume;
- potere coprente (su superficie asciutta) : $3.3 \text{ m}^2/\text{litro}$ per $150 \mu\text{m}$;
- massa volumica: $1,10 \text{ g/cm}^3$;
- viscosità: 116 KV a $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- solvente: acquaragia;
- pigmento: fosfato di zinco e altri composti attivi allo zinco;
- legante: bitume ciclizzato;

c2) Preparazione della superficie da resinare

La superficie del bullone da trattare dovrà essere lucida e pulita, priva di trattamenti anticorrosivi a base di oli viscosi o cere per non diminuire le caratteristiche meccaniche e di adesione della resinatura.

La superficie non dovrà essere umida o bagnata ma perfettamente asciutta e avere una temperatura di circa $3 \text{ }^\circ\text{C}$ più elevata dell'ambiente circostante e ciò per evitare fenomeni di condensa che possano inficiare l'efficacia del trattamento.

c3) Trattamento

Il trattamento non va eseguito in condizioni di temperatura inferiori a $+ 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

⁽¹⁾ Il marchio SWELLEX è di proprietà della Atlas Copco Craelius AB (Svezia), il marchio BELLEX è di proprietà della Belloli SA (Svizzera).

I bulloni devono essere immagazzinati alla temperatura del bagno almeno un giorno prima del trattamento, fermo restando l'ulteriore riscaldamento dei bulloni medesimi come indicato al precedente punto c.2).

Il bagno di resina deve essere mantenuto almeno alla stessa temperatura dell'ambiente e mantenuto in agitazione mentre avviene il trattamento.

I bulloni vanno posti in bagno singolarmente e appoggiati su apposite rastrelliere.

c4) Asciugatura

Dopo aver controllato accuratamente che tutta la superficie del bullone sia stata uniformemente ricoperta dalla resina è necessario che la stagionatura duri almeno 10 giorni, se la temperatura dell'ambiente è di 20 °C.

Lo spessore finito della guaina protettiva, da misurare su almeno 2 campioni per ogni singolo trattamento, deve risultare di 150 µm ± 50 µm. Spessori inferiori a 100 µm sono considerati di scadente qualità e la partita dovrà essere scaricata.

c5) Stoccaggio

Poiché la resina protettiva ha un indurimento ritardato, per garantire elasticità e flessibilità nel lungo termine, i bulloni devono venire conservati, durante il periodo di maturazione della resina medesima della durata di almeno 2-3 settimane, singolarmente su apposite gabbie in legno o similari e non impilati o con le superfici a contatto.

Non saranno ammessi in alcun caso ancoraggi preresinati direttamente in cantiere o con modalità difformi da quelle sopraindicate.

d) Modalità di installazione

Prima dell'inserimento del bullone il foro dovrà essere accuratamente pulito rimuovendo i residui di perforazione.

L'installazione dovrà avvenire al massimo dopo 2 ore dall'ultimazione della perforazione.

L'ancoraggio dovrà essere inserito nel foro completo della piastra di bloccaggio atta a trasferire il carico sul paramento ed espanso mediante iniezione di acqua avente pressione non inferiore a 300 bar, in modo da adattare il profilo alle irregolarità del foro e aumentare la resistenza al taglio della roccia per effetto della completa adesione e serraggio meccanico dei giunti rocciosi all'esterno del perimetro dell'ancoraggio medesimo.

Ultimata l'espansione l'interno del bullone dovrà essere accuratamente drenato.

Qualora il progetto preveda che i bulloni siano sollecitati da sforzi di taglio, l'espansione dovrà essere realizzata con miscela o pasta cementizia con rapporto A/C pari a 0,5, iniettata a pressione non inferiore a 300 bar.

14.3.3.3. Bulloni autop perforanti (MAI, BELBOR, DYWI Drill o similari)¹

Sono bulloni costituiti da una barra filettata per rullatura in continuo, cava all'interno, alla cui estremità viene montato un attrezzo tagliente a perdere per la perforazione a distruzione di nucleo in terreni eterogenei o intensamente fratturati nei quali le operazioni di perforazione e inserimento del bullone risultino molto difficili per la assoluta mancanza di stabilità del foro.

a) Caratteristiche del bullone

- resistenza a trazione dell'acciaio non inferiore a 510 N/mm²;
- dimensioni, carico minimo di rottura a trazione e diametro di perforazione indicativi (vedi seguente tabella):

Diametro bullone (est/int)	Resistenza a trazione (kN)	Dimensione testa di perforazione (mm)
25/14	200	42 ÷ 52
32/20	280	52 ÷ 75
32/15	360	52 ÷ 75
38/14	500	75 ÷ 120

⁽¹⁾ Il marchio MAI è di proprietà della Atlas Copco Craelius AB (Svezia), il marchio BELBOR è di proprietà della Belloli SA (Svizzera), il marchio DYWI è di proprietà della DSI (DYWIDAG-Systems International) Holding GmbH (Germania).

- i singoli elementi, della lunghezza da 2 a 6 m, dovranno essere giuntabili solo mediante idoneo manicotto autocentrante esterno od interno;
- la piastra di ripartizione, di dimensioni e spessore variabili in relazione al carico massimo da sopportare, dovrà avere una sede emisferica per l'alloggiamento del dado di bloccaggio;
- i singoli elementi potranno avere i fori per le iniezioni aperti o chiusi da apposite valvole per consentire di eseguire le iniezioni ripetute e a pressione controllata.

Sulla testa di ciascun bullone dovranno essere inoltre punzonati i dati caratteristici per consentire l'identificazione del materiale e del luogo di produzione.

b) Modalità esecutive

Per la posa in opera si dovrà utilizzare un martello perforatore ad aria compressa od idraulico montato su slitta.

A foro ultimato l'asta dovrà essere lasciata in sito e si procederà subito con l'iniezione di miscela cementizia a una pressione da concordare con la Direzione Lavori e comunque non superiore a 1÷2 MPa in modo da riempire lo spazio anulare tra bullone e parete del foro e l'interno del bullone.

La pasta o malta cementizia, fornita anche in sacchi premiscelati, dovrà avere resistenza caratteristica non inferiore a 30 MPa.

Lo studio preliminare della miscela e le modalità di iniezione dovranno essere approvate dalla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori.

Successivamente le caratteristiche della miscela dovranno essere verificate almeno una volta alla settimana.

14.3.3.4. Bulloni costituiti da lamiera, barre o profilati infissi a pressione

Le lamiere, barre o profilati di acciaio dovranno essere infisse a pressione senza perforazione preventiva mediante spinta con idonea attrezzatura.

L'attrezzatura dovrà applicare una spinta continua all'elemento e impedire lo svergolamento dello stesso e dovrà inoltre essere dotata di un sistema per la registrazione continua della spinta applicata per l'infissione.

14.3.3.5. Elementi in vetroresina

Per l'esecuzione di tiranti, bulloni e chiodi si possono utilizzare elementi in vetroresina.

Il materiale è fortemente anisotropo e quindi si dovrà tenere conto, per il suo corretto impiego, della disposizione delle fibre di rinforzo.

Potranno essere impiegati:

- barre a sezione circolare piena o forata;
- tubi ciechi o valvolati (con passo eventualmente definito in sede progettuale);
- profilati in vetroresina accoppiati a tubi in PVC, valvolati o meno, per l'iniezione del foro;
- piatti, messi in opera singolarmente o accoppiati in elementi strutturali composti ad Y, abbinati a tubi in PVC, valvolati o meno, per l'iniezione del foro;

Ove necessario, o espressamente richiesto dal progetto o dalla Direzione Lavori, le barre dovranno essere del tipo ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sistemi alternativi:

- filettatura continua;
- spiratura sulla superficie esterna;
- trattamento superficiale con sabbia di quarzo.

L'impiego di profilati con sezioni di geometria particolare (a doppio T, ad U, prismatica) è consentito previa autorizzazione della Direzione Lavori.

I materiali utilizzati dovranno essere certificati dal produttore. Le caratteristiche fisico meccaniche richieste per gli elementi in vetroresina sono precisate all'articolo seguente.

15. Monitoraggio

15.1. Generalità sul monitoraggio

Per monitoraggio s'intende l'insieme delle strumentazioni atte al controllo del comportamento tensionale e deformativo delle opere e delle aree adiacenti e/o interferenti.

Per le opere e le tecnologie geotecniche esso è stato reso obbligatorio dal D.M. 14.01.2008, che lo cita sistematicamente nei §§: 6.2 (articolazione del progetto), 6.2.4 (metodo osservazionale), 6.2.5 (complesso opera-terreno), 6.3.5 (stabilizzazione dei pendii), 6.3.6 (idem), 6.5.1 (opere di sostegno), 6.6.1 (progetto dei tiranti di ancoraggio), 6.7.6 (opere in sotterraneo), 6.8.5 (opere in terra e fronti di scavo), 6.9.2 (miglioramento e rinforzo del terreno e delle rocce), 6.10.4 (consolidamento opere esistenti), 6.11.1.5 (discariche), 6.11.2.2 (depositi di inerti).

In generale, ovvero per le operazioni di collaudo statico, lo stesso D.M. lo cita al § 9.1.

Nel seguito vengono riportate le prescrizioni relative alle caratteristiche tecniche degli strumenti da impiegare, alle modalità d'installazione ed alla documentazione relativa all'installazione degli stessi.

Il sistema di monitoraggio deve essere installato e gestito secondo le indicazioni dei progettisti e in accordo con le specifiche di seguito riportate, che devono intendersi integrative alle eventuali specifiche particolari riportate dal progetto.

La tipologia, l'ubicazione e la frequenza del monitoraggio geotecnico è specificatamente prevista negli elaborati tecnici allegati al progetto.

Tuttavia, nei casi in cui si riscontrino situazioni più gravose rispetto a quelle previste, o condizioni geologiche particolari o suscettibili di evoluzioni che comportino rischi per la struttura, o zone alterate, o comunque in tutti i casi in cui lo ritenga necessario, la Direzione Lavori può richiedere che l'Appaltatore integri il sistema con l'installazione di ulteriori sezioni strumentate e/o di strumentazione aggiuntiva. In questi casi la Direzione Lavori può anche chiedere che venga modificata la distribuzione o la composizione delle sezioni previste in progetto in modo da posizionarle nelle zone risultate di maggiore interesse senza aumentarne il loro numero.

Resta inteso che le prescrizioni di cui al presente articolo sono da intendersi efficaci nei confronti dell'Appaltatore unicamente nei casi in cui le attività di monitoraggio siano poste contrattualmente in capo ad esso e non eseguite direttamente dalla Stazione Appaltante, per tramite di personale della Direzione Lavori e/o di ditte appositamente incaricate. In questo secondo caso l'Appaltatore è tenuto a favorire tali attività e, se opportunamente pianificate, ad incorporarle nella più generale pianificazione delle proprie attività.

15.2. Prescrizioni tecniche generali a cura dell'appaltatore

Tutte le installazioni devono essere identificate topograficamente rispetto ad un unico sistema di coordinate progetto. La reale posizione degli strumenti installati dovrà essere comunicata alla Direzione Lavori con opportuni disegni.

Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione devono essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.

E' necessario provvedere a quanto necessario ad evitare manomissioni della rete di strumenti. Nel caso in cui, per esigenze di lavoro o in conseguenza di avvenimenti di qualsiasi natura, gli strumenti risultassero manomessi, si dovrà provvedere ai necessari ripristini.

La correttezza della installazione rimane responsabilità dell'Appaltatore che deve, comunque, dimostrarne la correttezza su richiesta della Direzione Lavori.

Prima dell'installazione degli strumenti, dovrà essere redatta dall'Appaltatore apposita "Procedura di lavoro" (prevista all'articolo del presente Capitolato riguardante la pianificazione dei lavori) da sottoporre alla Direzione Lavori. Tale procedura, oltre alla descrizione delle tecniche di messa in opera, dovrà riportare la tipologia degli strumenti o apparecchiature corredate da appositi certificati ufficiali ed indicare la specializzazione ed esperienza degli operatori che intende utilizzare. All'arrivo in cantiere, ogni strumento dovrà essere munito di certificato di origine e, se necessario, di certificato di taratura presso un laboratorio ufficiale.

Al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione, è richiesto che gli strumenti da approvvigionare siano prodotti da ditte con comprovata esperienza pluriennale nel settore e per i quali esistano applicazioni documentate attraverso

pubblicazioni nella letteratura tecnica e/o certificati/documentazione in cui si attesti la soddisfazione dei clienti. Nel caso la strumentazione proposta non soddisfi tali requisiti, la Direzione Lavori sarà autorizzata a richiederne la sostituzione.

La fornitura della strumentazione è soggetta all'approvazione della Direzione Lavori. A questo proposito, dovrà essere fornita alla Direzione Lavori, mediante comunicazione scritta non meno di 15 giorni lavorativi prima dell'installazione, documentazione tecnica dettagliata degli strumenti rilasciata dal produttore. Tale documentazione dovrà contenere una descrizione dello strumento e le relative specifiche tecniche, dimostrando il soddisfacimento dei requisiti indicati nel presente documento. Su richiesta della Direzione Lavori dovrà essere inoltre fornita documentazione che attesti l'applicazione ed il buon funzionamento di tali strumenti in altri casi pratici, a prova dell'affidabilità dello strumento.

L'installazione della strumentazione deve avvenire in contraddittorio con la Direzione Lavori, salvo diversa indicazione di quest'ultima. A questo fine, una volta ottenuta l'approvazione da parte della Direzione Lavori relativamente al tipo di strumento approvvigionato, l'appaltatore dovrà far pervenire il programma d'installazione alla Direzione Lavori mediante comunicazione scritta almeno 72 ore prima dell'inizio dell'installazione.

La restituzione dei dati relativi a letture eseguite sugli strumenti, deve avvenire sia su formato cartaceo, sia tramite supporto informatico editabile (tipo formato excel e formato testo).

15.3. Monitoraggio di aree e opere all'aperto

15.3.1. Generalità

Durante la realizzazione di opere geotecniche all'aperto, qualora la stessa possa comportare significative alterazioni della geometria delle aree (pianeggianti o su versante) su cui esse insistono o di quelle adiacenti, o possa determinare perdite di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti a manufatti e opere d'arte o edilizie su di esse ubicate, adiacenti o comunque interferite, e tali effetti, così come la stabilità delle opere stesse, non possano essere sufficientemente garantiti attraverso le sole previsioni calcolative e la corretta esecuzione delle lavorazioni, in corso d'opera e successivamente, nella fase di esercizio dell'opera, deve essere eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- tenere sotto controllo eventuali movimenti delle aree adiacenti all'opera, dove il caso si presenti, la possibile riattivazione di frane interferenti con l'opera, che possano mettere a rischio l'integrità delle cose o la sicurezza delle persone;
- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno dell'opera;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o necessità di interventi di manutenzione straordinari;
- verificare che lo stato di sollecitazione della struttura rimanga entro i limiti fissati dal progetto anche nella fase di esercizio;
- assicurare che le opere esistenti nelle adiacenze o staticamente interferite non abbiano a subire perdite significative di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti.

Durante la realizzazione di scavi in sottoterraneo, qualora la stessa possa produrre significative alterazioni della geometria delle aree (pianeggianti o su versante) all'aperto, sovrastanti od adiacenti alle zone di scavo, o possa determinare perdite di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti a manufatti e opere d'arte o edilizie in esse ubicate o comunque interferite e tali effetti non possano essere sufficientemente garantiti attraverso le sole previsioni calcolative e la corretta esecuzione delle lavorazioni, in corso d'opera e successivamente (ove previsto dal progetto o stabilito dal contratto o dalle autorità competenti), nella fase di esercizio dell'opera, deve essere eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- tenere sotto controllo eventuali movimenti delle aree sovrastanti ed adiacenti all'opera e, dove il caso si presenti, la possibile riattivazione di frane interferenti con l'opera, che possano mettere a rischio l'integrità delle cose o la sicurezza delle persone;
- verificare la validità delle previsioni progettuali relative, sia alle suddette aree, sia agli scavi in sottoterraneo, attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno e delle preesistenze, nelle zone sovrastanti e adiacenti agli scavi;
- assicurare che le opere esistenti nelle adiacenze o staticamente interferite non abbiano a subire perdite significative di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti.

In questo contesto, per opere geotecniche si intendono quelle nelle quali il terreno o la terra risultano tra i principali materiali costitutivi o collaboranti alla stabilità delle stesse (es. importanti muri di contenimento, consolidamenti di versanti, importanti rilevati, ecc.), mentre per scavi in sotterraneo quelli trattati negli specifici paragrafi del presente Capitolato.

15.3.2. Monitoraggio topografico

15.3.2.1. Monitoraggio topografico dei movimenti del terreno e delle strutture

Consiste nel controllare, attraverso misure, l'evoluzione nel tempo di un fenomeno deformativo, attraverso punti di riferimento che si trovano all'interno o in prossimità di un'area. E' basato sullo studio e l'analisi nel tempo delle variazioni angolari e spaziali dei punti di interesse delle opere strutturali o delle aree, materializzati da capisaldi, talora significativo soltanto per le deformazioni planimetriche o per quelle altimetriche.

E' possibile l'impiego di strumentazione avanzata, eventualmente automatizzata, che consente la trasmissione dei dati via web per la consultazione remota da parte dei soggetti abilitati.

Sistemi più tradizionali sono i rilievi topografici di precisione, mediante utilizzo di stazioni totali, livelli e strumentazione GPS, con installazione di capisaldi di misura e postazioni fisse per la messa in stazione dell'apparecchiatura topografica. I ricevitori satellitari, in particolare, consentono ormai di ottenere la posizione dei punti con notevole precisione ed hanno il vantaggio di un'elevata precisione, con la possibilità di operare in un punto qualsiasi del territorio, in qualunque momento e, con le dovute precauzioni, con tutte le condizioni meteorologiche.

Sistemi più innovativi sono invece quelli basati sulla fotogrammetria (terrestre o aerea) e su sensori remoti (*remote sensing*), come i seguenti:

- SAR (*Synthetic Aperture Radar*) satellitare (DInSAR) o terrestre (GB-InSAR);
- TLS (*Terrestrial Laser Scanner*), o più in generale LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*).

Il sistema SAR, la cui strumentazione viene posizionata in zona non soggetta a movimenti, acquisisce i dati in continuo, permettendo così di ottenere un'immagine radar ogni 4-5 minuti e di ottenere quindi un andamento in tempo reale del dissesto. Infatti, dall'analisi degli interferogrammi, cioè delle differenze esistenti tra due immagini radar della stessa zona, è possibile stimare gli spostamenti delle superfici e degli oggetti in esse rappresentati.

Il sistema a scansione laser (*laser scanning*), detto anche "laser 3D", consente il rilevamento di modelli tridimensionali degli oggetti, con differenti scale e risoluzioni. Rispetto ad altre tecniche di rilievo, non vengono scelti solo alcuni punti caratteristici dell'oggetto da rilevare, ma i punti rilevati sono tutti quelli presenti nel campo d'azione del segnale inviato dallo strumento. Infatti questo sistema, che opera misurando in automatico le posizioni (posizione angolare nello spazio rispetto ad un sistema di riferimento prefissato, distanza) di moltissimi punti (anche migliaia) in tempi brevissimi, formando così le cosiddette "nuvole di punti, che descrivono gli oggetti rilevati con notevole livello di accuratezza e dettaglio. Per queste sue caratteristiche si rivela particolarmente adatto per il rilievo e la rappresentazione spaziale di manufatti complessi o situazioni altrimenti difficilmente documentabili, a causa della loro irregolarità.

Un'applicazione particolare di quest'ultima tecnologia di rilievo è costituita dall'impiego del *laser scanner* da postazione fissa, per il monitoraggio delle frane in situazioni critiche. Infatti il rilievo geostrutturale tradizionale di pareti rocciose e frane di crollo è eseguito con attrezzatura alpinistica da personale specializzato che, oltre ad essere generalmente molto costoso, a volte risulta addirittura impossibile da realizzare, a causa dell'elevata pericolosità dell'accesso ai luoghi di misura.

Dopo l'installazione dei sistemi di monitoraggio, tecnici specializzati provvedono alla gestione dei sistemi di trasmissione dati e realizzano sopralluoghi (periodici o saltuari) per effettuare le eventuali misurazioni necessarie e per effettuare la manutenzione delle apparecchiature.

Utilizzando i dati ottenuti dalle reti di monitoraggio è possibile produrre, a seconda delle necessità:

- elaborazioni statistiche;
- planimetrie, in cui vengono riportati gli spostamenti planimetrici misurati sui capisaldi;
- individuazione delle possibili superfici di scorrimento e dei volumi interessati dal movimento;
- individuazione del tipo di movimento e sua evoluzione nel tempo;
- installazione di sistemi di pre-allarme *Early Warning*, con l'invio di segnali di allarme ai destinatari previsti, in grado di attivare le procedure di emergenza, soprattutto se pianificate attraverso il Piano delle Emergenze.

È importante rilevare che il controllo effettuato per mezzo di reti topografiche, risulta a volte problematico a causa della precisione strumentale; infatti non sempre si è in grado di evidenziare gli spostamenti, quando la loro entità è relativamente piccola. Occorrono pertanto in questi casi tecniche di analisi statistica, che evidenzino la significatività dei movimenti (utile può essere un approccio di tipo "bayesiano" che è in grado di segnalare deformazioni della rete in anticipo e anche la presenza di errori grossolani). Inoltre è sempre opportuno, prima di installare i sensori o i punti di controllo in una determinata posizione, eseguire una simulazione della rete per vedere se gli errori intrinseci della rete sono paragonabili, o meglio ancora inferiori, ai movimenti da monitorare.

Il monitoraggio di ammassi rocciosi, dotati di parti rigide e di sistemi di fessure, si può assimilare a quello delle strutture, di cui si parla più avanti.

15.3.2.2. Topografia convenzionale

I controlli di questo tipo sono frequentemente utilizzati in quanto presentano limitati costi d'installazione e consentono il monitoraggio in breve tempo di aree notevolmente estese. Gli strumenti impiegati sono generalmente teodoliti e distanziometri di alta precisione. Le misure sono effettuate installando riferimenti fissi in posizioni significative ed eseguendo le misure da capisaldi non interessati dal movimento (stazioni MASTER).

La misura degli spostamenti verticali è di semplice e rapida effettuazione mediante la tecnica della livellazione. L'errore medio su una livellazione di lunghezza pari a 1000 m è stata stimata dell'ordine di 2.5 mm con l'utilizzo di strumentazione di precisione. Questa tecnica di misura si presta, in particolare, per il controllo di opere ad andamento lineare come strade o opere idrauliche che attraversano pendii interessati da movimenti franosi.

Per la determinazione dello spostamento di un punto nello spazio, come nel caso specifico di capisaldi installati su versanti instabili, sono richiesti strumenti di maggior precisione e le misure risultano più impegnative. I metodi più comuni, con progressivo grado di accuratezza, sono quelli delle triangolazioni, trilaterazioni e triangolaterazioni: quest'ultimo metodo, per distanze non elevate, fornisce i migliori risultati.

Per le misure angolari vengono utilizzati teodoliti con sensibilità di lettura che può arrivare sino a 0.1" e precisione di lettura nominale sino a 0.5". Per le misure di distanza sono generalmente utilizzati elettrodistanziometri all'infrarosso che possono coprire distanze sino ad oltre 10 km con precisione di lettura nominale fino a $1 \text{ mm} + (1 \times 10^{-6})D$, ove D = distanza misurata in metri.

Queste tecniche topografiche presentano notevoli vantaggi, legati soprattutto all'accuratezza delle misure ed alla loro economicità, ma evidenziano alcuni limiti di non secondaria importanza. La possibilità di eseguire misure topografiche è infatti condizionata dalla distanza di riferimento, dalla stabilità dei capisaldi fissi e dalle condizioni meteorologiche.

La distanza tra riferimenti e capisaldi ha un limite che varia secondo gli strumenti utilizzati, sia come valore assoluto, sia in funzione della precisione richiesta per la misura (che risulta inversamente proporzionale alla distanza stessa). Il problema della distanza può diventare critico se, come spesso accade, non esistono posizioni vicine, adatte per installare il caposaldo di riferimento. Spesso nelle grandi frane si deve fare riferimento al versante opposto a quello da monitorare.

Il problema della stabilità delle posizioni di caposaldo è legato al fatto che, dovendo collocare il punto di riferimento nelle vicinanze della frana, non è infrequente il caso che anch'esso sia interessato da fenomeni di instabilità. Per questo motivo l'installazione dei capisaldi fissi deve essere preceduta da indagini accurate per verificare la stabilità delle postazioni.

Le condizioni meteorologiche, infine, possono impedire lo svolgersi delle misure e, per alcune categorie di strumenti, influenzarne l'accuratezza, come nel caso degli effetti indotti dalle variazioni termiche sullo strato superficiale del terreno e sulle strutture di supporto dei capisaldi.

La strumentazione classica utilizzata per le misure topografiche è di tipo manuale e quindi non adatta per il monitoraggio di fenomeni che possono evolvere rapidamente e poco pratica quando il numero di punti da mantenere sotto osservazione sia elevato.

15.3.2.3. GPS (*Global Positioning System*)

Il sistema GPS di posizionamento di un punto a terra si basa sulla misura delle tre distanze del punto da almeno tre satelliti della costellazione statunitense NAVSTAR, dei quali siano note le coordinate; esse sono calcolate in un sistema di riferimento globale, geocentrico, rispetto al quale sono note le coordinate di alcune stazioni di osservazione dei satelliti sparse per il mondo.

Il sistema si compone di tre parti:

- sezione spaziale;
- sezione di controllo;
- sezione utente.

La sezione spaziale è costituita dai satelliti. Si tratta di 24 satelliti, distribuiti su 6 orbite inclinate di 55° rispetto al piano equatoriale, che ruotano ad una distanza di circa 20200 km dalla terra, con periodo di rotazione di poco inferiore alle 12 ore. Questa configurazione consente la visibilità contemporanea di almeno quattro satelliti da ogni luogo della terra a qualsiasi ora del giorno e della notte. Queste considerazioni valgono ovviamente per situazioni di pianura, mentre in zone di montagna la visibilità satellitare è limitata dalle caratteristiche morfologiche delle aree in cui sono eseguite le misure. L'attuale configurazione consente di lavorare anche in zone di montagna per buona parte della giornata senza grosse difficoltà.

La sezione di controllo rappresenta il sistema attraverso il quale sono determinate continuamente le posizioni dei satelliti rispetto ad un certo numero di stazioni fisse distribuite sulla superficie terrestre. La sezione di controllo è composta da 5 *monitor stations*, che determinano la posizione dei satelliti, 3 *upload stations*, che hanno il compito di trasmettere ai satelliti i dati relativi alla loro posizione attuale e futura, e, infine, da una *master control station*, che coordina il funzionamento dell'intero sistema. La sezione di controllo consente infine la sincronizzazione degli orologi di bordo dei satelliti, requisito fondamentale dal quale dipende l'accuratezza delle determinazioni di posizione dei punti a terra. Tutte queste informazioni, come già detto, sono trasmesse ai satelliti, e costituiscono parte integrante del messaggio che questi ultimi trasmettono alle stazioni a terra.

La sezione utente è costituita dai ricevitori, dalle antenne e da tutta la strumentazione accessoria che è utilizzata per l'alimentazione delle attrezzature, la misura dei parametri meteorologici e l'elaborazione dei dati.

Le applicazioni del GPS sono essenzialmente di due tipi, corrispondenti alle diverse tecniche di misura enunciate nel seguito:

- Pseudorange: è basata sulla determinazione delle distanze tra il punto a terra e ciascuno dei satelliti osservati (note appunto come *pseudorange*) e consente la determinazione delle coordinate assolute di un punto in modo istantaneo, con precisione massima ottenibile dei 20 m, normalmente dei 100 m a causa della degradazione del segnale, nota come *Selective Availability*, intenzionalmente operata dalla Difesa Americana al fine di consentire ai soli militari il posizionamento preciso. Vi sono varie tecniche di elaborazione differenziale della misura che consentono di ottenere precisioni più elevate, da metriche a submetriche. Questa metodologia è utilizzata in navigazione, trasporti e per tutte le applicazioni che non richiedano una precisione più che metrica, ma non può essere presa in considerazione per applicazioni topografiche.
- Interferenziale (misura di fase): questa tecnica può essere utilizzata per misure sia statiche sia cinematiche. La precisione nel caso di misure cinematiche è di alcuni centimetri mentre per misure statiche è migliore del centimetro. Tale precisione, sulla base della nostra esperienza, può essere ottenuta su distanze fino a 10 km. Questa tecnica di misura consente di eseguire quindi controlli topografici, geodetici e tracciamento preciso di traiettorie di veicoli.

Il principali vantaggi del GPS sono:

- non richiede intervisibilità tra i punti di misura;
- i vertici possono essere ubicati direttamente dove servono e non necessariamente in posizioni visibili da lontano, di difficile raggiungimento;
- le misure sono eseguibili con ogni condizione meteorologica;
- le operazioni di campagna sono estremamente semplici ed automatiche.

Quindi l'impiego del GPS si traduce in una minor perdita di tempo e in una maggior resa delle operazioni di campagna.

Gli svantaggi del GPS sono i seguenti:

- è richiesta visibilità verso il cielo;
- i satelliti in vista devono essere almeno tre (questa condizione in realtà allo stato attuale è pressoché sempre rispettata, dato che la costellazione è completa ormai da alcuni anni);
- le registrazioni possono essere affette da disturbi di varia natura, che vanno pertanto riconosciuti e rimossi.

Gli errori nelle misure GPS sono essenzialmente legati a:

- differenze tra valori effettivi di alcuni parametri e valori ad essi assegnati dai modelli di calcolo;
- rumori legati a riflessioni multiple, fluttuazioni di velocità, influenza delle condizioni ionosferiche e troposferiche.

In realtà la maggior parte di questi errori viene annullata attraverso una serie di differenziazioni successive, eseguendo misure di distanza e dislivello rispetto ad uno o più punti ritenuti stabili, ubicati in aree esterne a quella controllata.

15.3.2.4. Teodolite a puntamento automatico

Un teodolite a puntamento automatico (o "stazione totale robotizzata") è un teodolite elettronico abbinato ad un elettrodistanziometro (EDM) ad infrarossi, dotato di motore per il movimento sul piano orizzontale e verticale e munito di un sistema di puntamento automatico che consente di tracciare un certo numero di riferimenti secondo una sequenza preordinata, ad intervalli di tempo programmati. Di tali riferimenti sono misurati la distanza, l'angolo orizzontale rispetto ad un orientamento di riferimento e l'angolo verticale, al fine di calcolare le coordinate planoaltimetriche di ogni punto e seguirne l'evoluzione nel tempo. Il sistema generalmente è governato da un *personal computer*, che consente anche l'archiviazione dei dati.

I teodoliti a puntamento automatico sono stati ideati per consentire l'esecuzione di rilievi celerimetrici da parte di un solo operatore. Poiché sono in grado di inseguire un riferimento in movimento, purché dotato di opportuni accessori (prisma riflettente, emettitore radio, o altro), tali strumenti possono essere utilizzati nel controllo continuo di versanti instabili.

I sistemi attualmente in commercio sono generalmente realizzati con i teodoliti di classe più elevata tra quelli disponibili nel catalogo delle diverse case produttrici. Essi differiscono sostanzialmente per il principio di ricerca e puntamento dei punti, che può essere basato su diversi criteri. I più frequentemente usati sono elencati nel seguito:

- Segnale ad infrarosso inviato dal distanziometro elettronico abbinato al teodolite: in tal caso viene individuata come direzione di collimazione quella corrispondente alla massima intensità dell'impulso riflesso dal prisma installato sul caposaldo controllato. Lo strumento esegue una ricerca nell'intorno del punto, partendo da una posizione presunta corrispondente all'ultima posizione rilevata; l'intervallo di ricerca è generalmente definito da un angolo;
- Individuazione della direzione di provenienza di un segnale radio trasmesso da un riferimento opportunamente equipaggiato: il riferimento è poi dotato di prisma riflettente che consente la misura della distanza mediante distanziometro ad infrarossi. Con questo sistema la ricerca dell'obiettivo viene eseguita a 360°;
- Analisi di immagine: l'immagine dello *spot* infrarosso emesso dal collimatore coassiale dello strumento è riflessa dal prisma riflettente, installato sul punto collimato, e rilevata dalla videocamera CCD, incorporata nello strumento. Tale immagine è analizzata mediante apposito *software*, che ne rileva lo scostamento rispetto alla direzione di mira. Si tratta in pratica di una procedura di autocollimazione. Il distanziometro ed il suo raggio infrarosso sono, in tal caso, estranei al puntamento poiché servono unicamente per la misura della distanza.

Mentre il secondo sistema può essere in pratica utilizzato solo per l'esecuzione di rilievi topografici, il primo ed il terzo sono utilizzabili per il controllo degli spostamenti su versanti instabili. Va segnalato inoltre che il puntamento basato sull'analisi d'immagine è più preciso, ma vi sono poche informazioni in merito, poiché il sistema è disponibile sul mercato da non molto tempo.

I limiti d'impiego dei teodoliti a puntamento automatico sono gli stessi della strumentazione topografica tradizionale, ai quali va aggiunto l'elevato consumo, che richiede necessariamente il ricorso ad alimentazione da rete. Alla luce di tali considerazioni si può pertanto affermare che lo strumento in questione può essere applicato con successo nei seguenti casi:

- distanze tra caposaldo e punto di riferimento inferiori ad 1 km, in condizioni di intervisibilità;
- in caso di rifrattività atmosferica limitata (capisaldi posti sul medesimo versante);
- necessità di eseguire misure in continuo.

15.3.2.5. Interferometria terrestre SAR

GB-InSAR è l'acronimo di *Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar*, ovvero radar interferometrico ad apertura sintetica installato a terra. Nell'interferometria terrestre, l'apertura sintetica, o meglio la sintesi di apertura radar (SAR), che è la distanza coperta dalla piattaforma mentre l'antenna radar raccoglie informazioni, viene riprodotta attraverso un sensore radar costituito da due antenne che emettono e ricevono segnali con frequenze nel campo delle microonde, mentre vengono spostate lungo un binario rettilineo della lunghezza di qualche metro.

Tale tecnica consente di ottenere immagini radar con risoluzioni in *cross range*, migliori rispetto a quelle acquisite da sensori radar delle stesse dimensioni fisiche ma fissi, aumentando in tal modo la possibilità di localizzare il bersaglio in direzione di *cross range*, ma riducendo l'ampiezza dell'area monitorata.

Si ricorda che la parola RADAR è l'acronimo di *RADio Detection And Ranging*, ovvero radorilevamento e determinazione della distanza tramite onde radio.

Il radar è un sensore attivo che invia impulsi a microonde verso lo scenario irradiato, registra in ampiezza e fase il segnale riflesso e ottiene l'informazione sulla distanza dei diversi elementi riflettenti presenti (quali rocce, manufatti, superfici metalliche, ecc.) mediante il calcolo del ritardo temporale tra il segnale inviato e l'eco ricevuto.

Il sistema radar GB-InSAR è costituito principalmente da:

- due antenne, una trasmittente e una ricevente;
- un binario metallico e un motore elettrico per la movimentazione orizzontale delle antenne;
- un motore elettrico con vite senza fine per la movimentazione verticale delle antenne;
- un cassone in legno contenente l'elettronica principale del sistema e un personal computer;
- un sistema di alimentazione (due batterie con caricabatteria e gruppo elettrogeno);
- un *inverter* e vari cavi di collegamento.

Dall'elaborazione delle immagini radar (SAR) acquisite è possibile ricavare delle mappe di spostamento dello scenario osservato, con precisioni millimetriche e spesso sub-millimetriche nella misura degli spostamenti lungo la linea di vista del radar e in funzione di specifiche condizioni locali e atmosferiche.

Le mappe di spostamento si ottengono grazie all'analisi interferometrica, la quale consiste sostanzialmente nella generazione di interferogrammi. Dato che ciascuna immagine SAR ha pixel di dimensioni variabili con la distanza, anche l'interferogramma generato avrà pixel con dimensioni che sono funzione della distanza. Da ciò risulta che le mappe di spostamento che si ottengono hanno pixel di area a terra variabile tra pochi metri quadrati (a qualche centinaio di metri di distanza tra sistema radar e oggetto monitorato) e la decina di metri quadrati (a 2-3 km di distanza).

Le mappe di spostamento vengono in genere create su modelli digitali (DEM) dello scenario osservato, in modo da eliminare le deformazioni che si avrebbero se esse fossero elaborate su un generico piano e per avere una corrispondenza con lo scenario reale.

Un modello digitale di elevazione DEM (*Digital Elevation Model*) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale.

Le tipologie di sistemi interferometrici SAR terrestri attualmente esistenti si differenziano per la lunghezza del binario su cui avviene la movimentazione delle antenne per la realizzazione della sintesi d'apertura (SAR); essa può variare da un paio di metri fino a 5÷6 metri.

La maggior parte di queste strumentazioni viene fissata tramite opportuni dispositivi metallici a basamenti in calcestruzzo appositamente realizzati oppure su manufatti stabili, quali muretti, coperture, ecc.. In alcuni casi, come quello riportato in figura 12, il dispositivo radar viene posizionato all'interno di un container provvisto di ruote per il trasporto con rimorchio per consentire una maggior manovrabilità.

Come esempio di questa tecnologia si cita il sistema LISA (*Linear Synthetic Aperture*) su rimorchio (l = 5m), primo prototipo di radar interferometrico portatile, sviluppato nel 1999 presso il *Joint Research Center* (JRC) della Comunità Europea presso Ispra (VA).

I principali aspetti positivi del GB-InSAR sono :

- elevata precisione di misura, grazie alla quale è possibile monitorare anche fenomeni franosi molto lenti, soggetti a spostamenti di alcuni millimetri l'anno, e spostamenti/cedimenti di manufatti in genere. Con tale tecnica è possibile monitorare aree poste fino a distanze di 3-4 km, senza richiedere l'accesso di operatori nella zona monitorata, riducendo di molto il rischio per essi nel caso ad esempio di zone instabili. Inoltre, le misure di spostamento possono essere eseguite in tempo quasi reale ovvero con un tempo minimo di acquisizione di un'immagine nell'ordine delle decine di minuti;
- possibilità di eseguire monitoraggi in maniera quasi indipendente dalle condizioni meteorologiche e di illuminazione solare: solo in condizioni di forte pioggia o di intensa nevicata si ha un deterioramento del dato radar, per cui è bene non acquisire. I dati ricavati sono interpretabili con facilità ed immediatezza, trattandosi di immagini in cui gli spostamenti sono identificabili con scale colorimetriche. È possibile avere una visione globale dello scenario osservato, consentendo così di quantificare e identificare con precisione l'estensione dei fenomeni che lo interessano e le aree di principale movimento;
- tale tecnica può essere applicata a controlli con cadenza periodica (es. alcuni mesi) e a monitoraggio in continuo, per cui si possono studiare praticamente tutti i fenomeni franosi, dai più lenti a quelli relativamente veloci (es. qualche centimetro l'ora). Tuttavia, per evitare problemi di ambiguità di fase, è bene che lo spostamento che si ve-

rifica tra due acquisizioni successive sia minore di un quarto della lunghezza d'onda media del segnale radar utilizzato.

I principali aspetti negativi sono :

- viene misurata la sola componente di spostamento parallela alla linea di vista del radar e quindi perpendicolarmente alla direzione di scansione delle antenne; eventuali spostamenti in altre direzioni non vengono di conseguenza rilevati. Quindi, per poter monitorare in modo adeguato il fenomeno, è bene installare lo strumento in una posizione che permetta di misurare la componente dello spostamento che interessa maggiormente;
- la risoluzione in direzione di *cross range*, ovvero in direzione parallela al binario dello strumento, delle immagini radar si degrada all'aumentare della distanza di misura. Come già spiegato in precedenza, con un binario di lunghezza 1.9 m e a parità di risoluzione in range (es 3,0 m), a una distanza di 500 m si hanno pixel di dimensioni 6,7 m × 3,0 m, mentre a 2 km di distanza si ottengono pixel di dimensioni 26,8 m × 3,0 m. Questo pone delle limitazioni nell'utilizzo della tecnica per lo studio dei movimenti di versante, infatti informazioni di spostamento mediate all'interno di pixel così grandi, sono rappresentative se riferite a fenomeni di instabilità di grandi volumetrie di terreno o per spostamenti differenziali nell'estensione del corpo di frana modesti. Tuttavia, a seconda della strumentazione utilizzata, delle frequenze di misura e dei tempi di acquisizione è possibile variare in un certo range la risoluzione dei pixel ottenibili, la quale risulta comunque dipendente dalla distanza di misura;
- la strumentazione presenta una massa elevata e abbastanza ingombrante, per cui risulta necessario il trasporto con fuoristrada o elicottero fino al punto di installazione. Inoltre, l'installazione deve essere effettuata su un basamento stabile, che nella maggior parte dei casi deve essere appositamente realizzato;
- per condurre l'analisi interferometrica, è necessario che gli operatori facciano delle assunzioni arbitrarie dei valori di soglia della coerenza a seconda dello scenario monitorato e ricordando che al variare di tali valori di soglia si ottengono mappe di spostamento non univoche, si potrebbero ottenere risultati poco affidabili;
- nello spazio compreso tra lo strumento e lo scenario, per una distanza di almeno 50 metri, non devono essere presenti oggetti metallici (pali, pannelli, autoveicoli, ecc.), infatti a causa della loro elevata riflettività, rischiano di compromettere l'immagine radar perché a distanze ridotte, la loro riflettività prevale nettamente su quella degli oggetti circostanti, saturando quindi l'immagine. Anche il passaggio di autoveicoli può creare problemi, interrompendo il monitoraggio e rendendolo quindi discontinuo;
- occorre inoltre prestare attenzione alla presenza di fitta vegetazione o specchi d'acqua nelle immediate vicinanze dello strumento, in quanto essi potrebbero creare problemi di decorrelazione del segnale.

Questa metodica può essere considerata complementari a quella TLS. Quest'ultima può essere infatti utilizzata per generare modelli 3D accurati dell'oggetto monitorato sui quali proiettare le immagini radar acquisite tramite GB-InSAR, mentre la tecnica interferometrica SAR terrestre risulta essere particolarmente efficace come supporto a reti di monitoraggio con strumentazione tradizionale, già installate ed operanti oppure in fase di installazione. Tale tecnica può infatti fornire informazioni complementari per ottimizzare la distribuzione di sensori tradizionali e contribuire all'individuazione di aree di spostamento più o meno significative.

15.3.2.6. Interferometria satellitare SAR

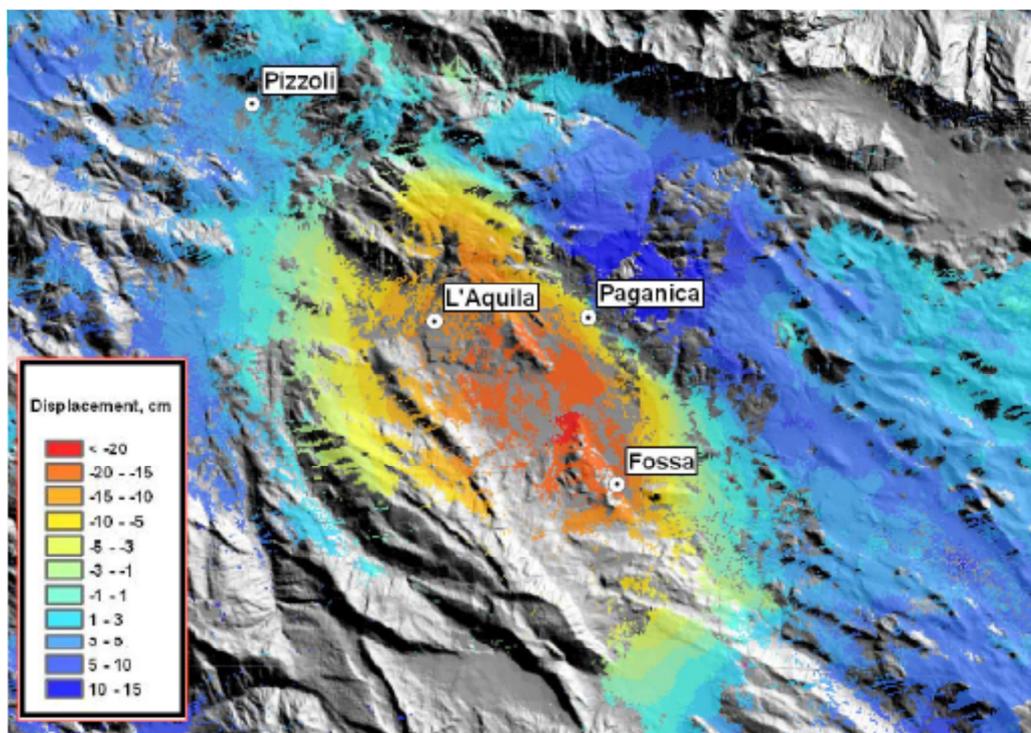
L'interferometria SAR Satellitare (DInSAR) è una tecnica per la misura degli spostamenti superficiali del territorio attraverso le immagini radar acquisite dai satelliti su una stessa area. Con essa è possibile misurare spostamenti millimetrici di terreni e strutture grazie ad algoritmi di ultima generazione e selezionati in funzione delle singole applicazioni richieste e della tipologia di dati disponibili.

Recenti tecniche di interferometria avanzata (A-DInSAR) sfruttano la naturale presenza sul territorio di elementi antropici (edifici, manufatti, infrastrutture) e naturali (rocce esposte, porzioni omogenee di terreno) per avere punti di misura affidabili dei quali restituire serie temporali di spostamento molto accurate.

Uno dei principali vantaggi delle tecniche A-DInSAR è la possibilità di eseguire analisi degli spostamenti storici (dal 1992 a oggi), fornendo quindi dati quantitativi anche per aree dove non è stata installata nessuna strumentazione di monitoraggio. La dimensione delle immagini satellitari, inoltre, consente l'analisi di vaste aree (centinaia di km²).

Gli archivi storici delle immagini, i satelliti attualmente in orbita e le missioni programmate per il prossimo futuro rendono le tecniche interferometriche da satellite una risorsa fondamentale per l'analisi degli spostamenti passati del terreno e per il telemonitoraggio di grandi aree.

In figura è rappresentata la mappa interferometrica del territorio de L'Aquila da immagini prima e dopo il terremoto del 2009, realizzata dal Laboratorio di Telerilevamento del Centro Nazionale Terremoti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma.



15.3.3. Il monitoraggio strutturale

Il monitoraggio strutturale, quando necessario o previsto dal progetto, deve tendere ad evitare possibili inconvenienti dovuti a:

- invecchiamento fisiologico dei manufatti;
- azioni conseguenti ad eventi naturali quali frane, sismi, fenomeni di subsidenza (progressivo abbassamento verticale del piano campagna);
- cattiva costruzione.

Anche questo tipo di monitoraggio può avvenire, sia in corso d'opera, sia in fase successiva alla messa in esercizio. La sua necessità, in termini di attivazione di metodiche di tipo avanzato, è legata principalmente ai seguenti casi:

- opere di particolare importanza ed elevato costo, per le quali diventa critica la prevenzione del degrado o del dissesto;
- opere per le quali il monitoraggio classico può risultare difficoltoso e/o molto oneroso;
- opere per le quali il livello di rischio è tale da essere influenzato da piccolissime variazioni dei parametri critici;
- situazioni di dissesto o degrado già rilevate, critiche per la sicurezza la cui diagnosi e/o la cui misurazione risultino problematiche con i mezzi tradizionali;
- attività di sperimentazione e ricerca.

Nell'ambito dell'appalto, il progetto o il contratto possono prescrivere l'installazione di uno o più sistemi di monitoraggio strutturale che, essendo in questo caso da escludere nella loro forma tradizionale, che spetta essenzialmente al gestore delle opere realizzate durante il loro esercizio nel tempo, non può che essere di tipo avanzato, ossia con adozione di dispositivi tecnologici.

Tuttavia, per completezza, si riportano le normative che anche oggi regolano l'attività di monitoraggio di tipo tradizionale, intesa come ispezione dei manufatti:

- Circolare M.LL. PP. n. 6736/61/A del 19.07.1967 "Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali";

- Circolare M.LL.PP. n. 34233 del 25.02.1991 "Istruzioni relative alla normativa dei ponti stradali";
- B.U. CNR n. 165/1993 "Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale di ponti e viadotti";
- UNI EN 1337-10:2004 "Appoggi strutturali – Parte 10: Ispezione e manutenzione".

D'altro canto le attività di manutenzione formano anche oggetto del Piano di Manutenzione, che deve di norma essere allegato al progetto esecutivo delle opere in appalto.

I controlli delle strutture possono essere effettuati mediante:

- livellazione idrostatica;
- triangolazioni o trilaterazioni;
- linee di mira;
- pendoli ottici o meccanici;
- il controllo delle fessurazioni aperte.

Controllo con livellazione idrostatica: è utilizzata per controllare grandi strutture o dighe. Si utilizzano bicchieri posti stabilmente su strutture che devono essere controllate verticalmente; tali bicchieri vengono riempiti con acqua e sono comunicanti tra loro (secondo il principio dei vasi comunicanti) e con una centralina che può avere un controllo remoto. Le misure si effettuano leggendo, rispetto alla graduazione, il livello dei liquidi contenuto nei bicchieri arrivando ad una approssimazione di pochi decimi di mm. Per questa tipologia di controllo vi sono attualmente dei sensori elettronici che sono collegabili a filo oppure via onde radio convogliate.

Controllo per triangolazioni o trilaterazioni. Si effettua in genere per il monitoraggio di grandi strutture o di movimenti del terreno, posizionando su pilastri opportuni segnali (mire), che devono rimanere stabili per il periodo di tempo necessario al controllo. Sui pilastri si posizionano inoltre delle mire a centramento forzato (eventualmente retroilluminate). I punti in genere sono collegati mediante triangoli possibilmente regolari a due o più caposaldi, su cui si misurano angoli e distanze con teodoliti al secondo, o meglio con stazioni totali.

Controllo per linee di mira. Si effettua anch'esso in genere per grandi strutture. Prevede anch'esso segnali (mire) a centramento forzato e vengono poi istituite delle "linee di mira" tra due segnali in posizione stabile alle estremità del manufatto e i segnali che invece si possono spostare, a pattino su pilastri lungo il bordo della struttura. È anche possibile un monitoraggio remoto attraverso stazioni totali robotizzate, situate ad una estremità e mire costituite da mini-prismi retroriflettenti.

Controllo con pendoli ottici o meccanici. Trova largo impiego per la misura delle rotazioni (ad es. il pendolo rovescio è uno strumento che viene utilizzato per il controllo in fondazione delle dighe). Necessita della creazione di un foro verticale, che viene eseguito in fase di costruzione, entro cui scorrerà un filo di acciaio che viene teso verticalmente e collegato in sommità ad un galleggiante libero di muoversi su un liquido (olio). Il sistema è in genere automatizzato nelle letture mediante l'impiego di telecoordinometri. Alternativa al pendolo rovescio è il livello zenitale, che è in grado di deviare la linea di mira verso lo zenith.

Controllo delle fessurazioni aperte.

Tale controllo avviene posizionando strumenti provvisori o permanenti, detti "estensimetri", a cavallo della fessura, in modo di misurarne l'evolversi dell'ampiezza. Strumenti provvisori ed economici possono essere dei "fessurimetri a vetrini" (v. figura a sin.), che sono in grado di stimare aperture con approssimazioni di circa 0,5 mm, mentre i deformometri a comparatore e quelli digitali (v. figura al centro) sono in genere dotati di scala al centesimo di millimetro. In questo secondo caso (strumenti di alta precisione) sono molto importanti la taratura preliminare su asta invar fornita con gli strumenti e la misura della temperatura, effettuata con termometro convenzionale o con sonda termometrica.

Il sistema può essere reso molto più efficiente se realizzato con l'installazione, presso la struttura o l'edificio da monitorare, di una o più periferiche di acquisizione dei dati, alle quali vengono collegati uno o più fessurimetri elettronici e sonde per il rilievo delle temperature ambientali. Le periferiche devono preferibilmente essere autonome, ossia non devono essere collegate alle reti elettrica, telefonica o dati; ciò per avere la massima flessibilità di installazione in qualunque situazione. Le periferiche acquisiscono i dati dai fessurimetri e dalle sonde e li trasmettono, tramite GSM integrato a bordo delle periferiche stesse, al centro di controllo. Il centro di controllo riceve e analizza i dati e permette la creazione di report numerici o grafici relativi agli andamenti dei valori degli spostamenti dei lembi delle fessure.



Estensimetri a controllo remoto sono anche i cosiddetti *strain gages* (v. figura a destra), costruiti per fotoincisione di un filo sottile conduttore che costituisce una resistenza elettrica al passaggio di corrente su un supporto elettricamente isolante. L'estensimetro viene quindi utilizzato per la misurazione della deformazione, incollandolo alla superficie da campionare che, in questo caso, non deve necessariamente recare una fessura ed anzi il dispositivo si danneggerebbe se sottoposto a deformazioni anche dell'ordine del decimo di millimetro. La sua altissima precisione consente infatti di misurare anche le deformazioni del materiale base della struttura e quindi, indirettamente, ricavarne lo stato tensionale nella direzione dell'estensimetro stesso. Anche un'eccessiva temperatura può influenzare le letture, quindi l'impiego di questi strumenti deve essere attentamente e preventivamente valutato, in relazioni agli obiettivi del monitoraggio.

Una più recente categoria di estensimetri, del tipo a fibra ottica (FOS: *Fiber Optic Sensors*), per il monitoraggio delle deformazioni, è quella dei sensori "a reticolo di Bragg" (FBG: *Fiber Bragg Grating*). Questi sono costituiti da un corto segmento di fibra ottica che riflette particolari valori di lunghezza d'onda e trasmette tutti gli altri. Le deformazioni influenzano direttamente la risposta dei FBG, attraverso l'espansione e la compressione di una sezione di reticolo e l'effetto ottico dovuto alla forza, che induce la modificazione dell'indice di rifrazione. In modo analogo, la temperatura influenza invece la risposta delle FBG, principalmente modificando l'indice di rifrazione. Per questo, i sensori possono essere anche impiegati per la misura di temperatura, parametro fondamentale per poter analizzare la natura delle deformazioni misurate.

15.3.4. Piezometro tipo Casagrande

15.3.4.1. Generalità

Il piezometro tipo Casagrande, adatto a terreni poco permeabili, consente il rilievo, mediante apposita sonda elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro, costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie. lo stesso può essere attrezzato successivamente con trasduttore di pressione per letture automatizzate.

15.3.4.2. Specifiche tecniche

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno). Il tubicino in andata dovrà avere diametro non inferiore a 1.5", per permettere l'eventuale inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico, mentre il tubicino in ritorno dovrà avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm. I singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 μ

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.

Nel caso il piezometro sia attrezzato mediante trasduttore di pressione, quest'ultimo dovrà soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

15.3.4.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installata la cella Casagrande dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasì la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

15.3.4.4. Modalità d'installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi, avendo cura, per ogni singolo step, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\emptyset = 1 \div 4$ mm);
- discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati;
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\emptyset = 1 \div 4$ mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ($\emptyset = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 3 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori.

Nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;

- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento;
- esecuzione della prima lettura significativa, da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro.

La misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua; in caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi; a questa fase di controllo dovrà presenziare la Direzione Lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

Nel caso si preveda l'automatizzazione del piezometro Casagrande, è richiesta l'installazione all'interno del piezometro di un trasduttore di pressione (inserito all'interno di una custodia appositamente sagomata con anello di tenuta) che sigilli il tubo a diametro maggiorato (1½") e di un tappo con tenuta tale da garantire la possibilità di realizzare la "chiusura" del secondo tubo (di diametro ½") e quindi della cella. Per l'installazione, si devono eseguire le seguenti operazioni:

- lavaggio del piezometro prima dell'installazione del trasduttore;
- controllo dell'integrità del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- saturazione della cella porosa in acqua disarmata;
- inserimento del trasduttore con la punta conica e il contrappeso (es. tubo in acciaio inox appoggiato allo strumento) entro il tubo in PVC da 1½" reggendolo per il cavo elettrico, fino a che vada ad inserirsi nella sede sulla cella porosa; per accertarsi che la quota raggiunta coincida con la quota di posa del filtro, controllare la lunghezza del cavo introdotto;
- durante la posa del trasduttore, devono essere eseguite letture di controllo per verificare il corretto funzionamento del trasduttore in relazione al carico piezometrico nel foro.
- collegamento del sensore alla centralina di misura ed inserimento del sensore nel tubo di misura, fino a raggiungere la sede di esercizio, ponendo particolare cura per evitare sovrappressioni dannose per il trasduttore, e lettura del livello di falda mediante misuratore di livello nel tubo da 1/2";

- esecuzione di una misura mediante centralina;
- inserimento nel tubo da 1/2" dell'elemento di chiusura dopo il ripristino delle condizioni iniziali (livello di falda stabilizzato);
- esecuzione di una misura dopo alcune ore dall'ultimazione dell'installazione della strumentazione ripetute nei giorni successivi.

Ad installazione ultimata, deve essere protetto la parte fuoriuscente del piezometro da p.c. mediante un pozzetto in cls o tubo metallico PVC serie pesante.

15.3.4.5. Documentazione d'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro della cella Casagrande;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

Nel caso d'installazione del trasduttore di pressione, è richiesta la seguente documentazione aggiuntiva:

- documentazione tecnica del trasduttore rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

15.3.5. Piezometro elettrico

15.3.5.1. Generalità

Il piezometro elettrico installato in un foro di sondaggio consente di misurare direttamente la pressione o sovrappressione interstiziale in un terreno fine limoso-argilloso. I piezometri saranno solitamente attrezzati con *datalogger* per consentire la misura in automatico.

15.3.5.2. Specifiche tecniche

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire (su indicazione del Progettista/DL)
Massimo sovraccarico	30% del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
Precisione	0.3% F.S.
Sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55 °C
Materiale	Acciaio inox

L'utilizzo di piezometri elettrici con caratteristiche tecniche differenti da quanto sopra riportato dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

15.3.5.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasì la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il piezometro, contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

15.3.5.4. Modalità d'installazione

L'installazione seguirà la seguente procedura, avendo cura, per ogni singola fase, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e cavi non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di $2 \div 3$ cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della boccaforo con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento
- esecuzione della prima lettura significativa tramite centralina portatile.
- sistemazione dei cavi di segnale a boccaforo in scatola di centralizzazione per lettura con centralina portatile o cablaggio a Unità di Acquisizione dati.

15.3.5.5. Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;

- diametro e stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- schema di installazione del piezometro nel foro;
- documentazione tecnica del piezometro rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al *datalogger* (opve previsto).

15.3.6. Tubo inclinometrico

15.3.6.1. Generalità

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

15.3.6.2. Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 - 86 (1993) - *Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers*.

15.3.6.3. Caratteristiche della strumentazione

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int tubo}} = 76 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{int guide}} = 82 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{est guide}} = 86 \text{ mm}$.

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spiratura dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito: $\varnothing_{\text{int guide manicotto}} < \varnothing_{\text{est guide tubo inclinometrico}} + \approx 1 \text{ mm}$.

Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.

In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

15.3.6.4. Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati infine il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

15.3.6.5. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

Una volta installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo inclinometrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

15.3.6.6. Installazione

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
 - inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
 - realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
 - con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
 - rimozione del manicotto;
 - applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
 - inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
 - attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;

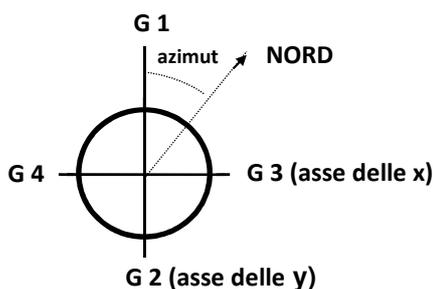
- inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa $40 \div 50$ cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

15.3.6.7. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di $10 \div 14$ giorni dalla installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spirallatura della tubazione alle specifiche di accettazione.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Appaltatore e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



Successivamente dovranno essere verificate anche la verticalità e la spiratura del tubo, che verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spiratura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

15.3.6.8. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiratura.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

15.3.7. Estensimetro multibase ad aste

15.3.7.1. Generalità

Le misure con estensimetri da foro consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra la testa di un foro di sondaggio comunque orientato ed un ancoraggio fissato in profondità all'interno dello stesso; in un singolo foro di sondaggio possono essere posizionati più estensimetri ad asta con ancoraggi a diverse profondità.

Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato o tramite trasduttori di spostamento elettrico installati alla testa delle astine di misura.

15.3.7.2. Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4403 - 84 (94) - Standard Practice for Extensometers Used in Rock.

15.3.7.3. Specifiche tecniche

Gli estensimetri ad asta a singola base (ancoraggio) o multibase saranno costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato ad una o più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i comparatori e/o trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo in plastica, dotata di coperchio di protezione a tenuta stagna;
- riscontri di lettura con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm riposizionabili;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;
- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;

- tubo di iniezione della malta cementizia.

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

ESTENSIMETRO A BARRE

Materiale aste	fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	$3,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Diametro astine	7 mm
Guaina protettiva	nylon
Numero basi	3 basi

TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO

Range di misura	50-100 mm
Tipo di sensore	Potenziometro lineare
Linearità	0,02% FS
Accuratezza	0,01% FS
Grado di protezione	IP 56
Temperatura operativa	da -10 a 50°C

15.3.7.4. Preparazione del foro

Il foro per l'installazione di basi estensimetriche ad asta dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm nel caso di estensimetri fino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm nel caso di estensimetri fino a 6 basi di misura e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm della lunghezza relativa alla base di ancoraggio più profonda.

Una volta installate le basi di misura, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e/o spostamenti delle basi di ancoraggio e delle astine in vetroresina. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

15.3.7.5. Installazione

Al termine dell'esecuzione del foro si provvederà ad installare nel foro gli estensimetri ad asta, avendo cura di posizionare gli ancoraggi esattamente alle profondità indicate dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- posizionare l'estensimetro svolto in prossimità del foro in cui sarà installato;
- inserire la dima di installazione sulla testa dell'estensimetro per bloccare lo scorrimento delle barre in vetroresina durante l'installazione;
- inserire la base più lunga nella cavità all'interno del foro fissando il tubo di iniezione con nastro adesivo ad intervalli regolari. Quando si arriva ad un ancoraggio, montare il centratore. Ripetere l'operazione per tutte le basi di misura;
- fissare e sigillare la testa dell'estensimetro a bocca foro con cemento a presa rapida o con l'utilizzo di un packer gonfiabile;
- quando la testa estensimetrica risulta fissata si passa alla cementazione per iniezione dello strumento (la composizione della miscela cementizia è normalmente la seguente: 100 kg di acqua, 30 kg di cemento, 5 kg di bentonite attivata) si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti;
- sigillare i tubi di iniezione e di sfiato;

- attendere il tempo necessario per consentire la completa maturazione della miscela cementizia (a tal scopo, durante la fase di iniezione dello strumento, è opportuno riempire di miscela una piccola cavità in roccia o un piccolo contenitore in polistirolo per sincerarsi direttamente della consistenza del prodotto);
- sbloccare le aste di misura interne rimuovendo la dima di installazione dalle connessioni;
- installare la piastra di riscontro delle astine di misura;
- A presa avvenuta procedere alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale o un trasduttore lineare di spostamento ed agendo sulla vite di regolazione della testa di misura, con esecuzione di almeno tre misure di riscontro;
- installare, se richiesti da Progetto o dalla Direzione Lavori, i trasduttori elettrici di spostamento:
- cablare le terminazioni elettriche utilizzando un cavo multipolare per ogni estensimetro;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla unità di acquisizione dati;
- proteggere la testa estensimetrica con il proprio coperchio;
- nel caso di installazioni verticali da piano campagna, installare a testa foro un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità della testa dello strumento, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

15.3.7.6. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- codifica dello strumento;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- certificati di taratura dei trasduttori di spostamento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi dalla data di posa;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

15.3.8. Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx e inclinometrica

15.3.8.1. Generalità

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita.

Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli magnetici cementati alle pareti del foro.

La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali.

15.3.8.2. Caratteristiche dell'attrezzatura e specifiche tecniche

I tubi estensimetrici dovranno essere di ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda estensimetrica.

Le dimensioni del tubo estensimetrico, per una perforazione di 127 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int tubo}} = 60 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{est tubo}} = 70 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{int guide}} = 63.5 \text{ mm}$;
- spessore = 5.0 mm;
- massa $\geq 1600 \text{ g/m}$.

All'esterno del tubo estensimetrico dovranno essere posizionati ad intervalli di lunghezza di 1 m appositi anelli metallici di massa non inferiore a 600 g.

Le caratteristiche generali della strumentazione estensimetrica dovranno essere le seguenti:

Materiale tubo	HPVC o ABS: \varnothing 63/70 mm esterno
Manicotti	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	$\pm 50 \text{ mm}$
Precisione del sistema (sonda +centralina di acquisizione)	$\pm 0.3 \text{ mm/m}$
Campo di Temperatura	$0^\circ, +40^\circ \text{ C}$

Dimensioni diverse del tubo estensimetrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

15.3.8.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro pari a 127 mm e dovrà avere l'orientazione indicata nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

15.3.8.4. Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

15.3.8.5. Installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi estensimetrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. L'accoppiamento dei manicotti con gli spezzoni di tubo dovrà avvenire impiegando apposito collante secondo la seguente procedura:
 - applicazione di un sottile strato di collante all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
 - inserimento del manicotto sul primo tubo per metà della sua lunghezza;
 - inserimento di un secondo spezzone di tubo nel manicotto;
 - attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- montaggio sul primo spezzone di tubo di un anello magnetico ogni metro di lunghezza, controllandone la posizione con apposito strumento spaziatore;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo su cui saranno stati posizionati ogni metro gli anelli magnetici; incollaggio e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco

della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;

- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico e dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. La tubazione verrà dichiarata idonea, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

15.3.8.6. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Appaltatore e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone, facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.

Successivamente si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.

La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m. Nel caso di utilizzo della tubazione come estenso-inclinometro inoltre la deviazione dalla verticale dovrà risultare inferiore al 2%.

15.3.8.7. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, codifica dello strumento, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento.

15.3.9. Clinometro di superficie

15.3.9.1. Generalità

L'installazione di un clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione di una parete rocciosa o di singoli blocchi rocciosi o di strutture.

15.3.9.2. Specifiche tecniche

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- clinometro di superficie biassiale fisso dotato di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

Tipologia di sensore	servoaccelerometrico
Campo di misura	$\pm 15^\circ$
Risoluzione	0.001% F.S.
Ripetibilità	0.01% F.S.
Sensibilità	$1/20.000 \text{ sen } \alpha$
Temperatura di esercizio	$-20 \div +70 \text{ }^\circ\text{C}$
Assetto azimutale	$< 0.5^\circ$
Segnale elettrico in uscita	$4 \div 20 \text{ mA}$

- staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione tridirezionale dello strumento;
- cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra il clinometro e il pannello di misura, conforme alle specifiche tecniche delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- pannello di centralizzazione e misura dotato di connettori per l'esecuzione delle misure con centralina di lettura e alimentazione portatile; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Direzione Lavori.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

15.3.9.3. Installazione

Nell'installazione del clinometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la parete rocciosa e/o struttura.

L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

15.3.9.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore, codifica dello strumento);
- codifica dello strumento;
- schema di installazione del clinometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (sensori);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;

- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura del clinometro, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

15.3.10. Celle di carico toroidali

15.3.10.1. Generalità

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con *strain-gauges* di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri che variando il loro valore di resistenza generano un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

15.3.10.2. Specifiche tecniche

Materiale	Acciaio inossidabile 17-4PH
Fondo scala (*)	Fino a 1200 kN
Carico ammissibile	150% FS
Sensibilità	0,001 mV
Accuratezza	< 0,5%FS
Temperatura operativa	-10 °C, +55°C

(*) Nota: il fondo scala è funzione del carico massimo ammissibile del tirante.

15.3.10.3. Installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di cemento a presa rapida per garantire la planarità della superficie, qualora ce ne fosse la necessità;
- appoggiare la cella di carico sulla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;
- collegare la cella ad una centralina portatile e procedere alla fase di tesatura del tirante fino al valore di progetto, ricordandosi che successivamente alla tesatura si verifica un assestamento di tutto il sistema e quindi una diminuzione del valore di carico di circa un 10-15%;
- fissare i cavi delle celle di carico lungo il paramento della galleria o della paratia con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'unità di acquisizione dati.

15.3.10.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, n.tirante strumentato, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- prospetto di progetto dell'opera con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto)
- risultati della tesatura iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;

- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della cella di carico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

15.3.11. Barrette estensimetriche per calcestruzzo

15.3.11.1. Generalità

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in calcestruzzo, armato e non (rivestimenti definitivi, pali o diaframmi armati o plastici, ecc.) è prevista l'installazione di *strain meters* a corda vibrante.

Gli estensimetri a corda vibrante per cls sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, tensionato tra due estremità a due supporti ancorati alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

15.3.11.2. Specifiche tecniche

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 $\mu\epsilon$
range di temperatura	-20, +80 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 μm
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 $\mu\text{m} / ^\circ\text{C}$
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

15.3.11.3. Installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione, ed affogati nei getti di cls.

Il fissaggio degli *strain meters* dovrà essere effettuato secondo l'orientazione di progetto e tramite legatura alle barre di armatura.

Si dovrà garantire che la distanza tra le basi di ancoraggio del sensore corrisponda alla posizione media del campo di misura strumentale.

Nel caso di installazione in rivestimenti definitivi (rivestimenti in galleria, solette di cls, ecc.) il fissaggio degli *strain meters* dovrà essere effettuato prima del getto avendo cura di fascettare i cavi di segnale alle armature fino a farli fuoriuscire dal getto in posizione protetta e accessibile per il successivo cablaggio. Nel caso di messa in opera su cls non armato l'installazione del sensore è prevista mediante fissaggio degli strumenti ad un telaio in acciaio annegato all'interno del calcestruzzo.

Nel caso di installazione di *strain meters* in pali o diaframmi armati, si dovrà procedere alla legatura degli strumenti, secondo le indicazioni sopraccitate e alle quote di progetto, sulle gabbie di armatura prima della calaggio della gabbia all'interno della perforazione. Durante il calaggio della gabbia si dovrà procedere alla fascettatura dei cavi di segnale alla gabbia di armatura fino a testa palo/diaframma. Nella zona di scapitozzatura i cavi dovranno essere protetti con un tubo metallico fuoriuscente dal getto.

Tutti i sensori ed i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti per evitare danneggiamenti accidentali durante la posa dell'armatura, durante l'esecuzione del getto e durante eventuali scapitozzature.

Per ogni tipo di installazione i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

Successivamente al getto si procederà alla lettura di funzionamento della strumentazione e al successivo cablaggio ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'unità di acquisizione dati.

15.3.11.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli *strain meters* all'interno del getto con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

15.3.12. Barrette estensimetriche per acciaio

15.3.12.1. Generalità

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in acciaio (ad esempio le centinature nei pozzi di fondazione) è prevista l'installazione di *strain meters* a corda vibrante.

Gli estensimetri a corda vibrante per acciaio sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, teso tra due supporti (blocchi) resi solidali mediante saldatura o resinatura alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione (e quindi di frequenza di vibrazione) della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

15.3.12.2. Specifiche tecniche

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
Campo di misura	3000 $\mu\epsilon$
Range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 $\mu\epsilon$
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 $\mu\epsilon$ /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)

Precisione termistore	0,5° C
-----------------------	--------

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

15.3.12.3. Installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi ed all'orientazione di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a brugola;
- tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione desiderata in funzione del comportamento atteso del profilato (solitamente la posizione intermedia del campo di misura strumentale), avendo cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla unità di acquisizione dati fissandoli mediante legature di ferro alla coronella di micropali o alle centina-ture superiori; i cavi dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

15.3.12.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli *strain meters* sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- Risultati delle letture effettuate in termini di frequenza e di deformazione.

15.4. Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali

15.4.1. Generalità

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti dai trasduttori elettrici (di qualsiasi natura), fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagiati condizioni

climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.

Unitamente all'acquisitore dovrà essere fornito il software di gestione dello stesso. Il file di output delle misure acquisite dovrà essere, in ogni caso, compatibile con il programma excel (es. formati .xls, .csv, .txt).

15.4.2. Caratteristiche delle apparecchiature

15.4.2.1. Apparecchiatura a 2 canali

Queste apparecchiature, alloggiare in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due segnali (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$ °C;
- Acquisitore *Multisensor*: possibilità di misurare sensori in corrente ($4 \div 20$ mA), in tensione, *strain gauge*, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

15.4.2.2. Apparecchiature pluricanali

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;

- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- scheda di ingresso a *multiplexer* con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D *autorange* e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;
- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
 - soglie di valore di misura minimo e di massimo per eventuali segnali di allerta.
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-card;
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$ C;
- Acquisitore *Multisensor*: possibilità di misurare sensori in corrente ($4 \div 20$ mA), in tensione, *strain gauge*, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

15.4.3. Installazione

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo sia da condizioni climatiche particolarmente avverse. In questo ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.

Nel caso sia previsto un monitoraggio in automatico anche a lungo termine, e cioè dopo la fine della realizzazione dell'opera, è necessario che l'acquisitore sia ubicato in modo definitivo in zone protette, facilmente raggiungibili e non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione delle opere e con le fasi di esercizio della stesse.

Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso. Anche in questo caso si dovrà provvedere a cablaggi non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione dell'opera e con le fasi di esercizio della stessa.

Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

15.4.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- manuale d'uso;
- software di gestione e programmazione dell'acquisitore;
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;

- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);
- eventuali note e osservazioni.

15.5. Cavi elettrici di collegamento

15.5.1. Generalità

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

15.5.2. Caratteristiche tecniche

15.5.2.1. Cavi a 6 conduttori

Tali cavi, di diametro non superiore a 9 mm, sono costituiti da 6 conduttori di sezione pari a 0.22 mm^2 .

15.5.2.2. Cavi multipolari

Tali cavi, di diametro non superiore a 15 mm, sono costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm^2 .

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;
- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- norme applicabili: CEI 20-11 CEI 20-29 CEI 46-6;
- isolamento guaina esterna:
 - tensione di prova: 300 V;
 - tensione di esercizio: 300 Vrms;
 - resistenza di isolamento $> 200 \text{ M}\Omega/\text{Km}$;
- isolamento guaina di separazione conduttori:
 - tensione di prova: 300 V;
 - tensione di esercizio: 300 Vrms;
 - resistenza di isolamento $> 200 \text{ M}\Omega/\text{Km}$;
- percentuale calza:
 - $> 90\%$ per cavi con schermo a calza;
 - $> 60\%$ per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
- caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

16. Dispositivi per lo smaltimento dell'acqua dagli impalcati

16.1. Generalità

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi per la captazione ed il convogliamento dell'acqua o di altri fluidi eventualmente sversati sugli impalcati, siano essi di origine meteorica o apportati artificialmente (in seguito denominati genericamente e per semplicità "acque" o "acque di piattaforma"). Tali dispositivi sono pertanto destinati a drenare la pavimentazione dalle acque di piattaforma e ad allontanarle dall'opera senza percolazioni e/o stillicidi sulle strutture sottostanti. Saranno di norma costituiti da:

- dispositivi di captazione delle acque, generalmente costituite da caditoie, da "bocche di lupo" o da sistemi ibridi tra le due tipologie, il cui bordo a stramazzo destinato ad accogliere l'acqua deve essere posto a quota tale da poter captare per intero le acque meteoriche provenienti dalla pavimentazione;
- eventuali griglie a protezione dei suddetti dispositivi;
- bocchettoni per il collegamento tra i suddetti dispositivi e il collettore;
- collettore per il convogliamento delle acque.

Le loro geometrie e tipologie sono descritte nei disegni di progetto. In ogni caso, fatti salvi gli impalcati di limitate dimensioni per i quali l'acqua di piattaforma è convogliata lungo i cordoli laterali fino a manufatti posti al di fuori dell'impalcato stesso, i suddetti dispositivi devono essere comunque previsti.

Il caso di adozione di caditoie continue, tanto realizzate con canalette sormontate da griglia, quanto costituite da caditoie singole accostate fra loro, è meno frequente ed il suo utilizzo deve essere adeguatamente motivato.

I dispositivi adottati non dovranno pregiudicare il corretto funzionamento delle barriere di sicurezza, salvo casi di effettiva impossibilità, da giustificare adeguatamente, nei quali la barriera di sicurezza possa essere localmente e puntualmente modificata, senza diminuirne apprezzabilmente la funzionalità, ai sensi del D.M. 21.06.2004 e successivi aggiornamenti.

16.2. Componenti

16.2.1. Dispositivi di captazione delle acque

16.2.1.1. Caditoie

Potranno essere posizionate:

- all'interno della piattaforma stradale (costituita dall'insieme di corsie di marcia, corsie specializzate, piazzole e banchine), generalmente coincidente con l'area occupata dalla pavimentazione stradale;
- all'esterno della piattaforma stradale;
- parte all'interno e parte all'esterno della piattaforma stradale.

Caditoie entro la piattaforma stradale

Saranno poste al compluvio (generalmente coincidente con il bordo esterno della pavimentazione stradale), avranno forma rettangolare, con lato lungo parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato e profondità commisurata allo spessore della pavimentazione stradale ed allo spessore della soletta d'impalcato. La quota del bordo a stramazzo dovrà essere posizionata:

- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato "chiuso", che si presume impermeabile, a distanza 0 – 1 cm dal filo superiore dello stesso;
- nel caso di presenza di tappeto di usura "drenante", a distanza 0 – 1 cm dal filo superiore del primo strato impermeabile.

Le caditoie saranno realizzate di norma con cassette in acciaio inossidabile di qualità X5CrNi18-10 UNI EN 10088, corrispondente ad AISI 304, o con altro materiale di adeguate caratteristiche di tenuta idraulica, resistenza alle sostanze aggressive e durabilità, ben aderenti al calcestruzzo della soletta e collegate a sormonto con la membrana impermeabilizzante dell'impalcato e con i suoi risvolti sul cordolo. Il sistema finito deve impedire in modo assoluto l'infiltrazione di acqua tra la cassetta e il calcestruzzo all'intorno. Inoltre, per evitare l'infiltrazione di acqua anche tra la cassetta e la

pavimentazione stradale che la circonda, nel caso di presenza di interstizi e discontinuità, questi dovranno essere sigillati a posteriori con mastice bituminoso, bitume colato o con ripresa della pavimentazione.

In alternativa alla soluzione descritta, che comunque sarà adottata per strade di categoria A o B, le caditoie si potranno realizzare con semplici cavi nel getto della soletta, che tuttavia dovranno essere trattati al loro interno con un prodotto impermeabilizzante di provata efficacia, durabilità e resistenza all'abrasione, sul quale sarà sormontato lo strato impermeabilizzante, in modo da ottenere una perfetta tenuta idraulica.

Nel caso in cui le caditoie risultino posizionate su un impalcato a lastra ortotropa, le stesse saranno generalmente realizzate in lamiera, potranno sporgere al di sotto della lamiera superiore di impalcato e dovranno essere verificate agli opportuni carichi accidentali concentrati, in conformità con le norme relative ai carichi sui ponti, di cui al D.M. 14/01/2008.

Le caditoie dovranno essere protette con griglie, posizionate a filo della loro sommità, le cui specifiche sono riportate al punto seguente.

Caditoie esterne alla piattaforma stradale

Saranno generalmente ricavate all'interno di canalette realizzate nel cordolo o nel marciapiede, poste perpendicolarmente ad essi o con opportuna obliquità, destinate a convogliare l'acqua verso le caditoie stesse.

Saranno realizzate in analogia con il caso precedente, rispetto al quale dovranno garantire le stesse prestazioni di funzionalità e durabilità.

Le canalette di convogliamento, se ricavate entro un marciapiede, dovranno essere protette con griglia come da specifiche di cui al punto seguente. Il loro fondo dovrà avere una leggera pendenza verso la caditoia e quota iniziale posizionata:

- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato chiuso, più in basso del filo superiore dello stesso;
- nel caso di presenza di tappeto di usura "drenante", più in basso del filo superiore del primo strato impermeabile;
- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato chiuso, ma anche di una canaletta corrente lungo il cordolo, ottenuta distaccando da esso il tappeto di usura per una limitata larghezza, tale da non pregiudicare la sicurezza del traffico veicolare e/o pedonale ancorché ne sia interessata unicamente la banchina, più in basso del filo superiore dello strato o elemento strutturale sottostante al tappeto di usura.

In questo specifico caso, se idraulicamente se ne sia verificata la possibilità, le caditoie potranno essere addirittura omesse, ovvero la canaletta costituirà essa stessa una caditoia ed il bocchettone potrà iniziare direttamente dal piano inferiore della canaletta che, essendo un semplice cavo nel calcestruzzo, dovrà essere trattata con prodotto impermeabilizzante, in analogia al caso precedente e dovrà essere ben raccordata con la membrana impermeabilizzante dell'impalcato e con i relativi risvolti.

Caditoie in parte esterne e in parte interne alla piattaforma stradale

Per la parte posta internamente alla piattaforma varranno le specifiche sopra riportate per tale caso e così sarà anche per la parte posta all'esterno.

Qualora la larghezza della seconda sia contenuta entro i 10-15 cm, la griglia potrà essere omessa.

16.2.1.2. Bocche di lupo

Le bocche di lupo sono costituite da aperture praticate entro il bordo interno, in genere rialzato, del cordolo o del marciapiede, comunicanti con una caditoia coperta.

In questo caso la caditoia dovrà essere comunque resa ispezionabile per tramite di una apertura posta superiormente o lateralmente, protetta da chiusino. Per essa valgono per quanto applicabili le prescrizioni di cui al punto precedente.

il bordo a stramazzo della bocca di lupo sarà posto ad una quota più bassa del filo superiore del tappeto di usura, se in conglomerato chiuso, del filo superiore del primo strato impermeabile in presenza di tappeto di usura drenante o del filo superiore dello strato sottostante il tappeto di usura se in conglomerato chiuso ma in presenza di una canaletta di convogliamento posta lungo il cordolo.

In mancanza di canaletta di convogliamento è buona norma agevolare l'ingresso dell'acqua nella bocca di lupo sagomando opportunamente ad imbuto la pavimentazione nel suo immediato intorno, per una larghezza non eccedente i 10-15 cm a partire dal cordolo.

Qualora le dimensioni della bocca e il posizionamento del pozzetto di ispezioni siano tali da non garantire una agevole pulizia del bocchettone e dell'eventuale parafoglie di cui è dotato, è necessario proteggere la bocca di lupo con una opportuna griglia.

16.2.1.3. Sistemi ibridi bocca di lupo - caditoia

Si tratta di sistemi che abbinano una bocca di lupo ad una caditoia, posta lungo il cordolo e all'interno della piattaforma stradale. Per ciascuno dei due elementi valgono le rispettive prescrizioni di cui ai punti precedenti.

16.2.2. Griglie

Le griglie saranno conformi a quanto stabilito all'articolo riguardante il drenaggio del corpo autostradale.

Qualora disposte orizzontalmente, per la loro resistenza statica dovranno rispondere alle norme UNI EN 124. Inoltre, se eseguite in acciaio da carpenteria, dovranno essere sempre zincate a caldo con forte spessore di zinco, secondo le norme UNI EN ISO 1461.

16.2.3. Bocchettoni

I bocchettoni sono spezzoni di tubo usualmente dotati di una flangia o risvolto in sommità, che vengono collocati verticalmente all'interno di un foro preventivamente praticato nella soletta o nella lamiera costituente la caditoia (eventualmente in caso di applicazione su lastra ortotropa).

Qualora la caditoia sia realizzata tramite una scatola in acciaio inossidabile, il bocchettone sarà realizzato nello stesso materiale. Qualora invece ci si trovi in presenza di semplici cavi nelle strutture in calcestruzzo armato, opportunamente trattate con prodotto impermeabilizzante, il bocchettone potrà essere realizzato in materiale plastico, compatibile con il tipo di tubazione che ne costituirà la prosecuzione e di elevate durabilità e resistenza meccanica ed agli agenti aggressivi.

Mentre non è strettamente necessario che vi sia tenuta idraulica nel contatto tra il bocchettone e la parete verticale del foro in cui è alloggiato, è viceversa assolutamente necessario che vi sia tenuta idraulica tra il bocchettone (o il suo risvolto o flangia) e il fondo della caditoia, o della canaletta praticata nel cordolo o nel marciapiede o anche della membrana impermeabilizzante della soletta di impalcato. In ogni caso dovrà evitarsi nel modo più assoluto qualunque infiltrazione di acqua tra il bocchettone e le pareti del foro. Ciò sarà ottenuto con la tecnologia più appropriata (saldatura metallica, termosaldatura, incollaggio a freddo, ecc.), in funzione dei materiali costituenti bocchettone, caditoia e membrana impermeabilizzante dell'impalcato.

Qualora non sia prevista una protezione con griglia, rispetto alla possibilità di ingresso nel bocchettone di materie solide in grado di ostruire le tubazioni di scarico, occorre dotarlo di un opportuno "parafoglie", costituito generalmente da un elemento dotato in sommità di una griglia cupoliforme, da introdurre a pressione nel bocchettone. Tale elemento dovrà anch'esso essere realizzato con acciaio inossidabile o, nei casi di minore importanza, in materiale plastico delle caratteristiche più sopra indicate.

16.2.4. Collettori

I collettori, salvo diverse esplicite prescrizioni progettuali o della Direzione Lavori, saranno costituiti da tubazioni in uno dei seguenti materiali:

- acciaio inossidabile di qualità X5CrNi18-10 UNI EN 10088;
- polietilene ad alta densità (PEAD);
- PVC-U secondo norma UNI EN 1452;
- acciaio da carpenteria secondo UNI EN 10224, con verniciatura interna antiabrasiva ed anticorrosiva a base epossidica.

La loro resistenza statica e rigidità dovranno essere commisurate al passo degli elementi di supporto ed ai carichi cui sono soggetti, fra i quali il peso del fluido convogliato, ipotizzandone cautelativamente il totale riempimento. Dovranno altresì resistere alla pressione idrostatica che si potrebbe determinare al loro interno per effetto di una ostruzione in un punto qualunque del sistema di convogliamento dell'acqua di impalcato.

Gli elementi di supporto dovranno avere adeguata resistenza ed essere regolabili, in modo da garantire il rispetto delle pendenze previste dal progetto e comunque tali da consentire un agevole scorrimento dell'acqua convogliata.

Qualora i collettori (trasversali o longitudinali) siano collocati direttamente al di sopra di aree potenzialmente interessate da transito abituale di veicoli o persone, in special modo se trattasi di strade pubbliche, linee ferroviarie e aree pertinenziali di edifici, senza che siano state previste efficaci protezioni contro la caduta loro parti costitutive per effetto di impreviste rotture, gli stessi collettori dovranno essere oggetto di apposita calcolazione statica o, in mancanza di criteri di calcolo affidabili, di prove di resistenza, che ne assicurino la stabilità con un grado di sicurezza non inferiore a quello degli altri elementi strutturali.

I giunti e/o la modalità della posa in opera dei collettori dovranno essere compatibili con le deformazioni e gli spostamenti previsti per l'impalcato o per gli impalcati adiacenti, qualora essi attraversino un giunto di dilatazione ed anche, in ogni caso, con le deformazioni proprie indotte dalle dilatazioni termiche e dal peso del fluido convogliato. A tali fini dovranno se del caso essere adottati sistemi di supporto o pezzi speciali, che consentano i movimenti dei collettori, senza che ne risultino pregiudicate l'integrità, la durabilità e la tenuta idraulica.

In casi particolari, ferme restando tutte le altre prescrizioni ed avendo cura di garantire gli opportuni franchi di sicurezza nel calcolo della portata idrica, unicamente per il collettamento longitudinale potranno essere adottate canalette a cielo aperto, opportunamente sagomate. In tal caso le stesse dovranno necessariamente essere realizzate in acciaio inossidabile di qualità come precedentemente indicato o in acciaio da carpenteria, opportunamente trattato sul lato a contatto con l'acqua con verniciatura protettiva ad alto spessore, resistente all'abrasione ed agli agenti aggressivi, le cui caratteristiche dovranno preventivamente essere approvate dalla Direzione Lavori.

16.3. Accettazione e controlli

I diversi componenti dei dispositivi dovranno recare la marcatura CE e la prescritta documentazione a corredo, in conformità alle disposizioni delle norme europee armonizzate ad essi relative.

La Direzione Lavori controllerà, prima della posa in opera, i diversi elementi per accertarne la corrispondenza alle caratteristiche dimensionali previste in Progetto.

Successivamente alla posa in opera la Direzione Lavori controllerà la corretta esecuzione degli allineamenti e dell'ubicazione, disponendo il rifacimento di quanto non conforme al Progetto.

17. Sistemi di drenaggio del corpo stradale

17.1. Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi di drenaggio del corpo stradale, con particolare riferimento alle autostrade, consistenti in:

- tubazioni;
- pozzetti e relativi dispositivi di chiusura e di coronamento;
- canali di drenaggio;
- canalette, mantellate, cordonate.

17.2. Tubazioni

17.2.1. Materiali

17.2.1.1. Generalità

Per i sistemi di drenaggio e convogliamento delle acque superficiali interessanti il corpo autostradale è previsto l'impiego di:

- tubi in polivinilcloruro per fognature (PVC-U);
- tubi strutturati in PVC-U, polipropilene (PP) e polietilene (PE);

- tubi in calcestruzzo non armato;
- tubi in calcestruzzo armato con fibre di acciaio o con armature tradizionali.

17.2.1.2. Tubi in PVC-U

I tubi in PVC-U per fognature saranno conformi alla norma UNI EN 1401 per:

- caratteristiche dei materiali per i tubi e per i raccordi;
- dimensioni dei tubi (diametri, lunghezze, spessori della parete);
- dimensioni dei raccordi, dei bicchieri, dei codoli;
- caratteristiche fisiche dei tubi e dei raccordi;
- caratteristiche meccaniche dei tubi e dei raccordi;
- requisiti prestazionali (tenuta, resistenza a cicli termici);
- requisiti delle guarnizioni;
- requisiti degli adesivi per le giunzioni.

17.2.1.3. Tubi strutturati in PVC-U, PP e PE

I tubi strutturati in PVC-U, PP e PE saranno conformi alla norma UNI 10968 per:

- caratteristiche dei materiali per i tubi e per i raccordi;
- metodi di giunzione;
- dimensioni dei tubi (diametri, lunghezze, spessori della parete);
- dimensioni dei raccordi;
- profili di parete;
- caratteristiche fisiche dei tubi e dei raccordi;
- caratteristiche meccaniche dei tubi e dei raccordi;
- requisiti prestazionali (tenuta dei tubi e delle giunzioni, resistenza a cicli termici, trazione delle giunzioni);
- requisiti delle guarnizioni;
- requisiti degli adesivi per le giunzioni.

17.2.1.4. Tubi in calcestruzzo con armature tradizionali o fibrorinforzato

Sono adottabili tubi in calcestruzzo non armato o armato con una o più gabbie d'acciaio o con fibre in acciaio.

Il calcestruzzo, così come i diversi materiali componenti (aggregati, acqua d'impasto, additivi, aggiunte, nonché acciaio di armatura e fibre di acciaio) dovranno essere conformi a quanto stabilito nella norma UNI EN 1916.

I giunti devono consentire il regolare accoppiamento geometrico dei tubi ed il loro allineamento in modo che quando i tubi sono posti in opera la loro superficie interna venga a costituire una condotta regolare e priva di discontinuità nel diametro. Il disegno del giunto, tenuto conto del tipo di giunzione e delle tolleranze effettive, dovrà assicurare la tenuta idraulica della condotta nelle condizioni di esercizio.

Le guarnizioni di tenuta saranno conformi alla EN 681-1, atte a garantire la tenuta idraulica perfetta ad una pressione interna di esercizio di 0,5 atm e, per quanto riguarda la durabilità, ai requisiti della norma UNI EN 1916.

17.2.2. Posa in opera

17.2.2.1. Scarico ed accatastamento

Per il carico, il trasporto, lo scarico e l'accatastamento dovranno osservarsi le eventuali istruzioni del costruttore nonché i requisiti delle norme di prodotto pertinenti; dovranno comunque impiegarsi i mezzi e gli accorgimenti idonei ad evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.

Tutti i materiali dovranno essere immagazzinati in maniera tale da conservarli integri e da evitare contaminazioni o degradazioni; per esempio i componenti elastomerici delle giunzioni dovranno essere tenuti puliti e protetti dall'esposizione a fonti di ozono (per esempio apparecchiature elettriche), alla luce solare ed a fonti di calore, nonché al contatto con oli o grassi.

L'accatastamento dovrà essere effettuato su supporti atti a mantenere i tubi sollevati dal suolo per evitare danni ai rivestimenti ed ai giunti, provvedendo a fissare i tubi per evitare che rotolino ed evitando altezze di impilamento eccessive in modo che i tubi inferiori non risultino sovraccaricati.

Non si devono collocare pile di tubi in prossimità di trincee aperte.

17.2.2.2. Scavo

Le trincee dovranno essere scavate in maniera tale da garantire un'installazione corretta delle tubazioni, nel rispetto degli accorgimenti e dei dispositivi previsti nel piano di sicurezza.

Se per la costruzione, è necessario accedere alle pareti esterne di strutture sotterranee, come nel caso di pozzetti, si dovrà prevedere uno spazio di lavoro minimo protetto largo 0,50 m.

Laddove due o più tubi vengano posati nella stessa trincea o sotto un terrapieno, si deve rispettare una distanza orizzontale minima fra le tubazioni: ove non altrimenti specificato, essa dovrà essere di: 0,35 m per tubi fino a DN 700 compreso e di 0,50 m per tubi maggiori di DN 700.

In presenza di altre tubazioni o costruzioni, si dovranno osservare misure di sicurezza adeguate al fine di proteggerle dal rischio di danneggiamenti.

La larghezza delle trincee non dovrà superare il valore massimo specificato in progetto; qualora, all'atto dello scavo, ciò non risultasse possibile, il problema dovrà essere sottoposto alla Direzione Lavori per le decisioni del caso.

La larghezza minima delle trincee dovrà essere quella stabilita nella norma UNI EN 1610.

Il materiale di risulta dello scavo, qualora dalla Direzione Lavori ritenuto idoneo ad essere reimpiegato per il rinfianco ed il rinterro, sarà depositato provvisoriamente; in caso contrario sarà conferito a deposito.

17.2.2.3. Letto di posa

I tubi saranno adagiati su un letto di posa in sabbia o ghiaia fine, di spessore non inferiore a:

- 10 cm in presenza di terreno di normale consistenza;
- 15 cm in presenza di terreno duro o di roccia lapidea.

Il letto di posa dovrà essere spianato e livellato in modo da eliminare discontinuità dell'appoggio (salvo le nicchie per le giunzioni a bicchiere); in nessun caso sarà consentito di regolare la posizione dei tubi nella trincea ricorrendo a pietre, mattoni, legname o ad altri appoggi discontinui.

Qualora si rendessero necessari aggiustamenti nell'altimetria, questi saranno effettuati alzando o abbassando la quota dell'appoggio, garantendo sempre che, alla fine, i tubi siano supportati per tutta la loro lunghezza, senza ricorrere a riempimenti locali.

17.2.2.4. Installazione

La posa dei tubi inizierà preferibilmente dall'estremità a valle con i bicchieri rivolti a monte.

In caso di lunghe interruzioni dei lavori, si provvederà a chiudere temporaneamente le estremità dei tubi; i tappi protettivi saranno rimossi solo immediatamente prima di eseguire le giunzioni; qualsiasi materiale rimasto nel tubo dovrà essere comunque rimosso.

Le parti della superficie del tubo che venissero a contatto con i materiali di giunzione dovranno essere prive di difetti, pulite e, se necessario, asciutte; i giunti scorrevoli dovranno essere lubrificati con i lubrificanti e secondo i metodi raccomandati dal fabbricante.

Nei casi in cui i tubi non possano essere giuntati manualmente, dovranno impiegarsi adeguate attrezzature idrauliche o manuali di tiro (*Tirfor*⁽¹⁾) o simili), essendo tassativamente vietato il ricorso alla spinta con macchinari (escavatori, pale, dozer, ecc.) non espressamente previsti a questo scopo.

Nell'esecuzione delle giunzioni a bicchiere dovrà essere rispettata la distanza fra l'estremità della parte imboccata e la battuta del tubo successivo specificata dal fabbricante.

Le giunzioni dovranno essere eseguite applicando progressivamente una forza assiale senza sollecitare eccessivamente i componenti; a giunzione eseguita, l'allineamento dovrà essere controllato e, se necessario, corretto.

Laddove necessario, si devono prevedere per i bicchieri nicchie di dimensioni sufficienti per l'esecuzione del corretto accoppiamento e per impedire che il tubo poggi sul giunto; la nicchia per il bicchiere dovrà avere le dimensioni minime compatibili con il corretto montaggio del giunto.

I tagli dovranno essere eseguiti con gli utensili idonei, secondo le raccomandazioni del fabbricante del tubo ed in modo tale da garantire prestazioni adeguate dei giunti.

Laddove esista il rischio di galleggiamento durante l'installazione, i tubi dovranno essere mantenuti in sito mediante carichi o ancoraggi adeguati.

17.2.2.5. Rinfianco e rinterro

Si definisce come rinfianco il materiale posto superiormente al letto di posa e sino a 30 cm sopra la sommità della tubazione; si definisce come rinterro il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).

Di norma il materiale per il rinfianco sarà quello di risulta degli scavi, opportunamente selezionato per eliminare eventuale materiale non idoneo (per dimensioni, forma, ecc.).

Il costipamento dovrà avvenire con attrezzature, numero di passaggi e spessore degli strati atti ad ottenere il grado di costipamento pari almeno al 95% della densità optimum di Proctor mod. (ove non altrimenti specificato in Progetto), tenendo conto delle caratteristiche del tubo da installare al fine di evitare di arrecare danni allo stesso.

Il costipamento previa saturazione di acqua del rinfianco è ammissibile – su autorizzazione della Direzione Lavori - soltanto in casi eccezionali ed in presenza di terreni incoerenti.

17.2.3. Controlli ed accettazione

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della marcatura CE e della relativa documentazione.

Tutti gli elementi di tubazione dovranno recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 1401, UNI 10968 e UNI EN 1916 rispettivamente per i tubi in PVC-U per fognature, per i tubi strutturati in PVC-U, PP e PE e per i tubi in c.a.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

17.2.4. Controlli in cantiere

17.2.4.1. Livellette

A tubazione posata, prima dell'esecuzione del rinfianco, verrà eseguito un controllo topografico mirato ad accertare il rispetto delle livellette di Progetto.

⁽¹⁾ "Tirfor" è un marchio di proprietà del Gruppo Tractel.

In caso di un risultato negativo della verifica, la Direzione Lavori disporrà i provvedimenti per la correzione dei difetti riscontrati, sino alla demolizione del già eseguito ed al rifacimento a carico dell'Appaltatore.

17.2.4.2. Costipamento del rinfianco

Il costipamento del rinfianco sarà controllato mediante prove di densità disposte dalla Direzione Lavori nella misura di una ogni 100 m di tracciato, prima dell'esecuzione del rinterro.

Nel caso che i valori prescritti non siano rispettati, si procederà ad un ulteriore controllo su altrettanti punti; in caso di risultati nuovamente insoddisfacenti, la Direzione Lavori disporrà l'asportazione del materiale ed il rifacimento del rinfianco nelle zone non accettate.

17.2.4.3. Collaudo in opera

Il collaudo in opera delle tubazioni sarà effettuato secondo le disposizioni della Direzione Lavori in base ai metodi indicati nella UNI EN 1610 (ad acqua o preferibilmente ad aria).

Condizione per l'accettazione sarà il riscontro di valori delle perdite inferiori a quelli ammissibili stabiliti dalla UNI EN 1401-3 per i tubi in PVC-U per fognature e della norma UNI EN 1610 per i tubi strutturati in PVC-U, PP e PE e per i tubi in c.a.

In caso di valori superiori, la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

17.2.5. Norme di misurazione

Le tubazioni saranno misurate secondo il loro sviluppo al lordo delle interruzioni in corrispondenza dei pozzetti di linea.

I relativi articoli di Elenco Prezzi comprendono: fornitura dei tubi (compresi i pezzi speciali), trasporto, scarico, deposito, sfilamento, posa comprensiva di ogni lavorazione per tappi provvisori, giunzioni, inserimento nei pozzetti, collaudi.

Lo scavo della trincea, valutato come scavo di fondazione, sarà misurato a volume considerando la sezione di scavo di progetto e lo stesso sviluppo indicato per le tubazioni.

Il relativo articolo di Elenco prezzi compensa anche il rinfianco ed il rinterro delle tubazioni eseguite con materiale di risulta degli scavi (comprese le lavorazioni per la selezione del materiale); nel caso che per questi non venga impiegato materiale da cava o calcestruzzo o venga prescritta la stabilizzazione con cemento, tali forniture e lavorazioni verranno compensate a parte.

Il letto di posa sarà misurato a volume considerando la sezione di posa di Progetto e lo stesso sviluppo indicato per le tubazioni.

17.3. Pozzetti

17.3.1. Materiali

17.3.1.1. Generalità

I pozzetti di cui è previsto l'impiego per ispezione, incrocio e salto, possono essere:

- prefabbricati in c.a.v.;
- in PE strutturato.

17.3.1.2. Pozzetti prefabbricati in c.a.v.

Il calcestruzzo, così come i diversi materiali componenti (aggregati, acqua d'impasto, additivi, aggiunte, nonché acciaio di armatura e fibre di acciaio) dovranno essere conformi a quanto stabilito nella norma UNI EN 1917.

Il calcestruzzo, realizzato con cemento ad alta resistenza ai solfati, avrà R_{ck} non inferiore a 40 MPa.

Le guarnizioni di tenuta tra i diversi elementi del prefabbricato, incorporate nel giunto in fase di prefabbricazione ovvero fornite unitamente al manufatto da parte del fabbricante, saranno conformi alla UNI EN 681-1.

I pozzetti dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente (elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale).

Essi dovranno inoltre essere tali da garantire il rispetto delle prescrizioni relative alla tutela delle acque di cui al D.Lgs. 03/04/2006 n. 152, Norme in materia ambientale.

In caso di presenza di scale per l'accesso al fondo, i gradini saranno in tondino di acciaio rivestito in polipropilene anti-sdrucchiolo o verniciato antiruggine, opportunamente bloccati nella parete con malta espansiva.

17.3.1.3. Pozzetti in PE strutturato

I pozzetti in polietilene strutturato saranno certificati dal marchio IIP UNI rilasciato dall'Istituto Italiano dei (materiali) Plastici e saranno conformi alle norme UNI EN 13598-1 e UNI EN 13598-2 per quanto riguarda caratteristiche dei materiali costituenti e delle guarnizioni, caratteristiche generali, geometriche e meccaniche e requisiti prestazionali.

I pozzetti dovranno essere idonei a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente (elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale).

I pozzetti potranno essere costituiti da:

- elemento di base in PEMD stampato, predisposto per l'innesto delle tubazioni;
- elementi intermedi in PEAD strutturato;
- elemento terminale in PEMD, con eventuale riduzione.

ovvero ricavati da tubo in PEAD strutturato mediante saldatura.

La giunzione tra i diversi elementi dei pozzetti con elemento di base stampato sarà realizzata ancora per saldatura o tramite guarnizione in gomma EPDM; pure in in gomma EPDM saranno gli innesti delle tubazioni afferenti al pozzetto.

Le saldature del PE dovranno essere eseguite da personale specializzato secondo le specifiche norme UNI e raccomandazioni dell'IIP.

17.3.2. Posa in opera

La posa in opera dei pozzetti avverrà previa preparazione del piano di posa mediante regolarizzazione, costipamento e realizzazione di un allettamento in calcestruzzo magro.

Il riempimento laterale verrà eseguito per strati, compattando il materiale; si curerà di procedere uniformemente su tutti i lati, in modo da non provocare spinte asimmetriche.

17.3.3. Controlli ed accettazione

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della marcatura e della relativa documentazione.

Ogni elemento di pozzetto o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE e la prescritta documentazione a corredo, in conformità alle norme UNI EN 1917 per i pozzetti in c.a.v. e UNI EN 13598-1 e UNI EN 13598-2, rispettivamente per quelli in PE strutturato.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

17.3.4. Controlli in cantiere

I controlli in cantiere (compreso il collaudo idraulico in opera) saranno effettuati contestualmente a quelli delle tubazioni, secondo quanto indicato al relativo articolo.

17.3.5. Norme di misurazione

I pozzetti prefabbricati saranno misurati a numero secondo le dimensioni.

Gli articoli di Elenco Prezzi comprendono ogni onere per trasporto, scarico, movimentazione nell'ambito del cantiere, posa in opera, collegamento e sigillatura delle tubazioni, controllo idraulico ed ogni altra opera per ottenere un pozzetto perfettamente funzionante ed a tenuta, esclusi solo lo scavo e il calcestruzzo magro di sottofondazione.

17.4. Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti

17.4.1. Definizioni

Si definiscono:

- dispositivo di chiusura: parte del pozzetto di ispezione costituita da un telaio e da un coperchio (denominato anche "chiusino") e/o una griglia;
- dispositivo di coronamento: parte del pozzetto di raccolta costituita da un telaio e da una griglia e/o un coperchio;
- telaio: elemento fisso di un dispositivo di coronamento o di chiusura, destinato all'alloggiamento ed al sostegno di una griglia o di un coperchio;
- griglia: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che consente il deflusso dell'acqua nel pozzetto di raccolta;
- coperchio (o chiusino): elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che copre l'apertura del pozzetto di raccolta o di ispezione.

17.4.2. Materiali

I dispositivi di chiusura e di coronamento possono essere fabbricati con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo;
- calcestruzzo armato (non per le griglie).

Le caratteristiche statiche e dimensionali (fessure e fori di aerazione, apertura di accesso, profondità di incastro, giochi tra le diverse parti, telaio), nonché i requisiti costitutivi (sedi, protezione degli spigoli, sistemi di fissaggio, di sbloccaggio e di rimozione, tenuta) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 124.

Le caratteristiche di spessore e protezione dalla corrosione per l'acciaio laminato saranno quelle stabilite nella norma UNI EN 124.

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 124.

17.4.3. Posa in opera

Per quanto non in contrasto con il presente Capitolato dovrà farsi riferimento alla norma UNI/TR 11256: Guida all'installazione di dispositivi di coronamento e di chiusura in zone di circolazione pedonale e/o veicolare (chiusini e

caditoie). In ogni caso, per le operazioni in presenza di traffico, prevarranno le disposizioni impartite dal soggetto gestore della strada.

A pozzetto ultimato, il coronamento di questo sarà leggermente scarificato, in modo che la superficie ruvida così ottenuta favorisca l'adesione della malta cementizia che costituirà il letto di appoggio del telaio.

Prima della posa in opera la superficie di appoggio dovrà essere convenientemente pulita e bagnata.

Per la preparazione e la stesa della malta si osserveranno le istruzioni indicate dal fabbricante. Lo spessore di malta sarà compreso tra 2 e 3 cm.

Qualora occorressero spessori maggiori si dovrà ricorrere, secondo le disposizioni della Direzione Lavori, o all'esecuzione di un sottile getto di conglomerato cementizio con Rck 30 MPa opportunamente armato, oppure all'impiego di anelli di appoggio in conglomerato cementizio prefabbricato; in nessun caso potranno essere inseriti sotto il telaio, a secco o immersi nel letto di malta, pietre, schegge o frammenti di mattoni.

Il telaio sarà posizionato planimetricamente in modo che la sua luce coincida con quella del pozzetto, ed altimetricamente in modo che la superficie superiore del dispositivo si trovi, a lavoro ultimato, alla quota della pavimentazione finita (tenuto conto degli eventuali inviti per i pozzetti esterni alle corsie di traffico).

Il fissaggio nella malta sarà eseguito senza sbavature sulla superficie di appoggio del coperchio nel telaio, e lasciando liberi almeno gli ultimi 3 cm superiori del bordo del telaio, per permettere la rifinitura a livello del manto stradale.

Nel caso che, in conseguenza di assestamenti sotto carico o di altre cause, si dovesse provvedere al ricollocamento in quota del telaio, quest'ultimo dovrà essere rimosso ed i resti di malta indurita completamente asportati. Si procederà quindi al ricollocamento con le modalità precedentemente descritte.

L'elemento non sarà transitabile per il tempo necessario alla maturazione dei materiali impiegati, in funzione della temperatura e dell'umidità ambientali.

Per altri aspetti di dettaglio si farà riferimento alle specifiche del fabbricante.

Gli elementi di chiusura dovranno essere fissati al telaio in modo da non poter essere asportati dai pedoni o dai mezzi in transito al di sopra di essi e, nel caso dei coperchi metallici, questi dovranno essere dotati di un opportuno dispositivo di chiusura a chiave. Al contempo i coperchi dovranno recare un dispositivo atto ad agevolare il loro sollevamento.

17.4.4. Controlli ed accettazione

Ogni elemento o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 124.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

17.4.5. Controlli in cantiere

A posa effettuata e prima dell'esecuzione della pavimentazione verrà eseguito un controllo topografico mirato ad accertare il corretto posizionamento del dispositivo in relazione alle quote di Progetto della pavimentazione finita.

A pavimentazione completata verrà eseguito un ulteriore controllo.

In caso di un risultato negativo delle verifiche, la Direzione Lavori disporrà i provvedimenti per la correzione dei difetti riscontrati, sino alla demolizione del già eseguito ed al rifacimento a carico dell'Appaltatore.

17.4.6. Norme di misurazione

I dispositivi di coronamento saranno contabilizzati per m² di superficie, per kg di peso o a numero, secondo il tipo.

17.5. Canali di drenaggio

17.5.1. Definizioni

Si definisce canale di drenaggio un'entità lineare, in genere composta da unità prefabbricate, che permette la raccolta e il trasporto di acqua superficiale per tutta la sua lunghezza.

17.5.2. Materiali

I canali di drenaggio, ad eccezione delle griglie e delle coperture, possono essere fabbricati con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- calcestruzzo armato o non armato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo o calcestruzzo con resina sintetica con fibra;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo rinforzato con fibre.

Le griglie e le coperture possono essere fabbricate con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- leghe a base di rame;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo rinforzato con fibre.

La protezione contro la corrosione dell'acciaio laminato sarà conforme alle norme richiamate nella UNI EN 1433.

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 1433.

Le caratteristiche dimensionali (sezioni, fessure ed altre aperture, profondità dell'inserimento di griglie e coperture) ed i requisiti costitutivi (sedi, protezione dei bordi, sistemi di fissaggio delle griglie e delle coperture, giunzioni, tenuta, trattamento superficiale, contenitori per i detriti) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 1433.

17.5.3. Posa in opera

La posa in opera dovrà avvenire secondo le istruzioni allegate alla fornitura.

In particolare, per i canali di drenaggio richiedenti ulteriore supporto per sostenere i carichi di servizio (designate come "tipo M" nella UNI EN 1433) l'affiancamento dei diversi elementi, nonché le dimensioni, la classe di calcestruzzo e l'armatura del supporto dovranno essere conformi alle istruzioni del fabbricante.

17.5.4. Controlli ed accettazione

Ogni elemento o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 1433.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

17.5.5. Controlli in cantiere

Successivamente al montaggio degli elementi ed alla loro giunzione, verrà effettuato il collaudo in sito per tratti di canale secondo le disposizioni della Direzione Lavori, chiudendo le estremità aperte e riempiendo il tratto di canale sotto prova sino al massimo livello all'estremo di valle.

Il collaudo si riterrà positivo se in un intervallo di tempo di 30 minuti non si verificheranno perdite in corrispondenza delle giunzioni o attraverso il corpo delle canalette.

17.5.6. Norme di misurazione

I canali di drenaggio saranno misurati secondo il loro sviluppo al lordo delle interruzioni in corrispondenza di eventuali pozzetti di linea.

I relativi articoli di Elenco Prezzi comprendono: fornitura (compresi i pezzi speciali), trasporto, scarico, deposito, sfilamento, scavo della sede d'imposta, posa comprensiva di ogni lavorazione per tappi provvisori, giunzioni, inserimento nei pozzetti, rinfianco e rifiniture, collaudi.

17.6. Canalette, mantellate, cordonate e simili

17.6.1. Materiali

Canalette, mantellate in lastre o a grigliato articolato, rivestimenti di fossi, cordonate, saranno costituiti da elementi prefabbricati in c.a.v., prodotti da aziende di provata esperienza ed affidabilità.

Gli elementi dovranno rispondere alle norme:

- UNI EN 1338 per le mantellate in masselli autobloccanti e grigliati articolati;
- UNI EN 1339 per le mantellate in lastre;
- UNI EN 1340 per i cordonati e simili.

Gli elementi dovranno essere in ogni caso costituiti da calcestruzzo avente Rck non inferiore a 25 MPa.

Le superfici in vista degli elementi dovranno essere perfettamente lisce e le loro caratteristiche dimensionali saranno conformi ai disegni di progetto.

17.6.2. Posa in opera

La posa in opera dovrà avvenire su piani opportunamente preparati, anche mediante costipamento, in modo da evitare successivi cedimenti.

Ove previsto si procederà alla stesa di malta di allettamento.

I giunti verranno accuratamente stuccati, previa abbondante bagnatura.

Per gli elementi di copertura di ampie superfici (mantellate in lastre) dovranno essere realizzati giunti di dilatazione (indicativamente ogni 4-5 m) da sigillare con mastice bituminoso, salvo diverse indicazioni del produttore.

Per gli elementi collocati lungo le scarpate (ad es. canalette ad embrice) dovrà provvedersi all'ancoraggio mediante tondini in ferro secondo i disegni di progetto o come disposto dalla Direzione Lavori. In ogni caso il fissaggio dovrà garantire che gli elementi non possano scorrere verso il basso per gravità, per effetto delle vibrazioni o del carico di esercizio.

Per le mantellate a grigliato articolato, dopo il montaggio degli elementi si procederà al riempimento delle cavità con terra vegetale ed alla semina con miscuglio di erbe da prato perenni secondo le previsioni di Progetto.

Verrà posta ogni cura nella realizzazione degli allineamenti, e per gli elementi interferenti con la piattaforma stradale (imbocchi ad embrice, cordonature, ecc.) la precisa ubicazione in quota, in ragione del raccordo con la pavimentazione e della garanzia di un regolare deflusso delle acque.

17.6.3. Controlli ed accettazione

Per ogni partita di fornitura l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori i documenti e le certificazioni relativi alla marcatura CE, ai sensi della pertinente norma armonizzata di riferimento.

17.6.4. Controlli in cantiere

La Direzione Lavori controllerà, prima della posa in opera, i diversi elementi per accertarne la corrispondenza alle caratteristiche dimensionali previste in Progetto e la regolarità delle forme e dei giunti.

Successivamente alla posa in opera degli elementi la Direzione Lavori controllerà la corretta esecuzione degli allineamenti planimetrici, dell'ubicazione altimetrica e della realizzazione dei giunti, disponendo il rifacimento di quanto non conforme al Progetto.

17.6.5. Norme di misurazione

I prezzi di elenco compensano ogni onere per: fornitura, trasporto, carico, scarico, preparazione del piano di posa ed allettamento, ancoraggi, riempimenti in terra vegetale (per le mantellate ad articolato grigliato), realizzazione dei giunti, sia per gli elementi correnti sia per quelli speciali (imbocchi di embrici, raccordi e curve, ...).

18. Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata

18.1. Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano manufatti per tombini e sottopassi aventi struttura portante in lamiera di acciaio ondulata, con onda normale alla generatrice, a piastre multiple o ad elementi incastrati.

I manufatti a piastre multiple saranno costituiti da più piastre curve da assemblare con bullonature.

Per i manufatti ad elementi incastrati l'elemento tipo sarà costituito da due mezze sezioni curvate ai raggi prescritti; dei due bordi longitudinali di ogni elemento uno sarà a dritto filo, l'altro ad intagli tali da formare quattro riseghe atte a ricevere ad incastro il bordo dritto dell'altro elemento.

Quando il manufatto sia di limitata importanza, come ad esempio nel caso di tombini tubolari di diametro non superiore ad 1.50 m, alcuni controlli e prove indicati nel seguito, fatta eccezione per quelli di cui agli articoli: 20.4.1 (quanto ai prelievi di elementi da sottoporre a prove), 20.4.2 (quanto alla lettera a) ed alle vernici), 20.5.1 e 20.5.2, potranno essere omessi a discrezione della Direzione Lavori.

18.2. Materiali

18.2.1. Lamiera ondulata

L'acciaio delle lamiere sarà al carbonio e conforme alle norme UNI EN 10025.

La geometria delle ondulazioni sarà conforme alle norme AASHO M167 e AASHO M36.

La struttura dovrà comunque presentare una rigidità sufficiente ai fini della movimentazione e dell'installazione.

18.2.2. Bulloni

Verranno utilizzati bulloni ad alta resistenza aventi caratteristiche meccaniche conformi alla norma UNI EN 20898.

Per i bulloni le associazioni dadi-viti sarà conforme alla CNR UNI 10011.

Le associazioni tra bulloni ed ondulazioni della lamiera saranno conformi alle indicazioni del produttore.

18.2.3. Giunti

I requisiti meccanici e prestazionali dei giunti dovranno essere conformi a consolidati sistemi di standardizzazione, quali quelli sviluppati dal *Bridge Design Code Committee* dell'AASHTO, pubblicati nelle *AASHTO Bridge Specifications, Division II, Section 26.4.2*, o ad altri ritenuti equivalenti a giudizio della Direzione Lavori.

18.2.4. Rivestimenti protettivi

18.2.4.1. Zincatura

La zincatura dei tubi sarà ottenuta in continuo in conformità alla norma UNI EN 10147. Quella delle lamiere sarà ottenuta per immersione a caldo in conformità alla norma UNI EN ISO 1461.

La qualità e lo spessore della zincatura sarà conforme alle norme citate, secondo il metodo di zincatura.

La zincatura dei bulloni sarà conforme alla UNI 3740-6.

18.2.4.2. Rivestimento bituminoso

Qualora previsto in Progetto in relazione ad una particolare aggressività dei terreni, ai manufatti verrà applicata un'ulteriore protezione contro la corrosione costituita da mastice asfaltico contenente *filler* minerale e stabilizzanti, conformi alle norme AASHTO M 243 o ASTM A849.

18.3. Posa in opera

18.3.1. Fornitura, trasporto e scarico

Gli elementi di lamiera saranno forniti in imballaggi completi di piastre e bulloneria, nonché degli attrezzi da impiegare per il montaggio, con le istruzioni complete e dettagliate per l'assemblaggio (relative alla sequenza di montaggio ed alla posizione dei singoli pezzi).

I singoli pezzi dovranno essere chiaramente contrassegnati, così da facilitarne l'identificazione, la movimentazione e la collocazione senza procedere a tentativi.

Lo scarico e la movimentazione delle lamiere in cantiere dovranno avvenire con idonee cautele atte a conservare puliti i vari pezzi e a non danneggiare il rivestimento, tanto di zinco quanto bituminoso.

E' pertanto prescritto l'impiego di sollevamento e tassativamente vietato l'impiego di mezzi ribaltanti.

La sistemazione a deposito dovrà avvenire in modo razionale in un'area pulita ed asciutta prossima al sito d'impiego.

18.3.2. Preparazione del piano di posa

La fondazione del manufatto dovrà essere tale da evitare concentrazioni di carico e cedimenti differenziali. Pertanto occorrerà provvedere ad una bonifica del piano di fondazione nei seguenti casi:

- in presenza di un terreno di fondazione a debole o disuniforme capacità portante. In questo caso sarà necessario rimuoverlo e sostituirlo con materiale granulare opportunamente compattato, per una larghezza pari ad almeno il triplo di quella del manufatto;
- in presenza di trovanti lapidei, i quali dovranno essere rimossi e la fondazione ricostituita con l'apporto di materiale granulare compattato;
- in presenza di roccia lapidea. In questo caso occorrerà rimuoverla per uno spessore di almeno 30 cm e sostituirla con materiale granulare compattato.

Sul piano di fondazione verrà quindi posato un letto di posa in sabbia monogranulare, dello spessore minimo di 10 cm, esteso in larghezza per tutto il fondo del manufatto e sagomato trasversalmente come il profilo del fondo, al fine di

realizzare una distribuzione dei carichi sul terreno di sottofondo (e quindi delle corrispondenti reazioni vincolari sulla struttura tubolare).

18.3.3. Montaggio

18.3.3.1. Generalità

Il montaggio potrà procedere solo dopo l'avvenuta consegna alla Direzione Lavori di un piano di montaggio dettagliato, che precisi il verso di progressione del montaggio, le modalità di eventuali preassemblaggi ed il loro ordine.

In ragione della geometria della struttura in relazione al rilevato, occorrerà tener conto di una monta di costruzione atta a compensare gli assestamenti.

In funzione delle diverse condizioni operative, delle dimensioni e della forma del manufatto, per il montaggio potranno impiegarsi diverse tecniche; in ogni caso l'obiettivo fondamentale durante il montaggio sarà quello di mantenere la sagoma di Progetto.

Le tolleranze per la posa sono stabilite in:

- 3 cm in verticale;
- 5 cm in orizzontale.

Senza il permesso della Direzione Lavori non sarà consentito alcun taglio degli elementi approvvigionati a pie' d'opera; in caso di taglio, le superfici di taglio saranno opportunamente molate, e successivamente protette con vernice allo zinco.

18.3.3.2. Strutture a piastre multiple

Il montaggio potrà essere realizzato secondo le seguenti quattro tipologie; la loro adozione dovrà essere precisata nel piano di montaggio.

1) Montaggio in sequenza

E' la tipologia adottata di norma e consiste nel realizzare direttamente il manufatto sul piano di posa precedentemente preparato, procedendo in sequenza al montaggio di singoli elementi successivi uno all'altro, iniziando dal fondo, proseguendo con i fianchi ed infine con la copertura.

Inizialmente i diversi elementi verranno assemblati con il minor numero possibile di bulloni, così da ottenere la massima flessibilità d'insieme finché tutti gli elementi non siano collocati in posto.

Dopo che una congrua porzione del manufatto sia stata assemblata nella forma voluta, si provvederà ad inserire i bulloni rimanenti ed a fissarli senza serrarli, procedendo sempre dal centro di un giunto verso i bordi.

Una volta inseriti tutti i bulloni, essi verranno serrati progressivamente ed uniformemente, partendo da un estremo della struttura, operando mediante chiave dinamometrica con una coppia compresa nel campo di valori indicato nelle istruzioni (v. Par. 15.4.2).

2) Preassemblaggio di componenti longitudinali

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio di componenti longitudinali, soltanto previa approvazione della Direzione Lavori. Questo metodo, che permette la contemporaneità delle lavorazioni di preparazione della fondazione e quelle del preassemblaggio, eliminando la difficoltà di inserimento e serraggio dei bulloni degli elementi a contatto con la fondazione), comporta il preassemblaggio fuori opera di elementi longitudinali (fondo, fianchi e copertura), per l'intera lunghezza della struttura o per congrue porzioni di essa.

Secondo questo metodo è necessario procedere al completo serraggio dei bulloni degli elementi di fondo, fianchi e copertura prima della posa in opera; ciò comporta che non è possibile posticipare il serraggio come nel caso precedente, e che riveste grande importanza la cura nel rispettare esattamente la sagoma di Progetto durante la costruzione.

Per agevolare l'accoppiamento degli elementi longitudinali (il fondo con i fianchi e l'insieme del fondo e dei fianchi con la copertura) sarà consentito ricorrere a tiranti di collegamento degli opposti bordi longitudinali, da rilasciare a montaggio completato.

Durante la costruzione dovranno essere effettuati controlli mirati ad assicurarsi che la sagoma rispetti le tolleranze di Progetto; in caso negativo dovranno essere eseguite le necessarie correzioni prima di procedere con le fasi successive.

Nelle grandi strutture sarà previsto un serraggio progressivo dei bulloni, operando un primo serraggio con una coppia prossima al valore medio del campo riportato nelle istruzioni (v. articolo 20.4.2) e, una volta completata la struttura ed assicurato il corretto allineamento degli elementi, un secondo serraggio sino al valore massimo.

3) Preassemblaggio per sezioni

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio per sezioni soltanto previa approvazione della Direzione Lavori: in questo caso le sezioni longitudinali complete vengono preassemblate fuori opera e quindi poste in opera per essere collegate tra loro.

4) Preassemblaggio completo

Il preassemblaggio completo della struttura potrà essere effettuato sia in officina sia in cantiere.

Il preassemblaggio in officina può essere impiegato per piccoli manufatti, essendo limitato dalla sagoma massima trasportabile. Quello in cantiere, essendo adatto per strutture da varare intere, è indicato per installazioni su fondazioni sommerse, oppure nei casi nei quali si debba ripristinare l'esercizio di una infrastruttura nel minor tempo possibile.

In ogni caso dovrà essere stato ottenuto il benestare preventivo della Direzione Lavori.

18.3.3.3. Strutture ad elementi incastrati

Nel montaggio del manufatto le sovrapposizioni circolari dovranno essere sfalsate, così che ogni elemento superiore si innesti sulla metà circa dei due elementi inferiori corrispondenti; in senso longitudinale il collegamento avverrà per mezzo di appositi ganci in acciaio zincato.

18.3.4. Rinfianco e rinterro

Il materiale di rinfianco del manufatto dovrà essere eventualmente inumidito per facilitare la sua penetrazione sotto i quarti inferiori delle strutture circolari o sotto le piastre angolari di base nelle sezioni ribassate o policentriche.

Il materiale dovrà essere posato e compattato a strati orizzontali di spessore non superiore a 30 cm, disposti alternativamente sui due lati del manufatto, in modo da non generare spinte asimmetriche.

La compattazione di ogni strato dovrà dar luogo ad una densità del secco non inferiore al 90% di quella massima determinata con la prova AASHTO modificata.

Per la compattazione dovranno essere impiegati mezzi atti ad evitare di arrecare danni al manufatto, (in vicinanza del manufatto preferibilmente pestelli pneumatici).

Si dovrà inoltre evitare il passaggio dei mezzi di cantiere sulla condotta senza un adeguato ricoprimento della struttura che assicuri un'adeguata ripartizione del carico al fine di non generare nel manufatto sollecitazioni superiori a quelle previste dal calcolo.

Il rilevato intorno alla struttura dovrà estendersi per almeno tre volte la luce del manufatto e il terreno impiegato sarà normalmente costituito dallo stesso materiale adottato per la realizzazione dello corpo stradale.

18.4. Controlli ed accettazione

18.4.1. Generalità

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della documentazione di cui al successivo punto e, a discrezione della Direzione Lavori, all'accertamento dei requisiti attraverso le prove di accettazione indicate più avanti, da eseguirsi su un elemento per ogni 10 t di materiale, con un minimo di un elemento per ogni manufatto.

Le prove dovranno essere eseguite e certificate da laboratori di cui all'art. 5 del D.P.R. 380/2001, ovvero sotto il loro diretto controllo.

La Direzione Lavori si riserva inoltre la facoltà di far assistere proprio personale alla fabbricazione degli elementi componenti i manufatti allo scopo di controllare la corretta esecuzione secondo le prescrizioni sopra indicate.

18.4.2. Documentazione

Per ogni singolo manufatto l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, secondo quanto stabilito dall'art. 9 della L. 5.11.1971 n. 1086, la seguente certificazione e documentazione:

- a) certificazioni attestanti le caratteristiche dei materiali, per quanto riguarda sia i diversi elementi della carpenteria metallica (piastre, giunti, bulloni, ecc.) sia i trattamenti di protezione (zincatura ed eventuale rivestimento bituminoso);
- b) il progetto costruttivo dell'opera, adattato alla situazione effettiva del luogo, con le caratteristiche geometriche e meccaniche, le modalità ed i particolari di montaggio, compresa l'indicazione del campo di valori raccomandato per la coppia di serraggio dei bulloni, nonché le schede tecniche dei materiali effettivamente impiegati, fornite dal produttore;
- c) una relazione di calcolo con le verifiche statiche della struttura, compresi gli eventuali irrigidimenti temporanei eventualmente previsti per la movimentazione e l'installazione.

La Direzione Lavori, dopo che avrà preso visione dei documenti di cui sopra e verificato la previsione di utilizzazione del manufatto prefabbricato e il suo organico inserimento nel progetto, autorizzerà l'Appaltatore ad eseguire i lavori.

Nel caso di adozione di trattamenti di protezione contro la corrosione con vernici polimerizzate, l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori una dettagliata documentazione tecnica contenente:

- metodo di preparazione della superficie;
- massimo intervallo tra preparazione della superficie ed applicazione del *primer*;
- tipo del prodotto e standard di riferimento;
- modalità di applicazione e condizioni (temperatura, umidità, ecc.);
- numero di mani ed intervallo di applicazione;
- spessore umido e secco di ciascuna mano;
- procedure di dettaglio per la ripresa di punti danneggiati o in corrispondenza di giunti e saldature.

18.4.3. Prove sui materiali

Le prove sugli elementi prelevati dovranno accertare:

- le caratteristiche chimiche e meccaniche dell'acciaio;
- lo spessore dell'elemento;
- lo spessore e le caratteristiche del rivestimento di zinco (secondo le norme UNI EN ISO 1461 e UNI EN 10147) e di quello (eventuale) bituminoso.

18.5. Controlli in cantiere

18.5.1. Pesì

I pesi dei manufatti, in rapporto allo spessore dei vari tipi impiegati, dovranno risultare da tabelle fornite preventivamente da ogni fabbricante, con una tolleranza di $\pm 4\%$.

Il peso effettivo verrà misurato in contraddittorio tra Direzione Lavori ed Appaltatore; ai fini dell'accettazione esso dovrà risultare entro la tolleranza del $\pm 4\%$ rispetto a quello teorico dichiarato nelle schede tecniche del fabbricante preventivamente consegnate (v. art. 20.4.2).

18.5.2. Serraggio dei bulloni

La Direzione Lavori indicherà i bulloni da sottoporre al controllo del serraggio, in ragione del 2% del totale, con un minimo di 50. Qualora la coppia di serraggio misurata su un bullone non rientrasse nel campo definito dai valori indicati (v. art. 20.4.2), la Direzione Lavori potrà disporre un nuovo controllo su un numero eguale di bulloni.

In caso di un risultato ulteriormente negativo, si dovrà procedere al controllo sistematico ed a un nuovo serraggio di tutti i bulloni.

18.5.3. Geometria e deformazioni

Una volta terminato il montaggio completo del manufatto, a cura dell'Appaltatore verranno marcati con pittura indelebile i punti di riferimento necessari in tre sezioni indicate dalla Direzione Lavori.

Il controllo delle deformazioni avverrà mediante misure del diametro verticale e dello scostamento orizzontale tra i punti di riferimento materializzanti gli assi dell'elemento in calotta e dell'arco rovescio della struttura; la Direzione Lavori potrà disporre l'esecuzione di ulteriori misure di dimensioni significative.

Le misure saranno effettuate nelle quattro configurazioni seguenti:

- 1) montaggio completo, in assenza di rinfiaccio;
- 2) rinfiaccio a metà altezza del manufatto;
- 3) rinfiaccio sino alla quota di chiave del manufatto;
- 4) rinterro ultimato.

Tra la configurazione 1 e la configurazione 3, per ciascuna sezione di misura dovrà essere rispettata la condizione:

$$\frac{H_1 - H_3}{H_1} (\%) \leq 0,015 \frac{H_1 s_{\min}}{a s_n}$$

dove è:

H : altezza della sezione,

s_n : spessore della lamiera,

a : distanza tra fibra estrema ed asse neutro dell'ondulazione (pari alla semiampiezza per ondulazioni simmetriche)

s_{\min} : spessore minimo di calcolo, risultante dall'espressione:

$$\frac{J}{a} (\text{cm}^3/\text{m}) = 6 k D^3 \left[\left(\frac{H}{B} - 0,6 \right)^2 + 0,07 \right]$$

dove è:

J : momento d'inerzia dell'ondulazione;

k : coefficiente di spinta che, in funzione della luce B della sezione, vale (per materiale di buone caratteristiche sistemato secondo le prescrizioni):

$$k = 0,6 - 0,05 B \quad \text{per } 2 \text{ m} \leq B \leq 6 \text{ m},$$

$$k = 0,3 \quad \text{per } B > 6 \text{ m}.$$

Il difetto di verticalità definito come rapporto tra la distanza tra gli assi verticali passanti per i due punti di riferimento ed il diametro verticale non dovrà risultare superiore al 3%.

Nella configurazione 4 il valore dell'altezza H dovrà essere compreso tra quelli misurati nelle configurazioni 1 e 3.

Qualora i valori sopra definiti non siano rispettati, la Direzione Lavori potrà rifiutare l'opera e disporre lo smontaggio parziale o totale e la ricostruzione del rilevato a spese dell'Appaltatore.

L'esame visivo della parete del manufatto non dovrà rivelare discontinuità angolari, inversioni di curvatura, deformazioni localizzate.

18.6. Norme di misurazione

Il manufatto verrà computato a peso (elementi di lamiera e bulloneria).

L'articolo di Elenco Prezzi comprende: fornitura, trasporto, scarico, regolarizzazione livellazione e compattazione del piano di posa, montaggio, elementi provvisori (tiranti, puntoni, impalcature per il montaggio), lavorazioni per il taglio obliquo delle parti terminali, riprese della zincatura di protezione.

19. Gabbioni e materassi metallici

19.1. Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano gabbioni a scatola e materassi, da impiegare per difese idrauliche ed opere di sostegno a gravità, consistenti in strutture di forma parallelepipedica od a prisma trapezoidale, fabbricate in rete metallica a maglia esagonale a doppia torsione, con riempimento in pietrame.

Per tutti gli aspetti non specificatamente trattati si farà riferimento alle "Linee guida per la redazione di capitolati per l'impiego di rete metallica a doppia torsione" del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, del 12.05.2006.

19.2. Materiali

19.2.1. Filo metallico

Il filo metallico utilizzato per la costruzione della rete sia per le legature sarà a basso tenore di carbonio costituito da vergella utilizzata nei processi di trafilatura a freddo di cui alla UNI EN 10016-2.

La resistenza a trazione sarà conforme alla UNI EN 10223-3 (valori compresi tra 350 e 550 MPa, allungamento a rottura non inferiore al 10%).

Le tolleranze dimensionali saranno quelle stabilite dalla UNI EN 10218-2 classe T1; per i diametri standard esse risultano:

- diametri 2,2, 2,4 e 2,7 mm: $\pm 0,06$ mm;
- diametri 3,0, 3,4 e 3,9 mm: $\pm 0,07$ mm.

19.2.2. Rivestimento protettivo

Per gli impieghi descritti al Par. 39.0 sono previsti:

- a) rivestimento in lega eutettica zinco-alluminio (95%-5%) - cerio – lantanio;
- b) rivestimento polimerico estruso o sinterizzato in PVC, aggiuntivo rispetto a quello del p.to a).

Il rivestimento in lega eutettica sarà conforme alla UNI EN 10244-2 classe A.

Il ricoprimento minimo in funzione del diametro nominale del filo sarà definito come dal seguente prospetto:

Diametro (mm)	Ricoprimento minimo (g/m ²)
2,0	215
2,2	230
2,4	230
2,7	245
3,0	255
3,4	265
3,9	275

Il rivestimento in PVC sarà conforme alla UNI EN 10245-2 ed avrà spessore nominale 0,5 mm (minimo 0,38 mm).

Saranno ammessi anche altri polimeri, purché ne siano accertate e certificate:

- la conformità ai requisiti generali stabiliti dalla UNI 10245, per quanto applicabili;
- una buona aderenza sul filo;
- una soddisfacente resistenza agli agenti atmosferici (raggi UV e temperatura).

Il materiale base del rivestimento in PVC avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico compreso tra 1300 e 1350 kg/m³ ASTM D 792;
- durezza Shore (ISO 868) tra 50 e 60;
- resistenza a trazione superiore a 20,6 MPa ISO 1183 (ASTM D 412) per il PVC estruso ed a 15,7 MPa ISO 527 (ASTM D 638) per il PVC sinterizzato;
- modulo elastico al 100% di deformazione superiore a 18,6 MPa ISO 1183 (ASTM D 412) per il PVC estruso ed a 13,7 MPa ISO 527 (ASTM D 638) per il PVC sinterizzato;
- resistenza all'abrasione: perdita in peso inferiore al 12% al test ASTM D 1242, metodo B, a 200 cicli di abrasione con nastro CSI-A grana 80;
- temperatura di fragilità, Cold Bend Temperature (determinata secondo la norma BS 2782-metodo 104 A) inferiore a -30°C, e Cold Flex Temperature (determinata secondo la norma BS 2782-metodo 150 B) inferiore a +15°C,;
- perdita in peso per volatilità a 105°C: non superiore al 2% ed al 6% (rispettivamente a 24 ore ed a 240 ore), in accordo con la ASTM D 1203 (EN ISO 176) e la ASTM D 2287.

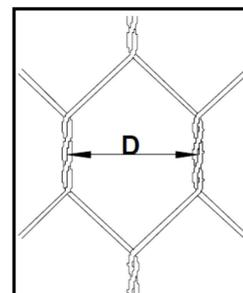
19.2.3. Rete

La rete presenterà caratteristiche dimensionali (apertura e tolleranze) conformi alla UNI EN 10223-3. Per le dimensioni standard delle maglie disponibili in commercio (6x8, 8x10 cm) le tolleranze risultano -4% / +16%.

Il diametro nominale D delle maglie (primo numero della coppia indicante le dimensioni) corrisponde all'interasse delle legature a doppia torsione tra i fili, come indicato in figura.

Per gli impieghi di cui al presente articolo le combinazioni tipiche tra le dimensioni della maglia ed il diametro del filo sono:

struttura	maglia tipo (cm)	diámetro del filo (mm)
gabbioni	6x8	2,7
gabbioni	8x10	2,7 (con riv. polimerico) e 3,0
materassi	6x8	2,2 (con riv. polimerico)



Il diametro del filo di bordatura avrà un diametro maggiore di quello costituente la rete, secondo le seguenti combinazioni:

diámetro filo rete (mm)	diámetro filo bordatura (mm)
2,2	2,7
2,7	3,4
3,0	3,9

Per gli impieghi descritti al presente articolo i valori caratteristici di resistenza della rete metallica dovranno essere i seguenti:

Resistenza	U. di m.	GABBIONI	MATERASSI
A trazione, parallela alla torsione	(kN/m)	50	37
A trazione, perpendicolare alla torsione	(kN/m)	26	13
Legature di bordo	(kN/m)	20	10
A punzonamento	(kN)	27	18

19.2.4. Indicazioni sulla vita utile dei prodotti e delle opere

A ciascuna applicazione deve essere associato un tempo di vita utile, in accordo con la definizione data nel Cap. 4 del D.M. 14/01/2008, come il periodo di tempo durante il quale l'opera mantiene, con interventi di manutenzione programmata, prestazioni compatibili con i requisiti essenziali richiesti.

Alla vita utile così definita devono essere adattati i criteri di progetto con particolare riferimento a quelli della rete e dei sistemi di protezione dalla corrosione dei fili metallici.

In generale la vita utile di un'opera dovrà essere riferita anche alla possibilità che per essa siano consentiti o meno sostituzioni di componenti o ripristini con operazioni di manutenzione ordinaria, nonché alle condizioni di aggressività ambientali. Uno schema di riferimento per il rispetto della prima condizione può essere ricavato dal seguente prospetto:

Tipo di opera	Vita utile minima (anni)
1 Opere caratterizzate da media difficoltà di manutenzione (es. reti paramassi)	25
2 Opere caratterizzate da componenti difficilmente sostituibili senza rifacimento totale	50
3 Elementi non ispezionabili né sostituibili (es. muri in terra rinforzata)	50

Per opere temporanee la durata di vita utile è indicativamente fissata in 10 anni.

La scelta del materiale da adottare e della sua protezione dovrà derivare dalla combinazione tra i requisiti di vita utile richiesti dal tipo di opera come indicato nel precedente prospetto e dalle condizioni di aggressività degli ambienti nella quale l'opera verrà inserita così come definiti nel Cap. 4 del D.M. 14/01/2008, secondo i criteri di seguito indicati:

Condizioni ambientali	Tipo di opera (v. tabella precedente)	Tipo di rivestimento
Ordinarie	1	Forte zincatura
Aggressive	1 e 2	Forte lega Zn – al 5%
Molto aggressive	1 e 2	Forte lega Zn – al 5% e rivestimento plastico
Qualsiasi	3	Forte lega Zn – al 5% e rivestimento plastico

Valutazioni diverse potranno eventualmente essere fatte in relazione alla specifica applicazione della rete, purché si ottengano prestazioni e durabilità equivalenti.

In ambienti dove è potenzialmente prevista la presenza di correnti vaganti, ad esempio in prossimità di impianti, linee ferroviarie e/o di campi di dispersione elettrica, è opportuno adottare un livello di protezione massima, anche mediante uso di rivestimento polimerico, a meno di specifiche verifiche di dettaglio della particolare situazione in esame.

Per la definizione della vita utile di opere di difesa idraulica si dovrà tener specificatamente conto del possibile danneggiamento della rete per abrasione da parte del trasporto solido e della maggiore o minore facilità di eseguire eventuali ripristini e quindi prevedere in fase di progetto accorgimenti tecnici opportuni.

19.2.5. Riempimento

Il materiale lapideo da impiegarsi sarà di granulometria tale da non determinare la fuoriuscita degli elementi lapidei dalla maglia e da non ostacolare (per la presenza di elementi di dimensioni eccessive, superiori ai 2/3 dello spessore) un buon addensamento del materiale:

- gabbioni maglia 6x8: granulometria 90-200;
- gabbioni maglia 8x10: granulometria 120-220;
- materassi: granulometria 90-130.

In casi speciali (gabbioni rinverditi) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.

Per quanto riguarda la resistenza a rottura il materiale dovrà rientrare nella categoria CS80 della norma UNI EN 13383-1.

I requisiti di resistenza all'usura saranno:

- categoria MDE10 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido grossolano (torrenti);
- categoria MDE20 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa costiera;
- categoria MDE30 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido fine (fiumi) o in opere di sostegno.

Per quanto riguarda la resistenza al gelo, il materiale dovrà soddisfare i requisiti della categoria FT_A della norma UNI EN 13383-1.

19.2.6. Graffe metalliche

Per le legature, in alternativa al filo si potrà ricorrere a graffatura pneumatica con graffe metalliche 45x24x3 mm, aventi resistenza a trazione non inferiore a 17000 MPa.

19.3. Posa in opera

Il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato.

Le operazioni di posa e riempimento non potranno aver luogo se la temperatura ambiente non sarà superiore di almeno 8 °C rispetto alla temperatura di fragilità (v. art. 21.2.2).

Le gabbie ripiegate saranno stese su una superficie piana e non cedevole, ed in seguito verranno aperte alzando:

- per i gabbioni: la faccia anteriore, i fianchi e quindi la faccia posteriore;
- per i materassi: le facce di estremità e quindi quelle longitudinali.

I bordi delle diverse facce saranno legati prima alle estremità e poi nel mezzo (lo stesso avverrà per i diaframmi intermedi) con filo metallico (v. art. 21.2.3) o con graffe metalliche (v. art. 21.2.5) applicate con dispositivo pneumatico.

Le gabbie potranno essere tagliate o sagomate in funzione della geometria dell'opera da realizzare; tutti i bordi e le facce ottenuti in questa maniera dovranno essere aggiustati in modo da presentare un aspetto rifinito.

Una volta terminato il montaggio di un certo numero di gabbie, queste verranno collocate sul piano di posa e legate tra loro; si curerà di rispettare gli allineamenti verticali ed orizzontali per mezzo di tondini di ferro sistemati provvisoriamente sugli spigoli superiori, o – preferibilmente - mediante modine di guida a cui far aderire le facce delle gabbie dal lato in vista.

Il riempimento sarà eseguito con pala meccanica con l'ausilio di manodopera per la sistemazione manuale del materiale al fine di ottenere una massa compatta con il minimo indice dei vuoti.

In corrispondenza del paramento in vista, per ottenere un aspetto più rifinito ed evitare sfiancamenti, il materiale di riempimento sarà sistemato a mano.

Si avrà cura di limitare l'altezza di caduta del materiale di riempimento (ad un massimo di 1 m) e comunque di evitare il danneggiamento delle gabbie e del loro rivestimento.

Eventuali deformazioni o sfiancamenti delle gabbie dovranno essere corretti prima di procedere ad un ulteriore riempimento.

In ogni caso si manterrà vuota l'ultima cella, al fine di facilitare la legatura della gabbia successiva.

Per i materassi in pendenza, il riempimento procederà dal basso verso l'alto.

Il riempimento avverrà a due strati per i gabbioni di altezza 0,50 m ed a tre strati per quelli di altezza 1,00 m, con l'interposizione di tiranti di collegamento (prefabbricati o realizzati a mano) tra le facce anteriore e posteriore, in ragione di 4 tiranti per m² di paramento.

Per i materassi il riempimento avverrà in un unico strato e non saranno necessari tiranti.

Si controllerà che le celle siano riempite uniformemente, particolarmente in corrispondenza degli spigoli e che il bordo superiore dei diaframmi sia accessibile per la legatura.

A riempimento ultimato si procederà alla posa dei coperchi, che verranno fissati alle facce, ai diaframmi e tra di loro; per realizzare una miglior resistenza potrà essere conveniente sfalsare i coperchi rispetto alle basi.

I capi dei fili di legatura eventualmente sporgenti verso l'esterno dovranno essere ripiegati verso l'interno delle gabbie, così da evitare il pericolo di fermenti.

19.4. Controlli ed accettazione

19.4.1. Generalità

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della documentazione di cui al successivo art. 21.4.2 ed all'accertamento dei requisiti attraverso le prove di accettazione indicate nei seguenti art. 21.4.3 e 21.4.7.

Le prove dovranno essere eseguite e certificate da laboratori di cui all'art.5 del D.P.R. 380/2001, ovvero sotto il loro diretto controllo.

19.4.2. Documentazione

Ciascuna fornitura di rete dovrà essere accompagnata da un certificato, in copia originale, riportante:

- azienda produttrice;
- ente certificatore;
- numero del certificato di controllo della produzione di fabbrica;
- condizioni e periodo di validità del certificato;
- destinatario del prodotto, con ubicazione del cantiere;
- quantità fornite;
- descrizione del prodotto: identificazione (con tipo e nome commerciale), impiego previsto e condizioni particolari per l'impiego, ecc.;
- caratteristiche dimensionali e tecniche (dimensioni, maglia tipo, diametro e caratteristiche meccaniche del filo, composizione e quantità del rivestimento, resistenza nominale della rete).

La fornitura dovrà chiaramente essere riconoscibile mediante idonea etichettatura dalla quale risultino azienda produttrice, stabilimento di produzione, lotto di produzione, caratteristiche tecniche.

19.4.3. Prove sul filo metallico

Le prove di resistenza a trazione del filo metallico (prima della tessitura della rete) saranno eseguite secondo la norma UNI EN 10218-1.

19.4.4. Prove sul rivestimento in lega eutettica

La quantità del ricoprimento sarà verificata secondo la UNI EN 10244-2.

L'uniformità del rivestimento sarà verificata secondo le norme UNI EN 10244-2 e UNI EN 10223-3.

La verifica dell'aderenza del rivestimento al filo avverrà conformemente alla UNI EN 10244-2; l'aderenza dovrà essere tale che, in seguito all'avvolgimento del filo per 6 volte attorno ad un mandrino di diametro 4 volte maggiore di quello del filo stesso, lo sfregamento con le dita non produca sfaldamento o fessurazione del rivestimento.

Il rivestimento dovrà superare un test d'invecchiamento accelerato in ambiente saturo di anidride solforosa (SO₂) secondo la norma UNI ISO EN 6988 (Kesternich test) per un minimo di 28 cicli.

19.4.5. Prove sul rivestimento in PVC

All'ispezione visiva il rivestimento delle maglie dovrà risultare privo di intaccature, tagli o abrasioni; imperfezioni secondarie dovute al processo di fabbricazione saranno ammesse in corrispondenza delle torsioni. Non sarà invece richiesto che il rivestimento copra le estremità del filo tagliate durante il processo di fabbricazione.

Quando assoggettato alla prova di aderenza secondo ASTM A-974 *Section* 13.3 il rivestimento non dovrà separarsi dal filo (piuttosto potrà rompersi).

Alla prova di avvolgimento di 360° attorno ad un mandrino di diametro 10 volte superiore a quello del filo, nel rivestimento non dovranno verificarsi incrinature o strappi; la prova sarà condotta ad una temperatura ambiente di -18 °C.

Dopo le seguenti prove di invecchiamento accelerato:

- esposizione ai raggi U.V. per almeno 3000 ore con apparato tipo E a 63 °C (ASTM G 23);
- test in nebbia salina per almeno 3000 ore (ASTM B 117);

non dovranno manifestarsi incrinature, bolle, strappi, né sensibili variazioni di colore nel rivestimento, e neppure intrusioni di umidità tra rivestimento e filo. Dopo tali prove, inoltre, non dovranno risultare variazioni rispetto ai valori iniziali superiori al 6% per il peso specifico, al 25% per la resistenza a trazione ed al 10% per la durezza e per la resistenza all'abrasione.

La massima penetrazione della corrosione da una estremità del filo tagliato dovrà risultare inferiore a 25 mm quando il campione sia immerso per 2000 ore in una soluzione al 50% di acido cloridrico concentrato.

19.4.6. Prove sulla rete metallica

Per la determinazione della resistenza a trazione della rete metallica (secondo la norma ASTM A 975 *Section* 13.1) i campioni da assoggettare a prova avranno una larghezza minima pari a 8 volte la larghezza della maglia ed una lunghezza minima tra i dispositivi di immorsatura della rete pari ad una lunghezza di maglia intera (definendo come lunghezza di maglia intera una porzione di rete contenente due doppie torsioni successive complete).

19.4.7. Prove sul materiale di riempimento

Il campionamento del materiale di riempimento da assoggettare alle prove dovrà essere effettuato secondo le specifiche della norma UNI EN 13383-2, e sulla base di un piano di campionamento da effettuarsi preliminarmente, che tenga conto del tipo di granulometria, della natura e delle dimensioni del lotto, del tipo di prove e delle circostanze locali.

La granulometria verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

La resistenza a rottura verrà determinata secondo la UNI EN 1926.

La resistenza all'usura verrà determinata secondo la UNI EN 1097-1.

La resistenza al gelo e al disgelo verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

19.5. Norme di misurazione

I gabbioni saranno computati per il loro peso effettivo (compresi i diaframmi, esclusi tiranti e legature); il loro riempimento sarà computato per l'effettivo volume; sarà compensata a parte, per superficie, la lavorazione a faccia vista.

I materassi saranno computati per la loro superficie effettiva, secondo lo spessore; il prezzo comprende anche il materiale di riempimento.

Gli articoli di Elenco Prezzi per gabbioni e materassi comprendono: la regolarizzazione, la livellazione e la compattazione del piano di posa (escluso solo l'eventuale calcestruzzo magro per la regolarizzazione di piani di posa in roccia, ove previsto nei documenti progettuali) nonché la fornitura del filo per legature e tiranti.

20. Difese spondali

20.1. Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano difese spondali costituite da elementi prismatici in conglomerato cementizio o da scogliere in pietrame.

20.2. Materiali

20.2.1. Elementi in conglomerato cementizio

Gli elementi saranno prefabbricati con calcestruzzo per classe di esposizione XF1.

Per le caratteristiche si rimanda all'art. del presente Capitolato relativo ai calcestruzzi per opere idrauliche.

Gli elementi saranno della forma e delle dimensioni previste in progetto, e presenteranno facce piane, aspetto compatto e regolarità di forma.

Per la prefabbricazione, prima della cassetatura e del getto, si provvederà a regolarizzare la superficie di appoggio spianandola e compattandola in modo adeguato, al fine di assicurare la regolarità della faccia a diretto contatto con il terreno.

Il calcestruzzo sarà versato nelle casseforme a strati regolari ed ogni strato sarà accuratamente vibrato in modo da evitare la formazione di vuoti e rendere l'ammasso il più possibile omogeneo e compatto.

Dovranno essere inglobate nel getto idonee armature in acciaio costituenti i ganci per la movimentazione degli elementi.

Al fine di agevolare le operazioni di controllo da parte della Direzione Lavori, gli elementi dovranno essere costruiti in file rettilinee e parallele.

20.2.2. Scogliera di pietrame

Gli elementi lapidei dovranno essere privi di discontinuità significative quali fratture, venature, stiloliti, laminazioni, piani di foliazione, piani di sfaldabilità, cambiamenti di "facies" o altri difetti analoghi che potrebbero causare rottura durante il carico, lo scarico o la posa in opera.

I requisiti granulometrici saranno conformi ai prospetti 4 e 5 della norma UNI EN 13383-1 (classi HMA1000-3000 e HMA3000-6000).

Per quanto riguarda la forma, il materiale dovrà rientrare nella categoria LTA della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza a rottura il materiale dovrà rientrare nella categoria CS80 della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza all'usura il materiale dovrà rientrare nella categoria MDE10 della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza al gelo, il materiale dovrà soddisfare i requisiti della categoria FTA della norma UNI EN 13383-1.

20.3. Posa in opera

20.3.1. Generalità

Prima di iniziare le operazioni di posa l'Appaltatore dovrà in contraddittorio con la Direzione Lavori, procedere al picchettamento della difesa riportando fedelmente sul terreno il tracciato indicato in Progetto.

Il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato, e le scarpate di appoggio dovranno essere convenientemente profilate secondo le sagome di Progetto.

Terminate le operazioni di tracciamento e di preparazione della fondazione l'Appaltatore potrà provvedere alla realizzazione della difesa procedendo nelle operazioni di posa degli elementi da monte verso valle.

20.3.2. Elementi in conglomerato cementizio

La rimozione ed il trasporto dei prismi non potrà aver luogo prima che siano trascorsi trenta giorni dalla data del loro confezionamento ed in ogni caso solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.

Nel trasporto e nel collocamento in opera si dovrà usare la massima cautela per evitare che i prismi possano essere danneggiati.

La posa in opera dovrà avvenire nel rispetto delle sagome di Progetto mediante la collocazione di ogni singolo elemento sul piano di appoggio preventivamente regolarizzato.

Ciascun elemento dovrà essere disposto in modo da garantirne una giacitura stabile indipendentemente dalla posa in opera degli elementi adiacenti; i giunti dovranno risultare sfalsati in senso sia longitudinale sia trasversale e permettere uno stretto contatto tra gli elementi adiacenti.

20.3.3. Scogliera di pietrame

I massi saranno messi in opera singolarmente, in modo tale da realizzare almeno tre punti di contatto e il massimo grado di incastro con quelli posizionati in precedenza; non saranno pertanto consentiti l'impiego di scaglie od elementi di piccole dimensioni per realizzare l'appoggio sugli strati sottostanti né la posa mediante scarico alla rinfusa dai mezzi di trasporto e movimentazione.

Gli elementi saranno disposti con il lato più lungo in direzione parallela alla direzione della corrente.

Successivamente al completamento della scogliera i vuoti tra i massi saranno riempiti con scaglie di materiale roccioso della stessa natura di quella dei massi in modo che non si formino vortici che possano dar luogo all'asportazione di materiale fine.

In casi speciali (scogliere rinverdite) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.

20.4. Controlli ed accettazione

20.4.1. Elementi in conglomerato cementizio

Per i controlli e l'accettazione degli elementi in conglomerato cementizio valgono le norme stabilite all'art. relativo alle opere in tale materiale.

20.4.2. Materiale da scogliera

Ciascuna fornitura di materiale da scogliera dovrà essere accompagnata da una bolla numerata riportante:

- il riferimento alla norma UNI EN 13383;
- il fornitore, con nome ed ubicazione della cava, o stabilimento di produzione e, laddove appropriato, deposito;
- la designazione del materiale, con indicazione petrografica semplificata;
- la classe granulometrica;

nonché le informazioni sulle caratteristiche regolamentate dalla UNI EN 13383-1 (marcatura CE).

Il campionamento del materiale da scogliera da assoggettare alle prove dovrà essere effettuato secondo le specifiche della norma UNI EN 13383-2, e sulla base di un piano di campionamento da effettuarsi preliminarmente, che tenga conto del tipo di granulometria, della natura e delle dimensioni del lotto, del tipo di prove e delle circostanze locali.

La granulometria verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

La percentuale di pezzi di aggregati grossi con un rapporto lunghezza-spessore maggiore di 3 verrà determinata in conformità alla UNI EN 13383-2.

La resistenza a rottura verrà determinata secondo la UNI EN 1926.

L'integrità dei blocchi verrà determinata secondo la specifica di cui all'appendice B della norma UNI 13383-1.

La resistenza all'usura verrà determinata secondo la UNI EN 1097-1.

La resistenza al gelo e al disgelo verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

20.5. Norme di misurazione

Le difese spondali in elementi prefabbricati in conglomerato cementizio ed in scogliera di pietrame della classe HMA1000-3000 saranno computate per il loro volume effettivo, misurato vuoto per pieno, senza tenere conto di eventuali eccedenze rispetto alle sezioni teoriche di progetto.

Quelle in scogliera di pietrame della classe HMA3000-6000 saranno computate per il loro peso.

Gli articoli di Elenco Prezzi comprendono: la regolarizzazione, la livellazione e la compattazione del piano di posa e la profilatura delle scarpate (escluso solo l'eventuale calcestruzzo magro per la regolarizzazione di piani di posa in roccia, ove previsto nei documenti progettuali).

21. Drenaggi

21.1. Drenaggi tradizionali

I drenaggi dovranno essere formati con pietrame o ciottolame, con misto di fiume o di cava, con sabbia lavata o con materiale proveniente dagli scavi opportunamente frantumato, vagliato e lavato, posti in opera su platea di conglomerato cementizio di tipo III con classe di resistenza > 20/25 MPa.

Il cunicolo drenante di fondo sarà realizzato con tubi di cemento disposti a giunti aperti, con tubi perforati di acciaio zincato o con tubo corrugato e fessurato in PVC del diametro non inferiore a 180 mm.

Il pietrame e i ciottoli saranno posti in opera a mano con i necessari accorgimenti in modo da evitare successivi assestamenti, ponendo il materiale di maggiori dimensioni negli strati inferiori e quello fino negli strati superiori; si potrà intasare il drenaggio già costituito con sabbia lavata.

Il misto di fiume e la sabbia lavata da impiegare nella formazione dei drenaggi dovranno essere puliti ed esenti da materiali organici e coesivi, granulometricamente assortiti con esclusione dei materiali passanti al setaccio 0,4 della serie UNI.

La formazione e la configurazione finale dei drenaggi a tergo dei piedritti delle gallerie artificiali, saranno conformi a quanto previsto in Progetto o prescritto dalla Direzione Lavori.

21.2. Drenaggi a tergo di murature

Il drenaggio verticale a tergo di murature sarà realizzato con una stuoia drenante dello spessore non inferiore a 22 mm, avente anche funzione di cassero a perdere; sarà costituita da una struttura centrale tridimensionale drenante, in monofilamento di nylon resistente ai raggi U.V. ed allo schiacciamento, intrecciato e termosaldato nei punti di contatto; sarà accoppiata solidamente sulle facce ad un telo filtrante in geotessile dello spessore di 0,7 mm e ad un telo impermeabile in PVC dello spessore di 1 mm.

La stuoia di peso complessivo non inferiore a 2,4 kg/m² dovrà avere una capacità drenante alla pressione di 0,05 MPa non inferiore a 1,4 l/s per metro di larghezza. Il dreno sarà posto in opera in aderenza alla superficie della muratura, dovrà essere ben curata la giunzione dei teli con sormonti aventi una sovrapposizione non inferiore a 10 cm; al piede del drenaggio dovrà essere posto in opera un tubo corrugato e fessurato in PVC del diametro non inferiore a 80 mm per consentire l'allontanamento e lo scarico delle acque drenate.

21.3. Drenaggi con filtro in geotessile non tessuto

In terreni particolarmente ricchi di materiale fino o sui drenaggi laterali della pavimentazione, gli stessi potranno essere realizzati con filtro laterale in geotessile non tessuto in polipropilene del peso non inferiore a 300 g/m², avente le caratteristiche indicate nelle presenti Norme.

I teli dovranno essere congiunti fra loro per sovrapposizione di almeno 30 cm e successiva graffatura.

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m².

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Il cavo così rivestito sarà riempito con materiale lapideo pulito e vagliato, trattenuto al crivello 10 mm UNI, avente pezzatura massima di 70 mm.

Il materiale dovrà riempire tutta la cavità così da fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Terminato il riempimento si sovrapporrà il geotessile fuoriuscente in sommità e su di esso sarà eseguita una copertura in terra pressata.

Quando previsto in Progetto, sul fondo del drenaggio dovrà essere fornita e posta in opera una tubazione in PVC od in acciaio zincato, microfessurata, per lo smaltimento delle acque.

21.4. Drenaggi longitudinali con riempimento in conglomerato cementizio poroso

I drenaggi laterali delle pavimentazioni, ubicati secondo Progetto, dovranno essere realizzati mediante uno scavo di larghezza non inferiore a 30 cm, eseguito con idonea fresatrice automatica.

Lo scavo dovrà raggiungere una profondità di almeno 30 cm, sotto il piano di posa dello strato di fondazione.

La profondità dello scavo dovrà essere variabile in modo da consentire lo scolo delle acque verso gli scarichi nel caso che la pendenza longitudinale della pavimentazione non sia sufficiente a garantire un rapido smaltimento delle acque (< 1,0%).

Sarà impiegato un filtro in geotessile non tessuto in polipropilene, del peso non inferiore a 300 g/m², avente le stesse caratteristiche indicate nelle presenti Norme.

I teli dovranno essere congiunti fra loro per sovrapposizione di almeno 30 cm e successiva graffatura.

Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità del drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m².

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Dopo la posa in opera e l'impermeabilizzazione del geotessile si porrà in opera il dispositivo drenante costituito da materassini in materiale sintetico non putrescibile rivestiti da geotessile non tessuto o da tubo corrugato microfessurato in PVC del diametro di 100 mm.

Sopra il dispositivo drenante sarà gettato conglomerato cementizio poroso, confezionato con cemento di tipo III o IV, avente le seguenti caratteristiche:

- resistenza cubica a compressione a 28 giorni di maturazione > 10 MPa;
- permeabilità > 2 cm/s;
- dimensione massima degli aggregati 4 cm.

Il conglomerato cementizio drenante dovrà riempire la cavità ed essere costipato mediante vibratore per fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Sul conglomerato cementizio si sovrapporranno i lembi del geotessile e su quest'ultimo sarà steso uno strato di conglomerato bituminoso di tipo chiuso (2% dei vuoti nella prova Marshall) dello spessore di 7 cm.

21.5. Drenaggi delle cunette in trincea

I drenaggi sottostanti le cunette laterali nei tratti in trincea dovranno essere realizzati secondo le previsioni di Progetto.

Lo scavo sarà rivestito con un filtro in geotessile non tessuto, per il quale si richiamano le prescrizioni di cui al precedente punto 19.3, per quanto attiene a caratteristiche, impermeabilizzazione del fondo e metodo di posa in opera.

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m².

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Sul fondo, dopo la posa del filtro in geotessile, dovrà essere fornito e posto in opera uno strato di sabbia lavata dello spessore di 5 cm per l'allettamento del tubo di drenaggio. Quest'ultimo, in relazione alle previsioni di Progetto, dovrà essere in acciaio zincato ondulato elicoidalmente e forato, o in PVC nervato e forato. La tipologia e il diametro del tubo saranno quelli indicati in Progetto; nella posa in opera le aperture saranno rivolte verso il basso in modo simmetrico rispetto alla generatrice inferiore del tubo.

Il riempimento finale del cavo sarà in misto di fiume o frantumato di cava. Tale materiale dovrà essere pulito ed esente da componenti organici e coesivi, granulometricamente assortito con esclusione dei materiali passanti al setaccio 0,4 della serie UNI.

Il riempimento potrà essere realizzato con calcestruzzo poroso vibrato, confezionato con cemento di tipo III o IV, avente le seguenti caratteristiche:

- resistenza cubica a compressione a 28 giorni di maturazione > 10 MPa;
- permeabilità > 2 cm/s;
- dimensione massima degli aggregati 4 cm.

Il conglomerato cementizio drenante dovrà riempire la cavità ed essere costipato mediante vibratore per fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Effettuata la chiusura del cavo mediante il risvolto e la sovrapposizione dei due lembi del geotessile, il lembo superiore dovrà essere impregnato con legante bituminoso 180 ÷ 200 dato a caldo. Sopra il drenaggio sarà realizzata la cunetta avente profilo e finitura conforme ai disegni di progetto.

21.6. Schermi drenanti discontinui modulari

21.6.1. Definizione

Si definisce schermo drenante discontinuo modulare una cortina di pozzi drenanti realizzati con la tecnica dei pali trivellati e collegati tra loro da una condotta di fondo per lo scarico a gravità delle acque drenate.

21.6.2. Modalità esecutive dei pozzi

21.6.2.1. Generalità

La perforazione dei pozzi sarà realizzata con attrezzature a percussione, a rotazione od a benna mordente, con impiego di speciali attrezzature anche fresanti per l'attraversamento di trovanti in roccia.

Dovrà essere eseguita a secco, o con impiego di tuboforma per il rivestimento del foro quando ciò sia reso necessario dalla particolare natura dei terreni, essendo assolutamente vietato l'impiego nella perforazione, dei fanghi bentonitici.

La condotta di fondo sarà realizzata calando sul fondo dei pozzi una speciale attrezzatura in grado di eseguire la perforazione dall'interno di un rivestimento metallico $\varnothing=1.200$ mm, che potrà essere provvisorio o definitivo in relazione alla sottoelencata tipologia dei pozzi:

- a) pozzo drenante non ispezionabile, del diametro minimo di 1500 mm;
- b) pozzo drenante ispezionabile, del diametro minimo di 1500 mm;
- c) pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale, del diametro minimo di 2000 mm.

Di tutte le perforazioni eseguite dovrà essere fornito un rapportino indicante la data di inizio e di termine, la quota di testa e di fondo unitamente ad una descrizione stratigrafica dei terreni attraversati.

21.6.2.2. Pozzo drenante non ispezionabile

Il pozzo dovrà avere diametro minimo di 1500 mm.

Al termine della perforazione si dovrà provvedere all'impermeabilizzazioni di fondo con il seguente procedimento:

- posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con il tratto di colonna tubolare definitiva costituente il bicchiere di fondo;
- posa in opera del bicchiere di fondo costituito da semivirole con interposizione di nastro plasto-bituminoso nelle giunzioni bullonate;
- riempimento dello spazio anulare, esistente tra la perforazione e la colonna tubolare definitiva, con malta cementizia di adeguata fluidità, iniettata a pressione, mediante un foro posto sul fondello in lamiera, sino ad ottenere il rifluimento sui fori di sfiato predisposti alla sommità del bicchiere.

All'interno della colonna sarà calata sul fondo del pozzo l'attrezzatura per la perforazione della condotta di fondo, costituita da una sonda oleodinamica di ridotte dimensioni, montata all'interno di uno scudo metallico cilindrico, azionata da una centrale idraulica posta all'esterno del pozzo.

La perforazione della condotta di fondo, diam. 120-130 mm, dovrà essere eseguita adottando gli opportuni provvedimenti per garantire agli operatori condizioni di massima sicurezza.

A tale riguardo si precisa che dovranno essere installati, a cura e spese dell'Appaltatore e fatte salve le prescrizioni del Piano di Sicurezza e Coordinamento e quelle del Piano Operativo di Sicurezza (preventivamente approvato dal Coordinatore della Sicurezza in Fase di Esecuzione):

- un ascensore di servizio;
- un impianto citofonico tra l'operatore sul fondo e quelli di superficie;
- un impianto per l'aggottamento continuo dell'acqua;
- un impianto di aerazione e ventilazione all'interno del pozzo.

Ad avvenuto completamento della perforazione sarà introdotto nel foro un tubo in PVC ondulato o grecato, ad elevato allungamento e flessibilità, avente diametro di 85/75 mm. Detta tubazione deve essere continua ed attraversare anche il pozzo immersa nel materiale drenante; in questo tratto il tubo dovrà essere forato e rivestito con geotessile per la captazione delle acque drenate.

Si procederà quindi alla sigillatura, con cemento a presa rapida, dell'intercapedine esistente tra la perforazione e la tubazione della condotta di fondo in corrispondenza dell'entrata e dell'uscita della condotta stessa.

Sarà immesso quindi il materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm, provvedendo alla contemporanea estrazione della colonna provvisoria \varnothing 1200 mm ed eventualmente del tuboforma \varnothing 1500 mm. Nelle operazioni di estrazione delle colonne si dovrà avere cura che le stesse rimangano sempre immerse nel materiale drenante così da evitare la contaminazione di quest'ultimo.

L'impermeabilizzazione della testa dei pozzi, per un'altezza di circa 1.50 m, sarà costituita da un telo in geotessile, disposto sopra il materiale drenante, da un tappo in calcestruzzo dell'altezza di circa 50 cm e da circa 100 cm di terreno vegetale.

21.6.2.3. Pozzo drenante ispezionabile

Il pozzo avrà diametro minimo di 1500 mm.

Al termine della perforazione si dovrà provvedere all'impermeabilizzazioni di fondo con la posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con l'estremità inferiore della colonna di rivestimento definitivo.

Si porrà quindi in opera all'interno del foro un rivestimento definitivo costituito da una tubazione in lamiera zincata ondulata del diametro di 1200 mm.

Le semivirole del tratto inferiore del rivestimento definitivo per un'altezza di circa 2 m saranno unite interponendo nelle giunzioni bullonate un nastro plasto-bituminoso.

La corona anulare risultante tra le pareti del foro e la tubazione di rivestimento definitivo sarà riempita con materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm.

In presenza di tuboforma, questo sarà estratto contemporaneamente alla immissione del materiale drenante, curando che rimanga sempre immerso nello stesso per impedirne la contaminazione.

Il materiale arido sarà intasato, a partire da fondo pozzo fino a 20 cm circa al di sopra della quota della condotta di fondo, con malta cementizia di adeguata fluidità, iniettata a pressione mediante un foro posto sul fondello in lamiera, sino ad ottenere il rifluimento dalle giunzioni non sigillate dal nastro plasto-bituminoso.

Si procederà quindi alla perforazione, posa e collegamento della condotta di fondo in tubo PVC del diametro di 85/75 mm, in analogia a quanto riportato al punto precedente.

Il pozzo sarà completato con l'impermeabilizzazione di testa mediante intasamento della corona anulare con conglomerato cementizio per l'altezza di 80 cm circa, previa posa di un telo in geotessile al di sopra del materiale drenante.

Si procederà infine alla copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. con inglobata una botola di accesso in ghisa, conforme a quanto indicato nel presente Capitolato Speciale.

Quando previsto in progetto, il pozzo sarà dotato di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

21.6.2.4. Pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale

Il pozzo avrà diametro minimo di 2000 mm; al termine della perforazione si dovrà provvedere alla impermeabilizzazioni di fondo con la posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con l'estremità inferiore della colonna di rivestimento definitivo; si porrà quindi in opera all'interno del foro un rivestimento definitivo costituito da una tubazione in lamiera zincata ondulata del diametro di 1800 mm.

La corona anulare risultante fra le pareti del foro e la tubazione di rivestimento definitivo \varnothing 1800 mm sarà riempito con materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm.

In presenza di eventuale tuboforma, questo sarà estratto contemporaneamente alla immissione del materiale drenante, curando che rimanga sempre immerso nello stesso per impedirne la contaminazione.

All'interno della colonna \varnothing 1800 mm sarà fornita e posta in opera una seconda colonna in lamiera zincata ondulata del diametro di \varnothing 1200 mm.

La corona anulare risultante tra le due colonne metalliche sarà riempita per l'intera altezza con calcestruzzo di tipo III avente classe di resistenza $> 20/25$ MPa, armato secondo le indicazioni di Progetto.

Si procederà quindi alla perforazione, posa e collegamento della condotta di fondo in tubo PVC del diametro di 85/75 mm, in analogia a quanto già riportato nelle presenti Norme.

La captazione delle acque drenate dal pozzo sarà ottenuta mediante apertura nella corona anulare lamiera-calcestruzzo-lamiera, al di sopra della condotta di fondo, di almeno quattro fori disposti a croce e passanti anche la corona drenante, attrezzati con tubi PVC della lunghezza di almeno 50 cm e diametro 55 mm, forati e rivestiti con calza in geotessile.

Il pozzo sarà completato con l'impermeabilizzazione di testa mediante intasamento della corona anulare con conglomerato cementizio per l'altezza di 80 cm circa, previa posa di un telo in geotessile al di sopra del materiale drenante.

Si procederà infine alla copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. con inglobata una botola di accesso in ghisa, conforme a quanto indicato nel presente Capitolato Speciale.

Il pozzo sarà dotato di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

21.6.3. Modalità esecutive della condotta di fondo

Relativamente alle modalità esecutive della condotta di fondo, oltre a quanto già descritto precedentemente, si puntualizza quanto segue:

- le cautele per conseguire condizioni di massima sicurezza per gli operatori in fase di perforazione e posa del tubo sono automaticamente connesse alla particolare natura del lavoro. Le stesse vanno prioritariamente soggette alle prescrizioni contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento e nel Piano Operativo di Sicurezza (preventivamente approvato dal Coordinatore della Sicurezza in Fase di Esecuzione);
- la perforazione dovrà avere diametro minimo di 120 mm e dovrà essere eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza, compresi trovanti, strati lapidei ecc., anche in presenza di acqua in pressione, utilizzando carotieri, tricono od altri utensili adeguati alle necessità;
- la perforazione guidata di precisione, orizzontale o suborizzontale, del diametro di 150 mm eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza, anche in presenza di acqua in pressione, avrà punto di arrivo obbligato, avrà lunghezza come indicato in progetto e sarà eseguita con sonda operante dall'esterno del pozzo. In caso di mancato intercettamento del punto di arrivo obbligato, l'Appaltatore è tenuto alla riperforazione;
- la tubazione in PVC dovrà avere diametro esterno di 85/75 mm ed essere ondulata o grecata ad elevato allungamento e flessibilità; dovrà essere forata e rivestita con geotessile nel tratto corrente all'interno dei pozzi drenanti; con giunzioni ad anello asimmetrico in gomma, compreso il bloccaggio mediante cementazione in corrispondenza dei punti di sbocco nei pozzi.

21.6.4. Caratteristiche del materiale drenante

Il materiale drenante dovrà avere fuso granulometrico compreso fra 3 e 25 mm, con passante al vaglio 200 ASTM non superiore al 5%; dovrà essere lavato ed esente da materiali organici e coesivi.

Il controllo della granulometria sarà effettuato mediante analisi granulometriche con frequenza di almeno una analisi ogni 100 m³, salvo diverse disposizioni della Direzione Lavori.

22. Conglomerati cementizi – Malte e boiacche cementizie

22.1. Generalità

Tutto il calcestruzzo utilizzato, sia prodotto in cantiere, sia in uno stabilimento esterno al cantiere, dovrà essere idoneo all'impiego in ogni singola opera d'arte, in conformità al progetto ed alle normative più avanti riportate e dovrà essere confezionato con processo industrializzato, mediante impianti idonei ad una produzione costante, con personale e attrezzature capaci di valutare e correggere la qualità del prodotto.

Gli impianti devono essere dotati di un sistema di controllo della produzione e di un sistema di gestione della qualità secondo UNI EN 9001, certificato da un organismo terzo indipendente. In mancanza di tale certificazione l'impianto dovrà comunque dimostrare di avere implementato un efficace sistema di gestione, in grado di garantire il controllo di ogni fase dell'approvvigionamento e della produzione.

Quando l'importanza e/o la quantità delle opere da realizzare in calcestruzzo lo richiede (esemplificativamente: lotti autostradali o simili, ponti e viadotti con campate di luce superiore a 50 m, dighe, importanti opere di sistemazione marittima o fluviale, edifici multipiano o con travature di luce superiore a 15 m), per gli aspetti attinenti alla tecnologia del conglomerato cementizio l'Appaltatore dovrà, a richiesta dalla Direzione Lavori, avvalersi della collaborazione di un tecnologo qualificato, il cui curriculum dovrà essere sottoposto all'approvazione del Direttore dei Lavori.

Per il calcestruzzo fornito da un confezionatore esterno l'Appaltatore dovrà garantire il rispetto delle specifiche del presente Capitolato.

Le norme di riferimento sono talore riportate nei vari punti del presente articolo, soprattutto con riferimento a particolari tipologie o casi di impiego del calcestruzzo; tuttavia si riportano qui in modo più organico e completo, relativamente alle tipologie e casi correnti.

Quanto riportato nel presente articolo per il calcestruzzo vale, in quanto applicabile ed in mancanza di prescrizioni specifiche, anche per le malte e per le boiacche a base cementizia. Si deve inoltre fare riferimento all'articolo generale sui materiali e sistemi da impiegarsi.

Le principali norme relative al calcestruzzo semplice o armato (ordinario o precompresso), alle malte ed alle boiacche, sono le seguenti:

Norma	Titolo
D.M. 14/01/2008	Nuove norme tecniche per le costruzioni – Punto 11.2: calcestruzzo e punto 11.3.2: acciaio per cemento armato
Circ. M.I.T. n. 617/2009	Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 – Punto C11.2: calcestruzzo e punto C.11.3.2: acciaio per cemento armato
UNI EN 206	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI EN 445	Boiaccia per cavi di precompressione - Metodi di prova
UNI EN 446	Boiaccia per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiaccia
UNI EN 447	Boiaccia per cavi di precompressione - Requisiti di base
UNI EN 523	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità
UNI EN 524-1	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della forma e delle dimensioni
UNI EN 524-2	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione del comportamento a flessione
UNI EN 524-3	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Prova di flessione nei due sensi
UNI EN 524-4	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza ai carichi laterali
UNI EN 524-5	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a trazione
UNI EN 524-6	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della tenuta (Determinazione delle perdite d acqua)
UNI 7044	Determinazione della consistenza delle malte cementizie mediante l' impiego di tavola a scosse.
UNI EN 998-1	Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni
UNI EN 998-2	Specifiche per malte per opere murarie - Parte 2: Malte da muratura
UNI EN 1015-1	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica (mediante staccatura)
UNI EN 1015-2	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 2: Campionamento globale delle malte e preparazione delle malte di prova
UNI EN 1015-3	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 3: Determinazione della consistenza della malta fresca (mediante tavola a scosse)
UNI EN 1015-4	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione della consistenza della malta fresca (mediante penetrazione della sonda)
UNI EN 1015-6	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 6: Determinazione della massa volumica apparente della malta fresca
UNI EN 1015-7	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione del contenuto d'aria della malta fresca
UNI EN 1015-9	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 9: Determinazione del tempo di lavorabilità e del tempo di correzione della malta fresca

Norma	Titolo
UNI EN 1015-10	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 10: Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata
UNI EN 1015-11	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita
UNI EN 1015-12	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno
UNI EN 1015-17	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 17: Determinazione del contenuto di cloruro solubile in acqua delle malte fresche
UNI EN 1015-18	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita
UNI EN 1015-19	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 19: Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua delle malte da intonaco indurite
UNI EN 1015-21	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione della compatibilità delle malte monostrato per esterni con il supporto
UNI EN 1992-1-1	Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici – Sez. 3: Materiali
UNI EN 10080	Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile - Generalità
UNI EN 12350-1	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento
UNI EN 12350-2	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 2: Prova di abbassamento al cono
UNI EN 12350-3	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 3: Prova Vébé
UNI EN 12350-4	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 4: Indice di compattabilità
UNI EN 12350-5	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 5: Prova di spandimento alla tavola a scosse
UNI EN 12350-6	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 6: Massa volumica
UNI EN 12350-7	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 7: Contenuto d'aria - Metodo per pressione
UNI EN 12390-1	Prove sul calcestruzzo indurito - Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
UNI EN 12390-2	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza
UNI EN 12390-3	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini
UNI EN 12390-4	Prove sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione - Specifiche per macchine di prova
UNI EN 12390-5	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 5: Resistenza a flessione dei provini
UNI EN 12390-6	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini
UNI EN 12390-7	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito
UNI EN 12390-8	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione
UNI CEN/TS 12390-9	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo - Scagliatura
UNI CEN/TS 12390-10	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 10: Determinazione della resistenza relativa alla carbonazione del calcestruzzo
UNI CEN/TS 12390-	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 11: Determinazione della resistenza ai cloruri del cal-

Norma	Titolo
11	cestruzzo, diffusione unidirezionale
UNI EN 12504-1	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione
UNI EN 12504-2	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico
UNI EN 12504-3	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione
UNI EN 12504-4	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici
UNI EN 12649	Compattatori di calcestruzzo e macchine lisciatrici - Sicurezza
UNI EN 13391	Prove meccaniche per dispositivi di precompressione a cavi post-tesi
UNI EN 13791	Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo
UNI CEN/TR 15225	Linee guida per il controllo di produzione in fabbrica ai fini della marcatura CE (sistema di attestazione di conformità 2+) delle malte destinate alle opere murarie
UNI EN ISO 15630-1	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato
UNI EN ISO 15630-2	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 2: Reti saldate
UNI EN ISO 15630-3	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
UNI 6556	Prove sui calcestruzzi. Determinazione del modulo elastico secante a compressione.
UNI 7087	Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo
UNI 7122	Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
UNI 7123	Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione.
UNI 7699	Prova sul calcestruzzo indurito - Determinazione dell'assorbimento di acqua alla pressione atmosferica
UNI 7675	Fili per calcestruzzo armato precompresso
UNI 7676	Trecce a 2-3 fili e trefoli a 7 fili per calcestruzzo armato precompresso
UNI 9944	Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo
UNI 10157	Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inserti ad espansione geometrica e forzata
UNI 10322	Corrosione delle armature delle strutture di calcestruzzo. Metodo per la determinazione del grado di protezione del calcestruzzo nei confronti dell'armatura
UNI 10766	Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ
UNI 11307	Prova sul calcestruzzo indurito - Determinazione del ritiro
UNI 11201	Prove sul calcestruzzo fresco - Determinazione del contenuto di acqua
UNI 11104	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della UNI EN 206

Norma	Titolo
UNI 11164	Calcestruzzo - Determinazione della permeabilità all'ossigeno

Utili riferimenti sono anche le linee guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e le norme sul calcestruzzo della serie ACI (*American Concrete Institute*), delle quali si riportano le seguenti:

Norma	Titolo
CSLP-STC (Dic. 1996)	Linee guida sul calcestruzzo strutturale
CSLP-STC (Feb. 2008)	Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive
ACI 301-10	<i>Specifications for Structural Concrete</i>
ACI 117-10	<i>Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary</i>
ACI 224.1R-07	<i>Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures</i>
ACI 302.1R-04	<i>Guide for Concrete Floor and Slab Construction</i>
ACI 304R-00	<i>Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete</i>
ACI 305R-10	<i>Guide to Hot Weather Concreting</i>
ACI 306R-10	<i>Guide to Cold Weather Concreting</i>
ACI 308R-01	<i>Guide to Curing Concrete</i>
ACI 309R-05	<i>Guide for Consolidation of Concrete</i>
ACI 347-04	<i>Guide to Formwork for Concrete</i>

22.2. Materiali

22.2.1. Aggregati

Saranno impiegati esclusivamente aggregati muniti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

Le norme da osservare sono indicate allo specifico punto dell'articolo sui materiali e sistemi da impiegarsi.

Dovranno essere costituiti da elementi resistenti e poco porosi, non gelivi privi di quantità eccedenti i limiti ammessi di parti friabili, polverulente, scistose, piatte o allungate, conchiglie, cloruri, solfati solubili, argilla e sostanze organiche; non dovranno contenere i minerali pericolosi: pirite, marcasite, pirrotina, gesso e quantità nocive di materiali reattivi agli alcali.

Per ciascuna delle cave di provenienza dei materiali dovrà essere accertata, mediante esame mineralogico (UNI EN 932-3) presso un Laboratorio Ufficiale, l'assenza dei minerali indesiderati suddetti e di forme di silice reattiva verso gli alcali contenuti nel calcestruzzo (in particolare: opale, calcedonio, tridimite, cristobalite, quarzo ad estinzione ondolata, selce, vetri vulcanici, ossidiane).

Tale esame verrà ripetuto con la frequenza indicata nella Tabella A riportata più avanti, e comunque almeno una volta all'anno.

Qualora si riscontri la presenza di forme di silice reattiva, si dovrà valutare ed attuare il livello di prevenzione appropriato, in base alla classe di esposizione e alla categoria delle opere, con riferimento alla UNI 8981-2.

Nella Tabella A sono riepilogati i principali requisiti degli aggregati e le prove cui devono essere sottoposti, con l'indicazione delle norme di riferimento, delle tolleranze di accettabilità e della frequenza.

È consentito l'impiego di aggregato di recupero dall'acqua di lavaggio in misura non superiore al 5% dell'aggregato totale.

La curva granulometrica delle miscele di aggregato per conglomerato cementizio dovrà essere tale da ottenere la minima richiesta d'acqua a parità di dosaggio di cemento e di lavorabilità dell'impasto e dovrà permettere di ottenere i requisiti voluti sia nell'impasto fresco (consistenza, omogeneità, lavorabilità, aria inglobata, ecc.) che nell'impasto indurito (resistenza, permeabilità, modulo elastico, ritiro, viscosità, durabilità, ecc.).

Le singole frazioni necessarie a comporre la curva granulometrica non dovranno sovrapporsi per più del 15% e il diametro inferiore (d) della frazione $(i+1)$ -esima dovrà risultare minore o uguale al diametro superiore (D) della frazione i -esima.

Nella composizione della curva granulometrica nessuna frazione potrà essere dosata in percentuale maggiore del 45%, salvo preventiva autorizzazione del Direttore dei Lavori.

La curva granulometrica dovrà risultare costantemente compresa nel fuso granulometrico dichiarato dal produttore (con tolleranza di $\pm 10\%$ rispetto alla curva di riferimento) ed approvato dalla Direzione dei Lavori e dovrà essere verificata ogni 8000 m³ di aggregati impiegati.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla granulometria della sabbia e al suo contenuto di fini allo scopo di ridurre al minimo il fenomeno dell'essudazione (*bleeding*) nel conglomerato cementizio.

All'impianto di betonaggio dovranno essere impiegate almeno tre dimensioni dell'aggregato delle categorie Gc85/20 per D_{max} fino a 11,2 mm, Gc90/15 per D_{max} maggiore di 11,2 mm e Gf85 per le sabbie (UNI EN 12620).

Rispetto alla dimensione massima dichiarata (D_{max}) dell'aggregato combinato, deve essere presente una sovraclasse da 2 a 5 %.

La dimensione massima (D_{max}) dell'aggregato deve essere tale da permettere che il conglomerato possa riempire ogni parte del manufatto; dovrà pertanto risultare:

- minore di 1/5 della dimensione minima delle strutture;
- minore della spaziatura minima tra le barre di armatura, diminuita di 5 mm;
- minore di 1,3 volte lo spessore del copriferro tranne che per interni di edifici (in tal caso dovrà risultare non maggiore del copriferro).

Per calcestruzzo pompato il modulo di finezza della sabbia dovrà essere compreso tra 2.4 e 3.0, la percentuale di passante al vaglio da 0.25 mm dovrà essere compresa tra il 10 e il 20% in peso, la percentuale di passante allo 0.125 dovrà essere compresa tra il 5 e il 10% in peso.

22.2.2. Additivi

22.2.2.1. Generalità

Gli additivi dovranno rispondere alle norme indicate allo specifico punto dell'articolo sui materiali e sistemi da impiegarsi.

L'Appaltatore dovrà impiegare esclusivamente additivi muniti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

Nel caso di uso contemporaneo di più additivi (che dovranno provenire esclusivamente dallo stesso produttore) l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione della loro mutua compatibilità.

Ad ogni carico di additivo giunto in cantiere, l'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori, copia fotostatica del documento di trasporto e l'Attestato di Conformità CE.

La quantità di additivo liquido che superi 3 l/m³ di calcestruzzo deve essere presa in conto nel calcolo del rapporto A/C.

Gli additivi dovranno essere aggiunti al conglomerato cementizio nel premiscelatore o nell'autobetoniera contemporaneamente all'acqua d'impasto con un sistema meccanico che consenta di aggiungere l'additivo con una tolleranza sulla quantità prescritta non superiore al 5% ed inoltre che assicuri la sua uniforme distribuzione nella massa del conglomerato cementizio durante il periodo di miscelazione.

22.2.2.2. Additivi fluidificanti e superfluidificanti

Allo scopo di realizzare conglomerati cementizi impermeabili e durevoli a basso rapporto A/C ed elevata lavorabilità (v. Tab. H), si farà costantemente uso di additivi riduttori d'acqua fluidificanti e superfluidificanti approvati dalla Direzione Lavori .

A seconda delle condizioni ambientali e dei tempi di trasporto e lavorazione, potranno essere impiegati anche additivi multifunzionali ad azione fluidificante-aerante, fluidificante-ritardante e fluidificante-accelerante. Non dovranno essere impiegati additivi contenenti cloruro in misura maggiore dello 0,10% in massa.

Il loro dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi sulla base delle indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore.

La scelta degli additivi fluidificanti dovrà essere basata, tenendo conto della stagione d'impiego:

- sull'effettività capacità di riduzione d'acqua a consistenza S4-S5 per confronto con calcestruzzo privo di additivo . Tale capacità dovrà essere verificata con prove di laboratorio eseguite impiegando aggregati asciutti di cui sia noto l'assorbimento, ad una temperatura ambiente simile a quella prevedibile della stagione di impiego per ciascuna miscela,
- sul mantenimento della lavorabilità che deve essere appropriato alle lavorazioni ed alle stagioni previste, assicurando una perdita di slump non superiore a 20-40 mm tra la centrale di betonaggio e il punto di getto, anche per tempi fino a 90 minuti.

Per ottimizzare i risultati si dovrà usare un additivo superfluidificante a rilascio progressivo a base carbossilato etere, avente le seguenti caratteristiche con un dosaggio di 1.0 - 1.4 l/100 kg di cemento:

- riduzione d'acqua non minore del 20 %,
- mantenimento della consistenza S4 per almeno 60 minuti.

22.2.2.3. Additivi aeranti

Per conglomerati cementizi soggetti durante l'esercizio a cicli di gelo-disgelo, si farà costantemente uso degli additivi aeranti normalizzati nella UNI EN 934-2.

Ricadono in questa prescrizione:

- tutte le cunette, i muretti, i pulvini, le solette esposte anche solo parzialmente alla pioggia;
- tutti gli elementi strutturali situati a quote maggiori di 400 m slm, esclusi i precompressi; al di sotto di detta quota, qualora non vi siano specifiche indicazioni in progetto, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, stabilirà se utilizzare calcestruzzi aerati in funzione delle condizioni climatiche prevalenti e dell'impiego di sale nelle operazioni invernali;

La percentuale di aria aggiunta varierà, secondo quanto riportato nella Tabella B, in rapporto alla dimensione massima degli aggregati (D_{max}) e sarà misurata sul conglomerato cementizio fresco prelevato all'atto della posa in opera secondo la relativa Norma UNI EN 12350-7.

L'Appaltatore dovrà adottare le opportune cautele affinché, per effetto dei procedimenti di posa in opera e compattazione attuati, non si abbia una riduzione del tenore d'aria effettivamente aggiunta al di sotto dei limiti della tabella. A tale scopo per la qualifica delle miscele aerate si dovrà procedere alla misura della differenza del contenuto d'aria del calcestruzzo fresco alla centrale di betonaggio e del calcestruzzo fresco dopo il trasporto, la posa in opera e la compattazione nel manufatto.

Il contenuto d'aria aggiunta nel conglomerato cementizio indurito potrà essere verificato con il procedimento descritto nella UNI EN 480-11. Qualora si riscontri una carenza d'aria rispetto ai quantitativi minimi prescritti, si opererà un deprezzamento del 10% del conglomerato per ogni percento di aria in meno, fino al 30%.

Per gli elementi strutturali precompressi non si userà calcestruzzo aerato. Se si prevede l'esposizione a cicli gelo-disgelo, il calcestruzzo deve essere resistente al gelo e la verifica deve effettuarsi con un metodo di prova adatto per un calcestruzzo aerato (UNI 7087). In climi severi e dove si faccia uso di sale, per tali elementi si ricorrerà alla protezione superficiale mediante sistemi protettivi pellicolari.

Sui pulvini di opere situate in località in cui si prevedano le operazioni invernali, dovranno sempre essere applicati sistemi protettivi pellicolari.

22.2.2.4. Additivi ritardanti e acceleranti

Gli additivi ritardanti riducono la velocità iniziale delle reazioni tra il legante e l'acqua aumentando il tempo necessario ai conglomerati cementizi per passare dallo stato plastico a quello rigido, senza influenzare lo sviluppo successivo delle resistenze meccaniche, dopo la maturazione a 28 gg.

Gli additivi acceleranti di presa o di indurimento aumentano la velocità delle reazioni tra il legante e l'acqua e conseguentemente la perdita di lavorabilità e lo sviluppo delle resistenze dei conglomerati cementizi senza pregiudicare la resistenza finale degli impasti.

Preferibilmente verranno impiegati additivi multifunzionali ad azione fluidificante-ritardante o fluidificante-accelerante.

I tipi ed i dosaggi impiegati rispondenti alla normativa UNI EN 934-2, o UNI EN 10765 dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.

22.2.3. Aggiunte

22.2.3.1. Generalità

È ammesso l'impiego di aggiunte sia idrauliche che inerti in conformità alla UNI EN 206.

22.2.3.2. Ceneri volanti

Le ceneri volanti, dovranno provenire da centrali termoelettriche in grado di fornire un prodotto di qualità costante nel tempo e documentabile, che dovrà essere costantemente controllata.

Le caratteristiche delle ceneri volanti devono essere conformi alla UNI EN 450-1 e in particolare ai requisiti riportati nella Tabella C.

Se si utilizzano cementi di tipo I 42.5 e II A/L 42.5, la quantità di ceneri potrà essere elevata fino al 33% del peso del cemento e potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto A/C sostituendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K * cenere)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K * cenere".

K assume i valori seguenti:

- CEM I 42.5 N, R K = 0.4,
- CEM II A/L 42.5 N, R K = 0.2.

Il dosaggio minimo di cemento in funzione della classe di esposizione (si veda la Tabella H) può essere diminuito della quantità massima di $K \times (\text{dosaggio minimo di cemento} - 200) \text{ kg/m}^3$. Per gli altri tipi di cemento, il dosaggio delle ceneri volanti non deve superare il 25% del peso del cemento. In questo caso l'aggiunta non sarà computata in alcun modo nel dosaggio di cemento e nel calcolo del rapporto A/C.

Ove sia richiesto l'uso dei cementi resistenti ai solfati con basso tenore di C_3A (alluminato tricalcico) l'aggiunta non è consentita. L'eventuale maggior richiesta d'acqua potrà essere compensata con un maggior dosaggio di additivo.

Nella progettazione della miscela e nelle verifiche periodiche da eseguire, andrà comunque verificato che l'aggiunta di ceneri praticata non comporti un incremento della richiesta di additivo, per ottenere la stessa fluidità dell'impasto privo di ceneri maggiore dello 0,2% sul cemento.

Qualora si debbano impiegare calcestruzzi aerati, si dovrà determinare mediante apposite prove l'eventuale maggior dosaggio di aerante necessario.

Tabella A - Caratteristiche degli aggregati

CARATTERISTICHE	PROVE	NORME	LIMITI DI ACCETTABILITÀ
Gelività degli aggregati	Gelività	UNI EN 1367-1	Perdita di massa < 4% dopo 20 cicli (categoria F4 UNI EN 12620). Cat. F2 per classe di esposizione XF1 e XF2; cat. F1 per cl. di esp. XF3 e XF4
Assorbimento dell'aggregato grosso per classi di esposizione XF	Assorbimento	UNI EN 1097-7	< 1%
Resistenza alla abrasione	Los Angeles	CNR 34 e UNI EN 1097-2	Perdita di massa L.A. 30% cat. LA ₃₀ . Per classi di resistenza C60 o superiori si impiegherà la categoria LA ₂₀
Compattezza degli aggregati	Degradabilità al solfato di magnesio	UNI EN 1367-2	Perdita di massa dopo 5 cicli ≤ 10%
Presenza di gesso e solfati solubili	Analisi chimica degli aggregati	UNI EN 1744-1	SO ₃ ≤ 0,1%
Contenuto di polveri	Aggregato grosso non frantumato o frantumato da depositi alluvionali	Passante a 0,063 mm, UNI EN 933-2	≤ f _{1,5}
	Aggregato grosso frantumato da roccia		≤ f _{4,0}
	Sabbia non frantumata		≤ f _{3,0}
	Sabbia frantumata		≤ f ₁₀
Equivalentente in sabbia e valore di blù		UNI EN 933-8-9	ES ≥ 80 MB ≤ 1 g/kg di sabbia
Presenza di pirite, marcasite, pirrotina	Analisi petrografica	UNI EN 932-3	assenti
Presenza di sostanze organiche	Determinazione colorimetrica	UNI EN 1744-1	Per aggregato fine: colore della soluzione più chiaro dello standard di riferimento
Presenza di forme di silice reattiva, incluso quarzo ad estinzione ondulata	Prova accelerata su provini di malta	UNI 8520-22	Espansione < 0,1%
	Metodo del prisma di malta (se è superato il limite per la prova accelerata)		Espansione < 0,05% a 3 mesi oppure < 0,1% a 6 mesi
Presenza di cloruri solubili	Analisi chimica	UNI EN 1744-1	Cl ⁻ < 0,1 % rispetto al peso di cemento per c.a.p. e < 0,2 % per c.a. normale
Coefficiente di forma e di appiattimento	Determinazione dei coefficienti di forma SI e di appiattimento FI	UNI EN 933-3 UNI EN 933-4	FI e SI ≥ 0,15 (D _{max} = 32 mm) FI e SI ≥ 0,12 (D _{max} = 64 mm)
Dimensioni per il filler	Passante ai vagli	UNI EN 933-10	Vaglio 2mm= 100 0,125 mm 85-100 0,063 m 75-100
Frequenza delle prove	La frequenza sarà definita dalla Direzione Lavori. Dovranno comunque essere eseguite prove: in sede di prequalifica, per ogni cambiamento di cava o materiali nel corpo di cava; ogni 8000 m ³ di aggregati impiegati.		

22.2.3.3. Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice)

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polvere costituite da silice amorfa ad elevatissima superficie specifica (fumo di silice), anche additivate con superfluidificanti di cui costituiscano un supporto. Ciò per ottenere conglomerati cementizi ad elevata lavorabilità, resistenza e durabilità, in particolare in presenza di cicli gelo-disgelo e di sali disgelanti.

I fumi di silice provenienti dalle industrie che producono il silicio metallico e le leghe ferro-silicio, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 13263 parte 1 e 2.

Il fumo di silice può essere utilizzato allo stato naturale (in polvere così come ottenuto all'arco elettrico), come sospensione liquida (*slurry*) di particelle con contenuto secco del 50% in massa oppure in sacchi di premiscelato contenenti fumo di silice e additivo superfluidificante. Se impiegato in forma di *slurry* il quantitativo di acqua apportato dalla sospensione contenente fumo di silice dovrà essere tenuto in conto nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente.

La quantità di fumo di silice aggiunta all'impasto, limitata all'intervallo 5-10% sul peso del cemento, dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale.

In via preliminare dovrà essere eseguita una verifica del campione mediante immersione di provini in soluzione al 30% di CaCl₂ a 5 °C per venti giorni senza che sui provini stessi si manifesti formazione di fessure o scaglie.

Le caratteristiche tecniche previste secondo la UNI EN 13263 dovranno essere quelle della Tabella D.

In deroga a quanto riportato al punto 5.2.5.2.3 della norma UNI EN 206, la quantità massima di fumo di silice che può essere considerata agli effetti del rapporto acqua/cemento equivalente e del contenuto di cemento, deve soddisfare il requisito: fumo di silice ≤ 7% rispetto alla massa di cemento.

Ai fini del calcolo del rapporto A/C equivalente, il coefficiente K verrà desunto dal prospetto seguente, che deve intendersi generalmente riferito a fumi di silice utilizzati nel confezionamento di calcestruzzi impiegando esclusivamente con cementi tipo I e CEM II-A di classe 42.5 e 42.5R, conformi alla UNI EN 197-1:

- per $A/C \leq 0,45$ $K = 2,0$,
- per $A/C > 0,45$ $K = 2,0$, $K = 1,0$ (classi di esposizione XC e XF).

La quantità (cemento + K * quantità fumo di silice) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui la struttura ricade.

L'impiego di fumo di silice con cementi diversi da quelli sopramenzionati è subordinato all'approvazione preliminare della D.L.

Per l'ottenimento delle resistenze fino a 7 gg l'apporto della silice non dovrà essere preso in considerazione.

22.2.3.4. Filler

Per migliorare la reologia delle miscele e ridurre il *bleeding*, è ammesso l'impiego di *filler* calcareo o di ceneri volanti. Questi materiali devono rispondere alle rispettive norme: UNI EN 450 per le ceneri volanti, UNI 8520-2 per il *filler*.

Le caratteristiche del *filler* devono risultare conformi ai requisiti della Tabella E.

Tabella B - Dosaggio richiesto di aria aggiunta

D _{max} Aggregati (mm)	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
10,0	4.5	8.5
12,5	4.0	8
20,0	3.5	7.5
25,0	3,0	7
40,0	2,5	6.5
50,0	2,0	5

D _{max} Aggregati (mm)	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
75,0	1,5	3

Tabella C - Caratteristiche delle ceneri volanti

Caratteristica	U. di m.	Limiti di accettazione	Tolleranze	Frequenza prove
Perdita al fuoco (p.p.c.) (1 ora) UNI ENV 196/2	%	≤ 5,0	+ 2,0	1/ciascuna fornitura
Cl (cloruri) - UNI EN 196/21	%	≤ 0,1	+ 0,01	trimestrale o 1/1000 t
SO ₃ (anidride solforica) – UNI ENV 196/2	%	≤ 3,0	+ 0,5	trimestrale o 1/1000 t
Ossido di calcio libero – UNI EN 451/1	%	≤ 1,0	+ 0,1	mensile
Stabilità volumetrica (se l'ossido di calcio libero è compreso tra 1 e 2,5%) Prova le Chatelier UNI ENV 196-3	mm	≤ 10	+ 1,0	mensile o 1/200 t
Contenuto totale di alcali EN 196-21 come sodio equivalente	%	< 4	+ 1	mensile
Ossido di magnesio secondo EN 196-2	%	<3	+1	mensile
Fosfato solubile (P ₂ O ₅)	mg/kg	<100		mensile
Trattenuto al vaglio da 45 µm UNI EN 451/2	%	≤ 40	± 10	mensile
Massa Volumica Reale UNI ENV 196/6	t/m ³	val. medio dichiarato	± 150	trimestrale o 1/1000 t
Indice di attività pozzolanica a 28 gg.		≥ 75	- 5	
Indice di attività pozzolanica a 90 gg. (UNI EN 196/1 – cemento di rif. CEM I)	%	≥ 85	- 5	mensile o 1/500 t

Tabella D - Limiti di composizione per il fumo di silice

Parametri	Limiti
SiO ₂	> 85%
CaO	< 1,2%
SO ₃	< 2,5%
Na ₂ O + K ₂ O	< 4,0%
Cl ⁻	< 0,2%
Area specifica B.E.T.	20-35 m ² /g
Silicio elementare, Si	< 0,5 %

Tabella E - Caratteristiche e limiti ammissibili per i *filler*

Caratteristica	Limiti ammissibili	Metodo di prova
Granulometria	Devono essere rispettati i limiti del prospetto 7 della norma UNI EN 12620	UNI EN 933-10
Massa volumica dei granuli	La massa volumica deve essere espressa in termini di massa volumica dopo essiccazione in stufa e deve essere >2000	UNI EN 1097-6
Contenuto di cloruri solubili in acqua	Il contenuto di cloruri deve essere ≤ 0,03 %	UNI EN 1744-1, punto 7
Contenuto di solfati solubili in acido	Contenuto di solfati solubili in acido < 0,8%	UNI EN 1744-1, punto 12
Contenuto di zolfo totale	contenuto di zolfo totale 1, 0%	UNI EN 1744-1, punto 11
Qualità dei fini per (Pulizia)	Il valore del blu di metilene MB _f ≤ 12 g/kg	UNI EN 933-9, appendice A
Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo	Il contenuto di tali materiali deve soddisfare i requisiti del.6.4.1 della norma UNI EN 12620	UNI EN 1744-1, punto 15.1; 15.2; 15.3

22.3. Durabilità dei conglomerati cementizi

La durabilità delle opere in conglomerato cementizio è definita dalla capacità di mantenere nel tempo, entro limiti accettabili per le esigenze di esercizio, i valori delle caratteristiche funzionali in presenza di cause di degrado.

Le cause di degrado più frequenti sono i fenomeni di corrosione delle armature, i cicli di gelo-disgelo, l'attacco di acque aggressive di varia natura per la presenza di solfati, cloruri, anidride carbonica aggressiva.

Il degrado va prevenuto applicando nelle fasi di progettazione e di esecuzione le norme generali UNI EN 206 e UNI 11104 e quelle specifiche seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 11417-1	Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo - Parte 1: Istruzioni per ottenere la resistenza alle azioni aggressive
UNI EN 11417-2	Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo - Parte 2: Istruzioni per prevenire la reazione alcali-silice

La Direzione Lavori, eventualmente d'intesa con il Progettista e con l'Appaltatore, verificherà in fase di qualifica dei materiali e degli impasti l'efficacia dei provvedimenti da adottare in base alle suddette norme UNI.

La durabilità si ottiene mediante l'impiego di conglomerato cementizio poco permeabile, eventualmente aerato, a basso rapporto A/C, di elevata lavorabilità, con adeguato dosaggio di cemento del tipo idoneo, mediante compattazione adeguata, rispettando i limiti del tenore di ione cloruro totale nel conglomerato cementizio e curando scrupolosamente la stagionatura.

Oltre all'impiego di tale conglomerato cementizio riveste fondamentale importanza anche lo spessore del copriferro e la eventuale presenza di fessurazioni dei manufatti.

In presenza di concentrazioni sensibili di solfati, di anidride carbonica aggressiva e altri aggressivi nelle acque e nei terreni a contatto dei manufatti, dovranno essere osservate le istruzioni di cui alle suddette normative, impiegando i tipi di cemento corrispondenti alle classi di resistenza chimica moderata, alta ed altissima, secondo le prescrizioni delle Norme UNI 9156 e 9606; inoltre, per i conglomerati dei tipi II e III, il rapporto acqua cemento dovrà essere inferiore di 0,05 rispetto a quelli della Tabella 20 H.

In alternativa ad una prova globale di durabilità, la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, farà eseguire, sempre in fase di qualifica, prove di permeabilità, prove di resistenza ai cicli di gelo disgelo, d'assorbimento d'acqua, di scagliamento in presenza di cloruro, di resistenza all'azione di soluzioni aggressive.

La prova di resistenza al gelo sarà svolta sottoponendo i campioni a 300 cicli di gelo e disgelo, secondo UNI 7087; la conseguente variazione delle proprietà caratteristiche dovrà essere contenuta entro i limiti riportati nella Tabella F.

Tabella F - Prova di resistenza al gelo - Variazioni ammesse

Riduzione del modulo d'elasticità:	20%
Perdita di massa:	2%
Espansione lineare:	0.2%

La prova di permeabilità all'acqua sarà eseguita secondo la Norma ISO 7031. Si richiede una penetrazione media non superiore a 50 mm.

La prova di permeabilità all'ossigeno sarà eseguita secondo UNI 11164. Per calcestruzzo impermeabile si richiede un coefficiente di permeabilità non superiore a $1.5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$.

22.4. Tipi e classi dei conglomerati cementizi

Ai fini del presente Capitolato, vengono presi in considerazione tipi e classi di conglomerato cementizio come segue:

- i "tipi" sono definiti nella Tabella G, nella quale sono indicate alcune caratteristiche dei conglomerati cementizi e sono esemplificati i relativi campi di impiego;
- le "classi" indicano la resistenza caratteristica cubica del conglomerato cementizio a ventotto giorni di maturazione, espressa in MPa.

Ai fini dell'utilizzo della Tabella G, dovranno essere osservate le prescrizioni di progetto o, in mancanza, quelle del Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista. Tali prescrizioni devono di regola assegnare a ciascun elemento strutturale l'opportuna classe di esposizione conformemente alle prescrizioni contenute nel prospetto 1 della norma UNI 11104 (allegato 20.1), tenendo anche in considerazione la tabella dell'allegato 20.2.

Per tutte le strutture immerse o contro terra deve essere accertata la composizione dell'acqua e/o del terreno, allo scopo di assegnare la corretta classe di esposizione.

Qualora per un determinato elemento strutturale sussista l'appartenenza a diverse classi di esposizione, si adotteranno i valori di rapporto acqua/cemento, dosaggio di cemento e resistenza a compressione che soddisfano i requisiti di tutte le classi individuate.

Le prescrizioni della Tabella G sono vincolanti, salvo casi particolari (quali le ristrutturazioni di opere esistenti) nei quali si dovrà motivare adeguatamente la scelta di classi di resistenza diverse.

Tabella G - Tipi di impiego e classi dei conglomerati cementizi

Tipo di Cls	Classi di esposizione	Cementi ammessi a)	Massimo Rapporto A/C	Minimo dosaggio di cemento	Classi di resistenza minime R _{ck}	Consistenza al cono UNI EN 12350-2
I	XC4, XS1, XF1	CEM I CEM II CEM III CEM IV	0.50	340	40 MPa	S4, S5
II	XA2	CEM III CEM IV	0,50	340	40 MPa	S4, S5
	XA3		0,45	360	45 MPa	S4, S5
III	XF2	CEM III CEM IV	0,50	340	30 MPa	S4, S5
	XF4	Con aria aggiunta (vedi Tabella B) ad esclusione del precompresso	0,45	360	35 MPa	
IV	XC3, XA1	CEM III CEM IV	0,55	320	35 MPa	
V	XC2	CEM III CEM IV	0.60	300	30 MPa	
	XA2		0,50	340	40 MPa	
	XA3		0,45	360	45 MPa	
VI	X0	Tutti			15 MPa	

22.5. Qualifica preliminare dei conglomerati cementizi

L'Appaltatore, sulla scorta delle prescrizioni contenute nei progetti esecutivi delle opere in conglomerato cementizio semplice e armato (normale e precompresso) e del presente Capitolato, per la scelta dei materiali e la definizione delle miscele dovrà fare riferimento ai seguenti parametri, le cui norme di riferimento sono indicate tra parentesi e/o nella tabella più sotto riportata:

- classe di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (UNI EN 206);
- resistenza caratteristica a compressione R_{ck} ;
- durabilità delle opere (UNI 8981, parti 1 e 2);
- lavorabilità (abbassamento al cono UNI EN 12350-2 o altre prove se previsto);
- tipi di cemento e dosaggi minimi ammessi;
- tipi di additivi e di eventuali aggiunte minerali e relativi dosaggi ottimali da utilizzarsi;
- resistenza a trazione per flessione (UNI EN 12390-5);
- modulo elastico secante a compressione (UNI 6556);
- contenuto d'aria del conglomerato cementizio fresco (UNI EN 12350-7);
- resistenza ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087);
- impermeabilità (UNI EN 12390-8);
- accorgimenti da adottare in caso di lavorazioni da eseguirsi in presenza di temperature rigide (al di sotto di 5 °C) o in clima caldo (al di sopra di 30 °C);
- sviluppo di calore e innalzamento di temperatura nei getti;

In caso di maturazione accelerata a vapore dei getti l'Appaltatore dovrà fornire le descrizioni del relativo ciclo termico e dell'impianto che intenderà utilizzare.

22.5.1. Dossier di prequalifica

L'Appaltatore, a richiesta della Direzione lavori, dovrà prequalificare i materiali e gli impasti in tempo utile prima della qualifica all'impianto, sottoponendo all'esame della stessa un "dossier di prequalifica" contenente:

- a) lo studio dei conglomerati cementizi ai fini della durabilità, eseguito secondo quanto precisato successivamente;
- b) la caratterizzazione granulometrica degli aggregati e i dati di assorbimento delle varie dimensioni dell'aggregato;
- c) il tipo e il dosaggio del cemento, il rapporto acqua/cemento, lo studio della composizione granulometrica degli aggregati, il tipo e il dosaggio degli additivi che intende usare, il contenuto di aria aggiunta, il valore previsto della consistenza al cono (o altro metodo se richiesto), per ogni tipo e classe di conglomerato cementizio;
- d) le caratteristiche dell'impianto di confezionamento, i sistemi di trasporto, di getto e di maturazione;
- e) la documentazione che attesta una produzione con processo industrializzato del calcestruzzo;
- f) i risultati delle prove di prequalifica all'impianto;
- g) i progetti delle opere provvisorie e provvisionali (centine, armature di sostegno e attrezzature di costruzione).
- h) elaborati e relazioni di calcolo.

22.5.2. Qualifica all'impianto

La qualifica all'impianto ha lo scopo di verificare sia l'efficienza dell'impianto sia le caratteristiche delle miscele che si devono produrre. I laboratori, saranno sia un Laboratorio Ufficiale o autorizzato indicato dalla Direzione Lavori sia, in parallelo, il laboratorio di cantiere.

Si dovranno effettuare, su almeno tre impasti consecutivi, le seguenti verifiche:

1. il valore medio della resistenza a compressione a 28 giorni (R_m), misurato su almeno 4 prelievi (ciascuno di due provini) deve essere:
 - per $R_{ck} < 30 \text{ N/mm}^2$ $R_m \geq 1,25 R_{ck}$;
 - per $30 \text{ N/mm}^2 \leq R_{ck} \leq 40 \text{ N/mm}^2$ $R_m \geq 1,20 R_{ck}$;
 - per $R_{ck} > 40 \text{ N/mm}^2$ $R_m \geq 1,15 R_{ck}$;
 con valore minimo di ogni singolo provino $R_i \geq R_{ck}$.
 Dovrà anche essere misurata la resistenza a compressione a 2 e 7 giorni;
2. il valore dell'abbassamento al cono deve essere conforme alla classe di consistenza dichiarata $\pm 20 \text{ mm}$. Salvo requisiti diversi definiti in progetto o individuati dalla Direzione dei Lavori in funzione delle condizioni di impiego, la consistenza deve mantenersi:
 - per almeno 60 minuti per temperature fino a $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - per almeno 45 minuti per temperature fino a $30 \text{ }^\circ\text{C}$;
3. deve essere verificata l'omogeneità del calcestruzzo all'atto del getto su due campioni, prelevati rispettivamente a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera. Deve risultare:
 - una differenza dell'abbassamento al cono non superiore a 30 mm ;
 - una differenza tra le percentuali in peso di passante al vaglio a maglia quadrata da 4 mm dei due campioni non superiore al 4% ;
4. il rapporto acqua/cemento determinato secondo le modalità previste nella norma UNI 6393, non deve differire di $+ 0.03$ da quello dichiarato nella prequalifica;
5. il valore della massa volumica del calcestruzzo fresco dev'essere superiore al 98% del teorico;
6. il *bleeding* (secondo UNI 7122) deve essere minore dello $0,1\%$ dell'acqua di impasto.

Le resistenze medie a compressione per ciascun tipo di calcestruzzo, misurate a 2 e 7 giorni sui provini prelevati dall'impasto di prova all'impianto, non devono discostarsi di $\pm 15\%$ dalle resistenze indicate nella relazione di prequalifica.

Tutti gli oneri e gli eventuali ritardi causati dalle ripetizioni delle prove all'impianto di confezionamento saranno a totale carico dell'Appaltatore.

22.5.3. Autorizzazione ai getti

La Direzione Lavori autorizzerà l'inizio dei getti di conglomerato cementizio solo dopo aver esaminato ed approvato, qualora sia stato preventivamente richiesto, il "dossier di prequalifica" dei materiali e degli impasti di conglomerato cementizio, avendo comunque effettuato le prove di qualifica all'impianto di betonaggio, in contraddittorio con l'Appaltatore.

L'approvazione delle proporzioni delle miscele da parte del Direttore dei Lavori non libera in alcun modo l'Appaltatore dalle sue responsabilità in base alle norme vigenti.

Caratteristiche dei materiali e composizione degli impasti, definite in sede di qualifica, non possono essere modificati in corso d'opera salvo autorizzazione scritta della Direzione Lavori.

Qualora si rendesse necessaria una variazione dei materiali, la procedura di qualifica dovrà essere ripetuta.

Qualora l'Appaltatore impieghi conglomerato cementizio preconfezionato pronto all'uso - prodotto da operatori esterni alla sua struttura, per il quale si richiama, oltre alle Linee Guida del Ministero dei Lavori Pubblici, la norma UNI EN 206, dovranno essere comunque:

- rispettate le prescrizioni sulla qualificazione dei materiali,
- definite e qualificate le composizioni degli impasti,
- eseguite le prove di qualifica all'impianto,
- dovrà essere documentata la produzione con processo industrializzato.

Si puntualizza che per la realizzazione delle opere in conglomerato cementizio dovrà essere impiegato esclusivamente "conglomerato cementizio a prestazione garantita" secondo la norma UNI EN 206. In nessun caso verrà ammesso

l'impiego di "conglomerato cementizio a composizione richiesta" secondo la stessa norma; tutto ciò dicasi anche per il calcestruzzo non strutturale utilizzato per spianamenti, sottofondazioni, riempimenti, ecc., che dovrà essere confezionato con materiali idonei ed avere classe di resistenza ≥ 15 MPa.

22.6. Controlli in corso d'opera

22.6.1. Generalità

La Direzione Lavori eseguirà controlli periodici in corso d'opera per verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei materiali e degli impasti impiegati e quelle definite in sede di qualifica e l'utilizzo delle miscele previste per le varie parti delle opere.

L'Appaltatore dovrà disporre di almeno un laboratorio (in cantiere, all'impianto di confezionamento o nelle immediate vicinanze) idoneo all'esecuzione di tutte le prove di qualifica e conformità del calcestruzzo fresco ed indurito e dei materiali costituenti, ad eccezione delle determinazioni chimiche e delle prove di permeabilità (profilo di penetrazione dell'acqua in pressione o coefficiente di diffusione).

Presso il laboratorio responsabile delle prove di qualifica dovranno essere disponibili le seguenti apparecchiature:

- Forno per essiccare;
- Setacci;
- Bilancia di portata fino a 20 kg e sensibilità 1 g;
- Termometro a immersione per calcestruzzo;
- Porosimetro;
- Picnometro;
- Contenitore tarato per prove di massa volumica su calcestruzzo;
- Cono o tavola a scosse;
- Casseforme di acciaio o PVC per il prelievo di almeno 32 cubetti;
- Impastatrice da laboratorio;
- Piastra o ago vibrante;
- Sclerometro;
- Termometro a max-min;
- Contenitore ermetico ed alcool per il controllo del calcestruzzo fresco;
- Camera termostatica con umidificatore a nebbia o vasca termostatica di stagionatura dei provini di calcestruzzo.
- Pressa da laboratorio con carico massimo pari ad almeno 2000 kN
- Attrezzatura per la registrazione delle temperature del calcestruzzo durante la presa e l'indurimento, dotata di almeno sei termocoppie;
- Carotatrice idonea al prelievo di carote con diametro fino a 120 mm.

22.6.2. Resistenza dei conglomerati cementizi

22.6.2.1. Generalità

La resistenza cubica dei conglomerati cementizi verrà controllata mediante i controlli di accettazione, che dovranno essere effettuati, per ciascuna opera o parte di opera, su tutte le miscele qualificate impiegate.

Il prelevamento dei campioni deve essere eseguito in modo tale che non sia possibile un cambiamento sostanziale delle proprietà significative e della composizione del calcestruzzo tra il momento del campionamento e quello della posa in opera.

Con il calcestruzzo di ciascun prelievo verranno confezionate, secondo le UNI EN 12390, parti 1 e 2, impiegando casseforme cubiche calibrate, almeno due coppie di provini per il cemento armato e almeno tre coppie di provini per il cemento armato precompresso.

Il Direttore dei Lavori o un tecnico di sua fiducia provvederanno ad identificare ciascun provino mediante scritte indelebili su fascette di plastica inserite nella superficie del provino fresco e non rimovibili o con altro tipo di marcatura indelebile che non alteri significativamente i provini. I provini verranno poi lasciati nelle casseforme, protetti con pellicola di polietilene e riposti in ambienti chiusi a temperatura tra 15 e 25 °C. Dopo 16 ore ma non più di 3 giorni verranno trasferiti in laboratorio, sformati e posti in cella di maturazione a temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidità relativa $\geq 95\%$ oppure in acqua a $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Per il cemento armato la prima coppia verrà provata a 7 giorni e la seconda a 28 giorni. Per il cemento armato precompresso si eseguiranno le prove a 3, 7 e 28 giorni. Il valore medio delle resistenze di ciascuna coppia verrà designato "resistenza di prelievo".

I valori delle resistenze di prelievo a 3 oppure a 3 e 7 giorni, verranno determinati presso il Laboratorio della Direzione dei Lavori e impiegati per confronto con i dati corrispondenti ottenuti in fase di qualifica all'impianto, per una contabilizzazione provvisoria in attesa dei dati a 28 giorni.

Nel caso che la resistenza ricavata dalle prove a 3 o 7 giorni risultasse inferiore a quella prevista, la Direzione Lavori, nell'attesa dei risultati ufficiali, potrà a suo insindacabile giudizio ordinare la sospensione dei getti dell'opera interessata senza che l'Appaltatore possa accampare per questo alcun diritto.

Le resistenze di prelievo a 28 giorni verranno determinate dal Laboratorio Ufficiale secondo le UNI EN 12390-3 e 4, e verranno utilizzate per verifica della conformità della resistenza del calcestruzzo impiegato a quella di Progetto. La verifica verrà eseguita con il metodo statistico (tipo B) mentre solo per volumi di miscela omogenea minori di 1500 m^3 potrà essere utilizzato il metodo tipo A.

22.6.2.2. Controlli di accettazione con metodo Tipo A

Un controllo di accettazione di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m^3 ed è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m^3 di getto. Per ogni giorno di getto va eseguito almeno un prelievo. Dovrà risultare per ogni gruppo di tre prelievi:

- $R_m \geq R_{ck} + 3.5$,
- $R_1 \geq R_{ck} - 3.5$,

dove R_m è la resistenza media e R_1 la minima dei tre prelievi, mentre R_{ck} è la resistenza caratteristica di progetto. Per quantità minori di 100 m^3 di miscela omogenea, si può derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

22.6.2.3. Controlli di accettazione con metodo Tipo B

Il controllo di tipo B, riferito a una definita miscela omogenea, va eseguito con una frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m^3 di calcestruzzo. Per ogni getto di miscela va eseguito almeno un prelievo e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m^3 .

Devono essere verificate le disuguaglianze:

- $R_1 \geq R_{ck} - 3.5$,
- $R_m \geq R_{ck} + 1.48 s$,

dove s è lo scarto quadratico medio.

In entrambi i casi (controllo Tipo A o B), nulla sarà dovuto all'Appaltatore se la resistenza R_{ck} risulterà maggiore di quella indicata negli elaborati progettuali.

22.6.3. Non conformità dei controlli di accettazione

Se dalle prove eseguite presso il Laboratorio Ufficiale, risultassero Non Conformità nei controlli di accettazione, la Direzione Lavori aprirà corrispondentemente delle Non Conformità che dovranno essere risolte, se possibile d'intesa con il Progettista, come stabilito nel seguito. Tutte le relative prove saranno a totale carico dell'Appaltatore.

Verrà determinata la resistenza in sito del conglomerato, mediante carotaggio secondo UNI EN 12504, su carote del diametro di 10 cm o maggiore (almeno 3 volte il diametro massimo dell'aggregato). Per ogni 100 m³ di calcestruzzo non conforme si preleverà una serie di almeno 6 carote che verranno conservate fino alla prova in ambiente interno asciutto (non in acqua).

L'altezza delle carote sarà uguale al diametro (con tolleranza di ± 2 mm) e si scarteranno le carote contenenti barre di armatura, fratturate o con evidenti difetti. Le carote dovranno essere rettificate; non è ammessa cappatura con gesso. La planarità e parallelismo delle facce, conformi alla UNI EN citata, devono essere verificate con strumenti di appropriata sensibilità. Per carotaggio orizzontale il valore di resistenza verrà incrementato del 5%.

Se il valore medio di una serie di determinazioni di resistenza in sito non è inferiore all'85% di R_m (valore medio della resistenza) richiesto in Progetto, il calcestruzzo è giudicato direttamente accettabile; se invece detto valore medio è inferiore all'85% di R_m , il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, deve procedere al controllo della sicurezza della struttura in base alla resistenza in sito:

- se tale controllo è soddisfacente il calcestruzzo può essere accettato e non sono richieste ulteriori azioni, salvo l'applicazione di una penale proporzionale al 15% (sul valore della lavorazione, per tutte le superfici ed i volumi per ogni 5 MPa del valore medio in meno rispetto alla resistenza caratteristica. Il Direttore dei Lavori potrà adottare ulteriori provvedimenti a seguito di una valutazione dell'effetto della resistenza ridotta sulla durabilità, in base alle prescrizioni della norma UNI 11104;
- se le verifiche della sicurezza non sono soddisfacenti l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla demolizione e rifacimento dell'opera oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

22.7. Tecnologia esecutiva delle opere

22.7.1. Confezione dei conglomerati cementizi

La confezione dei conglomerati cementizi dovrà essere eseguita con gli impianti preventivamente approvati dalla Direzione Lavori in fase di qualifica delle miscele.

Alla fine di ogni turno di lavoro l'Appaltatore dovrà trasmettere al Responsabile del Controllo Qualità dei Materiali, incaricato dal Direttore dei Lavori, copia dei tabulati riportanti i dati di carico d'ogni impasto eseguito durante il turno stesso.

La mancata consegna dei tabulati comporterà la non conformità del conglomerato cementizio prodotto durante l'intera giornata lavorativa.

È obbligatorio l'impiego di premescolatori fissi per i calcestruzzi aventi resistenza a compressione di 40 MPa o maggiore o aventi rapporto A/C di 0,45 o minore e per i calcestruzzi aerati.

Gli impianti di betonaggio saranno del tipo automatico o semiautomatico, con dosatura a peso degli aggregati, dell'acqua, delle aggiunte minerali e del cemento e a volume per gli additivi; la precisione delle apparecchiature per il dosaggio saranno quelli della norma UNI EN 206; dovrà essere controllato il contenuto d'umidità degli aggregati in funzione del quale dovrà essere corretto il dosaggio d'acqua di impasto.

Per l'acqua è ammessa anche la dosatura a volume. La dosatura effettiva dell'acqua dovrà essere realizzata con precisione del 3% ed i relativi dispositivi dovranno essere tarati almeno una volta ogni due mesi o comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.

La dosatura effettiva degli aggregati e del cemento dovrà essere realizzata con precisione del 3%.

Le bilance dovranno essere revisionate almeno una volta ogni due mesi e tarate all'inizio del lavoro e successivamente almeno una volta l'anno e comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.

I dispositivi di misura del cemento, dell'acqua degli additivi e delle aggiunte dovranno essere del tipo individuale. Le bilance per la pesatura degli aggregati possono essere di tipo cumulativo (peso delle varie pezzature con successione addizionale).

I silos del cemento e delle aggiunte minerali debbono garantire la tenuta nei riguardi dell'umidità atmosferica.

Il tempo e la velocità di mescolamento dovranno essere tali da produrre un conglomerato rispondente ai requisiti d'omogeneità di cui ai successivi paragrafi.

L'impasto dovrà risultare di consistenza uniforme ed omogeneo, uniformemente coesivo (tale cioè da essere trasportato e manipolato senza che si verifichi la separazione dei singoli elementi); lavorabile (in maniera che non rimangano vuoti nella massa o sulla superficie dei manufatti dopo eseguita la vibrazione in opera).

22.7.2. Condizioni per la posa in opera

E' auspicabile che la temperatura ambientale, nel periodo dal getto alla fine della maturazione, sia compresa tra 10 e 25 °C.

Tra 5 e 10 °C è ancora possibile evitare l'adozione di particolari cautele, ma occorrerà prestare attenzione alle previsioni meteorologiche ed al controllo della temperatura dell'aria, dell'umidità e delle condizioni di vento, per evitare di essere sorpresi da una rapida caduta della prima o da condizioni ambientali che possano comunque richiedere particolari precauzioni.

Tra 25 e 30 °C è ancora possibile evitare l'adozione di particolari cautele, ma occorrerà prestare attenzione alle previsioni meteorologiche ed al controllo della temperatura dell'aria, dell'umidità e delle condizioni di vento, per evitare di essere sorpresi da un rapido innalzamento della prima o da condizioni ambientali che possano comunque richiedere particolari precauzioni.

Non è ammissibile eseguire la posa in opera del calcestruzzo con temperature ambientali inferiori a 10 °C o superiori a 40 °C.

22.7.3. Getti in clima freddo

22.7.3.1. Generalità

Ai fini del getto del calcestruzzo, il clima si definisce "freddo" quando la temperatura dell'aria è minore di 5 °C.

In clima freddo la temperatura del calcestruzzo nel tempo è funzione di diversi fattori, tra cui la temperatura iniziale all'atto dello scarico dalla betoniera, la temperatura ed umidità dell'aria esterna, le condizioni di vento, lo spessore del getto, l'eventuale impiego di sistemi protettivi; influiscono ovviamente anche il tipo di cemento, il dosaggio di cemento e il tipo di additivazione.

Durante il periodo con tale clima oppure se, anche con temperature comprese tra 5 e 10 °C, vi siano condizioni di particolare ventosità e/o di scarsa umidità dell'aria, dovranno essere adottate opportune precauzioni, se non altro per il secondo e terzo dei punti di cui seguente capoverso.

In caso di clima freddo occorre:

- assicurare il calcestruzzo giovane contro il rischio del congelamento; ciò si ottiene mantenendo la temperatura al di sopra dei valori di sicurezza successivamente indicati in tabella 1;
- realizzare la protezione dei manufatti impedendo un rapido essiccamento, che ostacolerebbe l'idratazione del cemento alla superficie del calcestruzzo;
- favorire la maturazione e controllare lo sviluppo di resistenza del calcestruzzo fino a raggiungere il livello necessario per la rimozione dei sostegni e delle casseforme.

Il periodo di tempo durante il quale si debbono mantenere in atto gli accorgimenti relativi ai tre punti precedenti viene designato come "post-trattamento" o "periodo di maturazione protetta".

Precauzioni nella produzione del calcestruzzo (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Aumento del contenuto di cemento e/o impiego di cemento con maggiore capacità di sviluppare calore nella presa a parità di altri componenti;
- Abbassamento del rapporto acqua/cemento mediante impiego di un fluidificante (FM);
- Accelerazione dell'evoluzione della resistenza meccanica mediante impiego di un acceleratore di presa non contenente cloruri, ad es. un prodotto antigelo (HBE);
- Prolungamento dei tempi di disarmo e della durata del post-trattamento;
- Impiego di materiali con caratteristiche di isolamento termico superiori per le casseforme (ad es. legno) e per il post-trattamento (ad es. stuoie termiche);

- Aumento della temperatura del calcestruzzo fresco mediante riscaldamento mirato dell'acqua di impasto e/o riscaldamento degli inerti;
- Protezione dell'elemento costruttivo o dell'intero edificio da perdite di calore e correnti d'aria;
- Il calcestruzzo giovane va protetto dal gelo. La resistenza al gelo del calcestruzzo giovane è garantita quando esso ha raggiunto una resistenza a compressione di almeno 5 MPa.

Precauzioni nella posa in opera e compattazione (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Il calcestruzzo non va mai gettato su terreno gelato e preferibilmente nemmeno su elementi costruttivi gelati;
- Le superfici delle casseforme e le armature vanno mantenute libere da ghiaccio e neve, ma non impiegando acqua, bensì con procedura meccanica e/o trattamenti termici;
- Il calcestruzzo preriscaldato va gettato velocemente nella cassaforma precedentemente liberata da neve e ghiaccio e quindi va subito costipato;
- Il calcestruzzo giovane va possibilmente protetto dall'asporto di calore da parte di mezzi di trasporto verso e sul cantiere. Se possibile, non vanno impiegati nastri trasportatori;
- Nel calcestruzzo gettato in opera vanno adottati idonei provvedimenti per consentire di misurare costantemente la temperatura del calcestruzzo;
- Qualora all'interno dei manufatti siano contenuti oggetti metallici di dimensioni notevoli (ed eventualmente anche di calcestruzzo indurito) dovranno essere prese delle precauzioni per evitare che a bassa temperatura questi oggetti possano raffreddare il calcestruzzo adiacente;
- Durante la posa in opera e durante la lavorazione il calcestruzzo fresco, se non si adottano misure particolari, non deve avere una temperatura inferiore a + 5° C. In caso di superfici di calcestruzzo con requisiti speciali potrà essere necessario aumentare tale temperatura fino a + 10° C; in tal caso potrebbe essere necessario preriscaldare l'acqua di impasto e gli inerti.

22.7.3.2. Mantenimento della temperatura del calcestruzzo per evitare il congelamento

Allo scopo di impedire il congelamento del calcestruzzo, che potrebbe danneggiare severamente il materiale, la temperatura minima del getto (indicata nella Tabella I in funzione dello spessore minimo del manufatto e della temperatura dell'aria) deve essere assicurata per il periodo necessario (periodo di maturazione protetta) affinché la resistenza del calcestruzzo raggiunga un valore di almeno 5 MPa. A questa resistenza corrisponde la capacità del calcestruzzo di poter sopportare un ciclo di congelamento senza subire danni; successivamente, al termine della maturazione protetta, la cassaforma e l'eventuale coibentazione possono essere rimosse.

Nella Tabella H vengono altresì riportate le temperature minime del calcestruzzo raccomandate in centrale per durate del trasporto inferiori ai 30 minuti.

Per trasporti di maggiore durata si può usare l'equazione seguente, che dà la perdita di temperatura ΔT durante il trasporto:

$$\Delta T = 0.25 (T_r - T_a) * t$$

in cui T_r è la temperatura richiesta in centrale, T_a è la temperatura dell'aria e t la durata del trasporto in ore; ΔT è quindi il valore da aggiungere ai valori raccomandati in centrale.

Nella stessa Tabella H vengono altresì riportati i massimi valori ammissibili di abbassamento della temperatura nelle prime 24 ore dopo la fine della protezione ovvero dopo la rimozione dei sistemi coibenti per evitare *shock* termico.

22.7.3.3. Coibentazione

Per la durata della maturazione protetta, allo scopo di mantenere la temperatura del calcestruzzo nelle casseforme al di sopra dei limiti assegnati in Tabella I, si deve far uso di appositi sistemi di coibentazione fino a quando la resistenza a compressione del calcestruzzo abbia raggiunto 5 MPa.

La coibentazione dei manufatti deve essere realizzata con le modalità seguenti:

- per i getti con ampie superfici orizzontali (solette) si deve ricorrere a materassini isolanti di lana di vetro o di roccia da applicare subito dopo la rifinitura delle superfici;
- per i getti in cassero (plinti, pile e pulvini) si devono usare casseforme coibentate.

In funzione del tipo di manufatto e della temperatura minima prevedibile, la Tabella I indica la resistenza termica minima ($R = \text{°C m}^2/\text{W}$) della cassaforma coibentata o del materassino da utilizzare.

Tabella H - Temperature del calcestruzzo

Temperatura dell'aria	Minima dimensione della sezione [mm]			
	300 (solette)	300-900 (muri)	900-1800	> 1800 (pile e plinti)
Minima temperatura ammessa del calcestr. dopo il getto, fino alla fine della maturazione protetta [°C]				
Da 5 a -15 °C	13	10	7	5
Minima temperatura richiesta del calcestruzzo alla centrale, per durata del trasporto < di 0.5 ore [°C]				
> -1 °C	16	13	10	7
Da -15 a -1 °C	18	16	13	10
Massimo ammissibile abbassamento superficiale di temperatura nelle prime 24 ore dopo la fine della protezione [°C]				
	25	22	17	11

 Tabella I – Resistenza termica ($\text{°C m}^2/\text{W}$) della coibentazione per manufatti tipo

Spessore minimo, mm	Temp. minima prevista [°C]	Solette	Pile, muri	Pulvini
< 300	Fino a -5	0.8		
	Fino a -15	1.41		
500-1200	Fino a -5		0.5	
	Fino a -15		0.7	
> 1800	Fino a -15			0.35

22.7.3.4. Protezione

Dopo la posa in opera e lo scassero, le parti esposte all'aria dei manufatti andranno protette contro l'essiccamento prematuro, come specificato più avanti al punto riguardante le protezioni dopo la scasseratura.

22.7.3.5. Requisito di resistenza

Qualora esista un requisito di resistenza minima all'atto dello scassero o della rimozione dei sostegni, si dovrà utilizzare il metodo della determinazione della maturazione del calcestruzzo mediante sonde termometriche a registrazione inserite nel calcestruzzo e curve di taratura maturazione/resistenza. A tale scopo si dovrà fare riferimento alla norma ASTM C 1074 per la procedura appropriata.

In alternativa si potranno utilizzare maturometri come il COMA-Meter della ditta *Germaan Instruments A/S* (Danimarca)⁽¹⁾ o altri equivalenti.

⁽¹⁾ Si tratta di dispositivi assai semplici, da inserire nel calcestruzzo ancora fresco, che misurano la temperatura del getto a 8 cm sotto la superficie in giorni di maturazione a 20 °C equivalenti e, attraverso opportune correlazioni, possono fornire una valutazione della relativa resistenza a compressione.

22.7.3.6. Misure di temperatura

Ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, all'interno dei manufatti che saranno indicati, dovranno essere disposte termocoppie allo scopo di verificare, ogni 2 ore, la temperatura del calcestruzzo. Sono da preferire sistemi automatici muniti di *data-logger*.

La posizione delle termocoppie dovrà trovarsi nei punti più critici, in particolare in corrispondenza di vertici e spigoli.

22.7.4. Getti in clima caldo

22.7.4.1. Generalità

Il clima è definito "caldo" quando la temperatura ambiente supera i 30 °C oppure se, anche con temperature comprese tra 25 e 30 °C, vi siano condizioni di bassa umidità relativa, forte ventilazione, forte irraggiamento solare, temperatura elevata del calcestruzzo. In tali condizioni dovranno essere adottate opportune precauzioni, per evitare:

- durante il trasporto: eccessiva perdita di lavorabilità con possibilità di inizio della presa in questa fase;
- durante la presa: aumento del fabbisogno d'acqua; veloce perdita di lavorabilità e conseguente tendenza a raprendere nel corso della messa in opera; riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, compattazione, finitura, rischio di formazione di giunti freddi, ricadute sul successivo periodo di maturazione; eccessiva tendenza alla successiva formazione di fessure per ritiro plastico; difficoltà nel controllo dell'aria inglobata;
- dopo la presa: eccessiva e rapida disidratazione della superficie libera dei manufatti, con formazione di fessure e caduta delle prestazioni dello strato superficiale del calcestruzzo, destinato fra l'altro a proteggere adeguatamente le sottostanti armature; eccessiva fessurazione da ritiro igrometrico; eccessivi aumenti della temperatura all'interno dei manufatti, specialmente se la classe di resistenza è elevata e lo spessore minimo supera 0,5 m (si veda anche il paragrafo sui getti massicci);
- a maturazione avvenuta: riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, sia per la maggior richiesta di acqua, sia per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo; ulteriore tendenza al ritiro igrometrico; probabili fessure per effetto dei gradienti termici (picco di temperatura interno e gradiente termico verso l'esterno; ridotta durabilità per effetto della diffusa micro-fessurazione; forte variabilità nella qualità della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione; maggiore permeabilità.

A tale scopo le miscele utilizzate dovranno essere state preventivamente progettate e qualificate sulla base delle condizioni climatiche operative osservate o previste.

Una formula (da *Cement and Concrete Association*, UK, 1980) utile per la valutazione approssimativa della temperatura del calcestruzzo fresco, a partire da quella dei suoi componenti, è la seguente:

$$T = \frac{T_c + 6WC * T_w + AC * T_a}{1 + AC + 5WC}$$

dove: T = temperatura del calcestruzzo fresco;

T_c = temperatura del cemento;

T_w = temperatura dell'acqua;

T_a = temperatura dell'aggregato;

AC = rapporto aggregato/cemento;

WC = rapporto acqua/cemento.

Precauzioni nella produzione del calcestruzzo (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Possibile utilizzo di cementi V/B, III/C, III/B, IV/A, II/B, di classe 32.5 N/R;
- Possibile utilizzo di additivi (UNI EN 934-2), quali: ritardanti di presa, superfluidificanti ritardanti a base di naftalensolfonato, superfluidificanti ritardanti di tipo acrilico;
- Le quantità di calcestruzzo fresco devono essere adeguate agli intervalli di fornitura ed ai tempi di posa in opera, nel senso che non si devono creare eccessivi sfasamenti di tempo tra produzione, trasporto e posa in opera;

Precauzioni nella posa in opera e compattazione (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Per eseguire il getto del calcestruzzo devono essere utilizzati i periodi più freschi e i luoghi di posa devono essere possibilmente protetti dal sole;
- Bisogna sempre prevedere un numero di lavoratori adeguato;
- Prima di iniziare i lavori bisogna sempre controllare che le apparecchiature e i materiali per il getto e il trattamento successivo siano in regola e pronti per l'impiego;
- Prima di gettare il calcestruzzo le armature, le casseforme o il sottofondo devono essere bagnati. Le eventuali pozze d'acqua vanno comunque eliminate;
- Vanno evitati tempi di trasporto e di giacenza del calcestruzzo eccessivamente lunghi. Il criterio generale deve essere quello di scaricare, lavorare e costipare il calcestruzzo nel tempo più rapido possibile;
- In caso di ritardi e di fermi prolungati è necessario avvisare immediatamente il fornitore;
- Se il calcestruzzo ha già visibilmente iniziato la presa, non può più essere utilizzato;

Precauzioni durante il periodo di post-trattamento (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Il calcestruzzo fresco deve assolutamente essere mantenuto umido e per quanto possibile in condizioni di saturazione. Per proteggerlo, in ordine di desiderabilità crescente possono essere adottati i seguenti provvedimenti:
 - irrorazione con idonei prodotti filmogeni antievaporanti (ex UNI 8656, ASTM C309-11 – ad es.: “Mackcure C” della BASF, “Mapecure S” della MAPEI);
 - protezione con membrane impermeabili, teli o stuoie umide, ecc.;
 - bagnatura continua con acqua liquida o nebulizzata (ciò può essere comunque imposto dalla Direzione Lavori quando il caso lo richieda);
- Non disarmare il calcestruzzo troppo presto;
- Proteggere i getti con pannellature o rivestimenti coibenti, per evitare eccessi di temperatura assoluta o differenziale.

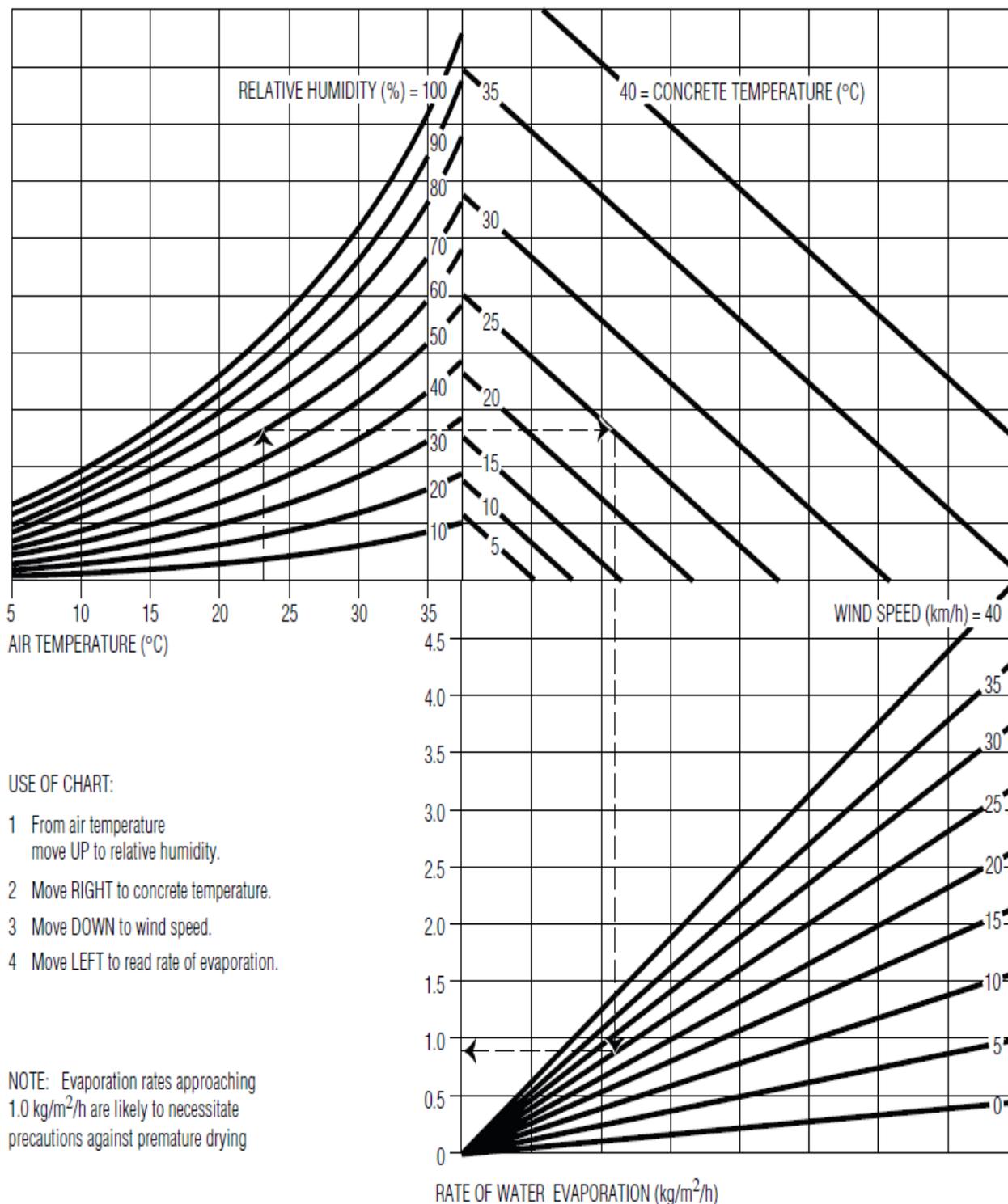
22.7.4.2. Controllo della temperatura del calcestruzzo fresco

La temperatura del calcestruzzo fresco, all'atto del getto, non dovrà essere superiore di norma a 35 °C, con la tolleranza di 2 °C (tale temperatura dovrà essere convenientemente ridotta nel caso di getti particolarmente massicci). Per l'ottenimento di questo risultato potranno essere eventualmente adottati opportuni accorgimenti, quali il raffreddamento dell'acqua, l'introduzione di parte dell'acqua di impasto sotto forma di ghiaccio tritato, ecc..

È ammesso il raffreddamento degli aggregati mediante innaffiamento con acqua fredda; in questo caso il sistema per la misura del contenuto d'acqua dell'aggregato all'impianto di confezionamento del calcestruzzo dovrà essere verificato quotidianamente, mediante la misura del rapporto acqua/cemento secondo UNI EN 11201.

La Direzione Lavori procederà a misure della temperatura del calcestruzzo fresco che verrà rifiutato qualora questa risulti superiore al limite suddetto.

NOMOGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI EVAPORAZIONE SUPERFICIALE
DEI GETTI DI CALCESTRUZZO (ACI 305)⁽¹⁾



22.7.4.3. Controllo della tendenza all'evaporazione superficiale

Per una corretta stagionatura dei getti di calcestruzzo ed anche nel periodo iniziale della presa, in presenza di essudazione dell'acqua di impasto (*bleeding*), è di fondamentale importanza che non si verifichi un eccessivamente rapido essiccamento delle superfici esposte e soprattutto non deve accadere che la velocità di essiccamento superi quella di

⁽¹⁾ Questo nomogramma (vedi anche più avanti) è ricavato dalla norma ACI 305R-99 (oggi sostituita dalla ACI 305R-10) ed è estratto da un *data sheet* dell'organismo australiano CCAA (*Cement Concrete & Aggregates Australia*), del novembre 2004. E' stata riportata questa versione del nomogramma per la sua chiarezza ed in quanto tradotto nel sistema metrico internazionale.

essudazione. Ciò in quanto anche l'acqua di impasto dello strato superficiale deve partecipare alle reazioni di idratazione che si verificano in tali periodi. Occorre quindi contrastare efficacemente l'evaporazione superficiale dei getti ⁽¹⁾.

A titolo esemplificativo, per un calcestruzzo normale, con un contenuto di cemento di 300 kg/m³ e un rapporto acqua/cemento di 0,55, una velocità di essiccamento di 0,8 kg/(m²h) significa che, dopo un'ora, l'acqua contenuta nello strato più esterno del calcestruzzo è evaporata completamente all'incirca nei primi 5 mm di spessore.

A sua volta poi, la velocità di essiccamento superficiale dipende ordinariamente dalle condizioni di umidità relativa e temperatura ambientali e dalla velocità del vento. Essa può essere individuata approssimativamente, in funzione di tali parametri, con il nomogramma riportato in precedenza, combinazione di tre diversi diagrammi, oppure con la seguente formula ⁽²⁾:

$$ER = 5 \left[(CT + 18)^{2.5} - \frac{RH}{100} (AT + 18)^{2.5} \right] * (WS + 4) * 10^{-6}$$

ER = coefficiente di evaporazione superficiale (kg/m²/h);

WS = velocità del vento (m/s) alla distanza di 50 cm dalla superficie evaporante;

CT = temperatura del calcestruzzo (°C);

AT = temperatura dell'aria (°C);

RH = umidità relativa dell'aria (%).

L'impiego del nomogramma è molto semplice ed è descritto nel riquadro in basso a sinistra.

Una volta determinato il coefficiente di evaporazione, se esso risulta ≥ 1 kg/m²/h è opportuno prendere una o più delle precauzioni indicate più avanti, al paragrafo inerente la prevenzione della fessurazione da ritiro plastico. Non è possibile suggerire un valore critico della velocità di evaporazione dell'acqua perché, a volte, la perdita di acqua da una lastra soggetta a velocità di evaporazione anche di 0.5 kg/m²/h può risultare superiore alla velocità alla quale affiora l'acqua di essudazione.

Occorrerà comunque valutare attentamente le condizioni di getto, per evitare che un eccessivo essiccamento superficiale sia determinato semplicemente dall'assorbimento di acqua da parte degli elementi a contatto con il getto. In tal caso dovranno essere presi gli opportuni provvedimenti (v. più avanti).

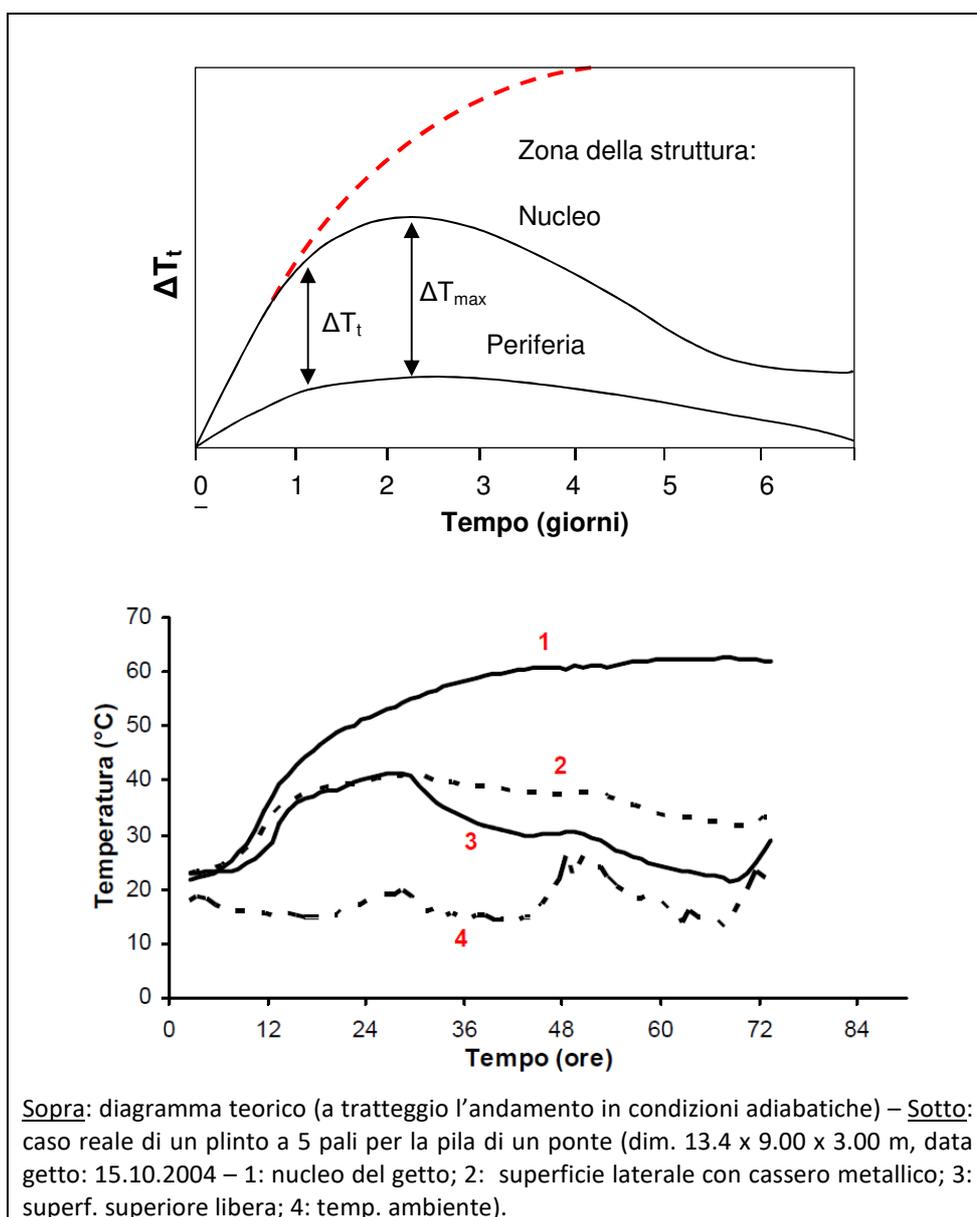
22.7.5. Getti massicci

Ai fini del presente Capitolato si definisce "massiccio", in accordo con le norme ACI 116R-00 (*Cement and Concrete Terminology*) qualunque volume (o getto) di calcestruzzo con dimensioni sufficientemente ampie da richiedere misure atte a ridurre il calore di idratazione del cemento per minimizzarne i possibili effetti negativi. Occorre quindi valutare caso per caso le varie strutture in calcestruzzo (semplice o armato) di progetto e le miscele impiegate, per inquadrare i casi nei quali la suddetta condizione si verifica. Arbitro insindacabile di tale inquadramento è il Progettista e/o il Direttore dei Lavori.

Volendo dare delle indicazioni geometriche, occorre quindi avere riguardo, sia alle dimensioni in sezione del getto, sia alla sua classe di esposizione, sia al suo impegno statico, sia alla sua miscela. In base a ciò possono venire considerati massicci i getti di strutture di fondazione poco sollecitate (plinti, pali di grande diametro) e/o in classi di esposizione non severe, qualora la loro dimensione minima in sezione sia superiore a 1.50 m, mentre per le altre strutture tale valore minimo si aggira nell'intorno della metà di tale valore. Per tutte le strutture inoltre, si realizza la suddetta condizione quando il dosaggio del cemento supera i 360 kg/m³ o quando vengano impiegati cementi a rapido indurimento e ad alto calore di idratazione, quali i cementi alluminosi (UNI EN 14647) ed i cementi sovrasolfatati (UNI EN 14216).

⁽¹⁾ Sia l'essudazione, sia la tendenza all'evaporazione sono tanto più marcate quanto maggiore è la superficie specifica esposta all'aria. Ciò si verifica particolarmente per getti di solette, muri e simili.

⁽²⁾ Il nomogramma è stato concepito da Menzel per la PCA (*Portland Cement Association, USA*) nel 1954, pubblicato poi nella forma attuale da Bloem per NRMCA/NSGA (*National Ready Mixed Concrete Association/National Sand and Gravel Association, USA*) e ripreso infine dalla norma ACI 305. La formula è uno sviluppo della formula di Menzel dovuto a vari autori, in ultimo da P. J. Uno per ACI (*Acı Materials Journal, USA, 1998*).



Nel caso di getti di questo tipo dovranno essere attuati gli opportuni accorgimenti per evitare il raggiungimento di temperature e gradienti eccessivi al loro interno, dovuti a loro volta allo sviluppo del calore di idratazione del cemento. Ciò per due motivi principali:

- evitare il rischio di formazione differita di ettringite⁽¹⁾, che comporterebbe una fessurazione diffusa ed a "ragnatela" dei getti;
- evitare le tensioni di trazione e le conseguenti fessurazioni derivanti dal gradiente termico che si instaurerebbe tra il nucleo del getto e le sue parti periferiche, ove si dissipa maggiormente il calore. Tale fenomeno è ben evidenziato, sia nel diagramma indicativo⁽²⁾, sia in quello esemplificativo⁽³⁾ sotto riportati.

In particolare, salvo autorizzazione da parte della Direzione Lavori ed accurate valutazioni sugli effetti che ne conseguirebbero in termini di alterazione delle caratteristiche prestazionali e con la verifica le queste ultime rimangono

⁽¹⁾ L'ettringite, detta anche "sale di Candlot", è un minerale (tri-solfo-alluminato di calcio idrato) che si forma nel calcestruzzo a seguito dei processi di idratazione del cemento (soprattutto di tipo *Portland*), in particolare per reazione tra l'alluminato tricalcico e i solfati di calcio. La sua formula è la seguente: $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$. Ha proprietà espandenti, dovute all'aumento di volume del minerale rispetto all'insieme dei reagenti. Una piccola quantità di ettringite (detta "primaria") è desiderabile, in quanto evita una presa troppo rapida del calcestruzzo e la sua espansione è facilmente assorbita dalla plasticità del getto; una quantità supplementare o il contatto con solfati ("attacco solfatico") durante o dopo la maturazione (formazione differita) provoca invece un effetto disgregante (ettringite "secondaria" o DEF: *Delayed Ettringite Formation*), altamente indesiderabile.

⁽²⁾ da M. Collepari, ENCO-Journal;

⁽³⁾ da L. Coppola, Univ. di Bergamo.

compatibili con quelle attese, non dovrà essere superata all'interno dei getti la temperatura di 70 °C e, nell'intervallo 65 ÷ 70 °C dovranno essere posti in essere adeguati controlli della temperatura per evitare detto superamento.

Inoltre la massima differenza di temperatura in ciascuna sezione del manufatto, dopo la rimozione delle casseforme e sempre fatto salvo quanto indicato per la temperatura massima assoluta, non dovrà essere superiore a: 20 °C per getti di forma regolare, 15 °C in presenza di forti discontinuità di forma, indentature e simili.

Dovranno pertanto evitarsi metodi di stagionatura che favoriscano un rapido raffreddamento della superficie esterna dei manufatti mentre, al contrario, sarà utile il mantenimento prolungato dei casseri, se isolanti.

L'Appaltatore dovrà assicurarsi che, con la miscela di calcestruzzo prevista, la quantità di calore sviluppato non risulti eccessiva e la temperatura iniziale del calcestruzzo sia sufficientemente bassa per rispettare le prescrizioni precedenti. Qualora necessario, dovranno essere raffreddati con mezzi adeguati i componenti della miscela, calcolando preventivamente l'effetto sulla temperatura del calcestruzzo fresco.

La temperatura massima che si raggiunge nel getto è di norma la somma di tre contributi:

- la temperatura della miscela al momento del getto;
- l'incremento "quasi-adiabatico" di temperatura atteso durante la presa, tipico della specifica miscela;
- la dissipazione termica attesa nei primi 3-4 giorni attraverso i casseri e sulla superficie libera stimabile, per casseri non coibentati, nell'intorno di 5 °C.

E' quindi evidente che un ruolo fondamentale è giocato dall'incremento adiabatico della temperatura tipico delle diverse miscele, misurabile con prove relativamente semplici.

In pratica, la temperatura massima ammissibile del calcestruzzo al momento del getto, a partire dal limite massimo di 70 °C suddetto, può essere valutata, per ogni miscela, con la seguente formula empirica:

$$T_{max} = 70 - \Delta T_{adiab} + 5 \quad [^{\circ}C]$$

dove:

$$\Delta T_{adiab} = \frac{q_t * c}{m * \rho}$$

in cui: q_t = calore d'idratazione unitario del cemento (kJ/kg) al tempo t (\approx 3 gg);

c = dosaggio del cemento (kg/m³);

m = massa volumica unitaria del calcestruzzo \approx 2350 ÷ 2450 kg/m³;

ρ = calore specifico del calcestruzzo \approx 0.9 ÷ 1.1 kJ/(kg°C).

Il calore specifico di idratazione del cemento q_t è indicativamente riportato (in kJ/kg o in J/g), per alcuni tipi di cemento, nella seguente tabella (da Linee-guida CSLP-STC 2008), nella quale il valore a 7 gg è quello di riferimento per la classificazione dei cementi, mentre il valore a 3 gg è quello più significativo per la valutazione della T_{max} :

Cemento: tipo e classe di resistenza							
Tempo (giorni)	CEM VLH 22.5	CEM IV/B 32.5	CEM II/BS 32.5R	CEM III/A-LL 32.5R	CEM IV/A 42.5R	CEM III/A-LL 42.5R	CEM I 52.5R
3		200	225	255	275	285	315
7	210	240	270	300	300	330	355
28	240	275	310	335	315	355	380
90		295	365	360	340	380	400

La seconda formula può essere impiegata utilmente anche per la valutazione approssimativa degli accorgimenti da adottare per non superare il massimo gradiente termico, esplicitando rispetto al calore di idratazione totale:

$$Q_t = q_t * c = \frac{\Delta T_{adiab}}{m * \rho}$$

In questo modo, dato il tipo di cemento (e quindi dato q_t a 3 gg), imponendo $\Delta T_{adiab} = 20$ °C, è possibile valutare il suo quantitativo massimo o, viceversa, dato quest'ultimo, determinare il tipo di cemento da impiegare.

È consentito il raffreddamento della miscela, come già detto, mediante uso di ghiaccio tritato, purché il Direttore dei Lavori possa verificare il controllo e la costanza del rapporto acqua/cemento e sia accertata l'assenza di pezzi di ghiaccio alla fine della vibrazione.

Eventualmente si potrà anche ricorrere al raffreddamento del manufatto mediante circolazione di acqua in appositi tubi metallici preinseriti a perdere nel getto.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione dei Lavori un bilancio termico e le precauzioni adottate, che dimostrino l'assenza di condizioni che possano portare a fenomeni fessurativi o altri inconvenienti che pregiudichino le prestazioni attese del calcestruzzo indurito.

La riduzione della quantità di calore sviluppato si ottiene principalmente scegliendo un cemento a basso calore di idratazione ovvero, secondo la norma UNI EN 197-1, un cemento di altoforno (CEM III) a basso tenore di silicato e alluminato tricalcico, pozzolanico (CEM IV) o composito (CEM V). In alternativa si può ricorrere ad un opportuno dosaggio di ceneri volanti in sostituzione di parte del cemento, quale si verifica ad esempio nei calcestruzzi cosiddetti HVFA (*High Volume Fly-Ash*).

Tali cementi "a basso sviluppo di calore" devono sviluppare a 7 gg un calore di idratazione, determinato statisticamente "per soluzione", in accordo alla norma UNI EN 196-8, non superiore a 270 J/g ⁽¹⁾ e sono contraddistinti dalla notazione LH (*Low Heat*)⁽²⁾.

Vi sono poi particolari cementi, denominati VLH (*Very Low Heat* – UNI EN 14216), impiegati di norma in getti di grandissime proporzioni (dighe, sbarramenti, centrali nucleari, centrali idroelettriche, grandi blocchi di ancoraggio o di fondazione) nei quali, anche a bassissimi dosaggi di cemento, si possono sviluppare alte temperature.

Altri provvedimenti sono: la riduzione dell'acqua mediante additivi; l'adozione di aggregato di grossa pezzatura; la riduzione artificiale di temperatura del calcestruzzo fresco (uso di acqua fredda o ghiaccio tritato).

Allorché per le necessità operative i casseri debbano essere rimossi in tempi brevi (1 o 2 giorni), si può prendere in considerazione l'impiego di falsi casseri coibentati, che devono rimpiazzare in tempi molto brevi (poche ore) i casseri veri.

22.7.6. Getti di lunghezza elevata

Getti di lunghezza elevata, come elementi di rivestimento delle gallerie, muri di sostegno, cunette e simili, in particolar modo se il loro spessore supera i 50 cm, sono prevedibilmente soggetti a fenomeni fessurativi, con formazione di cavillature o fessure parallele al lato corto, con spaziatura da qualche metro in su. Tale fessurazione, se a breve termine (uno o pochi giorni), è dovuta principalmente al ritiro termico; successivamente si può verificare un contributo da parte del ritiro igrometrico.

I fenomeni suddetti si possono controllare minimizzando lo sviluppo di calore di idratazione del calcestruzzo, riducendone la temperatura iniziale, mantenendo a lungo le casseforme (se coibenti) o mantenendo sempre satura d'acqua la superficie dei getti; tuttavia, posto che l'adozione di tali provvedimenti non sia sempre opportuna o agevole, si dovrà di norma prevedere un congruo numero di giunti di dilatazione (in questo caso di segno negativo ovvero contrazione), allo scopo di evitare la formazione di fessure casuali.

Soltanto qualora ciò sia espressamente previsto in Progetto, si potranno adottare metodi di localizzazione controllata delle fessure (ad es. con specifiche indentature eventualmente riempite con prodotti sigillanti elastici), sempre che sia stato verificato che con tali metodi non si pregiudica in modo significativo o incontrollato la durabilità della struttura.

Anche per manufatti di questo tipo, qualora sia decisivo il controllo del calore di idratazione, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione dei Lavori un bilancio termico che dimostri l'assenza di condizioni che possono portare a fenomeni fessurativi o altri inconvenienti che pregiudichino le prestazioni attese del calcestruzzo indurito.

22.7.7. Trasporto e consegna

Il trasporto dei conglomerati cementizi dall'impianto di betonaggio al luogo d'impiego dovrà essere effettuato con mezzi idonei al fine di evitare la possibilità di segregazione dei singoli componenti e comunque tali da evitare ogni possibilità di deterioramento del conglomerato cementizio medesimo.

Saranno accettate, in funzione della durata e della distanza di trasporto, le autobetoniere e le benne a scarico di fondo, ed eccezionalmente i nastri trasportatori.

Il DdT (Documento di Trasporto) di ciascuna consegna di calcestruzzo dovrà riportare la designazione di qualifica della miscela, la sua ricetta, la registrazione delle pesate e i valori di umidità dell'aggregato.

⁽¹⁾ In ogni caso tale valore non deve eccedere, per ciascuna misurazione "singola", i 300 J/g.

⁽²⁾ Es.: CEM III/B 32.5 N-LH.

L'uso delle pompe sarà consentito a condizione che l'Appaltatore adotti, a sua cura e spese, provvedimenti idonei a mantenere il valore prestabilito del rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio alla bocca d'uscita della pompa.

Non saranno ammessi gli autocarri a cassone o gli scivoli eccedenti quelli in dotazione delle autobetoniere.

La miscela qualificata di calcestruzzo dovrà avere un mantenimento della lavorabilità idoneo per la durata massima prevista del trasporto, anche in funzione delle condizioni atmosferiche; all'atto dello scarico dovrà essere controllata l'omogeneità dell'impasto con la prova indicata nei seguenti paragrafi.

È facoltà della Direzione Lavori di rifiutare carichi di conglomerato cementizio non rispondenti ai requisiti prescritti; i quantitativi rifiutati, non potranno essere oggetto di successive "correzioni" ma dovranno essere definitivamente ed insindacabilmente riposti nell'apposito sito predisposto dall'Appaltatore.

In particolare, se al momento della posa in opera la consistenza del conglomerato cementizio non è quella prescritta, lo stesso non dovrà essere impiegato per l'opera ma scaricato in luogo appositamente destinato dall'Appaltatore e reso noto alla Direzione Lavori in sede di prequalifica dei conglomerati cementizi.

Tuttavia se la consistenza è minore di quella prescritta (minore *slump*) e il conglomerato cementizio è ancora nell'autobetoniera, la consistenza può essere portata fino al valore prescritto mediante aggiunta d'additivi fluidificanti, e l'aggiunta sarà registrata sulla bolla di consegna.

Si pone assoluto divieto all'aggiunta d'acqua durante le operazioni di getto, a meno che ciò non risponda a precise esigenze di progetto o sia espressamente autorizzato dalla Direzione Lavori. In tal caso ne sarà comunque tenuta debita nota nel verbale di getto o in altro documento da questa sottoscritto.

22.7.8. Prove sui materiali e sul conglomerato cementizio fresco

Fermo restando quanto stabilito ai precedenti punti, riguardo ai controlli in corso d'opera dei conglomerati cementizi, la Direzione Lavori si riserva la facoltà di prelevare quando lo ritenga opportuno, ulteriori campioni di materiali o di conglomerato cementizio da sottoporre ad esami o prove di laboratorio.

In particolare in corso di lavorazione sarà controllata la consistenza, l'omogeneità, il contenuto d'aria, il rapporto acqua/cemento e l'acqua essudata (*bleeding* secondo UNI 7122).

La prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (*slump*), come disposto dalla specifica norma della serie UNI EN 12350. Detta prova sarà effettuata ad ogni autobetoniera, nei pressi del getto.

Quando la consistenza prevista progettualmente è definita come S1, S2, S3, S4 e S5, l'effettivo abbassamento in centimetri cui fare riferimento per la valutazione della prova sarà quello riportato nel *mix-design* di prequalifica.

Ad ogni controllo sarà redatto un apposito rapporto di prova strutturato secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Qualora l'abbassamento, con tolleranza di ± 2 cm, non fosse quello progettualmente previsto l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere; sarà premura della Direzione Lavori accertare che il conglomerato in essa contenuto non sia oggetto di successive manipolazioni, ma sia definitivamente scartato in quanto non idoneo.

Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm.

Per abbassamenti inferiori a 2 cm si dovrà eseguire la prova con la tavola a scosse secondo la Norma UNI EN 12350-5 o con l'apparecchio VEBÉ secondo la norma UNI EN 12350-3.

La prova d'omogeneità sarà eseguita vagliando ad umido due campioni di conglomerato, prelevati a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera, attraverso il vaglio a maglia quadra da 4 mm.

La percentuale in peso di aggregato grosso nei due campioni non dovrà differire più del 6%.

Inoltre lo *slump* dei due campioni prima della vagliatura non dovrà differire più di 3 cm.

La prova del contenuto d'aria secondo la norma UNI EN 12350-7 è richiesta per tutti i calcestruzzi aerati e dovrà essere effettuata sul contenuto d'ogni betoniera. Quando il contenuto percentuale d'aria aggiunta non sarà quello preliminarmente stabilito, l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere.

Sarà premura della Direzione Lavori accertare che il conglomerato in essa contenuto non sia oggetto di successive manipolazioni, ma sia definitivamente scartato in quanto non idoneo.

Il rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio fresco dovrà essere controllato in cantiere, secondo la specifica norma, almeno una volta per ogni giorno di getto.

In fase d'indurimento potrà essere prescritto il controllo della resistenza a diverse epoche di maturazione, su campioni appositamente confezionati.

Sul conglomerato cementizio indurito la Direzione Lavori potrà disporre l'effettuazione di prove e controlli mediante prelievo di carote e/o altri sistemi anche non distruttivi quali ultrasuoni, misure di resistività, misure di *pull-out* con tasselli tipo Fischer, contenuto d'aria da aerante, ecc..

22.7.9. Casseforme e posa in opera

I getti dovranno essere iniziati solo dopo la verifica degli scavi, delle casseforme e delle armature metalliche da parte della Direzione Lavori. La posa in opera sarà eseguita con ogni cura ed a regola d'arte, dopo aver preparato accuratamente e rettificati i piani di posa, le casseforme, i cavi da riempire e dopo aver posto le armature metalliche.

La temperatura del conglomerato cementizio, all'atto del getto dovrà essere compresa tra 5 e 30 °C, fatto salvo quanto riportato ai paragrafi precedenti.

Nel caso di getti contro terra, roccia, ecc., si deve controllare che la pulizia del sottofondo, il posizionamento d'eventuali drenaggi, la stesura di materiale isolante o di collegamento, siano eseguiti in conformità alle disposizioni di progetto e delle presenti Norme. I getti dovranno risultare perfettamente conformi ai particolari costruttivi di progetto ed alle prescrizioni della Direzione Lavori. Si avrà cura che in nessun caso si verifichino cedimenti dei piani d'appoggio e delle pareti di contenimento.

Le casseforme dovranno essere atte a garantire superfici di getto regolari ed a perfetta regola d'arte; in tal senso l'Appaltatore provvederà, a sua cura e spese, alla posa d'opportuni ponteggi ed impalcature, previa presentazione ed approvazione da parte della Direzione Lavori dei relativi progetti.

L'Appaltatore dovrà progettare le casseforme e le relative strutture di contrasto, in particolare per manufatti di altezza rilevante gettati velocemente e con conglomerato di consistenza S5 o autocompattante (SCC), in modo tale da evitare rischi connessi alla pressione del calcestruzzo fresco.

Le norme di riferimento per le casseforme, oltre al D.M. 14/01/2008 e relativa citata circolare applicativa, sono le seguenti: UNI EN 13377 (Travi prefabbricate di legno per casseforme - Requisiti, classificazione e verifica), UNI EN 1065 (Puntelli telescopici regolabili di acciaio - Specifiche di prodotto, progettazione e verifica attraverso calcoli e prove), DIN 18218 (*Pressure of fresh concrete on vertical formwork*). Un utile riferimento può essere costituito dal progetto di Norma UNI U50.00.206.0 (Casseforme - Requisiti generali per la progettazione, la costruzione e l'uso) del 31.01.1999, successivamente non più portato avanti dall'UNI.

Dovranno essere impiegati prodotti disarmanti aventi i requisiti di cui alle specifiche della Norma UNI 8866; le modalità d'applicazione dovranno essere quelle indicate dal produttore evitando accuratamente aggiunte eccessive e ristagni di prodotto sul fondo delle casseforme.

La Direzione Lavori eseguirà un controllo della quantità di disarmante impiegato in relazione allo sviluppo della superficie di casseforme trattate.

Dovrà essere controllato inoltre che il disarmante impiegato non macchi o danneggi la superficie del conglomerato.

A tale scopo saranno usati prodotti efficaci per la loro azione specifica escludendo i lubrificanti di varia natura. Dal giornale lavori del cantiere dovrà risultare la data d'inizio e di fine dei getti e del disarmo.

Se il getto dovesse essere effettuato durante la stagione invernale, l'Appaltatore dovrà tenere registrati giornalmente i minimi di temperatura desunti da un apposito termometro esposto nello stesso cantiere di lavoro.

Si dovranno rimuovere dall'interno dei casseri e della superficie dei ferri d'armatura eventuali residui di ghiaccio o di brina eventualmente venutasi a formare durante le ore notturne.

Il conglomerato cementizio sarà posto in opera e assestato con ogni cura in modo che le superfici esterne si presentino lisce e compatte, omogenee e perfettamente regolari ed esenti anche da macchie o chiazze.

Per la finitura superficiale delle solette è prescritto l'uso di stagge vibranti o attrezzature equivalenti; la regolarità dei getti dovrà essere verificata con un'asta rettilinea della lunghezza di 2,00 m, che in ogni punto dovrà aderirvi uniformemente nelle due direzioni longitudinale e trasversale; saranno tollerati soltanto scostamenti inferiori a 10 mm.

Eventuali irregolarità o sbavature dovranno essere asportate mediante bocciardatura e i punti incidentalmente difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo; ciò qualora tali difetti o irregolarità siano contenuti nei limiti che la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, riterrà tollerabili fermo restando in ogni caso che le suddette operazioni ricadranno esclusivamente e totalmente a carico dell'Appaltatore.

Quando le irregolarità siano mediamente superiori a 10 mm, la Direzione Lavori ne imporrà la regolarizzazione a totale cura e spese dell'Appaltatore mediante uno strato di materiali idonei che, secondo i casi e ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori potrà essere costituito da:

- malte o betoncini reoplastici a base cementizia a ritiro compensato;
- conglomerato bituminoso del tipo usura fine, per spessori non inferiori a 15 mm.

Eventuali ferri (filo, chiodi, reggette) che con funzione di legatura di collegamento casseri od altro, dovessero sporgere da getti finiti, dovranno essere tagliati almeno 1,5 cm sotto la superficie finita e le cavità risultanti saranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento espansivo.

Dovunque sia possibile, gli elementi dei casseri saranno fissati nell'esatta posizione prevista utilizzando fili metallici liberi di scorrere entro tubetti di materiale PVC o simile, di colore grigio, destinati a rimanere incorporati nel getto di conglomerato cementizio, armato o non armato.

Lo scarico del conglomerato dal mezzo di trasporto dovrà avvenire con tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione. A questo scopo il conglomerato dovrà scendere verticalmente al centro della cassaforma e sarà steso, mediante rastrelli o stagge, in strati orizzontali di spessore limitato e comunque non superiore a 50 cm misurati dopo la vibrazione.

Nel caso di getti di notevole estensione i punti di getto non dovranno distare più di cinque metri uno dall'altro (salvo l'impiego di calcestruzzo autocompattante).

È vietato scaricare il conglomerato in un unico cumulo e distenderlo con l'impiego del vibratore; è altresì vietato lasciar cadere dall'alto il conglomerato cementizio per un'altezza superiore ad un metro; se necessario si farà uso di tubi getto o si getterà mediante pompaggio.

22.7.10. Compattazione

Dopo la posa in opera tutto il calcestruzzo dovrà essere compattato mediante vibrazione allo scopo di minimizzare il contenuto d'aria intrappolata (non aria aggiunta) fino al contenuto fisiologico in relazione al diametro massimo (si veda la Tabella J). Si impiegheranno vibratorii interni di ampiezza e frequenza adeguata per il calcestruzzo in lavorazione. I vibratorii si dovranno inserire verticalmente ed estrarre lentamente dal conglomerato.

È vietato l'impiego dei vibratorii per distribuire l'eventuale calcestruzzo a bassa consistenza scaricato sulle casseforme. Durante l'uso, si dovrà inserire ed estrarre lentamente il vibratore nel calcestruzzo fresco allo scopo di evitare difetti localizzati.

La Direzione Lavori potrà disporre la verifica dell'efficacia della compattazione sia mediante prelievo di calcestruzzo fresco dopo la posa in opera e vibrazione e misura del contenuto d'aria secondo UNI EN 12350-7 sia sul conglomerato indurito, ad esempio mediante confronto con le foto della BS 1881 o mediante la determinazione della massa volumica delle carote. Qualora il contenuto di aria risultasse eccessivo, la Direzione Lavori potrà ricorrere a misure adeguate, fino alla sospensione dei lavori.

Informazioni estese per la compattazione del calcestruzzo sono contenute nella già citata specifica ACI 309 "Guide for Consolidation of Concrete".

Tabella J – Contenuto massimo di aria inglobata nei getti

Diametro massimo dell'aggregato [mm]	Tenore limite dell'aria inglobata [%]
12	2.5
20	2
25	1.5
31.5	1.5

22.7.11. Riprese di getto

L'Appaltatore dovrà porre particolare cura nella realizzazione dei giunti di dilatazione o contrazione di tipo impermeabile (*waterstop*), o giunti speciali aperti, a cunei, secondo le indicazioni di Progetto.

Tra le successive riprese di getto non dovranno aversi distacchi o discontinuità o differenze d'aspetto.

La Direzione Lavori avrà la facoltà di prescrivere, ove e quando lo ritenga necessario, che i getti siano eseguiti senza soluzione di continuità così da evitare ogni ripresa, anche se ciò comporta che il lavoro debba essere condotto a turni, durante le ore notturne ed anche in giornate festive, senza che all'Appaltatore non spetti nulla di più di quanto previsto contrattualmente.

In alternativa la Direzione Lavori potrà prescrivere l'adozione di riprese di getto di tipo monolitico.

Queste saranno realizzate mediante spruzzatura d'additivo ritardante sulla superficie del conglomerato cementizio fresco subito prima della sospensione del getto; dopo che la massa del conglomerato sarà indurita si provvederà (entro 24 ore) all'eliminazione della malta superficiale non ancora rappresa, mediante getto d'acqua, ottenendo una superficie di ripresa scabra, sulla quale si potrà disporre all'atto della ripresa di getto una malta priva di ritiro immediatamente prima del nuovo getto di conglomerato cementizio; la ripresa potrà effettuarsi solo dopo che la superficie del getto precedente sia stata accuratamente pulita, lavata e spazzolata.

Se l'interruzione dei getti si protrae per tempi non superiori a 20 ore, è ammessa la realizzazione di manufatti monolitici mediante posa in opera di un ultimo strato contenente additivo ritardante, dosato in modo tale da prolungare la presa per il periodo necessario. Su questo, ancora capace di accogliere un vibratore, potrà essere gettato lo strato successivo e i due strati potranno essere vibrati simultaneamente.

Impiegando questa tecnologia, si dovrà impedire l'essiccamento del calcestruzzo dello strato di attesa, mediante coperture impermeabili o teli mantenuti bagnati.

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori la miscela ritardata, eseguendo anche prove di presa in calcestruzzo secondo UNI 7123.

Quando il conglomerato cementizio deve essere gettato in presenza d'acqua, si dovranno adottare gli accorgimenti approvati dalla Direzione Lavori, necessari per impedire che l'acqua lo dilavi. Si farà uso a tale scopo di tubo getto, adottando gli accorgimenti necessari affinché venga realizzata una separazione all'interno del tubo tra l'acqua e il calcestruzzo in fase di getto iniziale. A regime il tubo getto dovrà essere pieno di calcestruzzo ed inserito per almeno 50 cm nel calcestruzzo già gettato. La Direzione Lavori dovrà vietare che il tubo getto venga sollevato ed abbassato per facilitare il flusso del conglomerato.

22.7.12. Prevenzione delle fessure da ritiro plastico

A getto ultimato dovrà essere curata la stagionatura dei conglomerati cementizi in modo da evitare un rapido prosciugamento delle superfici esposte all'aria dei medesimi (favorito da tempo secco e ventilato) e la conseguente formazione di fessure da ritiro plastico, usando tutte le cautele ed impiegando i mezzi più idonei allo scopo, fermo restando che il sistema proposto dall'Appaltatore dovrà essere approvato dalla Direzione Lavori.

A questo fine le superfici del conglomerato cementizio non protette dalle casseforme dovranno essere mantenute umide il più a lungo possibile (*curing*) e comunque per almeno 7 giorni, sia per mezzo di prodotti antievaporanti da applicare a spruzzo immediatamente dopo il getto, sia mediante continua bagnatura con acqua nebulizzata (evitando ruscellamento d'acqua), sia con applicazione di teli di tessuto da mantenere bagnati, sia infine con teli di plastica.

I prodotti antievaporanti dovranno essere conformi a quanto indicato nelle norme ex UNI 8656 e ASTM C309-11 (ad es.: "Mackcure C" della BASF, "Mapecure S" della MAPEI) e, unitamente al loro dosaggio, dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

La costanza della composizione dei prodotti antievaporanti dovrà essere verificata al momento del loro approvvigionamento.

In particolare per le solette, che sono soggette all'essiccamento prematuro ed alla fessurazione da ritiro plastico che ne deriva, è fatto obbligo di applicare sistematicamente i provvedimenti di cui sopra.

È ammesso in alternativa l'impiego, anche limitatamente ad uno strato superficiale di spessore non minore di 20 cm, di conglomerato cementizio rinforzato da fibre di resina sintetica di lunghezza da 20 a 35 mm, di diametro d'alcuni millesimi di millimetro aggiunti nella betoniera e dispersi uniformemente nel conglomerato cementizio, in misura di $0,5 \div 1,5 \text{ kg/m}^3$.

Qualora sulla superficie di manufatti, in particolare delle solette di impalcato si rilevi la formazione diffusa di cavillature (apertura minore di 0,3 mm) in misura giudicata eccessiva dalla Direzione Lavori, sarà a carico dell'Appaltatore l'applicazione sull'intera superficie di manufatti una rasatura (spessore di 1-2 mm) di prodotto impermeabile polimero cementizio.

Nel caso che sui manufatti si rilevino manifestazioni di ritiro plastico con formazione di fessure d'apertura superiore a 0,3 mm, in misura complessivamente minore di un metro lineare per 250 m², l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla sigillatura mediante iniezione di dette fessure con resina epossidica extra fluida.

Se il fenomeno fessurativo risultasse ancora più intenso, l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla demolizione ed al rifacimento delle strutture danneggiate.

22.7.13. Disarmo e scasseratura

Durante il periodo della stagionatura, i getti dovranno essere riparati da urti, vibrazioni e sollecitazioni d'ogni genere.

La rimozione delle armature di sostegno dei getti dovrà essere effettuata quando siano state sicuramente raggiunte le prescritte resistenze e comunque mai prima di 48 ore.

In assenza di specifici accertamenti, l'Appaltatore dovrà attenersi a quanto stabilito nella UNI EN 13670 (Tabella L).

22.7.14. Protezione dopo la scasseratura

Al fine di evitare un prematuro essiccamento dei manufatti dopo la rimozione delle casseforme, per effetto del quale l'indurimento è ridotto e il materiale risulta più poroso e permeabile, si dovrà procedere alla stagionatura protetta.

Per la stagionatura e la protezione sono utilizzabili, separatamente o in sequenza, i metodi seguenti:

- mantenere nella sua posizione la cassaforma;
- coprire la superficie del calcestruzzo con membrane impermeabili assicurate agli spigoli e ai giunti, per prevenire la formazione di correnti d'aria;
- porre teli bagnati sulla superficie e assicurarsi che restino bagnati;
- mantenere bagnata la superficie del calcestruzzo mediante irrigazione con acqua;
- applicazione di un idoneo prodotto stagionante.

La durata della stagionatura, intesa come giorni complessivi di permanenza nei casseri e di protezione dopo la rimozione degli stessi, va determinata in base alle indicazioni della norma UNI EN 13670. La Tabella K fornisce la durata richiesta della stagionatura.

22.7.15. Maturazione accelerata a vapore

La maturazione accelerata a vapore deve essere eseguita osservando le prescrizioni che seguono:

- la temperatura del conglomerato cementizio, durante le prime 3 h dall'impasto non deve superare 30 °C; dopo le prime 4 h dall'impasto non deve superare 40°C;
- la velocità di riscaldamento non deve superare 20 °C/h;
- la temperatura massima del calcestruzzo non deve in media superare 60 °C (i valori singoli devono essere minori di 65°C);
- il calcestruzzo deve essere lasciato raffreddare con una velocità di raffreddamento non maggiore di 10 °C/h;
- durante il raffreddamento e la stagionatura occorre ridurre al minimo la perdita d'umidità per evaporazione facendo uso di teli protettivi o applicando antievaporanti.

Tabella K - Periodo minimo di protezione in funzione della temperatura superficiale del calcestruzzo e della velocità di sviluppo della resistenza (da UNI EN 13670)

Temperatura	Minimo periodo di stagionatura [giorni] ^{1), 2)}
-------------	---

superficiale del calcestruzzo t [°C]	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo ⁴⁾ (R _c medio 2 gg / R _c medio 28 gg) = r			
	rapido r ≥ 0.50	medio r ≥ 0.30	lento r ≥ 0.15	molto lento r < 0.15
t ≤ 25	1.0	1.5	2.0	3.0
25 > t ≥ 15	1.0	2.0	3.0	5
15 > t ≥ 10	2.0	4.0	7	10
10 > t ≥ 5 ³⁾	3.0	6.0	10	15

- 1) Più l'eventuale tempo di presa eccedente le 5 ore.
- 2) E' ammessa l'interpolazione lineare tra i valori delle righe.
- 3) Per t < 5 °C, la durata deve essere aumentata per un tempo uguale al periodo con tale temperatura.
- 4) Lo sviluppo di resistenza del calcestruzzo è il rapporto tra la resistenza media a 2 giorni e la resistenza media a 28 giorni, determinato dalle prove di prequalifica.

22.7.16. Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari

L'Appaltatore avrà a suo carico il preciso obbligo di predisporre in corso d'esecuzione quanto è previsto nei disegni costruttivi o sarà successivamente prescritto di volta in volta in tempo utile dalla Direzione Lavori, circa fori, tracce, cavità, incassature ecc. nelle solette, nervature, pilastri, murature, ecc., per la posa in opera d'apparecchi accessori quali giunti, appoggi, smorzatori sismici, pluviali, passi d'uomo, passerelle d'ispezione, sedi di tubi e di cavi, opere d'interdizione, sicurvità, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti.

Tutte le conseguenze per la mancata esecuzione delle predisposizioni così prescritte dalla Direzione Lavori, saranno a totale carico dell'Appaltatore, sia per quanto riguarda le rotture, i rifacimenti, le demolizioni d'opere di spettanza dell'Appaltatore stesso, sia per quanto riguarda le eventuali opere d'adattamento d'infissi o impianti, i ritardi, le forniture aggiuntive di materiali e la maggiore mano d'opera occorrente da parte dei fornitori.

Quando previsto in Progetto, le murature in conglomerato cementizio saranno rivestite sulla superficie esterna con paramenti speciali in pietra, laterizi od altri materiali da costruzione; in tal caso i getti dovranno procedere contemporaneamente al rivestimento ed essere eseguiti in modo da consentire l'adattamento e l'ammorsamento.

Qualora la Società dovesse affidare i lavori di protezione superficiale dei conglomerati cementizi a ditte specializzate, nulla è dovuto all'Appaltatore per gli eventuali oneri che dovessero derivare dalla necessità di coordinare le rispettive attività.

22.7.17. Predisposizione delle armature ordinarie del c.a.

Per i tipi e le caratteristiche degli acciai costituenti le armature ordinarie si faccia riferimento all'articolo inerente i materiali e sistemi.

Nella posa in opera delle armature metalliche entro i casseri è prescritto tassativamente l'impiego di opportuni distanziatori del tipo approvato dalla Direzione Lavori. Al fondo delle cassaforme si useranno elementi prefabbricati in fibrocemento di sezione quadrata o triangolare, scegliendo prodotti di resistenza prossima a quella del conglomerato. Lungo le pareti verticali si dovranno impiegare distanziatori ad anello in materiale plastico;

L'uso dei distanziatori dovrà essere esteso anche alle strutture di fondazione armate. In assenza di tali distanziatori la Direzione Lavori non darà il proprio assenso all'inizio delle operazioni di getto.

Copriferro ed interferro dovranno essere dimensionati nel rispetto delle indicazioni contenute negli Eurocodici.

Le gabbie d'armatura dovranno essere, per quanto possibile, composte fuori opera; in ogni caso in corrispondenza di tutti i nodi dovranno essere eseguite legature doppie incrociate in filo di ferro ricotto di diametro non inferiore a 0,6 mm, in modo da garantire l'invariabilità della geometria della gabbia durante il getto.

In presenza di ferri d'armatura zincati od in acciaio inox, il filo utilizzato per le legature dovrà avere le stesse caratteristiche dell'acciaio da sottoporre a legatura.

L'Appaltatore, con riferimento alla UNI EN 13670, dovrà adottare inoltre tutti gli accorgimenti necessari affinché le gabbie mantengano la posizione di Progetto all'interno delle casseforme durante le operazioni di getto.

È a carico dell'Appaltatore l'onere della posa in opera delle armature metalliche, anche in presenza d'acqua o fanghi bentonitici, nonché i collegamenti equipotenziali.

Le connessioni fra le barre di armatura dovranno essere realizzate con le seguenti modalità:

- per sovrapposizione (di lunghezza adeguata alla sollecitazione ed al diametro effettivi), ponendo di norma le barre a contatto lungo tutto lo sviluppo della medesima oppure, soltanto qualora il progetto lo prescriva, lievemente distanziate tra loro (distanziamento massimo comunque pari al minore tra i diametri delle barre). Le caratteristiche geometriche della sovrapposizione devono essere garantite durante tutte le fasi di getto e costipazione del calcestruzzo, tramite legature con filo di ferro ricotto ed eventuali imbottiture. Qualora il caso o il progetto lo richiedano, le sovrapposizioni potranno essere rese più efficaci tramite idonea cerchiatura, da attuarsi con le modalità stabilite in progetto o dalla Direzione Lavori;
- saldature eseguite in conformità alle norme vigenti sulle saldature e previa verifica della compatibilità del metallo di apporto. Qualora il caso o il progetto lo richiedano, le saldature tra le barre potranno essere mediate da copri giunti realizzati con spezzoni di barra o altri idonei elementi in acciaio da carpenteria;
- manicotti filettati (dovranno in ogni caso essere utilizzati prodotti omologati e dotati delle opportune certificazioni);
- elementi speciali di connessione (dovranno in ogni caso essere utilizzati prodotti omologati e dotati delle opportune certificazioni).

22.7.18. Armatura di precompressione

Per i tipi e le caratteristiche degli acciai costituenti le armature di precompressione si faccia riferimento all'articolo inerente i materiali e sistemi.

L'Appaltatore dovrà attenersi rigorosamente alle prescrizioni contenute nei calcoli statici e nei disegni esecutivi per tutte le disposizioni costruttive, ed in particolare per quanto riguarda:

- il tipo, il tracciato, la sezione dei singoli cavi;
- le fasi d'applicazione della precompressione;
- la messa in tensione da uno o da entrambi gli estremi;
- le eventuali operazioni di ritaratura delle tensioni;
- i dispositivi speciali come ancoraggi fissi, mobili, intermedi, manicotti di ripresa, ecc.

Oltre a quanto prescritto dalle vigenti norme di legge si precisa che, nella posa in opera delle armature di precompressione, l'Appaltatore dovrà assicurarne l'esatto posizionamento mediante l'impiego di appositi supporti, realizzati per esempio con pettini in tondini d'acciaio. Per quanto riguarda l'iniezione nei cavi di precompressione, si rimanda all'articolo specifico del presente Capitolato.

Nel caso di utilizzo di cavi inguainati monotrefolo (a trefoli "viplati"), questi dovranno essere preferibilmente di tipo compatto e costituiti da trefoli in fili di acciaio a sezione poligonale e comunque dotati di bassa resistenza allo scorrimento durante la tesatura, controllati in stabilimento, rivestiti con guaina tubolare in polietilene ad alta densità, intasata internamente con grasso anticorrosivo ad alta viscosità, stabile nel tempo ed idoneo all'uso specifico.

Le caratteristiche dell'acciaio, i controlli, lo spessore della guaina dovranno essere conformi a quanto previsto nel presente Capitolato e a quanto riportato negli elaborati di progetto.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori il sistema proposto per l'ingrassaggio, l'infilaggio e l'eventuale sostituzione dei trefoli.

Per gli ancoraggi è ammesso solo l'utilizzo di prodotti omologati.

Gli ancoraggi terminali dell'armatura di precompressione dovranno essere prefabbricati ed omologati, nonché conformi ai disegni di progetto. Il loro impiego dovrà avvenire ad opera di personale specializzato e secondo le istruzioni del produttore.

Per i cavi inguainati monotrefolo le piastre di ripartizione dovranno essere in acciaio zincato, a tenuta stagna; i cappellotti di protezione terminali dovranno essere zincati e provvisti di guarnizione in gomma antiolio, da calzare sui cilindretti e fissare con viti zincate ai terminali riempiti con grasso dopo la tesatura dei trefoli.

Non si potrà procedere al getto del calcestruzzo prima che la Direzione Lavori abbia controllato accuratamente la geometria, il corretto impiego, la stabilità del posizionamento e l'integrità delle armature di precompressione, dei loro ancoraggi e delle guaine.

22.8. Magroni e malte

22.8.1. Magroni

Prima di effettuare qualsiasi getto di calcestruzzo di fondazione, dovrà essere predisposto sul fondo dello scavo, dopo aver eseguito la pulizia ed il costipamento dello stesso secondo le modalità previste dal presente Capitolato, uno strato di calcestruzzo magro avente la funzione di piano di appoggio livellato e di cuscinetto isolante contro l'azione aggressiva del terreno. Lo spessore dello strato sarà desunto dai documenti di progetto.

In corso d'opera si eseguiranno, a richiesta della Direzione Lavori, prove di controllo a compressione su due cubetti, aventi lato 15 cm, per la determinazione, presso un laboratorio qualificato, della resistenza media a compressione (R_m) a 28 giorni. La frequenza delle prove sarà di norma pari a una ogni 500 m³ di magrone prodotto da ciascun impianto di betonaggio.

22.8.2. Malta di livellamento

Sono malte confezionate con sabbia, acqua e cemento nelle dovute proporzioni, utilizzate per la formazione di piani di appoggio, con le tolleranze richieste dal progetto.

Le dimensioni degli inerti (sabbia) saranno di norma comprese tra 0.8 e 2.0 mm. La composizione della malta, in assenza di diversa indicazione, sarà di 1 m³ di inerte per 500 kg/m³ di cemento Portland normale. La quantità di acqua sarà quella necessaria per ottenere una malta plastica, idonea a riempire perfettamente le eventuali tasche per bulloni e/o altri inserti e gli spazi tra il calcestruzzo e le piastre di appoggio delle strutture soprastanti.

Prima di effettuare la posa in opera della malta di livellamento, le superfici dovranno essere accuratamente pulite.

22.8.3. Malte speciali per inghisaggi

Le malte di livellamento speciali sono di norma ottenute miscelando acqua ad opportuni miscugli premiscelati, in modo da ottenere malte a ritiro compensato ed elevato grado di fluidità, da utilizzare per inghisaggi di strutture, o altri elementi da congiungere, evitando fessure da ritiro e l'eventuale microdistacco dalle parti da fissare.

Il prodotto premiscelato, le cui schede tecniche dovranno essere sottoposte a preventiva approvazione da parte della Direzione Lavori, avrà granulometria adeguata agli spessori di posa in opera delle malte e sarà addizionato con acqua nelle proporzioni indicate dal fornitore.

Qualora previsto nelle prescrizioni del progetto o richiesto dalla Direzione Lavori, le malte saranno sottoposte al controllo della resistenza meccanica, da eseguirsi in conformità alle norme vigenti ed alle opportune stagionature.

Nel caso che nel progetto non siano prescritti valori diversi, la malta deve avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione $\geq 80 \text{ N/mm}^2$;
- resistenza flessione $\geq 10 \text{ N/mm}^2$;
- coefficiente di permeabilità $\leq 1 \times 10^{-12}$;
- resistenza allo sfilamento, dopo 28 giorni $\geq 20 \text{ N/mm}^2$.

22.9. Calcestruzzo reodinamico (o autocompattante)

22.9.1. Generalità

Il calcestruzzo reodinamico, denominato anche "autocompattante" o *Self Compacting Concrete* (SCC), ha la caratteristica di scorrere molto facilmente ed espellere l'aria senza richiedere vibrazione, riempiendo per gravità tutto il volume del getto.

Risulta pertanto particolarmente indicato:

- per ottenere una elevata compattezza (massa volumica) e assenza di vespai, con un'ottima facciavista,
- per casseforme sottili e di forma complessa,
- per manufatti molto armati,
- per eseguire da una sola estremità getti di lunghezza elevata difficilmente accessibili.
- per ridurre i tempi di scarico e lavorazione.

L'adozione di calcestruzzo autocompattante richiede l'impiego di casseri dimensionati in modo da resistere alla spinta idrostatica di un battente di calcestruzzo fluido pari alla parete della cassaforma.

Le principali norme specifiche di riferimento per questa tipologia di calcestruzzo sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 206	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI EN 12350-8	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 8: Calcestruzzo autocompattante - Prova di spandimento e del tempo di spandimento
UNI EN 12350-9	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 9: Calcestruzzo autocompattante - Prova del tempo di efflusso
UNI EN 12350-10	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 10: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante scatola ad L
UNI EN 12350-11	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 11: Calcestruzzo autocompattante - Prova di segregazione mediante setaccio
UNI EN 12350-12	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 12: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante anello a J
UNI 11040	Calcestruzzo autocompattante - Specifiche, caratteristiche e controlli
UNI 11044	Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco - Determinazione dello scorrimento confinato mediante scatola ad U

22.9.2. Caratteristiche

Le caratteristiche del calcestruzzo reodinamico saranno di norma le seguenti:

- dosaggio minimo di cemento non inferiore al valore previsto dalla UNI 11104,
- rapporto A/C non superiore a quello previsto dalla UNI 11104,
- *filler* calcareo o cenere volante, dosaggio $\geq 120 \text{ kg/m}^3$,
- contenuto di fini $\geq 520 \text{ kg/m}^3$ (parti fini = cemento + componenti $< 100 \mu\text{m}$),
- rapporto in volume acqua/parti fini = $0.95 \div 1.03$,
- aggregati aventi $D_{\text{max}} \leq 20 \text{ mm}$;
- superfluidificante specifico per calcestruzzo reodinamico a base di polycarbossilati eteri capace di una riduzione d'acqua del 20 - 25% rispetto al calcestruzzo tal quale non additivato di pari lavorabilità, dosato al $0.8 \div 1.5$ litri per 100 kg delle parti fini,
- agente viscosizzante specifico, costituito tassativamente da una soluzione acquosa di macropolimeri a base di cellulosa modificata, dosaggio $0.8 \div 1.5$ litri per 100 kg delle parti fini,
- mantenimento della lavorabilità del calcestruzzo per almeno 60 minuti anche a $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ con riduzione massima di 5 cm del valore ottenuto con lo *slump-flow test*,
- *slump-flow test* secondo UNI 11041, tra 600 e 700 mm,
- *V-funnel test*, UNI 11042, tra 8 e 12 s,

- $U_{\text{box}} \leq 30$ mm (prova da eseguire secondo UNI 11044 almeno in fase di qualifica della miscela).

22.10. Calcestruzzi leggeri

22.10.1. Generalità

Possono essere utilizzati calcestruzzi leggeri (o anche “alleggeriti”) “strutturali” per parti di strutture in conglomerato cementizio armato o non armato aventi funzioni statiche significative, e calcestruzzi leggeri “non strutturali” negli altri casi (tipicamente per riempimenti di cavità facilmente rimovibili, formazione di massetti per coibentazione, ecc.).

Le norme principali e specifiche che devono essere osservate, per getti in opera e prodotti prefabbricati, sono le seguenti (si veda anche l’articolo specifico su materiali e sistemi):

Norma	Titolo
UNI EN 771-3	Specifiche per elementi di muratura - Parte 3: Elementi per muratura di calcestruzzo vibrocompreso (aggregati pesanti e leggeri)
UNI EN 991	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC). Determinazione delle dimensioni di componenti prefabbricati armati
UNI EN 992	Calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC). Determinazione della massa volumica a secco.
UNI EN 1352	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione del modulo di elasticità statico a compressione
UNI EN 1354	Determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo alleggerito con struttura aperta
UNI EN 1355	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione dello scorrimento viscoso a compressione
UNI EN 1356	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Prova di carico trasversale su componenti prefabbricati armati
UNI EN 1520	Componenti prefabbricati armati di calcestruzzo alleggerito con struttura aperta con armatura strutturale o non- strutturale
UNI EN 1521	Calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a flessione
UNI EN 1737	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio di giunti saldati per reti o gabbie di armatura per elementi prefabbricati
UNI EN 1740	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza di elementi prefabbricati armati sottoposti a carico longitudinale predominante (elementi verticali)
UNI EN 1741	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio dei giunti tra elementi prefabbricati in presenza di forze agenti fuori dal piano degli elementi
UNI EN 1742	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio tra strati di elementi multistrato
UNI EN 13055-1	Aggregati leggeri - Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione
UNI EN 15435	Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito - Proprietà e prestazioni dei prodotti
UNI 7548-1	Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi. Definizione e classificazione

Norma	Titolo
UNI 7548-2	Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi. Determinazione della massa volumica

22.10.2. Calcestruzzo leggero strutturale

Ove richiesto in progetto, si farà uso di conglomerato cementizio leggero a struttura chiusa ottenuto sostituendo tutto o in parte l'inerte ordinario con aggregato leggero artificiale, costituito da argilla o scisti espansi. Questo calcestruzzo sarà caratterizzato da una classe di massa volumica a 28 gg secondo la Tabella L.

La resistenza caratteristica a compressione a 28 gg deve risultare non inferiore a 15 N/mm² e minore di 25 N/mm² (tipo designato LC2) ovvero uguale o maggiore di 25 N/mm² (tipo designato LC3). La resistenza verrà controllata con la stessa procedura prevista per il calcestruzzo di massa volumica normale.

Anche per questo conglomerato devono essere soddisfatte le prescrizioni relative alla durabilità, in particolare per quanto concerne il rapporto acqua/cemento ed il dosaggio di cemento.

In caso di pompaggio è necessario prevedere una presaturazione dell'aggregato allo scopo di prevenire assorbimento sotto pressione dell'acqua di impasto.

L'additivo fluidificante impiegato e la composizione della miscela permetteranno di ottenere un calcestruzzo di consistenza S4 esente da fenomeni di galleggiamento dell'aggregato leggero. Questa caratteristica verrà controllata preparando provini alti almeno 20 cm, da rompere alla brasiliana, in modo da poter verificare l'omogeneità dell'aggregato alle varie altezze.

Tabella L - Classi di massa volumica del calcestruzzo leggero strutturale

Classe di massa volumica	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Intervallo di massa volumica [kg/m ³]	>1200 e ≤ 1400	> 1400 e ≤ 1600	> 1600 e ≤ 1800	> 1800 e ≤ 2000

22.10.3. Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare

Questi tipi di conglomerato cementizio, da utilizzare per riempimenti di scavi facilmente rimovibili, strati di coibentazione, ecc., aventi massa volumica a secco da 300 a 1000 kg/m³, resistenza a compressione da 1 a 10 N/mm² e conducibilità termica massima da 0.085 a 0.15 kcal/mh°C, verranno ottenuti mediante agenti schiumogeni e dosaggi di cemento di almeno 330 kg/m³, di cemento tipo 32.5 o 42.5. Il materiale dovrà avere una resistenza minima di 1 N/mm², e una stabilità ed omogeneità del contenuto d'aria, dal punto di miscelazione fino alla posa in opera.

In funzione dei requisiti fissati dal progetto, si dovranno eseguire prove di qualifica della miscela.

Il calcestruzzo dovrà essere prodotto con attrezzatura automatica dotata di sistema computerizzato per la regolazione della miscelazione e della produzione.

In alternativa il calcestruzzo leggero non strutturale si otterrà impiegando come aggregato sferette di polistirolo espanso.

22.11. Calcestruzzo proiettato

22.11.1. Generalità

Il rivestimento di pareti di scavo, pendici o pozzi di fondazione, paratie, rivestimenti di prima fase in galleria, ecc., potrà essere eseguito con conglomerato cementizio proiettato, denominato anche "spritzz beton", "sprayed concrete" o, nel caso di utilizzo di malta cementizia, anche "gunite". Nel seguito sarà anche indicato con la sigla "CP".

Le principali norme specifiche da osservare, oltre quelle generali sul calcestruzzo semplice o armato, sono le seguenti:

Norma	Titolo
-------	--------

Norma	Titolo
UNI EN 934-5	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 5: Additivi per calcestruzzo proiettato - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura
UNI EN 14487-1	Calcestruzzo proiettato - Parte 1: Definizioni, specificazioni e conformità
UNI EN 14487-2	Calcestruzzo proiettato - Parte 2: Esecuzione
UNI EN 14488-1	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 1: Campionamento sul calcestruzzo fresco e sul calcestruzzo indurito
UNI EN 14488-2	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 2: Resistenza alla compressione del calcestruzzo spruzzato giovane
UNI EN 14488-3	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 3: Resistenze alla flessione (di primo picco, ultima e residua) di provini prismatici di calcestruzzo rinforzato con fibre
UNI EN 14488-4	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 4: Aderenza per trazione diretta sulle carote
UNI EN 14488-5	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 5: Determinazione della capacità di assorbimento di energia di piastre di prova rinforzate con fibre
UNI EN 14488-6	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 6: Spessore del calcestruzzo su un supporto
UNI EN 14488-7	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 7: Contenuto di fibre nel calcestruzzo rinforzato con fibre

22.11.2. Tipi di calcestruzzo proiettato

La consistenza delle miscele di calcestruzzo proiettato per via umida verrà qualificata nelle classi della norma UNI EN 206: S4 ed S5.

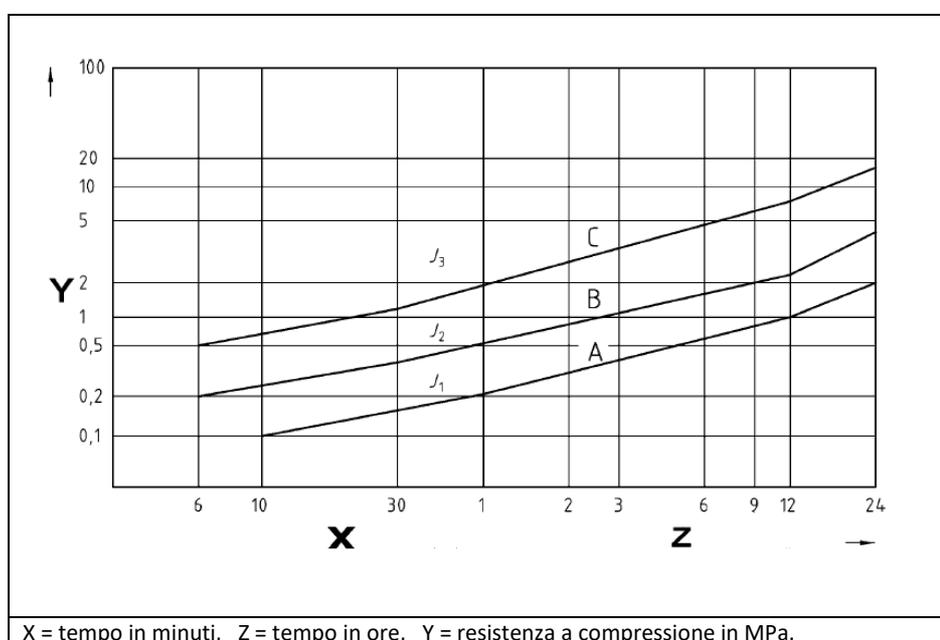


Figura 1 – Classi di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane

Per il CP dovranno essere rispettate le prescrizioni per la durabilità (in termini di rapporto acqua/cemento, dosaggio minimo di cemento, resistenza minima, e tipo di cemento) in funzione della classe di esposizione secondo UNI 11104.

La resistenza a compressione del CP dovrà essere specificata in classi di resistenza in funzione dell'impiego previsto, in accordo alla UNI EN 206. La classe di resistenza di un calcestruzzo proiettato si indica con la sigla CP seguita dal valore di resistenza cubica che lo caratterizza (es. CP16).

Le resistenze di riferimento dei calcestruzzi proiettati non sono valutate su provini confezionati, bensì su provini estratti per carotaggio, in opera o da pannelli di prova, e sono espresse in termini di resistenza caratteristica cilindrica ed indicate come f_{ck-cp} . Le carote devono avere altezza pari al diametro; questo deve essere sempre maggiore ad almeno 3 volte la massima dimensione degli inerti di pezzatura maggiore con un minimo di 8 cm. Per la misura e la valutazione dei risultati si procederà come indicato dalle norme indicate.

Inoltre il calcestruzzo proiettato potrà essere classificato in funzione della velocità di indurimento, nelle classi di resistenza del calcestruzzo giovane: J1, J2 o J3 in accordo con la Figura 1. L'assegnazione alla classe J1 si richiede che almeno 3 valori di resistenza cadano tra le curve A e B, per la classe J2 tra le curve B e C e al di sopra della curva C per il calcestruzzo proiettato classe J3.

Le prove di resistenza sul calcestruzzo proiettato giovane si eseguiranno con le modalità nel seguito specificate.

22.11.3. Composizione del calcestruzzo proiettato

Il CP verrà confezionato con aggregati d'appropriata granulometria continua, ottenuto con almeno due classi granulometriche e di dimensioni non superiori a 12,5 mm, tali da poter essere proiettati ad umido o a secco con le normali attrezzature da "spritz", salvo diverse prescrizioni progettuali. Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,5, il dosaggio di cemento non inferiore a 450 kg/m³. Per ottenere questo risultato si dovrà impiegare un additivo riduttore d'acqua a rilascio progressivo a base di carbossilato etere conforme alle UNI EN 934-2, UNI EN 480 (1-2) e UNI EN 10765, capace di una riduzione d'acqua a pari consistenza di almeno il 20%.

La miscela dovrà avere una consistenza S4 o S5 con un mantenimento della lavorabilità di almeno 60'. Se la temperatura esterna è maggiore di 25 °C è ammessa, dopo un'ora dalla miscelazione, una riduzione dello *slump* non superiore al 15%.

Il calcestruzzo verrà additivato con acceleranti alcali-free in misura mediamente dell'8% ma sempre minore del 12% in peso del cemento.

Detti acceleranti dovranno essere costituiti da una soluzione acquosa (perciò non contenere prodotto solido sospeso) e dovranno avere:

- un contenuto di alcali (Na_2O+K_2O) < 0,1% in peso,
- un tenore di cloruro (Cl^-) < 0,1%,
- una densità di ~ 1,36 kg/l,
- non dovranno essere caustici e dovranno avere un pH di 3 ± 1 .

Ai fini della coesione del calcestruzzo, della durabilità dei manufatti e per evitare eventuali fenomeni di dilavamento, tutto il CP verrà additivato con fumo di silice in misura da 5 a 8% in peso sul cemento.

22.11.4. Qualifica e controlli

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione dei Lavori:

- una documentazione in merito alla qualifica e all'esperienza del lancista;
- la descrizione dell'equipaggiamento che intende impiegare per miscelare ed applicare il CP, includendo istruzioni, raccomandazioni e prestazioni attese fornite dal costruttore;
- una descrizione dei metodi che intende attuare per porre in opera il calcestruzzo e per controllarne lo spessore, garantendo le volute posizioni e allineamenti.

La qualifica preliminare del conglomerato cementizio, le prove sui materiali e sul conglomerato fresco, dovranno essere effettuati conformemente alle presenti Norme. La composizione del conglomerato dovrà essere sottoposta dall'Appaltatore alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.

I prelievi di controllo della miscela base (conglomerato non accelerato) andranno eseguiti con frequenza giornaliera per ogni singola opera o fase di lavorazione sottoposta alla lavorazione, il valore di resistenza sarà determinato sulla media di due provini cubici, di lato 15 cm.

Il controllo del prodotto finito, incluso lo spessore, sarà eseguito in opera mediante carotaggi; la resistenza a compressione sarà determinata sulla media di due prelievi (carote) per ogni giorno di getto d'ogni opera interessata alla lavorazione, prelevati secondo UNI 6131 e provati secondo UNI 6132.

Per normalizzare i risultati ottenuti su carote aventi rapporti h/d diversi da 1 si prenderà in considerazione la snellezza $l = h/d$. La stima della resistenza cubica R_c (MPa) del CP a partire dalla resistenza compressione sui cilindri f_{car} (MPa) dovrà essere calcolata secondo la seguente formula:

$$R_c = f_{car} \frac{2,5}{1,5 + 1/\lambda}$$

Al fine di tenere nella dovuta considerazione l'effetto di disturbo indotto nel calcestruzzo, il valore di R_c dovrà essere incrementato del 20%.

In base ai risultati ottenuti, la resistenza cubica caratteristica a compressione (R_{ck}) è stimata secondo quanto indicato nella normativa UNI EN 206.

Ove sia richiesta la valutazione delle resistenze del calcestruzzo giovane si dovrà adottare il metodo dello sparo ed estrazione di chiodi tramite l'utilizzo di:

- Pistola di sicurezza spara chiodi tipo HILTI DX 450 L o equivalente, con pistone 45 M6-8L, preselezionata in posizione 1, dotata di cartucce esplosive (propulsori tipo HILTI 6,8/11 M di colore verde o equivalenti) d'intensità nota, codice di potenza 02, in grado di fornire al chiodo un'energia che conferisca al chiodo stesso una velocità iniziale compresa tra i 50 ed i 70 m/s (che deve essere dichiarata dal costruttore);
- Chiodi (prigionieri) (tipo HILTI M6-8-52 D12 e tipo HILTI M6-8-72 D12 o equivalenti) filettati (M6-8) in acciaio al carbonio HRC 55.5 ± 1 , diametro 37 mm e con rivestimento in zinco di $5 \div 13$ m, la lunghezza del gambo dei chiodi è prefissata ed è pari a 52 o 72 mm;
- Apparecchio estrattore (tipo HILTI tester 4 o equivalente) in grado di misurare la forza d'estrazione con la tolleranza di ± 100 N; tale apparecchiatura dovrà essere corredata della curva di taratura che mette in relazione il valore letto del carico col valore corretto del carico medesimo.

Le modalità d'esecuzione della prova e le tabelle di correlazione per l'estrapolazione dei dati saranno indicate dalla Direzione Lavori e saranno comunque conformi a quanto riportato nella UNI 10834, "Calcestruzzo proiettato".

Le resistenze dovranno essere quelle di Progetto e comunque non inferiori a quelle della classe di resistenza J1, 2 o 3 con la tolleranza di - 1 MPa.

I controlli andranno eseguiti con frequenza giornaliera ed il valore di resistenza sarà determinato sulla media d'otto chiodi o di due provini (carotaggi) per ogni controllo.

Per resistenze minori di 2 MPa si farà uso del penetrometro descritto in UNI 7123.

Subito prima della proiezione del conglomerato, dovranno essere confezionati per ogni giorno di getto, n. 2 provini di calcestruzzo privo d'accelerante (miscela base) al fine di accertare l'effettivo abbattimento delle resistenze causato dall'aggiunta dello stesso; i provini saranno sottoposti a controllo così come previsto dal presente Capitolato.

Il controllo, ai fini della contabilizzazione, della resistenza caratteristica sarà eseguito esclusivamente sulla scorta dei risultati della rottura a compressione dei carotaggi eseguiti in opera. Qualora le resistenze alle diverse maturazioni fossero inferiori a quanto previsto saranno applicate delle penalità, conformemente al punto precedente riguardante le non-conformità.

Le prove per la determinazione della resistenza stimata R_{stim} saranno eseguite dal personale tecnico della Direzione Lavori in contraddittorio con il personale tecnico dell'Appaltatore.

Le prove di rottura a compressione andranno eseguite presso Laboratori indicati dalla Direzione Lavori.

Quando gli spessori rilevati dalla misurazione dei prelievi eseguiti in opera, fossero inferiori a quelli minimi previsti, la Direzione Lavori non contabilizzerà la lavorazione fino a che non siano stati ripristinati gli spessori minimi progettualmente richiesti.

22.12. Calcestruzzo fibrorinforzato

Il rivestimento in conglomerato cementizio proiettato o il calcestruzzo utilizzato in particolari casi nei quali necessiti una maggiore duttilità e/o resistenza a trazione diffusa, in relazione alle previsioni di progetto potrà essere armato con rete in barre d'acciaio a maglie elettrosaldate o, in alternativa, con fibre d'acciaio.

Per quanto riguarda le fibre si veda anche lo specifico punto dell'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi. Le principali norme specifiche da osservare sono comunque le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 14650	Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Regole generali per il controllo di produzione in fabbrica del calcestruzzo con fibre di acciaio
UNI EN 14651	Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]
UNI EN 14721	Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione del contenuto di fibre nel calcestruzzo fresco e nel calcestruzzo indurito
UNI EN 14889-1	Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità
UNI 11037	Fibre di acciaio da impiegare nel confezionamento di conglomerato cementizio rinforzato
UNI 11039-1	Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio - Definizioni, classificazione e designazione
UNI 11039-2	Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio - Metodo di prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità
CNR-DT 204/2006	Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato
Progetto di norma UNI U73041440	Progettazione, esecuzione e controllo degli elementi strutturali in calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio

Le fibre d'acciaio per la confezione del conglomerato armato con fibre dovranno essere realizzate con filo ottenuto per trafilatura d'acciaio a basso contenuto di carbonio, del diametro di 0,5 mm circa, avente tensione di rottura per trazione $f > 1200$ MPa, tensione di scostamento dalla proporzionalità $f_{p,0,2} > 900$ MPa ed allungamento minimo $< 2,0\%$. Le fibre dovranno essere lunghe 30 mm, rapporto d'aspetto $(L/D) = 60$ ed avere le estremità sagomate per un loro migliore ancoraggio ed intreccio nella massa del calcestruzzo.

Le fibre verranno aggiunte all'impianto con adatti dispositivi di distribuzione.

Per agevolare l'uniforme distribuzione delle fibre nell'impasto, le stesse dovranno essere preferibilmente confezionate in pacchetti di più fibre affiancate, tra loro unite con speciale collante rapidamente solubile nell'acqua d'impasto e verificando la dispersione omogenea nel calcestruzzo. Ove si riscontrasse l'espulsione delle fibre dall'impasto con la formazione di "palle di fibre", si sospenderà la lavorazione finché l'inconveniente non sia stato eliminato.

La quantità di fibre d'acciaio da impiegare dovrà essere quella prevista in progetto. Le stesse dovranno essere incorporate nel conglomerato già impastato avendo cura che la loro immissione e l'ulteriore miscelazione dell'impasto avvengano immediatamente prima della posa in opera.

Qualora il conglomerato fosse prescritto in progetto come fibrorinforzato, il *dossier* di qualifica della miscela dovrà riportare i valori della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità D0 e D1, misurati con il metodo descritto dalla UNI 11039-2. La direzione dei lavori potrà richiedere la verifica di queste caratteristiche in corso d'opera.

L'eventuale rete d'armatura, posta in opera preliminarmente ed inglobata nel conglomerato in fase di proiezione, dovrà essere conforme alle prescrizioni delle presenti Norme. L'operatore dovrà dirigere il getto in modo da evitare la formazione di "ombre", ovvero vuoti tra l'armatura e il substrato.

Qualora la classe di resistenza a 28 gg risulti non conforme, sarà applicata una penalità pari al 20% del prezzo unitario al metro cubo sull'intera produzione giornaliera desunta dal giornale dei lavori e/o dai tabulati di stampa prodotti dall'impianto di betonaggio.

Quando gli spessori rilevati dalla misurazione dei prelievi eseguiti in opera, fossero inferiori a quelli minimi previsti, la Direzione Lavori non contabilizzerà la lavorazione fino a che non siano stati ripristinati gli spessori minimi progettualmente richiesti.

22.13. Calcestruzzo ad alta resistenza

Ove il progetto preveda l'impiego di conglomerato avente un'elevata classe di resistenza ($55 < R_{ck} \leq 85$ MPa), si dovrà fare riferimento alle Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sia per il calcestruzzo strutturale (fino a 75 MPa), sia per il calcestruzzo strutturale ad alta resistenza (da 75 a 85 MPa).

Oltre alla documentazione di prequalifica l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione dei Lavori uno studio preliminare nel quale venga dettagliatamente descritta la metodologia di *mix-design* utilizzata e i criteri di scelta dei vari materiali.

La produzione dovrà effettuarsi solo dopo che la resistenza caratteristica e tutte le caratteristiche chimiche, meccaniche e fisiche che influiscono sulla resistenza e durabilità del calcestruzzo siano state accertate.

La produzione dovrà in questo caso seguire specifiche e rigorose procedure per il controllo di qualità.

22.14. Elementi prefabbricati

22.14.1. Generalità

L'impiego di manufatti totalmente o parzialmente prefabbricati richiede la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori, che potrà essere rilasciata solo dopo aver esaminato la documentazione prevista dall'art. 9 della Legge 1086 (predisposta dall'Appaltatore) e verificato la previsione d'utilizzo del manufatto prefabbricato e del suo organico inserimento nel progetto.

Per le normative da osservare, si vedano le elencazioni già inserite in precedenza e l'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi. In ogni caso, poiché le citazioni di norme riportate nel presente Capitolato non esauriscono la casistica dei prodotti prefabbricati, dovrà farsi riferimento, per i casi non contemplati, al catalogo ufficiale dell'UNI.

22.14.2. Prefabbricati prodotti in stabilimento

Gli elementi costruttivi prefabbricati devono essere prodotti attraverso un processo industrializzato, avvalendosi di tecnologie, maestranze, attrezzature ed impianti idonei e perfettamente organizzati.

In particolare deve essere presente ed operante un sistema permanente di controllo della produzione in stabilimento, che deve assicurare il mantenimento di un adeguato livello di affidabilità nella produzione del conglomerato cementizio, nell'impiego dei singoli materiali costituenti e nella conformità del prodotto finito.

Il produttore dovrà preferibilmente operare secondo un sistema di gestione della qualità ai sensi della norma ISO 9001, certificato da parte di un organismo terzo indipendente. In alternativa dovrà dimostrare di avere implementato nello stabilimento un efficace sistema di gestione della qualità.

È ammesso l'impiego di prefabbricati realizzati con calcestruzzo fibrorinforzato.

Il produttore dovrà sottoporre all'approvazione del direttore dei lavori un *dossier* di qualifica in cui venga descritto il processo produttivo e dettagliate le caratteristiche del calcestruzzo e dei materiali impiegati. Dovrà inoltre consegnare una campionatura che costituirà il riferimento per la qualità della facciavista dei manufatti.

Il Direttore dei Lavori dovrà provvedere, con la frequenza che riterrà opportuna, ad eseguire controlli sui prodotti consegnati, in particolare in merito alla documentazione di stabilimento e al rispetto del copriferro e della facciavista.

Sarà facoltà del Direttore dei lavori provvedere direttamente all'esecuzione di controlli sulla resistenza del calcestruzzo usato in produzione, con le stesse modalità previste per i controlli di accettazione. Inoltre potranno essere eseguite a campione prove di resistenza del calcestruzzo nel manufatto, mediante carotaggio, come anche previsto in precedenza.

22.14.3. Produzione di prefabbricati a piè d'opera

Anche in questo caso gli elementi costruttivi prefabbricati devono essere prodotti attraverso un processo industrializzato, avvalendosi di tecnologie, maestranze, attrezzature ed impianti idonei e perfettamente organizzati.

In particolare e fatto salvo il caso di produzione di manufatti singoli o in piccolissima serie, deve essere presente ed operante un sistema permanente di controllo della produzione in cantiere, che deve assicurare il mantenimento di un

adeguato livello di affidabilità nella produzione del conglomerato cementizio, nell'impiego dei singoli materiali costituenti e nella conformità del prodotto finito.

Il produttore dovrà preferibilmente operare secondo un sistema di gestione della qualità ai sensi della norma ISO 9001, certificato da parte di un organismo terzo indipendente. In alternativa dovrà dimostrare di avere implementato nello stabilimento un efficace sistema di gestione della qualità.

Il Direttore dei lavori dovrà verificare l'applicazione delle prescrizioni precedenti.

Dovrà essere controllata la conformità delle casseforme alle specifiche di progetto ed alle relative tolleranze.

Nel caso di produzione di manufatti prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso ad armatura post-tesa, si dovranno effettuare controlli nella conformità alle specifiche di progetto relativamente a:

- tipo tracciato e sezione di ogni cavo di precompressione,
- dispositivi speciali come: ancoraggi, manicotti di ripresa e altri,
- posizione numero dei tubi di sfiato per le guaine,
- identificazione e certificazione del lotto e provenienza dei cavi.

La messa in tensione delle armature dovrà avvenire mediante apparecchiature qualificate, seguendo una procedura approvata dalla Direzione dei Lavori. Si dovranno registrare i tassi di precompressione e gli allungamenti totali o parziali di ogni cavo e, più in generale, saranno valide in quanto applicabili tutte le prescrizioni del presente Capitolato in ordine alle opere in calcestruzzo armato precompresso.

22.15. Protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti

Di norma la Stazione Appaltante provvede direttamente, tramite Appaltatore specializzato, alla fornitura e posa in opera degli impianti per la protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti.

Qualunque sia la tipologia dell'impianto l'Appaltatore dovrà tenere conto, nei propri programmi di lavoro, dei tempi occorrenti per la loro fornitura e posa in opera e dovrà coordinarsi in tal senso con l'Appaltatore specializzato. L'Appaltatore inoltre, se espressamente previsto, resta obbligato a prestare assistenza alla posa in opera degli impianti.

Per il caso in cui tali impianti siano compresi tra le opere appaltate, l'Appaltatore è tenuto ad uniformarsi alle prescrizioni di progetto ed a realizzarli con materiali e tecnologie di prima qualità.

22.16. Allegato 1 - Classi di esposizione secondo UNI 11104

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
2 Corrosione indotta da carbonatazione Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2.
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e vie-dotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto alla saledine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti^{*)}		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.
6 Attacco chimico^{**)}		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali.
*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione; - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.		
**) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.		

22.17. Allegato 2 – Guida alla scelta delle classi di esposizione per manufatti autostradali

IMPIEGO DEI CONGLOMERATI	NOTE	CLASSE DI ESPOSIZIONE			CLASSE DI RESISTENZA
		DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE AMBIENTE	ESEMPI DI SITUAZIONI	
Impalcati e pulvini di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia e ponticelli	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo.	35 MPa con aerante
Pile e spalle di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia e ponticelli	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Barriere e parapetti	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Muri di sostegno, sottoscarpa e controripa	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Tombini scatolari	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo	40 MPa
Cunette, cordoli, pavimentazioni	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo.	35 MPa con aerante
Imbocchi di gallerie naturali e artificiali (primi 50 ml dall'imbocco)	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	40 MPa
	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa

IMPIEGO DEI CONGLOMERATI	NOTE	CLASSE DI ESPOSIZIONE			CLASSE DI RESISTENZA
		DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE AMBIENTE	ESEMPI DI SITUAZIONI	
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Rivestimenti di gallerie naturali e artificiali (con guaina) esclusi i 50 ml dagli imbocchi	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente umido	XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.	35 MPa
CP e rivestimenti di gallerie naturali e artificiali (senza guaina) esclusi i 50 ml dagli imbocchi	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
Arco rovescio di gallerie	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
	Ambiente umido	XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.	35 MPa
Fondazioni armate e non armate (plinti, pali, diaframmi, ecc.)	Ambiente bagnato	XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Molte fondazioni	30 MPa
	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
Magroni di pulizia, riempimento, livellamento	-	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa	15 MPa

23. Iniezione nei cavi di precompressione

23.1. Boiacche cementizie per le iniezioni nei cavi di strutture in c.a.p. nuove

23.1.1. Generalità

Nelle strutture in conglomerato cementizio armato precompresso con cavi scorrevoli, allo scopo di assicurare l'aderenza e soprattutto proteggere i cavi dalla corrosione, è necessario che le guaine siano iniettate con boiaccia di cemento fluida pompabile ed a ritiro compensato (è richiesto un leggero effetto espansivo).

Tale boiaccia, preferibilmente già pronta all'uso (aggiunta di sola acqua alla miscelazione) oppure ottenuta da una miscela di cemento, additivo specifico in polvere dosato in ragione del 5÷6% sul peso del cemento ed acqua, non dovrà contenere cloruri né polvere d'alluminio, né coke, né altri agenti che provocano espansione mediante formazione di gas capaci di innescare fenomeni di corrosione. In particolare, l'additivo specifico contenuto sia nel prodotto pronto all'uso che in quello usato nella preparazione della boiaccia in cantiere dovrà conferire caratteristiche di elevata fluidità, espansione di origine chimica (per es. espansivo a base di ossido di calcio) e assenza di *bleeding*.

Le principali norme specifiche da osservare sono le seguenti, già in precedenza riportate:

Norma	Titolo
UNI EN 445	Boiaccia per cavi di precompressione - Metodi di prova
UNI EN 446	Boiaccia per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiaccia
UNI EN 447	Boiaccia per cavi di precompressione - Requisiti di base

23.1.1. Caratteristiche della boiaccia

Con riferimento alle vigenti norme, si prescrive quanto segue:

- 1 - La fluidità della boiaccia d'iniezione dovrà essere misurata per ogni impasto all'entrata delle guaine e per ogni guaina all'uscita; l'iniezione continuerà finché la fluidità della boiaccia in uscita sarà paragonabile a quella in entrata (± 3 secondi sul tempo di scolo del cono, purché non si scenda al di sotto dei 15 secondi).

Si dovrà provvedere con appositi contenitori affinché la boiaccia di sfrido non sia scaricata senza alcun controllo sull'opera o attorno ad essa. Una più accurata pulizia delle guaine ridurrà l'entità di questi sfridi;

- 2 - È richiesto l'uso d'acqua potabile per l'impasto in ragione del $32\div 36\%$ in peso rispetto al peso del cemento;
- 3 - L'impastatrice dovrà essere del tipo ad alta velocità, almeno $1500\div 2000$ giri/min.

È proibito l'impasto a mano.

Il tempo di mescolamento sarà fissato di volta in volta in base ai valori del cono di Marsh modificato (l'apparecchio dovrà essere costruito in acciaio inossidabile e avere la forma e le dimensioni che seguono: cono con diametro di base 15,5 cm, altezza 29 cm; ugello cilindrico diametro interno 1,0 cm, altezza 6 cm, riempimento fino a 1 cm dal bordo superiore).

La fluidità della boiaccia sarà determinata misurando il tempo totale di scolo del contenuto del cono, diviso per 1.77, e sarà ritenuta idonea quando detto tempo sarà compreso tra 15 e 25 s subito dopo l'impasto e tra 25 e 35 s a 30 min dall'impasto, operando alla temperatura di 20 °C);

- 4 - La ritenzione d'acqua a cinque minuti dall'impasto dovrà essere superiore al 90% (prova secondo la Norma ASTM C 91 dopo 5 minuti);
- 5 - L'essudazione non dovrà essere superiore allo 0,2% del volume (prova secondo la norma UNI 8998);
- 6 - Il ritiro dovrà essere assente e l'espansione dovrà essere almeno di 400 μ m di lunghezza a due giorni (prova secondo la norma UNI 8147) indipendentemente da tipo e classe di cemento impiegato;
- 7 - Il tempo d'inizio presa non dovrà essere inferiore a tre ore (a 30 °C);
- 8 - L'aderenza della boiaccia all'acciaio dovrà risultare di almeno 15 MPa a 7 gg e di almeno 17 MPa a 28 gg (prova secondo Rilem-CEB-FIP RC6-78);
- 9 - È tassativamente prescritta la disposizione di tubi di sfiato in corrispondenza di tutti i punti più elevati di ciascun cavo, comprese le trombette ed i cavi terminali. Ugualmente dovranno esserci tubi di sfiato nei punti più bassi dei cavi lunghi e con forte dislivello. All'entrata d'ogni guaina dovrà essere posto un rubinetto, valvola o altro dispositivo, atti a mantenere, al termine dell'iniezione, la pressione entro la guaina stessa per un tempo di almeno 5 h;
- 10 - L'iniezione dovrà avere carattere di continuità e non potrà essere assolutamente interrotta. In caso d'interruzioni dovute a causa di forza maggiore e superiori a 5 min, il cavo sarà lavato e l'iniezione andrà ripresa dall'inizio;
- 11 - La boiaccia dovrà presentare le seguenti caratteristiche di resistenza:

Confezionamento in cantiere con additivo specifico come sopra indicato		
resistenza a compressione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 20 Mpa
	7 gg	> 40 MPa
	28 gg	> 50 Mpa
resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 3,5 MPa

	7 gg	> 4,5 MPa
	28 gg	> 5,5 MPa
Confezionamento con miscela già pronta all'uso		
	1 g	> 20 Mpa
resistenza a compressione (secondo UNI EN 12190)	7 gg	> 55 MPa
	28 gg	> 65 Mpa
	1 g	> 4 MPa
resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	7 gg	> 7 MPa
	28 gg	> 8,5 MPa

Nel caso di boiacche confezionate in cantiere, sarà preferibile l'impiego di cemento tipo II A-L o tipo IV di classe 42,5 o 42,5R. L'utilizzo di tale classe di cementi dovrà comunque essere adottato in caso di temperature comprese tra 5 e 10 °C e in generale quando siano previste resistenze meccaniche alte sia alle brevi che alle lunghe stagionature. La scelta del tipo e classe di cemento sarà concordata con la Direzione Lavori

La scelta del tipo di boiaccia (confezionamento in cantiere o miscela già pronta all'uso) sarà concordata con la Direzione Lavori in funzione delle specifiche esigenze tecnico-operative. In generale, si raccomanda l'uso di miscele già pronte all'uso (miscelazione con sola acqua).

Il produttore del prodotto già pronto all'uso o dell'additivo specifico dovrà operare in conformità alle UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un efficace sistema di gestione della qualità.

L'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori uno studio preliminare della miscela da utilizzare, comprovante la rispondenza della stessa a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale. La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

23.1.2. Operazioni di iniezione

Con riferimento alla normativa in vigore, si individuano le operazioni di iniezione seguenti:

- a) dopo l'impasto, la malta deve essere mantenuta in movimento continuo. È essenziale che l'impasto sia esente da grumi;
- b) immediatamente prima della iniezione di malta, i cavi saranno puliti;
- c) l'iniezione deve avvenire con continuità e senza interruzioni. La pompa deve avere capacità sufficiente perché in cavi di diametro $\varnothing < 10$ cm la velocità della malta sia compresa fra 6 e 12 m/min, senza che la pressione superi 10 bar;
- d) la pompa deve avere un efficace dispositivo per evitare le sovrappressioni;
- e) non è ammessa l'iniezione con aria compressa;
- f) quando possibile l'iniezione si deve effettuare dal più basso ancoraggio o dal più basso foro del condotto;
- g) per condotti di grande diametro può essere necessario ripetere l'iniezione dopo circa due ore;
- h) la malta che esce dagli sfiati deve essere analoga a quella alla bocca d'immissione e non contenere bolle d'aria; una volta chiusi gli sfiati si manterrà una pressione di 5 bar fintanto che la pressione permane senza pompare per almeno 1 min;
- i) la connessione fra ugello del tubo d'iniezione ed il condotto deve essere realizzata con dispositivo meccanico e tale che non possa aversi entrata d'aria;
- j) appena terminata l'iniezione, bisogna avere cura di evitare perdite di malta dal cavo. I tubi d'iniezione devono essere di conseguenza colmati di malta se necessario.

23.1.3. Condotti (guaine)

Con riferimento alla normativa in vigore, saranno seguite le seguenti prescrizioni:

- a) i punti di fissaggio dei condotti debbono essere frequenti ed evitare un andamento serpeggiante;
- b) ad evitare sacche d'aria dovranno essere disposti sfiati nei punti più alti del cavo;
- c) i condotti debbono avere forma regolare, preferibilmente circolare. La loro sezione deve risultare maggiore di:

$$A_0 = 2 * \sum_{i=1}^{i=n} * a_i$$

(per cavi a fili, trecce o trefoli)

$$A_0 = 1,5 * a$$

(per sistemi a barra isolata)

dove "a_i" è l'area del singolo filo, treccia o trefolo, "n" il numero di fili, trecce o trefoli costituenti il cavo ed "a" l'area della barra isolata. In ogni caso l'area libera del condotto dovrà risultare non minore a 4 cm²;

- d) si devono evitare per quanto possibile brusche deviazioni o cambiamenti di sezione.

Nel caso dei condotti realizzati in lamierino corrugato, le principali norme specifiche da osservare (già in precedenza riportate) sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 523	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità
UNI EN 524-1	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della forma e delle dimensioni
UNI EN 524-2	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione del comportamento a flessione
UNI EN 524-3	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Prova di flessione nei due sensi
UNI EN 524-4	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza ai carichi laterali
UNI EN 524-5	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a trazione
UNI EN 524-6	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della tenuta (Determinazione delle perdite d acqua)

23.1.4. Ulteriori prescrizioni per le iniezioni

Con riferimento alla normativa in vigore, saranno seguite le seguenti ulteriori prescrizioni:

- a) fino al momento della iniezione nei cavi occorre proteggere l'armatura dall'ossidazione. Le iniezioni dovranno essere eseguite entro quindici giorni a partire dalla messa in tensione, salvo casi eccezionali di ritardatura nei quali debbono essere adottati accorgimenti speciali al fine di evitare che possano iniziare fenomeni di corrosione;
- b) con tempo gelido è bene rinviare le iniezioni a meno che non siano prese precauzioni speciali;
- c) se si è sicuri che la temperatura della struttura non scenderà al di sotto dei 5 °C nelle 48 h seguenti alla iniezione, si può continuare l'iniezione stessa con una malta antigelo di cui sia accertata la non aggressività, contenente dal 6 al 10% d'aria occlusa.

Nota: l'aria occlusa negli impasti cementizi serve durante la vita di esercizio per contrastare gli effetti del gelo di-sgelo e non nella fase di prima maturazione. Da tenere presente che l'aria occlusa (impiego di un aerante nella fase di miscelazione) diminuisce le resistenze meccaniche, peraltro invece necessarie quando le temperature sono basse;

- d) nel caso si prevedesse gelo, sia nella fase esecutiva, sia nelle 48 h seguenti all'iniezione, occorre adottare opportuni accorgimenti per portare preventivamente a temperatura idonea ($\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) la struttura, per es. insufflando vapore dopo copertura della stessa con teli di polietilene. Si inietterà la malta che dovrà avere una temperatura non inferiore a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (preferibilmente $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) al momento della iniezione (i materiali utilizzati verranno mantenuti a $T \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Si manterrà il riscaldamento della struttura almeno per altre 48 h dal completamento dell'iniezione o comunque per tutto il tempo ritenuto necessario, in accordo con la Direzione Lavori, affinché siano scongiurati gli effetti del gelo sulla pasta di iniezione (raggiungimento di resistenze di almeno 6 MPa);
- e) dopo il periodo di gelo bisogna assicurarsi che i condotti siano completamente liberi da ghiaccio o brina. È vietato il lavaggio a vapore.

23.2. Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di strutture in c.a.p. esistenti

23.2.1. Generalità

Il presente paragrafo regola l'esecuzione d'iniezioni con miscele a bassa viscosità delle guaine di cavi di precompressione di strutture in c.a.p. esistenti, con grado di riempimento variabile. A seconda del tipo di guaine da riempire, del loro numero e del loro grado di riempimento, dovrà essere deciso il tipo di materiale da usare (resine epossidiche pure o caricate o boiacche di cemento pronte all'uso) e le modalità d'iniezione (iniezione tradizionale, da più fori oppure iniezioni sotto vuoto). Nel caso di riempimento di guaine completamente vuote saranno sempre usati materiali di tipo cementizio.

23.2.2. Caratteristiche dei materiali

23.2.2.1. Iniezione con sistemi epossidici

- Tipo di resina: sistema epossidico costituito unicamente da resina bicomponente (A+B), pigmentato solo su richiesta della Direzione Lavori. La Direzione Lavori, a seconda delle presumibili dimensioni dei vuoti all'interno delle guaine ed in relazione alle circostanze emerse durante il lavoro d'iniezione, potrà ordinare l'uso di cariche (per esempio cemento) che comunque dovranno essere di natura basica o neutra.
- Tempo di presa: riferito al sistema epossidico puro. Dovrà essere compatibile con le esigenze del lavoro e comunque non inferiore a 2 h. Per particolari condizioni operative la Direzione Lavori potrà richiedere tempi di presa superiori. Il 'POT-LIFE' è misurato (secondo SECAM) alla temperatura $293 \pm 1\text{ K}$ e umidità relativa del $65\% \pm 5\%$ in bicchiere di vetro della capacità di 100 cm^3 su quantità di 50 cm^3 di miscela (media su 5 prove).
- Viscosità: riferita al sistema epossidico puro, non dovrà essere superiore a 180 cps a $293 \pm 1\text{ K}$ ed umidità relativa di $65\% \pm 5\%$. La sua determinazione potrà essere fatta mediante misura diretta o con tazza FORD 4 termostata (media su 5 prove).
- Ritiro: dovrà risultare minore dello 0,1% misurato secondo norma UNI-PLAST 4285 (media su 5 prove). Comportamento in presenza d'acqua: l'eventuale presenza d'acqua nelle guaine non dovrà costituire impedimento alla policondensazione della miscela.
- Protezione chimica dei ferri d'armatura: la miscela dovrà avere pH basico, compreso tra 10,5 e 12,5; tale valore sarà misurato sulla resina miscelata (A + B), nel rapporto di catalisi di fornitura, diluita con acqua distillata, per avere la necessaria bagnabilità del rilevatore.

23.2.2.2. Iniezione con boiacche cementizie

- Tipo di boiaccia cementizia: boiaccia cementizia preconfezionata, pronta all'uso con la semplice aggiunta d'acqua, esente da aggregati metallici, di viscosità molto bassa pur con rapporti acqua/solido non superiori a 0,34.

- Fluidità: la fluidità sarà valutata con cono di Marsh, ugello da 10 mm, secondo le modalità indicate in precedenza; il tempo di scolo dovrà essere compreso tra 15 e 25 sec nella boiaccia appena confezionata e tra 25 e 35 sec dopo 30 minuti.
- Ritiro: la boiaccia dovrà essere priva di ritiro che sarà compensato con l'espansivo contenuto nel prodotto (espansione contrasta > 0,03 % a 24 ore secondo UNI 8147.)
- Essudazione (Bleeding): il materiale dovrà essere esente da *bleeding* secondo la prova UNI 8998.
- Ritenzione d'acqua: dopo 5 minuti dalla miscelazione secondo ASTM C-91: > 90%.
- Valori di resistenza:

Come da tabella seguente:

	1 g	> 20 Mpa
Resistenza a compressione (secondo UNI EN 12190)	7 gg	> 55 MPa
	28 gg	> 65 MPa
Resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 4,0 MPa
	7 gg	> 7,0 MPa
	28 gg	> 8,5 MPa
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio secondo RILEM-CEB-FIP RC6-78	7 g	> 15 Mpa
	28 gg	> 17 MPa

23.2.3. Modalità d'iniezione

23.2.3.1. Iniezioni tradizionali

Preliminarmente, sulle travi nelle quali è stato già individuato il presumibile tracciato dei cavi di precompressione mediante misure geometriche effettuate con riferimento ai disegni di progetto e con l'ausilio di sondaggi eseguiti con apposita apparecchiatura elettromagnetica e/o ad ultrasuoni, si dovrà procedere alla localizzazione delle guaine mediante tasselli effettuati con microdemolitori (normalmente con un passo di 3÷4 m su ogni cavo partendo dal centro della trave).

Non tutti i tasselli serviti per localizzare e valutare lo stato delle guaine saranno attrezzati per l'iniezione, ma soltanto quelli più idonei; su di essi si applicheranno i tubetti d'iniezione provvisti d'apposita cuffia, da sigillare con paste collanti epossidiche, previa accurata pulizia del supporto; qualora la profondità del tassello sia rilevante, la pasta collante sarà stesa in più strati successivi.

Le stuccature dovranno essere impermeabili al tipo di materiale usato nell'iniezione e, nel caso d'iniezioni sottovuoto, dovranno permettere la formazione di quest'ultimo.

Tubetti d'iniezione saranno introdotti anche nei fori degli ancoraggi dei cavi, preliminarmente scoperti e puliti, eventualmente riproforati con trapano, quindi stuccati con la pasta di cui sopra.

I tasselli non utilizzati per l'iniezione delle guaine saranno chiusi mediante malta reoplastica fluida non segregabile, tixotropica, a basso calore d'idratazione, priva di ritiro, ad elevata resistenza meccanica ed elevato potere adesivo all'acciaio ed al conglomerato cementizio.

La stuccatura sarà rinforzata e supportata con una rete elettrosaldata debitamente ancorata, mediante saldature o legature alle armature esistenti.

Si procederà, inoltre, a stuccature e riparazioni di zone di conglomerato cementizio poroso, vespai ecc. in modo da chiudere possibili vie d'uscita dei materiali d'iniezione.

Tali stuccature saranno effettuate con paste cementizie reoplastiche a ritiro compensato o polimeriche o a base epossidica e, quando previsto dal Progetto, anche rinforzate con reti metalliche. La scelta del materiale sarà subordinata alle condizioni specifiche di ogni singolo caso e sarà concordata con la Direzione Lavori

Dopo almeno 48 h dall'ultimazione della stuccatura, si procederà alla soffiatura all'interno delle guaine per eliminare eventuali sacche d'acqua e per valutare la consistenza dei vuoti nei vari tratti. Si procederà quindi alla iniezione della miscela scegliendo il punto iniziale in base alle risultanze della soffiatura.

In linea di massima sarà conveniente partire dai fori d'iniezione in mezzera della trave dove gran parte delle guaine sono ravvicinate e procedere sino alla fuoriuscita (se possibile) della miscela dai primi tubetti posti ai lati del punto d'iniezione.

Si inietteranno poi questi ultimi e, via via, quelli adiacenti, in successione, fino ad ottenere la fuoriuscita della miscela dalle testate dei cavi. Naturalmente i tubi già iniettati dovranno essere man mano sigillati.

La pressione d'iniezione dovrà essere la più bassa possibile, compatibilmente con l'esigenza di ottenere un buon riempimento dei cavi e comunque in nessun caso si dovranno superare i 5 bar.

23.2.3.2. Iniezioni sottovuoto

Adottando particolari cautele, potranno essere usate tecniche d'iniezione sottovuoto, cioè provocando con apposita attrezzatura aspirante un vuoto dell'ordine di 1 bar nelle cavità da iniettare e immettendo poi il materiale di riempimento.

Le modalità di preparazione di fori d'iniezione e la loro ubicazione sono analoghe a quelle descritte al punto precedente, con la variante che sarà necessario, una volta decisi i punti in cui applicare gli iniettori, effettuare una prima valutazione della possibilità di creare il vuoto e dell'entità del volume delle cavità presenti.

La prima valutazione tende ad individuare la necessità o meno di effettuare gli interventi di tenuta e le zone dove dovranno essere eseguite tali stuccature; la seconda a stimare i consumi e, principalmente, a controllare, ad iniezione terminata, che tutti i vuoti valutati siano stati riempiti.

A seconda dell'attrezzatura disponibile la valutazione si effettuerà tramite misura (con contalitri) del volume d'aria immesso nella cavità, dopo aver effettuato il vuoto oppure, in base alla legge di Mariotte, operando nel modo seguente: in un serbatoio, collegato con un manometro (eventualmente il serbatoio destinato a contenere il materiale da iniettare), si valuterà il volume libero (volume dell'aria V_0) e si misurerà la pressione p_0 a cui si troverà quest'aria; si aprirà la comunicazione con la cavità già sottovuoto di volume incognito V_1 .

Quando il passaggio dell'aria sarà terminato, si misurerà la pressione p d'equilibrio.

Il volume V_1 sarà allora con buona approssimazione pari a:

$$V_1 = \frac{V_0 (p_0 - p)}{p}$$

A questo punto si procederà alle iniezioni vere e proprie con il materiale di riempimento prescelto; il materiale introdotto nella cavità per azione del vuoto dovrà, a passaggio terminato, essere posto sotto una pressione di 2 - 3 bar prima del bloccaggio del tubo d'iniezione.

Occorrerà anche valutare il volume del materiale entrato in genere misurando il consumo in chilogrammi e passando al volume (V_m) per tramite del peso specifico del materiale stesso, oppure valutando direttamente il volume del materiale iniettato.

Il rapporto $(V_m / V_1) * 100$ (grado di riempimento) sarà indicato per ogni singola iniezione.

23.2.4. Prove

Per accertare la rispondenza ai requisiti, i materiali dovranno essere sottoposti a prove presso un Laboratorio Ufficiale con la frequenza indicata dalla Direzione Lavori.

24. Ripristino e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio

24.1. Materiali per il ripristino di superfici degradate

24.1.1. Generalità

Si terrà presente, in linea generale, che scopo prioritario del ripristino delle strutture in conglomerato cementizio è ricreare la sagoma di Progetto del manufatto in corrispondenza dei punti degradati garantendo:

- monoliticità tra il vecchio calcestruzzo ed il materiale con cui viene eseguito il ripristino;
- resistenza agli agenti aggressivi dell'ambiente d'esercizio.

Per prolungare la vita utile della struttura sarà indispensabile garantire agli interventi di ripristino la massima durabilità, per questo si farà costante riferimento alla UNI EN 1504-9 ed in particolare sarà necessario:

- eseguire indagini per il riconoscimento delle cause dei fenomeni di degrado, per individuare le aree su cui intervenire e gli spessori di calcestruzzo incoerente o contaminato da asportare;
- scegliere le tecniche d'intervento in funzione del tipo di elemento strutturale (orizzontale o verticale), degli spessori e dell'estensione dell'intervento;
- definire i requisiti che devono garantire i materiali utilizzati per il ripristino;
- scegliere i materiali verificando che le prestazioni fornite soddisfino i requisiti richiesti;
- definire nel Progetto in modo accurato ed inequivocabile le fasi esecutive;
- verificare, prima dell'inizio dei lavori, che i materiali proposti dall'Appaltatore rispettino le specifiche prestazionali richieste;
- eseguire controlli sia in fase preliminare, che in corso d'opera, che sulle opere finite.

Le principali norme specifiche da osservare sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 1504-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 1: Definizioni
UNI EN 1504-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
UNI EN 1504-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 3: Riparazione strutturale e non strutturale
UNI EN 1504-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 4: Incollaggio strutturale
UNI EN 1504-5	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 5: Iniezione del calcestruzzo
UNI EN 1504-6	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 6: Ancoraggio dell'armatura di acciaio
UNI EN 1504-7	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 7: Protezione contro la corrosione delle armature
UNI EN 1504-8	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 8: Controllo di qualità e valutazione della conformità
UNI EN 1504-9	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 9: Principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi
UNI EN 1504-10	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 10: Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori
UNI EN 1542	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione dell'aderenza per trazione diretta
UNI EN 1543	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di

Norma	Titolo
	prova - Determinazione dello sviluppo della resistenza a trazione dei polimeri
UNI EN 1544	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dello scorrimento viscoso sotto carico a trazione mantenuto, per prodotti a base di resina sintetica (PC) destinati all'ancoraggio delle barre di armatura.
UNI EN 1766	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Calcestruzzi di riferimento per prove
UNI EN 1767	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Analisi all'infrarosso
UNI EN 1770	Prodotti e sistemi per la protezione e riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del coefficiente di dilatazione termica
UNI EN 1771	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'iniettabilità e della resistenza a trazione indiretta
UNI EN 1799	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prove per misurare l' idoneità degli agenti adesivi strutturali per l'applicazione sulle superfici di calcestruzzo
UNI EN 1877-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Funzioni reattive delle resine epossidiche - Determinazione dell'equivalente epossidico
UNI EN 1877-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Funzioni reattive delle resine epossidiche - Determinazione delle funzioni ammine mediante l'indice di basicità totale.
UNI EN 1881	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prova dei prodotti di ancoraggio con il metodo di estrazione
UNI EN 12188	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'aderenza acciaio su acciaio per la caratterizzazione degli agenti adesivi strutturali
UNI EN 12189	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del tempo aperto
UNI EN 12190	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a compressione delle malte da riparazione
UNI EN 12192-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Analisi granulometrica - Metodo di prova per costituenti secchi della malta premiscelata
UNI EN 12192-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Analisi granulometrica - Metodo di prova per filler per agenti adesivi a base di polimeri
UNI EN 12614	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione delle temperature di transizione vetrosa dei polimeri
UNI EN 12615	Prodotti e sistemi per la protezione e riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza al taglio
UNI EN 12617-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 1: Determinazione del ritiro lineare per polimeri e sistemi di protezione di superficie (SPS)
UNI EN 12617-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 2: Ritiro dei prodotti per iniezione di fessure a base di legante polimerico: ritiro volumetrico
UNI EN 12617-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del ritiro lineare a breve stagionatura per gli agenti adesivi strutturali

Norma	Titolo
UNI EN 12617-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del ritiro e dell'espansione
UNI EN 12618-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodo di prova - Parte 1: Capacità di aderenza e di allungamento dei prodotti per iniezione con limitata duttilità
UNI EN 12618-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 2: Determinazione dell'aderenza dei prodotti per iniezione, con o senza cicli termici - Aderenza per trazione
UNI EN 12618-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 3: Determinazione dell'aderenza dei prodotti per iniezione, con o senza cicli termici - Metodo a taglio inclinato
UNI EN 12636	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'aderenza calcestruzzo su calcestruzzo
UNI EN 12637-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità dei prodotti per iniezione - Parte 1: Compatibilità con il calcestruzzo
UNI EN 12637-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità dei prodotti per iniezione - Parte 3: Effetti dei prodotti di iniezione sugli elastomeri
UNI EN 13057	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'assorbimento capillare
UNI EN 13062	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodo di prova - Determinazione della tixotropia dei prodotti di protezione delle armature
UNI EN 13294	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del tempo di irrigidimento
UNI EN 13295	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza alla carbonatazione
UNI EN 13395-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di spandimento delle malte tixotropiche
UNI EN 13395-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di scorrimento della malta o della malta da iniezione
UNI EN 13395-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di scorrimento del calcestruzzo per riparazione
UNI EN 13395-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Applicazione della malta per la riparazione dell'intradosso (overhead)
UNI EN 13396	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione della penetrazione degli ioni cloruro
UNI EN 13412	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del modulo elastico in compressione
UNI EN 13529	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Resistenza agli attacchi chimici severi
UNI EN 13578	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità col calcestruzzo umido
UNI EN 13579	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di

Norma	Titolo
	prova - Prova di essiccazione per impregnazione idrofobica
UNI EN 13580	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Assorbimento di acqua e resistenza agli alcali per impregnazioni idrofobiche
UNI EN 13581	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della perdita di massa del calcestruzzo idrofobico impregnato dopo cicli di gelo-disgelo in presenza di sale
UNI EN 13584	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dello scorrimento viscoso sotto compressione dei prodotti per riparazione
UNI EN 13687-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli di gelo-disgelo con immersione in sali disgelanti
UNI EN 13687-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli temporaleschi (shock termico)
UNI EN 13687-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli termici senza immersione in sali disgelanti
UNI EN 13687-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli termici a secco
UNI EN 13687-5	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Resistenza allo shock termico
UNI EN 13733	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della durabilità degli agenti adesivi strutturali
UNI EN 13894-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della fatica sotto carico dinamico - Parte 1: Durante l'indurimento
UNI EN 13894-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della fatica sotto carico dinamico - Dopo l'indurimento
UNI EN 14068	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della tenuta all'acqua delle fessure iniettate senza movimento nel calcestruzzo
UNI EN 14117	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del tempo di efflusso dei prodotti per iniezione a base cementizia
UNI EN 14406	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del rapporto di espansione e della sua evoluzione nel tempo
UNI EN 14497	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della stabilità alla filtrazione
UNI EN 14498	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Variazioni di volume e di peso dei prodotti per iniezione dopo cicli di essiccazione all'aria e condizionamento in acqua
UNI EN 14629	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del contenuto di cloruri nel calcestruzzo indurito
UNI EN 14630	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina
UNI EN 15183	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di

Norma	Titolo
	prova - Prova di valutazione della protezione contro la corrosione
UNI EN 15184	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Aderenza per taglio del calcestruzzo di rivestimento dell'armatura (prova di estrazione)
UNI EN 15274	Adesivi per impieghi generali negli assemblaggi strutturali - Requisiti e metodi di prova
ASTM D695-10	<i>Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics</i>
ASTM D638-10	<i>Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics</i>
ASTM D696-08	<i>Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C With a Vitreous Silica Dilatometer</i>
ASTM D790-10	<i>Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials</i>
ASTM D1018-97	<i>Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) (Withdrawn 2006)</i>
ASTM D4541-09e1	<i>Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers</i>
ASTM D2196-10	<i>Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer</i>

24.1.2. Indagini

Lo scopo delle indagini è quello di:

- identificare le cause dei difetti;
- stabilire l'estensione e la profondità dei difetti stessi;
- verificare se i difetti siano destinati ad estendersi a parti della struttura attualmente non danneggiate;
- valutare la resistenza del calcestruzzo in sito;
- stabilire l'effetto dei difetti sulla sicurezza strutturale;
- identificare tutte le posizioni in cui possono essere necessarie riparazioni o protezione.

A tale scopo si dovrà predisporre ed attuare un opportuno piano di prelievi e prove.

A conclusione delle indagini dovrà essere redatto un documento in cui vengano raccolte le informazioni ottenute, il rilievo dei diversi tipi di difetti riscontrati, la loro estensione così da definire le condizioni della struttura da utilizzare ai fini della progettazione ed ai fini della valutazione degli importi da prevedere per l'intervento.

Le indagini che vengono eseguite più di frequente si riferiscono alla possibilità che si siano verificati fenomeni di carattere:

- chimico (fenomeni di corrosione, attacco solfatico, azione di acque aggressive);
- fisico (cicli gelo/disgelo, azione del fuoco);
- meccanico (azione del sisma, urti, ecc.).

La corrosione dell'armatura è la causa più frequente dei fenomeni di degrado delle opere d'arte stradali, tale corrosione può innescarsi in tempi più o meno lunghi conseguentemente alla carbonatazione del calcestruzzo e alla penetrazione di cloruri.

24.1.3. Definizione dei materiali per il ripristino

I materiali per il ripristino/adeguamento sono suddivisi nelle seguenti categorie:

Leganti, malte, betoncini e calcestruzzi a base cementizia aventi caratteristiche espansive

Questi prodotti, che meglio sarebbe definire “a ritiro compensato”, sono certamente i più diffusi negli interventi di restauro. Il loro requisito fondamentale è l’espansione contrastata⁽¹⁾ in aria che è caratteristica essenziale per garantire monoliticità tra vecchia struttura e materiale di ripristino; la loro scelta deriva inoltre dall’omogeneità di caratteristiche rispetto al calcestruzzo di supporto, dall’elevatissima durabilità (resistenza agli aggressivi ambientali ed alla carbonatazione), dalle prestazioni meccaniche e dalla facilità di applicazione.

Malte cementizie polimero-modificate

Queste malte garantiscono monoliticità con il supporto grazie alla capacità di adesione del polimero. Vengono generalmente utilizzate quando sia necessario eseguire rasature (spess. 1-8 mm) ed interventi di ripristino centimetrici (spess. 10-50 mm) di tipo localizzato (aree di ridotta estensione) o di difficile accesso.

Malte “rapide” a base di speciale legante pozzolanico

Questi materiali basano la loro prestazione su una particolare reazione di idratazione del legante, che consente di ottenere in brevissimo tempo, anche a temperature basse (-5 °C) elevate prestazioni meccaniche.

Formulati a base di resina

Si tratta principalmente di resine di tipo epossidico o vinil-estere. Vengono impiegati nel settore del ripristino per interventi speciali di iniezione entro fessure, incollaggi strutturali, inghisaggi di barre di armature, ecc., che non potrebbero essere eseguiti con successo con i materiali cementizi. La loro principale caratteristica è legata alle elevate prestazioni meccaniche (conseguente alla solidità dei legami di polimerizzazione che s’innescano quando la base si unisce all’indurente) e all’elevata adesione a calcestruzzo, acciaio ed ai diversi materiali da costruzione.

I vari tipi di materiale sono così definiti:

MALTE PER RASATURE

- di tipo MR1: malta cementizia, per rasature fini (1-3 mm), polimero-modificata, premiscelata, tixotropica, monocomponente, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MR2: malta cementizia, per rasature grosse (4-8 mm), polimero-modificata, premiscelata, tixotropica, bicomponente, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili.

MALTE TIXOTROPICHE

- di tipo MT1: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata⁽²⁾ con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa;
- di tipo MT2: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, con fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MT3: malta cementizia premiscelata, tixotropica, bicomponente, polimero modificata, contenente fibre poliacrilonitrili.

MALTE COLABILI

- di tipo MC1: malta cementizia, premiscelata, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa;
- di tipo MC2: malta cementizia, premiscelata, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, reodinamica⁽³⁾, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MC3: malta cementizia, premiscelata, reoplastica⁽⁴⁾, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,6 mm, forma “a catino”; resistenza a trazione > 1200 MPa;

⁽¹⁾ Si intendono ad espansione contrastata malte, betoncini e calcestruzzi che compensano il ritiro igrometrico con una opportuna reazione espansiva nella fase iniziale dell’indurimento.

⁽²⁾ Si definiscono fibrorinforzati quei conglomerati (malte o betoncini) provvisti di fibre metalliche o sintetiche che garantiscano il contrasto all’espansione del materiale e/o forniscano elevate prestazioni di duttilità.

⁽³⁾ Si definiscono reodinamici malte, betoncini e calcestruzzi superfluidi, autocompattanti, ad elevatissima coesione, capaci di scorrere con elevata energia di movimento e deformabilità allo stato fresco.

⁽⁴⁾ Si definiscono reoplastici malte, betoncini e calcestruzzi che pur essendo autolivellanti sono molto coesivi cioè privi di segregazione e bleeding.

- **di tipo MC4:** malta a base di uno speciale legante pozzolanico, premiscelata, a rapido indurimento anche a basse temperature, fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,38 mm, resistenza a trazione > 2300 MPa, ad elevatissima duttilità.

BETONCINI COLABILI

- **di tipo B1:** betoncino cementizio, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzato con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC1 aggregati selezionati⁽¹⁾;
- **di tipo B2:** betoncino cementizio, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, reodinamico, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC2 aggregati selezionati;
- **di tipo B3:** betoncino cementizio, reoplastico, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzato con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,6 mm, forma a “catino”; resistenza a trazione > 1200 MPa, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC3 aggregati selezionati;
- **di tipo B4:** betoncino a base di uno speciale legante pozzolanico, a rapido indurimento anche a basse temperature, fibrorinforzato con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,38 mm, resistenza a trazione > 2.300 MPa ad elevatissima duttilità, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC4 aggregati selezionati;
- **di tipo B5:** betoncino cementizio, premiscelato, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d’umidità liquido, reodinamico, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili.

LEGANTE ESPANSIVO

- **di tipo LE:** legante espansivo che consente di ottenere calcestruzzi o boiacche estremamente fluide, prive di *bleeding*, a basso rapporto acqua/cemento, caratterizzate da elevate resistenze meccaniche.

CALCESTRUZZO ESPANSIVO (o “a ritiro compensato”)

- **di tipo CE:** calcestruzzo di cemento, reoplastico a stabilità volumetrica, avente $R_{ck} \geq 50$ MPa, consistenza S4-S5, assenza di *bleeding* ed elevata pompabilità, ottenuto utilizzando come legante uno speciale cemento espansivo tipo LE in luogo dei normali cementi, e miscelando ad esso acqua ed aggregati.

FORMULATI DI RESINA

- **di tipo RC:** malta epossidica bicomponente, colabile, priva di solventi;
- **di tipo RT:** malta epossidica bicomponente, tixotropica, priva di solventi;
- **di tipo RI:** resina epossidica bicomponente, a bassissima viscosità, priva di solventi, colabile;
- **di tipo RA:** tassello chimico rapido in cartuccia bicompartimentale coassiale, a consistenza tixotropica a base di resina vinilestere priva di stirene.

24.1.4. Tecniche d’intervento e scelta dei materiali

24.1.4.1. Generalità

La tabella seguente definisce le tecniche d’intervento ed il tipo di materiale in funzione degli spessori da ripristinare e del degrado delle strutture:

		DEGRADO [mm]													
		Lieve			Medio				Profondo					Molto profondo	
		0	3	8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	>100
TECNICHE	Rasatura	MR1	MR2												
	Spruzzo o				MT1										
				MT2			MT2*								

⁽¹⁾ Gli aggregati selezionati devono essere nella misura del 35% sul peso totale della miscela secca malta più aggregato, non gelivi, non soggetti a reazione alcali aggregato, lavati, di idonea curva granulometrica, di diametro minimo pari a 5 mm, di diametro massimo in funzione dello spessore del getto.

rinzaffo															
Colaggio		MT3													
		MC1				B1									
		MC2			MC2*	B2									
		MC3				B3									
		MC4				B4									
						B5									
													CE		
Spatola														RC	
Iniezione														RT	
Tassello														RI	
														RA	
	Malte														
	MATERIALI				Betoncini				Calcestruzzi				Formulati di resina		

* applicazione di rete elettrosaldata

24.1.4.2. Degradazione lieve – Ripristini di spessore da 1 a 8 mm

La tecnica utilizzata, per eliminare difetti costruttivi quali vespai, vaiolature, sbeccature, assenza di copriferro, assenza di planarità, è quella della rasatura.

La preparazione del supporto deve essere realizzata mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

La malta può essere applicata sia a mano che con macchina intonacatrice, previa miscelazione.

Si utilizza la malta:

- Tipo MR1 per rasature fini, interventi di spessore da 1 a 3 mm;
- Tipo MR2 per rasature grosse, interventi di spessore maggiori di 3, fino a 8 mm.

24.1.4.3. Degradazione medio – Ripristini di spessore da 10 a 50 mm

TECNICHE DI INTERVENTO

Sono:

- l'applicazione con macchina intonacatrice (superfici estese) o manuale a cazzuola (superfici ridotte) utilizzando malte tixotropiche;
- l'applicazione per colaggio utilizzando malte fluide.

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o mediante macchine idrodemolitrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

Nel caso di interventi molto localizzati o quando si devono ripristinare elementi strutturali di difficile accesso per i quali una idonea asportazione del calcestruzzo non è possibile, si preparerà la superficie di supporto mediante sabbiatura e l'intervento sarà eseguito con malte polimero modificate di tipo MT3.

RIPRISTINI REALIZZATI CON MACCHINA INTONACATRICE O MANUALMENTE CON CAZZUOLA

Tale tecnica è utilizzata sia per ripristinare elementi strutturali verticali che l'intradosso di elementi orizzontali. L'applicazione manuale con cazzuola è consentita per superfici limitate (poche decine di metri quadrati).

Si utilizza la malta:

- Tipo MT1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrinforzata (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. E' utilizzata con semplicità anche per ripristini localizzati;
- Tipo MT2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 20 mm. Può essere utilizzata anche per interventi di spessore da 40 a 50 mm previa applicazione di rete elettrosaldata;

- Tipo MT3 per ripristinare elementi strutturali che presentino degradi molto localizzati e spessori da 10 a 50 mm. Poiché sono malte che possono essere applicate anche su supporti solamente sabbiati sono utilizzati per interventi su elementi strutturali di difficile accesso sui quali non è possibile l'asportazione del calcestruzzo degradato per spessori centimetrici, inoltre non richiede l'applicazione di rete elettrosaldata.

RIPRISTINI REALIZZATI PER COLAGGIO

Tale tecnica è utilizzata per ripristinare l'estradosso di elementi strutturali orizzontali.

Il colaggio entro cassero è possibile per spessori compresi tra 40 e 50 mm facendo uso di materiali di tipo MC2.

Si utilizza la malta:

- Tipo MC1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrorinforzata (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldata;
- Tipo MC2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 20 mm. Per interventi di spessore da 40 a 50 mm la malta deve essere armata con rete elettrosaldata in assenza di armatura pre-esistente. Tale malta essendo reodinamica (autocompattante e molto scorrevole) può essere messa in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero per spessori compresi tra 40 e 50 mm;
- Tipo MC3 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrorinforzata (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità;
- Tipo MC4 per ripristinare in tempi brevissimi anche a basse temperature elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta è in grado di sviluppare resistenze meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo fibrorinforzata (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità.

24.1.4.4. Degrado profondo – Ripristini di spessore da 50 a 100 mm

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 50 mm non si devono più utilizzare malte, ma si deve far uso di betoncini.

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali di betoncini ad espansione contrastata in aria;
- colaggio entro cassero (incamiciatura) di betoncini ad espansione contrastata in aria.

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante macchine idrodemoltrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

Si utilizza il betoncino:

- Tipo B1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino, essendo fibrorinforzato (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldata;
- Tipo B2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm. Il betoncino deve essere sempre armato con rete elettrosaldata in assenza di altre armature. Tale betoncino, essendo reodinamico (autocompattante e molto scorrevole), può essere messo in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero, senza richiedere vibrazione;
- Tipo B3 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino, essendo fibrorinforzato (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità;
- Tipo B4 per ripristinare in tempi brevissimi, anche a basse temperature, elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino è in grado di sviluppare resistenze meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo fibrorinforzato (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità;

- Tipo B5 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm. Il betoncino deve essere sempre armato con rete elettrosaldata in assenza di altre armature. Tale betoncino, essendo reodinamico (autocompattante e molto scorrevole), può essere messo in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero, senza richiedere vibrazione.

I betoncini B1, B2, B3 e B4 sono ottenuti aggiungendo in cantiere rispettivamente alle malte tipo MC1, MC2, MC3 ed MC4 degli aggregati di opportuna curva granulometrica; per ottenere buoni risultati è necessario porre particolare attenzione alla scelta degli aggregati, verificando che siano di diametro minimo pari a 5 mm e diametro massimo di 10 mm, ben puliti e privi di impurità limo argillose.

24.1.4.5. Degrado molto profondo – Ripristini di spessore oltre 100 mm

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 100 mm si deve far uso di calcestruzzi aventi inerti di diametro massimo crescente al crescere dello spessore d'intervento.

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali;
- colaggio entro cassero (incamiciatura).

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante macchine idrodemolitrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

24.1.4.6. Interventi con resine

Spesso nei lavori di manutenzione delle strutture è necessario eseguire interventi speciali, con resine:

- Tipo RC per ripristinare in spessore centimetrico elementi che richiedono elevate prestazioni meccaniche; applicata per colaggio;
- Tipo RT per incollaggio di elementi in calcestruzzo, acciaio, PVC e altri materiali, in quanto garantisce elevata adesione tra i materiali; applicata con spatola;
- Tipo RA per inghisaggio rapido di barre di armatura utilizzando formulati in cartuccia; il diametro del foro per l'inghisaggio per barre ad aderenza migliorata dal diametro fino a 16 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 4 mm, mentre per barre ad aderenza migliorata dal diametro compreso tra 17 e 34 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 6 mm;
- Tipo RI per intasamento di cavi di precompressione, o saldatura di fessurazioni; applicata con iniezione a pressione.

24.2. Requisiti e metodi di prova dei materiali

24.2.1. Generalità

Un materiale per il ripristino di strutture in calcestruzzo deve possedere i seguenti requisiti fondamentali:

Elevata compatibilità con il calcestruzzo di supporto

- Espansione contrastata a 24 ore con maturazione in aria: la perfetta compatibilità con il calcestruzzo di supporto si ha utilizzando malte e betoncini ad espansione contrasta con maturazione in aria, la cui espansione iniziale consentirà di compensare il ritiro che i materiali cementizi svilupperanno inevitabilmente all'evaporazione di parte dell'acqua d'impasto. Per garantire in opera la monoliticità tra vecchia struttura e materiale utilizzato per il ripristino è necessario che quest'ultimo sia in grado di fornire buoni valori di espansione contrastata a 24 ore e con maturazione all'aria;
- Aderenza al calcestruzzo indurito: l'adesione tra vecchia struttura e materiale di ripristino deve essere elevata e risultare almeno uguale alla resistenza a trazione del calcestruzzo indurito;
- Resistenza meccanica: la resistenza meccanica alla compressione, trazione e flessione deve risultare simile a quella del calcestruzzo di supporto e maggiore quando si eseguono interventi di adeguamento strutturale;

- **Modulo elastico:** per interventi di spessore centimetrico il modulo elastico del materiale di ripristino deve essere simile a quello del calcestruzzo di supporto. Per interventi millimetrici, specialmente per le zone inflesse, il modulo elastico deve essere ≤ 16000 MPa.

Elevata compatibilità con l'ambiente d'esercizio

- I materiali utilizzati per ripristinare strutture degradate devono possedere una resistenza agli agenti esterni superiore a quella del calcestruzzo di cui l'opera è costituita. La capacità del materiale, da ripristino, di resistere agli agenti aggressivi presenti nell'ambiente, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni Cl⁻, all'anidride carbonica, ed all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione; nei riguardi di queste sostanze lo spessore del materiale da ripristino applicato deve naturalmente risultare il più possibile impermeabile. Per concentrazioni di CO₂ molto elevate (> 1000 ppm) o quando si fa uso di sali decongelanti sarà necessario proteggere la struttura con uno specifico sistema protettivo filmogeno. I materiali utilizzati per il ripristino devono garantire anche la massima continuità della superficie esterna in modo da non favorire l'ingresso delle sostanze aggressive.
- Resistenza alla fessurazione da ritiro plastico: il materiale per il ripristino deve contenere fibre sintetiche poliacrilonitrili nella misura e del tipo adatto a contrastare il verificarsi delle fessure durante le prime ore dopo l'applicazione⁽¹⁾.
- Resistenza alla fessurazione da ritiro igrometrico: per garantire la curabilità del ripristino il materiale di apporto deve avere una elevata resistenza alla fessurazione a lungo termine; la causa di tali stati fessurativi è il ritiro igrometrico, per questo motivo è fondamentale utilizzare materiali ad espansione contrastata in aria che garantiscano, nelle condizioni di esercizio, la compensazione del ritiro igrometrico.
- Resistenza alla carbonatazione: requisito indispensabile per evitare il degrado per corrosione delle armature dovuta alla carbonatazione, la conseguenza di questo processo è l'abbassamento del pH della pasta cementizia che diventa incapace di passivare le armature.
- Impermeabilità ai cloruri: i cloruri sono l'altro fattore che causa la corrosione delle armature, gli ioni Cl⁻, penetrando nel calcestruzzo, arrivati all'armatura bucano lo strato di ossido esistente e corrodono localmente le armature.
- Resistenza a cicli di gelo-disgelo: requisito fondamentale per le strutture in zone montane dove la temperatura oscilla sopra e sotto lo zero e quando vi sono condizioni ambientali che rendono il calcestruzzo umido.
- Impermeabilità all'acqua: la presenza d'acqua favorisce tutti i processi di degrado, una elevata impermeabilità è sinonimo di ridotta porosità del conglomerato.

24.2.2. Scelta dei metodi di prova

Nelle prime due delle successive tabelle sono riportati i requisiti ed i corrispondenti metodi di prova per i conglomerati ad espansione contrastata in aria, per le malte cementizie polimero-modificate e per i materiali a base di resina.

24.3. Accettazione e specifiche prestazionali dei materiali

Prima che i materiali proposti dall'Appaltatore siano impiegati, la Direzione Lavori dovrà di noma verificare che siano tra quelli omologati all'uso da parte del Committente, in base a prove dirette od a seguito dell'esame di prove eseguite presso Laboratori Ufficiali.

L'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori, dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione tecnica per la qualifica dei materiali che intende impiegare, dimostrando la piena rispondenza ai requisiti ed alle prestazioni richieste (dichiarazione rilasciata dal produttore).

La Direzione Lavori in tempo utile rispetto al programma lavori esprimerà il suo parere, potendo comunque prescrivere l'esecuzione di prove su campioni di materiali prelevati in contraddittorio. Saranno altresì richieste, con le stesse modalità, verifiche su campioni di materiale di normale fornitura e dichiarazioni che attestino le prestazioni specifiche delle partite di materiale, che sono consegnate di volta in volta dalle Società Produttrici.

I Produttori devono possedere la certificazione di qualità ai sensi della normativa UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un sistema di gestione della qualità avente analoghe caratteristiche.

⁽¹⁾ Il ritiro plastico è compensato solo parzialmente dalle reazioni espansive idonee a compensare il ritiro igrometrico; è pertanto necessario prendere misure preventive quali: utilizzare materiali provvisti di fibre sintetiche, saturare il sottofondo, fratazzare e/o stagionare le parti esposte all'aria.

La Direzione Lavori, su indicazione del Committente, potrà richiedere che il produttore fornisca, congiuntamente al materiale, una dichiarazione che attesti le prestazioni specifiche della partita di materiale che è consegnata di volta in volta.

Nelle successive tabelle, dalla terza in poi, sono indicate le prestazioni minime richieste per i singoli tipi di materiale, salvo eventuali migliori caratteristiche prescritte in progetto.

1 - Requisiti e metodi di prova per i conglomerati ad espansione contrastata in aria e per le malte cementizie polimero-modificate

REQUISITI	METODI DI PROVA				
	Malte polimero-modificate di tipo MR1, MR2, MT3	Malte e betoncini espansivi in aria di tipo MT1, MT2, MC1, MC3, B1, B3	Malte e betoncini rapidi di tipo MC4, B4	Malte e betoncini espansivi in aria di tipo MC2, B2, B5	Calcestr. di tipo CE
Lavorabilità	Spandimento: UNI EN 13395/1			Slump flow: UNI 11041	UNI EN 12350/2 (slump test)
Espansione contrastata in aria	-----	all'aria: UNI 8147 (malte) UNI 8148 (betoncino) Test di Inarc./Imb.	-----	all'aria: UNI 8147 (malte) UNI 8148 (betoncino) Test di Inarc./Imb.	-----
Resistenza alla fessurazione	O Ring test (non applicabile per la MR1 e MR2)				
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542 (metodo di prova/trazione diretta)				
Resistenza alla carbonatazione	UNI EN 13295 (metodo di prova) pr EN 1504-3 (limiti di accettazione)				
Impermeabilità all'acqua	UNI EN 12390/8 (in pressione) UNI EN 13057 (assorbimento capillare)				
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687/1 (metodo di prova)				
Resistenza a compressione	UNI EN 12190			UNI EN 12390/3	
Resistenza a trazione per flessione	UNI EN 196/1			UNI EN 12390/5	
Modulo elastico	UNI EN 13412	UNI EN 13412 (malte) UNI 6556 (betoncini)		UNI 6556	
Caratteristiche di tenacità	-----	ASTM C1018 (solo per i tipi MC3, MC4, B3, B4)		-----	
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	RILEM-CEB-FIP RC6-78				

2 - Requisiti e metodi di prova per materiali a base di resina

REQUISITI	METODI DI PROVA		
	Resine di tipo RC e RT	Resine di tipo RI	Resine di tipo RA
Viscosità cinematica	-----	ASTM D2196	-----
Caratteristiche di adesione: - resina-calcestruzzo - resina-acciaio - carico di sfilamento su barre di armatura	UNI EN 1542 ASTM D4541 -----		Pull out test
Caratteristiche a compressione (resistenza e modulo elastico)	ASTM D695		----
Resistenza a trazione per flessione	ASTM D790		----
Caratteristiche a trazione diretta (resistenza e modulo elastico)	ASTM D638		----
Coefficiente di dilatazione termica lineare	ASTM D696		----

3 - Prestazioni richieste per i materiali cementizi ad espansione contrastata in aria

REQUISITI	MATERIALI CEMENTIZI AD ESPANSIONE CONTRASTATA ALL'ARIA DI TIPO					
	MT1	MT2	MC1	MC2	MC3	B5
Lavorabilità	170-180 mm	170-180 mm	230-250 mm	800-900 mm	190-200 mm	800-900 mm
Espansione contrastata all'aria	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3
Impermeabilità all'acqua - in pressione - assorbimento capillare	< 5 mm < 0,25 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 5 mm < 0,15 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 5 mm < 0,25 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 5 mm < 0,08 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 5 mm < 0,30 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 5 mm < 0,1 kg·m ² ·h ^{-0,5}
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compress. a - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 20 MPa > 50 MPa > 60 MPa	> 20 MPa > 50 MPa > 60 MPa	> 25 MPa > 55 MPa > 65 MPa	> 25 MPa > 55 MPa > 70 MPa	> 30 MPa > 50 MPa > 70 MPa	> 30 MPa > 55 MPa > 70 MPa
Resistenza a trazione per flessione a - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 7 MPa > 9 MPa > 10 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 8 MPa	> 7 MPa > 9 MPa > 10 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 7 MPa	> 10 MPa > 13 MPa > 16 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 7 MPa
Modulo elastico	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	27000 (± 2000) MPa	30000 (± 2000) MPa
Caratteristiche di tenacità - carico di prima fessuraz. - indice di tenacità	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	> 20 kN I ₂₀ > 20	----- -----
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa
Resistenza ai solfati	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli

N.B.: Per il betoncino di tipo B1 le prestazioni di riferimento sono quelle della malta tipo MC1 da cui si ottiene il betoncino, aggiungendo il 35% di ghiaietto. Nello stesso modo per i betoncini di tipo B2 e B3 si fa riferimento, rispettivamente, alle prestazioni delle malte di tipo MC2 e MC3.

4 - Prestazioni richieste per i materiali rapidi

REQUISITI	MATERIALI RAPIDI DI TIPO MC4		
Lavorabilità	210-220 mm		
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg		
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa		
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3		
Impermeabilità all'acqua - in pressione - assorbimento capillare	< 5 mm $< 0,35 \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$		
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1		
Resistenza a compressione a - 2 ore - 4 ore - 8 ore - 24 ore - 7 giorni - 28 giorni	- 5 °C	0 °C	20 °C
	>10 MPa	>14 MPa	>23 MPa
	>15 MPa	>18 MPa	>30 MPa
	>18 MPa	>23 MPa	>40 MPa
	>27 MPa	>32 MPa	>50 MPa
	>57 MPa	>60 MPa	>65 MPa
	>70 MPa	>70 MPa	>70 MPa
Resistenza a trazione per flessione (20°C)	1g > 15 MPa	7 gg > 18 MPa	28 gg > 20 MPa
Modulo elastico	30000 (± 2000) MPa		
Caratteristiche di tenacità - carico di prima fessurazione - indice di tenacità	> 20 kN		
	$I_{20} > 20$		
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 25 MPa		

N.B.: Per il betoncino di tipo B4 le prestazioni di riferimento sono quelle della malta tipo MC4 da cui si ottiene il betoncino, aggiungendo il 35% di ghiaietto.

5 - Prestazioni richieste per i materiali le malte cementizie polimero-modificate

REQUISITI	MALTE CEMENTIZIE POLIMERO MODIFICATE DI TIPO		
	MR1	MR2	MT3
Lavorabilità	180-190 mm	180-190 mm	170-180 mm
Resistenza alla fessurazione	----	----	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa	> 2MPa	> 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504-3	Secondo pr EN 1504-3	Secondo pr EN 1504-3
Impermeabilità all'acqua - in pressione - assorbimento capillare	< 15 mm < 0,5 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 15 mm < 0,5 kg·m ² ·h ^{-0,5}	< 15 mm < 0,5 kg·m ² ·h ^{-0,5}
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compressione - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 12 MPa > 28 MPa > 40 MPa	> 20 MPa > 27 MPa > 38 MPa	> 25 MPa > 45 MPa > 55 MPa
Resistenza a trazione per flessione - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 4 MPa > 7 MPa > 8 MPa	> 2 MPa > 5 MPa > 7 MPa	> 6 MPa > 8 MPa > 10 MPa
Modulo elastico [MPa]	16.000 (± 2.000)	16.000 (± 2.000)	25.000 (± 2.000)
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio [MPa]	----	-----	> 20

6 - Prestazioni richieste per calcestruzzo espansivo (o a ritiro compensato) di tipo CE

REQUISITI	CALCESTRUZZI ESPANSIVI DI TIPO CE
Lavorabilità	S5
Espansione contrastata	1 g > 0,03 %
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 1,5 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3
Impermeabilità all'acqua - in pressione - assorbimento capillare	< 20 mm < 0,5 kg·m ² ·h ^{-0,5}
Resistenza al gelo- disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compressione - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 20 MPa > 35 MPa > 50 MPa
Resistenza a trazione per flessione - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 2 MPa > 3 MPa > 4 MPa
Modulo elastico	30000 (± 2000) MPa
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 15 MPa

7 - Prestazioni richieste per malte di resina

REQUISITI	MALTE DI RESINA DI TIPO																															
	RC	RT	RI	RA																												
Viscosità cinematica	-----	-----	500-700 mPa·s	-----																												
Caratteristiche di adesione a 7 gg:																																
- resina-cls [MPa]	> 3,5	> 3,5	> 3,5	-----																												
- resina-acciaio[MPa]	> 12	> 7	> 10	-----																												
- carico di sfilamento su barre di armatura ad ader. miglior.	-----	-----	-----																													
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diam. barra [mm]</th> <th>Diam. foro [mm]</th> <th>Lunghezza ancoraggio barra [mm]</th> <th>Carico [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>12</td> <td>175</td> <td>10,6</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>16</td> <td>215</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>18</td> <td>255</td> <td>20,1</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>20</td> <td>275</td> <td>28,8</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>26</td> <td>355</td> <td>43,2</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>32</td> <td>435</td> <td>65,0</td> </tr> </tbody> </table>	Diam. barra [mm]	Diam. foro [mm]	Lunghezza ancoraggio barra [mm]	Carico [kN]	10	12	175	10,6	12	16	215	15,0	14	18	255	20,1	16	20	275	28,8	20	26	355	43,2	26	32	435	65,0
Diam. barra [mm]	Diam. foro [mm]	Lunghezza ancoraggio barra [mm]	Carico [kN]																													
10	12	175	10,6																													
12	16	215	15,0																													
14	18	255	20,1																													
16	20	275	28,8																													
20	26	355	43,2																													
26	32	435	65,0																													
Caratteristiche a compressione a 7 gg:																																
- Resistenza [MPa]	> 55	> 70	> 70	-----																												
- Modulo elastico [MPa]	7000	7000	3100	-----																												
Resist. a traz. per fless. a 7 gg [MPa]	> 30	> 25	> 40	-----																												
Caratteristiche a trazione diretta a 7 gg:																																
- Resistenza [MPa]	> 6	> 8	> 35	-----																												
- Modulo elastico [MPa]	6300	9500	2400	-----																												
Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg [°C ⁻¹]	2,46·10 ⁻⁵	2,04·10 ⁻⁵	5,11·10 ⁻⁵	-----																												

24.4. Trattamenti prima del ripristino o dell'adeguamento e fasi esecutive

24.4.1. Generalità

Le modalità esecutive variano in funzione dello spessore del calcestruzzo da asportare, da quello del ripristino e del tipo di materiale che sarà utilizzato, possono comunque essere sintetizzate nelle seguenti fasi:

- asportazione del calcestruzzo degradato, sia il calcestruzzo incoerente che quello contaminato da cloruri o carbonato che non è più in grado di passivare le armature;
- pulizia delle armature eventualmente scoperte, qualora il degrado sia causato dalla corrosione dei ferri d'armatura è fondamentale creare condizioni elettrochimiche che evitino il proseguire della corrosione;
- posizionamento delle eventuali armature aggiuntive;
- posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto;
- pulizia e saturazione della superficie di supporto⁽¹⁾;
- applicazione del materiale di ripristino;
- frattazzatura o staggatura;
- stagionatura.

Le fasi esecutive in funzione del tipo di materiale utilizzato sono indicate nella tabella riportata più avanti e sono descritte ai punti seguenti.

24.4.2. Asportazione del calcestruzzo degradato

Il progetto o la Direzione Lavori stabiliranno lo spessore di calcestruzzo da asportare sulla base dei risultati di un'apposita indagine preliminare. La Direzione Lavori segnalerà quindi alla Committente eventuali difformità di degrado rispetto a quanto indicato in progetto.

L'asportazione del calcestruzzo incoerente o degradato avverrà mediante idrodemolizione o scalpellatura meccanica eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa, adottando tutte le precauzioni necessarie ad evitare il danneggiamento delle strutture superstiti.

Le macchine idrodemolitrici dovranno avere pressione del getto d'acqua > 150 MPa e portata compresa tra 100 e 300 l/min in funzione del tipo della struttura e del calcestruzzo da asportare. Tali macchine dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori ed essere corredate di sistemi di prerogolazione con comando a distanza e di sistemi di sicurezza e di protezione, che consentano il corretto funzionamento anche in presenza di traffico, nonché il controllo delle acque di scarico, la qualità delle quali dovrà essere conforme ai limiti delle tabelle contenute nell'allegato 5 del D.Lgs. 152/2006.

La superficie del calcestruzzo di supporto dovrà risultare macroscopicamente ruvida (asperità di circa 5 mm di profondità) allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo ed il vecchio materiale. Tale macro ruvidità è indispensabile per i materiali ad espansione contrastata in aria (MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, MC4, B1, B2, B3, B4, B5, CE).

Per le malte cementizie polimero modificate (MR1, MR2, MT3) e per i materiali a base di resina (RC, RT, RI, RA) la preparazione del supporto potrà essere effettuata anche mediante sabbatura; non essendo necessaria la macroruvidità del supporto in quanto l'aderenza tra vecchio e nuovo si garantisce mediante l'azione collante della resina o del polimero e non mediante il meccanismo dell'espansione contrastata; ma se lo spessore del calcestruzzo degradato è centimetrico la sabbatura non è in grado di rimuovere tali spessori e quindi è necessario verificare se la semplice sabbatura e l'applicazione dei materiali con essa compatibili siano in grado di arrestare i fenomeni di degrado.

24.4.3. Pulizia delle armature

I ferri di armatura del cemento armato messi a nudo in fase d'asportazione del conglomerato cementizio ammalorato dovranno essere puliti dalle scaglie di ossido mediante sabbatura.

⁽¹⁾ Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione è consigliabile effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione del sottofondo sono state ultimate.

		MATERIALI				
		Malte e betoncini espansivi in aria non fibrorinforz. di tipo MT2, MC2, B2, B5	Malte e betoncini espansivi in aria fibrorinforz. di tipo MT1, MC1, MC3, MC4, B1, B3, B4	Malte polimero modificate di tipo MR1, MR2, MT3		Materiali a base di resina di tipo RC, RT, RI, RA
FASI ESECUTIVE	Asportazione del calcestruzzo degradato(*)	Idrodemolizione o scalpellatura meccanica	Idrodemolizione o scalpellatura meccanica	Sabb. o idrosabb. (per sp. millimetr.)	Idrodem. o scalp. mecc. (per sp. centim.)	Sabbiatura
	Pulizia delle armature	Sabbiatura	Sabbiatura	Sabbiatura		Sabbiatura
	Posizionamento di armature aggiuntive	Se richiesto	Se richiesto	Se richiesto		Se richiesto
	Posizionamento di rete di contrasto	per spessori > 40 mm per MT2 e MC2	N.R.	N.R.		N.R.
	Pulizia della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	Acqua a caduta o soffio d'aria compressa		Soffio d'aria compressa
	Saturazione della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	Acqua in press. per MR1	N.R. per MR2 e MT3	N.R.
	Applicazione del materiale di ripristino	Spruzzo o rinzaffo o colaggio	Spruzzo o rinzaffo o colaggio	Spruzzo o rinzaffo		Spatolatura o colaggio o iniezione
	Fratazzatura (superf. verticali) o staggiatura (superf. orizzontali.)	Richiesta	Richiesta	Richiesta		N.R.
	Stagionatura ⁽¹⁾	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica		N.R.

N.R. = Fase esecutiva non richiesta.

(*) Per i materiali ad espansione contrastata dovrà garantirsi una macro ruvidità (asperità di circa 5 mm di profondità).

24.4.4. Posizionamento di armature aggiuntive

Qualora sia necessario aggiungere delle armature, queste saranno poste in opera prima della pulizia della superficie di supporto e del posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto.

Dovrà essere garantito un copriferro di almeno 20 mm.

24.4.5. Posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto

E' richiesta l'applicazione di una rete elettrosaldata di contrasto solo per le malte di tipo MT2 e MC2 quando lo spessore d'intervento è maggiore di 20 mm.

Quando si richiede l'utilizzo di rete di contrasto, questa dovrà essere ben ancorata al supporto, lo spessore minimo d'intervento non potrà essere inferiore a 40 mm, infatti la rete dovrà avere un copriferro di almeno 20 mm e dovrà essere distaccata dal supporto di almeno 10 mm, mediante l'uso di distanziatori (altrimenti si hanno minori aderenze

⁽¹⁾ Quando si devono applicare rivestimenti protettivi o trattamenti d'impermeabilizzazione si devono utilizzare prodotti antievaporanti che, dopo pochi giorni dall'applicazione, si polverizzano e siano di facile asportazione mediante lavaggio con acqua in pressione. L'adozione dei teli di plastica è limitata ai casi di protezione dei getti in climi particolarmente rigidi.

all'interfaccia vecchi/nuovo materiale e fessurazioni in superficie per assenza di contrasto nello spessore più esterno del materiale utilizzato per il ripristino).

Nel caso sia previsto nel Progetto l'utilizzo di rete elettrosaldata in barre d'acciaio inossidabile, questa dovrà avere le caratteristiche precisate in Progetto.

24.4.6. Pulizia e saturazione della superficie di supporto

Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione occorre effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione siano state ultimate.

Si dovranno pertanto asportare con i mezzi più opportuni le polveri e le parti incoerenti in fase di distacco eventualmente ancora presenti dopo l'asportazione meccanica del calcestruzzo, l'ossido eventualmente presente sui ferri d'armatura, le impurità, le tracce di grassi, oli e sali aggressivi, ottenendo così una superficie composta da un conglomerato cementizio sano, pulito e compatto.

Per l'applicazione di materiali cementizi, la pulizia della superficie di supporto, salvo le malte di tipo MR1, MR2 ed MT3 per le quali la pulizia va eseguita con aria compressa o con lavaggio con acqua a caduta, dovrà essere effettuata mediante lavaggio con acqua in pressione (80-100 MPa e acqua calda nel periodo invernale), per asportare polvere e parti incoerenti, eventualmente ancora presenti dopo la scarifica meccanica del calcestruzzo.

L'operazione di pulizia con acqua in pressione, se eseguita immediatamente prima dell'applicazione del materiale, consente anche la saturazione del calcestruzzo, comunque necessaria per una corretta applicazione dei materiali ad espansione contrastata in aria (MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, MC4, B1, B2, B3, B4, B5, CE). Per l'applicazione dei materiali a base di resina (RC, RT, RI, RA) la pulizia della superficie di supporto dovrà essere effettuata mediante getto di aria compressa per asportare la polvere eventualmente presente dopo aver preparato il supporto mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

24.4.7. Applicazione dei materiali di ripristino

Le modalità applicative variano in relazione alla tecnologia d'intervento utilizzata ed al tipo di materiale prescelto, possono comunque essere sintetizzate come segue:

I materiali cementizi sono forniti già premiscelati a secco, devono essere miscelati con acqua, escluse le malte di tipo MR2 ed MT3 che vanno impastate con il proprio polimero, nel quantitativo indicato dalle Ditte Produttrici (sarà importante non superare mai il quantitativo massimo indicato per evitare sia fenomeni di *bleeding* e separazione che il decadimento di tutte le prestazioni), per almeno 4-5 minuti con betoniera o con il miscelatore dell'intonacatrice secondo la seguente metodologia:

- introdurre nella betoniera o nel miscelatore il minimo quantitativo d'acqua indicato dal produttore, aggiungere il materiale contenuto nei sacchi e quindi per i materiali di tipo MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, B1, B2, B3, B5 il ritentore di umidità liquido;
- proseguire la miscelazione per 4-5 minuti fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di grumi;
- se necessario, aggiungere altra acqua (senza mai superare il quantitativo massimo indicato dal produttore) fino ad arrivare alla consistenza voluta e mescolare per altri 2 minuti.

Non è consentita la miscelazione a mano poiché questa generalmente comporta un eccesso d'acqua nell'impasto. Per miscelare piccoli quantitativi dovrà essere impiegato un normale trapano con mescolatore a frusta.

Le malte tixotropiche vanno applicate con macchina intonacatrice o manualmente con la cazzuola.

Le malte ed i betoncini colabili vanno applicati a consistenza fluida o superfluida per colaggio, nel caso di applicazione entro cassero si dovranno utilizzare casseforme che non assorbano acqua dall'impasto e che garantiscano una perfetta tenuta per evitare perdite di bocca, tali casseforme dovranno essere opportunamente fissate in modo da resistere alla spinta dei materiali a consistenza superfluida.

E' accettata l'applicazione con temperature comprese tra 5 e 40 °C, al di fuori di tale intervallo l'applicazione potrà essere eseguita soltanto previa autorizzazione della Direzione Lavori.

Solo i materiali per ripristini rapidi di tipo (MC4, B4) possono essere utilizzati fino a temperature di - 5 °C.

Quando le temperature sono tra 5 e 10 °C lo sviluppo delle resistenze meccaniche è più lento, pertanto è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in ambiente riparato dal freddo;
- impiegare acqua calda per l'impasto;
- iniziare le applicazioni nella mattinata;
- proteggere dall'ambiente freddo il getto coprendolo con teli impermeabili.

Per applicazioni a temperature prossime a 40 °C è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in luogo fresco;
- impiegare acqua fresca;
- applicare i materiali nelle ore meno calde della giornata;
- nei climi asciutti e ventilati si raccomanda di porre particolare attenzione alla stagionatura.

I materiali a base di resina devono essere miscelati ed applicati seguendo scrupolosamente le indicazioni fornite dal produttore sulle schede tecniche dei singoli prodotti.

24.4.8. Fratzzatura o staggiatura

Dopo l'applicazione dei materiali cementizi tixotropici, la superficie dovrà essere lisciata mediante frattazzatura. Tale operazione dovrà essere eseguita con molta cura nel caso delle malte che sono miscelate con acqua, infatti, una corretta frattazzatura è indispensabile per contrastare efficacemente la formazione di microfessure, derivanti dal ritiro plastico.

Per diminuire questo rischio tutte le malte tixotropiche, che sono applicate a spruzzo od a rinzaffo, devono essere provviste di fibre sintetiche poliacrilinitrili.

La frattazzatura dovrà eseguirsi dopo un certo tempo dall'applicazione in funzione delle condizioni climatiche.

L'intervallo di tempo tra l'applicazione a spruzzo e la finitura con frattazzo è stabilito in funzione del primo irrigidimento della malta che si determina quando, appoggiando una mano sulla superficie, le dita non affondano ma lasciano una leggera impronta sull'intonaco.

Le superfici esposte all'aria (vale a dire non a contatto con casseforme) dei materiali cementizi colabili possibilmente dovrebbero essere stagiate se l'operazione non è possibile, o considerata troppo onerosa, appena messe in opera devono essere stagionate con materiali specifici, che non pregiudichino l'aderenza di successivi sistemi protettivi o impermeabilizzanti, e/o protetti con teli di plastica nel periodo invernale o stagionati con acqua nebulizzata nel periodo estivo.

24.4.9. Stagionatura

Una corretta stagionatura è fondamentale per garantire una giusta maturazione e per evitare la formazione di fessure da ritiro plastico, dovute all'immediata evaporazione di parte dell'acqua d'impasto sotto l'azione del sole e del vento. Nelle opere di nuova costruzione, diventa fondamentale per la curabilità degli interventi di manutenzione.

La stagionatura potrà essere realizzata utilizzando:

- prodotti stagionanti specifici, che non diminuiscono l'aderenza di sistemi protettivi o impermeabilizzanti;
- teli;
- acqua nebulizzata.

La copertura con il *curing* sarà tanto più rapida quanto più caldo e secco è il clima (il *curing* potrà essere evitato se si usano malte con microfibre poliacrilinitrili).

La stagionatura può essere realizzata in modo semplice ed affidabile utilizzando materiali a base di resine che abbinano alla funzione di stagionante anche quella di *primer* per eventuali sistemi protettivi da applicare sopra il materiale di ripristino.

L'eventuale protezione delle strutture ripristinate dovrà essere eseguita secondo quanto indicato sulle schede tecniche del sistema protettivo utilizzato.

24.5. Prove e controlli

La Direzione Lavori prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per l'asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato, per eventuali sabbiature, per la pulizia e/o la saturazione del supporto e per l'applicazione a spruzzo dei prodotti tixotropici siano idonei ad ottenere quanto richiesto dal presente Capitolato e dal progetto. Tali verifiche dovranno essere reiterate anche in corso d'opera, per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come descritto nei precedenti paragrafi e nel progetto.

La Direzione Lavori, per l'accettazione dei materiali, dovrà attenersi a quanto indicato ai precedenti paragrafi ed in particolare, per i materiali cementizi ad espansione contrastata in aria, la stessa Direzione Lavori dovrà eseguire, ad inizio cantiere ed in corso d'opera, quando lo ritenga opportuno, la verifica qualitativa (*test* d'inarcamento/imbarcamento) o quantitativa (secondo UNI 8147 con maturazione dei provini in aria) della capacità espansiva del prodotto.

Nel caso in cui il prodotto esaminato non dovesse rispettare i requisiti richiesti lo stesso dovrà essere sostituito.

In corso d'opera le prove dovranno comunque essere ripetute, con la frequenza ritenuta necessaria dalla Direzione Lavori.

Qualora dalle prove risultassero valori inferiori di non più del 10%, rispetto a quelli indicati nelle tabelle relative alle malte cementizie ad espansione contrastata, alle malte cementizie polimero-modificate e ai formulati a base di resine, o rispetto a quelli previsti in progetto, la Direzione Lavori, ferma restando la verifica della sicurezza strutturale, accetterà il materiale ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato.

Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti, e nel caso in cui sussistano contemporaneamente più difetti, qualunque siano i valori di scostamento riscontrati rispetto alle previsioni progettuali, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla rimozione dei materiali già posti in opera ed al loro ripristino.

Le superfici ripristinate dovranno essere controllate a campione⁽¹⁾ (almeno il 5% per superfici estese e almeno il 10% per superfici limitate) mediante bagnatura, per ogni elemento strutturale, per verificare l'eventuale presenza di microfessure.

In caso si evidenziasse microfessure occorrerà estendere il controllo all'intera superficie riparata per la quale, se l'incidenza dell'area fessurata risulterà inferiore al 20% dell'area totale d'intervento, sarà applicata una penale; se superiore, l'Appaltatore dovrà procedere, a sua cura e spese, alla rasatura e alla protezione con filmogeni, di tipologia da concordare con la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista. Tale intervento avrà in genere uno spessore medio di 3 mm, sarà realizzato utilizzando una malta cementizia polimero modificata premiscelata, tixotropica, del tipo MR1, previa preparazione del supporto mediante sabbiatura o idrosabbiatura e la malta dovrà essere applicata preferibilmente a spruzzo con intonacatrice, mentre l'applicazione con spatola è consentita per interventi d'estensione limitata.

La verifica di ottenimento dell'adesione in opera si otterrà con il controllo al martello, con campionamento secondo il criterio indicato per le microfessure.

Le superfici risonanti a vuoto saranno verificate in contraddittorio e su di esse sarà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi e sovrapprezzi spesi per il lavoro risultato non idoneo, salvo richiesta della Committente di far effettuare, le asportazioni ed il rifacimento del ripristino delle superfici risonanti.

Qualora sussistano contemporaneamente due o più difetti potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori la rimozione delle riparazioni mal eseguite, oppure sarà applicata una detrazione a tutti i prezzi e superfici controllate pari alla somma delle penalità indicate.

25. Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio

25.1. Sistemi protettivi filmogeni

25.1.1. Generalità

L'applicazione di sistemi filmogeni è la tecnica che si utilizza per proteggere l'elemento strutturale dall'aggressione di agenti aggressivi esterni quando attraverso le indagini si è accertata una delle seguenti situazioni:

⁽¹⁾ Per singolo elemento strutturale.

- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, ancorché le indagini abbiano rivelato la presenza di uno spessore di calcestruzzo carbonatato, purché inferiore al copriferro;
- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, anche se le indagini hanno rilevato che sono iniziati fenomeni di corrosione nelle armature.

L'applicazione di sistemi protettivi filmogeni viene utilizzata anche quando si realizzano interventi di ripristino localizzati sia per equilibrare i potenziali elettrochimici delle armature, che per migliorare l'aspetto estetico. Si deve infatti evitare che parti di armatura avvolte da conglomerato di qualità diversa da punto a punto, vengano nuovamente a trovarsi in condizioni tali da generare nuove pile e reinnescare il processo di corrosione.

L'applicazione di sistemi protettivi ha scopo di impedire o ritardare l'insorgere dei fenomeni che possono portare alla fessurazione, allo sgretolamento, al dilavamento, al rigonfiamento, alla delaminazione od al distacco di parti di calcestruzzo.

Il sistema protettivo deve essere capace di costituire uno schermo verso l'ambiente impedendo da un lato la penetrazione degli aggressivi, dall'altro quella dell'acqua e dell'ossigeno, che contribuiscono alle reazioni che causano il degrado delle strutture.

Per le norme specifiche da osservare si veda l'articolo precedente.

25.1.2. Definizione e scelta dei sistemi protettivi

25.1.2.1. Generalità

La scelta dei sistemi protettivi filmogeni deve essere effettuata in funzione del tipo di struttura, dell'elemento da proteggere ed in funzione del grado di aggressione a cui è sottoposto. Il progetto indicherà il sistema da adottare, in accordo con le specifiche di cui al presente Capitolato.

Nei paragrafi seguenti sono individuati i requisiti, le caratteristiche e le prestazioni, con le relative fasi esecutive e di controllo del sistema protettivo prescelto.

25.1.2.2. Protezione di ponti, viadotti e cavalcavia

Di tipo PP

Sistema protettivo elastico a base poliuretanic (ciclo alifatico) applicabile a rullo o con *airless* su qualsiasi tipo di elemento strutturale dove sia richiesto un elevatissimo grado di protezione. Costituito da un *primer* epossipoliamicidico con spessore di 50 µm e da una finitura a base di elastomeri poliuretanic alifatic applicata in due differenti spessori in funzione del grado di protezione desiderata:

Con 200 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO₂, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti.

Con 300 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO₂, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti;
- una *Crack bridging ability* (capacità del *film* di rimanere integro attraverso fessure) relativa a cavillature già presenti sul supporto di apertura < 300 µm;

Di tipo PA

Sistema protettivo elastico a base acrilica in acqua, applicabile a rullo o con *airless* su qualsiasi tipo di elemento strutturale dove sia richiesto un elevato grado di protezione (ma non indicato su elementi strutturali a contatto permanente con acqua), è particolarmente utilizzato per la protezione di superfici in ambiente chiuso in quanto non contiene solventi, mentre è sconsigliata l'applicazione in periodo invernale in quanto le basse temperature ne rallentano l'indurimento. Costituito da un *primer* acrilico in acqua con spessore di 50 µm e finitura acrilica in acqua applicata in due differenti spessori in funzione del grado di protezione desiderata:

Con 200 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO₂, acqua liquida, cloruri;

- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti.

Con 300 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO₂, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti;
- una *Crack bridging ability* relativa a cavillature già presenti sul supporto di apertura < 300 µm.

Di tipo PM

Protettivo rigido monocomponente a base di metacrilati, applicabile a rullo o con metodologia *airless*, utilizzabile ove sia richiesto un buon grado di protezione senza alcuna *performance* di *Crack bridging ability*. Costituito da un *primer* a base di metacrilati, con spessore di 50 µm e finitura a base di metacrilati applicata con spessore di 100 µm.

25.1.2.3. Protezione di strutture idrauliche

Sistemi protettivi

	Per ponti, viadotti e cavalcavia					Per strutture idrauliche	
Tipo	PP		PA		PM	PE	
Protez.	Elevatissima		Elevata		Media	Elevata	Media
Spessore	<i>primer</i> 50 µm + finitura 300 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 200 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 300 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 200 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 100 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 600 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 400 µm
Destinazione d'uso indicativa	elementi snelli e/o flessibili		elementi non a contatto permanente con l'acqua		elementi tozzi e/o rigidi	canali, tombini ed opere in alveo	
	pile snelle travi cordoli intradosso sbalzi		interno cassoni		pile tozze pulvini(*) spalle strutture ad arco	su corsi d'acqua caratter. da p > 5% d _{TS} > 10mm	su corsi d'acqua caratter. da p ≤ 5% d _{TS} ≤ 10mm

d_{TS} = diametro del trasporto solido.

(*) Se l'intervento coinvolge pile e pulvini, verrà utilizzato il medesimo rivestimento delle pile.

Di tipo PE

Sistema protettivo rigido epossipoliamicco applicabile a rullo o con sistema *airless*. Costituito da primer epossipoliamicco con spessore di 50 µm e finitura epossipoliamicca, può essere applicato in funzione del grado di protezione richiesto:

- protezione media per canali, tombini ed opere in alveo (pile, fondazioni, muri di sponda, briglie, ecc.), su corsi d'acqua caratterizzati da pendenza ≤ 5% e con trasporto solido di inerti di diametro ≤ 10 mm. E' richiesto uno spessore della finitura pari a 400 µm;
- protezione elevata per canali, tombini ed opere in alveo (pile, fondazioni, muri di sponda, briglie, ecc.), su corsi d'acqua caratterizzati da pendenza > 5% e con trasporto solido di inerti di diametro > 10 mm. E' richiesto uno spessore della finitura pari a 600 µm.

25.2. Requisiti e metodi di prova

Come viene riportato nella norma UNI EN 1504/2, la protezione pellicolare filmogena di strutture in c.a. consente di:

- proteggere dall'ingresso dell'aggressivo;
- incrementare la resistività elettrica mediante limitazione del tenore di umidità.

Affinché il sistema protettivo possa assolvere a tali funzioni deve essere caratterizzato dai seguenti requisiti:

- **Capacità di barriera:** è la capacità del sistema protettivo di isolare il calcestruzzo dagli aggressivi presenti nell'ambiente, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni cloruro, all'anidride carbonica, ed all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione; nei riguardi di queste sostanze la pellicola di protettivo deve naturalmente risultare il più possibile resistente;
- **Resistenza ai raggi ultravioletti:** indica la capacità del protettivo a non virare di colore ed ad invecchiare all'esposizione dei raggi UV;
- **Permeabilità al vapore d'acqua:** la pellicola, sulle strutture aeree (fuori terra) dovrà risultare il più permeabile possibile al vapore d'acqua proveniente dall'interno della struttura; in caso contrario con il variare della temperatura possono generarsi pressioni di vapore all'interfaccia pellicola/calcestruzzo, capaci di causarne il distacco;
- **Aderenza:** è la capacità del sistema protettivo di aderire nel tempo al supporto, ruolo fondamentale in tal senso svolge il *primer* quale promotore di adesione tra il supporto cementizio ed il rivestimento protettivo. Tali *primer* sono formulati di resina in forma liquida, monocomponenti oppure bicomponenti (base + induritore) e si applicano a rullo oppure mediante apparecchiatura a spruzzo di tipo *airless* per spessori di circa 50 µm;
- **Crack bridging ability:** è la capacità di mantenere integra la pellicola attraverso cavillature (< 300 µm) già esistenti nel conglomerato, che normalmente variano di apertura con le variazioni termiche e con il ritiro;
- **Resistenza all'abrasione:** indica la capacità di resistere all'usura sotto l'azione di azioni abrasive quali pedonabilità, traffico, contatto con acqua in movimento contenete solidi più o meno grossi.

Nella tabella riportata più avanti sono indicati i principali requisiti ed i corrispondenti metodi di prova mediante i quali è possibile la caratterizzazione prestazionale dei sistemi protettivi filmogeni.

25.3. Accettazione e specifiche prestazionali dei sistemi protettivi

Prima che i sistemi protettivi proposti dall'Appaltatore siano impiegati, la Direzione Lavori dovrà verificare che siano tra quelli omologati all'uso da parte del Committente, in base a prove dirette od a seguito dell'esame di prove eseguite presso Laboratori Ufficiali.

L'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori, dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione tecnica per la qualifica dei materiali che intende impiegare, dimostrando la piena rispondenza ai requisiti ed alle prestazioni richieste (dichiarazione rilasciata dal produttore).

La Direzione Lavori in tempo utile rispetto al programma lavori esprimerà il suo parere, potendo comunque prescrivere l'esecuzione di prove su campioni di materiali prelevati in contraddittorio. Saranno altresì richieste, con le stesse modalità, verifiche su campioni di materiale di normale fornitura e dichiarazioni che attestino le prestazioni specifiche delle partite di materiale, che sono consegnate di volta in volta dalle Società Produttrici.

I Produttori devono possedere la certificazione di qualità ai sensi della normativa UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un sistema di gestione della qualità di analoghe caratteristiche.

La Direzione Lavori su indicazione del Committente, potrà richiedere che il produttore fornisca, congiuntamente al materiale, una dichiarazione che attesti le prestazioni specifiche della partita di materiale che viene consegnato di volta in volta.

Requisiti e metodi di prova

REQUISITI E METODI DI PROVA	PROTETTIVI DI TIPO			
	PP	PA	PM	PE
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542			
Permeabilità al vapore d'acqua	UNI EN ISO 7783/1			
	UNI EN ISO 7783/2			

Permeabilità alla CO ₂	UNI EN 1062/6	
<i>Crack bridging ability</i>	EN 1062/7	-----
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687/1	
Permeabilità all'acqua (assorbimento capillare)	UNI EN 1062/3	
Invecchiamento artificiale (2000 ore sotto raggi UV e umidità relativa)	UNI EN 1062/11	
Resistenza all'abrasione	-----	UNI EN ISO 5470/1

Prestazioni dei sistemi protettivi

REQUISITI	PROTETTIVI DI TIPO			
	PM	PA	PP	PE
Adesione al calcestruzzo	> 3 MPa	> 2 MPa	> 3 MPa	> 3 MPa
Permeabilità al vapor d'acqua: - coefficiente di diffusione al vapore - spessore di aria equivalente	$\mu < 32000$ Sd < 3,2 m (spess. 100 μm)	$\mu < 1000$ Sd < 0,3 m (spess. 300 μm)	$\mu < 6000$ Sd < 1,8 m (spess. 300 μm)	$\mu < 60000$ Sd < 36 m (spess. 600 μm)
Permeabilità alla CO ₂ - coefficiente di diffusione alla CO ₂ - spessore di aria equivalente	$\mu > 1000000$ Sd > 100 m (spess. 100 μm)	$\mu > 700000$ Sd > 140 m (spess. 200 μm)	$\mu > 1300000$ Sd > 260 m (spess. 200 μm)	$\mu > 1500000$ Sd > 600 m (spess. 400 μm)
<i>Crack bridging ability</i> ⁽¹⁾	-----	100 μm	100 μm	-----
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti - aderenza al calcestruzzo per trazione diretta dopo i cicli	> 3 MPa	> 2 MPa	> 3 MPa	> 3 MPa
Permeabilità all'acqua ⁽²⁾ (assorbimento capillare)	< 0,08 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}	< 0,1 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}	< 0,005 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}	< 0,005 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}
Invecchiamento artificiale	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado	Schiarimento colore
Resistenza all'abrasione	Perdita in peso < 500 mg	-----		Perdita in peso < 500 mg

25.4. Preparazione del supporto e modalità d'applicazione del sistema protettivo

La preparazione del calcestruzzo di supporto dovrà essere eseguita mediante sabbiatura sia per eliminare dalla superficie eventuali contaminanti, disarmanti e/o particelle in fase di distacco, che per aumentare l'aderenza del protettivo grazie ad una microrugosità superficiale, seguita da pulizia con aria compressa immediatamente prima della applicazione.

Qualora il supporto presenti vespai od altre imperfezioni superficiali si dovrà provvedere al risanamento mediante rasatura con malte di tipo MR1 come descritto nell'art. 26.

Quando il supporto presenta veri e propri degradi, ammaloramenti profondi, si dovrà asportare il calcestruzzo degradato e/o contaminato e provvedere al risanamento con malte o betoncini cementizi premiscelati ad espansione contrastata in aria come descritto nell'art. 26. Quando il sistema protettivo viene applicato sul materiale di ripristino la superficie può non essere sabbiata.

Pulizia della superficie

⁽¹⁾ Spessore del protettivo 300 μm .

⁽²⁾ Si ritiene che se l'assorbimento capillare risulta essere < 0,01 kg·m⁻²·h^{-0,5} non vi sia alcuna diffusione dello ione Cloro.

Tutte le superfici su cui verrà applicato il protettivo dovranno essere pulite mediante aria compressa o lavaggio a caduta.

La Direzione Lavori si riserva comunque di approvare i risultati ottenuti dalla preparazione del supporto. Tale approvazione non ridurrà comunque la responsabilità dell'Appaltatore relativa al raggiungimento dei requisiti finali del rivestimento protettivo in opera.

Applicazione del sistema protettivo (*primer* + finitura)

La temperatura di applicazione sia per i *primers* che per le finiture dovranno essere quelle riportate sulle schede tecniche dei prodotti prescelti.

E' comunque vietata l'applicazione a temperatura inferiore a + 5°C.

Al momento dell'applicazione del *primer* la superficie del supporto dovrà essere asciutta.

I *primer* e le finiture potranno essere applicate sia con metodo *airless*, sia con rullo.

Il tempo intercorrente tra l'applicazione di strati successivi dovrà essere conforme a quanto riportato sulle schede tecniche del prodotto.

L'applicazione della finitura dovrà avvenire preferibilmente a spruzzo mediante metodo *airless*; è consentita l'applicazione a pennello od a rullo solo nel caso di protezione di superfici d'estensione limitata.

Lo spessore del sistema protettivo indicato nel progetto si intende sempre come spessore di *film* secco, ossia a rivestimento indurito.

Il prodotto non deve provocare inconvenienti d'alcun genere agli applicatori, che comunque durante la miscelazione e l'applicazione dovranno indossare guanti, occhiali ed idonei indumenti di lavoro.

In particolare il prodotto non deve contenere idrocarburi clorurati, metanolo, benzene ed altre sostanze d'analogia o maggiore tossicità.

25.5. Prove, controllo delle prestazioni e degli spessori, penali

La Direzione Lavori, prima dell'inizio delle lavorazioni, dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per la sabbiatura del calcestruzzo, per la pulizia del supporto e per l'applicazione dei sistemi protettivi, siano idonei ad ottenere quanto richiesto dal presente Capitolato e dal progetto.

Tali verifiche dovranno essere reiterate anche in corso d'opera, per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come descritto in precedenza, nel progetto e come riportato sulle schede tecniche dei prodotti utilizzati.

In corso d'opera le prove potranno essere ripetute con la frequenza richiesta dalla Direzione Lavori, su indicazione del Committente, ed inoltre la stessa Direzione Lavori effettuerà controlli dello spessore sul film umido⁽¹⁾ della singola mano applicata con le seguenti modalità:

- misura dello spessore mediante "pettine" d'idonea graduazione, secondo le specifiche della ASTM D 4414 (o ASTM D 1212);
- per superfici globali da proteggere inferiori a 2000 m², almeno una serie di 20 misure;
- per superfici globali da proteggere superiori a 2000 m², almeno una serie di 40 misure.

la serie di misure sarà, se possibile, omogeneamente distribuita sulla superficie da verificare ed il suo valore medio non dovrà essere minore di quello di progetto.

Nel caso risulti un valore medio inferiore allo spessore di progetto, l'Appaltatore, a sua cura e spese, provvederà ad integrare lo spessore mancante mettendo in atto tutti gli accorgimenti necessari per la buona riuscita dell'integrazione.

Qualora dalle prove eseguite, anche su materiali posti in opera, risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti al presente articolo, il materiale verrà accettato ma il suo prezzo unitario verrà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato. Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla sostituzione e/o alla rimozione dei materiali già posti in opera.

⁽¹⁾ Lo spessore di *film* umido, corrispondente allo spessore di film secco previsto in progetto, si ottiene moltiplicando lo spessore di *film* secco per 100 e dividendo per il valore dei solidi in volume del prodotto da applicare (derivato dalla scheda tecnica del prodotto); il valore ottenuto verrà arrotondato alla decina.

26. Acciaio per carpenteria

26.1. Norme di riferimento

L'Appaltatore sarà tenuto all'osservanza delle norme vigenti, con particolare riferimento alle seguenti (v. anche l'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi):

- L. 05.11.1971 n.1086;
- D.M. 14/01/2008 e relativa circolare ministeriale esplicativa;
- Eurocodice 3 (UNI EN 1993) "Progettazione delle strutture in acciaio";
- Eurocodice 4 (UNI EN 1994) "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo";
- "Manuale di progettazione dei ponti" di RFI;
- Istruzione tecnica RFI n. 44/M "Specifiche tecniche relative al collaudo dei materiali ed alla costruzione delle travate metalliche e miste acciaio-calcestruzzo per ponti ferroviari e cavalferrovia";
- Norme UNI EN seguenti:

UNI EN 10021:2007	12/04/2007	Condizioni tecniche generali di fornitura dei prodotti di acciaio
UNI EN 10024:1996	31/07/1996	Travi ad I ad ali inclinate laminate a caldo. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10025-1:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura
UNI EN 10025-2:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali
UNI EN 10025-3:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato
UNI EN 10025-4:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termo meccanica
UNI EN 10025-5:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica
UNI EN 10025-6:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 6: Condizioni tecniche di fornitura per prodotti piani di acciaio per impieghi strutturali ad alto limite di snervamento, bonificati
UNI EN 10027-1:2006	12/01/2006	Sistemi di designazione degli acciai - Parte 1: Designazione simbolica
UNI EN 10029:1992	02/06/1992	Lamiere di acciaio laminate a caldo, di spessore ≥ 3 mm. Tolleranze dimensionali, di forma e sulla massa.
UNI EN 10034:1995	30/09/1995	Travi ad I e ad H di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10055:1998	30/04/1998	Profilati a T ad ali uguali e a spigoli arrotondati di acciaio, laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze dimensionali e di forma
UNI EN 10056-1:2000	31/07/2000	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali - Dimensioni
UNI EN 10056-2:1995	30/11/1995	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10163-1:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 1: Requisiti generali
UNI EN 10163-2:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 2: Lamiere e larghi piatti
UNI EN 10163-3:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 3: Profilati
UNI EN 10210-1:2006	16/11/2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
UNI EN 10210-2:2006	16/11/2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo

– densità: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Le caratteristiche dei principali tipi di acciaio da carpenteria sono indicate nelle tabelle che seguono, riportate al punto 11.3.4.1 del D.M. 14/01/2008 dove f_{yk} e f_{tk} sono, rispettivamente, le tensioni caratteristiche di snervamento e di rottura:

Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Laminati a caldo con profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

A puro titolo indicativo si riportano alcune condizioni di impiego dell'acciaio, con i relativi principali parametri prestazionali:

Acciaio in lamiera e profili laminati a caldo

– acciaio per spessori $\leq 40 \text{ mm}$: S355J2+N (ex Fe 510);

- tensione caratteristica di snervamento per sp. ≤ 40 mm: $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$;
- tensione caratteristica di rottura per sp. ≤ 40 mm: $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$;
- resistenza di calcolo a trazione sp. ≤ 40 mm: $f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$;
- acciaio per spessori > 40 mm: S355K2+N (ex Fe 510);
- tensione caratteristica di snervamento sp. > 40 mm: $f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2$;
- tensione caratteristica di rottura sp. > 40 mm: $f_{tk} = 470 \text{ N/mm}^2$;
- resistenza di calcolo a trazione sp. > 40 mm: $f_{yd} = 319 \text{ N/mm}^2$.

Acciaio per connettori (pioli tipo Nelson):

- S235 J2G3+C450 o equivalente, avente le seguenti caratteristiche minime:

Yield point	(R_e) min. 350 N/mm ²
Tensile strengths	(R_m) min. 450 N/mm ²
Elongation	(A_5) min. 15%

Acciaio per opere provvisionali

- acciaio per palancole: S 355 GP;
- acciaio per altra carpenteria metallica: S 355 JR.

26.3. Approvvigionamento materiali da costruzione.

26.3.1. Generalità

Tutti i materiali impiegati dovranno essere qualificati e marcati CE ai sensi delle vigenti norme.

Per le strutture principali sarà ammesso di norma solo l'uso di acciai con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle dell'acciaio S355, mentre è generalmente ammesso l'uso di acciai autopassivanti.

La marcatura dovrà risultare leggibile ed il produttore dovrà accompagnare la fornitura con l'attestato di controllo e la dichiarazione che il prodotto è qualificato.

L'Appaltatore dovrà esibire gli ordini effettuati per i materiali da impiegare, contenenti le specifiche tecniche richieste in progetto, i controlli e le certificazioni cui i materiali stessi dovranno essere sottoposti. In particolare, se non diversamente indicato in progetto, le lamiere dovranno essere approvvigionate con tolleranza sullo spessore "classe A" UNI EN 10029.

Insieme con gli ordini emessi l'Appaltatore dovrà esibire le relative conferme d'ordine da parte del produttore, con esplicita accettazione delle specifiche tecniche richieste e indicazione dei tempi di consegna.

Qualora l'Appaltatore impieghi materiale giacente a magazzino ne dovrà fornire la documentazione d'origine del produttore.

26.3.2. Disegni di fabbricazione

Prima dell'approvvigionamento dei materiali l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, in copia riproducibile, i disegni di fabbricazione (detti anche "di officina") controfirmati, redatti dall'Appaltatore in conformità al progetto ed alle specifiche tecnologie utilizzate dall'officina che realizzerà i componenti delle opere e contenenti tutti i dettagli costruttivi che saranno realizzati.

L'Appaltatore dovrà inoltre consegnare una relazione di calcolo contenente la verifica dell'idoneità degli eventuali dettagli modificati proposti, le modalità di montaggio e varo con indicazione di schemi statici transitori e con le verifiche complete della struttura durante le operazioni di montaggio.

I disegni di fabbricazione consegnati dall'Appaltatore dovranno in particolare contenere le seguenti indicazioni:

- diametri e classi dei bulloni impiegati; di regola si dovranno impiegare bulloni sia normali che ad alta resistenza dei seguenti diametri: D = 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27 mm. E' ammesso solo l'uso di bulloni neri; i bulloni zincati sono ammessi solo previa esplicita previsione progettuale o accettazione da parte della Direzione Lavori ed in questo ca-

so i bulloni devono essere ordinati specificamente “per zincatura” (ossia il bullone deve essere realizzato con acciaio compatibile con la zincatura a caldo);

- tipologia dei collegamenti bullonati (se ad attrito o a taglio); in particolare per i collegamenti ad attrito saranno impiegati bulloni precaricati a serraggio controllato. E' ammesso l'uso di bulloni HRC a serraggio controllato meccanicamente (con rottura del codolo) secondo quanto previsto dalle norme armonizzate EN 14399-10 e, per quanto non in contrasto con la suddetta norma, le norme NF E 25-812;
- diametri dei fori in funzione dei bulloni e della tipologia del collegamento;
- coppie di serraggio dei bulloni;
- elementi di posizionamento dei pioli di collegamento tra membrature metalliche ed elementi in c.a. con esse destinati a collaborare, con particolare attenzione ad evitare interferenze non risolubili con le armature del c.a. e del c.a.p. e con i tralicci delle coppelle, soprattutto per gli impalcati in curva. E' ammesso (salvo specifiche diverse prescrizioni del progetto) solo l'utilizzo di pioli elettrosaldati tipo Nelson secondo norme UNI EN ISO 13918 in acciaio ex ST 37-3K (S235 J2G3 + C450) con caratteristiche meccaniche a rottura, snervamento e duttilità non inferiori alle seguenti (vedi anche specifiche più sopra indicate):
 - $f_y > 350$ MPa;
 - $f_t > 450$ MPa;
 - allungamento $\geq 15\%$;
 - strizione $\geq 50\%$;
- principi di esecuzione delle coppelle e distribuzione dei relativi tralicci di armatura;
- classi delle saldature con indicazione delle dimensioni dei cordoni;
- indicazione dei giunti d'officina e dei giunti in opera;
- controfrecce d'officina;
- schemi e fasi di montaggio con indicazione completa delle eventuali opere provvisorie necessarie.

In particolare, per quanto riguarda le saldature, i disegni di fabbricazione dovranno riportare tutti i parametri tecnologici significativi, ovvero:

- procedimenti di saldatura;
- preparazioni dei lembi;
- materiali d'apporto;
- specifiche tecniche di fabbricazione, controllo e collaudo.

Il progetto così completato potrà essere sottoposto, a discrezione della Direzione Lavori, all'approvazione dell'Istituto Italiano della Saldatura (I.I.S.) o di altro soggetto terzo, dalla stessa espressamente autorizzato.

I disegni di fabbricazione dovranno essere corredati da distinta materiali contenente, numero, qualità, dimensioni, provenienza e peso teorico di ciascun elemento costituente la struttura. Dovranno inoltre far riferimento a disegni di montaggio che indichino la collocazione del singolo elemento e che consentano alla Direzione Lavori il controllo di rispondenza rispetto al progetto esecutivo.

Gli ordini per gli approvvigionamenti dei materiali dovranno essere emessi dopo l'approvazione da parte della Direzione Lavori dei disegni di fabbricazione presentati dall'Appaltatore.

26.4. Lavorazioni di officina

26.4.1. Presentazione documentazione tecnica

Una volta emesso l'ordine di approvvigionamento del materiale, le lavorazioni di officina, intese come prefabbricazione delle carpenterie metalliche in parti o conci di opportune complessità, dimensioni e peso, verranno comunque precedute da due ulteriori fasi di controllo, una documentale ed una di collaudo dei materiali.

Per la prima di esse l'Appaltatore, prima di dar corso alle lavorazioni, dovrà sottoporre alla Direzione Lavori la seguente documentazione:

- “piano di fabbricazione e controlli” che riassumerà tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati dall’officina per garantire la qualità attesa;
- “piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali approvvigionati”, con riferimento a:
 - posizioni e marche di officina;
 - marcatura di qualificazione del prodotto di cui al paragrafo 11.3.1 “Prescrizioni comuni a tutte le tipologie di acciaio” del D.M. 14/01/2008;
 - estremi di identificazione dei relativi documenti di collaudo.

26.4.2. Collaudo tecnologico di stabilimento.

Tutti i materiali destinati alla costruzione di strutture in acciaio dovranno essere collaudati prima dell’inizio delle rispettive lavorazioni, con riferimento al piano di fabbricazione.

Particolare attenzione verrà posta nei controlli di assenza di sfogliature ed inclusioni con riferimento a dettagli costruttivi che contemplino azioni ortogonali al piano di laminazione.

E’ fatto obbligo all’Appaltatore di avvertire la Direzione Lavori dell’arrivo nella sua officina dei materiali che saranno impiegati nella costruzione e di concordare con la Direzione Lavori la data di ciascuna operazione di collaudo.

Le prove sui materiali si svolgeranno presso i Laboratori Ufficiali indicati dalla Direzione Lavori.

La Direzione Lavori potrà, a suo insindacabile giudizio, autorizzare l’effettuazione delle prove presso i laboratori degli stabilimenti di produzione, purché questi siano forniti dei mezzi e delle attrezzature necessarie, tarate e controllate da un Laboratorio Ufficiale, ai sensi dell’art. 20 della L. 05.11.1971 n. 1086.

L’entità dei lotti da sottoporre a collaudo, il numero e le modalità di prelievo dei campioni, saranno di regola conformi alle norme UN EN ISO377, UNI 552, UNI EN 1002-1, UNI EN 10045-1. La Direzione Lavori ha comunque la facoltà di prelevare in qualunque momento della lavorazione campioni di materiali da sottoporre a prova presso laboratori di sua scelta per verificarne la rispondenza alle Norme di accettazione ed ai requisiti di Progetto.

Si precisa che tutti gli acciai dei gradi JR, JO, J2, K2 da impiegare nelle costruzioni dovranno essere sottoposti, in sede di collaudo tecnologico, al controllo della resilienza. Per ogni operazione di collaudo sarà redatto apposito verbale, che sarà firmato dalla Direzione Lavori e dall’Appaltatore.

Di questo verbale sarà consegnato l’originale alla Direzione Lavori.

Un'altra copia sarà conservata dall’Appaltatore che avrà l’obbligo di esibirla a richiesta della Direzione Lavori, come specificato al successivo paragrafo.

26.4.3. Prefabbricazione

Le lavorazioni di officina saranno effettuate secondo quanto previsto nell’apposito piano di fabbricazione.

Per quanto riguarda le tolleranze esecutive, si fa riferimento alla norma UNI EN 1090, se non diversamente indicato in progetto. Eventuali deroghe, adeguatamente motivate, dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori. Deroghe non esplicitamente autorizzate, ancorchè contenute nel piano di fabbricazione, non saranno accettate.

Per ciascuna opera singola o per prototipi di ciascuna serie di opere, è prescritto il premontaggio in officina. Eventuali deroghe dovranno essere esplicitamente autorizzate dalla Direzione Lavori.

Alla Direzione Lavori è riservata comunque la facoltà di eseguire in ogni momento della lavorazione tutti i controlli che riterrà opportuni per accertare che i materiali impiegati siano quelli collaudati, che le strutture siano conformi ai disegni di Progetto e che le stesse siano eseguite a perfetta regola d’arte.

In particolare l’Appaltatore dovrà attenersi alle seguenti disposizioni:

- il raddrizzamento e lo spianamento, quando necessari, devono essere fatti preferibilmente con dispositivi agenti per pressione;
- possono essere usati i riscaldamenti locali (caldo), purché programmati in modo da evitare eccessive concentrazioni di tensioni residue e di deformazioni permanenti. In particolare, per acciai termomeccanici, eventuali trattamenti termici dovranno essere autorizzati dal produttore con riferimento al ciclo produttivo.
- è ammesso il taglio a ossigeno, purché regolare;

- i tagli irregolari devono essere ripassati con la smerigliatrice;
- i fori per i bulloni devono essere eseguiti di norma col trapano, con assoluto divieto dell'uso della fiamma, e devono presentare superficie interna cilindrica liscia e priva di screpolature e cricche; le eventuali sbavature sul loro perimetro devono essere asportate mediante molatura locale;
- l'uso di punzonatrici per l'esecuzione dei fori, quando non esplicitamente indicato nel progetto, deve essere preventivamente autorizzato dal Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista. In ogni caso deve essere prestata particolare attenzione, adottando se del caso provvedimenti atti a ridurre gli effetti dell'incrudimento al contorno dei fori (ad es. punzonando con diametro ridotto e poi trapanando o alesando il foro) nei seguenti casi:
 - lamiere di spessore superiore a 10 mm;
 - materiale di base di non adeguata duttilità;
 - presenza di sensibile fatica strutturale nella parte interessata;
 - elementi prevalentemente tesi;
- i bulloni ad alta resistenza, nel caso di collegamenti a taglio, non dovranno avere il gambo filettato per l'intera lunghezza; la lunghezza del tratto non filettato dovrà essere di norma maggiore o uguale di quella della somma degli spessori delle parti da serrare e si dovrà sempre far uso di rosette, sia sotto la testa, sia sotto il dado; è tollerato tuttavia che non più di mezza spira del filetto rimanga compresa nel foro.

Non sono ammesse unioni a taglio per gli elementi soggetti a vibrazioni e/o inversione di sforzo. Per gli elementi di controvento e di diaframma soggetti ad inversione di carico i collegamenti bullonati dovranno comunque essere verificati ad attrito, almeno per la quota parte di carico alternato dovuta alle azioni variabili da traffico. Nelle unioni ad attrito le superfici dovranno presentarsi pulite, prive cioè di olio, grasso, calamina, vernice.

Per coefficienti di attrito superiori a 0,3 si dovranno presentare adeguati *test* a comprova del coefficiente proposto, ed in ogni caso per superfici a contatto verniciate. Al riguardo si faccia riferimento agli Eurocodici ed in particolare alle norme UNI EN 1993-1-1, 1993-1-8 ed UNI EN 1090-1.

26.5. Montaggio

L'Appaltatore sottoporrà al preventivo benestare della Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare ("progetto del montaggio"), ferma restando la piena responsabilità dell'Appaltatore stesso per quanto riguarda l'esecuzione delle operazioni di montaggio, la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle.

Il sistema prescelto potrà essere in alternativa a quello previsto in progetto, purchè ne rispetti i livelli di sicurezza e sia idoneo a consentire la realizzazione della struttura in conformità alle disposizioni contenute nel progetto stesso ed in accordo con i tempi contrattuali.

Il progetto del montaggio, fatte salve le prescrizioni contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e nel Piano Operativo di Sicurezza (POS), senza l'ottemperanza alle quali è in ogni caso vietato procedere, deve contenere una descrizione esauriente del metodo e una dichiarazione dei livelli di sicurezza ottenuti. Dovrà dare evidenza, fra l'altro, dei seguenti aspetti:

- posizione e tipologia dei giunti di cantiere;
- massima dimensione e peso dei singoli pezzi;
- portata e raggio d'azione delle gru previste, con verifica dei relativi scarichi a terra;
- identificazione di eventuali azioni orizzontali derivanti dal sistema di montaggio e di azioni verticali eccedenti i valori di progetto;
- accessori per garantire accessi e operazioni sicure;
- sequenza di montaggio e descrizione delle varie fasi;
- verifiche di stabilità nelle fasi transitorie;
- requisiti di controventature e/o pile provvisorie
- condizioni per la rimozione delle strutture provvisorie;
- evidenza delle condizioni di particolare rischio;

- contrefrecce, compreso i valori da controllare in via transitoria;
- fasi di getto delle solette per strutture miste acciaio-calcestruzzo.

Prima di dar corso alla posa in opera degli impalcati dovrà essere consegnato alla Direzione Lavori un verbale di verifica del piano o delle quote di posa degli stessi, firmato dall'Appaltatore e dall'eventuale Subappaltatore in segno di manifesta accettazione. In particolare si fa riferimento alle tolleranze di posa previste dalle norme UNI EN 1090-1 e 1090-2.

Prima del posizionamento in opera degli impalcati, indipendentemente dal metodo di varo, si dovranno controllare:

- geometria di assemblaggio di ogni singolo concio;
- regolare accoppiamento tra conci contigui;
- geometria di controventi e diaframmi, con eventuale verifica delle tolleranze foro/bullone;
- controllo a campione degli spessori impiegati;
- acquisizione dei certificati di approvazione, da parte dell'Ente terzo a ciò autorizzato, di eventuali giunti saldati di cantiere;
- controlli di serraggio e relative superfici di accoppiamento per eventuali giunti bullonati eseguiti a piè d'opera.

Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di progetto. In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la contrefreccia ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di progetto, rispettando le tolleranze previste, con particolare riferimento alle norme UNI EN 1090-1 e 1090-2.

A fine posa in opera degli impalcati e prima di dar corso alle fasi di getto delle solette in c.a., si dovrà controllare quanto segue:

- geometria degli impalcati, che dovrà rimanere entro le prestabilite tolleranze di costruzione, con particolare riferimento alla corrispondenza tra assi appoggi e corrispondenti elementi irrigidenti d'impalcato;
- contromonte residue;
- nei casi in cui si abbia ragione di dubitare dell'entità delle reazioni agli appoggi, verifica delle medesime con martinetti idraulici.

Relativamente alle modalità di montaggio ed al controllo dei bulloni si farà riferimento alle norme UNI EN 1090-2.

Nell'impiego delle attrezzature di montaggio, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente fossero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata ed in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, e tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprassuolo e di sottosuolo.

Durante il carico, il trasporto, lo scarico, il deposito e il montaggio delle strutture, si dovrà porre la massima cura per evitare che le stesse risultino deformate o soprasollecitate.

Le parti a contatto con funi, catene ed altri organi di sollevamento dovranno essere opportunamente protette, tenuto conto tra l'altro che tutte le strutture, prima di essere trasferite a piè d'opera, devono essere trattate in officina con sabbatura e, per le strutture con acciaio non autoprotetto, con una mano di *primer*.

La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.

Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura dei fori che non risultino centrati e nei quali i bulloni previsti in progetto non entrino con sufficiente facilità.

Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dalle norme in vigore, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore (per sostituzione di bulloni M27 è ammesso l'uso di bulloni M30).

Le superfici di contatto al montaggio, nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza devono presentarsi pulite, prive di olio, scaglie di laminazione, macchie di grasso. Eventuali vernici saranno ammesse soltanto se previste a Progetto ed in conformità ai relativi *test* per la verifica del coefficiente di attrito.

È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave idraulica purché questo sia poi controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio Ufficiale in data non anteriore a tre mesi.

Per ogni unione con bulloni l'Appaltatore effettuerà, alla presenza della Direzione Lavori, un controllo di serraggio sul numero di bulloni indicato dalla Direzione Lavori, e comunque non inferiore al 10% del totale con un minimo di quattro; se anche un solo bullone non rispondesse alle prescrizioni di serraggio, il controllo dovrà essere esteso a tutti i bulloni. Soltanto in caso di bulloni a precarico garantito meccanicamente il serraggio sarà controllato visivamente.

Per i cavalcavia ed i calcaferrovia l'assemblaggio ed il montaggio in opera delle strutture dovranno essere effettuati riducendo al minimo le soggezioni per il traffico stradale o ferroviario, di norma provvedendo al premontaggio delle strutture a piè d'opera ed alla loro posa in opera in poche operazioni, durante le quali le interruzioni del traffico saranno state preventivamente concordate con la Direzione Lavori e con i soggetti gestori delle infrastrutture interferite.

Per le strutture in sistema misto acciaio-calcestruzzo, nel caso in cui le solette in c.a. siano realizzate mediante l'impiego di coppelle prefabbricate, queste dovranno di norma essere costituite da calcestruzzo della stessa classe della soletta gettata in opera o superiore. Dovranno inoltre essere sottoposte a prova di carico, nello stabilimento di produzione, con un carico corrispondente al getto in opera incrementato del 50 %. Le frecce di prova dovranno essere inferiori alle corrispondenti teoriche ed i residui inferiori al 10 % delle frecce reali massime, con incrementi nulli per successive ripetizioni di carico.

Prima di dar corso al getto in opera delle parti in c.a., si dovranno controllare:

- numero e diametro dei ferri;
- materiale costituente i ferri di armatura (vedere articolo relativo alle armature del c.a.);
- entità dei copriferri reali.

Il getto della soletta dovrà essere effettuato secondo le fasi di getto previste in progetto. Eventuali modifiche dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

26.6. Verniciatura

26.6.1. Generalità

La durabilità dell'acciaio è garantita attraverso la verniciatura, che dovrà avvenire in modo accurato, secondo uno dei cicli più avanti indicati, privi di sostanze cancerogene. Tali cicli sono formati da un minimo di due mani di prodotti vernicianti, mono o bi-componente, indurenti per filmazione chimica o filmazione fisica.

L'adozione di cicli diversi da quelli indicati nel presente Capitolato dovrà essere preventivamente autorizzata dal Direttore dei Lavori, previo esame di una idonea documentazione che il proponente il ciclo dovrà a sua cura presentare.

Sarà ammesso lasciare superfici non verniciate di elementi strutturali in acciaio unicamente nei seguenti casi:

- superfici a contatto di giunti bullonati ad attrito;
- cavità perfettamente sigillate con cordoni continui di saldatura;
- superfici a permanente contatto con il calcestruzzo;
- superfici zincate a caldo o a freddo o galvanizzate;
- elementi in acciaio autopassivante ("cor-ten" o simile) o in acciaio inossidabile.

I cicli di verniciatura sono di norma riportati negli elaborati progettuali cui si riferiscono..

I prodotti prefabbricati, salvo motivate eccezioni, devono essere forniti in cantiere già dotati almeno di una prima mano di verniciatura.

26.6.2. Norme di riferimento

Le principali norme europee di riferimento sono le seguenti:

- UNI EN ISO 2810 Pitture e vernici - Invecchiamento naturale dei rivestimenti - Esposizione e valutazione;
- UNI EN ISO 4618 Pitture e vernici - Termini e definizioni;

- UNI EN ISO 8503 Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbatura - Parte 1: Requisiti e definizioni relative a campioni di comparazione visotattile ISO per la valutazione delle superfici sabbiate dopo il trattamento abrasivo , 12944 (parti da 1 a 8), 29601;
- UNI EN ISO 12944-1 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 1: Introduzione generale;
- UNI EN ISO 12944-2 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 2: Classificazione degli ambienti;
- UNI EN ISO 12944-3 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 3: Considerazioni sulla progettazione;
- UNI EN ISO 12944-4 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 4: Tipi di superficie e loro preparazione;
- UNI EN ISO 12944-5 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 5: Sistemi di verniciatura protettiva;
- UNI EN ISO 12944-6 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 6: Prove di laboratorio per le prestazioni;
- UNI EN ISO 12944-7 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 7: Esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura;
- UNI EN ISO 12944-8 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 8: Stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione;
- UNI EN ISO 29601 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione mediante sistemi di verniciatura - Valutazione della porosità dei film essiccati;
- UNI EN 10238 Prodotti di acciaio per impieghi strutturali sabbati in automatico e preverniciati con una mano di fondo applicata in automatico;
- UNI ENV 12837 Pitture e vernici - Qualificazione degli ispettori per la protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante sistemi di verniciatura protettivi;
- UNI EN 13438 Pitture e vernici - Rivestimenti con polveri organiche di prodotti di acciaio galvanizzati o shearizzati (cementazione allo zinco) utilizzati nelle costruzioni.

Altre norme internazionali relative alle caratteristiche delle vernici ed alle modalità per il loro controllo, sono le seguenti:

- Valutazione delle superfici verniciate: ISO 2808, SSPC-PA2, ASTM G62, ISO 4628;
- Controllo delle proprietà anticorrosive: ISO 6270, 7253; DIN 50017, 53167; ASTM D2247, D1735, B117, G85, G53, G8, G42; BS 3900-F12, 3900-F6, 3900-F11;
- Valutazione del degrado della verniciatura: ISO 4628 (parti da 2 a 6); ASTM D714, D610, D661; DIN 53209, 53210; DIN ISO 4628; BS 3900-H2, 3900-H3, 3900-H4, 3900-H5;
- Proprietà meccaniche delle vernici: ISO 1520, 1522, 2409, 2815, 4624, 6860; ISO/TR 6272-79E; DIN 53251, 55669; BS 3900-E3, 3900-E6, 3900-E10, 3900-E11; ASTM 3359, 4541, D1002, D522, D2794-84;
- Proprietà fisiche delle vernici: ISO 1515, 1517, 1523, 1524, 2431, 2808, 2811, 2813, 2814, 3679; ASTM D1640, D2697, D4752-87;
- Trattamento preventivo delle superfici da verniciare: ISO 8501, 8502, 8503, 8504.

Nel caso particolare delle vernici intumescenti (protettive al fuoco), le norme sono riportate più avanti nello specifico paragrafo.

26.6.3. Ciclo A

Il rivestimento dovrà essere formato da almeno due strati di prodotti vernicianti, applicabili in una o più mani per strato.

Preparazione delle superfici⁽¹⁾:

- acciaio nuovo: sabbiatura grado SA 2½;
- manutenzione di opere esistenti: idrolavaggio ad alta pressione, idrosabbiatura, ecc..

Le caratteristiche di composizione degli strati dovranno essere le seguenti:

1° strato

Mano di fondo *surface tolerant* di tipo epossidico bi-componente, pigmentata con fosfati di zinco, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

Caratteristiche della mano di fondo:

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- residuo solido in volume⁽²⁾: ≥ 60 %;
- PVC⁽³⁾: ≥ 30 %;
- tipi di pigmento e cariche: assenza di carbonati, pigmentazione attiva a base di fosfati di zinco;
- legante secco: ≥ 25 %;
- spessore del film secco: 60 ÷ 80 µm per la 1^a mano, 80 µm per la 2^a mano;
- metodo di applicazione: pennello o spruzzo *airless*.

2° strato

Mano di finitura acrilica pigmentata con biossido di titanio ed altri pigmenti, avente una ottima resistenza agli agenti atmosferici e chimici.

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: resina acrilica;
- residuo solido in volume: ≥ 50% se a base solvente, ≥ 50% se a base acqua;
- PVC: ≥ 20 %;
- pigmento sul prodotto finito: ≥ 26 %;
- tipo di pigmento: biossido di titanio (TiO₂) ed altri;
- legante secco: > 30 %;
- spessore del film secco: > 40 µm;
- metodo di applicazione: pennello, rullo o spruzzo *airless*.

26.6.4. Ciclo B

Il rivestimento dovrà essere formato come minimo da 2 strati di prodotti vernicianti. Il primo strato potrà essere applicato in uno o due mani in funzione della tipologia di pittura adottata.

Preparazione delle superfici⁽⁴⁾:

- acciaio nuovo: sabbiatura grado SA 2½;
- manutenzione di opere esistenti: idrolavaggio ad alta pressione, idrosabbiatura, ecc..

Le caratteristiche di composizione degli strati dovranno essere le seguenti:

1° strato

Mano di fondo *surface tolerant* di tipo epossidico bi-componente, pigmentata con fosfati di zinco, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

Caratteristiche della mano di fondo:

⁽¹⁾ Da definire con la Direzione Lavori.

⁽²⁾ Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

⁽³⁾ *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

⁽⁴⁾ Da definire con la Direzione Lavori.

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- residuo solido in volume⁽¹⁾: ≥ 80 %;
- PVC ⁽²⁾: ≥ 30 %;
- tipi di pigmento e cariche: assenza di carbonati, pigmentazione attiva a base di fosfati di zinco;
- legante secco: ≥ 25 %;
- spessore del film secco⁽³⁾: 80 ÷ 100 µm per la 1^a mano, 100 µm per la 2^a mano;
- metodo di applicazione: pennello o spruzzo *airless*.

2° strato

Mano di finitura poliuretanica di tipo non ingiallente e non sfarinante. Il tipo di polisocianato impiegato dovrà essere alifatico (né aromatico, né cicloalifatico), con un contenuto di monomeri volatili non superiore allo 0,1% (ASTMD 2615/67T).

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: poliuretanico;
- residuo solido in volume: ≥ 60%;
- PVC: ≥ 20 %;
- pigmento sul prodotto finito: ≥ 26 %;
- tipo di pigmento: biossido di titanio (TiO₂) ed altri;
- legante secco: > 30 %;
- spessore del film secco: > 40 µm;
- metodo di applicazione: pennello, rullo o spruzzo *airless*.

26.6.5. Ciclo C

Il rivestimento dovrà essere formato come minimo da 3 strati di prodotti vernicianti. Lo strato intermedio potrà essere applicato in 1 o 2 mani, in funzione delle condizioni di cantiere e secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Essendo il ciclo orientato principalmente verso opere nuove da realizzarsi in officina, la preparazione della superficie prevederà una sabbiatura la grado SA 2½ con spigoli preventivamente arrotondati, saldature molate, secondo le Linee Generali di Protezione dell'Acciaio e dei metalli in generale di prossima pubblicazione

Le caratteristiche di composizione degli strati di pittura dovranno essere le seguenti:

1° strato

Mano di *primer* bi-componente a pigmentazione attiva, costituita da polvere di zinco metallico privo di ossidi di zinco, in modo da conferire la migliore resistenza alla corrosione.

Caratteristiche della mano di *primer*:

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- zinco sul totale: ≥ 80 %;
- legante secco (resina): < 5 %;
- spessore del film secco: 50 ÷ 80 µm;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, localmente a rullo o a pennello.

2° strato

Mano di fondo di tipo epossidico poliammidico bi componente contenente ossidi di ferro micaceo, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

⁽¹⁾ Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

⁽²⁾ *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

⁽³⁾ Lo spessore totale può essere ottenuto anche con applicazione *airless* in una sola mano.

Caratteristiche della mano di fondo:

- tipo di legante: epossidico bi componente;
- residuo solido in volume⁽¹⁾: ≥ 80 %;
- PVC % ⁽²⁾: ≥ 30 %;
- tipi di pigmento e cariche: ossido di ferro micaceo e altre cariche lamellari;
- legante secco: ≥ 25 %;
- spessore del film secco⁽³⁾: 80 ÷ 100 µm per la 1^a mano, 60 ÷ 100 µm per la 2^a mano;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, talvolta pennello.

3° strato

Mano di finitura poliuretanica fluorurata ad alto residuo solido in volume, avente contenuto minimo di fluoro del 12%, determinato via microsonda ai raggi X. Il tipo di polisocianato dovrà essere alifatico.

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: poliuretano fluorurato, avente fluoro ≥ 26% e cloro ≥ 15%;
- residuo solido in volume: > 60 %;
- PVC: ≥ 20 %;
- pigmento sul prodotto finito ≥ 26 %;
- tipo di pigmento: biossido di titanio (TiO₂) ed altri;
- legante secco: > 35 %;
- spessore del film secco: > 40 µm;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, pennello o rullo.

26.6.6. Preparazione del supporto

La preparazione del supporto metallico dovrà essere eseguita dall'Appaltatore mediante spazzolatura meccanica o sabbiatura, fino ad eliminazione di tutte le parti ossidate che presentino scarsa coesione e/o aderenza con il supporto.

Il tipo di pulizia (spazzolatura meccanica o la sabbiatura) dovrà essere tale da permettere un ottimo attacco della mano di fondo del ciclo di verniciatura e dovrà essere approvato dalla Direzione dei Lavori. Tale approvazione non ridurrà comunque la responsabilità dell'Appaltatore relativa al raggiungimento dei requisiti prestazionali finali del ciclo di verniciatura anticorrosiva in opera.

In particolare, per le strutture che non possono essere smontate, il trattamento raccomandato è la sabbiatura, capace di rimuovere sia l'eventuale vecchio rivestimento sia gli ossidi.

Per il grado di finitura superficiale finale si può far riferimento alle norme SIS-Standards 055900, che prevedono tre diversi livelli di finitura superficiale, denominate SA 2, SA 2½ e SA 3. Le finiture di grado SA 2 e SA 2½ prevedono rispettivamente il 20% ed il 5% di ossidi residui, mentre la SA 3 ha come risultato finale il 100% di metallo vergine.

26.6.7. Caratteristiche chimico-fisiche di resistenza del ciclo di verniciatura

Le caratteristiche di resistenza (chimico-fisiche) si intendono per cicli di verniciatura anticorrosiva applicata su supporti in acciaio tipo UNI 3351 sottoposti ad invecchiamento artificiale.

Per l'invecchiamento artificiale è previsto un ciclo così composto:

Agente aggressivo	Durata	Temperatura
-------------------	--------	-------------

⁽¹⁾ Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

⁽²⁾ *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

⁽³⁾ Lo spessore totale può essere ottenuto applicando la prima mano in officina e la seconda mano dopo montaggi e saldature in cantiere oppure applicando una sola mano in officina.

Radiazione ultravioletta	6 h	60 °C
Corrosione in nebbia salina (UNI 5687-73)	12 h	35 °C
Radiazione ultravioletta	6 h	60 °C
Immersione in soluzione satura di CaCl ₂	12 h	35 °C

Il ciclo di invecchiamento dovrà essere ripetuto per:

- ciclo A: almeno 30 volte, per un totale di 1080 ore;
- ciclo B: almeno 40 volte, per un totale di 1440 ore;
- ciclo C: almeno 50 volte, per un totale di 1800 ore.

Dopo i cicli di invecchiamento artificiale, verranno eseguiti i controlli riportati di seguito.

- Ingiallimento (secondo norma DIN 53230)

Il prodotto di finitura deve essere non ingiallente (prova su prodotto non pigmentato).

- Ruggine e blistering (secondo norme ASTM D 714/56 e DIN 53210)

Ciclo	Tipo di controllo	Strato	Grado richiesto
A	<i>Blistering</i>	1°	9F
		2°	9M
		3°	9F
	Ruggine	---	RO
B	<i>Blistering</i>	1°	9M
		2°	9M
		3°	9F
	Ruggine	---	RO
C	<i>Blistering</i>	1°	9F
		2°	9F
		3°	9M
		4°	9F
	Ruggine	---	RO

- Adesione (DIN 53151)

Ciclo	Valore	Entità distacco
A	$G_{t0} \div G_{t1}$	distacco 0 ÷ 5%
B	G_{t0}	distacco nullo
C	$G_{t0} \div G_{t1}$	distacco 0 ÷ 5%

- Spessore film secchi

Vedi tabelle.

- Resistenza all'abrasione

Si determina solo sul prodotto di finitura mediante *Taber Abraser*, con mola tipo CS 10, dopo 1000 giri con carico di 1 kg.

Il valore, espresso come perdita in peso, deve essere inferiore a 150 milligrammi.

– Brillantezza

Controllata mediante *Gardner Glossmeter*, con angolo di 60°, deve avere un valore iniziale superiore al 90% e finale non inferiore all'80%.

– Prova di piegatura a 180°

Su lamierino d'acciaio UNI 3351, con mandrino \varnothing 4 mm. Al termine non dovranno presentarsi screpolature o distacchi.

26.6.8. Prove di accettazione dei prodotti

A richiesta della Direzione lavori l'Appaltatore dovrà preventivamente inviare al Centro Sperimentale Stradale ANAS di Cesano (Roma), o ad altro laboratorio ufficialmente riconosciuto, quanto segue:

- campioni dei prodotti componenti il ciclo, con relativi diluenti, in contenitori sigillati del peso di 0,500 kg ciascuno e nel numero di tre per ogni prodotto (uno di questi campioni non deve essere pigmentato);
- schede tecniche complete dei prodotti vernicianti, comprensive di caratteristiche di composizione e di applicazione.

Il colore di finitura sarà indicato dalla Direzione Lavori, mentre i pigmenti necessari per il raggiungimento del tono di colore richiesto dovranno essere riportati nella scheda delle caratteristiche di composizione, sottratti alla quantità percentuale del solvente.

Controllata la rispondenza del rivestimento con le caratteristiche di resistenza richieste, i prodotti componenti il ciclo saranno identificati mediante analisi spettrometrica all'infrarosso. La Direzione Lavori potrà far accertare in ogni momento sui prodotti presenti in cantiere la corrispondenza delle caratteristiche di resistenza, di composizione e di applicazione accertate in fase di gara e/o riprodurre gli spettri IR su detti materiali.

Tali spettri dovranno essere uguali a quelli ricavati dai campioni.

Si riepilogano nelle tabelle seguenti i principali valori di accettazione per i prodotti vernicianti impiegati:

Prove caratteristiche di resistenza (chimico-fisiche)

Ciclo	Prova	Mano di fondo	Mano di finitura
A	Blistering	gF	gF
	Ruggine	---	RO
	Adesione	---	$G_{t0} \div G_{t1}$
	Spessore films secchi.	90 μm	40 μm
	Abrasione	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	$\geq 50\%$

Ciclo	Prova	Mano di fondo	Mano di finitura
B	Blistering	gM	gF
	Ruggine	---	RO
	Adesione	---	G_{t0}
	Spessore films secchi	30 μm	35 μm
	Abrasione	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	$\geq 50\%$

Ciclo	Prova	Fondo	Intermedia	Finitura
C	Blistering	gF	gF	gF
	Ruggine	---	---	RO
	Adesione	$G_{t0} \div G_{t1}$	$G_{t0} \div G_{t1}$	$G_{t0} \div G_{t1}$
	Spessore films secchi	50 μm	150 - 200 μm	40 μm
	Abrasione	---	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	---	$\geq 50\%$

26.6.9. Requisiti particolari

Ai sensi di quanto previsto dalla UNI EN 1090 andranno previsti i seguenti particolari trattamenti per:

– Superfici in contatto con il cls

Le superfici che verranno a contatto con calcestruzzo non devono essere verniciate, tranne che ciò non sia richiesto esplicitamente in progetto. Le stesse devono comunque essere pulite ad aria compressa o a spazzola per rimuovere scorie di laminazione, polvere, olio e grassi. Se le superfici verniciate terminano su superfici che devono invece essere a contatto con calcestruzzo, il sistema di trattamento deve estendersi per almeno 30 mm oltre la linea di confine.

– Superfici ad attrito

Per le superfici di acciaio destinate ad essere i lembi a contatto di collegamenti ad attrito, qualsiasi contaminazione con olio o grassi delle stesse deve essere rimossa usando pulitori chimici, con divieto tassativo di pulitura a fiamma.

Le superfici ad attrito devono essere protette dopo la preparazione, fino all'assemblaggio ed alla bullonatura, con coperture resistenti agli agenti atmosferici.

Sono consentite, per le superfici di cui sopra, la sabbiatura e la verniciatura con zincante inorganico di spessore consono al coefficiente di attrito richiesto dal progetto, purchè quest'ultimo venga adeguatamente certificato con prove di scorrimento.

Le aree non trattate intorno al perimetro dei collegamenti serrati non devono essere trattate, finché non siano state completate tutte le ispezioni del collegamento.

– Superfici delle saldature e per saldature

Se un componente deve essere successivamente saldato, i lembi delle superfici da saldare devono essere protetti per almeno 150 mm con uno strato di 15–20 µm di vernice saldabile, certificata, a base di etilsilicato di zinco.

Le saldature ed i materiali base adiacenti non devono essere verniciati prima che siano state tolte le scorie.

Un rivestimento addizionale a filetto deve essere applicato alle superfici saldate là dove la mano di fondo è stata applicata sotto la saldatura, se così è stabilito dal progetto.

– Trattamento dei dispositivi di giunzione

Il trattamento dei dispositivi di giunzione deve essere in accordo:

- con la classificazione della protezione alla corrosione precisata in progetto;
- con il materiale costituente il dispositivo di giunzione;
- con i materiali adiacenti in contatto con il dispositivo di giunzione, quando in posizione, e con le verniciature applicate su questi materiali;
- con il metodo di serraggio del dispositivo di giunzione;
- con qualunque eventuale necessità di riparare il trattamento del dispositivo di giunzione dopo il serraggio.

I bulloni di fondazione non devono essere trattati, a meno che ciò non sia prescritto in progetto.

I dispositivi di giunzione con un pre-trattamento, in accordo con la classificazione della protezione alla corrosione precisata in progetto, non devono essere ulteriormente rivestiti dopo l'installazione, tranne che ciò non sia prescritto in progetto.

Qualsiasi trattamento dei dispositivi di giunzione che si renda necessario dopo l'installazione, non deve essere eseguito finché non sia stata completata l'ispezione dei dispositivi di giunzione.

26.6.10. Ciclo di verniciatura con pittura ignifuga intumescente

Qualora un elemento metallico debba essere isolato dal fuoco per tramite della verniciatura, questa deve essere costituita da pittura ignifuga, intumescente e ritardante la propagazione della fiamma mediante reazione ad effetto schiumogeno.

Il trattamento protettivo della carpenteria metallica a base di tale vernice dovrà essere il seguente:

– in officina:

- sabbiatura grado SA 2½ delle norme SIS;
- applicazione di uno strato di *primer* zincante inorganico con spessore del film secco pari ad 80 µm;

– in opera:

- operazioni di pulizia e di eliminazione di polvere e parti incoerenti previo lavaggio, sgrassaggio, accurata spazzolatura meccanica e/o manuale delle zone eventualmente deteriorate;
- ritocchi, ove necessario, con *primer* epossipoliamidico del tipo *surface tolerant*, dato a pennello, per uno spessore di film secco pari a 100 µm;
- applicazione di uno strato epossipoliamidico al fosfato di zinco, con spessore di 70 µm;
- applicazione di uno strato generale di collegamento fra lo zincante inorganico ed il rivestimento intumescente;
- applicazione del rivestimento intumescente, idoneo a conferire ad ogni singolo elemento (lamiere, profilati, ecc.), in base alla propria resistività, la resistenza al fuoco di classe R 30 (30 minuti) e in grado di sopportare l'esposizione agli agenti atmosferici per almeno 6 mesi senza degradarsi, in assenza dello strato di protezione su-

perficiale. Al fine di raggiungere la classe di resistenza al fuoco prescritta, lo spessore del film secco dovrà essere almeno pari a 250 µm, applicato in una sola mano con spruzzo *airless*;

- applicazione dello strato finale, a spruzzo *airless* e con funzioni estetico-protettive, a base di resine poliuretatiche alifatiche, dato in almeno 2 strati, per uno spessore complessivo non inferiore a 130 µm.

Il prodotto costituente il rivestimento intumescente dovrà essere certificato in base alla curva temperatura/tempo ISO 834 (*Fire-resistance tests -- Elements of building construction*), secondo BS 476 (*Fire tests on building materials and structures*), mentre per gli aspetti progettuali dovranno primariamente essere osservati il D.M. 14/01/2008 (con particolare riferimento al punto 3.6.1: Incendio) e le vigenti norme italiane antincendio.

Inoltre, per la progettazione, potrà farsi riferimento all'Eurocodice 1 (UNI EN 1991-1-2 Azioni sulle strutture esposte al fuoco).

Per le vernici in questione dovranno comunque essere osservate anche le seguenti ulteriori norme: UNI 9503 (Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio), 10898-1 (Sistemi protettivi antincendio - Modalità di controllo dell'applicazione - Parte 1: Sistemi intumescenti), 10898-3 (Sistemi protettivi antincendio - Modalità di controllo dell'applicazione - Parte 3: Sistemi isolanti spruzzati), UNI ENV 13381-4 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata ad elementi di acciaio), 13381-5 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo/lastre profilate di acciaio), 13381-6 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata a colonne cave di acciaio riempite con calcestruzzo), UNI EN 13381-8 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 8: Protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio) rni n. 91 e nella norma UNI 9503.

Circa le temperature, i tempi ed il grado di umidità per le operazioni di sovraverniciatura si farà riferimento a quanto indicato dalla Direzione Lavori.

27. Apparecchi d'appoggio e dispositivi antisismici

27.1. Generalità

Il presente Capitolato definisce le caratteristiche degli apparecchi d'appoggio (nel seguito denominati anche semplicemente con il termine "appoggi") e dei dispositivi antisismici per opere d'arte stradali e autostradali.

Per quanto riguarda gli apparecchi d'appoggio, sono oggetto del presente Capitolato i seguenti apparecchi:

- a) elementi di scorrimento (*sliding elements*);
- b) apparecchi d'appoggio elastomerici (*elastomeric bearings*);
- c) apparecchi d'appoggio a rullo (*roller bearings*);
- d) apparecchi d'appoggio a disco elastomerico confinato o "a tazza" (*pot bearings*);
- e) apparecchi d'appoggio a contatto lineare o puntuale (*rocker bearings*);
- f) apparecchi d'appoggio sferici e cilindrici aventi superfici di scorrimento in PTFE (politetrafluoroetilene) (*spherical and cylindrical PTFE bearings*).

Gli apparecchi elencati con le lettere da b) ad f) (con la parziale eccezione degli apparecchi elastomerici), sono da intendere come appoggi fissi, che consentono rotazioni attorno ad un unico asse (apparecchi a cerniera cilindrica) o a un qualsiasi asse (apparecchi a cerniera sferica) del piano orizzontale. Tali apparecchi, accoppiati con gli elementi scorrevoli definiti alla lettera a), realizzano apparecchi d'appoggio mobili, in grado di permettere, oltre alle rotazioni viste, il movimento in una direzione (apparecchi monodirezionali) o in più direzioni (apparecchi multidirezionali) del piano orizzontale.

Per quanto riguarda i dispositivi antisismici, sono oggetto delle presenti norme di Capitolato i seguenti dispositivi:

- a) dispositivi dissipatori (*dissipating devices*);
- b) dispositivi isolatori (*insulating devices, damping devices*);
- c) dispositivi di vincolo ausiliario (*shock transmission devices*).

Tutti i dispositivi impiegati dovranno essere dotati di marcatura CE e quindi della prescritta documentazione a corredo.

27.2. Riferimenti normativi principali

Norme europee armonizzate:

- UNI EN 1337-1 Appoggi strutturali – Regole generali di Progetto;
- UNI EN 1337-2 Appoggi strutturali – Elementi di scorrimento;
- UNI EN 1337-3 Appoggi strutturali – Appoggi elastomerici;
- UNI EN 1337-4 Appoggi strutturali – Appoggi a rullo;
- UNI EN 1337-5 Appoggi strutturali – Appoggi a disco elastomerico;
- UNI EN 1337-6 Appoggi strutturali – Appoggi a contatto lineare;
- UNI EN 1337-7 Appoggi strutturali – Appoggi sferici e cilindrici di PTFE;
- UNI EN 1337-8 Appoggi strutturali – Guide e ritegni;
- UNI EN 1337-9 Appoggi strutturali – Protezione;
- UNI EN 1337-10 Appoggi strutturali – Ispezione e manutenzione;
- UNI EN 1337-11 Appoggi strutturali – Trasporto, immagazzinamento e installazione;
- UNI EN 15129 Dispositivi antisismici.

Ulteriori norme:

- L. 05.11.1971 n.1086;
- D.M. 14/01/2008 e relativa circolare ministeriale esplicativa;
- Eurocodice 3 (UNI EN 1993) “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- RFI/DIN/IC/PO-002-A Istruzione tecnica per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti negli impalcati ferroviari e nei cavalcavia;
- Circ. Min. Lavori Pubbl. n. 2357 del 16.05.1996: Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza stradale.

27.3. Apparecchi d'appoggio

27.3.1. Generalità

Gli appoggi, accoppiati o meno con elementi scorrevoli, sono dispositivi che consentono la rotazione tra due membri di una struttura, impedendo gli spostamenti e di conseguenza trasmettendo le forze nelle tre direzioni (appoggi fissi), consentendo lo spostamento in una direzione del piano orizzontale (appoggi unidirezionali) o in ogni direzione del piano orizzontale (appoggi multidirezionali). Caso particolare è costituito dagli apparecchi elastomerici che permettono limitati spostamenti in ogni direzione del piano orizzontale, generando forze proporzionali alle corrispondenti traslazioni.

Gli appoggi devono essere disposti in modo che sia possibile, in caso di necessità, effettuare ispezioni, operazioni di manutenzione e sostituzione degli stessi o di parti di questi, allo scopo di garantirne la funzionalità per l'intera durata prevista della struttura.

Gli appoggi devono essere realizzati in modo da permettere il movimento specificato con la minor forza di reazione possibile.

Se possibile, si deve evitare la prerogolazione. Se necessaria, la prerogolazione richiesta deve essere eseguita presso l'impianto di fabbricazione. Se non è possibile evitare una nuova regolazione in sito, questa deve essere eseguita solo dal fabbricante dell'appoggio o sotto la sua supervisione.

Tutti gli appoggi devono essere marcati con il nome del fabbricante, il luogo e l'anno di fabbricazione e un numero di serie che deve essere in corrispondenza biunivoca con ogni singolo dispositivo. Inoltre tutti gli appoggi diversi dagli appoggi elastomerici devono essere marcati con le informazioni seguenti:

- tipo di appoggio;
- carichi nominali massimi per forze verticali e orizzontali;
- spostamenti nominali massimi;
- posizione nella struttura;
- direzione di installazione.

Con l'eccezione delle ultime due voci, queste marcature devono essere visibili e comprensibili per tutta la vita utile dell'appoggio.

27.3.2. Elementi di scorrimento

27.3.2.1. Generalità

Gli elementi di scorrimento e le guide sono dispositivi composti da piastre di supporto con finitura curva o piana e superfici di scorrimento a bassissimo coefficiente di attrito che, in combinazione con gli appoggi strutturali fissi descritti nel presente articolo, consentono e regolano i movimenti nel piano orizzontale.

La deformazione dei materiali di scorrimento non va presa in conto per ottenere rotazioni.

27.3.2.2. Requisiti funzionali

I requisiti funzionali, espressi in termini di massimi coefficienti di attrito a breve e lungo termine delle superfici di contatto, in funzione della composizione delle superfici stesse, sono riportati nelle Tabelle 1, 2, 3, 4, della norma UNI EN 1337-2.

27.3.2.3. Proprietà dei materiali

In assenza di standard specifici, le prove sui materiali saranno conformi alle procedure indicate nelle Appendici D, E, F, G, H, della norma UNI EN 1337-2.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali che compongono gli appoggi.

Superfici di scorrimento di PTFE

Il politetrafluoroetilene è un materiale termoplastico che presenta, a contatto con una superficie metallica lucidata, un coefficiente d'attrito molto basso, tendente a diminuire con l'aumento della pressione di contatto e con la diminuzione della velocità di scorrimento. Il materiale grezzo dei fogli di PTFE costituenti le superfici di scorrimento, su cui si esercitano reazioni di lunga durata, è politetrafluoroetilene vergine, senza aggiunta di materiali rigeneranti o di cariche, in conformità alle caratteristiche meccaniche, fisiche e geometriche del paragrafo 5.2 della norma UNI EN 1337-2. I fogli di PTFE per superfici di scorrimento piane o curve, su cui si esercitano reazioni di lunga durata (sono escluse le superfici delle guide), saranno dotati di tasche di lubrificazione ("PTFE alveolato").

Materiali compositi (CM1 e CM2)

Per le superfici di scorrimento impegnate da reazioni di breve durata, come ad esempio le superfici delle guide, è ammesso l'impiego di materiali compositi di due tipi: il primo (CM1) formato da una lastra di supporto e da uno strato intermedio di bronzo, con uno strato superficiale costituito da una miscela di PTFE e piombo; il secondo (CM2) formato da una matrice metallica flessibile sinterizzata in un composto di PTFE (PTFE + *filler*). Le caratteristiche meccaniche e fisiche dei materiali compositi costituenti le superfici di scorrimento sono riportate nelle Tabelle 6 e 7 della norma UNI EN 1337-2.

Superfici di scorrimento di acciaio austenitico

Lamiere di acciaio austenitico possono essere utilizzate per la realizzazione di superfici di scorrimento piane o curve. Le superfici a contatto con il PTFE saranno lucidate. Materiale e caratteristiche superficiali saranno conformi ai Par. 5.4.1 e 5.4.2 della norma UNI EN 1337-2.

Superfici rivestite in cromo

Per superfici di scorrimento curve possono essere usate superfici cromate. Il rivestimento dovrà interessare l'intera superficie curva della piastra di supporto; il processo di lavorazione, le specifiche dei materiali e le caratteristiche superficiali saranno conformi al Par. 5 della norma UNI EN 1337-2.

Materiali per piastre di supporto

I materiali previsti per la realizzazione delle piastre di supporto sono metalli a base ferrosa, in particolare ghisa, acciaio fuso e acciaio inossidabile. L'elemento convesso di superfici sferiche o cilindriche può essere costituito da lega d'alluminio. Materiali e trattamenti superficiali saranno conformi ai Par. 5.5.6 e 5.5.7 della norma UNI EN 1337-2.

Lubrificanti

Le superfici di scorrimento dovranno essere lubrificate per ridurre la resistenza d'attrito e l'usura delle superfici di PTFE. Il lubrificante, in conformità alle caratteristiche fisico-chimiche della Tabella 8 della norma UNI EN 1337-2, dovrà mantenere le sue proprietà nel *range* di temperatura specificato e non dovrà resinificare, né risultare aggressivo per i materiali a contatto.

27.3.2.4. Requisiti di Progetto

Combinazioni di materiali per superfici di scorrimento

I materiali per le superfici di scorrimento saranno accoppiati come definito nella Tabella 1. Solo una combinazione potrà essere usata per la stessa superficie di scorrimento.

Tabella 1 – Combinazioni materiali per superfici di scorrimento

Superfici piane		Superfici curve		Guide	
PTFE alveolato	Acciaio austenitico	PTFE alveolato	Acciaio austenitico	PTFE semplice	Acciaio austenitico
			cromo	CM1	
			alluminio	CM2	

Fogli di PTFE

I fogli di PTFE saranno disposti in uno specifico alloggiamento, ricavato nella piastra di supporto. Dopo l'installazione, il foglio di PTFE dovrà sporgere dall'estradosso dell'alloggiamento di una quantità h , per facilitare le misurazioni di controllo.

Lo spessore dei fogli di PTFE t_p e della sporgenza h , in assenza di carico e in presenza della protezione anticorrosiva, dovranno rispettare i seguenti limiti:

$$h = 1.75 + L/1200 \text{ (mm) e comunque } h > 2.2 \text{ mm;}$$

$$2.2 h < t_p < 8.0 \text{ mm;}$$

dove L è il diametro del foglio circolare o la lunghezza del foglio rettangolare di PTFE, come definiti nelle figure 3, 4, 5, della norma UNI EN 1337-2.

I fogli di PTFE piani per superfici di scorrimento piane saranno circolari o rettangolari, e potranno essere suddivisi in un massimo di quattro parti uguali, la cui dimensione minima non potrà essere inferiore a 50 mm e la cui distanza reciproca non potrà superare il doppio del minor valore tra lo spessore della piastra di supporto e del foglio di PTFE.

I fogli di PTFE curvi per superfici di scorrimento cilindriche saranno rettangolari e potranno essere suddivisi in un massimo di due parti uguali.

I fogli di PTFE curvi per superfici di scorrimento sferiche saranno circolari e potranno essere suddivisi in un disco interno e un anello esterno concentrici, suddivisi da un anello della piastra di supporto, la cui larghezza non dovrà superare 10 mm.

I fogli di PTFE per le guide avranno uno spessore minimo di 5.5 mm e una sporgenza di 2.3 ± 0.2 mm.

Materiali compositi

I materiali compositi saranno usati solo quando è possibile un auto-allineamento tra le parti accoppiate dell'appoggio. La dimensione minima della lamina deve essere ≥ 10 mm.

Guide

Le guide possono essere usate per sopportare azioni laterali dovute a carichi permanenti e variabili e possono essere disposte centralmente o esternamente alla superficie di scorrimento. I materiali di scorrimento saranno disposti sulle pareti contigue delle guide; il gioco c tra i componenti scorrevoli in condizioni di riposo deve rispettare la condizione:

$$c < 1.0 + L / 1000 \text{ (mm)}$$

con L come definito in precedenza.

Lamiere di acciaio austenitico

Le lamiere di acciaio austenitico devono essere dimensionate in modo tale da ricoprire completamente i fogli di PTFE o di materiale composito sotto il massimo spostamento di progetto. Il loro spessore, in funzione del metodo di collegamento alla piastra di supporto, sarà in accordo alla Tabella 13 della norma UNI EN 1337-2.

Resistenze caratteristiche dei materiali di scorrimento

Le resistenze caratteristiche a compressione dei materiali di scorrimento sono riportate nella Tabella 2. I valori dati sono validi per temperature effettive inferiori a 30° . Per temperature comprese tra i 30° e i 48° , i valori riportati saranno ridotti del 2% per grado al di sopra dei 30° , allo scopo di ridurre gli effetti viscosi del PTFE.

Tabella 2 – Resistenze caratteristiche a compressione dei materiali di scorrimento

Materiale	Azione	f_k (MPa)
PTFE (superf. principali)	Carichi permanenti e variabili	90
	Carichi variabili	90
PTFE (guide)	Temperatura, ritiro e viscosità	30
	Carichi permanenti	10
CM1	Carichi permanenti e variabili orizzontali	200
CM2	Carichi permanenti e variabili orizzontali	120

Coefficienti di attrito

I coefficienti di attrito da utilizzare per verificare l'apparecchio di appoggio e la struttura a cui esso è collegata sono riportati nella Tabella 3. Tali valori non saranno applicati in presenza di consistenti azioni dinamiche, come sono ad esempio le azioni sismiche. I valori riportati sono validi solo per PTFE alveolato e lubrificato.

Tabella 3 – Coefficienti di attrito μ_{max}

Pressione di contatto σ_p (MPa)	≤ 5	10	20	≥ 30
PTFE – acciaio austenitico o cromo	0.08	0.06	0.04	0.030 (0.025) (*)
PTFE - alluminio	0.12	0.09	0.06	0.045 (0.038) (*)

(*) Valori tra parentesi per superfici di scorrimento curve

Per le guide, i valori del coefficiente di attrito, considerati indipendenti dalla pressione di contatto, sono i seguenti:

- PTFE: $\mu_{max} = 0.08$;
- Materiali compositi: $\mu_{max} = 0.20$.

Verifiche locali delle superfici di scorrimento

Le superfici di scorrimento saranno dimensionate e verificate tenendo conto di tutte le azioni attive trasmesse dalla struttura e di quelle antagoniste generate in corrispondenza delle libertà consentite.

La separazione delle superfici di scorrimento può condurre alla perdita di lubrificante, all'usura da contaminazione e all'incremento di deformazione dovuto alla mancanza di confinamento del PTFE. Per questo motivo si richiede che la tensione normale minima di contatto σ_p sia al più nulla, condizione considerata come stato limite di servizio.

Pressioni eccessive possono causare perdita di efficienza dello scorrimento; si richiede pertanto la verifica a compressione allo stato limite ultimo delle superfici a contatto, in conformità al Par. 6.8.3 della norma UNI EN 1337-2.

Verifiche locali delle piastre di supporto

Il PTFE e i materiali di scorrimento ad esso accoppiati devono essere sostenuti da piastre metalliche (piastre di supporto) con superfici piane o curve. Il progetto di queste deve tener conto del controllo delle deformazioni, della esatta valutazione delle sezioni resistenti, della adeguata rigidità per il trasporto e l'installazione secondo il Par. 6.9.3 della norma UNI EN 1337-2 e della distribuzione dei carichi alle strutture adiacenti secondo il Par. 6.9.4 della norma UNI EN 1337-2.

Una deformazione eccessiva delle piastre di supporto comporterebbe usura elevata del PTFE e decadimento a lungo termine delle caratteristiche del dispositivo di scorrimento; si richiede pertanto la verifica della deformazione secondo il Par. 6.9.2 della norma UNI EN 1337-2.

27.3.2.5. Fabbricazione, assemblaggio e tolleranze

Piastra di supporto

I bordi dell'incasso destinato a contenere i fogli di PTFE devono essere a spigolo vivo e retto, per limitare il rifluimento del PTFE. Il raggio alla base dell'incasso non deve superare 1 mm.

In linea teorica, il PTFE deve aderire all'incasso senza giochi. Tolleranze discontinue saranno ammesse in conformità alla Tabella 12 della norma UNI EN 1337-2.

I requisiti di planarità delle superfici saranno in accordo ai Par. 7.1.2 e 7.1.3 della norma UNI EN 1337-2.

Collegamento dei materiali di scorrimento

Lamiere di acciaio austenitico: devono essere collegate alle relative piastre di supporto mediante una delle modalità riportate dalla Tabella 13 della norma UNI EN 1337-2.

Fogli di PTFE: nel caso di piastre di supporto piane i fogli vanno confinati negli appositi alloggiamenti secondo le prescrizioni viste al punto precedente. I fogli di PTFE usati per le guide saranno incollati allo scopo di facilitare le operazioni di assemblaggio.

Materiali compositi: saranno collegati mediante incollaggio, accompagnato da un collegamento meccanico da realizzare al di fuori della superficie di scorrimento.

Protezione contro la contaminazione e la corrosione

Prima delle operazioni di assemblaggio, tutte le superfici di scorrimento devono essere pulite. Durante l'assemblaggio, saranno prese precauzioni per impedire la contaminazione delle superfici lubrificate. Devono essere previsti dispositivi specifici per prevenire la contaminazione degli elementi di scorrimento; tali dispositivi devono essere rimovibili per facilitare l'ispezione.

I requisiti generali relativi alla protezione contro la corrosione sono dati nella EN 1337-9. Ulteriori requisiti relativi al caso particolare delle superfici di scorrimento sono forniti nel Par. 7.3 della norma UNI EN 1337-2

Lubrificazione

Dopo la pulitura e prima dell'assemblaggio, i fogli di PTFE dotati di tasche di lubrificazione (alveolati) devono essere lubrificati in modo che tutte le tasche risultino colme. Le superfici di scorrimento delle guide saranno trattate stendendo un sottile strato di lubrificante sulla superficie e rimuovendo le eccedenze.

Superfici di riferimento per l'installazione

Allo scopo di assicurare l'allineamento dell'appoggio, in accordo con la UNI EN 1337-11, deve essere prevista sull'elemento scorrevole una superficie di riferimento o un opportuno dispositivo avente la stessa funzione.

27.3.2.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi no-

tificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-2. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice K della medesima norma.

Il controllo delle materie prime e dei componenti degli elementi di scorrimento sarà conforme alla Tabella 16 della norma UNI EN 1337-2.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 15 della norma UNI EN 1337-2.

27.3.2.7. Installazione

Dopo l'installazione e il completamento della sovrastruttura, la deviazione dell'elemento di scorrimento dalla configurazione specificata non dovrà eccedere lo 0.3%.

27.3.2.8. Criteri per ispezioni in servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337-10, sarà controllato in particolare il valore della sporgenza h , come definita in precedenza, verificando che risulti: $h \geq 1$ mm.

Se risulta $0 < h < 1$ mm, l'elemento di scorrimento può essere considerato ancora idoneo, ma sono richieste ispezioni più frequenti. Se risulta $h \approx 0$ l'elemento di scorrimento non sarà più considerato idoneo.

27.3.3. Appoggi elastomerici

27.3.3.1. Generalità

Gli appoggi elastomerici (armati) sono elementi di forma rettangolare o circolare, costituiti da strati di gomma naturale o artificiale combinati con lamierini d'acciaio vulcanizzati all'interno di essa. La vulcanizzazione ha il duplice scopo di proteggere l'acciaio dalla corrosione e di trasmettere le azioni tangenziali dalla gomma al lamierino. Tali appoggi devono essere ottenuti mediante lavorazione in appositi stampi a pianta circolare o rettangolare, mentre non sono ammessi appoggi ricavati per taglio da elementi di dimensioni superiori.

Non sono ammessi appoggi elastomerici non armati, salvo casi molto particolari (strutture temporanee e provvisorie di scarsa importanza statica, strutture definitive di scarsa importanza statica) nei quali il progetto li preveda espressamente. In tali casi l'elemento, che ha il compito principale di ripartire i carichi, deve avere spessore assai limitato, di norma non maggiore di 30 mm e deve essere soggetto a pressioni di esercizio assai inferiori a quelle limite della gomma impiegata.

Non sono ammessi appoggi elastomerici con elementi di PTFE vulcanizzati direttamente alla gomma, disposti superiormente od inferiormente

Gli appoggi elastomerici possono essere combinati con dispositivi che possono estenderne il campo di utilizzo, come dispositivi di scorrimento in accordo alla UNI EN 1337-2, sia temporanei che permanenti, o sistemi di vincolo in qualsiasi direzione.

Il presente Capitolato, in riferimento alla UNI EN 1337-3, tratta appoggi elastomerici con dimensioni massime in pianta pari a 1200x1200 mm, destinati all'utilizzo con temperature operative comprese tra - 25° e + 50° (+ 70° per brevi periodi). In caso di temperature operative molto basse sono richiesti requisiti particolari del modulo di taglio della gomma.

27.3.3.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi elastomerici consentono traslazioni in una qualsiasi direzione e rotazioni attorno a un qualsiasi asse, per mezzo di deformazioni elastiche dell'elemento in gomma. In tal modo è possibile, sia trasmettere le sollecitazioni, sia consentire gli spostamenti, in accordo con le risultanze progettuali.

Benché gli appoggi elastomerici siano progettati per assorbire anche azioni di taglio, essi non saranno impiegati per opporre resistenza a tali azioni, se applicate permanentemente.

Nei punti successivi sono definite le caratteristiche quantificabili degli appoggi elastomerici, riferite al prodotto finito, determinabili attraverso specifiche prove.

Modulo di elasticità tangenziale G_g

Il modulo di elasticità tangenziale G_g è determinato sulla base di prove a diverse temperature o dopo invecchiamento, in accordo con le procedure specificate dall'Appendice F della norma UNI EN 1337-3.

Alla temperatura nominale ($23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) dell'appoggio, dovrà essere conforme ai valori seguenti:

$$G_g = 0.90\text{ MPa};$$

$$G_g = 0.70\text{ MPa (*)};$$

$$G_g = 1.15\text{ MPa (*)}.$$

I valori ottenuti dai *test* dovranno essere conformi alle tolleranze seguenti:

$$G_g = 0.90\text{ MPa} + 0.15\text{ MPa};$$

$$G_g = 0.70\text{ MPa} + 0.10\text{ MPa (*)};$$

$$G_g = 1.15\text{ MPa} + 0.20\text{ MPa (*)}.$$

(*) Valori ammissibili solo se espressamente richiesti dal progetto.

Modulo di elasticità tangenziale a basse e bassissime temperature: il modulo di taglio dovrà essere conforme ai Par. 4.3.1.2 e 4.3.1.3 della norma UNI EN 1337-3.

Modulo di elasticità tangenziale dopo invecchiamento: il modulo di taglio ad invecchiamento indotto (3 giorni a 70°) dovrà essere conforme al Par. 4.3.1.4 della norma UNI EN 1337-3.

Resistenza di adesione

Scopo del *test* è il controllo dell'adesione tra la gomma e i lamierini d'acciaio interposti. La resistenza di adesione tra gomma e lamiera d'acciaio è determinata in accordo col Par. 4.3.2 e con le procedure specificate dall'Appendice G della norma UNI EN 1337-3.

Modulo di elasticità a compressione

Il modulo di elasticità a compressione è determinato in accordo col Par. 4.3.3 e con le procedure specificate dall'Appendice H della norma UNI EN 1337-3.

Resistenza a carico ripetuto di compressione

La resistenza a carico ripetuto di compressione è determinata in accordo col Par. 4.3.4 e con le procedure specificate dall'Appendice I della norma UNI EN 1337-3.

Capacità di rotazione statica

Scopo del *test* è la determinazione del comportamento dell'appoggio in condizioni di rotazione da carico statico, nei casi in cui la prestazione richiesta in termini di rotazione sia critica. Si possono determinare due grandezze relative alla capacità rotazionale dell'appoggio: il massimo angolo di rotazione e il momento antagonista trasmesso dall'appoggio alla struttura. La capacità di rotazione statica è determinata in accordo col Par. 4.3.5 e con le procedure specificate dalle Appendici J e K della norma UNI EN 1337-3.

Resistenza all'ozono

La resistenza all'ozono è determinata in accordo col Par. 4.3.6 e con le procedure specificate dall'Appendice L della norma UNI EN 1337-3.

27.3.3.3. Proprietà dei materiali

Elastomero

L'elastomero utilizzato come materiale grezzo negli apparecchi d'appoggio elastomerici è costituito da gomma naturale o sintetica (policloroprene). Si ammette la miscelazione con altro polimero come coadiuvante di processo fino a percentuali pari al 5%.

Le proprietà fisiche e meccaniche dell'elastomero saranno conformi alla Tabella 1 della norma UNI EN 1337-3.

Lamierini d'acciaio

I lamierini interni ed esterni saranno in acciaio di grado S235 secondo la norma UNI EN 10025 o in acciaio con equivalente allungamento a rottura. Gli spessori minimi saranno in accordo al Par. 4.4.3 della norma UNI EN 1337-3.

Superfici di scorrimento

Elementi di scorrimento in PTFE, accoppiati a lamine in acciaio austenitico, possono essere inseriti in una piastra metallica vulcanizzata all'elastomero, secondo quanto specificato al Par. 4.4.3 della norma UNI EN 1337-3.

27.3.3.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 5 della norma UNI EN 1337-3.

27.3.3.5. Tolleranze di fabbricazione

Le tolleranze relative alle dimensioni in pianta e agli spessori degli strati di elastomero interni ed esterni, dei lamierini d'acciaio e degli spessori totali dell'appoggio saranno in accordo col Par. 6 della norma UNI EN 1337-3.

27.3.3.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-3. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice N della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi elastomerici sarà conforme alla Tabella 8 della norma UNI EN 1337-3.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di *routine* ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alle Tabelle 6, 7, 8, della norma UNI EN 1337-3.

27.3.3.7. Installazione

Gli appoggi elastomerici andranno alloggiati preferibilmente su baggioli, le cui superfici di posa devono essere asciutte, pulite ed integre. Tali superfici saranno inoltre piane e orizzontali, ammettendo una tolleranza massima di planarità pari a:

- 0.3% per appoggi di strutture in c.a. prefabbricate, o metalliche;
- 1% per appoggi di strutture in c.a. gettate in opera.

Se l'impalcato è costruito in opera direttamente sugli apparecchi d'appoggio, è opportuno interporre tra appoggio e struttura delle coppelle prefabbricate in c.a., immorsate nel getto della sovrastruttura.

È inoltre conveniente posizionare gli eventuali appoggi rettangolari con il lato minore parallelo all'asse della trave, in modo da facilitare la rotazione attorno ad un asse trasversale.

Non è consentito l'incollaggio degli appoggi elastomerici alle strutture.

27.3.3.8. Criteri per ispezioni di servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337-10, sarà controllato in particolare quanto segue:

- che le superfici superiore ed inferiore dell'appoggio siano in contatto integrale con le parti strutturali collegate;
- che, con ispezione visiva delle facce accessibili dell'appoggio, non si individuino fessure, distacchi, rigonfiamenti o altre irregolarità dello stesso;
- che, con ispezione visiva delle parti strutturali a contatto dell'appoggio, non si individuino scostamenti dello stesso dalla sua posizione originale.

27.3.4. Appoggi a rulli

27.3.4.1. Generalità

Gli appoggi a rulli hanno un funzionamento basato sullo spostamento relativo di due piastre metalliche, una superiore ed una inferiore, per il tramite del rotolamento di uno o più componenti, dotati di superfici cilindriche ed interposti tra le piastre stesse. Allo scopo di consentire spostamenti paralleli all'asse di rotazione, gli apparecchi a rullo possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337-2.

27.3.4.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi a rulli trasmettono forze normali al piano di appoggio, consentendo traslazioni ortogonali all'asse di rotolamento e rotazioni attorno ad un asse ad esso parallelo (gli apparecchi a rullo singolo permettono rotazioni attorno alla linea di contatto, gli apparecchi a rullo multiplo necessitano di un elemento addizionale a bilanciere per consentire la rotazione). La capacità di rotazione dell'appoggio a rullo è una caratteristica intrinseca del sistema, basata sulla sua geometria, e deve essere dichiarata dal produttore. Il valore massimo di tale rotazione è fissato in 0.05 rad.

Le superfici a contatto avranno la stessa resistenza e durezza; le superfici curve dell'apparecchio saranno di forma cilindrica.

Il rullo avrà una lunghezza compresa tra il doppio e sei volte il suo diametro.

Sarà previsto un sistema di guida per impedire disassamenti del rullo in esercizio.

I componenti dell'appoggio saranno dimensionati in modo da distribuire correttamente il carico agli elementi contigui.

L'angolo massimo di diffusione del carico sarà assunto pari a 45° (angoli maggiori potranno essere giustificati soltanto da un calcolo specifico); in nessun caso sarà assunto un angolo di diffusione, misurato a partire dall'asse verticale, superiore a 60°.

27.3.4.3. Materiali

Gli appoggi a rullo saranno realizzati in materiali ferrosi, in conformità a quanto specificato al Par. 5 e nell'Appendice A della norma UNI EN 1337-4.

I componenti degli appoggi (rulli e piastre di contatto) saranno sottoposti a prove (rilievo di eventuali cricche, determinazione di durezza e resilienza) secondo i metodi esposti al Par. 5.1 della norma UNI EN 1337-4.

27.3.4.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337-4.

27.3.4.5. Tolleranze

Le tolleranze relative a planarità delle piastre, profilo e parallelismo delle superfici, rugosità superficiale, diametro dei rulli multipli, saranno in accordo al Par. 7 della norma UNI EN 1337-4.

27.3.4.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-4. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice B della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a rullo sarà conforme alla Tabella 5 della norma UNI EN 1337-4.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 4 della norma UNI EN 1337-4.

27.3.4.7. Installazione

Gli appoggi a rullo saranno installati con una tolleranza massima di ± 0.003 rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

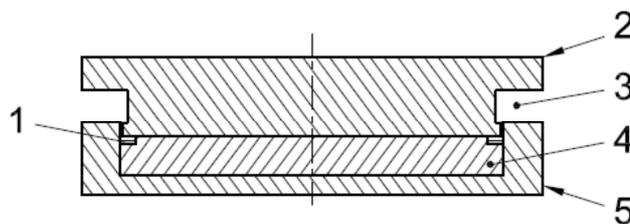
27.3.4.8. Criteri per ispezioni in servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337–10, saranno verificati in particolare l'assenza di cricche nei componenti dell'appoggio, il corretto allineamento dei rulli, la presenza di contatto continuo tra piastra e rullo.

27.3.5. Appoggi a disco elastomerico confinato

27.3.5.1. Generalità

Gli appoggi a disco elastomerico confinato (vedi figura) sono costituiti da un disco di gomma non armata, racchiuso entro un contenitore cilindrico metallico (detto anche "tazza") che ne impedisce l'espansione laterale e soggetto al carico di un pistone, pure metallico, che vi scorre all'interno. L'apparecchio è completato da una guarnizione interna disposta sul bordo superiore della superficie di gomma per impedire la fuoriuscita di materiale elastomerico e da una guarnizione esterna disposta tra basamento e pistone, per proteggere il corpo interno da umidità e detriti.



Appoggio a disco elastomerico confinato. Elementi principali: 1 – guarnizione; 2 – pistone; 3 – alloggiamento della protezione; 4 – cuscinetto elastomerico; 5 – basamento cilindrico.

Per ridurre l'attrito tra cuscinetto in gomma e componenti metallici, e di conseguenza limitare l'usura e l'entità del momento parassita che si oppone alla rotazione, è previsto l'uso di un lubrificante.

Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a disco elastomerico possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo alla UNI EN 1337–2.

27.3.5.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi a disco elastomerico trasmettono forze verticali e orizzontali, consentendo, grazie alla deformazione del cuscinetto in gomma, rotazioni attorno a un asse qualsiasi (cerniera sferica).

27.3.5.3. Materiali

Il basamento e il pistone saranno realizzati in materiali ferrosi; il materiale elastomerico usato per il cuscinetto deve essere gomma naturale o policloroprene.

Il lubrificante non deve essere dannoso per l'elastomero e gli altri componenti dell'appoggio e non deve causare rigonfiamenti eccessivi dell'elastomero (variazioni di peso > 8%). Tutti i materiali saranno conformi a quanto specificato al Par. 5 e nell'Appendice A (guarnizioni interne) della norma UNI EN 1337–5.

Lo scorrimento accumulato normalizzato della guarnizione interna, come definito nell'Appendice E della norma UNI EN 1337–5, dovrà essere conforme alla classe C (2000 m).

27.3.5.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337–5.

27.3.5.5. Tolleranze

Le tolleranze relative a spessore del cuscinetto, parallelismo delle superfici esterne, accoppiamento dei componenti e rugosità superficiale, saranno in accordo con il Par. 7 della norma UNI EN 1337–5.

27.3.5.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337–5. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice C della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a disco elastomerico sarà conforme al Prospetto 1 della norma UNI EN 1337–5.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme al Prospetto 2 della norma UNI EN 1337–5.

27.3.5.7. Installazione

Gli appoggi a disco elastomerico saranno installati con una tolleranza massima di ± 0.003 rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

27.3.5.8. Criteri per ispezioni in servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337–10, saranno verificati in particolare aspetti quali l'eventuale estrusione dell'elastomero, la presenza di detriti da usura, la posizione anomala del pistone di chiusura.

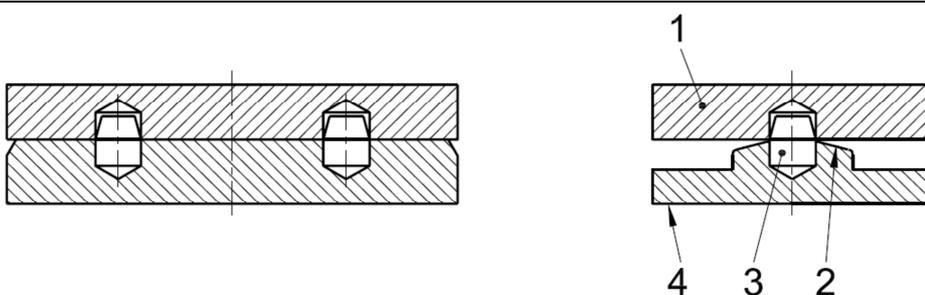
27.3.6. Appoggi a contatto lineare o puntuale

27.3.6.1. Generalità

Gli appoggi a contatto lineare o puntuale sono costituiti da due piastre metalliche variamente sagomate, a contatto e libere di ruotare reciprocamente. Se una delle piastre è sagomata a calotta cilindrica e l'altra è piana, il contatto e la rotazione avvengono lungo una generatrice del cilindro (contatto lineare); se una delle superfici è sagomata a calotta sferica (concava) o è piana e l'altra è sagomata a calotta sferica (convessa) di raggio inferiore alla prima, il contatto e la rotazione avvengono in un punto (contatto puntuale). Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a contatto possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337–2.

27.3.6.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi a contatto lineare permettono rotazioni attorno alla linea di contatto, realizzando una cerniera cilindrica, quelli a contatto puntuale rotazioni attorno a un asse qualsiasi, realizzando una cerniera sferica. Gli appoggi a contatto trasmettono forze verticali e orizzontali; per la trasmissione delle seconde gli apparecchi a contatto lineare sono dotati di perni sollecitati a taglio, opportunamente sagomati e calettati su una delle due piastre (detti anche "grani" – v. figura) mentre, nel caso di apparecchi a contatto puntuale, le azioni orizzontali sono trasmesse generalmente per contatto tra le due piastre.



Appoggio a contatto lineare. Elementi principali: 1 – piastra basculante; 2 – superficie cilindrica; 3 – connettori a taglio (detti anche “grani”); 4 – piastra fissa.

La capacità di rotazione dell’appoggio a contatto è una caratteristica intrinseca del sistema, basata sulla sua geometria, e deve essere dichiarata dal produttore. Il valore massimo di tale rotazione è fissato in 0.05 rad.

Le superfici a contatto avranno la stessa resistenza e durezza; le superfici curve dell’apparecchio saranno di forma cilindrica (contatto lineare) o sferica (contatto puntuale).

Saranno previsti dispositivi meccanici per impedire spostamenti relativi indesiderati delle superfici a contatto.

I componenti dell’appoggio saranno dimensionati in modo da distribuire correttamente il carico agli elementi contigui. L’angolo massimo di diffusione del carico sarà assunto pari a 45° (angoli maggiori potranno essere giustificati soltanto da un calcolo specifico). In nessun caso sarà assunto un angolo di diffusione, misurato a partire dall’asse verticale, superiore a 60°.

27.3.6.3. Materiali

Gli appoggi a contatto saranno realizzati in materiali ferrosi, in conformità a quanto specificato al Par. 5 e nell’Appendice A della norma UNI EN 1337–6.

I componenti degli appoggi (piastre di contatto) saranno sottoposti a prove (rilievo di eventuali cricche, determinazione di durezza e resilienza) secondo i metodi esposti al Par. 5.1 della norma UNI EN 1337–6.

27.3.6.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337–6.

27.3.6.5. Tolleranze

Le tolleranze relative a planarità delle piastre, profilo e parallelismo delle superfici, rugosità superficiale, saranno in accordo col Par. 7 della norma UNI EN 1337–6.

27.3.6.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l’esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337–4. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all’Appendice B della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a contatto lineare o puntuale sarà conforme alla Tabella 5 della norma UNI EN 1337–6.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 4 della norma UNI EN 1337–6.

27.3.6.7. Installazione

Gli appoggi a contatto saranno installati con una tolleranza massima di ± 0.003 rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

27.3.6.8. Criteri per ispezioni in servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337–10, saranno verificati in particolare l'assenza di cricche nei componenti dell'appoggio, il corretto allineamento delle piastre a contatto, la verifica del contatto previsto tra le piastre.

27.3.7. Appoggi sferici e cilindrici con PTFE

27.3.7.1. Generalità

Gli apparecchi d'appoggio sferici e cilindrici aventi superfici di scorrimento in politetrafluoroetilene (PTFE), hanno un funzionamento basato sullo strisciamento di una superficie di PTFE ed una di metallo, l'una concava e l'altra convessa, disposte su opportune piastre di supporto. Le superfici di scorrimento possono essere cilindriche o sferiche.

Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a contatto possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337–2.

27.3.7.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli apparecchi d'appoggio con superfici di scorrimento in PTFE cilindrici permettono rotazioni attorno a un asse, realizzando una cerniera cilindrica, mentre quelli sferici rotazioni attorno a un asse qualsiasi, realizzando una cerniera sferica. Tali appoggi trasmettono forze verticali e orizzontali: quelle orizzontali sono trasmesse per contatto tra le superfici di scorrimento, dimensionandone adeguatamente la curvatura, oppure prevedendo opportuni dispositivi meccanici resistenti al taglio.

La superficie metallica a contatto con il PTFE deve essere dimensionata in modo tale da coprire completamente, anche sotto carico, il foglio di PTFE. Non deve inoltre risultare alcun contatto tra gli elementi metallici di supporto superiori ed inferiori.

27.3.7.3. Materiali

I materiali e gli accoppiamenti di materiali relativi alle superfici di scorrimento, essendo gli stessi i principi di funzionamento, sono quelli specificati nel Par.5 della norma UNI EN 1337–2 (superfici di scorrimento).

27.3.7.4. Regole di Progetto

Per le regole di Progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337–7.

27.3.7.5. Manifattura, assemblaggio e tolleranze

Valgono le considerazioni svolte al Par. 7 della norma UNI EN 1337–7.

27.3.7.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337–7.

27.4. Dispositivi antisismici

27.4.1. Generalità

I dispositivi antisismici sono elementi aventi la funzione di adeguare la risposta della struttura alla sollecitazione sismica, secondo specifiche strategie progettuali di protezione.

Al sistema di protezione strutturale individuato dai dispositivi antisismici, considerandone il ruolo critico, è richiesta un'affidabilità particolare. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema è progettato e verificato in accordo con il Par. 7.10 del D.M. 14/01/2008.

In particolare, i dispositivi antisismici e le loro connessioni alla struttura dovranno essere verificati per i seguenti stati limite:

Stato limite di danno (SLD) ⁽¹⁾

I dispositivi si ritengono verificati rispetto a questo stato limite qualora siano soddisfatte le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) ⁽²⁾. Pertanto i dispositivi antisismici non debbono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. In particolare, anche nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti del dispositivo non espressamente destinate a funzioni dissipative, devono rimanere in campo elastico con coefficiente di sicurezza, nel rispetto dei legami costitutivi dei singoli materiali, pari almeno a 1.5.

In caso di sistemi a comportamento non lineare, eventuali spostamenti residui al termine dell'azione sismica allo SLD devono risultare compatibili con la funzionalità della struttura.

Le eventuali connessioni fra le diverse parti devono assorbire gli spostamenti relativi massimi ottenuti dal calcolo, senza subire danni o condurre a restrizioni d'uso.

Stato limite di prevenzione del collasso (SLC) ⁽³⁾

I dispositivi dovranno essere progettati, realizzati e messi in opera per sopportare l'azione sismica di progetto, senza pervenire a collassi locali o globali, mantenendo, dopo l'evento sismico, integrità funzionale e una residua resistenza meccanica.

In particolare, anche nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti del dispositivo non espressamente destinate a funzioni dissipative, devono rimanere in campo elastico.

27.4.2. Strategie di protezione antisismica

Specifiche strategie progettuali di protezione antisismica possono essere attuate con l'inserimento di particolari dispositivi all'interno della struttura, generalmente tra impalcato e sottostruttura. Tali strategie, da sole od opportunamente combinate tra loro, possono essere suddivise in alcune classi fondamentali, rispetto alle quali sono individuate le seguenti tipologie di dispositivi.

Dispositivi a dissipazione (meccanici e fluidodinamici)

L'energia trasferita alla struttura con l'azione sismica viene parzialmente dispersa attraverso un dispositivo dissipatore (a comportamento elasto-plastico, viscoso, visco-elastico, ecc.); la curva caratteristica F-d (forza-spostamento) propria del dispositivo, impone inoltre un limite superiore alle azioni trasmesse agli elementi strutturali.

Dispositivi ad isolamento

⁽¹⁾ Dicesi "stato limite di danno" (o SLD) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura nel suo complesso (inclusi elementi secondari, impiantistici, di arredo, ecc.) subisce danni tali da non mettere a repentaglio la sicurezza delle persone e da non comprometterne significativamente la resistenza e rigidità alle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi quindi sempre utilizzabile nelle sue funzioni principali, anche se dovessero risultare interrotte alcune delle sue funzionalità secondarie o accessorie.

⁽²⁾ Dicesi "stato limite di salvaguardia della vita" (o SLV) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura subisce rotture di elementi secondari o impiantistici e danni significativi a quelli principali, si da perdere buona parte della sua rigidità alle azioni orizzontali ma conservando tuttavia un certo margine rispetto al collasso per tali azioni e conservando altresì una sufficiente resistenza e rigidità alle azioni verticali.

⁽³⁾ Dicesi "stato limite di prevenzione del collasso" (o SLC) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura subisce gravi rotture degli elementi secondari ed impiantistici e danni molto gravi a quelli principali; conserva tuttavia un margine di sicurezza alle azioni verticali ed un esiguo margine rispetto al collasso per azioni orizzontali.

Attraverso l'inserimento di dispositivi isolatori si incrementa il periodo fondamentale delle oscillazioni proprie del sistema strutturale, spostandolo nel campo delle accelerazioni di risposta minori e riducendo in tal modo l'energia sismica trasmessa dal terreno alla struttura.

Dispositivi a collegamento rigido temporaneo (vincoli ausiliari)

In punti opportuni, tra impalcato e sottostrutture, sono inseriti dispositivi fluidodinamici (*shock transmitters*) che trasmettono le forze orizzontali solo in caso di sollecitazioni dinamiche impulsive (sisma, frenatura, raffiche di vento, ecc.), consentendo invece il libero movimento della struttura in condizioni di esercizio sotto l'effetto di azioni applicate lentamente (variazioni termiche, viscosità, ritiro, ecc.). In tal modo l'azione sismica, altrimenti concentrata in uno o in un numero limitato di punti fissi, viene ripartita in diversi punti.

Ai fini della ottimizzazione della risposta sismica della struttura, è possibile prevedere una combinazione di impiego dei vari dispositivi sopra descritti.

E' inoltre possibile combinare, in un unico dispositivo, appoggi scorrevoli tradizionali in acciaio-PTFE, che svolgono la funzione di trasmettere i carichi verticali e consentire gli spostamenti orizzontali e le rotazioni, con una serie di elementi che controllano le forze orizzontali e possono svolgere la funzione di dissipare energia. Tali elementi sono solitamente dissipatori isteretici in acciaio, dissipatori viscosi o *shock transmitters*.

27.4.3. Dissipatori meccanici (dispositivi a comportamento non lineare)

I dissipatori meccanici sono dispositivi a comportamento elastoplastico, il cui funzionamento è basato sulla deformazione di elementi metallici ad alta duttilità che assicurano, sotto le azioni alternate e ripetute del sisma, una elevata ripetitività dei cicli isteretici utili e un'alta capacità dissipativa. Inoltre, le caratteristiche elastoplastiche degli elementi impegnati consentono la trasmissione alla struttura, una volta superata la soglia plastica, di una sollecitazione limitata al crescere della deformazione.

Le curve caratteristiche F-d (forza-spostamento) di tali dispositivi, sostanzialmente indipendenti dalla velocità di applicazione della forza, possono generalmente essere schematizzate con una bilatera che ne definisce il comportamento non lineare attraverso le coordinate corrispondenti al limite teorico del comportamento elastico lineare (F_1-d_1) e le coordinate corrispondenti al valore limite di progetto dello spostamento allo SLU (F_2-d_2).

Alla categoria dei dissipatori meccanici possono essere riferiti anche i dissipatori con elementi in lega a memoria di forma, che sfruttano la capacità di particolari leghe metalliche di subire grandi deformazioni (circa dieci volte superiori a quelle di un metallo comune), limitando le forze trasmesse e, nel contempo, recuperando la forma originaria ad impegno esaurito. Il loro impiego, qualora non espressamente previsti in progetto, sarà consentito soltanto previa approvazione della Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, che ne dovrà valutare attentamente le specifiche tecniche ed eventualmente provvedere a *test* su dispositivi-campione.

27.4.4. Dissipatori fluidodinamici (dispositivi a comportamento viscoso)

I dissipatori fluidodinamici hanno un funzionamento basato sui principi del moto di un fluido in un circuito idraulico. Sono costituiti essenzialmente da un cilindro riempito di fluido silconico e da un pistone, libero di muoversi nelle due direzioni, che crea due camere comunicanti entro cui avviene il movimento del fluido.

In presenza di azioni dinamiche impulsive e della conseguente richiesta di movimenti rapidi, derivanti ad esempio dalla sollecitazione sismica, all'interno del circuito idraulico dell'apparecchio si verifica la laminazione del fluido, fenomeno che conduce a una risposta del dispositivo secondo curve forza-spostamento che possono essere assimilate a curve lineari (tipo elastico) o bilineari (tipo elastoplastico o rigidoplastico), in funzione delle caratteristiche del circuito idraulico e del fluido impiegato.

In presenza di movimenti lenti, derivanti ad esempio dalle escursioni termiche dell'impalcato, è invece consentito il movimento del pistone e il regolare travaso del fluido da una camera all'altra con reazione trascurabile (in alcuni casi, in funzione di particolari richieste progettuali, il travaso può essere impedito, ottenendo, in fase di esercizio, un comportamento rigido del dispositivo). Anche in questo caso si ottiene una riduzione delle azioni trasmesse alla struttura in fase sismica, grazie alla elevata capacità dissipativa del sistema.

I dissipatori viscosi presentano un legame forza-velocità del tipo:

$$F = C * V^\alpha$$

Con C ed α costanti numeriche identificabili sperimentalmente mediante prove a diverse velocità.

Il comportamento dei dissipatori è caratterizzato sostanzialmente da due parametri: la massima forza sviluppata F_{max} e l'energia dissipata in un ciclo E_d , per una prefissata ampiezza e frequenza, ossia dalle costanti C e α . Essendo poi α un valore prossimo allo zero, i dispositivi reagiscono con una forza praticamente costante in un ampio intervallo di velocità.

L'identificazione di tali parametri ai fini della definizione meccanica del dispositivo dovrà essere fatta con riferimento ai valori di forza massima e energia dissipata durante il terzo ciclo di carico, dovendo risultare non superiore al 10% la differenza tra valore teorico e valore sperimentale delle grandezze dette.

Nella famiglia dei dissipatori viscosi rientrano i "dissipatori viscosi ricentranti", che presentano una legge costitutiva visco-elastica del tipo:

$$F = F_0 + K_x + C * V^\alpha$$

Dove F_0 rappresenta una eventuale forza minima di soglia, o precarica, e gli altri due termini rispettivamente il contributo elastico e quello viscoso.

Il funzionamento di tali dispositivi consente, oltre alla dissipazione energetica legata ai fenomeni viscosi, una modifica della rigidità della struttura, grazie all'introduzione di un elemento elastico, che porta la risposta dinamica del sistema in un campo di frequenze più favorevoli. Inoltre le caratteristiche elastiche dell'apparecchio consentono il ricentraggio del sistema dopo la sollecitazione dinamica.

27.4.5. Dispositivi a vincolo rigido temporaneo

I dispositivi a vincolo rigido temporaneo (*shock transmission devices*) sono dispositivi fluidodinamici simili a quelli descritti in precedenza. In questo caso però, in virtù di differenti meccanismi di controllo nel circuito idraulico dell'apparecchio, il dispositivo, sotto sollecitazioni impulsive derivanti da sisma o da altre azioni dinamiche, si blocca, consentendo la trasmissione delle forze alla struttura con spostamenti limitati. Nel caso di movimenti lenti, come nel caso precedente, è consentito il movimento del dispositivo, senza trasmissione di azioni significative.

Per garantire che tutti i dispositivi installati siano sollecitati simultaneamente e in modo omogeneo, i dispositivi a vincolo rigido temporaneo possono essere dotati di un limitatore di forza, che limita l'azione trasmessa ad un determinato valore (in genere di poco superiore al valore di soglia trasmesso in caso di azione dinamica).

27.4.6. Dispositivi ad isolamento

27.4.6.1. Dispositivi isolatori elastomerici

I dispositivi isolatori elastomerici sono dispositivi d'appoggio costituiti da strati alterni di elastomero e di acciaio, collegati mediante vulcanizzazione, in modo del tutto simile agli apparecchi d'appoggio elastomerici tradizionali. L'inserimento degli isolatori tra impalcato e sottostruttura consente, come visto, di introdurre nel sistema resistente un elemento di disaccoppiamento del moto e di conseguenza di ottenere un abbattimento delle accelerazioni sismiche trasmesse dal terreno alla struttura.

A differenza degli apparecchi d'appoggio tradizionali, i dispositivi isolatori elastomerici devono essere sempre collegati all'impalcato ed alla sottostruttura con collegamenti di tipo meccanico.

I dispositivi isolatori sono caratterizzati da una ridotta rigidità orizzontale, per garantire il disaccoppiamento del moto orizzontale della struttura da quello del terreno, da una elevata rigidità verticale, per sostenere i carichi verticali senza cedimenti apprezzabili e, in diversa misura in funzione delle caratteristiche della mescola elastomerica (isolatori a basso o alto smorzamento), da opportune capacità dissipative.

La ridotta capacità dissipativa circoscrive, nel caso generale, il campo d'azione degli isolatori descritti a zone di bassa e media sismicità. Il loro impiego in zone ad alta sismicità è possibile se combinato con quello di altri tipi di apparecchi, generalmente dispositivi a dissipazione, che riducono ulteriormente le sollecitazioni trasmesse alla struttura, contenendone al contempo gli spostamenti.

Inoltre la bassa rigidità orizzontale del dispositivo, che potrebbe causare spostamenti inaccettabili anche in condizioni di esercizio (vento, azioni di frenatura, ecc.), limita l'applicazione degli isolatori elastomerici a strutture medio-piccole, a meno che essi non vengano abbinati ad altri dispositivi, come per esempio ad elementi di scorrimento, come definiti al precedente specifico punto.

Per incrementarne la capacità dissipativa, gli isolatori elastomerici possono essere dotati di un nucleo centrale in piombo, che può plasticizzarsi sotto rilevanti azioni orizzontali. Altra prerogativa degli isolatori con nucleo in piombo è

quella di essere caratterizzati da una curva forza-spostamento di tipo bilineare con il tratto iniziale molto rigido, aspetto che permette di limitare gli spostamenti anche sotto l'azione di non trascurabili azioni orizzontali d'esercizio.

27.4.6.2. Dispositivi isolatori ad attrito

In tempi relativamente recenti sono stati sviluppati ulteriori dispositivi di appoggio ad isolamento, assai efficaci per la protezione sismica, denominati "isolatori ad attrito" o anche "isolatori a pendolo scorrevole" (*friction isolation pendulum devices*), così detti perché sfruttano fra l'altro la legge fisica del moto del pendolo per allungare il periodo naturale della struttura isolata (qui detta "sovrastuttura").

Tali dispositivi devono sostanzialmente essere progettati, costruiti e verificati in accordo alla UNI EN 1337-2 e alla UNI EN 1337-7 con particolare attenzione alle condizioni di esercizio in cui l'attrito quasi-statico è normalmente inferiore a quello dinamico.

Possono essere a singola o doppia superficie (curva) di scorrimento:

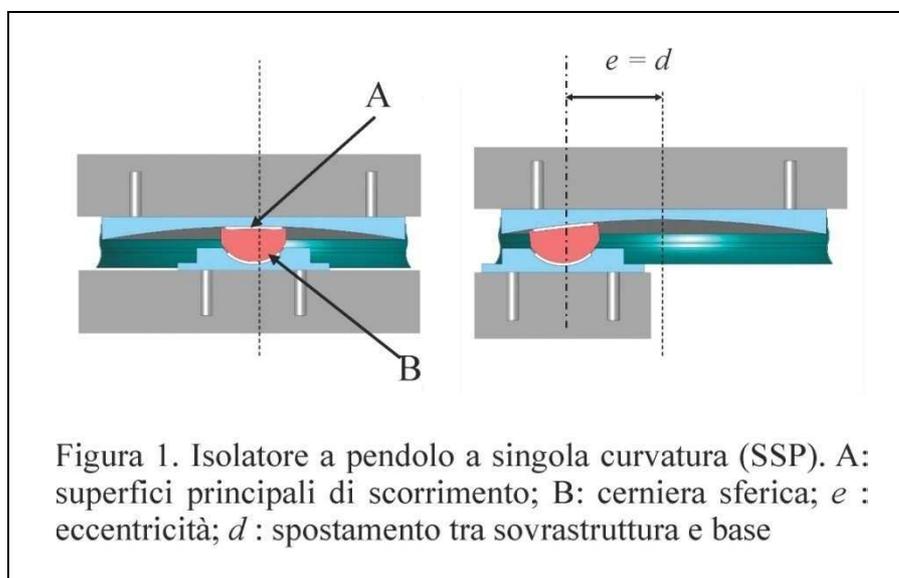
– Isolatori ad attrito a singola superficie di scorrimento (*single sliding pendulum devices*)

Il loro schema è riportato in Fig. 1. L'elemento principale (indicato come elemento A) è costituito da una coppia di superfici curve che scorrono l'una sull'altra, ed ha la duplice funzione di dissipare energia attraverso l'attrito tra le superfici e di generare la forza di richiamo per il ricentraggio della sovrastuttura attraverso l'azione della gravità.

Le rotazioni relative tra la sovrastuttura e la base, indotte dallo scorrimento tra queste due superfici, sono consentite dall'articolazione a cerniera sferica costituita da una seconda coppia di superfici (elemento B). Il movimento tra le due superfici principali corrisponde al movimento di un pendolo con periodo così calcolato:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

dove R è il raggio di curvatura delle superfici.

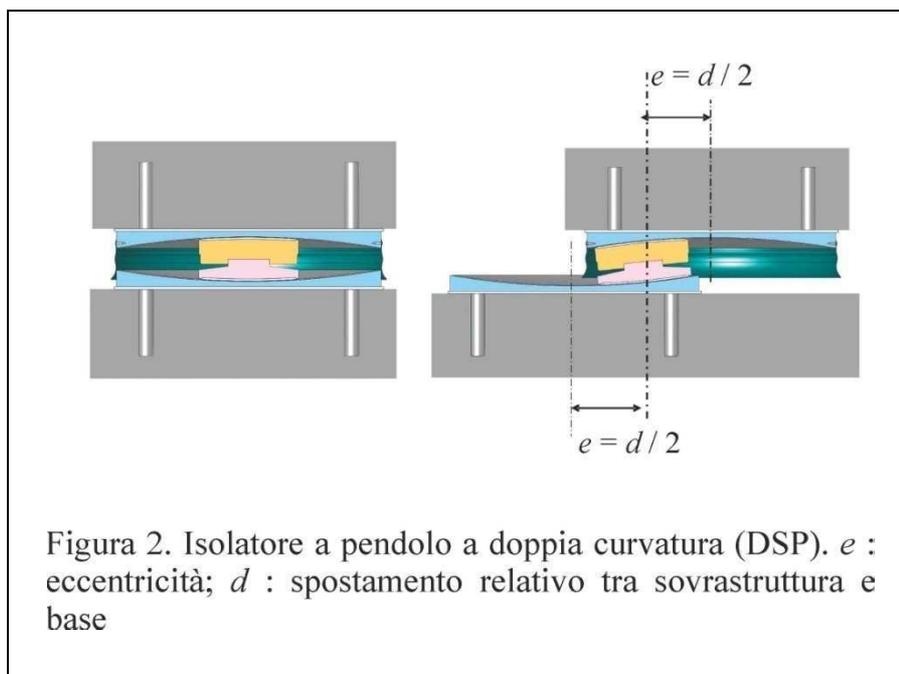


Il periodo è pertanto indipendente dalla massa della struttura isolata, con notevole vantaggio nel caso di isolamento di sovrastutture leggere.

Un dispositivo a pendolo può normalmente produrre periodi di oscillazione compresi tra 2 e 5 secondi e consentire spostamenti orizzontali anche superiori a 1 m.

– Isolatori ad attrito a doppia superficie di scorrimento (*double sliding pendulum devices*)

Un'evoluzione della precedente tipologia è rappresentata dagli isolatori a pendolo a doppia curvatura, costituiti da due coppie di superfici curve, tra le quali è posta l'articolazione sferica (Fig. 2).



Questa soluzione consente di dimezzare lo spostamento della risultante del carico verticale, sia per la sovrastruttura, sia per la base (si confrontino le due figure) e riduce le dimensioni globali del dispositivo a parità di spostamento totale.

Allo stato attuale della tecnica, le superfici di scorrimento negli isolatori a pendolo sono realizzate di norma accoppiando una superficie metallica in acciaio inossidabile o cromato ad un opportuno materiale plastico, principalmente PTFE non lubrificato o suoi composti. Tuttavia l'impiego del PTFE non risulta ottimale in queste applicazioni in quanto:

- il coefficiente di attrito dinamico è estremamente basso, non adatto a produrre elevate dissipazioni di energia durante eventi sismici di fortissima intensità;
- si ha un'ulteriore riduzione del coefficiente di attrito, a causa del calore che si sviluppa per effetto della dissipazione di energia sismica;
- si può avere un rammollimento, con riduzione della capacità portante del PTFE, ancora a causa delle temperature che si possono raggiungere all'interfaccia.

Pertanto possono essere impiegati altri materiali, in luogo del PTFE, purché le loro caratteristiche siano state adeguatamente studiate e risultino da una documentazione tecnica sufficientemente completa, comprensiva di prove e misurazioni di laboratorio su prototipi.

27.4.7. Dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare

I dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare comprendono una serie di apparecchi di varia concezione (dischi in elastomero disposti tra piastre metalliche di supporto, dispositivi elastici in acciaio, sistemi combinati di barre in acciaio accoppiate ad elementi in gomma, ecc.). La loro caratteristica comune è quella di trasmettere soltanto azioni orizzontali, introducendo nel sistema resistente, come nel caso degli isolatori, un elemento di disaccoppiamento del moto (costituito essenzialmente da una molla orizzontale) e limitando in tal modo le accelerazioni trasmesse alla struttura.

L'utilizzo di tali dispositivi dovrà essere stato esplicitamente previsto in progetto ed oggetto di accurata calcolazione.

27.4.8. Indicazioni progettuali

Le possibilità di spostamento relativo tra le parti mobili dei dispositivi e più in generale la loro funzionalità dovranno essere verificate e garantite agli stessi stati limite previsti per le strutture di cui fanno parte.

La corsa minima dei dispositivi da ponte sarà comunque pari a ± 50 mm.

La corsa disponibile dei dispositivi fluidodinamici dovrà tener conto dei movimenti di origine termica e di tutti gli effetti a lungo termine, con gli opportuni margini di sicurezza richiesti dal progetto.

I giunti strutturali e i varchi tra parti contigue dovranno essere dimensionati in modo da consentire il corretto funzionamento dei dispositivi di appoggio ed antisismici, senza ostacolare gli spostamenti previsti delle parti da essi collegate.

La definizione del comportamento meccanico del dispositivo (da documentare con chiarezza da parte del fornitore), sia ai fini del calcolo strutturale generale, sia ai fini del dimensionamento del dispositivo stesso, sarà basata su un modello realistico e su prove di laboratorio accertate, controllando in particolare che non siano introdotte sfavorevoli sovraresistenze e sovrarigidità rispetto alle esigenze progettuali.

I dispositivi isolatori soggetti a forze di trazione o sollevamento durante l'azione sismica, dovranno essere in grado di sopportare tali azioni senza perdere la loro funzionalità strutturale. Tali effetti andranno presi in conto nel progetto del dispositivo e controllati attraverso verifiche sperimentali.

L'alloggiamento dei dispositivi ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo tale da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. E' necessario anche prevedere adeguati sistemi di contrasto idonei a consentire il loro eventuale ricentraggio (se queste caratteristiche non sono proprie del dispositivo) qualora, a seguito di un sisma, si possano avere spostamenti residui incompatibili con la funzionalità del ponte e con il corretto funzionamento del sistema di protezione antisismico.

27.4.9. Materiali

I materiali impiegati per la realizzazione dei dispositivi, la cui qualità dovrà essere comprovata mediante idonea certificazione, saranno quelli previsti in progetto. Ove in progetto la qualità dei materiali non sia stata indicata o indicata in modo insufficiente, questa dovrà comunque risultare ottima, aderente alle norme di riferimento ed opportunamente documentata, prima che i dispositivi stessi siano autorizzati all'installazione da parte della Direzione Lavori. In particolare, i materiali saranno compatibili con le temperature di esercizio, interne ed esterne, dei dispositivi.

Gli acciai, i metalli a base ferrosa, i materiali a contatto delle superfici di scorrimento, le gomme degli isolatori elastomerici ordinari e, in generale, tutti i materiali comuni a quelli previsti per i dispositivi di appoggio strutturale, saranno conformi alle caratteristiche indicate nella UNI EN 1337.

Per tutti gli altri materiali previsti in progetto, dovranno essere indicate le normative di riferimento. Qualora non esistano normative di riferimento, il fornitore dovrà comunque produrre idonea documentazione sperimentale comprovante le caratteristiche del materiale utilizzato.

Le superfici attive degli elementi mobili dei dispositivi fluidodinamici saranno in acciaio inossidabile o rivestite in altro metallo (cromo, nichel), a protezione dalla corrosione e dall'usura.

I fluidi viscosi utilizzati nei dissipatori fluidodinamici, preferibilmente a base siliconica, dovranno risultare non tossici, ininfiammabili, chimicamente inerti e privi di additivi soggetti a deposito.

Per tirafondi, bulloneria di ancoraggio e collegamento, ecc., sarà impiegato acciaio ad alta resistenza. Le malte, i betoncini e le resine per l'alloggiamento dei dispositivi avranno le caratteristiche indicate nello specifico paragrafo del presente Capitolato.

27.4.10. Prove e criteri di accettazione

27.4.10.1. Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio

Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle norme sugli apparecchi di appoggio, con le seguenti variazioni ed aggiunte (salvo deroga esplicitamente concessa dalla Direzione Lavori):

- le prove di invecchiamento vanno effettuate per 21 giorni a 70 °C; la variazione del modulo G deve essere contenuta entro il 20% del valore iniziale;
- Il modulo G deve essere determinato anche per una deformazione tangenziale pari a $\pm 100\%$.

Prove di qualificazione sui dispositivi

Le seguenti prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori, possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati:

- determinazione statica della rigidità a compressione secondo UNI EN 1337;
- determinazione statica, sotto compressione costante, del modulo statico di taglio G secondo UNI EN 1337;
- determinazione dinamica, sotto compressione costante, del modulo dinamico di taglio G_{din} e dello smorzamento ξ (mediante prove cicliche sinusoidali), con l'obbligo per G_{din} di ricadere nell'intervallo $0,35 \div 1,40$ MPa;
- determinazione delle curve $G-\gamma$ e $\xi-\gamma$ (γ = deformazione di taglio) mediante le prove dinamiche cicliche precedentemente descritte;
- determinazione delle caratteristiche di *creep* mediante prove di compressione a pressione costante e almeno pari al massimo valore della tensione di compressione di progetto per le sole azioni di servizio, della durata di almeno 7 giorni; la deformazione verticale per *creep* deve essere inferiore al 20% della deformazione statica sotto il carico V (azione normale massima di progetto sull'isolatore); il valore di riferimento della deformazione statica sarà assunto pari a quello misurato dopo 10 minuti dall'inizio dell'applicazione del carico;
- valutazione della stabilità del dispositivo sotto compressione e taglio;
- valutazione della capacità di sostenere, sotto compressione costante e almeno pari al valore massimo della tensione di compressione di progetto, almeno 10 cicli con spostamento massimo impresso almeno pari a $1,2 d_2$ (d_2 = spostamento massimo di progetto allo SLU del dispositivo);
- valutazione di efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, effettuata sottoponendo l'isolatore, sotto compressione costante almeno pari al valore massimo della tensione di compressione di progetto, a una deformazione $\gamma \geq 2,5$ senza che si verifichino danni.

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 4 dispositivi, due per le prove senza invecchiamento e due per le prove dopo invecchiamento artificiale, ottenuto mantenendo i dispositivi di prova per 21 giorni a 70 °C.

L'invecchiamento dovrà comunque essere preceduto dalla determinazione statica della rigidità a compressione e del modulo statico di taglio G , secondo le modalità definite, per valutare le caratteristiche dei dispositivi sottoposti a invecchiamento prima dell'invecchiamento stesso. I valori di G dopo l'invecchiamento non devono superare di 1,15 volte i valori di G prima dell'invecchiamento.

La validità delle prove di invecchiamento potrà essere estesa a tutti i dispositivi realizzati con la stessa miscela, indipendentemente dai rapporti di forma. Per qualificare lo stesso dispositivo per diversi valori della tensione di compressione le prove possono essere ripetute in sequenza sugli stessi dispositivi da qualificare, verificando che tra una prova e la successiva non si siano verificati danni ai dispositivi.

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione non potranno essere utilizzati nella costruzione.

Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, con le modalità viste per le prove di qualificazione, si riterranno superate se i risultati ottenuti soddisfano i limiti sotto specificati e se il modulo statico di taglio G non differisce da quello delle prove di qualificazione di oltre il $\pm 10\%$:

- misura della geometria esterna che dovrà rispettare le tolleranze prescritte dalle norme sugli apparecchi di appoggio, con l'unica deroga dei dispositivi di altezza superiore a 100 mm per i quali la tolleranza sulle altezze è compresa tra 0 e 6 mm;
- determinazione statica della rigidità verticale tra il 30% e il 100% del carico V secondo UNI EN 1337;
- determinazione statica del modulo statico di taglio G con le modalità specificate per le prove di qualificazione;
- valutazione di efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, con le modalità specificate per le prove di qualificazione, ma adottando per la deformazione γ il valore corrispondente allo spostamento d_2 .

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con minimo di 4.

27.4.10.2. Dispositivi a comportamento non lineare e lineare

Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle vigenti norme e finalizzate ad accertare la tensione e l'allungamento al limite elastico, la tensione e l'allungamento a rottura del materiale costituente gli elementi base del

dispositivo. Esse sono finalizzate ad individuare i valori medi e quelli caratteristici delle quantità suddette e la prevedibile costanza di comportamento del materiale considerato e debbono permettere di estrapolare il comportamento del materiale da quello del dispositivo e di verificare la sostanziale invariabilità del comportamento del dispositivo rispetto alle variazioni ambientali, la temperatura interna, l'invecchiamento.

Il tipo e le modalità di prova verranno stabiliti di volta in volta dal produttore, in relazione al tipo di materiale, e verranno giustificati con una relazione, di cui il produttore si assumerà piena e completa responsabilità, che chiarisca in ogni dettaglio il rapporto tra comportamento del materiale e comportamento del dispositivo.

Prove di qualificazione sui dispositivi

Le prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori e che possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati, sono le seguenti:

- prova “preliminare”, condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima non inferiore a $\pm 0,1 d_2$, $\pm 0,2 d_2$, $\pm 0,3 d_2$, $\pm 0,5 d_2$, $\pm d_2$ (d_2 = spostamento massimo di progetto allo SLU del dispositivo);
- prova “quasi statica”, condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a $\pm 1,2 d_2$;
- prova “dinamica”, condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a $\pm 1,2 d_2$, applicando le deformazioni imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite ultimo ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo;
- La “prova dinamica” può essere sostituita da una replica della prova statica, qualora il materiale degli elementi base sia acciaio o altro materiale il cui comportamento ciclico non dipenda dalla velocità di deformazione, in un range pari a $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto. Tale proprietà dovrà, eventualmente, essere verificata attraverso apposite prove sui materiali o sugli elementi base.

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 2 dispositivi. I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione potranno essere utilizzati nella costruzione solo se gli elementi sollecitati in campo non lineare vengono sostituiti o se la loro resistenza alla fatica oligociclica è di un ordine di grandezza superiore al numero dei cicli delle prove.

Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, saranno effettuate con le modalità già viste per le prove di qualificazione e si riterranno superate se i risultati ottenuti non differiranno da quelli delle prove di qualificazione di oltre il $\pm 10\%$:

- misura della geometria esterna, con tolleranza di $\pm 10\%$ sugli spessori e $\pm 5\%$ sulle lunghezze;
- prova ciclica condotta imponendo al prototipo almeno 4 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima non inferiore a $\pm d_2/20$, volte a determinare il valore della rigidità teorica iniziale K_1 .

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con un minimo di 4. Su almeno un dispositivo verrà anche condotta una prova “quasi statica”, imponendo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima pari a $\pm 1,2 d_2$. Il dispositivo non potrà essere utilizzato nella costruzione, a meno che il suo perfetto funzionamento non sia ripristinabile con la sostituzione degli elementi base.

27.4.10.3. Dispositivi a comportamento viscoso

Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle vigenti norme. Esse debbono permettere di estrapolare il comportamento dal materiale a quello del dispositivo e di verificare la sostanziale invariabilità del comportamento del dispositivo rispetto alle variazioni ambientali, alla temperatura interna, all'invecchiamento.

Il tipo e le modalità di prova verranno stabiliti di volta in volta dal produttore, in relazione al tipo di materiale, e verranno giustificati con una relazione, di cui il produttore si assumerà piena e completa responsabilità, che chiarisca in ogni dettaglio il rapporto tra comportamento del materiale e comportamento del dispositivo.

Prove di qualificazione sui dispositivi

Le prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori e che possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati, sono le seguenti:

- prova “preliminare”, finalizzata alla verifica dei parametri caratterizzanti il comportamento del dispositivo, condotta imponendo al prototipo almeno 4 cicli completi di deformazioni alternate, con rampe a velocità costante e ampiezza massima riferita al prototipo reale non inferiore a $\pm 0,5 d_2$, per almeno 5 diversi valori della velocità di spostamento, pari al 25%, 50%, 75%, 100%, 125% del valore di progetto.
- prova “dinamica”, condotta imponendo al prototipo almeno 10 cicli completi di deformazioni alternate, eventualmente effettuati in due serie di 5 cicli consecutivi, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a $\pm 1,2 d_2$, applicando le deformazioni imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite ultimo ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo di ampiezza massima $\pm d_2$.

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 2 dispositivi. I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione potranno essere utilizzati nella costruzione, previa verifica della loro perfetta integrità a seguito delle prove.

Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, saranno effettuate con le modalità già viste per le prove di qualificazione e si riterranno superate se i risultati ottenuti non differiranno da quelli delle prove di qualificazione di oltre il $\pm 10\%$:

- misura della geometria esterna, con tolleranza di $\pm 10\%$ sugli spessori e $\pm 5\%$ sulle lunghezze;
- prova “dinamica”, condotta imponendo al prototipo almeno 10 cicli completi di deformazioni alternate, eventualmente effettuati in due serie di 5 cicli consecutivi, con ampiezza massima pari a $\pm d_2$, applicando le deformazioni imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite di danno ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo di ampiezza massima $\pm d_2$.

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con minimo di 4.

27.5. Protezione

27.5.1. Generalità

Devono essere adottate misure di protezione degli apparecchi d'appoggio e dei dispositivi antisismici (congiuntamente denominati “dispositivi”) dagli effetti degli agenti aggressivi dell'ambiente e di altre cause esterne che potrebbero ridurre la vita utile prevista. I riferimenti normativi in merito sono contenuti nel Par. 2 della norma UNI EN 1337-9.

Andranno raccolte informazioni sulle caratteristiche dell'ambiente di destinazione, in particolar modo se atteso più aggressivo dell'ambiente marino, per poter attuare interventi protettivi adeguati. In linea generale, le misure di protezione contro la corrosione si attuano, o selezionando materiali per i quali l'ambiente a cui sono destinati non risulta aggressivo, o dotando le parti esposte dell'apparecchio di un rivestimento protettivo, o mediante altre soluzioni (es. bagno d'olio) per isolare l'appoggio dall'ambiente circostante.

Misure protettive speciali possono essere richieste in particolari circostanze (ad es. dove siano previste infiltrazioni di polvere e sabbia, nidificazioni di animali, ecc.).

La struttura e i dispositivi devono essere progettati in modo tale da permetterne agevolmente ispezione e manutenzione. Qualora si rendessero necessarie misure protettive speciali, queste devono essere rimovibili o comunque non costituire ostacolo alle operazioni di ispezione e manutenzione.

27.5.2. Requisiti

27.5.2.1. Protezione contro gli effetti ambientali

Le parti metalliche dei dispositivi devono essere protette contro la corrosione. Sono escluse le superfici soggette a scorrimento, rotazione, aderenza per attrito o carico concentrato.

Il sistema di protezione anticorrosiva, qualificato secondo la norma UNI EN 1337-9, deve garantire che, per un periodo di dieci anni dopo la consegna, gli appoggi siano conformi ai requisiti dettagliati di seguito:

- densità di bolle non superiore al grado 1 della norma ISO 4628-2;
- ossidazione non superiore al grado Ri = 1 della norma ISO 4628-3;
- distacco del rivestimento non superiore alla classe 1 della norma ISO 4628-4;
- desquamazione non superiore alla classe 1 della norma ISO 4628-5.

Se l'apparecchio deve essere installato in un ambiente più aggressivo di quello marino, si devono concordare requisiti particolari per la protezione anticorrosiva.

Per definire il sistema di protezione anticorrosiva, deve essere fornita la documentazione seguente:

- procedura seguita per la protezione anticorrosiva dei dispositivi;
- specifiche dei fornitori del materiale;
- prove eseguite.

Quanto sopra deve includere come minimo quanto segue:

- grado di preparazione della superficie (per esempio SA 2½ secondo la norma ISO 8501);
- tipo di rivestimento protettivo;
- numero degli strati.

Per i sistemi di verniciatura:

- numero dell'articolo e colore;
- marchio di fabbrica e numero di riferimento del produttore;
- numero della scheda tecnica;
- luogo di applicazione;
- modo di applicazione;
- spessore minimo della pellicola secca.
- spessore locale massimo della pellicola secca;
- procedure per il trattamento di danni locali ai rivestimenti protettivi;
- risultati delle prove come da prospetto seguente:

PROVA	NORMA	CRITERI DI ACCETTABILITÀ
Nebbia salina	UNI EN ISO 9227	Assenza di bolle sec. ISO 4628-2 Assenza di ruggine sec. ISO 4628-3 Assenza di distacco Ri = 1 sec. ISO 4628-4 Assenza di sfaldatura sec. ISO 4628-5
Spessore minimo del film secco	ISO 2808	Come specificato dal produttore della vernice
Adesione	ISO 2409	0 o 1
Urto	UNI EN ISO 6272	Nessun danno visibile con una massa di 1 kg e un'altezza di caduta di 100 mm

Queste prove devono essere ripetute ogni cinque anni o quando sia apportato un cambiamento al sistema di protezione anticorrosiva.

27.5.2.2. Corrosione elettrolitica

Qualora nello stesso apparecchio siano usati metalli diversi, occorre prevedere misure atte ad evitare la corrosione elettrolitica per formazione di coppie bimetalliche.

27.6. Manutenzione

E' necessario effettuare controlli e garantire una costante manutenzione dei dispositivi durante la fase di esercizio.

Le operazioni di ispezione, controllo e manutenzione, che non sono oggetto specifico del presente Capitolato, andranno condotte in accordo alla norma UNI EN 1337-10.

Ogni dispositivo o famiglia di dispositivi, dovrà essere dotato di un manuale di manutenzione, controfirmato dal fornitore, in cui il costruttore indicherà modalità, tempistica e frequenza degli interventi di controllo e manutenzione da eseguire (ordinaria e straordinaria). Tale documentazione dovrà essere allegata a partire dalla fase di presentazione del dispositivo per l'impiego.

27.7. Operazioni in cantiere

27.7.1. Trasporto e immagazzinamento

Le operazioni di trasporto, immagazzinamento e installazione dei dispositivi saranno in accordo con la norma UNI EN 1337-11.

L'imballaggio deve essere accurato, in modo da evitare qualsiasi danno durante il trasporto. La movimentazione e l'installazione dei dispositivi devono essere eseguite solo da personale qualificato, le cui competenze e qualifiche devono essere opportunamente documentate.

I dispositivi devono essere movimentati con cura e protetti da danni e contaminazioni. Se non è possibile movimentarli a mano, si provvederanno attacchi permanenti o temporanei che facilitino il sollevamento con mezzi meccanici.

Se i dispositivi non sono installati nella struttura subito dopo la consegna, devono essere conservati dall'utilizzatore al riparo dagli agenti meteorici e da altre contaminazioni ed interferenze negative dovute all'attività del cantiere ed inoltre in modo che ne sia garantita la ventilazione ed impediti ristagni di umidità. All'impiego i dispositivi si dovranno quindi presentare perfettamente integri e privi di degrado dovuto allo stoccaggio temporaneo.

27.7.2. Operazioni preliminari all'installazione

La posa in opera dei dispositivi deve essere effettuata sulla base di disegni di installazione redatti dall'Appaltatore. Tali elaborati, da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto alla posa prevista, dovranno riportare tutti i dati richiesti per l'installazione (dimensioni, quote, inclinazioni, posizionamento planimetrico, tolleranze, qualità del materiale di sigillatura, eventuale prerogolazione in funzione della temperatura ambiente e della struttura).

Gli elaborati dovranno anche riportare le tolleranze di fabbricazione e di montaggio che dovranno, quando congruenti con la tipologia in esame, comprendere almeno le informazioni seguenti:

- planarità dei piani di posa;
- parallelismo dei piani di interfaccia;
- dimensioni delle sedi e predisposizioni;
- posizione degli ancoraggi.

In cantiere, dopo la consegna e prima della posa, occorre controllare e registrare la condizione dei dispositivi. Particolare attenzione deve essere data ai punti seguenti:

- danni visibili, con particolare riferimento alla protezione anticorrosiva;
- pulizia;
- sicurezza dei dispositivi di bloccaggio temporanei;
- conformità ai disegni costruttivi e di installazione;
- marcature sulla superficie dei dispositivi, marcatura degli assi x e y e, se necessario, marcatura della prerogolazione sui lati delle piastre di supporto, identificazione dei punti di misurazione della rotazione e dello scorrimento;

- posizione di tutti i dispositivi che servono ad assicurare l'esatto posizionamento ed installazione degli appoggi, se previsti;
- indicatori di spostamento per gli appoggi mobili in direzione longitudinale, se previsti;
- entità e direzione della preregolazione, se prevista;
- possibilità di aggiustamento della preregolazione, se prevista.

27.7.3. Installazione

27.7.3.1. Generalità

I dispositivi devono essere installati in conformità a tutti i dettagli riportati sui disegni d'installazione e in accordo con le marcature sulla loro superficie (tipo, assi e direzioni dei movimenti consentiti, ecc.).

Non è consentito l'uso degli appoggi definitivi per operazioni (movimenti, trasmissione di forze, ecc.) anche se transitorie, legate alla tecnologia di realizzazione dell'opera, salvo specifica procedura prevista in progetto o approvata dalla Direzione Lavori, da eseguire sotto la supervisione del fornitore.

I dispositivi devono essere di regola posti in opera tra due superfici orizzontali, anche in presenza di impalcati in pendenza. È consentita la ripresa di tale pendenza mediante inserimento di piastre a contatto con l'impalcato.

I dispositivi devono avere punti di riferimento per consentire la misurazione dei movimenti orizzontali (appoggi mobili) e della rotazione. Gli indicatori di movimento devono avere i limiti estremi di movimento marcati.

All'atto della posa in opera, la corsa disponibile degli appoggi mobili deve essere preregolata rispetto alla temperatura media di posa in opera, in modo che l'asse di appoggio risulti, a deformazioni lente esaurite, centrato in condizione di temperatura media. La temperatura approssimativa prevalente nella struttura e, in casi particolari, le variazioni di temperatura in punti diversi nella struttura stessa, saranno valutate in accordo alla Appendice A della norma UNI EN 1337-11.

Di regola i dispositivi sono installati su uno strato intermedio di malta di sigillatura. Solo gli appoggi di gomma senza piastre d'acciaio esterne possono essere posati direttamente sulla superficie di appoggio, che deve tuttavia essere pulita, asciutta, liscia e piana.

In zona sismica, l'ancoraggio deve essere affidato, superiormente e inferiormente, a dispositivi di tipo meccanico, da dimensionare in funzione della totalità delle forze orizzontali da trasmettere (si assume che l'attrito, in questo caso, non eserciti resistenza nei confronti delle forze orizzontali).

Se specificato, devono essere usate viti di regolazione per regolare il posizionamento dell'apparecchio. In alternativa possono essere usati cunei o altri strumenti adatti.

In nessun caso si inseriranno elementi rigidi sotto gli appoggi. Ciò può essere evitato togliendo i supporti temporanei, quando la malta ha raggiunto la resistenza richiesta.

I dispositivi possono essere posati in uno dei seguenti modi:

- su uno strato bombato di malta plastica consistente, in modo tale che l'eccesso di malta possa essere premuto fuori da tutti i lati;
- sigillati mediante colata o iniezione di malta fluida, assicurando un'adeguata ventilazione. Gli appoggi ancorati con pioli sono generalmente installati con tecniche di colata o iniezione;
- costipando la malta al di sotto di essi. Questo metodo è raccomandato solo quando la lunghezza del lato più corto è minore di 500 mm.

Per i tirafondi e la bulloneria di ancoraggio sarà impiegato di regola acciaio ad alta resistenza.

Indipendentemente dal metodo usato, i dispositivi devono poggiare su tutta la superficie di contatto prevista.

I dispositivi, una volta installati, non devono essere ostacolati nel loro funzionamento da qualsiasi operazione di rifinitura, ad esempio da effettuarsi in relazione alla protezione anticorrosiva. Esempi da evitare includono la sabbiatura delle superfici scorrevoli esposte e l'inceppamento delle parti mobili per eccesso di vernice.

27.7.3.2. Montaggio della sovrastruttura

I componenti strutturali gettati in opera sono generalmente gettati direttamente sugli appoggi successivamente alla installazione di questi ultimi. Si deve fare attenzione che l'appoggio sia pulito, che siano evitati danni provocati dal calcestruzzo umido e che l'appoggio possa essere sostituito senza difficoltà.

Nel caso di elementi di calcestruzzo prefabbricato o di acciaio si prenderanno opportune misure per assicurarne il contatto uniforme con l'appoggio.

Le dimensioni in pianta delle eventuali contropiastre devono essere maggiori o uguali a quelle dell'elemento a contatto. Nel caso di strutture in c.a. ordinario, realizzate in opera dopo il posizionamento dei dispositivi, è ammesso omettere le contropiastre predisponendo opportuni tirafondi e garantendo, comunque, la sostituibilità degli appoggi.

La solidarizzazione alle strutture metalliche deve avvenire di regola esclusivamente mediante unioni di tipo meccanico.

Il fissaggio mediante saldatura è permesso solo in casi eccezionali e deve essere eseguito solo da personale qualificato. Devono essere prese misure per evitare danni provocati dal calore alle parti ad esso sensibili, come quelle di plastica.

Il sistema di protezione anticorrosiva deve essere ripristinato dopo la saldatura, se necessario.

27.7.3.3. Geometria

Nel caso in cui occorra correggere la quota, l'operazione deve essere effettuata tramite colata o riempimento con malta fine o materiale simile.

La correzione di quota con l'aiuto di piastre metalliche aggiuntive è permessa solo se le superfici metalliche a contatto sono lavorate meccanicamente e se c'è garanzia che esse rimangano piane fino al completamento dell'installazione. La protezione anticorrosiva va estesa a tali piastre.

La correzione della quota deve essere eseguita solamente da personale qualificato.

Se una qualsiasi tolleranza d'installazione data nelle varie parti della norma UNI EN 1337 non è rispettata, occorre valutarne le implicazioni strutturali e concordare adeguati provvedimenti.

27.7.3.4. Allettamento dei dispositivi

Lo spessore della malta di sigillatura non armata, disposta tra l'appoggio e le strutture a contatto, non deve di regola superare il minore dei seguenti valori:

- 50 mm
- $A / P + 1.5$ [mm]

dove A e P sono rispettivamente l'area ed il perimetro delle superfici di contatto.

Inoltre lo spessore non deve essere minore di tre volte la dimensione massima dell'inerte impiegato nella confezione della malta.

L'idoneità della malta usata e il metodo di posa devono essere verificati con prove secondo le norme di riferimento.

Nel caso di malta cementizia, la superficie di calcestruzzo dell'infrastruttura deve essere saturata con acqua prima dell'installazione per prevenire la disidratazione. Immediatamente prima di colare la malta, qualsiasi residuo di acqua sulla superficie deve essere eliminato.

Quando si usa la malta di resina, le caratteristiche chimiche della resina e il rapporto resina/inerti, oltre che garantire la compatibilità chimica con le superfici da essa unite, dovranno assicurare una consistenza soddisfacente e un tempo di lavorabilità sufficiente a consentire una corretta installazione nella situazione di cantiere. Deve essere tenuta in considerazione la durabilità del prodotto in termini di resistenza, indurimento finale e forma.

I materiali di allettamento comunemente utilizzati, con le loro rispettive caratteristiche sono i seguenti:

- Malta cementizia, premiscelata, colabile, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche per ridurre gli effetti negativi del ritiro plastico e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (acciaio) per conferire duttilità, con le caratteristiche indicate nelle malte per ripristini di tipo MC3 (v. apposito punto del presente Capitolato), salvo migliori prescrizioni progettuali;

- Betoncino cementizio, colabile, ad elevatissima duttilità, ottenuto aggiungendo aggregati selezionati alla malta descritta in precedenza, con le caratteristiche indicate nei betoncini per ripristini di tipo B3 (v. apposito punto del presente Capitolato), salvo migliori prescrizioni progettuali;
- Malta di resina per spessoramenti con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:
 - Resistenza a compressione (ASTM D695): > 55 MPa a 7 gg di stagionatura;
 - Modulo elastico (ASTM D695): 7000 MPa a 7 gg di stagionatura;
 - Resistenza a trazione per flessione (ASTM D790): > 25 MPa a 7 gg di stagionatura;
 - Resistenza a trazione diretta (ASTM D638): > 8 MPa a 7 gg di stagionatura;
 - Modulo elastico a trazione diretta (ASTM D638): 9500 MPa a 7 gg di stagionatura;
- Sigillante di natura polisolfurica con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:
 - Resistenza a trazione (UNI EN 12311): 0,5 MPa;
 - Allungamento a rottura (UNI EN 12311): 250%;
 - Permeabilità all'acqua (UNI EN 1928): nulla;
 - Resistenza in nebbia salina (ASTM R 117): 650 h;
 - Durezza: 25 ShA;
- Pasta di resina con funzione di adesivo con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:
 - Resistenza a compressione: 90 MPa;
 - Resistenza a flessotrazione: 50 MPa;
 - Adesione al metallo (ASTM D1002): 10 MPa;
 - Adesione al calcestruzzo (UNI 8298-1): 3 MPa (rottura del supporto in cls);
 - Ritiro lineare (ASTM D2556): inferiore a 0,0013;
 - Modulo elastico secante a compressione (UNI 6556): 6 GPa;
 - Gel time (ASTM D2471): a 5 °C, 150 min; a 20 °C, 45 min.

Quando per l'allettamento debbano essere utilizzati dei casseri, questi non devono essere rimossi fino a che la malta non si sia sufficientemente indurita, ma devono essere rimossi completamente prima che l'appoggio diventi operativo. Non ne è permessa la rimozione tramite combustione.

27.7.3.5. Bloccaggio temporaneo dei dispositivi

Deve essere assicurato che al momento del collegamento alle strutture, gli apparecchi abbiano la configurazione geometrica prevista in Progetto; pertanto ogni apparecchio che non sia intrinsecamente idoneo a mantenere la configurazione prevista, deve essere dotato di un adeguato sistema di bloccaggio temporaneo.

Di norma questi sistemi devono essere distinti dall'apparecchio in sé e progettati in base ai dati indicati in progetto. Nel caso essi debbano essere montati sull'apparecchio, solo al momento della rimozione di detti accessori lo stesso acquisterà la sua piena funzionalità. Gli stessi devono quindi essere posizionati in modo che sia possibile identificarli e rimuoverli facilmente al termine della loro funzione; a tali fini tutti gli elementi che li compongono devono essere chiaramente identificabili e distinguibili dall'appoggio e devono essere di regola colorati in modo diverso.

Tali sistemi non possono essere utilizzati per la trasmissione di sollecitazioni legate alla tecnologia utilizzata per la realizzazione dell'opera.

I bloccaggi temporanei devono inoltre garantire il mantenimento della eventuale prerogazione del dispositivo.

Quando sia richiesto dal progetto, possono essere utilizzati sistemi di bloccaggio provvisorio "di forza" allo scopo di assicurare un collegamento di tipo rigido durante la fase di costruzione dell'opera stessa.

In considerazione del previsto comportamento globale dell'opera durante il periodo di utilizzazione dei bloccaggi provvisori di forza, possono essere richiesti a quest'ultimo requisiti prestazionali particolari, quali per esempio:

- possibilità di essere disattivati sotto carico;
- possibilità di essere installati in stato di presollecitazione.

27.7.3.6. Rilascio della struttura sugli appoggi

Il rilascio della struttura sugli appoggi, ove risulti una operazione a se stante, nel senso che non si tratti di realizzare in opera la struttura su di essi poggiante, ad appoggi già posizionati e quindi con una introduzione dei carichi sugli stessi di per se graduale, deve essere eseguito adottando accorgimenti atti ad evitare che, volontariamente o involontariamente, i carichi introdotti e le modalità della loro introduzione siano tali da danneggiare i dispositivi o da impedire qualcuna delle operazioni specificate ai punti precedenti.

Ad esempio, quando si tratti di posa in opera di travi prefabbricate o di travate preassemblate, queste dovranno essere movimentate con la massima lentezza e, se del caso, appoggiate provvisoriamente su idonei "calaggi", atti a consentirne il successivo graduale abbassamento fino alla posizione definitiva. Durante l'ultima fase della movimentazione dovrà essere possibile controllare con la dovuta accuratezza la geometria di posizionamento delle strutture, in modo da evitare riprese successive alla loro prima posa.

Qualsiasi vite di regolazione rimarrà in opera fino a che la malta di qualsiasi strato intermedio sia sufficientemente indurita. Successivamente, tutti i sostegni provvisori rigidi e i dispositivi di regolazione e di bloccaggio devono essere rimossi, prima che l'apparecchio diventi pienamente operativo e a meno che le viti di livellamento siano progettate per risultare inattive quando il carico finale viene applicato.

27.7.3.7. RegISTRAZIONI

Devono essere fatte le registrazioni delle ispezioni eseguite in accordo con il Par. 7 della norma UNI EN 1337-11 e dei risultati delle stesse sulla traccia del modulo campione riportato nell'Appendice B della norma UNI EN 1337-11. Deve essere redatta documentazione specifica sugli esiti delle ispezioni effettuate.

Se non concordato altrimenti, per ogni dispositivo si deve tenere una registrazione di:

- a) data e ora dell'installazione;
- b) temperatura della struttura;
- c) regolazione del dispositivo;
- d) posizione del dispositivo relativa alla sovrastruttura, alla base ed agli assi;
- e) condizioni del dispositivo, inclusa la protezione anticorrosiva;
- f) qualsiasi modifica fatta alla regolazione;
- g) stato dei dispositivi di bloccaggio provvisori;
- h) condizione del piano di appoggio;
- i) prova di idoneità della malta di sigillatura;
- j) data e ora del rilascio della struttura sul dispositivo;
- k) conferma che le viti dei dispositivi di bloccaggio provvisorio siano state allentate o rimosse o che i dispositivi medesimi siano stati rimossi;
- l) conferma che i valori dei franchi di scorrimento e di rotazione siano quelli previsti.

Se appoggi mobili sono stati installati inizialmente come appoggi fissi (punti fissi provvisori), devono essere fatte e registrate ulteriori misure, dopo che i dispositivi di fissaggio siano stati rimossi.

27.8. Certificazione di qualità

Il fornitore dei dispositivi dovrà operare ed essere in possesso di valida certificazione, ai sensi della norma UNI EN ISO 9001.

A richiesta della Direzione Lavori dovrà preventivamente produrre la descrizione del processo di produzione e di installazione dei dispositivi (Piano di Assicurazione della Qualità) e l'indicazione di tutti i controlli che dovranno essere eseguiti per assicurare in modo soddisfacente la loro rispondenza alle norme vigenti ed al presente Capitolato.

Durante le varie fasi di lavorazione, il PAQ sarà aggiornato con tutta la documentazione relativa alle prove ed ai controlli di produzione effettuati

27.9. Penali

Sono previste penalità per il non raggiungimento delle prestazioni dei dispositivi previste in progetto.

Qualora dalle prove eseguite su un dispositivo, secondo il presente Capitolato, risultassero valori prestazionali inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, il Direttore dei Lavori potrà far eseguire ulteriori verifiche atte a valutare l'ammissibilità delle prestazioni ridotte. Ove tali verifiche dessero esito positivo, il dispositivo sarà accettato ma il suo prezzo sarà decurtato del 20%; qualora invece i valori prestazionali riscontrati fossero inferiori a quelli prescritti di oltre il 10% o le precedenti verifiche avessero dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a suo totale onere, alla sostituzione della fornitura in oggetto con una nuova fornitura di caratteristiche adeguate alle prescrizioni richieste.

27.10. Sollevamento impalcati per sostituzione appoggi

Devono essere previsti accorgimenti atti a consentire una facile sostituzione dei dispositivi o di parti di questi mediante sollevamento dell'impalcato, la misura e le modalità del quale devono comunque essere decise sulla base delle caratteristiche statico-deformative delle strutture da essi collegate, valutate sulla base del progetto o di specifiche prove.

Nel caso di sollevamento di impalcati operando in due o più punti lungo la stessa linea di appoggi, l'apparecchiatura idraulica impiegata dovrà essere comandata da una centrale operante a pressioni differenziate e rapporto volumetrico costante, per assicurare un sollevamento rigido di ogni testata di impalcato, senza indurre nella struttura sollecitazioni torsionali.

Il controllo delle operazioni di sollevamento dovrà essere effettuato a distanza mediante idonea strumentazione.

Dopo che ogni testata sarà stata sollevata e prima di intervenire sui dispositivi, l'Appaltatore dovrà bloccare la struttura nella posizione raggiunta mediante appoggi provvisori o attrezzature equivalenti, che siano in grado di assicurare la stabilità dell'insieme e garantire la massima sicurezza agli operatori.

Di norma non si dovrà sollevare più di una campata per volta. Eventuali deroghe dovranno essere concordate con la Direzione Lavori e in questi casi dovranno essere rinforzate le strutture provvisorie di blocco e si dovranno adottare adeguati sistemi di controventatura per contrastare possibili sollecitazioni indesiderate longitudinali e trasversali. A tale riguardo dovranno essere adottate adeguate cautele, nei casi in cui la pendenza longitudinale dell'opera possa far prevedere fenomeni di scorrimento.

Successivamente, l'Appaltatore procederà alla rimozione, alla raccolta e al trasporto alla destinazione richiesta dei dispositivi esistenti.

Prima della posa in opera dei nuovi dispositivi, si provvederà alla rinvivatura e rettifica dei baggioli e dell'intradosso degli impalcati, in corrispondenza delle zone di contatto con i dispositivi stessi. La rettifica sarà effettuata mediante malta di resina epossidica (o altro efficace e durevole accorgimento), nelle quantità necessarie per ottenere il parallelismo fra i piani di appoggio dei baggioli e l'intradosso degli impalcati, tenendo conto della eventuale presenza di piastre interposte.

Ad avvenuto completamento degli interventi sotto gli impalcati, si dovrà procedere al loro abbassamento, con estrema lentezza ed adottando le stesse cautele della fase precedente.

28. Giunti di dilatazione su opere d'arte

28.1. Generalità e tipologie

Nel prosieguo il termine "giunto" (o "giunto di dilatazione"), che significa propriamente la discontinuità presente in una struttura per consentirne la libera dilatazione (termica o dovuta alle sue proprietà deformative), verrà impiegato in luogo del più appropriato ma meno frequentemente usato nel linguaggio tecnico corrente "coprigiunto". D'altro canto ciò corrisponde perfettamente all'uso del termine normativo inglese *expansion joint*.

Il presente Capitolato considera soltanto i giunti di dilatazione “di superficie”, utilizzabili per impalcati di opere d'arte stradali ed autostradali. I giunti in oggetto possono essere destinati sia ad opere di nuova costruzione, sia alla sostituzione di giunti preesistenti.

I giunti di impiego ordinario e di produzione corrente si distinguono in:

– Giunti in acciaio

generalmente costituiti da profilati in acciaio contrapposti, ancorati alla struttura con zanche e getti integrativi di malte o betoncini. Sono di regola completati da un profilo flessibile in elastomero (incollato o vulcanizzato agli elementi metallici) inserito nel varco del giunto, per garantirne l'impermeabilizzazione. Tale tipologia, adatta a piccolissime o piccole escursioni, è anche comunemente utilizzata, con qualche ulteriore accorgimento, per realizzare giunti cosiddetti “sottopavimentazione” (quando la pavimentazione ricopre totalmente il giunto ed è continua sopra di esso);

– Giunti in elastomero armato

costituiti da elementi deformabili in gomma, vulcanizzati a profili metallici di armatura e di ancoraggio conglobati nella gomma. Il giunto è poi completato da masselli di raccordo con la pavimentazione in malta speciale. Gli elementi costituenti il giunto hanno sagomatura e dimensioni variabili a seconda della escursioni richieste, che vanno dalle piccole alle grandi. Grazie alla deformabilità degli elementi in gomma il giunto si adatta anche all'assorbimento di limitati scorrimenti trasversali e verticali (sbalzi di impalcati, giunti obliqui, ecc.);

– Giunti a pettine

ottenuti mediante la contrapposizione di due elementi metallici (in genere acciaio o lega di alluminio) aventi configurazione a pettine, tra loro complementare. Tali elementi garantiscono, grazie alla reciproca compenetrazione, la continuità del piano viabile in presenza di escursioni longitudinali. Lo schema statico può essere di doppio appoggio, quando l'elemento a pettine poggia su entrambe le testate o a mensola, quando esso è fissato a sbalzo su di una sola testata. A meno di accorgimenti particolari questo tipo di giunto, impiegabile per escursioni da piccole a medie, consente scorrimenti longitudinali consistenti ma laterali limitatissimi; occorre pertanto una particolare attenzione nell'accoppiamento con gli apparecchi d'appoggio, per i quali si raccomanda la tipologia mobile unidirezionale, con guide parallele ai denti del pettine;

– Giunti a piastre metalliche

composti da due o più piastre in acciaio, opportunamente sagomate, che scorrono le une sulle altre garantendo l'escursione richiesta e la continuità del piano viabile. E' una tipologia di giunto adatta a medie e grandi escursioni;

– Giunti modulari

costituiti da una serie di profili metallici disposti modularmente a più file nel senso trasversale dell'impalcato, collegati da idonei profili in gomma. Tali profili, di solito scorrevoli su elementi di supporto disposti longitudinalmente, per addizione di contributi assicurano lo sviluppo delle escursioni richieste. La continuità del piano viabile è assicurata direttamente da tali elementi metallici o da una piastra ponte metallica collegata rigidamente a una testata ed opportunamente contrastata sul lato opposto da elementi deformabili. Sono impiegati di norma per medie e grandi escursioni longitudinali e, con opportuni accorgimenti, anche per consistenti escursioni trasversali;

– Giunti tampone

sono costituiti da un getto in opera di un composto bituminoso flessibile, che assicura anche la continuità del piano stradale. Il sostegno del tampone è garantito da una sottile lamina di acciaio posta a cavallo del varco strutturale.

Tutte le suddette tipologie di giunto devono garantire la perfetta impermeabilità, ossia impedire che le acque superficiali (meteoriche o di altro tipo) ed anche quelle che si possono infiltrare nella pavimentazione, spesso cariche di sostanze aggressive (cloruri ed altre), infiltrandosi nei vuoti e nelle fessure, possano percolare liberamente causando un degrado accelerato delle parti con cui vengono a contatto. Pertanto le stesse, qualora di per se non possano garantire l'impermeabilità per tutta la loro prevista vita utile, o anche per effetto di cause accidentali ma statisticamente prevedibili, dipendenti dall'esercizio dell'infrastruttura, devono essere dotate di un adeguato sistema di impermeabilizzazione e di allontanamento delle acque.

I sistemi di impermeabilizzazione più comuni sono costituiti da una scossalina con profilo ad U, posta immediatamente al di sotto del giunto, saldata ai lembi del varco e realizzata in gomma o in lamierino, convenientemente prolungata sui due lati in modo da allontanare le acque dalla zona di possibile contatto con le parti strutturali.

Nell'indicazione delle caratteristiche geometriche di un giunto, senza particolari specificazioni, si intende che esse siano riferite alla temperatura media annua delle parti strutturali affacciate (intesa come temperatura delle masse strutturali e non come temperatura superficiale), che deve comunque essere dichiarata.

I giunti devono essere previsti per i parametri deformativi nominali indicati in progetto:

- massime escursioni longitudinale e trasversale δ , in alternativa, massima escursione dell'intensità del vettore spostamento risultante e sua direzione;
- massime rotazioni relative rispetto all'asse trasversale ed a quello longitudinale θ , in alternativa, massima escursione dell'intensità del vettore rotazione risultante e sua direzione.

Deve inoltre essere indicata l'angolazione del giunto rispetto all'asse (o agli assi significativi) dell'impalcato.

Quando una qualunque escursione (l'escursione equivale allo spostamento od alla rotazione relativa tra i lembi) massima sia ad esempio denominata $\pm \Delta$, detto Δ_{\min} il valore minimo che tale parametro geometrico (δ) deve assumere (secondo le indicazioni di progetto), il valore del parametro stesso varierà nel seguente modo:

$$\Delta_{\min} \leq \delta \leq \Delta_{\min} + 2\Delta$$

essendo il valor medio (da ottenere quando le parti strutturali sono alla temperatura media annua): $\delta_m = \Delta_{\min} + \Delta$,

ed il parametro nominale del giunto da installare generalmente indicato come:

$$\delta_N = \Delta_{\min} + 2\Delta + 2K,$$

essendo K un valore incrementativo in arrotondamento imposto dal progetto o concordato con la Direzione Lavori.

Deve essere tassativamente: $\Delta_{\min} \geq 20 \text{ mm}$.

28.2. Riferimenti normativi

Non vi sono normative specifiche di dettaglio cogenti, ad eccezione di quelle per applicazioni ferroviarie (ponti ferroviarie cavalca ferrovia). Al di fuori di queste ultime (che comunque possono essere prese a valido riferimento) valgono quindi le norme relative ai materiali impiegati per la realizzazione dei giunti ed i richiami inseriti nelle normative a carattere generale.

Norme ferroviarie:

- RFI/DIN/IC/PO-002-A Istruzione tecnica per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti negli impalcati ferroviari e nei cavalcavia (Sez. 3 – Coprigiunti).

Tra le generali possiamo citare le seguenti:

- UNI EN 1337-1: Appoggi strutturali – Regole generali di Progetto;
- UNI EN 1337-3: Appoggi strutturali – Appoggi elastomerici;
- D.M. 14/01/2008, con particolare riferimento al punto 5.1.7;
- Circ. Min. Lavori Pubbl. n. 2357 del 16.05.1996: Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza stradale.

Come utile e specifico riferimento si può citare la norma britannica:

- *Design Manual for Road and Bridges, vol. 2, Sect. 3, Part 6: BD 33/94 – Expansion joints for use in highway bridge decks.*

28.3. Materiali

28.3.1. Acciaio da costruzione

Le caratteristiche degli acciai da costruzione impiegati per la realizzazione dei giunti dovranno essere in accordo alla UNI EN 10025.

Gli acciai impiegati in elementi soggetti a verifica strutturale dovranno avere i seguenti requisiti minimi di resilienza:

- prova di resilienza secondo UNI EN 10045 : a -20 °C, $\geq 27 \text{ J}$.

Gli elementi in acciaio vulcanizzati a elementi in gomma e che non presentino saldature sono esclusi dalla suddetta prescrizione.

Tutte le superfici in acciaio non a contatto con il calcestruzzo devono essere protette dalla corrosione, compresa una striscia di 30 mm della parte a contatto col calcestruzzo.

Non necessitano protezioni anticorrosive gli elementi d'acciaio interamente ricoperti da gomma per uno spessore non inferiore a 2 mm, quelli inossidabili e quelli auto passivanti ("cor-ten" o similari).

Per la definizione del sistema di protezione anticorrosiva, l'Appaltatore dovrà documentare:

- la preparazione della superficie;
- il tipo di rivestimento della superficie;
- la procedura per il trattamento di danneggiamenti locali nella protezione anticorrosiva.

La documentazione deve essere controfirmata dal produttore delle materie prime e dei componenti del giunto.

28.3.2. Acciaio inossidabile

Le caratteristiche degli acciai inossidabili impiegati per la realizzazione dei giunti dovranno essere in accordo alla UNI EN 10088.

Per le superfici di scorrimento, in accoppiamento con elementi in PTFE, è prescritto l'impiego di acciaio inossidabile tipo X5 Cr NiMo 1712 (UNI EN 10088-2).

La scossalina principale di tenuta trasversale sarà preferibilmente realizzata in gomma (vedi paragrafi successivi), materiale che garantisce una maggiore impermeabilizzazione e una migliore lavorabilità rispetto all'acciaio. Se realizzata in lamiera di acciaio inossidabile, dovrà essere in X5 Cr Ni 1810 (UNI EN 10088-2), di almeno 0,6 mm di spessore o valori superiori per giunti di grande escursione.

Per i tirafondi e la bulloneria in genere sarà impiegato acciaio inossidabile tipo X5 CrNiMo 1712 secondo UNI EN 10088-2.

28.3.3. Leghe di alluminio

Per tutte le leghe di alluminio dovranno essere indicate le normative di riferimento.

Per la lega di alluminio impiegata nella realizzazione di elementi esposti al traffico dovrà essere prodotta una lista di referenze in impieghi analoghi, che ne attesti l'idoneità e la validità nel tempo.

Le caratteristiche minime, salvo migliori prestazioni richieste dal progetto, dovranno risultare le seguenti (UNI EN 10002):

- carico unitario di rottura a trazione: > 215 MPa;
- carico unitario di scostamento dalla proporzionalità: > 175 MPa;
- allungamento: 1,5%;
- durezza Brinell: 70.

28.3.4. Gomma

Le caratteristiche della gomma dovranno essere conformi a quelle riportate nelle norme UNI EN 1337 relative agli apparecchi di appoggio.

La scossalina principale di tenuta trasversale, se realizzata in gomma, dovrà essere in uno dei seguenti materiali e spessori minimi, salvo migliori caratteristiche richieste dal progetto:

- guaina in gomma policloroprenica di almeno 2 mm di spessore;
- guaina in Hypalon⁽¹⁾ (polietilene clorosulfonato) di almeno 1,2 mm di spessore;
- guaine in doppio strato di Hypalon e gomma policloroprenica, rispettivamente di spessori minimi 1 e 2 mm, per almeno complessivi 3 mm.

⁽¹⁾ Hypalon è un marchio di proprietà della società Du Pont de Nemours.

28.3.5. Malte, betoncini e resine– Malta cementizia premiscelata

colabile, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche per ridurre gli effetti negativi del ritiro plastico e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (acciaio) per conferire duttilità, con le caratteristiche indicate nelle malte per ripristini di tipo MC3 (v. specifico paragrafo), salvo migliori caratteristiche prescritte in progetto;

– Betoncino cementizio

colabile, ad elevatissima duttilità, ottenuto aggiungendo aggregati selezionati alla malta descritta in precedenza, con le caratteristiche indicate nei betoncini per ripristini di tipo B3 (v. specifico paragrafo), salvo migliori caratteristiche prescritte in progetto;

– Malta di resina per spessoramenti

con le seguenti caratteristiche a 7 gg di stagionatura, salvo migliori indicazioni di progetto:

- resistenza a compressione ASTM D695: ≥ 55 MPa;
- modulo elastico ASTM D695: ≥ 7000 MPa;
- resistenza a trazione per flessione ASTM D790: ≥ 25 MPa;
- resistenza a trazione diretta ASTM D638: ≥ 8 MPa;
- modulo elastico a trazione diretta ASTM D638: circa 9500 MPa;

– Sigillante di natura polisolfurica

con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:

- resistenza a trazione UNI EN 12311: $\geq 0,5$ MPa;
- allungamento a rottura UNI EN 12311: $\geq 250\%$;
- permeabilità all'acqua UNI EN 1928: nulla;
- resistenza in nebbia salina ASTM R 117: ≥ 650 h;
- durezza: ≥ 25 ShA.

– Pasta di resina con funzione di adesivo

con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:

- resistenza a compressione: ≥ 90 MPa;
- resistenza a flessotrazione: ≥ 50 MPa;
- adesione al metallo ASTM D 1002: ≥ 10 MPa;
- adesione al calcestruzzo UNI 8298-1: ≥ 3 MPa (rottura del supporto in cls);
- ritiro lineare ASTM D 2556: $\leq 0,0013$;
- modulo elastico secante a compressione UNI 6556: circa 6 GPa.
- *gel time* ASTM D 2471: a 5°C, 150 min; a 20 °C, 45 min;

– Malta di resina con funzione impermeabilizzante-sigillante

con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:

- resistenza a trazione UNI EN 12311: ≥ 3 MPa;
- durezza: ≥ 80 ShA;
- deformazione residua a trazione UNI EN 12311: $\leq 15\%$;
- permeabilità all'acqua UNI EN 1928: nulla;
- adesione al calcestruzzo UNI 8298-1: ≥ 3 MPa (rottura del supporto in cls).

28.4. Requisiti funzionali

28.4.1. Generalità

Il giunto deve sopportare con la dovuta sicurezza il carico veicolare con i suoi effetti dinamici e consentire gli spostamenti longitudinali e le rotazioni delle parti contrapposte senza opporre significativa resistenza. Eventuali spostamenti trasversali (ponti in curva, ponti obliqui, ecc.) dovranno essere esplicitamente tenuti in conto secondo le indicazioni di progetto.

In corrispondenza del giunto devono essere impediti spostamenti verticali relativi tra i lembi, a livello del piano viabile, che possano pregiudicare la sicurezza del traffico e la durabilità del giunto stesso.

Il giunto deve assolvere la funzione di proteggere adeguatamente il bordo della pavimentazione, garantire adeguate caratteristiche di regolarità e di aderenza e non costituire rischio per qualsiasi categoria di utenza stradale.

Il giunto, sotto l'effetto del traffico, non dovrà generare elevati livelli di rumorosità né di vibrazioni.

28.4.2. Impermeabilità

L'impermeabilizzazione del giunto è di fondamentale importanza, tenendo conto che la perdita di impermeabilità è la causa più comune di deterioramento del giunto e di danni alle strutture sottostanti, con i costi diretti e indiretti che ne conseguono. Il giunto, inteso nel suo complesso deve quindi essere perfettamente impermeabile. Se è previsto il passaggio di acqua attraverso gli elementi superiori del giunto, questa deve essere raccolta nel varco strutturale al di sotto di esso da opportuni dispositivi (scossaline, gronde, canalette, etc.), allontanata dalle strutture adiacenti e scaricata nel sistema di drenaggio dell'impalcato.

Dovrà anche essere previsto un sistema di raccolta delle acque di infiltrazione nella pavimentazione, sia che queste siano esplicitamente previste dal progetto (strati di pavimentazione drenanti), sia che siano involontariamente dovute alla porosità dei materiali costituenti la pavimentazione. Tali acque, se accumulate in prossimità del giunto, possono esercitare, sotto l'azione della pressione veicolare, sollecitazioni anomale sul giunto e sulle sue parti (ad es. le sigillature).

Il sistema di impermeabilizzazione del giunto dovrà essere collegato, senza soluzione di continuità, a quello della soletta o della lamiera di impalcato.

I dispositivi previsti non devono interferire con le strutture principali dell'opera e devono consentire agevolmente le operazioni di ispezione e manutenzione.

28.5. Posa in opera

L'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo prima di iniziare le lavorazioni, i disegni dei giunti e delle relative procedure di montaggio in opera, riferiti di norma alla posizione di apertura media.

Su tali elaborati dovranno essere riportate le tolleranze di fabbricazione secondo la norma UNI EN 22768 e le altre specificazioni geometriche necessarie a definire con esattezza le predisposizioni per la posa dei giunti.

Tali elaborati saranno preventivamente approvati dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

Nel caso di installazione di giunti su opere nuove, la posa in opera (da effettuare generalmente dopo la stesa della pavimentazione), sarà realizzata secondo le seguenti fasi esecutive, salvo diverse specificazioni di progetto o dell'Appaltatore (previa approvazione della Direzione Lavori):

- 1) taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore, lungo le linee delimitanti la fascia da asportare;
- 2) demolizione della pavimentazione e dell'eventuale strato di impermeabilizzazione;
- 3) asportazione dell'eventuale giunto provvisorio;
- 4) rattivatura dell'estradosso della soletta mediante fresatura, sabbiatura o bocciardatura;
- 5) eventuale getto di malta e/o di betoncino, cementizi, reoplastici, a ritiro compensato, fibrorinforzati, predosati, opportunamente armati e collegati alla testata, per portare in quota il piano di appoggio del giunto;

- 6) posizionamento del giunto, da effettuare con appositi apparecchi di livellazione in funzione delle quote della pavimentazione adiacente. La differenza di quota tra il piano della pavimentazione ed il piano superiore del giunto non dovrà eccedere i 5 mm;
- 7) eventuale pre-regolazione, da eseguire a cura di tecnici qualificati e con specifiche attrezzature, secondo le caratteristiche del giunto, nonché della temperatura e delle caratteristiche dell'opera;
- 8) getto in opera del massetto di raccordo tra giunto e pavimentazione.

Nel caso di manutenzioni, ripristini e adeguamenti, alle operazioni precedentemente descritte sono da aggiungere le seguenti fasi (dopo la fase 2):

- eventuale asportazione del giunto esistente ammalorato;
- eventuale ripristino della testata della soletta con malta e/o betoncino, secondo il tipo di degrado riscontrato. Tale ripristino avverrà previa verifica di funzionalità delle armature esistenti e loro eventuale integrazione, con un unico getto sino alla quota del piano di appoggio del giunto.

La preregolazione del giunto sarà effettuata in accordo con i dati forniti dal progetto o dalla Direzione Lavori, di norma con comunicazione scritta da inviare prima dell'inizio dei lavori. La preregolazione dovrà tener conto dell'apertura strutturale esistente, della funzionalità del giunto previamente approvato e della capacità di movimento degli apparecchi di appoggio.

Il raccordo del giunto con la pavimentazione, salvo diverse prescrizioni progettuali, sarà eseguito secondo le specifiche fornite dall'Appaltatore e previa approvazione della Direzione Lavori. Il massetto sarà per ciascun lato del giunto di larghezza minima pari a 100 mm se eseguito con betoncino e di 50 mm se eseguito con altro prodotto specifico (asfalto colato, resina a basso modulo elastico, ecc.).

I raccordi con i cordoli e le barriere saranno realizzati in funzione delle escursioni del giunto; esemplificativamente nel modo seguente:

- per i giunti di escursione totale < 50 mm ($o < \pm 25$ mm): guarnizione elastica inserita nell'apertura strutturale, eseguita in gomma, di caratteristiche conformi a quanto specificato in precedenza;
- per giunti di escursione > di 50 mm ($o > \pm 25$ mm): lamiera o lamierino di acciaio, fissati ad uno dei lati e scorrevoli sull'altro, realizzati con materiali conformi a quanto specificato in precedenza ed adeguatamente protetti dalla corrosione.

28.6. Prove e controlli

28.6.1. Generalità e controllo di qualità

Il fornitore dei giunti dovrà operare ed essere in possesso di valida certificazione, ai sensi della norma UNI EN ISO 9001.

A richiesta della Direzione Lavori dovrà preventivamente produrre la descrizione del processo di produzione e di installazione dei dispositivi (Piano di Assicurazione della Qualità) e l'indicazione di tutti i controlli che dovranno essere eseguiti per assicurare in modo soddisfacente la loro rispondenza alle norme vigenti ed al presente Capitolato.

Durante le varie fasi di lavorazione, il PAQ sarà aggiornato con tutta la documentazione relativa alle prove ed ai controlli di produzione effettuati.

Le seguenti prove ed i seguenti controlli saranno condotti a discrezione della Direzione Lavori, in funzione delle prescrizioni di progetto, dell'importanza dei dispositivi messi in opera e delle strutture cui gli stessi sono asserviti, ferma restando la necessità di una prova documentale comprovante la qualità dei giunti e della loro posa in opera.

Di norma per i casi ordinari, privi di complessità e di importanza limitata, le prove indicate, fatta eccezione per la prova di adesione al supporto eseguita al martello, potranno essere omesse, sostituendole con accurati controlli durante tutte le fasi di prequalifica, approvvigionamento e realizzazione dei giunti.

28.6.2. Prova funzionale del giunto

La prova va eseguita su di un prototipo di giunto in scala reale per una larghezza:

- > 3,75 m per giunti con appoggi discontinui;

- > 1,0 m e comunque coinvolgente almeno n. 2 ancoraggi per parte, per giunti con appoggio continuo.

Le prove consisteranno in:

- n. 10 cicli sperimentali con rilevazione della caratteristica forza-spostamento alle massime escursioni di esercizio;
- n. 3 cicli sperimentali come sopra alle massime escursioni sismiche.

28.6.3. Prove di carico

La prova statica va effettuata su di un elemento significativo del giunto, avente larghezza come sopra e consisterà in n. 1 prova statica con carico pari a $100 * 1,4 * 1,3 = 182$ kN, applicato ad un'impronta di 0,30 x 0,30 m, disposto sull'elemento di giunto alla massima apertura e nella posizione più sfavorevole.

Durante la prova si misurerà la freccia del giunto, che dovrà risultare minore o uguale al valore teorico. Al termine della prova il giunto non dovrà presentare danneggiamenti.

28.6.4. Prova a fatica

È richiesta per quei tipi di giunto nei quali le parti soggette a verifica strutturale sono realizzate in elementi metallici.

La prova si effettua su di un elemento di giunto della larghezza come sopra.

Il carico applicato deve variare da zero al carico massimo come più sotto definito, con frequenza non superiore a 4 Hz per 2.000.000 di cicli.

Il carico massimo applicato deve essere pari a quello definito in progetto, incrementato del coefficiente dinamico ($100 * 1,4$ kN) su di un'impronta di 0,30 x 0,30 m.

Al termine della prova il giunto non deve presentare danneggiamenti.

28.6.5. Prova di adesione al cls

– Eseguita in laboratorio

La prova di adesione si farà su travetti 70 * 70 * 280 mm a forma di cuneo, con una faccia inclinata di 20°, in calcestruzzo dosato in ragione di 450 kg di cemento per metro cubo d'impasto e stagionato per 28 giorni.

La faccia sarà spazzolata con spazzola d'acciaio all'atto della sformatura e trattata con la mano d'attacco che sarà utilizzata durante la messa in opera. Si procederà infine al completamento del travetto mediante colaggio della malta di ripristino.

Il carico sarà applicato assialmente sulle due facce minori.

La resistenza richiesta è quella di taglio sulla faccia inclinata di 20°.

– Eseguita in opera

La verifica di ottenimento dell'adesione in opera si otterrà con il controllo al martello, in contraddittorio con l'Appaltatore.

Qualora risultassero superfici risonanti a vuoto, l'Appaltatore dovrà intervenire, a sua cura e spese, nei modi ritenuti dalla Direzione Lavori più opportuni, per eliminare tali difetti.

Nel caso non fosse possibile ristabilire la continuità con la soletta sottostante, l'Appaltatore provvederà a sua cura e spese alla demolizione e al ripristino del giunto risultato non idoneo.

28.6.6. Prova di sfilamento tirafondi

La prova di sfilamento dei tirafondi deve essere eseguita con un tirafondo M16 realizzato in materiale analogo a quello utilizzato per il fissaggio dei giunti, ancorato per 110 mm in calcestruzzo $R_{ck} \geq 50$ MPa.

Il carico di sfilamento deve essere applicato assialmente al tirafondo con opportune attrezzature che annullino eventuali componenti deviate (snodi).

28.6.7. Prove di protezione anticorrosiva

Il sistema di protezione anticorrosiva definito, deve essere qualificato tramite le seguenti prove:

- prova in nebbia salina (720 h con 5% di cloruro di sodio) secondo UNI EN ISO 9227 e ISO 4628/2/3/4/5;
- misurazione dello spessore minimo del film secco secondo ISO 2808;
- prova di adesione secondo ISO 2409, prima e dopo la prova in nebbia salina;
- prova d'urto secondo UNI EN ISO 6272.

I criteri di accettabilità sono riportati nella tabella seguente:

Prova	Norma	Criteri di accettabilità
Nebbia salina	UNI EN ISO 9227	Assenza di bolle ISO 4628/2 Assenza di ruggine ISO 4628/3 Assenza di distacco-Ri: 1 ISO 4628/4 Assenza di sfaldatura ISO 4628/5
Spessore minimo del film secco	ISO 2808	Come specificato dal produttore della vernice
Adesione	ISO 2409	0 o 1
Urto	UNI EN ISO 6272	Nessun danno visibile con una massa di 1 kg ed un'altezza di caduta di 100 mm

28.6.8. Controllo delle materie prime e componenti

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, secondo la tabella seguente:

Tipo di controllo	Materiale o componente	In accordo con	Frequenza
Controllo della DL	Acciaio strutturale	UNI EN ISO 377 UNI 552 UNI EN 10025	Ogni colata
	Acciaio inossidabile		Ogni colata
	Gomma	UNI EN 1337-3	Ogni 1,5 m ³ di mescola prodotta
	Lega di alluminio	UNI EN 10002	Ogni colata
	Prodotti componenti malte, betoncini e resine	UNI EN 12390-1 UNI EN 12390-3 UNI EN 12390-5 Scheda tecnica del produttore	Come previsto dal produttore
Rapporto di prova da parte di laboratorio terzo ⁽¹⁾	Acciaio strutturale	UNI EN ISO 377 UNI 552 UNI EN 10025	Ogni 12 mesi
	Acciaio inossidabile		Ogni 12 mesi
	Gomma	UNI EN 1337	Ogni 12 mesi
	Prodotti componenti malte, betoncini e resine	Tutti i controlli previsti dal presente Capitolato	Ogni 12 mesi

⁽¹⁾ Da eseguire solo nel caso in cui il materiale non provenga regolarmente da produttori operanti con sistema di controllo della qualità certificato.

28.6.9. Controlli in corso di montaggio

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore e il Fornitore, secondo la tabella seguente:

Oggetto del controllo	Caratteristiche da controllare	In accordo con	Frequenza
Fenditura strutturale	Apertura	Dati forniti da Direzione Lavori	Ogni giunto
Nicchie di alloggiamento	Dimensioni	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni giunto
Malte, betoncini e resine	Resistenza a compressione	UNI EN 12390-1 UNI EN 12390-3	Ogni lotto di fornitura non superiore a 100 m di giunto e per ogni tipo di malta, betoncino o resina
Tirafondi	Coppia di serraggio	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni tirafondo ⁽¹⁾
	Lunghezza di inghisaggio	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni giunto
Giunto	Preregolazione	Dati forniti dalla Direzione Lavori	Ogni giunto
	Temperatura alla posa	Dati di Progetto	Ogni giunto
	Tolleranza di posa in opera	presente Capitolato	Ogni giunto

⁽¹⁾ La frequenza di prova potrà essere ridotta al 10% dei tirafondi solo se sarà utilizzata sistematicamente un'ideale attrezzatura semiautomatica che ne assicuri costantemente il corretto serraggio (avvitatori elettrici o pneumatici regolabili o chiave dinamometrica). In tal caso, se anche un solo tirafondo non risulterà serrato in modo accettabile, la Direzione Lavori procederà al controllo di tutti i tirafondi.

28.6.10. Controlli sui giunti montati

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore e il Fornitore, secondo la tabella seguente:

Oggetto del controllo	Controllo in accordo con	Frequenza
Regolarità geometrica del piano viabile risultante	$IRI \leq 5,0 \text{ mm/m}$ ⁽¹⁾	Ogni giunto
Dimensioni	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	In accordo con quanto definito dal "Piano di Campionamento Doppio", con LQA al 1° campione = 4% ⁽²⁾
Durezza (ove applicabile)	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore UNI 4916	
Protezione anticorrosiva (ove applicabile)	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	

- (¹) L'indice IRI (*International Roughness Index*) deve essere calcolato a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione. Le misure di tale profilo longitudinale devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e devono essere eseguite in un periodo compreso tra il 15° e il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando preferibilmente l'apparecchiatura ARAN (*Automatic Road Analyzer*)⁽¹⁾ o altra idonea apparecchiatura. Tali misure dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm e i valori dell'indice IRI saranno calcolati a partire da tale profilo con un "passo" di 5 m. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale dei giunti di dilatazione si deve fare riferimento ai valori dell'indice IRI nel cui intervallo di calcolo ($L = 5$ m) si trovi ad essere posizionato almeno un giunto. Il valore IRI di non accettabilità assoluta del giunto è pari a 7,0 mm/m.
- (²) Il Piano di Campionamento Doppio è una procedura prevista nell'ambito della gestione statistica della qualità di una fornitura di beni o servizi, basata su due campioni di misure, il secondo dei quali si attua qualora il primo non abbia dato i risultati attesi, ovvero non sia stato raggiunto il previsto Livello di Qualità Accettabile (LQA). Questa materia è disciplinata dalla serie di norme UNI ISO 2859. In questo caso, alla prima campionatura, il numero dei risultati non accettabili, per ciascun controllo, non deve superare il 4% del totale.

28.6.11. Controllo dell'inquinamento acustico provocato dai giunti

Per verificare le caratteristiche acustiche dei giunti (ove le circostanze lo richiedano) la Direzione Lavori potrà prescrivere l'esecuzione di una prova finalizzata a misurare l'incremento di rumore dovuto al passaggio del veicolo sul giunto.

In tal caso il rumore da considerare è, sia quello prodotto verso l'alto rispetto al piano viabile, sia quello prodotto verso il basso, nella zona sottostante l'impalcato.

La prova potrà essere effettuata ad uno dei seguenti fini:

- qualificare preventivamente i giunti;
- verificare la corrispondenza dei giunti installati rispetto a quanto originariamente previsto;
- verificare nel tempo il mantenimento delle proprietà acustiche.

La prova andrà effettuata su strada, sul giunto installato e anche, se necessario, al di sotto del viadotto.

La velocità del vento durante le misurazioni dovrà essere inferiore a 2 m/s.

La strumentazione di misura dovrà essere conforme a quanto prescritto per i fonometri di classe 1 della norma CEI EN 61672, parti 1 e 2 (CEI 29-46 e 29-47).

Se si utilizzano fonometri integratori si dovrà fare riferimento alle norme IEC 831; per i filtri in banda di ottava o terzi di ottava si farà riferimento alla IEC 225.

Le misure di rumore andranno effettuate utilizzando la ponderazione A e la costante di tempo *s/low*.

La sorgente di rumore sarà costituita da un veicolo leggero (es. un'autovettura media) che transita sul giunto con velocità pari a 100 km/h. La prova andrà poi ripetuta utilizzando come sorgente di rumore un veicolo pesante definito dalla Direzione Lavori, alla velocità di 70 km/h.

Per tale prova un microfono ricevitore sarà posto in corrispondenza del giunto ad 1,5 m di altezza dal piano viabile ed un altro sarà posto a 50 m dopo il giunto, entrambi a 4 m di distanza dall'asse del veicolo.

Le rilevazioni microfoniche andranno effettuate con le stesse modalità, utilizzando tratti di strada adiacenti, in modo da avere una rilevazione anche in assenza di giunto ed ottenendo così, per differenza tra le misure, i valori dell'incremento di rumore dovuto allo stesso.

Ciascuna delle prove previste andrà ripetuta almeno 3 volte e il risultato sarà dato dal valore medio dei valori rilevati nei tre passaggi.

Il confronto tra il rumore misurato in presenza del giunto rispetto a quello misurato in sua assenza sarà effettuato valutando il parametro SEL (Sound Exposure Level), ovvero il valore L_{eq} in dB(A) compreso nell'intervallo di 1 s, dove è:

(¹) L'apparecchiatura ARAN è un sofisticato laboratorio mobile che permette, a velocità continua, la raccolta automatica dei dati riguardanti la geometria, la regolarità e gli ammaloramenti superficiali della strada, provvedendo altresì all'acquisizione e alla schedatura delle immagini relative agli elementi accessori (segnaletica, barriere di sicurezza, ecc.). Grazie alla presenza di un ricevitore satellitare (DGPS) a correzione differenziale, abbinato ad una piattaforma inerziale, tutti i dati restituiti possono essere ubicati in maniera univoca e con elevata precisione sul territorio, in qualsiasi sistema geografico di riferimento (Gauss-Boaga, UTM, ecc.). Tale apparecchiatura è posseduta, a titolo indicativo, dalla soc. SINECO di Milano, del Gruppo SINA.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^t \frac{p^2}{p_0^2} dt \right)$$

essendo p e p_0 i valori della pressione sonora e T il tempo.

28.6.12. Manutenzione dei dispositivi

Ogni giunto di dilatazione, o se sufficiente, ogni tipologia, dovrà essere dotato di un manuale di manutenzione fornito dall'Appaltatore e controfirmato dal Fornitore, in cui sono indicati modalità, tempistica e frequenza degli interventi di manutenzione ordinaria da eseguirsi sul dispositivo.

In tale manuale dovranno essere riportate anche le procedure da attuare nel caso che si rendessero necessari interventi di manutenzione straordinaria.

28.7. Penali

Non raggiungimento delle prestazioni previste in progetto

Qualora dalle prove eseguite risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, secondo il presente Capitolato, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, eseguirà una verifica della sicurezza. Se tale verifica desse esito positivo l'apparecchio sarà accettato, ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 20%.

Qualora i valori risultassero inferiori di oltre il 10% o la precedente verifica avesse dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla sostituzione della fornitura con giunti di caratteristiche adeguate alle prestazioni richieste.

Difetti di impermeabilizzazione

Se entro due anni dalla sua costruzione, a seguito di pioggia, si vedessero scolarure di acqua al di sotto del giunto, in zone che avrebbero dovuto essere protette dall'impermeabilizzazione dello stesso, per un'estensione fino al 15% della sua lunghezza, sarà applicata una penale del 15% del prezzo pagato per tutte le lavorazioni e forniture necessarie alla sua costruzione.

In caso di scolarure per un'estensione superiore a detto valore, il giunto dovrà essere ripristinato dall'Appaltatore a sue cura e spese.

Insufficiente adesione dei materiali di ripristino supporto ai giunti metallici

Nel caso di superfici risonanti a vuoto e per le quali non sia stato possibile eliminare il difetto, l'Appaltatore sarà tenuto, a sue cura e spese, alla rimozione completa dei materiali già posti in opera e alla loro sostituzione con materiali idonei.

Mancata regolarità geometrica

Qualora il parametro IRI ricada nel campo di valori $5,0 \div 7,0$ mm/m, il giunto di dilatazione sarà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la lunghezza complessiva del giunto anche se le misure interessano una corsia). Oltre il valore di 7,0 mm/m l'Appaltatore dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa del giunto ed al suo rifacimento secondo i requisiti prescritti.

Eccessiva rumorosità

Il limite di accettazione acustica del giunto sarà indicato in fase progettuale, in dipendenza dalle condizioni ambientali e tecnico-amministrative del sito. Il superamento di detto limite comporterà una riqualificazione gratuita del giunto stesso o, in caso di insuccesso, una sua completa sostituzione con un giunto di caratteristiche migliori.

28.8. Specifiche tecniche particolari per giunti di dilatazione a tampone

28.8.1. Generalità

Si tratta di giunti assai semplici e di rapida esecuzione, per la riuscita dei quali (funzionalità e durabilità) è però di fondamentale importanza il materiale di cui essi sono costituiti e la loro messa in opera. Di seguito vengono quindi descritti alcuni materiali e modalità realizzative, in parte coperti da brevetto industriale.

I giunti di dilatazione a tampone, definiti anche giunti a comportamento elastico-viscoso, sono attualmente distinti in:

– Giunti a tampone viscoelastico

ovvero giunti il cui dispositivo di continuità e di supporto (tampone) è costituito da una miscela di bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica, ed inerti di granulometria compresa tra 15 e 20 mm;

– Giunti a tampone "anidro" (brev. Autostrade per l'Italia S.p.A.)

ovvero giunti con tampone costituito da una miscela di bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica, inerti di granulometria compresa tra 15 e 20 mm e supporti di impermeabilità in malta cementizia fibrorinforzata.

28.8.2. Materiali

Il tampone viscoelastico sarà costituito da:

– Legante

bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o termoplastici, con bitume di tipo E le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente.

Caratteristiche del bitume *hard* come legante di tipo E (% di modificante > 8%) ⁽¹⁾

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25 °C	0,1 mm	UNI EN 1426	100-150
Punto di rammollimento ⁽²⁾ /valore minimo P.A.	°C	UNI EN 1427	≥ 24/70
Punto di rottura (Fraass), max	°C	CNR 43/74	≤ -17
Viscosità dinamica a 160 °C, γ=100 s ⁻¹ , max	Pa * s	SN 67.1722a	≤ 0,8
Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min	%	DIN 52013 (CNR 44/74 modificata)	≥ 70
Stabilità allo stoccaggio 3 d, a 180 °C Punto di rammollimento, max	°C	Vedi norma riportata più avanti	≤ 3
Valori dopo RTFOT ⁽³⁾			
Perdita per riscaldamento (volatilità) a 163 °C, max ±	%	CNR 54/77	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25 °C, max	%	UNI EN 1426	≤ 50
Incremento del punto di rammollimento, max	°C	UNI EN 1427	≤ 10

⁽¹⁾ Si intendono polimeri elastomerici e/o termoplastici tipo: SBS-r (*styrene-butadiene-styrene r-type*), SBS-l (*styrene-butadiene-styrene l-type*), SIS (*styrene-isoprene-styrene*), EVA (*ethylene-vinyl-acetate*), LDPE (*high density polyethylene*); la percentuale complessiva è indicativa; LDPE è presente solo per le pavimentazioni da viadotto.

⁽²⁾ Incremento del P.A. rispetto al valore minimo di P.A. del bitume di base.

⁽³⁾ *Rolling Thin Film Oven Test*.

– Inerti

L'aggregato dovrà essere costituito da materiale basaltico o anche da pietrischetti e graniglie di provenienza o natura petrografica diversa, con granulometria compresa tra 15 e 20 mm.

Tali inerti dovranno essere costituiti da elementi sani, duri, di forma poliedrica, puliti ed esenti da polvere e da materiali estranei secondo le norme CNR fasc. 4/1953, cap. 1 e 2 e rispondenti ai requisiti della prima categoria.

In ogni caso la qualità della roccia, da cui è ricavato per frantumazione l'inerte, dovrà avere alla prova "Los Angeles" (CNR B.U. n. 34 del 28/03/73 - Prova C) perdita di peso inferiore o uguale al 20%.

– Malte e betoncini

La posa in opera del giunto di dilatazione a tampone sarà preceduta dall'eventuale ricostruzione del profilo degli elementi strutturali in calcestruzzo (testate, solette), per la quale dovranno essere osservate le specifiche prescrizioni del presente Capitolato.

28.8.3. Giunto a tampone viscoelastico

28.8.3.1. Generalità

Il giunto a tampone viscoelastico dovrà essere costituito dalle seguenti parti:

– Dispositivo di drenaggio delle acque di sottopavimentazione

Il convogliamento e lo smaltimento delle acque dovrà avvenire in zone che non insistono sulle strutture principali dell'opera; il dispositivo sarà pertanto costituito da un tubo microfessurato avvolto in un sottile foglio di tessuto non tessuto;

– Dispositivo di sostegno del tampone bituminoso in lamierino di acciaio di dimensioni 0,30x0,15x0,002 m;

Tale dispositivo deve consentire le dilatazioni termiche della soletta, mantenendo inalterata la sua funzionalità; esso deve inoltre conservare le proprie caratteristiche di tenuta alle temperature di getto del tampone viscoelastico;

– Tampone in conglomerato bituminoso chiuso;

Il giunto deve risultare impermeabile, pur consentendo i movimenti di tipo viscoso previsti. Il tampone deve quindi aderire perfettamente alle pareti verticali della pavimentazione e non presentare sconnessioni. Lo spessore minimo del tampone viscoelastico deve essere di 11 cm.

28.8.3.2. Modalità di esecuzione del giunto

Il giunto a tampone viscoelastico deve essere posto in opera a pavimentazione finita.

L'intera lavorazione comprende:

- asportazione della pavimentazione e dell'eventuale sottostante strato impermeabilizzante a cavallo dei giunti di dilatazione, da realizzare mediante taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore fino a raggiungere l'estradosso delle solette di impalcato, e trasporto a deposito di tutto il materiale di risulta;
- asportazione di eventuali materiali aventi funzione di giunto provvisorio;
- accurata pulizia del piano di posa del tampone o asportazione del calcestruzzo degradato o in fase di distacco;
- trattamento di sabbiatura dell'armatura eventualmente scoperta;
- eventuale ripristino delle testate delle solette con malta e/o betoncino reoplastici fibrorinforzati o con malte cementizio-epossidiche mantenendo la giusta distanza ed una forma il più possibile regolare tra le testate contrapposte;
- asciugatura della sede del giunto a mezzo di lancia termica;
- stesa di una membrana impermeabilizzante (dopo adeguata maturazione della malta) in BITUTHENE HD® o ELOTENE-LASCO® su tutta la sede del giunto, con l'accortezza che la membrana abbia gioco sufficiente ad assecondare i movimenti del giunto fino alla massima apertura, senza mai introdurre sollecitazioni di trazione su quest'ultima, posta in opera con la consueta forma "ad omega" tra le testate di soletta;
- introduzione a forza all'interno dello spazio tra le testate delle solette dell'impalcato di una treccia in poliuretano espanso, avente la funzione di contenere la prima colata di bitume modificato;
- posa del dispositivo di drenaggio microfessurato rivestito di geotessile non-tessuto;
- prima colata di bitume modificato su tutta la sede del giunto (pareti verticali e fondo) impregnando anche la treccia poliuretana in modo da impermeabilizzarla;
- posa dei dispositivi di sostegno in lamierino di adeguata larghezza e spessore e lunghezza pari a 0,30 m, collocati l'uno accanto all'altro;
- seconda colata di bitume modificato sull'intera superficie orizzontale;
- colata di finitura in bitume modificato per l'intasamento dei vuoti residui.

28.8.4. Giunti a tampone “anidro” (brev. Autostrade per l'Italia n. RM 9400038)**28.8.4.1. Generalità**

Il giunto a tampone Anidro dovrà essere costituito dalle seguenti parti:

– Dispositivo di drenaggio delle acque di sottopavimentazione

Il convogliamento e lo smaltimento delle acque dovrà avvenire in zone che non insistono sulle strutture principali dell'opera. Il dispositivo sarà costituito da un tubo microfessurato, da fori sulla testata di soletta del diametro di 30 mm posti ad interasse di 1 m o maggiore, previo concordamento con la Direzione Lavori, completi di tubetto in PVC di adeguato spessore e diametro, sigillati con stucco, con tutti gli accorgimenti necessari ad impedirne l'otturazione, e da un getto di conglomerato bituminoso drenante;

– Dispositivo di sostegno del tampone bituminoso

E' realizzato con lamierino di acciaio inox sp. 2 mm, di dimensioni 30 x 15 cm. Tale dispositivo deve consentire le dilatazioni termiche della soletta mantenendo inalterata la sua funzionalità; esso deve inoltre conservare le proprie caratteristiche di tenuta alle temperature di getto del tampone viscoelastico;

– Tampone in conglomerato bituminoso chiuso

Deve risultare impermeabile, pur consentendo i movimenti di tipo viscoso previsti. Il tampone deve inoltre aderire perfettamente alle pareti verticali della pavimentazione e non presentare sconessioni. Il suo spessore minimo deve essere pari a 10 cm.

28.8.4.2. Modalità di esecuzione del giunto

Il giunto a tampone deve essere posto in opera a pavimentazione finita.

L'intera lavorazione comprende:

- asportazione della pavimentazione a cavallo dei giunti di dilatazione, da realizzare mediante taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore, fino a raggiungere l'estradosso delle solette di impalcato;
- demolizione della pavimentazione e dell'eventuale sottostante strato impermeabilizzante e trasporto a deposito di tutto il materiale di risulta;
- asportazione di eventuali materiali aventi funzione di giunto provvisorio;
- rinvivatura estradosso soletta e/o asportazione del calcestruzzo degradato o in fase di distacco;
- esecuzione di fori nelle testate delle solette del diametro di 30 mm posti ad un interasse di 1 m o maggiore e corredati di un'adeguata svasatura per rendere più agevole la captazione delle acque; nell'eventualità che in corrispondenza degli stessi si incontri il traverso di testata si procederà operando con una certa inclinazione tale da non interferire con il traverso stesso;
- trattamento di sabbiatura dell'armatura eventualmente scoperta;
- eventuale ripristino delle testate delle solette con malta e/o betoncino reoplastici fibrorinforzati o con malte cementizio-epossidiche mantenendo la giusta distanza tra le testate contrapposte;
- lavaggio con acqua in pressione o con vapore;
- getto di malta reoplastica premiscelata a ritiro compensato rinforzata con fibre di carbonio, avente una contropendenza longitudinale verso i fori precedentemente realizzati;
- stesa di una membrana impermeabilizzante (dopo adeguata maturazione della malta) in BITUTHENE HD⁽¹⁾ o ELOTENE HD⁽²⁾ su tutta la sede del giunto, con l'accortezza che la membrana abbia gioco sufficiente ad assecondare i movimenti del giunto fino alla massima apertura, senza mai introdurre sollecitazioni di trazione su quest'ultima, posta in opera con la consueta forma ad omega tra le testate di soletta;
- introduzione a forza all'interno dello spazio tra le testate delle solette dell'impalcato di una treccia in poliuretano espanso;

⁽¹⁾ BITUTHENE è un marchio di proprietà della soc. W.R. Grace & Co. (USA).

⁽²⁾ ELOTENE è un marchio di proprietà della soc. Isoltema di Gambettola (FC).

- posa nei fori della soletta di tubi in PVC del diametro 25 mm aventi una lunghezza sufficiente e comunque mai inferiore allo spessore della soletta;
- posa del dispositivo di drenaggio microfessurato rivestito di tessuto non tessuto;
- inserimento nei fori di drenaggio di uno strato di geotessile non-tessuto con adeguate caratteristiche di resistenza al calore;
- getto di conguaglio in conglomerato bituminoso drenante fino al raggiungimento della quota dell'estradosso del getto necessario alla contropendenza;
- posa dei dispositivi di sostegno in lamierino di adeguata larghezza e spessore, con lunghezza pari a 30 cm, collocati l'uno accanto all'altro;
- colata di bitume modificato sull'intera superficie orizzontale e verticale, a temperatura tale da non intasare il sottostante conglomerato bituminoso drenante;
- realizzazione del tampone mediante stesa in unico strato e successivo costipamento del materiale fino a raggiungere una perfetta complanarità col piano viario;
- colata di finitura in bitume modificato per l'intasamento dei vuoti residui;
- posa in opera nell'intradosso delle testate di soletta di un canale di raccolta in PVC delle acque provenienti dai fori di drenaggio.

28.8.5. Prove

La prova principale da eseguire è quella di verifica della stabilità allo stoccaggio a caldo di un bitume modificato. Questo metodo di prova serve a valutare la stabilità di un bitume modificato allo stoccaggio a caldo e si effettua mediante la determinazione della differenza fra il punto di rammollimento P.A. del terzo superiore e quello del terzo inferiore di un provino cilindrico del bitume in esame, dopo averlo mantenuto per tre giorni alla temperatura massima di stoccaggio.

Apparecchiatura di prova:

- tubetti cilindrici di circa 3 cm di diametro e 16 cm di altezza, di alluminio sottile, pieghevole, non verniciato;
- stufa con regolazione termostatica fino a $T = 200\text{ °C}$, con precisione di $\pm 1\text{ °C}$;
- freezer;
- apparecchiatura per la determinazione del punto di rammollimento del bitume.

Il procedimento è il seguente:

Dopo aver chiuso un tubetto ad un'estremità, stringendola e ripiegandola più volte per un totale di circa 3 cm, in modo da ottenere un fondo piatto, si versa 75 g circa del bitume riscaldato alla temperatura minima di colabilità, evitando inclusioni di aria e si lascia raffreddare completamente; la parte superiore del tubetto viene allora stretta e piegata ripetutamente in maniera tale che in esso non rimanga praticamente più aria. Il tubetto preparato viene sistemato verticalmente nella stufa e mantenuto per 3 d alla temperatura massima di stoccaggio, corrispondente a quella massima di impiego e tipica per il bitume modificato in esame; al termine, si toglie il tubetto dalla stufa e, dopo raffreddamento a temperatura ambiente, lo si raffredda ulteriormente in freezer in modo che il provino di bitume possa essere separato dall'involucro di alluminio.

Si taglia quindi il provino cilindrico di bitume perpendicolarmente al suo asse in tre parti di uguale altezza e si scarta quella centrale; sulle parti inferiori e superiori si determina separatamente il punto di rammollimento P.A. con l'approssimazione della prima cifra decimale.

La stabilità allo stoccaggio a caldo è espressa dalla differenza fra i punti di rammollimento delle due parti estreme del provino.

Il bitume in esame si considera stabile allo stoccaggio a caldo se la succitata differenza non supera i 3 °C . Qualora non sia rispettato tale limite, il materiale è da ritenersi non idoneo all'uso e pertanto deve essere sostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

29. Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi

29.1. Generalità

Il presente Capitolato definisce le caratteristiche dei materiali fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzare per rinforzi strutturali.

I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica o FRP (*Fiber Reinforced Polymer*⁽¹⁾) sono costituiti da filamenti continui (comunemente vetro, aramide e carbonio) immersi in una matrice polimerica. Essi mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso e proprietà meccaniche anisotrope, ovvero variabili in funzione dell'angolo esistente tra la direzione di carico e quella di giacitura dei filamenti. All'atto della posa, pertanto, è particolarmente importante rispettare scrupolosamente le indicazioni di progetto riguardo al posizionamento e all'orientamento dei materiali.

Considerandone i vantaggi in termini di leggerezza, elevate proprietà meccaniche e caratteristiche anticorrosive, i materiali compositi risultano particolarmente adatti per il rinforzo strutturale. Per applicazioni di rinforzo e riparazione di elementi strutturali quali travi, pilastri, colonne, ecc., si preferiscono filamenti di carbonio (con matrici vinilestere e/o epossidiche), che forniscono migliori proprietà meccaniche e qualità superiori in termini di durabilità, stabilità di comportamento a lungo termine e resistenza a fenomeni di fatica e che sono stati maggiormente studiati.

Gli interventi con materiali fibrosi FRP trovano le loro applicazioni più frequenti nei seguenti campi:

- riparazione di travi danneggiate o aventi armature interne degradate e/o insufficienti;
- adeguamento di travi e pilastri a nuovi carichi flessionali o assiali;
- correzione in corso d'opera di errori di realizzazione: insufficienza di armature, posizionamenti non corretti, ecc.;
- adeguamento sismico.

I prodotti FRP con filati di carbonio o CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), utilizzati per la riparazione e il rinforzo di opere d'arte stradali, si suddividono in tre categorie principali:

- tessuti di fibre secche, cioè non impregnate con il polimero, da impregnare in situ con adesivi specifici epossidici che induriscono a temperatura ambiente;
- barre preformate di tipo pultruso che vengono inglobate nel ringrosso della sezione o inserite in opportune tasche ricavate nel copriferro;
- lamelle preformate di tipo pultruso aventi sezione rettangolare, che vengono incollate alla struttura da rinforzare con appositi adesivi epossidici; le lamelle possono essere pre-tese per la realizzazione di interventi di precompressione.

In funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale fibroso che li costituisce, si distinguono prodotti in fibra di carbonio ad alto modulo (HM) e prodotti in fibra di carbonio ad alta resistenza (HS).

Le barre e le lamelle in fibra di carbonio si ottengono attraverso il processo industriale di pultrusione, mediante il quale filamenti di carbonio vengono impregnati in stabilimento in continuo con resina e quindi sottoposti a polimerizzazione ad alta temperatura. Il processo produttivo di pultrusione deve essere certificato dal Fornitore e attestato sulla scheda tecnica del prodotto.

29.1.1. Riferimenti normativi

Come già riportato nel paragrafo generale sui materiali, a proposito della vetroresina, le principali norme che riguardano questi prodotti sono le seguenti (in grassetto le norme europee armonizzate):

- **UNI EN 40-7** (requisiti per pali per illuminazione pubblica di compositi polimerici fibrorinforzati);
- **UNI EN 15274** (adesivi per imbieghi generali negli assemblaggi strutturali - requisiti e metodi di prova);
- UNI EN 1015-12 (metodi di prova per malte per opere murarie - determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno);
- UNI EN 1348 (adesivi per piastrelle - determinazione dell'adesione mediante trazione su adesivi cementizi);

⁽¹⁾ Lo stesso acronimo è stato già usato per la "vetroresina" (caso particolare di materiale fibrorinforzato), nel paragrafo riguardante le caratteristiche dei materiali (FRP: *Fiberglass-Reinforced Plastic*). Per tale materiale si rimanda quindi al citato paragrafo.

- UNI EN 1542 (prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - metodi di prova - misurazione dell'aderenza per trazione diretta);
- CNR-DT 200 R1/2012 08/03/2012 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati);
- CNR-DT 205/2007 09/10/2008 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di strutture realizzate con profili pultrusi di materiale composito fibrorinforzato (FRP));
- *ACI Committee 440, 2008: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ISIS Canada Corporation, 2008: ISIS Design Manual No. 4: FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures;*
- *ASTM D695-10 (Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics);*
- *ASTM D638-10 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics);*
- *ASTM D696-08 (Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C With a Vitreous Silica Dilatometer);*
- *ASTM D790-10 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials);*
- *ASTM D3039/D3039M-08 (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials);*
- *ASTM E1356-08 (Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperatures by Differential Scanning Calorimetry);*
- *ASTM E1640-09 (Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperature By Dynamic Mechanical Analysis).*

29.1.2. Materiali

Prodotti in CFRP: le caratteristiche dei materiali costituenti i prodotti in CFRP (barre, lamelle, tessuti) sono descritte nel successivo paragrafo 'Caratteristiche prestazionali'.

Malte cementizie: si veda il paragrafo specifico del presente Capitolato.

Adesivi epossidici:

- Adesione al calcestruzzo a 7 gg per trazione diretta (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del calcestruzzo);
- Resistenza a compressione (ASTM D695): a 24 ore > 45 MPa, a 7 gg > 50 MPa;
- Modulo elastico a compressione a 7 gg (ASTM D695): 6500 MPa;
- Resistenza a trazione per flessione a 7 gg (ASTM D790): > 25 MPa;
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 8 MPa;
- Modulo elastico a trazione a 7 gg (ASTM D638): 9500 MPa;
- Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg (ASTM D696): $2,04 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Temperatura di transizione vetrosa: Tg > 60°C.

Primer:

- Aderenza al calcestruzzo (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del supporto);
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 20 MPa;
- Resistenza a compressione a 7 gg (ASTM D695): > 40 MPa.

Rasatura:

- Aderenza al calcestruzzo (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del supporto);
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 5 MPa;
- Resistenza a compressione a 7 gg (ASTM D695): > 40 MPa.

Protezione dai Raggi UV: verniciatura poliuretanica elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici, in accordo con le specifiche del presente Capitolato o, in alternativa, rasatura polimerica cementizia e protezione anticarbonatazione acrilica modificata resistente all'azione degli agenti atmosferici.

29.1.3. Rinforzo con tessuto in CFRP

29.1.3.1. Generalità

Il tessuto unidirezionale in fibra di carbonio si ottiene attraverso il procedimento industriale di tessitura utilizzando filamenti di carbonio disposti lungo una direzione preferenziale. Il tessuto unidirezionale viene quindi impregnato in sito con una specifica matrice polimerica che ha il compito di aderire all'elemento di supporto e di collegare le fibre tra di loro al fine di assorbire le sollecitazioni della struttura e di proteggere le fibre stesse.

I campi d'impiego più ricorrenti dei tessuti CFRP sono i seguenti:

- Interventi di rinforzo a flessione (travi e solette), mediante incollaggio in zona tesa di uno o più strati sovrapposti di tessuto (con un numero massimo di strati pari a 5);
- Interventi di rinforzo al taglio (travi), mediante incollaggio di fasce trasversali;
- Interventi mediante fasciatura per il rinforzo e l'aumento di duttilità di pile e pilastri.

In accordo alle indicazioni della normativa di riferimento, il tessuto ad alto modulo può risultare più indicato per i primi due casi, dove gioca un ruolo fondamentale la rigidità del materiale, mentre il tessuto ad alta resistenza può essere più efficace nel terzo, dove può interessare maggiormente l'allungamento a rottura del materiale.

L'intervento con tessuto CFRP impregnato in opera è definito come un sistema di rinforzo in quanto esso dovrà essere costituito dall'uso combinato di materiali le cui caratteristiche e prestazioni siano tra loro perfettamente compatibili; non è pertanto ammesso l'assemblaggio di prodotti singoli non costituenti un sistema appositamente studiato e certificato (ad es. l'utilizzo di prodotti generici, non specifici al campo del rinforzo strutturale o provenienti da differenti produttori). Il sistema di rinforzo dovrà pertanto essere definito e certificato come sistema di applicazione del tipo A (vedi norme CNR DT 200).

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici ed a quanto più sopra riportato, sono i seguenti:

- *Primer* epossidico, che assicura, grazie alla sua capacità di penetrare nelle porosità del substrato in calcestruzzo, l'aggancio tra il substrato stesso, il sistema adesivo e il rinforzo fibroso;
- Rasatura epossidica, che ha il compito di regolarizzare la superficie per garantire la perfetta planarità del substrato in calcestruzzo; è infatti necessario che le fibre siano perfettamente lineari per ottenere la trasmissione ottimale degli sforzi lungo le stesse;
- Adesivo epossidico, che, impregnando perfettamente le fibre, garantisce aderenza tra il substrato in calcestruzzo ed il rinforzo fibroso consentendo il trasferimento delle tensioni tangenziali;
- Rinforzo fibroso, costituito da tessuti a base di fibre continue unidirezionali di carbonio;
- Malta cementizia;
- Verniciatura poliuretanica, per la protezione dai raggi UV.

29.1.3.2. Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà alla rimozione dell'intero strato ammalorato mediante idrodemolizione o uso di martelletti ad aria compressa ed al successivo ripristino strutturale con opportune malte dotate di resistenza a taglio e a trazione superiore a quelle del materiale di supporto.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate. Dove necessario, gli spigoli vivi presenti nel calcestruzzo dovranno essere arrotondati (raggio di curvatura minimo 20 mm).

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura.

Dopo sabbiatura o levigatura o altre lavorazioni provocanti polveri, pulizia finale della superficie con aria compressa.

Iniezione di eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dello specifico paragrafo.

Applicazione del primer epossidico (bicomponente)

Mescolare meccanicamente il componente A prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto, per circa un minuto, fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

Il tempo utile di applicazione può variare in funzione della temperatura ambiente e della quantità di primer applicato, fattori di cui occorrerà tener conto secondo le prescrizioni del produttore.

Il primer verrà applicato in maniera regolare a pennello o a rullo.

Applicazione della rasatura epossidica (bicomponente)

Eventuali vaiolature delle superfici dovranno essere eliminate mediante applicazione di rasatura epossidica.

La rasatura dovrà essere applicata quando il primer non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo.

Mescolare meccanicamente il componente A prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto per circa un minuto fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

La rasatura può essere applicata a spatola.

Applicazione dell'adesivo (bicomponente) e del rinforzo con fibre

L'applicazione dell'adesivo epossidico avverrà mediante rullo a pelo corto, fresco su fresco sulla rasatura o, nel caso di assenza di rasatura, quando il primer non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo.

Mescolare meccanicamente il componente A dell'adesivo prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto per circa un minuto fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

Dopo avere applicato il primo strato di adesivo, si stenderà il tessuto unidirezionale avendo cura di premerlo per due o tre volte nella direzione longitudinale della fibra per eliminare l'aria dallo strato di resina, usando un rullino a denti smussati e paralleli alla direzione delle fibre.

Per congiungere più strisce di ogni singolo strato nella direzione longitudinale della fibra è necessario sovrapporre le due strisce per una lunghezza di almeno 20 cm. In corrispondenza del punto di sovrapposizione si applicherà una ulteriore mano di adesivo sulla superficie esterna dello strato di foglio su cui aderirà il tratto sovrapposto. Non è necessaria alcuna sovrapposizione nella direzione laterale della fibra, con eccezione delle applicazioni a confinamento.

La seconda mano di adesivo deve essere stesa sulla superficie del foglio fino a completa saturazione della fibra.

Per l'applicazione di strati ulteriori, si applicherà lo strato di tessuto e quindi una ulteriore mano di adesivo seguendo le indicazioni precedenti.

Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

L'intervento dovrà essere lasciato maturare per un tempo non inferiore alle 24 ore (a 20 °C) prima di poter destinare al servizio l'elemento rinforzato. Per temperature inferiori a 20°C sarà necessario attendere un tempo superiore alle 24 ore, in accordo con le indicazioni del produttore.

Verniciatura di protezione dai raggi UV

Si dovranno proteggere le superfici rinforzate mediante verniciatura poliuretanica elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici, oppure mediante rasatura polimerica cementizia e successiva protezione anticarbonatazione acrilica modificata resistente all'azione degli agenti atmosferici.

L'applicazione del sistema protettivo dovrà avvenire dopo l'indurimento dell'ultimo strato di adesivo.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive. Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5 °C, né applicare il sistema su un supporto bagnato.

29.1.3.3. Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali del sistema di rinforzo con tessuti CFRP.

I parametri relativi sono riferiti al tessuto. Non devono essere presi in conto nella progettazione i valori riferiti alla singola fibra costituente il tessuto e non sono ammessi tessuti aventi una quantità di filato di carbonio maggiore di 600 g/mq al fine di garantire la corretta impregnazione manuale del polimero.

Tessuto unidirezionale CFRP ad altissimo modulo (HHM):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,190 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 640.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1700 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.3%.

Tessuto unidirezionale CFRP ad alto modulo(HM):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,165 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 390.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2400 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.8 %.

Tessuto unidirezionale CFRP ad alta resistenza(HS):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,165 ÷ 0,235 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 230.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2500 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.3 %.

Nel caso di utilizzo di tessuti ad altissimo modulo si raccomandano particolari cautele a causa della intrinseca fragilità del prodotto.

29.1.4. Rinforzo con barre in CFRP

29.1.4.1. Descrizione

Le barre CFRP sono comunemente impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pilastri o solette.

Si distinguono due tecniche di rinforzo:

- Senza aumento di sezione: le barre vengono inserite entro tasche preventivamente realizzate nel copriferro e riempite con opportuna malta cementizia o con resina epossidica;
- Con aumento di sezione: le barre vengono inserite nel ringrosso della sezione, realizzato mediante impiego di opportune malte cementizie.

Basandosi l'efficacia dell'intervento sull'adesione tra barra e supporto, per applicazioni di rinforzo in tasca si consiglia di limitare le dimensioni degli elementi di rinforzo in CFRP (ad esempio barre di diametro 8 o 10 mm, piattine rettangolari 24 ÷ 25 x 1,4 ÷ 2 mm o 24 ÷ 25 x 2,8 ÷ 4 mm).

Le armature in barre in CFRP non possono essere piegate né saldate.

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Malta cementizia;
- Resina epossidica (bicomponente);
- Barra di sezione circolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, avvolgimento elicoidale di filo di carbonio, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa;

oppure:

- Barra di sezione rettangolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa.

29.1.4.2. Modalità di esecuzione

Rinforzo senza aumento di sezione (barre entro tasche)

Realizzazione di intagli nel copriferro esistente (avendo cura di non danneggiare le armature esistenti).

Irruvidimento delle tasche mediante sabbiatura e successiva pulizia con aria compressa.

Riempimento della tasca con opportuna malta cementizia o con resina epossidica.

Posa in opera della barra in fibra di carbonio entro la tasca, garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm.

Stagionatura: protezione del manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Rinforzo con aumento di sezione

Irruvidimento della sezione mediante idrodemolizione o martelletti alimentati ad aria compressa.

Pulizia delle superfici con aria o acqua in pressione.

Posa e fissaggio delle barre in fibra di carbonio, garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm, avendo cura di evitare il contatto diretto tra la barra in carbonio e le barre in acciaio mediante idonei distanziatori.

Applicazione della opportuna malta cementizia.

Stagionatura della malta mediante acqua nebulizzata o teli o idonei stagionanti.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive.

29.1.4.3. Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle barre in CFRP.

Barra ad alto modulo (CFRP-B-HM):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1800 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 200.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.0 %;
- Temperatura di transizione vetrosa (ASTM E1356 o ASTM E1640) > 250 °C.

Barra ad alta resistenza (CFRP-B-HS):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1800 MPa;
- Modulo Elastico medio a trazione (ASTM D3039): 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.2 %;
- Temperatura di transizione vetrosa (ASTM E1356 o ASTM E1640) > 250 °C.

29.1.5. Rinforzo con lamelle

29.1.5.1. Descrizione

Le lamelle sono impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pilastri o solette, mediante incollaggio delle stesse sulla superficie tesa con resine.

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm. Non sono consentite sovrapposizioni, saldature e piegature della lamelle.

Lo spessore massimo della resina di supporto non deve essere superiore a 5 mm, (con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione).

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico (utilizzato per l'incollaggio delle lamelle);
- *Primer* epossidico (se previsto);
- Rasatura epossidica (se prevista);
- Lamelle in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato;
- Vernice di protezione dai raggi UV.

29.1.5.2. Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. specifico del presente Capitolato.

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.

Pulizia finale della superficie mediante aria compressa.

Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità (v. paragrafo sul ripristino del calcestruzzo del presente Capitolato).

Applicazione del *primer* epossidico

Vedi sopra.

Applicazione della rasatura epossidica

Vedi sopra.

Applicazione delle lamelle

Tagliare a misura la lamella con flessibile.

Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico;

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.

Posizionare la lamella sulla struttura da rinforzare, premere la lamella contro il conglomerato con apposito rullo, facendo sì che l'adesivo epossidico rifluisca, eliminare infine eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Verniciatura di protezione dai raggi UV.

Vedi sopra.

29.1.5.3. Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle (i valori sono riferiti al prodotto finito). La larghezza viene misurata con calibro centesimale; lo spessore, data la presenza della sabbatura superficiale, deve essere dichiarato dal produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella.

Lamina ad alto modulo (CFRP-L-HM):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2000 MPa;
- Modulo Elastico medio a Trazione (ASTM D3039): > 200.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.1 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

Lamina ad alta resistenza (CFRP-L-HS):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): 2400 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.5 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

In alcuni casi e adottando attenzioni particolari vista la intrinseca fragilità del prodotto, potranno essere utilizzate lamine ad altissimo modulo, le cui caratteristiche sono di seguito riportate.

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): 1350 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 290.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.45 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

29.1.6. Rinforzo con lamelle pretese

29.1.6.1. Descrizione

Le lamelle pretese sono prodotte in modo analogo alle lamelle ordinarie e sono impiegate principalmente per il rinforzo a flessione di travi e impalcati mediante un procedimento che prevede le seguenti operazioni:

- Fissaggio di organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare;
- Preparazione del supporto su cui andrà incollata la lamella, perché sia perfettamente planare (con tolleranza pari a 5 mm su 2 m);
- Incollaggio delle lamelle al supporto;
- Serraggio delle lamelle negli organi di tiro;
- Applicazione del tiro alle estremità;
- Rimozione degli organi di tiro quando l'adesivo ha completato la sua stagionatura (24÷48 h).

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm.

Non sono ammesse sovrapposizioni della lamella né sue saldature e/o piegature.

Lo spessore massimo dell'adesivo di supporto non deve essere superiore a 5 mm, con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione.

Si dovrà limitare la tensione massima di tiro fino al 50% della resistenza a trazione della lamella.

Il sistema di pretensione delle lamelle è costituito da piastre in acciaio di spessore idoneo a resistere al carico di pretensione, che deve generalmente essere limitato (ad esempio nell'intorno dei 150 kN). Le piastre sono predisposte con fori e tasselli per il fissaggio, sabbiate SA 3 e trattate preventivamente contro la corrosione con specifico protettivo. Il sistema viene montato in opera sull'elemento da consolidare con l'ausilio di speciali adesivi

epossidici approvati dal Produttore. Gli organi di tiro dovranno essere in grado di mantenere costante il tiro stesso per il tempo necessario all'indurimento dell'adesivo.

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico utilizzata per l'incollaggio delle lamelle.
- *Primer* epossidico (se previsto)
- Rasatura epossidica (se prevista)
- Lamella in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato;
- Vernice di protezione dai raggi UV.

29.1.6.2. Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. specifico del presente Capitolato.

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.

Pulizia finale della superficie mediante aria compressa.

Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità (v. paragrafo sul ripristino del calcestruzzo del presente Capitolato).

Montaggio degli organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare impiegando adeguati perni di ancoraggio al supporto stesso per garantire il corretto trasferimento tensionale.

Applicazione del *primer* epossidico

Vedi sopra.

Applicazione della Rasatura epossidica

Vedi sopra.

Applicazione delle lamelle

Tagliare a misura la lamella con flessibile.

Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.

Inserire le estremità della lamella negli afferraggi degli organi di tiro.

Applicare il tiro in modo graduale e lento e con apposito rullo schiacciare la lamella contro il conglomerato facendo sì che la rasatura epossidica rifluisca, eliminando quindi eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Rimozione del tiro dopo non meno di 24÷48 h in funzione della temperatura, scaricando lentamente il precarico e avendo cura di non danneggiare la lamella aderente al supporto.

Verniciatura di protezione dai raggi UV

Si dovranno proteggere le superfici rinforzate mediante verniciatura poliuretanica elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici.

L'applicazione del sistema protettivo dovrà avvenire dopo l'indurimento della rasatura epossidica.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive.

Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5 °C, né applicare il sistema su un supporto bagnato.

29.1.6.3. Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle pretese (i valori sono riferiti al prodotto finito). La larghezza viene misurata con calibro centesimale; lo spessore, data la presenza della sabbiatura superficiale deve essere dichiarato dal produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella.

Lamina pretesa in CFRP

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2400 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): > 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.4 %
- Temperatura di transizione vetrosa > 120°.

Il sistema applicativo delle lamelle proposto deve possedere certificazione prestazionale, ottenuta sulla base di *tests* eseguiti presso laboratori ufficiali, istituti universitari europei e/o enti di certificazioni europei riconosciuti, la cui documentazione dovrà essere messa a disposizione della Direzione Lavori. In particolare, dovrà essere prodotta certificazione attestante le caratteristiche dei materiali e di resistenza a scorrimento all'interfaccia rinforzo-calcestruzzo, che permetta la classificazione del sistema come applicazione di tipo A secondo la CNR DT 200.

29.1.7. Documenti di qualificazione

Tutti i materiali da impiegarsi per la riparazione e/o il rinforzo, in accordo ai riferimenti normativi citati, devono essere dotati di certificati di conformità rilasciati dal produttore in termini di valore caratteristico del lotto di produzione di ogni singolo componente (il valore caratteristico si intende ottenuto sottraendo al valore medio, ricavato da almeno 5 risultati sperimentali, il triplo dello scarto quadratico medio).

In fase di gara l'Appaltatore dovrà indicare il materiale che intende utilizzare e presentare alla Direzione Lavori idonea documentazione e certificazioni rilasciate dal Produttore che attestino la rispondenza del materiale alle specifiche riportate nel presente documento. Il Produttore dovrà fornire alla Direzione Lavori tutti i dati sperimentali che dimostrino l'idoneità dei materiali all'uso previsto.

In caso di interventi con lamine pretese, si dovrà comprovare la qualificazione del sistema di tiro e ancoraggio sulla base di prove e di idonee certificazioni (v. più sopra).

L'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori un elenco di lavori simili a quello oggetto della gara, dove sono già stati utilizzati i sistemi e i materiali proposti.

29.1.8. Prove di accettazione

Prima dell'inizio dell'applicazione, l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori un prelievo di materiale (n. 5 campioni di adeguata lunghezza) per eseguire, presso un laboratorio autorizzato, le prove di caratterizzazione meccanica seguenti:

- Resistenza a trazione, modulo elastico ed allungamento a rottura su n. 5 spezzoni di barra, lamella o tessuto, con verifica che il valore caratteristico dichiarato dal Produttore sia minore o uguale al valore caratteristico ottenuto dalla prova di accettazione;
- Temperatura di transizione vetrosa > 250°C (barre in CFRP) secondo ASTM E1356 o ASTM E1640 su n. 3 spezzoni di barra in carbonio, con verifica che nessuno dei risultati sia minore del valore caratteristico dichiarato dal Produttore;
- Resistenza a trazione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D638;
- Resistenza a compressione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D695.

29.1.9. Controlli in corso d'opera e sulle opere finite

I controlli in corso d'opera dovranno riguardare sia i materiali utilizzati che le fasi applicative.

La Direzione Lavori dovrà far eseguire presso un laboratorio autorizzato le prove di caratterizzazione meccanica sui materiali prelevati in cantiere. Il numero dei prelievi sarà stabilito dalla Direzione Lavori in funzione della quantità di materiale FRP impiegato nel lavoro in corso di realizzazione, con un minimo di n. 1 prelievo (composto da n. 5 campioni di materiale di adeguata lunghezza).

L'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori le dichiarazioni di conformità relative ad ogni singola consegna effettuata; in tale dichiarazione il produttore attesterà che il materiale fornito è prestazionalmente conforme a quanto dichiarato nella documentazione tecnica relativa al prodotto. La Direzione Lavori dovrà assicurarsi che il supporto degli elementi strutturali da rinforzare sia preparato secondo quanto riportato nel presente documento.

In particolare, in caso di intervento con lamelle o con tessuti, si dovrà:

- Verificare l'aderenza tra sistema di rinforzo e struttura eseguendo una terna di prove distruttive di strappo secondo le modalità delle norme UNI EN 1542, UNI EN 1015-12, UNI EN 1348 (opportunamente modificate, essendo il supporto di riferimento quello del sito in esame e non la piastra standard di normativa) da eseguirsi dopo almeno 14 gg di stagionatura. Per eseguire tale verifica dovrà essere incollato uno spezzone di lamella o di tessuto di 30 cm di lunghezza in una zona della struttura non soggetta al rinforzo ma il cui supporto abbia caratteristiche meccaniche simili a quelle dell'elemento rinforzato. La prova consisterà nell'incollare successivamente tre piastrine metalliche (riquadri di acciaio di 40 mm di lato o dischi di alluminio di 50 mm di diametro) sulla lamella o sul tessuto e di sottoporli a strappo mediante martinetto di carico avente contrasto rigido ai bordi della piastrina metallica, previa esecuzione di incisione di idonea profondità (fino a raggiungere ed interessare il supporto) lungo il perimetro delle piastrine metalliche. La prova darà esito positivo se la rottura avviene nel supporto;
- Verificare che tutta la zona del rinforzo non presenti distacchi o bolle intrappolate nella matrice polimerica. Tale verifica può essere eseguita anche mediante leggera battitura con idoneo martello.

In funzione dell'importanza dell'intervento, potranno essere stabilite prove più approfondite.

30. Strato di fondazione in misto granulare non legato**30.1. Generalità**

Si tratta di uno strato composto da una miscela di terre stabilizzate granulometricamente da impiegarsi, previo opportuno compattamento, come strato basale della sovrastruttura stradale o in altri analoghi impieghi.

La frazione grossa di tale miscela (trattenuta al setaccio UNI EN da 2 mm) può essere costituita da ghiaie, frantumati, detriti di cava, scorie o anche altro materiale ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori.

Il materiale, generalmente di apporto, potrà essere pronto all'impiego oppure da correggersi con adeguata attrezzatura in impianto fisso o mobile di miscelazione.

Lo spessore della fondazione finita dovrà in ogni caso essere conforme agli elaborati di progetto.

Per le normative di riferimento vedansi paragrafi specifici su aggregati e rilevati.

30.1.1. Caratteristiche dei materiali da impiegare

Il materiale in opera, dopo l'eventuale correzione e miscelazione, risponderà alle caratteristiche seguenti:

- a) l'aggregato non deve avere né forma appiattita, allungata o lenticolare;
- b) granulometria compresa nel seguente fuso e avente andamento continuo ed uniforme praticamente concorde a quello delle curve limite:

Serie crivelli e setacci UNI	Passante % totale in peso
Setaccio 63	100
Setaccio 40	75-100
Setaccio 20	60-87

Setaccio 8	35-67
Setaccio 4	25-55
Setaccio 2	15-40
Setaccio 0.5	7-22
Setaccio 0.063	2-10

- c) rapporto tra il passante al setaccio UNI EN 0.063 mm ed il passante al setaccio UNI EN 0,5 mm inferiore a 2/3;
- d) perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature inferiore al 30% in peso (UNI EN 1097-2);
- e) equivalente in sabbia misurato sulla frazione passante al setaccio UNI EN 2 mm: compreso tra 25 e 65 (la prova va eseguita con dispositivo di scuotimento meccanico UNI EN 933-8). Tale controllo deve anche essere eseguito sul materiale prelevato dopo costipamento. Il limite superiore dell'equivalente in sabbia "65" potrà essere modificato dalla Direzione Lavori in funzione delle provenienze e delle caratteristiche del materiale. Per tutti i materiali aventi equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35 la Direzione Lavori richiederà in ogni caso (anche se la miscela contiene più del 60% in peso d'elementi frantumati) la verifica dell'indice di portanza C.B.R. di cui al punto successivo;
- f) Indice di portanza C.B.R. (UNI EN 13286-47) dopo quattro giorni d'imbibizione in acqua, eseguito sul materiale passante al crivello UNI EN 25 mm, non minore di 50. È inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di $\pm 2\%$ rispetto all'umidità ottimale di costipamento. Se le miscele contengono oltre il 60% in peso d'elementi frantumati a spigoli vivi, l'accettazione avverrà sulla base delle sole caratteristiche indicate alle precedenti lettere a), b), d), e), salvo nel caso di lettera e) in cui la miscela abbia un equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35.

30.1.2. Studio preliminare

Le caratteristiche suddette devono essere preliminarmente accertate dalla Direzione Lavori mediante prove di laboratorio.

Contemporaneamente l'Appaltatore deve indicare, per iscritto, le fonti d'approvvigionamento, il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che sarà impiegata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare potrà comportare, a discrezione della Direzione Lavori, la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori e potranno non essere accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive. I requisiti d'accettazione saranno inoltre di norma accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava, sia preliminarmente sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

Il materiale, qualora la Direzione Lavori ne accerti la non corrispondenza anche ad una sola delle caratteristiche richieste, non potrà essere impiegato nella lavorazione e se la stessa Direzione Lavori riterrà, a suo giudizio, che non possa essere reso idoneo mediante opportuni correttivi da effettuare a cura e spese dell'Appaltatore, dovrà essere allontanato dal cantiere.

30.1.3. Modalità esecutive

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma e i requisiti di compattezza previsti ed accettati dalla Direzione Lavori e deve risultare esente da materiale estraneo.

Il materiale sarà steso in strati di spessore finito non superiore a 20 cm e non inferiore a 10 cm e dovrà presentarsi, dopo costipato, uniformemente miscelato in modo da non presentare segregazione dei suoi componenti.

L'eventuale aggiunta d'acqua, per raggiungere l'umidità prescritta in funzione della densità, è da effettuarsi mediante dispositivi spruzzatori che assicurino una sufficiente uniformità di umidificazione.

A questo proposito si precisa che tutte le operazioni anzidette non devono essere eseguite quando le condizioni ambientali (pioggia, neve, gelo) siano tali da danneggiare la qualità dello strato stabilizzato. Verificandosi comunque eccesso d'umidità o danni dovuti al gelo lo strato compromesso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

Il materiale pronto per il costipamento deve presentare in ogni punto la prescritta granulometria. Per il costipamento e la rifinitura saranno impiegati rulli statici, vibranti o vibranti-gommati, la cui idoneità e le cui modalità di

costipamento verranno, per ogni cantiere, preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, eventualmente con prove sperimentali di costipamento, usando le miscele messe a punto per quel cantiere.

Il costipamento d'ogni strato deve essere eseguito sino ad ottenere una densità secca in sito non inferiore al 95% di quella massima fornita dalla prova AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) con esclusione della sostituzione degli elementi trattenuti al setaccio con apertura 0,18 mm (ISO 3310).

Se la misura in sito riguarda materiale contenente fino al 25% in peso d'elementi di dimensioni maggiori di 25 mm, la densità ottenuta sarà corretta in base alla formula:

$$d_r = \frac{P_c (100 - x)}{100P_c - x d_i}$$

dove:

d_r = densità della miscela secca ridotta degli elementi di dimensione superiore a 25 mm, da paragonare a quella determinata in laboratorio tramite la prova AASHTO modificata;

d_i = densità della miscela secca intera;

P_c = peso specifico (reale) degli elementi di dimensione maggiore di 25 mm;

x = percentuale in peso degli elementi di dimensione maggiore di 25 mm.

La suddetta formula di trasformazione potrà essere applicata anche nel caso di miscele contenenti una percentuale in peso d'elementi di dimensione superiore a 35 mm, compresa tra il 25 e il 40%. In tal caso nella stessa formula, al termine x deve essere sempre dato il valore 25 (indipendentemente dalla effettiva percentuale in peso trattenuto al setaccio ISO 3310 di apertura 20 mm).

30.1.4. Prove dinamiche di portanza

Quanto riportato in questo paragrafo, non riferito specificamente allo strato in questione (fondazione in misto granulare non legato), vale in generale per il presente Capitolato.

I valori di portanza finali costituiscono il dato prestazionale. La loro misura consiste nella valutazione del "modulo elastico dinamico"⁽¹⁾ (E_{din}) reale sulla superficie dello o degli strati di supporto sopra descritti, effettuata di norma con una macchina a massa battente, che può essere sia del tipo portatile LWD (o FLWD): *Light (Falling) Weight Deflectometer* (v. figura a sinistra), sia del tipo pesante FWD o HWD (o HFWD): *Falling Weight Deflectometer* o *Heavy Falling Weight Deflectometer* (v. figura a destra), trainata da automezzo. In entrambi i casi viene misurata la deflessione del piano di appoggio mediante geofoni e da questa valutato il suddetto modulo.



A sinistra: LWD; a destra: FWD/HWD.

⁽¹⁾ Da non confondere con altri simili parametri, quali il "modulo di elasticità statico" (E_{st}), il "modulo di deformazione" (M_d) e il "modulo resiliente" (M_r).

La modalità di misurazione normale deve essere considerata quella con attrezzatura FWD. Ogni altra modalità dovrà essere correlata a questa con coefficienti di correlazione sufficientemente affidabili che, qualora non esplicitamente indicati nel presente Capitolato oppure qualora siano indicati attraverso un intervallo di variabilità, dovranno essere oggetto di una valutazione preventiva, eventualmente anche sperimentale, i cui risultati dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

Quanto sopra è particolarmente vero nel caso dell'impiego dell'attrezzatura LWD che, pur essendo di pratico utilizzo, conduce tuttavia ad una certa dispersione dei risultati e, per essere considerata affidabile, deve sempre essere accompagnata da un certificato di calibrazione valido. Di conseguenza, anche il relativo coefficiente di correlazione è molto variabile e pertanto, come detto sopra, sarà necessario in questo caso calibrare l'LWD confrontandolo con misure eseguite con FWD, ove possibile sullo stesso strato ed in posizioni vicine.

A questo proposito le raccomandazioni inglesi IAN 73/06 Rev. 1 (2009) (*Design guidance for road pavement foundations*) suggeriscono di eseguire un confronto sullo stesso materiale e in posizioni di controllo adiacenti, esteso ad almeno 25 punti diversi. Se, dalla popolazione costituita dalle coppie di valori del modulo dinamico, misurate nei suddetti punti con le due strumentazioni, si verifica la seguente relazione, allora la correlazione è considerata sufficiente:

$$r^2 = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n E_{din,FWD,i}}{\sum_{i=1}^n E_{din,LWD,i}} \right) / n \right]^2 \geq 0.45$$

dove:

r = coefficiente di correlazione;

$E_{din,LWD}$, $E_{din,FWD}$ = misure del modulo elastico dinamico effettuate con le due strumentazioni: LWD e FWD;

n = numero dei punti dove sono state effettuate le coppie di misure.

In seguito, ogni valore $E_{din,LWD}$ misurato (a parità di condizioni e soprattutto di strato da controllare) potrà essere ragguagliato ad un equivalente valore $E_{din,FWD}$ come segue:

$$(E_{din,FWD})_{eq} = r E_{din,LWD}$$

Nel prosieguo del presente Capitolato pertanto, a meno che non vi sia una diversa esplicita indicazione, saranno forniti parametri di controllo riferiti unicamente all'impiego di attrezzatura FWD.

Qualora si impieghi l'attrezzatura LWD, si dovranno rispettare le norme ASTM E2583-07(2011) (*Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD)*) e le prove andranno eseguite in condizioni ambientali normali (temperatura, umidità), applicando una sollecitazione pari a circa 70 KPa, mentre la durata dell'impulso di carico sarà pari a circa 30 ms.

Tale configurazione si ottiene utilizzando il carico da 10 kg, con una altezza di caduta (distanza tra terreno e base del carico) pari a 100 cm.

Le battute dell'LWD, secondo quanto indicato nella norma, dovranno essere ripetute fino ad ammettere uno scarto tra le deflessioni a centro piastra $\leq 3\%$. Pur nel rispetto del limite di modulo elastico richiesto, se non viene raggiunto il limite dello scarto tra due deflessioni consecutive dopo 4 ripetizioni per più di 5 punti di misura distanziati di almeno 5 metri tra loro, lo strato andrà riaddensato.

Le prove eseguite, registrate su *file*, devono riportare almeno la pressione effettivamente applicata, il tempo di applicazione del carico, la deflessione al centro piastra ed il modulo elastico.

Il modulo elastico dinamico viene in questo caso calcolato con la seguente espressione (Boussinesq):

$$E_{din,LWD} = \frac{f (1 - \nu^2) \sigma_0 R}{d_0}$$

dove:

$E_{din,LWD}$ = modulo di elasticità dinamico (in MPa);

f = fattore di distribuzione delle sollecitazioni, dovuto alla rigidità della piastra (≈ 2);

ν = coefficiente di Poisson = $(1 - \sin \varphi') / (2 - \sin \varphi')$, con φ' = angolo di attrito interno efficace del terreno (≈ 0.35 , v. tabella sotto riportata):

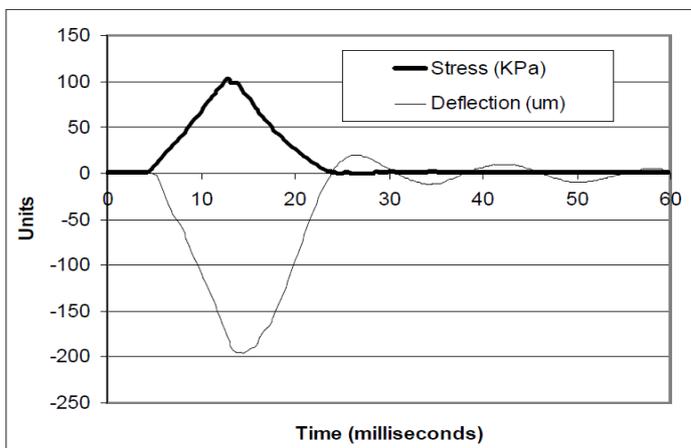
Terreno	v	
	valore massimo	valore minimo
Argilla satura	0.5	0.4
Argilla non satura	0.3	0.1
Argilla sabbiosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Sabbia	1.00	-0.1
Sabbia ghiaiosa comunemente usata	0.4	0.3
Loess	0.3	0.1
Ghiaccio	0.36	
Calcestruzzo	0.15	

$\sigma_0 = P_{eff} / (\pi R^2)$ = pressione (uniformemente distribuita) indotta dalla piastra circolare ($\approx 70 \text{ kPa}$)⁽¹⁾;

R = raggio della piastra (di norma = 0.150 m);

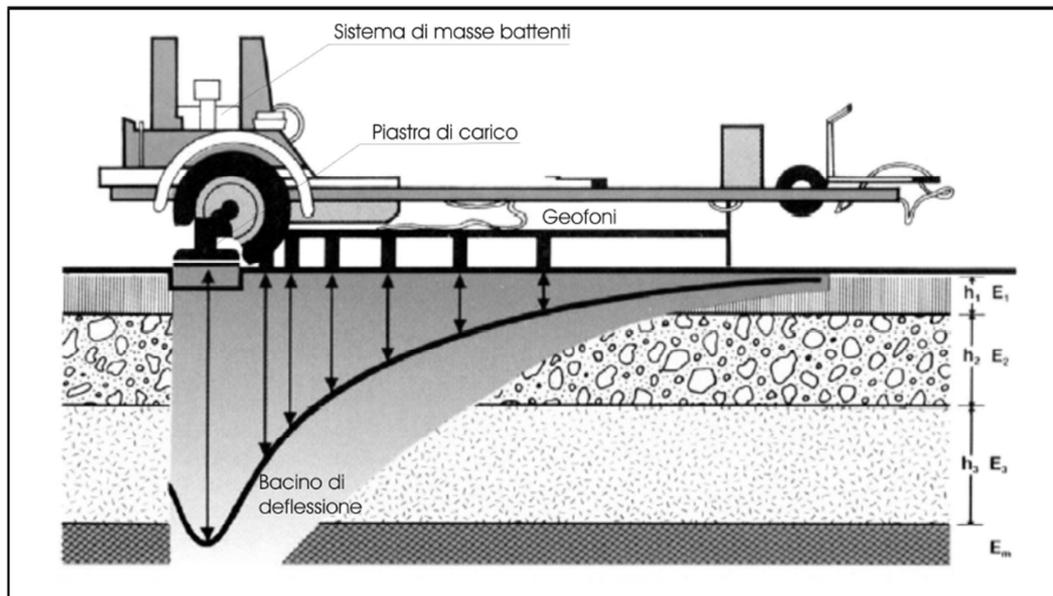
d_0 = deflessione misurata al centro della piastra (in mm).

Inserendo i valori sopraindicati risulterebbe all'incirca: $E_{din,LWD} \approx 18.4/d_0$ [MPa].



Tipico diagramma risultante da una prova LWD su stabilizzato granulometrico di buone caratteristiche (la pressione è risultata in questo caso superiore a 70 kPa)

Qualora si impieghi l'attrezzatura FWD o HWD, si opererà come segue (v. figura):



- la massa battente da usare e l'altezza di caduta verranno stabilite mediante prove da effettuare prima della misura, in modo da non lasciare deformazioni permanenti sotto la piastra; l'altezza di caduta o la massa battente, se ciò succede, dovranno essere ridotte fino ad avere una deformazione di tipo elastico;

⁽¹⁾ Il carico effettivo P_{eff} deriva dai vari parametri di elasticità, inerzia e smorzamento, che governano il fenomeno impulsivo alla base del funzionamento dello strumento. La sua calcolazione teorica è di una certa complessità e comunque approssimativa, per cui si preferisce misurarlo direttamente attraverso lo stesso strumento (v. diagramma in figura), di norma corredato da un apposito *software* che fornisce direttamente tale valore, così come quelli della deflessione e del modulo risultante. Il valore risultante dalla pressione indicata sarebbe pari all'incirca a 5 kN.

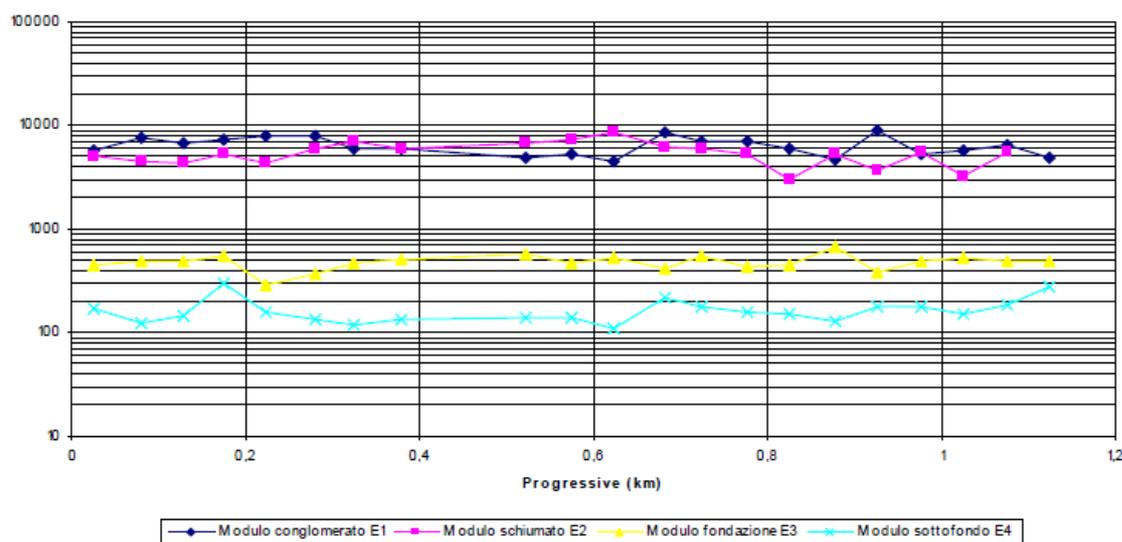
- le successive misure verranno effettuate controllando che comunque, anche in altre zone di prova, non si abbia deformazione plastica;
- il modulo $E_{din,FWD}^{(1)}$ verrà calcolato interpretando le misure con un opportuno *software* basato su un modello numerico costituito da un multistrato elastico con sottofondo di spessore indefinito;
- l'affidabilità del calcolo (*back-analysis*) dovrà essere valutata attraverso il confronto tra il bacino di deflessione (v. figura sotto) misurato e quello derivato dal calcolo stesso. Si dovrà pertanto individuare l'errore quadratico medio percentuale (RMS) attraverso la seguente equazione:

$$RMS(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2}$$

dove d_{mi} e d_{ci} sono rispettivamente la deflessione misurata e quella calcolata in corrispondenza dell'i-esimo geofono. Non saranno considerati accettabili valori di RMS superiori al 5%.

A seguire, a titolo esemplificativo, un tipico *report* in forma tabellare ed uno in forma di diagramma, di indagini deflettometriche con FWD:

DETERMINAZIONE	SPESSORI		MODULI ALLA TEMPERATURA DI PROVA				TEMPERATURA media dello strato in conglomerato bituminoso (°C)	MODULO
	Conglomerato bituminoso	Fondazione	Conglomerato bituminoso	Fondazione	Sottofondo	Semispazio equivalente		Conglomerato bituminoso (a 20°C)
Progressiva (km)	H1 (mm)	H2 (mm)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	Es (MPa)	Ee (MPa)		E1 (MPa)
0.161	181	231	346	42	28	107	32.3	775
0.250	246	214	477	29	21	139	32.3	1066
0.534	241	214	242	22	14	91	32.3	540



30.1.5. Dati prestazionali

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre superiore a 185 MPa.

A discrezione del Direttore dei Lavori, per valori medi di portanza inferiori ai valori minimi ammessi potrà applicarsi alla lavorazione una penale variabile linearmente da zero al 20%, per valori compresi tra quelli minimi e gli stessi diminuiti del 20%, mentre per carenze superiori al 20% lo strato dovrà essere demolito e ricostruito oppure modificato con modalità da concordare con la Direzione Lavori in modo da rientrare nei requisiti di accettabilità.

⁽¹⁾ La correlazione tra $E_{din,FWD}$ e M_d (modulo di deformazione da prova di carico statica su piastra) comunemente adottata è la seguente: $E_{din,FWD} = A M_d$, dove $A = 1.9 \div 2.1$ (Giannattasio et al., 1989).

La superficie finita non deve scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre 1 cm, controllata a mezzo di un regolo di 4 m. di lunghezza e disposto secondo due direzioni ortogonali. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza in più o in meno del 5%, purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione M_0 , accertato secondo le modalità previste dal presente Capitolato nell'intervallo compreso fra 1,5 e 2,5 daN/cm², deve risultare sempre non inferiore a 90 MPa.

31. Strato di fondazione o di sottobase realizzato con miscele legate

31.1. Realizzazione con misto cementato confezionato in centrale

31.1.1. Descrizione

Il misto cementato per fondazione deve essere costituito da una miscela di inerti lapidei, miscelata a sua volta con cemento ed acqua in impianto centralizzato, con dosatori a peso o a volume, da stendersi in un unico strato dello spessore indicato in Progetto.

31.1.2. Caratteristiche dei materiali da impiegare

31.1.2.1. Inerti

Saranno impiegate ghiaie e sabbie di cava e/o di fiume con percentuale di frantumato complessiva compresa tra il 30 ed il 60% in peso sul totale degli inerti.

A discrezione della Direzione Lavori potranno essere impiegate quantità di materiale frantumato superiori al limite stabilito; in questo caso la miscela finale dovrà essere tale da presentare le stesse resistenze a compressione e a trazione a 7 d prescritte nel seguito; questo risultato potrà ottenersi aumentando la percentuale delle sabbie presenti nella miscela e/o la quantità di passante al setaccio ISO 3310 con apertura 0,075 mm.

Per le granulometrie possibili, detti materiali potranno anche essere integrati con ceneri volanti.

Gli inerti avranno i seguenti requisiti:

- aggregato di dimensioni non superiori a 40 mm, né di forma appiattita, allungata o lenticolare;
- granulometria compresa nel seguente fuso ed avente andamento continuo ed uniforme (UNI EN 933-1):

Serie crivelli e setacci UNI		Passante % totale in peso
Setaccio	31,5	100
Setaccio	22.4	80-100
Setaccio	20	72-90
Setaccio	12,5	53-70
Setaccio	8	40-55
Setaccio	4	28-40
Setaccio	2	18-30
Setaccio	0,5	8-18
Setaccio	0,25	6-14
Setaccio	0,063	5-10

- perdita in peso alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2) non superiore a 30% in peso;
- equivalente in sabbia (UNI EN 933-8) compreso fra 30 e 60;
- indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS 17892-12) uguale a zero (materiale non plastico).

31.1.2.2. Legante

Deve essere impiegato cemento normale 32,5 o 32,5R (di tipo I, II, III, IV, V).

A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 3,5% sul peso degli inerti asciutti. È possibile sostituire parzialmente questa percentuale con cenere di carbone del tipo leggero di recente produzione. Orientativamente le ceneri leggere possono sostituire fino al 40% del peso indicato di cemento. La quantità in peso di ceneri da aggiungere per ottenere pari caratteristiche meccaniche, scaturirà da apposite prove di Laboratorio. Indicativamente ogni punto percentuale di cemento potrà essere sostituito da 4-5 punti percentuali di ceneri.

31.1.2.3. Acqua

Deve essere esente da impurità dannose, oli, acidi, alcali, materia organica e qualsiasi altra sostanza nociva. La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro $\pm 2\%$ del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze appresso indicate.

31.1.3. Studio della miscela in laboratorio

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori la composizione granulometrica da adottare e le caratteristiche della miscela.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

La percentuale di cemento e delle eventuali ceneri volanti, come la percentuale di acqua, saranno stabilite in relazione alle prove di resistenza eseguite sui provini cilindrici confezionati entro stampi C.B.R. (UNI EN 13286-47) impiegati senza disco spaziatore (altezza 17,78 cm, diametro 15,24 cm, volume 3242 cm³).

Per il confezionamento dei provini, gli stampi saranno muniti di collare di prolunga allo scopo di consentire il regolare costipamento dell'ultimo strato con la consueta eccedenza di circa 1 cm rispetto all'altezza dello stampo vero e proprio.

Tale eccedenza deve essere eliminata, previa rimozione del collare suddetto e rasatura dello stampo, affinché l'altezza del provino risulti definitivamente di 17,78 cm. La miscela di studio sarà preparata partendo da tutte le classi previste per gli inerti mescolandole tra loro, con il cemento, l'eventuale cenere e l'acqua nei quantitativi necessari ad ogni singolo provino.

Comunque prima di immettere la miscela negli stampi si opererà una vagliatura sul setaccio ISO 3310 con apertura 20 mm allontanando gli elementi trattenuti (di dimensione superiore a quella citata) con la sola pasta di cemento ad essi aderente.

I campioni da confezionare in Laboratorio devono essere protetti in sacchi di plastica per evitare l'evaporazione dell'acqua. Saranno confezionati almeno tre campioni ogni 250 m di lavorazione.

La miscela sarà costipata su 5 strati con il pestello, l'altezza di caduta di cui alla norma UNI EN 13286-2, 85 colpi per strato, in modo da ottenere un'energia di costipamento pari a quella della prova AASHTO modificata.

I provini devono essere estratti dallo stampo dopo 24 h e portati successivamente a stagionatura per altri 6 d in ambiente umido (umidità relativa non inferiore al 90% e temperatura di circa 20 °C); in caso di confezione in cantiere la stagionatura si farà in sabbia mantenuta umida.

Operando ripetutamente nel modo suddetto, con l'impiego di percentuali in peso d'acqua diverse (sempre riferite alla miscela intera, compreso quanto eliminato per vagliatura sul setaccio ISO 3310 con apertura 20 mm) potranno essere determinati i valori necessari al tracciamento dei diagrammi di studio. Lo stesso dicasi per le variazioni della percentuale di legante. I provini devono avere resistenze a compressione a 7 gg. non minori di 2,5 MPa e non superiori a 4,5 MPa, ed a trazione indiretta (o prova "brasiliana" - UNI EN 13286-42), non inferiori a 0,25 MPa.

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7,5 MPa (questi valori per la compressione e la trazione devono essere ottenuti dalla media di 3 provini, se ciascuno dei singoli valori non si scosta dalla media stessa di $\pm 15\%$, altrimenti dalla media dei due restanti dopo aver scartato il valore anomalo).

Da questi dati di Laboratorio devono essere scelti la granulometria e la densità al fine di confrontare le resistenze ottenute con quelle di progetto da usarsi come riferimento nelle prove di controllo.

31.1.4. Formazione e confezione delle miscele

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto.

Le zone destinate allo stoccaggio ed alla lavorazione degli inerti dovranno essere preventivamente e convenientemente sistemate, per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possano compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere nettamente separati tra loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si farà uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori, in numero corrispondente alle classi impiegate.

31.1.5. Posa in opera e tempo di maturazione

La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accettata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e compattezza prescritti. La stesa sarà eseguita impiegando finitrici vibranti.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 10^2$ KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

La stesa della miscela non dovrà di norma essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 0 °C e superiori a 25 °C e comunque mai sotto la pioggia.

Tuttavia, a discrezione della Direzione Lavori, potrà essere consentita la stesa anche a temperature comprese tra 25 e 35 °C. In questo caso è necessario proteggere da evaporazione la miscela durante il trasporto dall'impianto di confezione al luogo di impiego (ad esempio con teloni); è inoltre necessario provvedere ad un'abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato. Infine, le operazioni di costipamento e di stesa del velo di protezione con emulsione bituminosa (v. più avanti), devono essere eseguite immediatamente dopo la stesa della miscela.

Le condizioni ideali di lavoro si hanno con temperature comprese tra 15 e 18 °C ed umidità relativa del 50% circa. Temperature superiori saranno ancora accettabili, con umidità relativa anch'essa crescente; comunque è opportuno, anche per temperature inferiori alla media, che l'umidità relativa dell'ambiente non scenda al di sotto del 15%, in quanto ciò potrebbe provocare ugualmente un'eccessiva evaporazione della miscela.

Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non dovrà superare di norma le due ore, per garantire una sufficiente continuità strutturale dello strato. Particolari accorgimenti dovranno poi adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali, che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare.

Il giunto di ripresa sarà ottenuto di norma terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola stessa al momento della ripresa della stesa; se non si fa uso della tavola è necessario, prima della ripresa della stesa, provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete approssimativamente verticale.

Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte dal misto e comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

31.1.6. Protezione superficiale

Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dello strato, dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica al 55%, in ragione di 1-2 kg/m², in relazione al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposta la fondazione e successivo spargimento di sabbia.

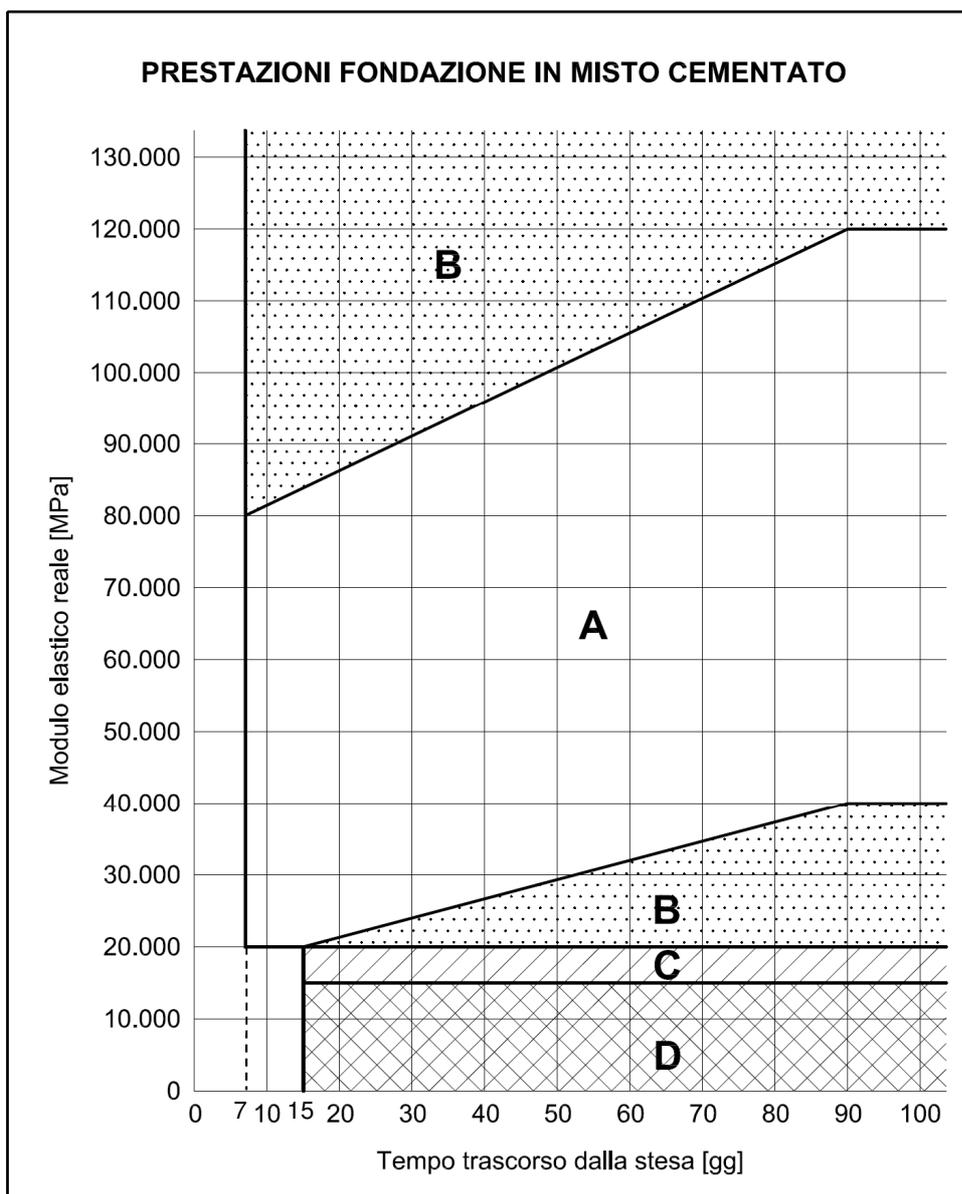
31.1.7. Norme di controllo delle lavorazioni, prestazioni e penali

Con esami giornalieri dovrà essere verificata la rispondenza delle caratteristiche granulometriche delle miscele. Sarà ammessa una tolleranza di $\pm 5\%$ fino al passante al setaccio con apertura 4 mm ISO 3310 e di $\pm 2\%$ per il passante al setaccio 2 mm ISO 3310 ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. A compattazione ultimata la densità secca in sito non deve risultare inferiore al 98% di quella determinata con prova AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) o al 94% di quella dei provini sottoposti a pressa giratoria a 180 giri.

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre non inferiore a 300 MPa.

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare come dal presente Capitolato, con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione M_d al 1° ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, rilevato in un tempo compreso fra 3 e 12 h dalla compattazione, deve sempre essere non inferiore a 150 MPa.

La media dei valori di modulo sui tronchi omogenei dovrà essere quella compresa nell'area A del diagramma che segue.



Se i valori ricadono nell'area B, lo strato (ed il pacchetto che la ricopre) potranno essere assoggettati, a discrezione della Direzione Lavori, ad una penale del 10% del prezzo, per tutto il tratto omogeneo a cui i valori si riferiscono.

I valori ricadenti nell'area C potranno comportare una penale del 20%, mentre quelli ricadenti nell'area D saranno rifiutati. In quest'ultimo caso il materiale dovrà essere rimosso e portato a discarica.

31.2. Realizzazione con riciclaggio in sito del misto cementato o granulare, con aggiunta di cemento e acqua

31.2.1. Descrizione

La rigenerazione in sito a freddo è realizzata mediante idonee attrezzature mobili (di norma *pulvimixer*⁽¹⁾) che consentono di miscelare in sito, anche in cassonetti ricavati da pavimentazioni preesistenti, il misto cementato per fondazione o il misto granulare costituenti la preesistente fondazione, con cemento ed eventuali inerti di apporto ed acqua, omogeneizzare, stendere per tutta la larghezza e profondità previste e compattare la miscela ottenuta, per uno spessore massimo di 30 cm.

⁽¹⁾ Macchina semovente o trainata, dotata di rullo trasversale fresante e mescolatore.

In alternativa si potranno usare materiali risultanti dalla fresatura di pavimentazioni bituminose (il cosiddetto “fresato”); in questo caso si possono accettare resistenze minori di quelle indicate nel seguito, ma con conseguente aumento degli spessori legati, in modo da ottenere comunque i moduli di cui al precedente punto sulle norme di controllo.

31.2.2. Caratteristiche dei materiali

31.2.2.1. Inerti

Nel caso di impiego della preesistente fondazione in misto granulare occorrerà verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille) e la rispondenza alle prescrizioni granulometriche (UNI EN 933-1) indicate nel fuso seguente:

Serie crivelli e setacci UNI		Passante % totale in peso
Setaccio	56	100
Setaccio	31,5	75 -100
Setaccio	20	60 - 87
Setaccio	8	35 - 67
Setaccio	4	25 - 50
Setaccio	2	15 - 40
Setaccio	0,5	7 - 22
Setaccio	0,063	2 - 10

Qualora le caratteristiche del misto non rispondessero a tali indicazioni, la Direzione Lavori ne prescriverà la correzione mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto. Gli inerti di integrazione dovranno provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) ed essere conformi a quanto richiesto dal presente Capitolato.

31.2.2.2. Cemento

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

31.2.2.3. Acqua

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

31.2.3. Studio della miscela di laboratorio

Le percentuali di cemento e di acqua ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle seguenti prove di laboratorio:

- eseguire sulla tratta interessata dai lavori prelievi di materiale sciolto fresato in sito e determinare in laboratorio la curva granulometrica di progetto del misto cementato o granulare da trattare (UNI EN 933-1). Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente, le determinazioni sopra riportate dovranno essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate;
- determinazione dell'umidità ottimale di costipamento e relativa densità massima secca della miscela di progetto, mediante prova Proctor (UNI EN 13286-2). La miscela granulometrica sottoposta a prova Proctor dovrà contenere una percentuale di cemento pari all'incirca alla metà di quella ottimale;
- la percentuale di cemento ottimale dovrà essere determinata compattando la miscela, privata del trattenuto al setaccio con apertura 25 mm (ISO 3310), entro stampi C.B.R. (UNI EN 13286-47) impiegati senza disco spaziatore all'umidità ottimale Proctor. La miscela dovrà essere compattata su 5 strati secondo la norma AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) incrementando di volta la percentuale di cemento (indicativamente dell'1%) riferita al peso secco della miscela degli inerti. Per ogni percentuale di cemento dovranno essere confezionati 18 provini. I provini così

confezionati dovranno essere estratti dallo stampo dopo 24 h e portati successivamente a stagionatura per altri 2 e 6 d in ambiente umido (umidità relativa non inferiore al 90% e temperatura di circa 20 °C). Da ogni provino, appena confezionato, deve essere immediatamente determinata la densità secca espressa in g/cm³ (CNR B.U. n. 29/72).

- le rotture dei provini devono avvenire secondo le seguenti modalità:

Stagionatura	Rottura a compressione	Rottura a trazione indiretta ⁽¹⁾
	N. provini	N. provini
24 h	3	3
3 g	3	3
7 g	3	3

Per l'esecuzione delle prove si farà riferimento alla UNI EN 13286-41 per la rottura a compressione e alla UNI EN 13286-42 per la rottura a trazione indiretta.

Da questi dati di laboratorio devono essere scelti la granulometria, la densità e le resistenze di progetto da usare come riferimento nelle prove di controllo.

La miscela ottimizzata dovrà possedere una resistenza a compressione a 7 gg non minore di 2,5 MPa e non superiore a 4,5 MPa, ed a trazione non inferiore a 0,25 MPa.

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7,5 MPa.

31.2.4. Posa in opera

La posa in opera della miscela deve essere effettuata mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Di norma, salvo diverse procedure da sottoporre preventivamente alla Direzione Lavori, si procede in questo modo:

- Rimozione della parte di strato da trattare mediante scarifica, con idonea pala cingolata munita di *rippers*, per lo spessore necessario;
- Spandimento del cemento in modo uniforme su tutta la superficie rimossa mediante idonei spargitori. Se inizia a piovere durante questa operazione, si renderà necessario interrompere la distribuzione del cemento ed iniziare immediatamente la miscelazione;
- Miscelazione preceduta da umidificazione, il cui grado sarà definito in funzione della percentuale di umidità presente nel materiale da trattare e delle condizioni ambientali, realizzata con idonea attrezzatura in grado di rimuovere e mescolare uniformemente il materiale per lo spessore necessario. La miscelazione dovrà interessare tutta la superficie in modo uniforme, comprese le fasce adiacenti alle pareti verticali dello scavo; non dovrà mai essere eseguita in condizioni ambientali e atmosferiche avverse, quali pioggia o temperatura ambiente eccedente l'intervallo ammissibile. Le condizioni ambientali ottimali si verificano con temperature intorno a 18°C e con tasso di umidità di circa il 50%; con temperature superiori l'umidità dovrà risultare anch'essa crescente. Con temperature inferiori il tasso di umidità non dovrà essere inferiore al 15%;
- Ripristino dei piani di progetto, livellando il materiale con idonea attrezzatura.

La miscela appena stesa dovrà essere immediatamente compattata, previa eventuale ulteriore umidificazione a discrezione della Direzione Lavori.

⁽¹⁾ Detta anche prova "brasiliana" o *splitting test*. E' contenuta nella norma UNI EN 12390-6 e si effettua sottoponendo a compressione un provino cilindrico secondo un asse diametrale. La resistenza a trazione si calcola con la formula:

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi LD}$$

dove: F = forza impressa verticalmente secondo due generatrici diametralmente opposte;

L = lunghezza del provino;

D = diametro del provino.

La resistenza a trazione di calcolo (assiale), secondo EC2, vale: $f_{ct} = 0.9f_{ct,sp}$

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 10^2$ KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito dovrà avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella derivante dalla prova AASHTO modificata.

Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m² ed un successivo spargimento di sabbia.

Con temperatura dell'aria inferiore ai 5 °C e superiore a 35 °C, la lavorazione della miscela dovrà essere sospesa e comunque sospesa sempre in caso di pioggia.

Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico dipenderanno dalle resistenze raggiunte e saranno decise di volta in volta secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

31.2.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni

Vale quanto indicato più sopra per il caso del misto cementato confezionato in centrale.

31.3. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di bitume schiumato e cemento

31.3.1. Descrizione

La rigenerazione in sito a freddo viene realizzata mediante idonee attrezzature mobili (con miscelatore a volume variabile) che consentano di:

- miscelare in sito la fondazione esistente, sia legata sia stabilizzata granulometricamente (o la medesima integrata con materiale bituminoso fresato), con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e se necessario inerti di apporto;
- omogeneizzare, stendere e compattare la miscela per uno spessore massimo di 30 cm e non inferiore a 20 cm, da intendersi come spessori finali dello strato compattato.

La schiuma di bitume è prodotta dalla reazione meccanica-fisico-chimica che avviene nel bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto del bitume di tipo BM, a circa 180 °C, con acqua ad alta pressione.

31.3.2. Caratteristiche dei materiali

31.3.2.1. Inerti

Nel caso di reimpiego della preesistente fondazione in misto granulare, occorre verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille), da eliminare se presenti. Saranno anche utilizzabili i materiali fresati ottenuti dagli strati superiori alla preesistente fondazione; in questo caso detti fresati verranno accumulati sul fianco del cavo e rimessi nel medesimo dopo asportazione della fondazione preesistente, non contenente materiali bituminosi.

Particolare cura verrà posta nel riposizionamento del fresato, onde evitare l'inquinamento delle miscele da materiale estraneo. In ambedue i casi si dovrà osservare la rispondenza alle prescrizioni granulometriche (UNI EN 933-1) indicate nel fuso seguente:

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100
Setaccio 31,5	85-100

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 20	75-95
Setaccio 12,5	65-87
Setaccio 8	50-75
Setaccio 4	30-55
Setaccio 2	22-37
Setaccio 0,5	10-20
Setaccio 0,063	5-10

Qualora le caratteristiche del misto non rispondessero a tali indicazioni, si dovrà operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto; dette aggiunte possono anche essere operate con materiali provenienti dalla fondazione sottostante al fresato bituminoso.

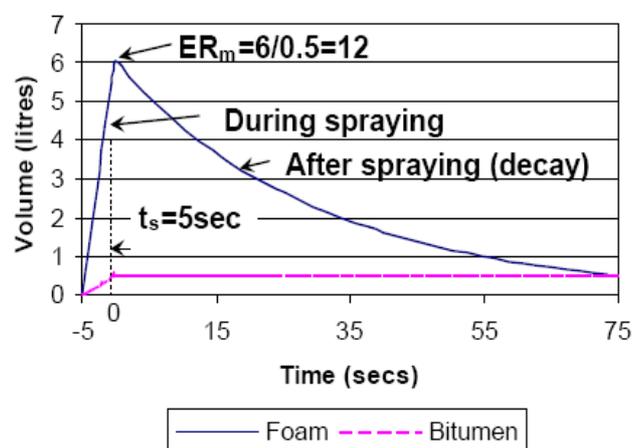
La fondazione esistente o gli strati ad essa superiori devono essere prelevati mediante fresatura per la determinazione della granulometria di riferimento. Gli inerti di integrazione devono provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) e devono essere conformi a quanto richiesto dal presente Capitolato.

31.3.2.2. Bitume schiumato

Il bitume da impiegare deve avere caratteristiche e prestazioni tali da garantire al prodotto finito i parametri di seguito indicati:

- rapporto di espansione⁽¹⁾ > 20;
- tempo di semitrasformazione del bitume⁽²⁾ > 25 s.

Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuale di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.



31.3.2.3. Cemento

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

31.3.2.4. Acqua

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

31.3.3. Prescrizioni progettuali

31.3.3.1. Studio della miscela in laboratorio

Le percentuali di cemento, acqua e bitume schiumato ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

⁽¹⁾ Rapporto tra il massimo volume raggiunto allo stato schiumoso e il volume finale del legante, esaurito il processo di schiumatura (ER_m nel diagramma di figura).

⁽²⁾ Tempo, in secondi, che intercorre tra il momento di massimo volume e quello in cui tale volume risulta dimezzato.

31.3.3.2. Prelievi in sito

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed intensificate in caso di accertata disomogeneità della miscela.

31.3.3.3. Granulometria di progetto

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).

31.3.3.4. Studio della miscela di progetto

Per la determinazione delle percentuali (in peso rispetto agli inerti) ottime di bitume schiumato, cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria, con le seguenti condizioni di prova:

- Angolo di rotazione : $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$;
- Velocità di rotazione : 30 rotazioni al minuto;
- Pressione verticale: 600 kPa;
- Diametro provino: 150 mm;
- n° giri : 180;
- Peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume schiumato [%]	2			3			4		
Umidità complessiva [%]	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Provini [n.]	6			6			6		

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42/2006) dopo sosta per 4 ore in forno termostatico a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- resistenza a trazione diametrale R_t a 72 ore di maturazione, maggiore o uguale a 0,40 MPa;
- coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione, maggiore o uguale a 60 MPa;

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare:

- perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- la resistenza a trazione indiretta : deve risultare almeno il 70% di quella ottimale.
- densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri.
- determinazione del modulo (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Frequenza [Hz]									
Modulo complesso [MPa]	> 6000	> 6800	> 7000	> 2700	> 3500	> 3600	> 1700	> 2400	> 2600

31.3.4. Posa in opera

La lavorazione in opera della miscela deve essere effettuata possibilmente con una sola passata (con macchine a tutta larghezza) per evitare il giunto longitudinale e problemi di planarità della superficie, mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi; nel caso di uso di miscelatrici più strette della larghezza da trattare, si dovrà operare in due o più passate, curando una certa sovrapposizione (per qualche decina di centimetri) delle strisciate contigue; nel caso di uso di fresato accumulato sul fianco del cavo e risteso nel medesimo, dopo asportazione del materiale preesistente, si dovrà operare una sua regolarizzazione al grader e successiva leggera compattazione, prima di operare con la miscelatrice.

I tempi di stoccaggio della miscela dovranno essere definiti di volta in volta in funzione della quantità di cemento presente e delle condizioni ambientali.

La miscela appena miscelata deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 10^2$ KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta mediante provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di adensamento è misurato di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n. 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari (v. in figura un modello della ditta americana *Troxler Electronics Laboratories Inc.*)⁽¹⁾.

Al termine del costipamento e di rifinitura deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m².

La lavorazione consente dopo compattazione un immediato traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per breve tempo, anche il traffico normale.



31.3.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti non prima di 12 h dalla stesa mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre non inferiore ai valori di cui alla tabella seguente.

TEMPO DI MATURAZIONE	MODULO (MPa)
da 12 a 24 ore	300
da 24 a 48 ore	500

⁽¹⁾ I “densimetri nucleari” sono strumenti elettronici (ve ne sono in versione portatile) che misurano la densità di un materiale, fino ad una determinata profondità massima, attraverso l’emissione in esso di radiazione gamma. La radiazione si scontra con le particelle del materiale ed un rivelatore Geiger-Mueller ne misura la quantità che rimbalza verso il sensore (*backscattering*), oppure quella che arriva al sensore (*direct transmission*). Tale quantità viene poi convertita, tramite un microprocessore, in una misura di densità. Maggiore è la quantità di radiazione rimbalzata (o trasmessa direttamente), maggiore (o minore) è la densità del materiale. Le norme di riferimento sono le ASTM: D7759-12, D6938-10, C1040/C1040M-08.

TEMPO DI MATURAZIONE	MODULO (MPa)
dopo 90 giorni	3000

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare come dal presente Capitolato, con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione M_d al 1° ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, misurato nei medesimi intervalli temporali, non deve mai essere inferiore, rispettivamente, ai valori: 150, 250, 1500 MPa.

In caso di risultati insoddisfacenti rispetto ai limiti indicati, i materiali potranno essere rifiutati.

31.4. Realizzazione con fresato, bitume schiumato e cemento miscelati a freddo in impianto

31.4.1. Descrizione

Lo strato superiore della fondazione (o sottobase), o anche lo strato di base, possono essere realizzati a freddo mediante idonei impianti fissi (anche trasportati nel luogo di impiego), che consentono di omogeneizzare con predosatori e mescolatori il materiale fresato, con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e, se necessario, inerti di apporto.

La schiuma di bitume è prodotta dalle reazioni fisico-chimiche fisiche del bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione, mediante il contatto del bitume, a circa 180 °C, con acqua ad alta pressione.

31.4.2. Caratteristiche dei materiali

31.4.2.1. Granulometria di progetto

Per la costruzione di fondazioni con impiego di fresato, in funzione del raggiungimento delle portanze indicate nel seguito, è consentita l'integrazione di inerti di adeguata pezzatura, in quantità non superiore al 30% in peso.

La granulometria deve essere compresa nel seguente fuso e deve avere andamento continuo:

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100
Setaccio 31,5	90-100
Setaccio 20	75-100
Setaccio 12,5	55-88
Setaccio 8	45-75
Setaccio 4	30-60
Setaccio 2	20-40
Setaccio 0,5	8-20
Setaccio 0,25	6-14
Setaccio 0,063	4-8

Il fresato può essere omogeneizzato granulometricamente mediante granulazione e/o vagliatura; qualora la curva granulometrica del fresato non rientrasse nel fuso, si deve operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

Gli inerti devono rispondere ai requisiti richiesti per lo strato di base, fatta eccezione per il valore del coefficiente Los Angeles, che deve essere minore di 30.

Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.

31.4.2.2. Bitume schiumato

Il bitume da impiegare deve essere del tipo BM (o 80-100 ma con le stesse caratteristiche del BM), mediante polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto del bitume a circa 180 °C con acqua in alta pressione.

Le caratteristiche e prestazioni devono rispondere alle seguenti prescrizioni (v. anche quanto riportato in precedenza):

- rapporto di espansione: > 20;
- tempo di semitrasformazione (tempo necessario per dimezzare l'espansione del bitume) > 25 s.

Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuale di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.

31.4.2.3. Cemento

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

31.4.2.4. Acqua

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

31.4.3. Prescrizioni progettuali

31.4.3.1. Progetto della miscela in laboratorio

Le percentuali di cemento, acqua e bitume schiumato ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

31.4.3.2. Prelievi in sito

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate.

31.4.3.3. Curva di progetto

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).

31.4.3.4. Studio della miscela di progetto

Per la determinazione delle percentuali (in peso rispetto agli inerti) ottimali di bitume schiumato, cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria, con le seguenti condizioni di prova:

- Angolo di rotazione : $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$;
- Velocità di rotazione : 30 rotazioni al minuto;
- Pressione verticale: 600 kPa;
- Diametro provino: 150 mm;
- n° giri : 180;
- Peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume schiumato [%]	2			3			4		
Umidità complessiva [%]	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Provini [n.]	6			6			6		

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42) dopo sosta per 4 ore in forno termostatico a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione diametrale R_t a 72 ore di maturazione, maggiore di 0,35 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione, maggiore di 60 MPa.

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare :

- Perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 70% di quella ottimale;
- Densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri;
- Determinazione del modulo complesso (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Modulo complesso [MPa]	> 4300	> 5200	> 5500	> 2800	> 3600	> 4000	> 1800	> 2500	> 2700

31.4.3.5. Attivanti chimici funzionali (ACF)

Devono essere impiegati nelle zone ad alto traffico prodotti rigeneranti il fresato, denominati ACF, in percentuali comprese tra il 3% e il 6% in peso sul bitume di aggiunta. Le percentuali di ACF devono essere stabilite in base alle caratteristiche meccaniche (R_t e CTI) dei provini confezionati con la pressa giratoria.

31.4.4. Posa in opera

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma e i requisiti di compattezza previsti ed accettati dalla Direzione Lavori e deve risultare esente da materiale estraneo.

La miscela è messa in opera mediante macchine vibro-finitrici, preferibilmente cingolate, e compattata in strati di spessore non superiore a 20 cm e non inferiore a 15 cm al finito.

Il piano finale deve risultare perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi.

I tempi di stoccaggio della miscela sono definiti di volta in volta, in funzione del dosaggio del cemento e delle condizioni ambientali.

Particolare attenzione deve essere posta nella realizzazione dei giunti longitudinali e trasversali.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 10^2$ kPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta con provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di addensamento è misurato di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n° 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari.

Al termine del costipamento e di rifinitura deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m².

La lavorazione consente dopo compattazione un immediato traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per breve tempo, anche il traffico normale.

31.4.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni

Come al paragrafo precedente.

31.5. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di emulsione bituminosa modificata e cemento

31.5.1. Generalità

La rigenerazione in sito a freddo viene realizzata mediante idonee attrezzature, che consentano di:

- miscelare sul posto misti cementati, misti granulari o altri materiali anche bitumati preesistenti, con emulsione bituminosa modificata, cemento, acqua ed eventuali inerti freschi di apporto;
- omogeneizzare, stendere e compattare la miscela ottenuta per lo spessore di progetto. Spessori più alti saranno accettati purché sia presente una sufficiente capacità drenante dello strato di supporto (per lo smaltimento delle acque in eccesso) e siano usate macchine con mescolatori abbastanza capienti per consentire l'ottenimento di miscele omogenee ed uniformi, anche per strati di spessore > 15 cm.

31.5.2. Caratteristiche dei materiali

Per la realizzazione della miscela, in funzione del raggiungimento delle portanze indicate nel seguito, è consentita l'integrazione con inerti di adeguata pezzatura, non superiore al 30% in peso. Gli inerti di integrazione devono provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) e devono essere conformi alle specifiche tecniche della miscela di base, oppure da fresatura degli strati superiori a quello trattato. Nel caso di impiego della preesistente fondazione in misto granulare, occorrerà verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille).

31.5.2.1. Granulometria di progetto

La granulometria della miscela finale deve essere compresa nel seguente fuso e avere andamento continuo:

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100
Setaccio 31,5	80-100
Setaccio 20	65-90
Setaccio 12,5	52-78
Setaccio 8	40-68
Setaccio 4	30-55
Setaccio 2	18-40
Setaccio 0,5	8-22
Setaccio 0,063	3-10

Qualora la curva granulometrica del misto non consenta la realizzazione della curva di progetto, si deve operare mediante aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.

31.5.2.2. Legante

Il bitume finale deve essere costituito da quello presente nel materiale fresato, integrato con quello proveniente dall'emulsione bituminosa formata con bitume modificato, con aggiunta di attivanti o ritardanti chimici.

La percentuale di bitume nell'emulsione deve essere compresa tra il 60% e il 70% in peso.

31.5.2.3. Cemento

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

31.5.2.4. Acqua

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

31.5.3. Prescrizioni progettuali

31.5.3.1. Progetto della miscela di laboratorio

Le percentuali di cemento, acqua ed emulsione ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti, saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

31.5.3.2. Prelievi in sito

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente, le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m, ed in caso di disomogeneità della miscela, opportunamente intensificate.

31.5.3.3. Granulometria di progetto

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).

31.5.3.4. Studio della miscela di progetto

Per la determinazione delle percentuali ottime di emulsione (da riferirsi in peso sugli inerti), cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria con le seguenti condizioni di prova:

- angolo di rotazione: $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$;
- velocità di rotazione: 30 rotazioni al minuto;
- pressione verticale: 600 kPa;
- diametro provino: 150 mm;
- n° giri: 180;
- peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume proveniente dall'emulsione [%]	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5
Umidità complessiva [%]	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Provini [n.]	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42) dopo sosta in forno termostatico per 4 ore a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali, la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione diametrale R_t a 72 ore di maturazione, maggiore di 0,40 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione maggiore di 60 MPa;

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare :

- Perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 70% di quella ottimale.
- Densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri
- Determinazione del modulo complesso (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Modulo complesso [MPa]	> 6000	> 6800	> 7000	> 2700	> 3500	> 3600	> 1700	> 2400	> 2600

Per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico, dalla miscela ottimale devono essere confezionati con le stesse modalità di cui sopra n. 3 provini da sottoporre a maturazione per 24 h a 20 °C, da sottoporre a prova di trazione indiretta (UNI EN 13286-42) a 25 °C, dopo sosta in forno termostatico per 4 ore, sempre a 25 °C.

I requisiti richiesti sono:

- Resistenza a trazione diametrale R_t a 24 ore di maturazione, maggiore di 0,18 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 24 ore di maturazione, maggiore di 20 MPa.

31.5.4. Posa in opera

La messa in opera della miscela deve essere effettuata mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione di elementi litoidi più grossi.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 102$ KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta con provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di addensamento è misurato

di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n° 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari.

Con temperatura dell'aria inferiore ai 5 °C la lavorazione della miscela deve essere sospesa e comunque sospesa sempre in caso di pioggia.

Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico dipenderanno dalle resistenze raggiunte e saranno decise di volta in volta secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

31.5.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni

Come paragrafo precedente.

31.6. Realizzazione con misto cementato realizzato in sito, con impiego di prodotti stabilizzanti

31.6.1. Descrizione

I materiali della fondazione esistente in misto granulare, anche se inquinati da sostanze argillose od altro, possono essere reimpiegati quando non è possibile o conveniente provvedere alla loro integrale sostituzione (tratti autostradali con grande volume di traffico, irreperibilità di materiali idonei, urgenza di riaprire al traffico i tratti bonificati ecc.), miscelandoli in sito con cemento ed opportune sostanze chimiche inorganiche chiamate "stabilizzanti".

Questi prodotti, forniti in polvere, sono costituiti da una miscela di sali alcalino-terrosi (sodio, potassio, alluminio, calcio, ferro, ecc.) da applicarsi diluiti in acqua nello strato da trattare e, unitamente al cemento, producono un'azione di coesione dei limi e delle argille presenti nel materiale in sito e permettono le normali reazioni di idratazione e presa per la miscela terra-cemento, contenendo anche gli effetti del ritiro durante la presa.

31.6.2. Materiali

Sono i seguenti:

- prodotto stabilizzante, in ragione di 1 kg per metro cubo di materiale da trattare, diluito in una quantità di acqua che è funzione dell'umidità presente nel misto;
- legante: cemento *portland*, pozzolanico o d'alto forno di classe 32,5;
- acqua: vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

31.6.3. Studio della miscela

Verificata preventivamente la presenza di sostanze limose o argillose nello strato di misto granulare da trattare, deve essere effettuato uno studio di laboratorio per definire le percentuali di aggiunta di cemento ed acqua, in funzione dei valori di resistenza da ottenere, tenendo conto della correzione con i prodotti stabilizzanti, che è assunta costante come detto in precedenza.

31.6.4. Modalità esecutive

La rimozione della parte di strato da trattare deve essere effettuata per le profondità indicate dalla Direzione Lavori con idonee attrezzature e comunque non inferiori ai 25 cm.

Il legante cementizio, nelle quantità definite nella fase progettuale, deve essere distribuito in maniera uniforme mediante idonei spargitori su tutta la superficie rimossa e miscelato con macchina *pulvimixer*, in grado di rimuovere e mescolare uniformemente uno spessore minimo di 25 cm.

Al termine della miscelazione dovrà essere aggiunta la soluzione acquosa contenente il prodotto stabilizzante e l'opportuna quantità di acqua. Seguirà una seconda e più accurata miscelazione, effettuata in modo analogo.

Quando le argille sono presenti solo in zone circoscritte rispetto all'intera superficie interessata dai normali lavori di risanamento, questa lavorazione dovrà essere limitata solo a queste zone.

La miscelazione dovrà interessare tutta la superficie in modo uniforme, comprese le fasce adiacenti alle pareti verticali dello scavo. La miscelazione non dovrà mai essere eseguita in condizioni ambientali ed atmosferiche avverse, quali pioggia o temperatura ambiente non comprese tra 5 °C e 35 °C.

Le condizioni ambientali ottimali si verificano con temperature intorno a 18 °C e con tasso di umidità di circa il 50%; con temperature superiori l'umidità deve risultare anch'essa crescente. Con temperature inferiori il tasso di umidità non deve essere inferiore al 15%.

Completata l'operazione di miscelazione si dovrà provvedere al regolare ripristino dei piani livellando il materiale con idonea attrezzatura secondo le quote di progetto e le disposizioni della Direzione Lavori.

Il materiale dovrà presentare in ogni suo punto uniformità granulometrica e giusto dosaggio di cemento.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a $5,05 \cdot 102$ KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

31.6.5. Norme di controllo delle lavorazioni

Valgono le stesse prescrizioni indicate in precedenza per fondazioni o sottobasi in misto cementato.

32. Pavimentazioni in conglomerato bituminoso

32.1. Leganti bituminosi di base e modificati

32.1.1. Leganti bituminosi semisolidi - caratteristiche e penali

I leganti bituminosi semisolidi di base per usi diretti o per modifiche successive con polimeri o altri trattamenti, sono quei leganti per uso stradale costituiti da bitumi prodotti in raffineria mediante: distillazione primaria (topping e vacuum); conversione (cracking termico, visbreaking);

I leganti bituminosi usati senza alcun trattamento sono di normale produzione da raffineria vengono definiti di tipo A e vengono impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi tradizionali di cui all'art. 33.2.

I bitumi da modificare con additivi sono denominati di "base modifica" e chiamati "BM",

La tabella sinottica I° che segue indica i diversi tipi di leganti utilizzabili; quella successiva, denominata tabella sinottica II° i conglomerati in cui vengono impiegati e la terza, tabella sinottica III°, gli additivi utilizzati nelle modifiche.

TAVOLA SINOTTICA I° LEGANTI BITUMINOSI NORMALI E MODIFICATI

Categoria Leganti	Tab.	Sigla Bitume	Campi di applicazione (per le sigle vedi tab sinottica II)
Bitume tal quale per usi diretti	3.2.	A, A1	CB, CBS
Bitume di base per modifiche	3.2.1.	BM	CBM, CBH, CBD, MT, MTF, TSC, CBV, S, GT, MAD, MAMT, MAV, MAPCP
Bitume Medium(°)	3.3.3.	B	CBM
Bitume Hard	3.3.4.	C	CBH(°), CBD, CBMD, CBV, CBMU, CBDC, TSC, MT, MAD, MAMT, MAV, MAPCP, ECD
Bitume Hard per: Microtappeti a freddo, Riciclaggio in sito a freddo	3.3.5.	D	MTF, CBRF
Bitume Hard per: Sigillature, Giunti tamponi	3.3.6.	E	S, GT
Emulsioni bituminose cationiche	3.3.7.	F1, F2	MAF

Altri materiali coadiuvanti l'azione legante	Tab.	Sigla Bitume	Campi di applicazione (per le sigle vedi tab sinottica II)
Attivanti chimici funzionali	3.3.8.	A.C.F.	CBR ^(***) , CBRF, CBS
Dopes di adesione		DOP	Dove previsto dall'art. 3.3.6
Fibre di natura minerale (vetro) o miste	3.4.1.	MST	CBD, TSC, MT,CBMD,CBMU,ECD
Fibre di natura minerale (vetro) a filo continuo	3.4.2.	MST	MTF
Leganti sintetici	3.5.	LS	TSS

(*) Usato nei CB quando il bitume di base non raggiunge i minimi richiesti

(**) Per aumentare la durata a fatica dei CB

(***) Vengono usati per riattivare le caratteristiche reologiche dei bitumi nei CBR (strati di base, collegamento, usura)

TAVOLA SINOTTICA II° CONGLOMERATI BITUMINOSI

Sigla	Campi di applicazione
CB	Conglomerati bituminosi con bitume tal quale
CBM	Conglomerati bituminosi speciali per strati di base, collegamento ed usura, con bitume a modifica "Medium"
CBH	Conglomerati bituminosi ad alta resistenza a fatica per strati di base, collegamento ed usura, con bitume a modifica "Hard"
CBD	Conglomerato bituminoso drenante fono-assorbente monostrato
CBMD	Conglomerato bituminoso micro-drenante per usura
CBDC	Conglomerato bituminoso drenante calcareo
CBR	Conglomerato bituminoso riciclato
CBMU	Conglomerato bituminoso micro-usura
MT	Microtappeti ad elevata rugosità (parzialmente drenanti)
ECD	Conglomerato bituminoso ecodrenante
CBS	Conglomerato bituminoso schiumato
CBRF	Conglomerato bituminoso riciclati a freddo con emulsione
TSC	Trattamenti superficiali a caldo
MTF	Microtappeti a freddo
CBV	Conglomerato bituminoso per viadotti
S	Sigillature
GT	Giunti a tampone
MAD	Mano di attacco per CBD,CBDC
MAMT	Mano di attacco per MT, CBMU
MAV	Mano di attacco per CBV (tra membrana e CBV)
MAPCP	Mano di attacco per PCP(lastra in cls ad armatura continua)
MAF	Mano di attacco a freddo per conglomerati bituminosi tradizionali

TAVOLA SINOTTICA III° ADDITIVI

Sigla	Polimeri e Additivi
SBSr	Stirene-Butadiene-Stirene a struttura radiale
SBSl	Stirene-Butadiene-Stirene a struttura lineare
SIS	Stirene-Isoprene-Stirene
EVA	Etilene-Vinil-Acetano
LDPE	Polietilene a bassa densità
A.C.F.	Attivanti Chimici Funzionali
FM	Fibre Minerali (vetro) o Miste
FV	Fibre Vegetali
LS	Leganti Sintetici

32.1.1.1. Bitumi di base

I leganti bituminosi semisolidi impiegati senza alcun trattamento sono quei bitumi per uso stradale di normale produzione di raffineria (definiti tipo A) con le caratteristiche indicate in Tab. 1 impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi tradizionali a caldo di cui all'art. 33.2. Nella Tab. 1 sono riportate le caratteristiche riferite al prodotto di base "A" così come viene prelevato nelle cisterne e/o nei serbatoi di stoccaggio. I prelievi devono essere fatti secondo quanto prescritto dalle normative: UNI EN 58/2005.

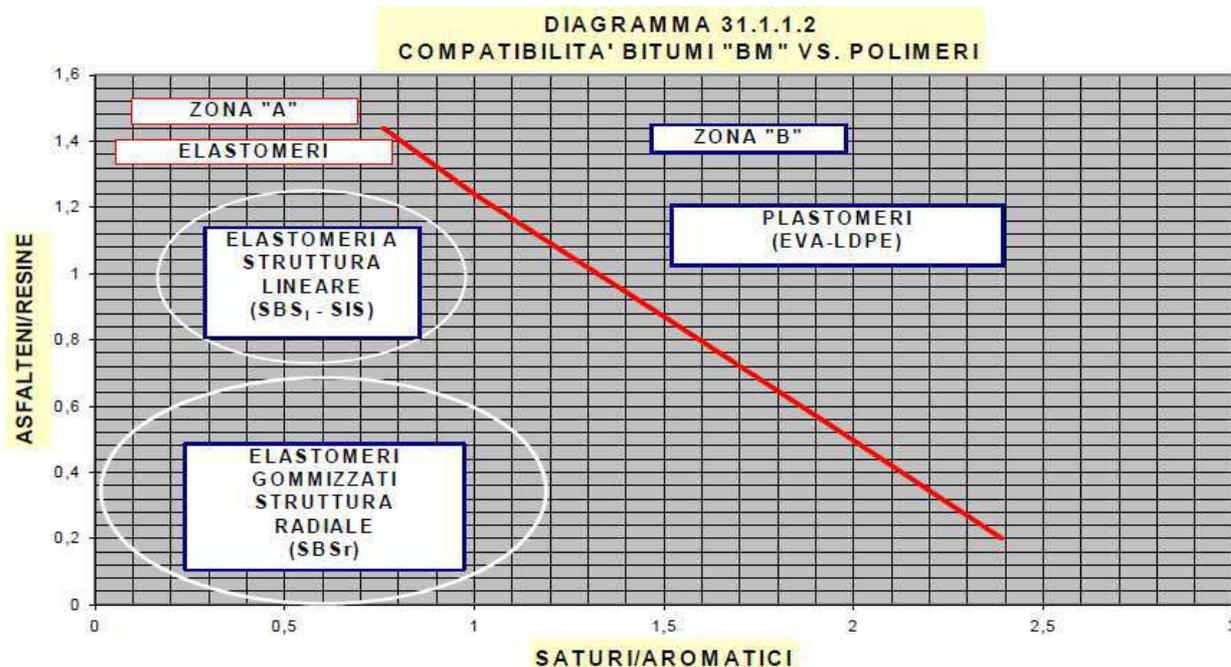
TABELLA 1 - Bitume "A" (50/70)

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN 1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	46-56
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12593	≤ 2 -6
Solubilità in Tricloroetilene, min.	%	UNI EN12592	≥ 99
Viscosità dinamica a160°C,gradiente di velocità $\dot{\gamma}=10s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	≥ 0.05 - ≤ 20,2
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI EN 12607-1	≤ 20,5
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 50
Incremento del Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	≤ 9

(*) Rolling Thin Film Oven Test

32.1.1.2. Caratteristiche del bitume di base "BM" per la modifica con polimeri

Per i leganti bituminosi semisolidi di base BM indichiamo 8 caratteristiche più i frazionamenti chimici riferiti agli asfalteni, polari (resine), aromatici, saturi determinati mediante analisi TLC/FID Iatroscan. Per questi ultimi, i valori dei rapporti asfalteni/resine e saturi/aromatici dovranno essere tali da rientrare nel quadrante di compatibilità riportato nel diagramma seguente, inoltre si dovrà rientrare nei limiti almeno per 4 caratteristiche su 8, obbligatoria la rispondenza nelle grandezze riferite alla viscosità dinamica a T=160°C, perdita per riscaldamento (volatilità) a T=163°C, penetrazione e punto di rammollimento, obbligatoria sempre la rispondenza nelle grandezze riferite ai rapporti dei frazionamenti chimici del diagramma.



Nella tabella 2 e nel diagramma di cui sopra sono riportate le caratteristiche che deve avere il prodotto di base modifica "BM" quando viene prelevato nelle cisterne e/o nei serbatoi di stoccaggio.

I prelievi devono essere fatti secondo quanto prescritto dalla normativa UNI EN 58/2005.

La non rispondenza del legante alle caratteristiche richieste nella tabella 2 comporta l'applicazione delle penalità di cui all'art. 33.1.1.3.

TABELLA 2 - Bitume BM

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN1426	80-100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	40-44
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12593	≤ -8
Solubilità in Tricloroetilene, min.	%	UNI EN12592	≥ 99
Viscosità dinamica a160°C, gradiente di velocità $\dot{\gamma}=10s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	> 0.1
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI EN 12607-1	≤ 0,5
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 50
Incremento del Punto di rammollimento	°C ≤9	UNI EN1427	≤ 9

(*) Rolling Thin Film Oven Test

32.1.1.3. Leganti bituminosi modificati

I leganti bituminosi modificati sono quei leganti per uso stradale costituiti da bitumi di base ed appositi polimeri ed additivi (vedi tavola sinottica III°).

Possono anche essere modificati con azione termo-meccanica come avviene per i bitumi schiumati.

Nel seguito indichiamo le 9 caratteristiche dei bitumi modificati "Medium" siglati: "B" e "D", e le 10 caratteristiche per quelli a modifica "Hard" siglati "C".

Si deve rientrare nei limiti per almeno 5 caratteristiche su 9 e 5 caratteristiche su 10 per i bitumi modificati siglati: B, D, C; è sempre obbligatoria la rispondenza nelle grandezze riferite alla: viscosità dinamica a T=160°C, penetrazione, punto di rammollimento, ritorno elastico a T=25°C e stabilità allo stoccaggio.

Qualora i bitumi modificati non risultino come da richieste testé definite, o per carenza definita nell'art. 33.1.1.1 o per carenza della modifica, verranno penalizzati del 10% i prezzi di tutti i conglomerati per strati di base, collegamento ed usura o per altri impieghi, confezionati con la partita di bitume a cui si riferiscono le prove.

L'applicazione di queste penali non esclude quelle previste in altri articoli delle presenti norme, riferite a caratteristiche prestazionali del prodotto finito quali: moduli, durate, resistenze, regolarità, ecc.

Nella tavola sinottica II° sono riportate le categorie dei leganti per tipo di modifica e campi di applicazione.

32.1.1.4. Certificazione di qualità

I bitumi modificati da impiegare nelle lavorazioni, devono essere forniti da Produttori Certificati in Qualità che dimostrino la disponibilità di un efficiente sistema per il controllo qualitativo della produzione. Le verifiche di rispondenza, in conformità a quanto previsto dalle Norme UNI EN ISO 9002/94, devono essere certificate da Enti riconosciuti, in conformità alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n° 2357 del 16.05.1996 (Gazzetta Ufficiale n° 125 del 30.05.1996). La Direzione Lavori e la Committente potranno effettuare in contraddittorio, in ogni momento e a loro insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, prelievi e controlli sul prodotto finito. La non rispondenza dei requisiti comporta, dopo eventuale ulteriore verifica, la sospensione dei lavori sino alla risoluzione delle anomalie rilevate e/o l'applicazione delle penali previste.

32.1.2. Bitumi modificati con additivi

I bitumi modificati rappresentano quei leganti per uso stradale di nuova generazione, che garantiscono una maggiore durata a fatica delle miscele bituminose rispetto a quelle impieganti bitumi di base o che riducano l'attitudine alla deformazione permanente dei conglomerati o permettano altri risultati altrimenti impossibili con i conglomerati normali.

La loro produzione avviene in impianti industriali dove vengono intimamente miscelati i bitumi base modifica “BM” (vedi tab.31.1.1.2) con polimeri di natura elastomerica e/o plastomerica e/o altre tipologie di modifica. I bitumi modificati, in funzione del tipo di modifica, vengono così definiti:

Bitume con modifica “MEDIUM” (caratteristiche sono riportate nella tabella 3)

Bitumi con modifica “HARD” (caratteristiche riportate nelle tabelle 4, 5, 6)

I bitumi con modifica “ MEDIUM ” possono essere impiegati nelle miscele di base, collegamento e usura, mentre i bitumi a modifica “HARD”, utilizzabili in tutte le miscele, devono essere tassativamente impiegati nelle miscele particolari indicate nella Tavola sinottica l° art. 33.1.1 salvo diversa indicazione della Committente.

I bitumi modificati, sia “ MEDIUM ” che “HARD”, preparati da “MASTER” (bitume madre modificato con percentuali elevate di polimero) devono essere successivamente tagliati per aggiunta e miscelazione di bitume di base in percentuali tali da raggiungere le caratteristiche richieste nelle tabelle 3, 4, 5, 6.

Per i bitumi modificati, sia “ MEDIUM ” che “HARD”, il produttore deve certificare le seguenti caratteristiche: penetrazione a 25°C, punto di rammollimento, recupero elastico a 25°C e la stabilità allo stoccaggio. La certificazione deve accompagnare tassativamente il quantitativo trasportato.

Inoltre il produttore deve indicare, nella stessa modulistica di certificazione del prodotto trasportato, le condizioni di temperatura da attuare per le operazioni di: pompaggio, stoccaggio e di lavorazione (miscelazione). La produzione di bitumi modificati può avvenire anche agli impianti di fabbricazione dei conglomerati bituminosi, Certificati in Qualità, purché i bitumi prodotti abbiano le caratteristiche richieste nelle tabelle: 3, 4, 5, 6.

In questo caso i carichi di bitume base modifica devono essere testati almeno sui valori del punto di rammollimento e della penetrazione (vedi tab. 2).

32.1.3. Bitumi con modifica “MEDIUM”

Tali bitumi vanno usati quando i bitumi tal quali non rientrano nelle caratteristiche richieste o non permettono le volute prestazioni dei conglomerati bituminosi per strati di base, collegamento ed usura. La modifica deve conseguire sul legante i seguenti risultati:

TABELLA 3 - BITUME “MEDIUM”- LEGANTE “B”

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	≥ 60
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12593	≤ -10
Viscosità dinamica a160°C, $\dot{\gamma}=100s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	≥ 0.10 - ≤ 0,3
Ritorno elastico a25°C, 50mm/min	%	UNI EN13398	≥ 65
Stabilità allo stoccaggio, 3 gg, a180 Δ Punto di rammollimento	°C	UNI EN13399	≤ 3
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI 12067-1	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 40
Incremento del Punto di rammollimento	°C 9	UNI EN1427	≤ 8

(*) Rolling Thin Film Oven Test

32.1.4. Bitumi con modifica “HARD”

Le caratteristiche dei leganti con modifica “Hard” da impiegare per la realizzazione di conglomerati bituminosi “Hard” - CBH (Vedi tavola sinottica l°), conglomerati bituminosi drenanti (CBD), microtappeti ad elevata rugosità (MT), microtappeti superficiali a freddo tipo “Macro Seal” (MTF), mano di attacco per usure drenanti (MAD), mano di attacco per microtappeti (MAMT), mano di attacco per micro-usure (CBMU), mano di attacco tra membrane continue di imper-

meabilizzazione e pavimentazioni sulle opere d'arte (MAV), mano di attacco per PCP (lastra in cls ad armatura continua) (MAPCP), sigillature (S), giunti a tampone (GT), pavimentazioni di viadotti (CBV), sono riportate nelle tabelle che seguono. Tipologie di modifica diverse saranno valutate prima dell'uso, di volta in volta dal Centro Rilevamento Dati di Fiano Romano (SRC/MCL) della Committente.

TABELLA 4 - BITUME HARD - LEGANTE "C"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	≥ 70
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12693	≤ -12
Viscosità dinamica a160°C, $\dot{\gamma}=100s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	≥ 0.15 - ≤ 0,40
Ritorno elastico a25°C, 50mm/min	%	UNI EN13398	≥ 80
Stabilità allo stoccaggio, 3 gg, a180 Δ Punto di rammollimento	°C	UNI EN13399	≤ 3
Resistenza a fatica, $G*\sin\delta$, 1.0kPa (0.145 psi), a10 rad/s, 50°C	Kpa	SHRP B-003	≥ 9
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI EN 12607-1	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 40
Incremento del Punto di rammollimento	°C 29	UNI EN1427	≤ 5

(*) Rolling Thin Film Oven Test

TABELLA 5 - BITUME HARD - LEGANTE "D"(**)

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	≥ 60
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12593	≤ -10
Viscosità dinamica a160°C, $\dot{\gamma}=100s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	≥ 0.05 - ≤ 0,20
Ritorno elastico a25°C, 50mm/min	%	UNI EN13398	≥ 60
Stabilità allo stoccaggio, 3 gg, a180 Δ Punto di rammollimento	°C	UNI EN13399	≤ 3
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI 12607-1	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 40
Incremento del Punto di rammollimento	°C 29	UNI EN1427	≤ 10

(*) Rolling Thin Film Oven Test

(**) Da usare in emulsione con acqua, agenti emulsionanti e flussanti

TABELLA 6 - BITUME HARD - LEGANTE "E"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0,1 mm	UNI EN1426	20-40
Punto di rammollimento	°C	UNI EN1427	≥ 60
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN12593	≤ -10
Viscosità dinamica a160°C, $\dot{\gamma}=100s^{-1}$	Pa*s	UNI EN13702-2	≥ 0.70 - ≤ 2,00
Ritorno elastico a25°C, 50mm/min	%	UNI EN13398	≥ 80
Stabilità allo stoccaggio, 3 gg, a180 Δ Punto di rammollimento	°C	UNI EN13399	≤ 4
Valori dopo RTFOT (*)			
Perdita per riscaldamento(volatilità) a163°C	%	UNI 12607-1	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN1426	≥ 15
Incremento del Punto di rammollimento	°C 9	UNI EN1427	≤ 10

(*) Rolling Thin Film Oven Test

I bitumi hard (art. 33.1.4, tab. 4) devono inoltre essere sottoposti a prova ReoDin (Metodologia Prova Interna CS-05) mediante reometro dinamico rotazionale (Dynamic Shear Rheometer).

La metodologia è con sistema piatto-piatto (25mm di diametro e 1 mm di apertura) con controllo di taglio ($\tau=200Pa$ con frequenza di oscillazione di 1,59 Hz), in controllo di temperatura (da 6°C a 86°C) e step di 0,017 °C/sec. I valori di G^* (modulo complesso) e δ (angolo di fase) devono essere contenuti nei fusi qui riportati

Temperatura (°C)	Fuso G^* (Pa)		Fuso δ (°)	
5	3000000	7000000	2	10
10	2500000	6000000	6	16
15	1800000	4500000	11	30
20	900000	2800000	19	48
25	330000	1500000	28	61
30	120000	700000	37	66
35	50000	320000	42	68
40	24000	150000	45	69
45	11000	80000	46	70
50	5400	42000	46	70
55	3000	23000	47	71
60	1600	13000	48	72
65	900	8000	50	74
70	500	5000	52	78
75	300	3000	54	83
80	160	1800	58	87
85	100	1200	62	90

32.1.5. Emulsioni bituminose cationiche

Le emulsioni bituminose cationiche, definite leganti "F1" e "F2" nella tavola sinottica l° andranno usate di massima per le mani di attacco tradizionali per conglomerati bituminosi normali.

EMULSIONI BITUMINOSE CATIONICHE - LEGANTE "F1" e "F2"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	" F1 " a rapida rottura (RR55)	" F2 " a media rottura (RM55)
Contenuto di acqua	% in peso	CNR n°100 a	≤ 45	≤ 40
Contenuto di legante (bitume + flussante)	% in peso	CNR n°100 b	≥ 55	≥ 60
Contenuto di flussante	% in peso	CNR n°100 c	≤ 2	≤ 6
Contenuto di bitume (residuo di distillazione), min	% in peso	ASTM D244-72	≥ 55	≥ 54
Viscosità Engler a 20°C	°E	IP 212/66	3 / 10	5 / 12
Carica delle particelle		ASTM D244-72	Positiva	Positiva
Penetrazione a 25°C, max	1/10 mm	CNR BU 24	≤ 220	≤ 220
Punto di rammollimento, min	°C	CNR BU 35	≥ 35	≥ 35

32.1.6. Attivanti chimici funzionali (A.C.F.)

Detti composti chimici sono da utilizzare come additivi per i conglomerati bituminosi a caldo (CB "Normali", CBM "Medium" e CBH "Hard" per strati di Base – in zone ad alto traffico), per i Conglomerati Bituminosi riciclati a freddo (CBS e CBRF - in zone ad alto traffico) e per i Conglomerati Drenanti Riciclati (CBDR – impiego indispensabile in ogni caso).

Gli A.C.F. rigenerano le caratteristiche del bitume invecchiato proveniente dalla fresatura di pavimentazioni bituminose (CBR) e rappresentano quei formulati studiati appositamente per migliorare la tecnologia del riciclaggio e/o l'impiego di riciclati in miscele tradizionali.

In particolare gli A.C.F. devono svolgere le seguenti funzioni:

- una energica azione quale attivante di adesione;
- peptizzante e diluente nei confronti del bitume invecchiato ancora legato alle superfici degli elementi lapidei costituenti il conglomerato fresato;
- plastificante ad integrazione delle frazioni malteniche perse dal bitume durante la sua vita ;
- disperdente al fine di ottimizzare l'omogeneizzazione del legante nel conglomerato finale;
- antiossidante in contrapposizione agli effetti ossidativi dovuti ai raggi ultravioletti ed alle condizioni termiche della pavimentazione.

Gli A.C.F. devono avere le seguenti caratteristiche chimico-fisiche:

Caratteristiche	Valore
Densità a 25/25°C. (ASTM D - 1298)	0,900 - 0,950
Punto di infiammabilità v.a. (ASTM D - 92)	200 °C
Viscosità dinamica a60°C, $\dot{\gamma} = 100 \text{ s}^{-1}$ (SNV 671908/74)	0,03 - 0,05 Pa*s
Solubilità in tricloroetilene (ASTM D - 2042)	99,5% in peso
Numero di neutralizzazione (IP 213)	1,5-2,5 mg/KOH/g
Contenuto di acqua (ASTM D - 95)	1% in volume
Contenuto di azoto (ASTM D - 3228)	0,8 - 1,0% in peso

L'accettazione degli A.C.F. è subordinata alle prove condotte dal Laboratorio di Fiano Romano della Società.

La loro presenza è verificata, sul bitume estratto dalle miscele, con il metodo di prova per la ricerca degli attivanti di adesione nei conglomerati bituminosi mediante analisi colorimetrica. Metodo che segue le designazioni fissate dalla normativa ASTM D 2327-68 (Riapprovata nel 74).

32.1.7. Dopes di adesione

Nella confezione dei conglomerati bituminosi in caso di impiego di inerti di natura acida, di bitumi di base e alcune modifiche soft (in base ai risultati di laboratorio), saranno impiegate speciali sostanze chimiche attivanti l'adesione bitume-aggregato (agenti tensioattivi di adesività).

Si avrà cura di scegliere tra i prodotti in commercio quello che sulla base di prove comparative, effettuate presso il Laboratorio di Fiano Romano della Società, avrà dato i migliori risultati e che conservi le proprie caratteristiche chimiche anche se sottoposto a temperature elevate e prolungate. La presenza degli agenti tensioattivi nel legante bituminoso verrà accertata mediante prova Colorimetrica (Metodo che segue le designazioni fissate dalla normativa ASTM D 2327-68-Riapprovata nel 74).

Il dosaggio potrà variare a seconda delle condizioni di impiego, della natura degli aggregati e delle caratteristiche del prodotto, tra il 0,2% ed il 0,4% in peso riferito al peso del bitume.

I tipi, i dosaggi e le tecniche di impiego devono ottenere il preventivo benessere del Laboratorio di Fiano Romano della Società. L'immissione delle sostanze tensioattive nel bitume deve essere realizzata con idonee attrezzature tali da garantire la loro perfetta dispersione e l'esatto dosaggio nel legante bituminoso.

32.1.8. Modificanti strutturali (MST)

Sono quelle sostanze che si aggiungono al legante con funzioni modificanti connesse alle azioni di tipo meccanico, alla solidità e durabilità delle azioni leganti nel tempo, specialmente per i film leganti più impegnativi.

32.1.8.1. Fibre di natura minerale (vetro) e mista (vetro + agglomerante)

Per conglomerati bituminosi ad elevata % di vuoti (CBD, CBMD, MT, ECD, vedi art. 33.5), l'aggiunta della fibra è obbligatoria. La composizione chimico-fisica delle fibre di vetro è riportata in tabella 1.

A tale proposito si precisa che è preferibile l'impiego di fibre di tipo MISTO in cui la fibra di vetro si presenta pressata ed agglomerata mediante l'impiego di un prodotto addensante (cellulosa o altro); tale trattamento ha lo scopo di evitare la dispersione in aria della fibra di vetro, consentire una dosatura più accurata nell'impasto bituminoso e di aumentare lo spessore delle pellicola di bitume che riveste l'inerte.

L'impiego di fibre di tipo MISTO o solo MINERALE richiede sempre, per il confezionamento in impianto delle miscele, opportuni macchinari in grado di dosare, disgregare e disperdere finemente le fibre nel conglomerato.

Ciascuna tipologia di fibra dovrà essere sottoposta alla preventiva approvazione del Laboratorio Centrale per la verifica di idoneità, che sarà volta a verificare l'effettivo miglioramento delle caratteristiche meccaniche delle miscele in cui vanno impiegate.

Nel caso di fibre di tipo MISTO la percentuale minima di fibra di vetro deve essere superiore al 70%.

Composizione Chimica
Vetro "E" (Filato di vetro)

	%	tolleranze
SiO ₂	54	± 0,5
Al ₂ O ₃	14,4	± 0,5
Fe ₂ O ₃	0,25	± 0,15
TiO ₂	0,25	± 0,15
CaO	22,1	± 0,4
MgO	0,6	± 0,1
SrO	0,15	± 0,1
Na ₂ O	0,51	± 0,15
K ₂ O	0,38	± 0,15
B ₂ O ₃	6,8	± 0,4

	%	tolleranze
SO3	0,035	± 0,005

Caratteristiche geometrico-meccaniche	Unità	Valore
Lunghezza media bavella	micron	200/300
Diametro medio fibra	micron	7/15
Superficie specifica fibra	cm ² /g	2700
Resistenza alla trazione	GPa	1,5 a 2,5
Allungamento massimo	%	1,5 a 2,5
Resistenza alla temperatura	°C	≥ 2550

32.2. Conglomerati bituminosi a caldo

Nella tavola sinottica di sintesi sono riportate le composizioni indicative dei formulati riferiti alle miscele di tipo normale e di tipo speciale di conglomerati bituminosi confezionati a caldo in impianto. I conglomerati bituminosi normali sono quelli confezionati con bitume di base; per quelli speciali sono previsti due tipi di legante, uno a modifica "Medium" l'altro a modifica "Hard". Esistono anche altri tipi di conglomerato non riportati nella tavola che segue per impieghi particolari e/o di tipo sperimentale; tutti sono descritti in appositi articoli e dovranno formare le prestazioni richieste.

TAVOLA SINOTTICA

COMPOSIZIONE				
Tipi di Conglomerato	Strati di impiego	Materiali freschi (% di impiego nella miscela)	Materiali fresati (% di impiego nella miscela)	Attivanti Chimici Funzionali [A.C.F.] (% in peso riferita al bitume totale)
CB "Normali"	Base	≥ 75	< 25	3 – 5 (*)
	Collegamento	≥ 85	≤ 15	-----
	Usura	≥ 90	≤ 10	-----
CBM "Medium"	Base	≥ 70	≤ 30	3 – 5 (*)
	Collegamento	≥ 75	≤ 25	-----
	Usura	≥ 80	≤ 20	-----
CBH "Hard"	Base	≥ 80	≤ 20	3 – 5 (*)
	Collegamento	≥ 85	≤ 15	-----
	Usura	≥ 90	≤ 10	-----

(*) in zone ad alto traffico - vedi art. (33.1.6)

32.2.1. Prescrizioni generali

Per la verifica preliminare di idoneità degli studi di progetto che l'impresa intende adottare per ogni cantiere di produzione, almeno tre mesi prima l'inizio delle lavorazioni, l'impresa ha l'obbligo di fare eseguire a sue spese, presso laboratorio autorizzato, prove di accettazione e di idoneità di tutti gli elementi che compongono le miscele di progetto (aggregati, bitume, additivi ecc.). Gli studi di progetto devono essere presentati in originale e firmati dal responsabile dell'impresa alla D.L. e devono essere corredati da una completa documentazione delle formulazioni effettuate.

Durante i lavori l'impresa esecutrice dovrà attenersi rigorosamente alla formulazione di progetto accettata e definita anche ai fini del pagamento, operando i controlli di produzione e di messa in opera secondo il Sistema di Qualità da

essa adottato. Presso i Cantieri di produzione deve essere a disposizione della D.L. un registro in cui siano riportati tutti i controlli di qualità operati dall'impresa con i risultati ottenuti.

La D.L. potrà effettuare in contraddittorio, in ogni momento a suo insindacabile giudizio, in cantiere, alla stesa ed in impianto, prelievi, controlli, misure e verifiche sia sui singoli componenti della miscela che sul prodotto finito, sulle attrezzature di produzione, accessorie e di messa in opera.

Molte delle indicazioni che seguono in questo articolo sono di tipo comportamentale e non eliminano, anche se seguite alla lettera, le responsabilità dell'impresa sui risultati finali del prodotto in opera, che sono o espressamente richiamati nel testo o riportati nell'apposito articolo 31.7; comunque anche le richieste comportamentali, se disattese, possono generare azioni di correzione da parte della Direzione Lavori.

La non rispondenza dei requisiti meccanici Rt, CTI (art. 33.3.7.3.2) e di quelli Volumetrici (art. 33.3.7.3.1) (questi ultimi calcolati con la % di legante di estrazione o, in mancanza, con la % di legante della miscela di progetto, rimanendo però nei range stabiliti all'art. 33.3.7.1) comporta, dopo eventuale ulteriore verifica, la sospensione dei lavori sino alla risoluzione delle anomalie rilevate e/o l'applicazione delle penali previste all'art. 33.7

Variazioni percentuali nella composizione granulometrica, rispetto alla curva di progetto proposta, di $\pm 5\%$ per l'aggregato grosso e/o $\pm 3\%$ per il contenuto di sabbia CNR B.U. n° 95 del 31.01.1984 (per sabbia si intende il passante al setaccio UNI 2 mm, e/o di $\pm 1,5$ per il passante al setaccio UNI 0,075) e/o scostamenti percentuali del contenuto di bitume progettuale superiori a $\pm 0,25$, e/o variazioni della miscela degli inerti, qualora determinano nella miscela finale sia scompensi volumetrici che prestazionali, comportano l'applicazione di penali come al successivo Art. 33.7.

Per quanto riguarda il contenuto del bitume, la tolleranza percentuale sopraindicata ($\pm 0,25$) che tiene normalmente conto della "incertezza di misura" collegata all'esecuzione della prova di estrazione, viene aumentata di un'ulteriore quantità (pari a 0,25) per tenere conto delle perdite di legante che si verificano nei passaggi intermedi prima dell'esecuzione della prova.

L'idoneità finale delle miscele superficiali sono condizionate dall'analisi eseguite mediante test accelerati di resistenza all'attrito radente di tipo "Abrasiometro Rotazionale" od altro sistema ad insindacabile scelta della D.L..

32.2.1.1. Materiali fresati

Per ogni lavorazione, le percentuali in peso di materiale fresato definito di "integrazione" riferite al totale della miscela degli inerti, devono essere comprese nei limiti riportati nella tavola sinottica dell'art. 33.2

Per conglomerato bituminoso preesistente fresato, denominato "materiale da integrazione" deve intendersi quello proveniente dalla frantumazione in frantoio di lastre o blocchi di conglomerati demoliti con sistemi tradizionali, oppure dalla fresatura in sito eseguita con idonee macchine (preferibilmente a freddo).

Il conglomerato di recupero deve essere preventivamente qualificato in conformità alla norma UNI EN13108-8.

Per l'ottimizzazione della curva granulometrica del fresato e del legante presente e per consentire lavorazioni uniformi, nel caso di utilizzo di materiali provenienti da fresature diverse sia per provenienza che per natura, potrebbe essere necessaria, prima del suo impiego, una ulteriore granulazione; occorre tener presente che tale operazione determina un ulteriore aumento delle parti fini nel materiale.

Il restante materiale deve essere costituito da inerti freschi con i requisiti di accettazione previsti per i conglomerati di cui art. 33.2.

Si deve usare materiale fresato di qualsiasi provenienza per impieghi negli strati di base e collegamento; materiali provenienti da strati superficiali (usura, microtappeto, drenante ecc) per lo strato di usura.

Il bitume finale deve essere costituito da quello fresco (MODIFICA "SOFT") e da quello proveniente dal materiale fresato additivato con A.C.F. (art. 33.1.6., tab. 1).

I requisiti richiesti dalle prescrizioni progettuali (art. 33.3.) valgono sia per miscele che prevedono l'impiego di materiale da integrazione che per miscele completamente vergini.

32.2.1.2. Penali

L'applicazione e l'entità delle penali è descritta nell'art. 33.7 delle presenti NTA e riguardano le caratteristiche del prodotto finito quali: durata a fatica, modulo di portanza, aderenza, regolarità, tessitura superficiale ecc.

32.3. Conglomerati bituminosi di base, collegamento, usura confezionati con bitume “Normale”, “Medium” e “Hard”

32.3.1. Descrizione

I conglomerati sono costituiti da una miscela di inerti naturali freschi, riciclati, artificiali, sintetici (argilla espansa, scorie siderurgiche, loppe ecc.) ovvero dalla loro combinazione percentuale, impastati a caldo con bitume, in impianti automatizzati a volte dotati di sistemi di riscaldamento indiretto degli inerti provenienti da fresature di pavimentazioni ammalorate, di tipo continuo (Drum Mixer) o discontinuo (sistema a vagliatura), doppio tamburo ecc.

I cumuli delle diverse classi di inerti devono essere nettamente separati tra di loro, in zone prive di ristagni ed acqua e di sostanze argillose.

Il conglomerato per i vari strati (base, collegamento, usura) è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e costipato con idonei rulli.

32.3.2. Bitume

Si richiamano espressamente le norme di cui all'art. 33.1.

32.3.3. Aggregati

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Gli aggregati devono essere costituiti da elementi interi, duri, di forma poliedrica, puliti esenti da polvere e da materiali estranei secondo le norme UNI EN 13043. Gli elementi litoidi non devono mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare.

La miscela di inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini ed eventuali additivi (filler) secondo la definizione delle norme UNI EN 13043, con la possibilità di impiegare inerti di diversa natura.

Nelle miscele potranno essere utilizzati, previa approvazione della D.L., inerti di I categoria.

Viene considerato inerte di I categoria un materiale omogeneo, la cui frazione grossa, ha un valore di levigabilità (norma UNI EN 1097-8) VL (denominato CLA dalla precedente norma CNR140/92) ≥ 45 , una resistenza alla frantumazione (norma UNI EN 1097-2) L.A. < 18 e coefficienti di forma (norma UNI EN 933-4) ed appiattimento (norma UNI EN 933-3) rispettivamente $SI < 10$ e $FI < 10$.

L'aggregato grosso e fine deve essere costituito da inerti che potranno essere di provenienza o natura petrografia diversa, purchè alle prove di seguito elencate eseguite sui campioni rispondenti alla miscela che si intende formare, dia i risultati richiesti.

I cumuli delle diverse classi di inerti devono essere nettamente separati tra di loro, in zone prive di ristagni ed acqua e di sostanze argillose.

Prima dell'inizio delle lavorazioni l'impresa deve avere stoccato una quantità di materiale necessaria ad assicurare almeno due settimane di lavorazione (considerando 80% della potenzialità produttiva dell'impianto).

32.3.4. Attivanti chimici di adesione

Vedi art. 33.1.7.

32.3.5. Posa in opera

La posa in opera dei conglomerati bituminosi verrà effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

Le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici.

Qualora ciò non sia possibile il bordo della striscia già realizzata deve essere spalmato con emulsione bituminosa cationica al 55% in peso (art. 33.1.5.) per assicurare la saldatura della striscia successiva.

Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali tra i vari strati deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 10 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia di circa 1 metro di larghezza, normalmente interessate dalle ruote dei veicoli pesanti, adiacenti alle strisce di segnaletica orizzontale che la delimitano.

Per garantire la perfetta continuità tra gli strati sovrapposti della pavimentazione deve essere previsto l'impiego di una emulsione bituminosa cationica al 55% uniformemente distribuita, anche sui bordi verticali, in una quantità variabile tra 0,5 e 1,0 kg/m² in funzione dello stato superficiale della pavimentazione, salvo in quei casi in cui è prevista una diversa mano di attacco sempre dei tipi riportati all'art. 33.1.

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'impianto (in fase di confezionamento) deve essere indicativamente non superiore a 180° C in rapporto al tipo di bitume impiegato (è comunque raccomandabile operare alle condizioni indicate dal produttore del bitume); la temperatura del conglomerato all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni. L'addensamento deve essere realizzato solo con rulli gommati di idoneo peso (almeno 30 kN gomma) e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili. La finitura del conglomerato dovrà essere realizzata con l'utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 140 kN, così come per le operazioni di finitura dei giunti e riprese.

Per lo strato di base a discrezione della D.L. potranno essere utilizzati rulli con ruote metalliche vibranti e/o combinati.

Gli strati eventualmente compromessi (che presentano ad esempio: anomalie di stesa o di compattazione, perdite di materiale, giunti longitudinali o giunti trasversali di ripresa mal eseguiti, aperti o sgranati) devono essere rimossi e ricostruiti a cura e spese dell'Impresa; il verificarsi di tali eventi comporterà comunque l'applicazione di penali come previsto al successivo Art. 33.7

Al termine della compattazione gli strati di base, collegamento e usura devono avere una percentuale assoluta dei vuoti non superiore all'8%, valutata con i dati del giorno (densità massima della miscela - Gmm), o in mancanza dei dati di controllo di cantiere o nei casi controversi, con il valore di progetto. In caso di contestazione la percentuale dei vuoti verrà determinata secondo la UNI EN 12697-8).

I dati di densità in sito possono essere assunti come prestazionali in carenza di altre misure di portanza.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente; deve essere tollerato uno scostamento di 5 mm. Inoltre l'accettazione della regolarità e delle altre caratteristiche superficiali del piano finito avverrà secondo quanto prescritto nell'art. 33.7

Per lo strato di base la miscela bituminosa verrà stesa sul piano finito della fondazione dopo che sia stata accertata dalla D.L. la rispondenza di questa ultima ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza.

Prima della stesa del conglomerato bituminoso su strati di fondazione in misto cementato o simili, per garantirne l'ancoraggio deve essere rimossa la sabbia eventualmente non trattenuta dall'emulsione acida al 55% stesa precedentemente a protezione del misto cementato stesso.

Procedendo la stesa in doppio strato i due strati devono essere sovrapposti nel più breve tempo possibile; tra di essi deve essere eventualmente interposta una mano di attacco di emulsione bituminosa non inferiore a 0,5 Kg/m².

32.3.6. Prescrizioni progettuali

32.3.6.1. Percentuale di frantumato nella miscela inerti superiore a 2 mm.

Strato di base : minimo 65% di inerte frantumato.
 Strato di collegamento : 100% di inerte frantumato (*), escluso quello proveniente da eventuali integrazioni.
 Strato di usura : 100% di inerte frantumato (**) escluso inerti non naturali.

(*) Per inerte frantumato si intende un inerte che non abbia nessuna faccia arrotondata.

(**) Considerata l'eterogeneità della natura mineralogica di provenienza (silicea, calcarea, ecc.) dei materiali alluvionali, la percentuale di impiego nelle miscele superficiali sarà definita di volta in volta nelle curve di progetto con la Direzione Lavori.

32.3.6.2. Percentuale di frantumato nella miscela inerti inferiore a 2 mm.

Strato di base : minimo 60%
 Strato di collegamento : minimo 65%
 Strato di usura : minimo 80%

Le sabbie di frantumazione devono provenire da sabbie naturali, artificiali o sintetiche.

32.3.6.3. Prova Los Angeles

La perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1097-2) deve essere:

Strato di base : < 25% in peso.
 Strato di collegamento : < 25% in peso.
 Strato di usura : < 20% in peso.

32.3.6.4. Sensibilità al gelo

La sensibilità al gelo eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1367-1), in riferimento alla perdita di massa, deve essere:

Strati di base e di collegamento : < 2%.
 Strato di usura : < 1%.

In riferimento alla perdita di resistenza all'abrasione, il valore deve essere:

Strati di base e di collegamento : < 30%.
 Strato di usura : < 20%.

32.3.6.5. Strati di usura: Valore di levigabilità VL (norma UNI EN 1097-8) e VLmix. (denominati CLA e CLA mix nelle precedenti NTA)

Deve essere misurato il valore di VL per ogni pezzatura utilizzata, comprese le sabbie (roccia di provenienza) ed il fre-sato (materiale estratto); il valore di VL misurato sulle singole pezzature, escluse le sabbie, deve essere ≥ 40 .

La somma dei trattenuti in peso delle sabbie impiegate, superiore a 2 mm, non deve superare nella curva granulometrica finale il 10% in peso quando le stesse sabbie provengano da rocce aventi un valore di VL ≤ 40

Il valore VLmix, degli inerti viene ricavato dagli elementi uguali o superiori a 2 mm per ciascuna pezzatura impiegata.

Calcolo del VLmix,:

- a) Si misurano le MVA (massa volumetrica apparente) di tutte le pezzature escludendo il passante al 2 mm.
- b) La somma delle percentuali di impiego, per la costruzione della curva granulometrica di progetto, di ogni singola pezzatura viene riportata a 100%, in quanto mancanti del passante al 2 mm.
- c) Le nuove percentuali di impiego vengono trasformate in percentuali volumetriche utilizzando le MVA (vedi punto a) e riportate anch'esse a 100%;
- d) Il valore VLmix viene calcolato dalla somma del prodotto diviso per 100 della percentuale volumetrica di ogni pezzatura (comprese la sabbia) utilizzata per il relativo valore di VL.

32.3.6.6. Coefficiente di imbibizione

Il Coefficiente di imbibizione (CNR fascicolo IV/1953) eseguito sulle singole pezzature:

Strato di base e di collegamento : < 0.015.

Strato di usura: da definire in fase di progetto in funzione della natura degli inerti utilizzati.

32.3.6.7. Coefficiente di forma

I coefficienti di forma "SI" (UNI EN 933-4) e di appiattimento "FI" (UNI EN 933-3) dovranno essere per tutti gli strati minori o uguale al 10%.

32.3.6.8. Equivalente in sabbia

L'equivalente in sabbia determinato sulle singole pezzature fini, deve essere per tutti gli strati $\geq 70\%$ (UNI EN 933-8).

32.3.6.9. Spogliamento in acqua

Per lo strato di usura lo spogliamento in acqua a 40 °C (con dopes di adesione) deve essere 0% (CNR 138/92). In casi particolari, cioè in presenza di inerti ad elevata acidità, la Committente si riserva sistemi di indagini più approfonditi.

32.3.6.10. Additivi

Gli additivi (filler) provenienti dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti, rocce sintetiche o artificiali, devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Il potere rigidificante con un rapporto filler/bitume pari a 1,5 il ΔPA deve essere $> 5^\circ C$ (UNI EN 13179-1).
- alla prova granulometrica i passanti in peso devono soddisfare i seguenti limiti minimi:
 - Setaccio UNI 0,40 - Passante in peso per via umida 100%
 - Setaccio UNI 0,18 - Passante in peso per via umida 90%
 - Setaccio UNI 0,075 - Passante in peso per via umida 80%.
 - Della quantità di additivo minerale passante per via umida al setaccio 0,075 mm più del 50% deve passare allo stesso setaccio anche a secco
- L'indice di plasticità deve risultare non plastico (NP) (norma UNI CEN ISO/TS 17982-12).

32.3.6.11. Argilla espansa – Resistenza allo schiacciamento

Argilla espansa di tipo resistente, pezzatura 3/11: $> 2,7$ MPa (UNI EN 13055-2).

32.3.7. Miscele

Le miscele dei conglomerati devono avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati e una percentuale di bitume riferita al peso totale degli inerti, compresa tra i sotto indicati intervalli per i diversi tipi di conglomerato.

Composizioni granulometriche indicative (fusi da usare come limiti nelle curve di progetto).

Serie e setacci UNI EN 933-1	Passante totale % in peso			
	STRATO DI BASE	STRATO DI COLLEGAMENTO	STRATO DI USURA TIPO "A"	STRATO DI USURA TIPO "B"
31,5	100	100	100	100
20	73 – 94	85 - 98	100	100
14	51 – 76	70 - 87	94 - 100	100
10	40 – 64	58 - 78	77 - 94	81 - 94
6.3	31 – 55	46 - 66	57 - 76	57 - 76
2	19 – 38	25 - 38	25 - 38	25 - 38
0,5	8 – 21	11 - 21	12 - 22	12 - 22
0,25	5 – 16	7 - 17	9 - 17	9 - 17
0,063	4 – 8	4 - 8	6 - 10	6 - 10

Fuso A - usure da 4 - 6 cm

Fuso B - usure da 3 cm

32.3.7.1. **Quantità di bitume**

La percentuale di bitume in peso riferita al peso degli aggregati deve essere compresa nei seguenti intervalli, a seconda del tipo di legante usato:

Strato di Base normale : 4% - 5,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.1., tab. 1

Strato di Base Medium : 4% - 5,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.3., tab. 3.

Strato di Base Hard : 4% - 5,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.4., tab. 4.

Strato di Collegamento normale : 4,5% - 6,0% del tipo descritto nell'art. 33.1.1., tab. 1

Strato di Collegamento Medium : 4,5% - 6,0% del tipo descritto nell'art. 33.1.3., tab. 3.

Strato di Collegamento Hard : 4,5% - 6,0% del tipo descritto nell'art. 33.1.4., tab. 4.

Strato di Usura normale : 5,0% - 6,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.1., tab. 1

Strato di Usura Medium : 5,0% - 6,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.3., tab. 3.

Strato di Usura Hard : 5,0% - 6,5% del tipo descritto nell'art. 33.1.4., tab. 4.

32.3.7.2. **Prove volumetriche e meccaniche**

I conglomerati bituminosi devono possedere elevata resistenza meccanica elastoviscoplastica, cioè capacità di sopportare senza deformazioni permanenti le sollecitazioni trasmesse dalle ruote dei veicoli ed elevatissima resistenza a fatica, intesa come capacità di sopportare il numero più alto possibile di ripetizioni di carico senza fessurarsi o disgregarsi.

La miscela di Progetto deve essere analizzata mediante l'apparecchiatura "Pressa Giratoria" (UNI EN 12697-31/2004).

Gli impianti di confezionamento dovranno dotarsi della apparecchiatura suddetta a sostituzione di quella Marshall.

Pressa giratoria – Condizioni di prova

Angolo di rotazione	: 1.25° ± 0.02°
Velocità di rotazione	: 30 rotazioni al minuto
Pressione verticale ,KPa	: 600
Dimensioni provino, mm	: 150 per strato di base
Dimensioni provino, mm	: 100 per strato di collegamento ed usura

32.3.7.3. Requisiti di idoneità

Pressa giratoria - Vuoti

BASE NORMALE		BASE MEDIUM		BASE HARD	
a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15
a 100 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 110 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 120 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)
a 180 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 180 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 200 rotazioni: % vuoti	≥ 2
COLLEGAMENTO NORMALE		COLLEGAMENTO MEDIUM		COLLEGAMENTO HARD	
a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15
a 100 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 110 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 120 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)
a 180 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 190 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 200 rotazioni: % vuoti	≥ 2
USURA NORMALE		USURA MEDIUM		USURA HARD	
a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15	a 10 rotazioni: % vuoti	12÷15
a 130 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 140 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)	a 150 rotazioni: % vuoti	3 ÷ 5 ^(*)
a 220 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 230 rotazioni: % vuoti	≥ 2	a 240 rotazioni: % vuoti	≥ 2

Resistenza a trazione indiretta

I provini derivanti dalla miscela ottimale (Dg) compattati mediante l'apparecchiatura "Pressa Giratoria" devono essere sottoposti a prova di rottura diametrale a 25°C (UNI EN 12697-23).

I requisiti di idoneità richiesti dalla prova devono essere i seguenti:

Inerti	BASE NORMALE		BASE MEDIUM/HARD	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
Vergini	0,50 - 0,80	≥ 40	0,90 - 1,55	≥ 80
Vergini+ fresato	0,75 - 1,35	≥ 70	0,95 - 1,55	≥ 80
	COLLEGAMENTO NORMALE		COLLEGAMENTO MEDIUM/HARD	
Vergini	0,50 - 0,80	≥ 40	0,90 - 1,55	≥ 80
Vergini+ fresato	0,75 - 1,35	≥ 70	0,95 - 1,55	≥ 80
	USURA NORMALE		USURA MEDIUM/HARD	

Inerti	BASE NORMALE		BASE MEDIUM/HARD	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
Vergini	0,60 - 0,90	≥ 45	0,90 - 1,55	≥ 80
Vergini+ fresato	0,75 - 1,35	≥ 70	0,95 - 1,55	≥ 80

Prova Marshall

I provini devono essere confezionati con materiale prelevato presso l'impianto di produzione e costipato, senza alcun ulteriore riscaldamento, alla temperatura prescritta dalla norma UNI EN 12697-34/2004.

Alla stesa deve essere rilevata la temperatura di compattazione della miscela e se questa dovesse risultare inferiore ad una temperatura minima (correlata alla tipologia di bitume utilizzata) la Direzione Lavori, in presenza dell'Appaltatore, deve impedire l'impiego di tale materiale sulla tratta già posta in opera nelle stesse condizioni sopra menzionate. Devono inoltre essere eseguite prove atte al rilevamento del grado di addensamento raggiunto dalla pavimentazione.

Per l'applicazione delle penali si rimanda a quanto prescritto dall'art. 33.7.

I valori della stabilità Marshall (UNI EN 12697-34/2004), eseguita a 60 °C su provini costipati alla temperatura prescritta dalla Norma UNI EN 12697-34/2004 con 75 colpi di maglio per faccia, il Modulo di Rigidezza Marshall, e la percentuale dei Vuoti in volume (UNI EN 12697-8/2003) dovranno risultare:

	BASE NORMALE	BASE MEDIUM	BASE HARD
Stabilità Marshall (daN)	≥ 900	≥ 1100	≥ 1100
Modulo di Rigidezza (daN/mm)	≥ 250	300 - 500	300 - 500
Vuoti residui in volume (%)	3 - 5	3 - 5	3 - 5

	COLLEGAMENTO NORMALE	COLLEGAMENTO MEDIUM	COLLEGAMENTO HARD
Stabilità Marshall (daN)	≥ 1000	≥ 1100	≥ 1100
Modulo di Rigidezza (daN/mm)	≥ 250	300 - 500	300 - 500
Vuoti residui in volume (%)	3 - 5	3 - 5	3 - 5

	USURA NORMALE	USURA MEDIUM	USURA HARD
Stabilità Marshall (daN)	≥ 1100	≥ 1200	≥ 1200
Modulo di Rigidezza (daN/mm)	≥ 250	300 - 500	300 - 500
Vuoti residui in volume (%)	3 - 5	3 - 5	3 - 5

Resistenza a trazione indiretta

I provini derivanti dalla miscela ottimale compattati mediante il sistema Marshall devono essere sottoposti a prova di rottura diametrica alle temperature di 10, 25 e 40 °C (UNI EN 12697-23/2006). I requisiti di idoneità richiesti dalla prova devono essere i seguenti:

T °C	BASE NORMALE		BASE MEDIUM		BASE HARD	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
10	1,30 - 2,20	≥ 140	1,40 - 2,30	≥ 160	1,50 - 2,40	≥ 160
25	0,40 - 1,10	≥ 60	0,50 - 1,20	≥ 70	0,60 - 1,30	≥ 80
40	0,20 - 0,60	≥ 35	0,20 - 0,70	≥ 35	0,30 - 0,80	≥ 40
	COLLEGAMENTO NORMALE		COLLEGAMENTO MEDIUM		COLLEGAMENTO HARD	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
10	1,40 - 2,30	≥ 150	1,50 - 2,40	≥ 160	1,60 - 2,50	≥ 160
25	0,50 - 1,10	≥ 70	0,60 - 1,20	≥ 80	0,70 - 1,30	≥ 80
40	0,25 - 0,70	≥ 40	0,25 - 0,80	≥ 45	0,30 - 0,90	≥ 45
	USURA NORMALE		USURA MEDIUM		USURA HARD	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
10	1,50 - 2,70	≥ 160	1,50 - 2,80	≥ 160	1,60 - 2,90	≥ 160
25	0,70 - 1,20	≥ 80	0,70 - 1,30	≥ 80	0,80 - 1,40	≥ 80
40	0,30 - 0,8	≥ 45	0,30 - 0,90	≥ 50	0,40 - 1,00	≥ 50

Modulo complesso (E)

Sulla miscela definita, a tre temperature 0 °C, 10 °C e 20 °C ed alle frequenze di 10, 15 e 30 Hz, con idonei sistemi dinamici, deve essere misurato il modulo complesso E* in Mpa del conglomerato (UNI EN 12697-26).

La determinazione dei moduli complessi avrà la funzione di fornire elementi numerici al progettista dell'intervento, ed un riferimento al controllo non distruttivo in sito.

Controllo dei requisiti di accettazione dei conglomerati bituminosi confezionati con legante di tipo "Normale", "Medium" e "Hard"

Per ciò che concerne la posa in opera delle miscele, delle caratteristiche superficiali della pavimentazione, di portanza per l'applicazione delle penalità vale quanto prescritto nell'art. 33.7

32.3.8. Miscele di usura con impiego di argilla espansa

Le miscele di usura confezionate con inerti di argilla espansa, conferiscono alla superficie stradale incrementi di caratteristiche di aderenza rispetto alle miscele con soli inerti naturali, ed una certa media fono-assorbenza.

32.3.8.1. Aggregati

Valgono le stesse prescrizioni indicate all'art. 33.2.1. e per i conglomerati tradizionali con l'aggiunta dei seguenti requisiti per le argille:

- argilla espansa di tipo "resistente" pezzatura: 3/11 mm;
- resistenza del granulo allo schiacciamento >= 2,7 MPa (UNI EN 13055-2);
- valore di levigabilità VL. (UNI EN 1097-8) ≥ 65.

L'argilla espansa, in cantiere, deve essere convenientemente protetta dalla pioggia con teli di plastica o ammannita al coperto.

32.3.8.2. Confezione delle miscele

La miscela degli aggregati deve avere una composizione granulometrica compresa nel seguente fuso:

UNI EN 933-1	Passante totale in peso %
Setaccio 14	100
“ 10	82-93
“ 6,3	57-77
“ 4	39-59
“ 2	25-38
“ 0,5	12-22
“ 0,125	7-13
“ 0,063	6-10

Il tenore di bitume, di tipo Normale, Medium o Hard, (Art. 33.1) del tipo “A” riferito al peso totale degli aggregati deve essere compreso tra il 5,5% ed il 7,0%; la percentuale di argilla espansa deve essere compresa tra il 10% ed il 15% in peso.

Dalla granulometria eseguita sulla pezzatura 3/11mm. la percentuale di trattenuto al setaccio UNI da 8 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso; inoltre la percentuale di passante al setaccio UNI con apertura 2 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso.

L'utilizzazione di percentuali maggiori o minori di argilla espansa, con diverse caratteristiche meccaniche, di composizione e/o granulometriche per impieghi non specificati dalle presenti N.T.A., devono essere definite di volta in volta in fase di studio e di progetto con la D.L.

32.3.8.3. Requisiti di accettazione

Il conglomerato così composto deve rispondere agli stessi requisiti richiesti per le miscele di Usura senza argilla (Art.33.2), confezionate con bitume di tipo Normale, Medium o Hard, (Art. 33.1).

32.3.8.4. Posa in opera delle miscele

Valgono le stesse prescrizioni indicate per i conglomerati tradizionali (art. 33.3.5).

Inoltre la capacità fonoassorbente deve essere, in termini di assorbimento α , pari almeno a 0,2 alle frequenze di campionamento di 600 Hz e 0,3 alle frequenze di campionamento di 800 e 1000 Hz. Le misure andranno effettuate con apparecchiatura RI.MA. o similari.

32.4. Conglomerato bituminoso ad elevata percentuale di vuoti (drenante-fonoassorbente)

Sono i conglomerati bituminosi speciali, denominati C.D.F. (Conglomerati Drenanti Fonoassorbenti), caratterizzati da elevata percentuale di vuoti intercomunicanti, che assicurano un passaggio facilitato alle acque di pioggia ed un fonoassorbimento per risonanza delle onde sonore generate sulla strada, selettivo delle frequenze a seconda delle dimensioni volumetriche delle cavità presenti. Se usati sulla superficie dalla pavimentazione, influiscono sull'intensità del rumore emesso dal rotolamento dei pneumatici, oltre all'assorbimento dello stesso, come detto in precedenza. Sono anche usati per la funzione di trattenimento, temporaneo o permanente, delle sostanze inquinanti, polveri o particolati, emessi dai veicoli e trascinati dalle acque di pioggia. Di norma vengono realizzati con materiali vergini, naturali o sintetici, salvo specifica indicazione.

32.4.1. Prescrizioni generali

Vedi articolo 33.2.1

32.4.1.1. Penali

L'applicazione e l'entità delle penali è descritta nell'art. 33.7 delle presenti NTA riguardano le caratteristiche del prodotto finito misurate con mezzi ad alto rendimento, aderenza, regolarità, tessitura superficiale, capacità drenante, emissione sonora (sperimentale), fonoassorbenza e prove volumetriche.

32.4.2. Miscele di: Usura drenante, Usura drenante strutturale

32.4.2.1. Descrizione

I conglomerati sono costituiti da una miscela di inerti naturali freschi, artificiali, sintetici (argilla espansa, scorie, loppe ecc.), in diverse combinazioni percentuali, impastati a caldo con bitume tipo "Hard", in impianti automatizzati, di tipo continuo (Drum Mixer) o discontinuo (sistema a vagliatura) ecc.. I conglomerati sono posti in opera mediante macchina vibrofinitrice e costipato a caldo. Caratteristiche prestazionali dei porosi: le miscele drenanti si suddividono nei seguenti tipi in base al loro comportamento relativamente al rumore ed allo smaltimento delle acque meteoriche.

Miscele	Tipologia	Spessori (cm)	Drenabilità	
	Monostrato		Alta	Bassa
	Bistrato			
Usura Drenante	X	4-5	X	
Usura Drenante strutturale	X	4-5	X	

32.4.2.2. Bitume

Si richiamano espressamente le norme di cui all'art. 33.1.4. e tab. 4.

32.4.2.3. Attivanti chimici di adesione

Vedi art. 33.1.7.

32.4.2.4. Materiali inerti

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Gli aggregati devono essere costituiti da elementi interi, duri, di forma poliedrica, puliti esenti da polvere e da materiali estranei secondo le norme UNI EN 13043. Gli elementi litoidi non devono mai avere forma appiattita, allungata o lenticolare.

La miscela di inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini ed eventuali additivi (filler) secondo la definizione delle norme UNI EN 13043, con la possibilità di impiegare inerti di diversa natura.

Nelle miscele potranno essere utilizzati, previa approvazione della D.L., inerti di I categoria.

Viene considerato inerte di I categoria un materiale omogeneo, la cui frazione grossa, ha un valore di levigabilità (norma UNI 1097-8) VL (denominato CLA dalla precedente norma CNR140/92) ≥ 45 , una resistenza alla frantumazione (norma UNI EN 1097-2) L.A. < 18 e coefficienti di forma (norma UNI EN 933-4) ed appiattimento (norma UNI EN 933-3) rispettivamente SI <10 e FI <10 .

L'aggregato grosso e fine deve essere costituito da inerti che potranno essere di provenienza o natura petrografia diversa, purchè alle prove di seguito elencate eseguite sui campioni rispondenti alla miscela che si intende formare, dia i risultati richiesti.

I cumuli delle diverse classi di inerti devono essere nettamente separati tra di loro, in zone prive di ristagni ed acqua e di sostanze argillose.

32.4.2.5. Posa in opera

La posa in opera dei conglomerati bituminosi verrà effettuata a mezzo di macchine vibro-finitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

Le vibro-finitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti trasversali e longitudinali, questi ultimi preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente con l'impiego di due finitrici.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali tra i vari strati deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 10 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalle ruote dei veicoli pesanti.

Per garantire la perfetta continuità e la impermeabilizzazione del piano di posa delle miscele, deve essere previsto l'impiego di una quantità variabile tra 0,8 kg/m² e 1,5 kg/m² di mano di attacco costituita da bitume di tipo "Hard" (art. 33.1.4. e tab. 4).

Il trasporto del conglomerato dall'impianto di confezione al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti, veloci e comunque sempre dotati di telone di copertura per evitare raffreddamenti superficiali eccessivi e formazione di crostoni.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'impianto (in fase di confezionamento) deve essere indicativamente non superiore a 180° C in rapporto al tipo di bitume impiegato (è comunque raccomandabile operare alle condizioni indicate dal produttore del bitume); la temperatura del conglomerato all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice, deve risultare in ogni momento non inferiore a 140° C.

La stesa dei conglomerati deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro e comunque quando la temperatura della superficie stradale (misurata in una zona vicina ma non interessata dai lavori) sia inferiore a 10° C

La compattazione dei conglomerati deve iniziare appena stesi dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni. L'addensamento deve essere realizzato solo con rulli metallici con massa non superiore a 140 kN e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili. Potrà essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 100 kN per le operazioni di finitura dei giunti e riprese.

Gli strati eventualmente compromessi (che presentano ad esempio: anomalie di stesa o di compattazione, perdite di materiale, giunti longitudinali o giunti trasversali di ripresa mal eseguiti, aperti o sgranati) devono essere rimossi e ricostruiti a cura e spese dell'Impresa; il verificarsi di tali eventi comporterà comunque l'applicazione di penali come previsto al successivo Art. 33.7

Al termine della compattazione lo strato deve avere una percentuale assoluta dei vuoti compresa tra il 20% e 25% valutata con i dati del giorno ((densità massima della miscela - Gmm), o in mancanza dei dati di controllo di cantiere o nei casi controversi, con il valore di progetto. In caso di contestazione la percentuale dei vuoti verrà determinata secondo la UNI EN 12697-8).

o in mancanza dei dati di controllo di cantiere o nei casi controversi, con il valore di progetto.

Si avrà cura inoltre che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

La superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. Inoltre l'accettazione della regolarità e delle altre caratteristiche superficiali del piano finito avverrà secondo quanto prescritto nell'art. 33.7

32.4.3. Prescrizioni progettuali

32.4.3.1. Percentuale di frantumato nella miscela inerti superiori a 2 mm.

Per le miscele : 100% di inerte frantumato (*).

(*) Per inerte frantumato si intende un inerte che non abbia nessuna faccia arrotondata.

Considerata l'eterogeneità della natura mineralogica di provenienza (silicea, calcarea, ecc.) dei materiali alluvionali, la percentuale di impiego nelle miscele superficiali sarà concordata di volta in volta con la Direzione Lavori

32.4.3.2. Percentuale di frantumato nella miscela inerti inferiori a 2 mm.

Per le miscele : 100% di inerte frantumato (*).

(*) Per inerte frantumato si intende un inerte che non abbia nessuna faccia arrotondata.

32.4.3.3. Prova Los Angeles

La perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1097-2) deve essere $\leq 18\%$ in peso.

32.4.3.4. Sensibilità al gelo

La sensibilità al gelo eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1367-1), in riferimento alla perdita di massa, deve essere $< 1\%$.

In riferimento alla perdita di resistenza all'abrasione, il valore deve essere $< 20\%$.

32.4.3.5. Valore di levigabilità VL (norma UNI EN 1097-8) e VLmix

Il valore di VL, misurato per ogni pezzatura utilizzata (UNI EN 1097-8), con esclusione delle sabbie, deve risultare ≥ 40 (prescrizione minima sul materiale).

Il valore del VL medio di riferimento, denominato VLmix, calcolato come di seguito specificato, della miscela inerti ≥ 5 mm deve essere ≥ 46 (prestazione sulla miscela degli inerti)

Il valore VLmix degli inerti viene ricavato dagli elementi uguali o superiori a 5 mm per ciascuna pezzatura impiegata ad esclusione delle sabbie.

Calcolo del valore VLmix :

- a) Si misurano le MVA (massa volumica apparente) di tutte le pezzature, ad esclusione delle sabbie.
- b) La somma delle percentuali di impiego, per la costruzione della curva granulometrica di progetto, di ogni singola pezzatura viene riportata a 100%, in quanto mancanti del passante al 5 mm.
- c) Le nuove percentuali di impiego vengono trasformate in percentuali volumetriche utilizzando le MVA (vedi punto a) e riportate anch'esse a 100%;
- d) Il valore VLmix viene calcolato dalla somma del prodotto diviso per 100 della percentuale volumetrica di ogni pezzatura (comprese la sabbia) utilizzata per il relativo valore di VL.

32.4.3.6. Coefficiente di imbibizione

Il Coefficiente di imbibizione (CNR fascicolo IV/1953) eseguito sulle singole pezzature deve essere $\leq 0,015\%$ in peso.

32.4.3.7. Coefficiente di forma

I coefficienti di forma "SI" (UNI EN 933-4) e di appiattimento "FI" (UNI EN 933-3) dovranno essere per tutti gli strati minori o uguale al 10%.

32.4.3.8. Equivalente in sabbia

L'equivalente in sabbia determinato sulle singole pezzature fini, deve essere per tutti gli strati $> \geq 70\%$ (UNI EN 933-8).

32.4.3.9. Spogliamento in acqua

Per lo strato di usura lo spogliamento in acqua a 40 °C (con eventuale dopes di adesione) deve essere 0% (CNR 138/92). In casi particolari, cioè in presenza di inerti ad elevata acidità, la D.L. si riserva sistemi di indagine più approfonditi.

32.4.3.10. Additivi

Gli additivi (filler) provenienti dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti, rocce sintetiche o artificiali, devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Il potere rigidificante con un rapporto filler/bitume pari a 1,5 il ΔPA deve essere $> 5^{\circ}C$ (UNI EN 13179-1).
- alla prova granulometrica i passanti in peso devono soddisfare i seguenti limiti minimi:
 - Setaccio UNI 0,40 - Passante in peso per via umida 100%
 - Setaccio UNI 0,18 - Passante in peso per via umida 90%
 - Setaccio UNI 0,075 - Passante in peso per via umida 80%.
 - Della quantità di additivo minerale passante per via umida al setaccio 0,075 mm più del 50% deve passare allo stesso setaccio anche a secco
- L'indice di plasticità deve risultare non plastico (NP) (UNI CEN ISO/TS 17982-12).

32.4.3.11. Argilla espansa – Resistenza del granulo allo schiacciamento (UNI EN 13055-2)

usura drenante : argilla espansa strutturale pezzatura 7/15 $> 3,5$ MPa

usura drenante strutturale : argilla espansa strutturale pezzatura 7/15 $> 3,5$ MPa

32.4.4. Miscele

Le miscele devono avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati e una percentuale di bitume riferita al peso totale degli inerti, compresa tra i sottoindicati intervalli per i diversi tipi di conglomerato.

Composizioni granulometriche indicative (fusi da usare come limiti nelle curve di progetto).

Serie setacci UNI EN 933-1	Drenante	Drenante strutturale
20	100	100
14	88 - 100	85 - 94
10	37 - 60	38 - 53
6,3	5 - 19	13 - 26
2	4 - 10	8 - 15
0,5	4 - 8	6 - 12
0,25	4 - 8	6 - 10
0,063	4 - 8	4 - 8
Spessore (cm)	4-5	4-5

32.4.4.1. Bitume

La percentuale di bitume in peso riferita al peso degli aggregati, del tipo descritto nell'art. 33.1.4., tab. 4, deve essere compresa nei seguenti intervalli:

Strato di Drenante- Drenante strutturale : 5,0% - 6,0%.

Nel caso di impiego di inerti particolarmente porosi la percentuale massima di bitume può essere incrementata.

32.4.4.2. Fibre (minerali o miste)

Mediante idonee apparecchiature la miscela deve essere additivata con fibre di natura minerale (vetro) o miste (vetro + agglomerante) in percentuale compresa tra 0,3% e 0,5% in peso di fibra riferito agli inerti (Art. 33.1.8.1.).

32.4.4.3. Requisiti di idoneità

Prove volumetriche e meccaniche

La miscela di Progetto deve essere analizzata mediante l'apparecchiatura "Pressa Giratoria" (UNI EN 12697-31/2004).

Gli impianti di confezionamento dovranno dotarsi gradatamente della apparecchiatura suddetta a sostituzione di quella Marshall. Per tutte le miscele la Massa Volumica Apparente (peso di volume) viene misurata geometricamente.

Pressa giratoria

CONDIZIONI DI PROVA

Angolo di rotazione : $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$
 Velocità di rotazione : 30 rotazioni al minuto
 Pressione verticale ,KPa : 600
 Dimensioni provino, mm : 100

DRENANTE	DRENANTE STRUTTURALE
10 rotaz: % vuoti ≥ 28	10 rotaz: % vuoti ≥ 25
50 rotaz: % vuoti ≥ 23 (*)	50 rotaz: % vuoti ≥ 20 (*)
130 rotaz: % vuoti ≥ 20	130 rotaz: % vuoti ≥ 18

Resistenza a trazione indiretta

I provini derivanti dalla miscela ottimale, compattati mediante l'apparecchiatura "Pressa Giratoria", devono essere sottoposti a prova di rottura diametrale a 25 °C (UNI EN 12697-23/2006):

I requisiti di idoneità richiesti dalla prova devono essere i seguenti:

Miscela	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
Drenante	0,38 - 0,56	> 20
Drenante strutturale	0,40 – 0,60	> 22

Prova Marshall

I provini devono essere confezionati con materiale prelevato presso l'impianto di produzione e costipato senza alcun ulteriore riscaldamento alla temperatura prescritta della norma UNI EN 12697-34/2004.

Alla stesa deve essere rilevata la temperatura di compattazione della miscela e se questa dovesse risultare inferiore a quanto previsto dalle NTA, sulla tratta interessata, devono essere eseguite prove atte al rilevamento del grado di addensamento raggiunto dalla pavimentazione.

Per l'applicazione delle penali si rimanda a quanto prescritto dall'art. 33.7.

Il valore della stabilità Marshall (UNI EN 12697-34/2004) eseguita a 60° C su provini costipati alla temperatura prescritta dalla Norma UNI EN 12697-34/2004 con 50 colpi di maglio per faccia, il Modulo di Rigidezza Marshall e la percentuale dei vuoti in volume (UNI EN 12697-8/2003) deve risultare:

	Drenante, e Drenante Strutturale
Stabilità Marshall daN	≥ 400
Modulo di Rigidezza daN/mm	≥ 150
Vuoti residui in volume %	≥ 23

Resistenza a trazione indiretta

I provini derivanti dalla miscela ottimale compattati mediante il sistema Marshall devono essere sottoposti a prova di rottura diametrale (UNI EN 12697-23) alle temperature di 10, 25 e 40 °C.

I requisiti di idoneità richiesti dalla prova devono essere i seguenti:

T °C	Drenante, Drenante strutturale	
	Rt N/mm ²	CTI N/mm ²
10	0,70 ÷ 1,00	≥ 70
25	0,25 ÷ 0,40	≥ 30
40	0,1 ÷ 0,2	≥ 15

Capacità drenante

La capacità drenante media eseguita in sito è misurata con permeabilmetro a colonna d'acqua o con permeabilmetro installato su mezzo ad alto rendimento, entro 14 gg dall'apertura al traffico.

I requisiti di idoneità richiesti dalla prova devono essere i seguenti:

Miscela	Capacità drenante (litri/min.)
Drenante	≥ 20÷ 30
Drenante strutturale	≥ 15÷ 30

I valori del permeabilmetro verranno riportati a quelli del misuratore a colonna, in modo da individuare le quantità equivalenti.

Modalità per la determinazione della capacità drenante su strati superficiali di pavimentazione

Questa procedura descrive le modalità, il campo di applicazione, lo scopo, del sistema di misura della permeabilità di strati superficiali di pavimentazione.

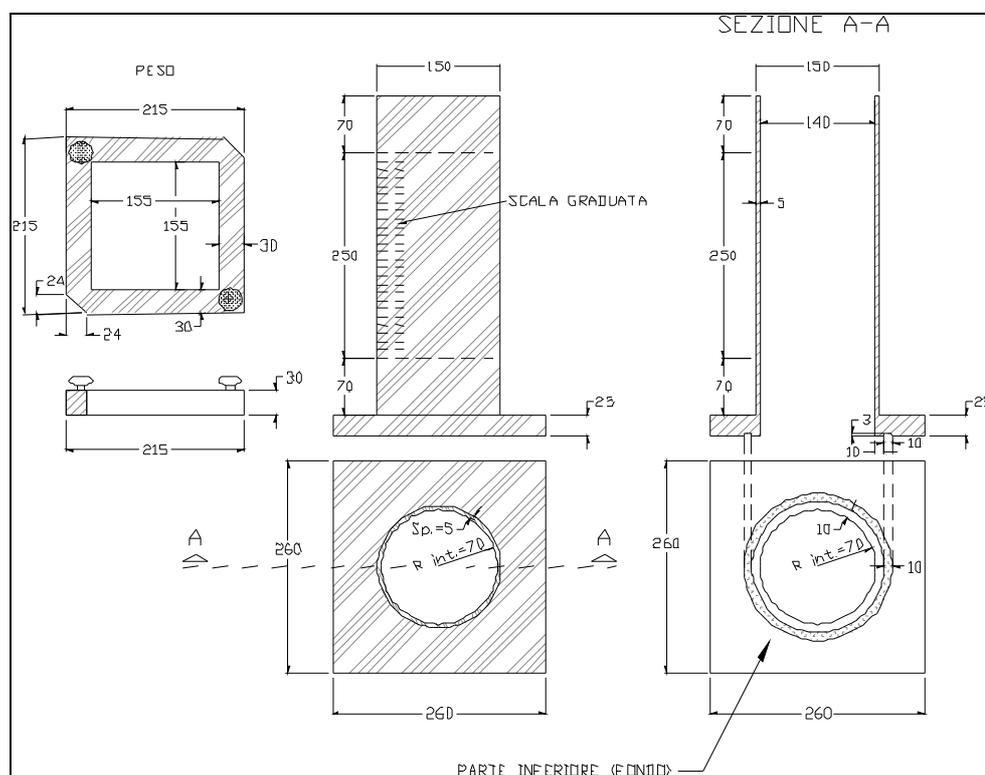
La metodologia consiste nel misurare la capacità di smaltimento d'acqua di una pavimentazione mediante l'utilizzo di un contenitore cilindrico con dimensioni e forma definite, che viene posto sulla pavimentazione in esame e riempito con acqua.

Il tempo necessario per lo svuotamento di un dato volume d'acqua contenuta dal recipiente permette di misurare la permeabilità della pavimentazione.

APPARECCHIATURA DI PROVA

Per la esecuzione della prova vengono utilizzate le seguenti attrezzature e strumentazioni di seguito riportate:

- Contenitore cilindrico (permeabilmetro), vedi fig.;
- Mastice o silicone per il fissaggio del permeabilmetro sulla pavimentazione;
- Peso non minore di 5000 g, vedi fig.;



DESCRIZIONE E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA

Si pone il permeabilmetro vuoto sulla pavimentazione in esame tracciando con un gesso cerato il bordo esterno ed il cerchio interno del permeabilmetro che rappresenta l'area di prova.

Tolto il permeabilmetro dall'area tracciata, esclusa quella di prova, si spalma accuratamente il silicone, sigillando i fori superficiali della pavimentazione; inoltre sul fondo dello strumento, nella parte solcata intorno al foro cilindrico, va applicato un filo di silicone, facendo attenzione che sia superiore alla profondità del solco di circa 2 mm.

Si pone lo strumento sulla pavimentazione, facendolo coincidere con i segni precedentemente effettuati, per evitare qualsiasi riduzione dell'area di prova; si applica un peso (non minore di 5000 g) per migliorare l'aderenza al suolo dello strumento.

Subito dopo, per eliminare l'aria contenuta nel conglomerato e per renderne uniforme la temperatura nell'area di prova, si effettua un primo riempimento del permeabilmetro; non appena il livello dell'acqua arriva allo zero della

scala graduata (livello inferiore), si riempie nuovamente il permeabilmetro fino al bordo superiore, facendo in modo di far tracimare una certa quantità di acqua.

Non appena il livello dell'acqua arriva alla soglia superiore della scala graduata (altezza di 250 mm), si fa partire la rilevazione dell'intervallo di tempo che termina quando il livello d'acqua è sceso fino allo zero di gradazione.

Il rapporto tra la quantità d'acqua (in dm³ nota) e l'intervallo di tempo trascorso (in minuti) rappresenta la capacità drenante espressa in dm³/min.

Il valore singolo è ricavato dalla esecuzione di due prove distanti 1 metro (mediandone i due valori).

RISULTATI DELLE PROVE

Il valore di permeabilità - capacità drenante viene espresso in lt/min come valore medio (M) delle due prove effettuate nel punto della pavimentazione in esame, M + 20%M rappresenta l'intervallo di capacità drenante entro cui devono cadere le due prove per poter essere ritenute valide.

Caratteristiche di fono-assorbenza

La fono-assorbenza deve essere misurata in sito mediante metodo dell'impulso riflesso eseguito con il veicolo RIMA, dopo il 15° giorno della stesa delle miscele, i valori dei coefficienti di fono-assorbenza α_{f} devono essere quelli riportati in tabella, per almeno 5 delle 8 frequenze indicate:

Miscele	Frequenza (Hz)							
	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Drenante + Drenante strutturale	$\alpha_{f} \geq 0,10$	$\alpha_{f} \geq 0,13$	$\alpha_{f} \geq 0,15$	$\alpha_{f} \geq 0,21$	$\alpha_{f} \geq 0,32$	$\alpha_{f} \geq 0,33$	$\alpha_{f} \geq 0,27$	$\alpha_{f} \geq 0,26$

In via sperimentale potranno essere effettuate misure di rumore emesso al rotolamento ERNL (Evaluated Road Noise Level) basate sulla microprofilo delle superfici secondo la formula

$$ERNL = 60 + 0.39 \times LT80 - 0.13 \times LT5 \quad (dB(A))$$

32.5. Trattamenti superficiali d'irruvidimento

32.5.1. Microtappeti a freddo (tipo Macro Seal)

32.5.1.1. Descrizione

Il microtappeto a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita.

La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.

La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

32.5.1.2. Inerti

Gli aggregati lapidei costituiscono la fase solida dei conglomerati bituminosi a caldo. Essi risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fina o di additivazione. Gli aggregati grossi e fini sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi).

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

Per l'aggregato grosso devono essere impiegati esclusivamente inerti frantumati di cava, con perdita in peso alla prova Los Angeles, eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1097-2/1999), minore del 18%; inoltre il valore di levigabilità VL determinato su tali pezzature deve essere maggiore od uguale a 46 (UNI EN 1097-8/2001), la porosità minore od uguale a 1,5% (CNR B.U. n. 65 del 18.05.1978), la quantità di frantumato deve essere 100%, il coefficiente di imbibizione < 0,015 (CNR Fasc.IV/1953), i coefficienti di forma "SI" (UNI EN 933-4/2001) e di appiattimento "FI" (UNI EN 933-3/2004) dovranno essere minori o uguali al 10%, la sensibilità al gelo minore od uguale a 20% per la perdita in resistenza (UNI EN 1367-1/2001) e < 1% perdita in massa (UNI EN 1367-1/2001), lo spogliamento in acqua a 40 °C deve essere 0% (CNR 80/80).

L'aggregato fino deve essere composto da sabbie provenienti di frantumazione.

La percentuale delle sabbie provenienti da frantumazione dovrà essere al 100%.

In ogni caso la qualità delle rocce e degli elementi litoidi da cui è ricavata per frantumazione la sabbia deve avere alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2/1999), eseguita su granulato della stessa provenienza, perdita in peso non superiore al 25%.

La somma dei trattenuti in peso delle sabbie impiegate ai setacci ISO 3310 con apertura maggiore di 2 mm non deve superare, nella curva granulometrica finale, il 10% in peso, quando le stesse sabbie provengono da rocce aventi un valore di VL minore od uguale a 43.

L'equivalente in sabbia determinato sulla sabbia o sulla miscela delle due deve essere maggiore od uguale a 70% (UNI EN 933-8).

32.5.1.3. Additivi

Gli additivi (filler) provenienti dalle sabbie potranno essere integrati con filler di apporto (normalmente cemento Portland 325); gli additivi impiegati devono soddisfare i requisiti richiesti all'art. precedente punto 33.3.6.10.

32.5.1.4. Miscela

Le miscele devono avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati in funzione dello spessore finale richiesto:

Spessore minimo	9 mm	6 mm	4 mm
Setacci Serie UNI-EN 933/1			
14 passante %	100	100	100
10 " "	90-98	91-97	100
6,3 " "	72-87	72-88	100
4 " "	52-73	53-74	84-100
2 " "	36-54	35-54	60-84
0,5 " "	16-30	16-30	24-40
0,125 " "	6-14	6-15	8-16
0,063 " "	4-10	4-11	6-11

Miscela con spessori finali diversi devono essere concordate di volta in volta con la D.L.

32.5.1.5. Malta bituminosa

Il legante bituminoso deve essere costituito da un bitume modificato ed emulsionato al 60% a rottura controllata, modificata con elastomeri sintetici incorporati in fase continua (acqua) prima dell'emulsione (art. 33.1., tab. 5).

Per la realizzazione dell'emulsione si dovrà esclusivamente impiegare bitume di tipo "F" (Art. 33.1.5., tab. 1).

Devono essere impiegati additivi chimici per facilitare l'adesione tra il legante bituminoso e gli inerti, per intervenire sul tempo di rottura dell'emulsione.

Il loro dosaggio, ottimizzato con uno studio di laboratorio, deve essere in funzione delle condizioni esistenti al momento dell'applicazione e specialmente in relazione alla temperatura ambiente e del piano di posa.

32.5.1.6. Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/m ²	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10

32.5.1.7. Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

32.5.1.8. Confezionamento e posa in opera

Il confezionamento dell'impasto deve essere realizzato con apposita macchina impastatrice-stenditrice semovente costituita essenzialmente da:

- Serbatoio dell'emulsione bituminosa
- Tramoggia degli aggregati lapidei
- Tramoggia del filler
- Dosatore degli aggregati lapidei
- Nastro trasportatore
- Spruzzatore dell'emulsione bituminosa
- Spruzzatore dell'acqua
- Mescolatore
- Stenditore a carter

Le operazioni di produzione e stesa devono avvenire in modo continuo, connesso alla velocità di avanzamento della motrice, nelle seguenti fasi:

- ingresso della miscela di aggregati e del filler nel mescolatore
- aggiunta dell'acqua di impasto e dell'additivo
- miscelazione ed omogeneizzazione della miscela di inerti e del suo grado di umidità
- aggiunta dell'emulsione bituminosa
- miscelazione ed omogeneizzazione dell'impasto
- colamento dell'impasto nello stenditore a carter
- distribuzione dell'impasto nello stenditore, stesa e livellamento.

Prima di iniziare la stesa del microtappeto si deve procedere ad una energica pulizia della superficie stradale oggetto del trattamento, manualmente o a mezzo di mezzi meccanici: tutti i detriti e le polveri devono essere allontanati. In alcuni casi, a giudizio della D.L., si dovrà procedere ad una omogenea umidificazione della superficie stradale prima dell'inizio delle operazioni di stesa.

In particolari situazioni la D.L. potrà ordinare, prima dell'apertura al traffico, una leggera saturazione del microtappeto a mezzo di stesa di sabbia di frantoio (da 0,5 a 1 Kg di sabbia per m² di pavimentazione) ed eventualmente una modesta compattazione da eseguirsi con rulli in seguito specificati.

Al termine delle operazioni di stesa il microtappeto deve presentare un aspetto superficiale regolare ed uniforme esente da imperfezioni (sbavature, strappi, giunti di ripresa), una notevolissima scabrosità superficiale, una regolare distribuzione degli elementi litoidi componenti la miscela, assolutamente nessun fenomeno di rifluimento del legante.

In zone con sollecitazioni superficiali trasversali forti (curve ecc.) è opportuno che la malta bituminosa venga leggermente rullata prima dell'indurimento. La rullatura deve essere effettuata con apposito rullo gommato leggero a simulazione del traffico veicolare munito anche di piastra riscaldante per favorire l'evaporazione dell'acqua contenuta nella miscela stessa.

La produzione o la posa in opera del microtappeto deve essere interrotta con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C ed in caso di pioggia.

32.5.2. Microtappeti a freddo (Tipo Macro Seal) fibro rinforzati

32.5.2.1. Descrizione

Il microtappeto fibrorinforzato a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita additivata con fibre minerali (art. 33.1.8.2., tab. 2) da impiegare in zone soggette a forti sollecitazioni superficiali e trasversali (curve, salite, ecc.).

La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.

La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

32.5.2.2. Inerti

Valgono le prescrizioni art. 33.5.1.2

32.5.2.3. Additivi

Valgono le prescrizioni art. 33.5.1.3

32.5.2.4. Miscela

Valgono le prescrizioni art. 33.5.1.4

32.5.2.5. Fibre minerali

Mediante idonea apparecchiatura la malta bituminosa deve essere additivata con fibre minerali in percentuali in peso riferite agli inerti variabili tra lo 0,6% e 1,0 %.

32.5.2.6. Malta bituminosa

Valgono le prescrizioni art. 33.5.1.5.

32.5.2.7. Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/ m ²	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10

Dosaggio fibre minerali, riferite agli inerti	%	0,6-1,0	0,6-1,0	0,6-1,0
---	---	---------	---------	---------

32.5.2.8. Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

32.5.2.9. Confezionamento e posa in opera

Vedi punto 33.5.1.8.

32.5.3. Trattamento superficiale di irruvidimento (mono strato mono granulare) con resina bicomponente ed inerti ad elevata rugosità ed alta resistenza all'abrasione

32.5.3.1. Descrizione

Il trattamento consiste nell'operazione di irruvidimento del manto stradale da effettuare con inerti di elevate caratteristiche di resistenza all'abrasione ed all'urto, tramite resina bicomponente da applicare sulla pavimentazione preesistente.

32.5.3.2. Materiali inerti

L'inerte di tipo naturale o artificiale deve essere privo di materiali rigonfianti e preventivamente approvato dalla D.L., e rispondere ai seguenti requisiti:

- la perdita alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2) deve essere minore od uguale a 22%;
- il valore di levigabilità VL (UNI EN 1097-8) deve essere maggiore od uguale a 52.

32.5.3.3. Legante

Il legante deve essere una resina bicomponente (Art. 33.1.4, tab. 5); i due componenti devono essere miscelati nel rapporto 2:1 in peso al momento dell'impiego e lavorati a temperature adeguate.

32.5.3.4. Posa in opera

Preventivamente la superficie della strada deve essere vigorosamente spazzolata, per togliere la polvere e qualsiasi corpo estraneo. Inoltre non devono essere presenti macchie di umidità sulla superficie, eventualmente da rimuovere mediante getto d'aria calda.

Eventuali presenze d'olio sulla superficie stradale devono essere rimosse usando una soluzione detergente, seguita da un risciacquo con acqua pulita.

Le strisce esistenti della segnaletica orizzontale, di materiale termoplastico, devono essere asportate mediante irradiazione e/o bocciardatura.

Prima dell'esecuzione del trattamento (soprattutto in galleria) va eseguito un controllo sulla superficie da trattare per verificare che non ci siano macchie d'acqua che devono venir rimosse con getto d'aria calda.

I due componenti della resina devono essere portati a temperature idonee per facilitarne lo spruzzaggio, secondo le prescrizioni del fornitore.

La resina deve essere spruzzata sulla superficie stradale tramite un sistema a bassa pressione controllato elettronicamente che consenta un continuo monitoraggio dei parametri di miscelazione dei due componenti e quello di stesa da parte dell'operatore e che indichi istantaneamente con segnale sonoro e visivo la presenza, e la possibile causa, di una anomalia nel circuito.

Il rapporto stechiometrico deve essere mantenuto entro una tolleranza dell'1 % (espressa come percentuale del volume totale); il sistema di miscelazione dinamico e statico, deve garantire una perfetta uniformità di miscelazione dei due componenti la resina, miscelandoli intimamente.

Il sistema computerizzato di controllo deve essere in grado di fornire alla D.L. uno stampato per la determinazione delle quantità di materiale impiegato.

Sulla macchina spruzzatrice deve essere presente un serbatoio aggiuntivo di prodotto atto al lavaggio del circuito di spruzzatura che garantisca una perfetta pulizia delle parti interessate senza disperdere nell'ambiente i prodotti di lavaggio.

Le quantità espresse in kg/m² di resina e di graniglia da applicare sulle pavimentazioni sono in funzione del piano di posa interessato e della granulometria della graniglia da utilizzare e devono essere comprese nei seguenti limiti:

	RESINA Kg/m ²	GRANIGLIA (dopo pulizia) Kg/m ²
Granulometria ¾ mm:	0.9÷3.0	5÷10
Granulometria 2/3 mm:	0.7÷3.0	4÷9

N.B.: Le quantità dei materiali impiegati dovranno essere approvate dalla D.L. in funzione della tessitura superficiale della pavimentazione. La graniglia deve essere distribuita accuratamente attraverso una idonea attrezzatura approvata dalla D.L. I pneumatici del veicolo per la graniglia devono essere di larghezza adeguata per prevenire una eccessiva concentrazione del carico del mezzo sulla superficie trattata. Il veicolo spandigraniglia deve avere la possibilità di controllare e variare la quantità della graniglia distribuita.

32.5.3.5. Irruvidimento con macchina pallinatrice

Le superfici con ridotto CAT possono essere riportate a valori superiori con irruviditori a secco denominate pallinatrici che non lasciano superfici trattate con striature orientate in senso longitudinale e trasversale, per non incrementare il rumore di rotolamento e non creare l'effetto rotaia. I pallini proiettati dalla macchina vanno recuperati per aspirazione e reimpiegati previa eliminazione delle particelle distaccate dai manti stradali, in modo da incrementare comunque i valori di HS ed ottenere il massimo incremento possibile per il CAT, in relazione al tipo di miscele presenti nel punto trattato.

32.6. Controlli prestazionali e relative penali

Per i materiali di fondazione (non legati e legati) e per i bitumi, se non c'è il raggiungimento delle prestazioni richieste, verranno applicate le penali definite negli specifici articoli e qui di seguito richiamate in modo sintetico. (L'omissione in questo articolo di alcune penali riportate in altre parti delle presenti NTA non ne elimina la validità).

Se sullo stesso manufatto si verifica la concomitanza di più penali per diversi motivi il massimo tetto, comunque non superabile, sarà del 50% (cinquantapercento). In questi casi ci si riserva in alternativa la facoltà di rifacimento a cura e spese dell'Impresa.

	REQUISITI	ARTICOLO	PENALI
Conglomerati : Durata a fatica	Non inferiore a quella del c.b. di riferimento	Art. 31.2.1.3 Art. 31.6.2.1	10%
Conglomerati : Caratteristiche della Miscela	Non inferiore a quelle prescritte	Art.31.2.1 Art. 31.6.2.2	10%
Conglomerati : Posa in Opera		Art.31.3.5 Art. 31.4.2.5. Art. 31.6.2.3	5%
Portanza : Fondazione non legata (Modulo Elastico E)	$E > 1850 \text{ daN/cm}^2$	Art. 29.5.	10%
Portanza : Fondazione (o sottobase) a legante idraulico o equiparata (Modulo Elastico E)	Moduli secondo Fig. 1	Art. 30.1.7.	10 - 20%

Qualità dei Bitumi	Caratteristiche varie	Art. 31.1.1.3	10%
Usure Drenanti Fonoassorbenti : Capacità drenante	Permeabilità inferiore a quella prescritta	Art. 31.4.4.3.6	10%
Usure Drenanti Fonoassorbenti : Coefficiente di Fonoassorbimento	Valori di β secondo frequenze	Art. 31.4.4.3.8	2% (*)

(*) Per ogni valore non raggiunto (detrazione massima 6%)

Altre penali sono presenti nei relativi articoli, come per esempio quella della segnaletica ad alta retro riflessione (v. art. specifico).

Dettagliamo nel seguito le altre prestazioni richieste, misurate con i mezzi ad Alto Rendimento della Committente (le prove potranno essere effettuate anche da "terzi", su specifiche fornite dalla committente) e le penali conseguenti per il non raggiungimento delle suddette.

32.6.1. Controlli ad alto rendimento: Tutti i tipi di conglomerato bituminoso

32.6.1.1. Portanza: Requisiti

Per quanto riguarda invece le caratteristiche strutturali degli strati in conglomerato bituminoso messi in opera, il parametro di riferimento è il modulo elastico che sarà ricavato interpretando una serie di misure di deflessione dinamica effettuate con apparati di tipo F.W.D (le prove potranno essere effettuate anche da "terzi", su specifiche fornite dalla committente); per l'interpretazione delle misure di deflessione, è necessario conoscere gli spessori degli strati in conglomerato bituminoso della pavimentazione che verranno rilevati a cavo aperto dalla D.L. e/o potranno essere ricavati mediante una opportuna campagna di carotaggi successiva da eseguire con un passo non inferiore a 500 m.

Per una maggiore precisione nella determinazione degli spessori, tale campagna di carotaggi potrà essere integrata dal rilievo in continuo, mediante radar, della stratigrafia della pavimentazione eseguito con l'apparecchiatura ad alto rendimento denominata ARGO.

Per la valutazione del modulo medio complessivo del Pacchetto degli strati legati a bitume (spessore complessivo del Pacchetto degli strati legati a bitume ≥ 10 cm), le prove di deflessione dinamica avverranno su pavimentazioni nuove o con il pacchetto degli strati legati a bitume completamente rinnovato.

Le prove di deflessione dinamica saranno eseguite sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 10° giorno dal termine della stesa dell'ultimo strato e prima dell'apertura al traffico.

Le prove di deflessione dinamica verranno interpretate per il calcolo del valore del modulo elastico mediante il programma "BACAN" (che verrà utilizzato dalla committente interpretando anche prove deflettometriche effettuate da "terzi") ed il valore dovrà essere riportato alla temperatura di riferimento del conglomerato di 20°C. secondo curve di correzione proposte dalla committente.

Le prove dinamiche tipo F.W.D./H.W.D. non saranno eseguite con temperature superficiali della pavimentazione oltre i 30°C. Le misure di F.W.D./H.W.D. verranno effettuate al massimo ogni 50 mt di corsia per aver a disposizione un campione di dati di ampiezza statisticamente accettabile, eccezionalmente, per motivi operativi e di interferenza con il traffico, l'intervallo tra le prove potrà essere esteso fino ad un massimo di 100 mt. Per ciascuna tratta con tipo di intervento omogeneo, il numero di prove da eseguire, perché il campione abbia una ampiezza statisticamente accettabile, non deve essere inferiore a 20, qualsiasi sia la sua lunghezza. Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si farà riferimento al valore medio del modulo espresso in daN/cm², ricavato dai moduli risultanti dalle misure puntuali di F.W.D./H.W.D., relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa. Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al "BACAN".

32.6.1.2. Portanza: Penali

In funzione del valore medio del modulo dello strato o del pacchetto di strati soggetto a prova, lo strato od il pacchetto interessato e tutti gli strati sovrastanti verranno penalizzati degli importi elencati nella seguente tabella :

MODULO DI ELASTICITÀ (E) dello Strato o del Pacchetto di strati legati a bitume	PENALITÀ per lo strato o pacchetto di strati soggetti a prova ed
--	---

soggetti a prova (daN/cm ² a 20°C)	eventuali strati sovrastanti
$E > 150000$	Detrazione del 15%
$120000 \leq E \leq 150000$	Detrazione del 10%
$55000 \leq E < 120000$	Prestazione valida
$45000 \leq E < 55000$	Detrazione del 10%
$35000 \leq E < 45000$	Detrazione del 20%
$30000 \leq E < 35000$	Detrazione del 50%

Nel caso in cui il modulo riscontrato risulti inferiore ai 30000 daN/cm² il lavoro non sarà considerato accettabile, e la D.L., anche tenendo conto dell'estensione e della distribuzione delle tratte omogenee carenti potrà richiedere il suo rifacimento a completa cura e spesa dell'Appaltatore.

32.6.1.3. Aderenza e Macrotessitura: Requisiti

Nei tappeti e/o trattamenti superficiali dovranno essere realizzati valori di aderenza e tessitura granulometrica superficiale (macro - tessitura) idonei in rapporto a:

- A. I tipi di materiale e/o trattamenti usati per l'esecuzione dello strato superficiale;
- B. Le condizioni piano - altimetriche del tracciato in ogni suo punto;
- C. Il tipo di traffico prevalente e la sua intensità.

Il Coefficiente di Aderenza Trasversale (CAT) misurato con l'apparecchiatura SCRIM o SUMMS (Norma CNR B.U. n° 147 del 14.12.92 - la relazione tra il valore CAT qui prescritto, denominato CAT_{aut}, e quello definito dalla norma CNR, denominato CAT_{cnr}, è: $CAT_{aut} = CAT_{cnr} \times 100$) deve risultare superiore o uguale ai seguenti valori:

MATERIALE	CAT prescritto
Conglomerati bituminosi normali e speciali per usura (tipo CB, CBS, CBH)	58
Conglomerati bituminosi normali e speciali per binder (tipo CB, CBS, CBH): provvisori	45
Conglomerati bituminosi modificati con polimeri per viadotti (tipo CBV)	55
Conglomerati bituminosi con inerti chiari e irradiati	55
Conglomerati bituminosi (tipo CB, CBS, CBH) con argilla espansa	60
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali (tipo CBD; CBDS)	53
Microtappeti a freddo (Macroseal - tipo MTF) - spessore 9 mm	62
Microtappeti a freddo (Macroseal - tipo MTF) - spessore 6 mm	62
Trattamenti superficiali con leganti sintetici (Italgrip - tipo TSS)	72

Inoltre la tessitura geometrica (HS) intesa come macrotessitura superficiale misurata mediante il misuratore "mini texture meter" (WDM- TRRL) o mediante il SCRIM/SUMMS dovrà essere superiore o uguale ai seguenti valori:

MATERIALE	HS prescritto
Conglomerati bituminosi normali e speciali per usura (tipo CB, CBS, CBH)	0,3 mm
Conglomerati bituminosi normali e speciali per binder (tipo CB, CBS, CBH): provvisori	0,2 mm
Conglomerati bituminosi modificati con polimeri per viadotti (tipo CBV)	0,4 mm
Conglomerati bituminosi con inerti chiari e irradiati	0,5 mm
Conglomerati bituminosi (tipo CB, CBS, CBH) con argilla espansa	0,3 mm
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali (tipo CBD; CBDS)	0,8 mm
Microtappeti a freddo (Macroseal - tipo MTF) - spessore 9 mm	0,6 mm
Microtappeti a freddo (Macroseal - tipo MTF) - spessore 6 mm	0,5 mm

Trattamenti superficiali con leganti sintetici (Italgrip - tipo TSS)	0,8 mm
Trattamenti di irruvidimento con sistemi meccanici:	
- All'esterno di gallerie e all'interno di gallerie con possibili ristagni d'acqua	0,5 mm
- All'interno di gallerie impermeabilizzate	0,4 mm

Le misure di CAT e HS interesseranno almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e dovranno essere effettuate in un periodo di compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, ad eccezione dei conglomerati bituminosi drenanti per i quali le misure dovranno essere effettuate tra il 60° ed il 270° giorno dall'apertura al traffico.

Per quanto riguarda le misure di CAT e HS, effettuate con il SCRIM / SUMMS, dovrà essere rilevato almeno il 10% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m.) potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia; le misure di CAT e HS dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m. e i valori misurati di CAT e HS potranno, eventualmente, essere mediati ogni 50 m. per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e macrotessitura superficiale si farà riferimento ai valori medi di CAT e HS, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m.) o dai valori già mediati ogni 50 mt, relativi a ciascuna "tratta omogenea" in cui è possibile suddividere la tratta misurata.

Per "tratte omogenee" si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale"; i valori medi di CAT e HS ricavati per ciascuna tratta omogenea dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Nel caso in cui l'apparato di misura abbia rilevato (CAT ed HS) su i due lati della corsia in esame è facoltà della Committente analizzare entrambe le serie di misure per poi prendere in considerazione, per il confronto con le prescrizioni sopra riportate, i valori medi di CAT ed HS relativi alle tratte omogenee in condizioni peggiori.

Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di aderenza.

Per quanto riguarda le misure di HS eseguite con il "mini texture meter" il valore da assumere come riferimento è la media dei quattro valori ottenuti misurando quattro strisciate longitudinali, distanziate in senso trasversale di 50 cm, preferibilmente ubicate nelle zone più battute dalle ruote. Lo strumento fornisce valori di tessitura media ogni 10 m. ed ogni 50 m. lungo ogni striscia longitudinale, pertanto, ai fini del controllo, dovrà risultare in accordo con le prescrizioni la media (una sola cifra decimale) dei quattro valori ottenuti ogni 50 m. (uno per ciascuna striscia longitudinale).

32.6.1.4. Aderenza e Macrotessitura: Penali

Qualora il valore medio di CAT o HS, come definito in precedenza per ciascuna TRATTA OMOGENEA (Misure SCRIM o SUMMS) o per ciascuna tratta da 50 m. (Misure di HS con "mini texture meter"), sia inferiore ai valori prescritti per ciascun tipo di pavimentazione, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una corsia), questo fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

I valori della soglia di non accettabilità sono :

CAT = 40

HS = 0,25 mm (eccetto i binder provvisori per i quali vale il valore prescritto in tabella)

Qualora il valore medio di CAT o HS, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea (Misure SCRIM o SUMMS) o per ciascuna tratta da 50 m. (Misure di HS con "mini texture meter"), sia inferiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza a alla stesa di un nuovo strato; in alternativa a quest'ultima operazione si potrà procedere all'effettuazione di altri trattamenti di irruvidimento per portare i/il valore deficitario al disopra della soglia di non accettabilità. Se comunque al termine di tali operazioni non si raggiungessero i valori prescritti, pur essendo i valori di CAT e HS al disopra dei valori inaccettabili, verrà applicata la detrazione del 20% del prezzo.

32.6.1.5. Regolarità: Requisiti

La regolarità della superficie di rotolamento dei pneumatici dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

Indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, inferiore a 1,8 mm/m. nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata, inferiore a 2,0 mm/m. nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.

A discrezione della Direzione Lavori potrà essere richiesto il rilevamento dell'Indice CP (Coefficiente di Planarità), calcolato a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione opportunamente filtrato per separare i diversi campi di lunghezze d'onda :

Campi di lunghezza D'onda	Intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata	Intervento limitato a una parte della carreggiata
Fino a 2,5 m. :	CP2,5 < 80	CP2,5 < 120
Da 2,5 m. a 10 m. :	CP10 < 160	CP10 < 240
Da 10 m. a 40 m. :	CP40 < 320 (valore consigliato)	CP40 < 480 (valore consigliato)

Queste prescrizioni valgono per :

- Conglomerati Bituminosi tipo CB, CBS, CBH
- Conglomerati Bituminosi rigenerati in sito
- Conglomerati Bituminosi modificati con polimeri per viadotti (tipo CBV)
- Conglomerati Bituminosi con inerti chiari, irradiati
- Conglomerati Bituminosi tipo CB, CBS, CBH con Argilla espansa
- Conglomerati Bituminosi drenanti e drenati strutturali (tipo CBD, CBDS)

Le misure profilo longitudinale interesseranno almeno una corsia (marcia o marcia lenta), dovranno essere eseguite in un periodo di compreso tra il 4° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico utilizzando l'apparecchiatura ARAN e dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm.

Dovrà essere rilevato almeno il 50% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m.) potranno essere localizzate nei punti dove a giudizio della D.L. la regolarità risulti non sufficiente o dubbia.

I valori dell'indice IRI verranno calcolati con un "passo" di 20 m. a partire dal profilo longitudinale misurato; i valori degli indici CP2,5-CP10-CP40 verranno calcolati con un "passo" di 100 m., rispettivamente per i tre campi di lunghezze d'onda sopra definiti a cui corrispondono tre profili che si ottengono filtrando il profilo misurato.

Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si farà riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 20 m.), relativi a ciascuna "tratta omogenea" in cui è possibile suddividere la tratta misurata; per "tratte omogenee" si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale".

I valori medi di IRI ricavati per ciascuna tratta omogenea dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

Nel caso in cui l'apparato di misura abbia rilevato l'Indice IRI su i due lati della corsia in esame è facoltà della Committeente analizzare entrambe le serie di misure per poi prendere in considerazione, per il confronto con le prescrizioni sopra riportate, i valori medi di IRI relativi alle tratte omogenee in condizioni peggiori.

Le tratte omogenee saranno individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.

Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice CP, si farà riferimento ai tre valori CP2,5-CP10-CP40 per tratte da 100 m. di lunghezza: i valori dovranno risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

32.6.1.6. Regolarità: Penali

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, o uno o entrambi i valori CP2,5-CP10 per tratte da 100 m., non soddisfi le condizioni richieste, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva di tale strato anche se le misure interessano una corsia), questo fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

I valori della soglia di non accettabilità sono :

IRI	= 3,5 mm/m.
CP2,5	= 160
CP10	= 320

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, o uno o entrambi i valori CP2,5 e CP10 per tratte da 100 m., sia maggiore o uguale ai valori ritenuti inaccettabili sopra elencati, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza a alla stesa di un nuovo strato; il nuovo strato sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo e agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

32.6.1.7. Regolarità dei giunti: Requisiti e penali

La regolarità della superficie di rotolamento dei pneumatici in corrispondenza dei giunti di dilatazione degli impalcati da ponte dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

Indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione inferiore a 5,0 mm.

Le misure profilo longitudinale interessano almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e dovranno essere eseguite in un periodo di compreso tra il 15° e 180° giorno dell'apertura al traffico utilizzando l'apparecchiatura ARAN. Le misure profilo longitudinale dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm e i valori dell'indice IRI verranno calcolati a partire da tale profilo con un "passo" di 5 m.

Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale dei giunti di dilatazione si farà riferimento ai valori dell'indice IRI nel cui intervallo di calcolo (L= 5 m.) si trova ad essere posizionato almeno un giunto; qualora tale parametro non soddisfi le condizioni richieste, il giunto di dilatazione, ricadente nel relativo intervallo di calcolo verrà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva del giunto anche se le misure interessano una corsia), questo fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità appresso specificata.

Il valore della soglia di non accettabilità è:

$$IRI = 7 \text{ mm/m.}$$

Qualora il valore di IRI, come definito in precedenza, sia maggiore o uguale al valore ritenuto accettabile sopra specificato, si dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa per tutta la sua larghezza ed al rifacimento del giunto di dilatazione; il nuovo giunto sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

32.6.2. Controlli tradizionali: Tutti i tipi di conglomerati bituminosi**32.6.2.1. Durata a fatica**

Le prove di durata a fatica (norma UNI EN 12697-24 all.E) andranno svolte su provini cilindrici da pressa giratoria (150mm) e/o ottenuti da carotaggi (stesso diametro), in genere per i conglomerati bituminosi di base; potranno essere applicate anche ad altri tipi di conglomerati chiusi.

Le prove verranno effettuate con modalità brasiliana (trazione indiretta su provino appoggiato sul fianco).

Il risultato ottenuto in termini di numero di cicli alla temperatura di controllo di 10 °C su di un primo provino, dovranno essere superiori o uguali a quelli del materiale di riferimento rappresentato da una curva $\log N / \log \sigma$ alla stessa temperatura (Art. 33.2.1.3). Se non si otterrà questo risultato sul primo provino, la prova andrà ripetuta su un secondo; se si avrà per esso un risultato negativo (inferiore al riferimento) si applicherà la penale; se positivo si effettuerà una terza prova, che darà luogo alla penale se negativa.

In tale caso lo strato oggetto di prova (ed il pacchetto che lo ricopre) verrà penalizzato del 10% del suo costo : tale costo verrà determinato utilizzando la larghezza complessiva dello strato e la lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato sottoposto a prova di fatica.

32.6.2.2. Caratteristiche della miscela

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai requisiti meccanici (Rt e CT), Volumetrici, Granulometrici e di Contenuto di Bitume (vedi Art. 33.2.1. e successivi) comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova.

Tale costo verrà determinato utilizzando la larghezza complessiva dello strato e la lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato sottoposto a prova.

32.6.2.3. Posa in opera della miscela

Come specificato agli art. 33.3.5 e 33.5.2.5, la messa in opera di strati compromessi (che presentano ad esempio : anomalie di stesa o di compattazione, perdite di materiale, giunti longitudinali o giunti trasversali di ripresa mal eseguiti, aperti o sgranati) comporterà a insindacabile giudizio della Direzione Lavori, in aggiunta alla rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa, l'applicazione di una penale pari 5% del costo dello strato.

Tale costo verrà determinato partendo dalla larghezza complessiva dello strato e dalla lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato che presenta compromissioni, con detrazioni proporzionali alla diffusione dei difetti.

La D.L. rileverà per tutti gli eventi di questo tipo, i seguenti dati : ubicazione, tipo di lavorazione, data di messa in opera, tipo di difetto rilevato, almeno n.2 foto digitali dei difetti, costo di riferimento per la penale.

La D.L. valuterà l'applicazione delle penali, tenendo anche presente le segnalazioni dell'Impresa, trasmesse, relative ad eventi particolari, non riconducibili a responsabilità dell'Impresa, che hanno condizionato la buona riuscita dei Lavori (ad es. : incidenti, code, ordini della P.S., etc.).

32.6.2.4. Spessori: penali

Lo spessore della pavimentazione dovrà corrispondere allo spessore di Progetto.

Esso verrà determinato su carote prelevate a questo fine (diametro 50 mm) o per altre valutazioni (diametri 100 o 150 mm). Su tali carote, prelevate casualmente dalla Direzione Lavori, in contraddittorio con l'Appaltatore, sulla superficie di pavimentazione stesa tra due scambi di carreggiata, dovranno essere effettuate almeno 30 misure eseguite con le modalità qui di seguito descritte.

Per le carote da 50 mm vengono effettuate 2 misure diametralmente opposte, mentre per quelle da 100 o da 150 mm vengono effettuate 6 misure in corrispondenza degli estremi dei diametri presi ogni 60°. Dalla media M di tali misure si ricaverà il valore dello spessore della pavimentazione. La Direzione Lavori si riserva anche la possibilità di effettuare misure ad alto rendimento con macchine dotate di radar geotecnico, che fornirà automaticamente, con doppio passaggio, lo spessore medio della pavimentazione stesa.

L'accettazione della determinazione dello spessore della pavimentazione stesa dovrà scaturire dalle considerazioni sui principali parametri statistici relativi alla misura di grandezze fisiche qui di seguito riportati (UNI 4723-84).

Si dovrà determinare la media aritmetica M delle n misure xi, definita come la somma di tutte le osservazioni divisa per il loro numero, ed il loro scarto tipo "S", definito come la radice quadrata positiva della media (corretta) dei quadrati degli scarti di tutte le osservazioni (varianza) e fornito dall'espressione:

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \left(\sum_{i=1}^n xi^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n xi \right)^2}{n} \right)}$$

La media M delle misure dello spessore del singolo strato non dovrà essere inferiore ad un valore minimo stabilito come il 93% dello spessore di Progetto.

Singoli valori xi potranno essere inferiori a tale minimo purché lo scarto tipo S delle misure non superi il 30% della loro media, e la differenza tra il valore massimo e minimo non superi il 20% del valore medio M.

Le misure che generano uno scostamento superiore ai suddetti valori vanno eliminate dal computo e va ripetuto il calcolo della nuova media da verificare con i criteri testé indicati.

Qualsiasi insufficienza di spessore di uno strato, valutabile nel fatto che M è inferiore al 93% dello spessore di Progetto, comporterà una penalità applicata alla superficie di pavimentazione a cui si riferiscono le misure, che normalmente è quella lavorata tra due scambi di carreggiata. Nessuna penalità verrà applicata se la media M è uguale o superiore al 93% dello spessore di Progetto, tranne il caso in cui il 90% delle misure xi risultino di spessore compreso tra quello di Progetto ed il 7% in meno dello stesso; in tale circostanza verrà applicata una detrazione del 5% al prezzo di elenco.

Per una insufficienza di spessore presentata da valori di M appartenenti agli intervalli da 7% a <10%, da 10% a <20%, da 20% a < 40% saranno effettuate riduzioni del prezzo di elenco, relativo allo strato ed alle superfici coinvolte rispettivamente del 20%, del 35% e del 50%. ogni deficienza di spessore superiore al 40% comporterà il rifacimento e/o la ricopertura gratuita.

32.7. Controlli

32.7.1. Prestazioni di controllo da parte della committente

L'attività inerente i controlli sui progetti, sulle idoneità delle miscele e sui rilievi ad Alto Rendimento, si svilupperà nel seguente modo:

PROGETTO DELLE MISCELE

- Verifica inerti (tutti)
- Verifica bitumi (tutti)
- Verifica curve di progetto delle curve di progetto anche presso i cantieri e/o per lavorazioni sperimentali (tutte).

CONTROLLO LAVORI

- Verifiche volumetriche e compositive delle miscele con frequenza giornaliera per impianto di produzione
- Verifiche sui bitumi: settimanale oppure ogni 2500 m3 di stesa
- Misure ad alto rendimento (Aderenza, regolarità ecc.): almeno un passaggio.

Tutti gli studi delle miscele riguardanti i lavori riportati nelle N.T.A. eseguiti dalle imprese esecutrici devono essere presentati alla Direzione Lavori per la verifica ed l'approvazione. L'impresa esecutrice dei lavori di pavimentazione deve far pervenire a proprie spese, alla Direzione Lavori con congruo anticipo prima dell'inizio dei lavori, gli studi di progetto unitamente a tutti i componenti impiegati per la loro realizzazione (graniglie, sabbie, additivi, bitume ecc.).

LA Direzione Lavori provvederà ad eseguire per ciascuna miscela e su tutti i materiali presentati una serie di analisi finalizzate alla verifica dei dati progettuali e di idoneità.

Tutte le curve di progetto per i conglomerati bituminosi presentate dall'Impresa esecutrice dei lavori devono essere verificate secondo l'apparecchiatura "Pressa Giratoria" (UNI EN 12697-31/2004).

Gli aggregati lapidei ed il bitume tal quale e/o modificato impiegati nelle lavorazioni devono essere prelevati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Impresa esecutrice dei lavori ed accompagnati da dettagliati verbali di prelievo.

Le quantità di materiali che devono pervenire presso il Laboratorio indicato dalla D.L., per i conglomerati bituminosi, devono essere le seguenti:

Inerti ≤ 5 mm	: 40 Kg per ogni pezzatura. (sacchi da 20 Kg)
Inerti ≥ 5 mm	: 60 Kg per ogni pezzatura. (sacchi da 20 Kg)
Filler	: 5 Kg
Bitume	: 10 Kg

33. Strutture di sostegno e contenimento in elementi prefabbricati

33.1. Generalità

Le strutture di sostegno e contenimento in elementi prefabbricati dovranno essere realizzate secondo gli elaborati esecutivi di Progetto, redatti nel rispetto delle norme emanate in applicazione dell'art. 21 della Legge 05/11/1971 n. 1086 e di quelle emanate in applicazione della Legge 02/02/1974 n. 64 (D.M. 03/12/1987 e successivi aggiornamenti).

La Direzione Lavori, dopo che il Progettista avrà preso visione dei documenti di cui all'art. 9 della legge n. 1086 e avrà verificato la previsione di utilizzazione del manufatto prefabbricato e il suo organico inserimento nel Progetto, autorizzerà l'Appaltatore a porre in opera la struttura prefabbricata.

Nella realizzazione dei componenti in conglomerato cementizio vibrato semplice od armato, normale o precompresso e per gli acciai di armatura, dovranno essere rispettate le prescrizioni delle presenti Norme; i geotessili dovranno rispondere alle caratteristiche di cui all'art. 7 del Cap. "Materiali" del presente Capitolato Speciale.

Per tutte le strutture di sostegno e contenimento di cui al presente articolo, gli eventuali oneri di brevetto nonché quelli relativi ai calcoli di Progetto dei muri prefabbricati sono a carico dell'Appaltatore.

Quando previsto in Progetto, i muri avranno paramento a faccia vista realizzato:

- con lastre in porfido o in pietra locale di equivalente qualità, dello spessore non inferiore a 2 cm, disposte secondo le indicazioni di Progetto ed inglobate nel getto;
- con elementi geometrici in rilievo, di qualsiasi forma prescritta da Progetto, realizzati con apposite matrici in gomma.

Relativamente agli scavi di fondazione, l'Appaltatore dovrà rispettare rigorosamente i disegni di Progetto; eventuali eccedenze dovranno essere colmate con getti di conglomerato cementizio a cura e spese dell'Appaltatore.

33.2. Muri di sostegno, sottoscarpa e controripa in pannelli prefabbricati

Costituiti da pannelli in c.a.v. /c.a.p. prefabbricati, disposti verticalmente o con scarpa fino al 10%, secondo le previsioni di Progetto, irrigiditi nella parte interna da una costolatura estendentesi per l'intera altezza del pannello e da una platea di base in conglomerato cementizio armato, gettata in opera.

Muri di altezza superiore a 5,00 m dovranno avere le costolature collegate con la platea di base mediante tiranti prefabbricati in c.a.v.; la cerniera tra tirante e costolatura del pannello dovrà essere sigillata con malta reoplastica premiscelata a ritiro compensato.

I pannelli dovranno avere lo spessore ai bordi non inferiore a 10 cm e dovranno presentare la faccia in vista piana e ben rifinita, con gli spigoli arrotondati.

Difetti di planarità, verificati con un regolo della lunghezza di 4 m, superiori a 5 mm comporteranno automaticamente il rifiuto del pannello che l'Appaltatore dovrà allontanare dal cantiere a sua cura e spese. Al piede dei pannelli dovrà essere realizzato un bordino di rifinitura in malta cementizia.

Nei giunti verticali fra i pannelli dovranno essere inseriti profilati in PVC di idonea sagomatura, atti a trattenere materiali di granulometria superiore a 0,5 mm ed aventi superfici dei fori e/o fessure non inferiore a 50 cm² per metro quadrato di pannello per consentire un facile drenaggio delle acque presenti nel rilevato.

Il conglomerato cementizio dei pannelli e dei tiranti prefabbricati dovrà avere classe di resistenza > 40 MPa; quello per la platea gettato in opera dovrà avere classe di resistenza > 30 MPa; l'acciaio di armatura dovrà essere del tipo Fe B 44k controllato in stabilimento.

Particolari cautele dovranno essere adottate nel compattamento del rilevato a ridosso dei pannelli facendo eventualmente ricorso anche a pestelli pneumatici per non danneggiare le strutture.

Relativamente agli scavi, l'Appaltatore dovrà rispettare rigorosamente i disegni di Progetto; eventuali eccedenze dovranno essere colmate con getti di conglomerato cementizio a sua cura e spese.

33.3. Muri di sostegno in terra armata

Costituiti da un rilevato armato con armature lineari ad alta aderenza in acciaio laminato del tipo Fe 510, di sezione 40x5 mm o equivalente, zincato a caldo in ragione di 8 g/dm² e spessore medio 0,1 mm e da un paramento verticale in pannelli prefabbricati di c.a.v., avente classe di resistenza > 40 MPa ed armatura in barre in acciaio Fe B 44k controllato in stabilimento.

Il collegamento tra i pannelli e le armature del terrapieno sarà realizzato con attacchi in acciaio zincato a caldo annessi nel getto dei pannelli e vincolati ai ferri d'armatura del conglomerato cementizio.

I pannelli di paramento, sagomati e disposti come da Progetto, alterneranno nelle file di base e di sommità elementi interi con elementi speciali costituiti da semipannelli; in corrispondenza di spigoli e di coronamenti sub-orizzontali dovranno essere impiegati pannelli speciali in misure fuori standard.

I giunti tra i pannelli devono essere attrezzati per permettere un assestamento flessibile in quelli orizzontali ed il passaggio dell'acqua con trattenuta dei materiali fini in quelli verticali.

I giunti orizzontali saranno costituiti pertanto da strati dello spessore di almeno 2 cm di sughero pressato trattato con resine epossidiche. Quelli verticali da strisce di schiuma di poliuretano a cellule aperte di sezione 4x4 cm.

I pilastri d'angolo e le lastre coprigiunto, in elementi prefabbricati di c.a.v., dovranno avere le stesse caratteristiche dei pannelli e dovranno comprendere i pezzi speciali, gli attacchi e quant'altro necessario.

In aderenza al paramento interno delle lastre dovrà essere fornito e posto in opera in più riprese un rivestimento costituito da un telo in geotessile non tessuto in polipropilene del peso di 350 g/m².

Il coronamento in sommità dei pannelli costituenti il paramento verticale sarà realizzato in cemento armato secondo le previsioni di Progetto.

Nella formazione del rilevato costituente il terrapieno armato dovranno essere applicate norme e prescrizioni contenute nell'articolo 3.4.1.2 delle presenti Norme.

L'Appaltatore dovrà porre particolare cura alla selezione dei materiali costituenti il rilevato, dovrà effettuare il costipamento in spessori ridotti per la presenza delle armature e con particolari cautele a ridosso del paramento esterno.

33.4. Strutture di sostegno a scomparti in elementi scatolari o cellulari

Costituite da elementi in c.a.v. prefabbricati, atti a formare, mediante sovrapposizione alternata ortogonale, scomparti da riempire con materiale lapideo sciolto di fiume, di cava o di frantoio, di idonea pezzatura, contenente una percentuale di fino (limo o argilla) variabile dal 10÷15% ed avente peso specifico non inferiore a 1,9 t/m³.

Gli elementi prefabbricati in c.a.v., di sagomatura come da Progetto, dovranno avere classe di resistenza > 40 MPa ed armatura in barre di acciaio Fe B 44k controllato in stabilimento. La configurazione delle pareti longitudinali potrà essere verticale o a scarpa, a seconda delle indicazioni di Progetto. Le caratteristiche geometriche degli elementi in c.a.v. dovranno essere tali da inibire la fuoriuscita del materiale di riempimento.

Ad avvenuto completamento di ciascuna fila, la struttura risultante dovrà essere riempita fino al contatto con la retrostante parete con un misto di cava od altro materiale, permeabile e sciolto, di idonea pezzatura, compattato a fondo all'interno e tra gli elementi, fino all'incontro con la parete a tergo della struttura.

Per il riempimento degli ultimi 20 cm delle superfici che restano in vista dovrà essere impiegato terreno vegetale così da agevolare l'attecchimento della vegetazione. In corrispondenza di ciascun elemento scatolare dovranno essere impiantate almeno tre piantine di essenze arbustive, rampicanti e tappezzanti;

La struttura sarà appoggiata su fondazione in conglomerato cementizio, che dovrà risultare perfettamente orizzontale; nel caso che il piede della struttura dovesse seguire una pendenza longitudinale, la fondazione dovrà essere eseguita a gradoni, ciascuno di altezza pari o multipla di quella degli elementi.

Durante la realizzazione del muro si dovranno adottare tutti gli accorgimenti necessari per allontanare l'acqua eventualmente presente, in modo da poter eseguire le lavorazioni di posa in opera degli elementi prefabbricati e del terreno agrario all'interno delle vaschette in assenza di acqua.

33.5. Strutture di sostegno in terra rinforzata a paramento verde

Costituite da strati di materiali idonei, dello spessore non superiore a 50 cm, alternati con armature in teli di geotessili.

Il paramento in vista delle strutture, inclinato di 50°÷70° rispetto all'orizzontale, sarà formato da una griglia metallica di contenimento e da uno speciale geotessile strutturato in modo tale da trattenere il terreno e la semina e permettere la germinazione del seme attraverso le sue maglie per avere il paramento completamente inerbito.

Il paramento sarà costituito dai seguenti componenti:

- geotessile d'armatura del rilevato, costituito da poliestere o polipropilene a filamento continuo agotrattato delle seguenti caratteristiche:

Categoria dei teli	kN 40	kN 80	kN 100	kN 120
Peso	350 g/m ²	700 g/m ²	900 g/m ²	1050 g/m ²
Spessore	2,5 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,0 mm
Resistenze: longitudinale trasversale	40 kN/m 19 kN/m	80 kN/m 36 kN/m	100 kN/m 47 kN/m	120 kN/m 54 kN/m
Allungamento a rottura: longitudinale trasversale	48% 53%	45% 43%	47% 45%	43% 51%
CREEP nel senso di massima resistenza al 25% del carico di esercizio	nullo	nullo	nullo	nullo
Permeabilità sotto carico di 0,20 MPa	0,7x10 ⁻³ m/s	0,5x10 ⁻³ m/s	0,4x10 ⁻³ m/s	0,4x10 ⁻³ m/s
Trasmissività	3,0x10 ⁻⁵ m ² /s	5,0x10 ⁻⁵ m ² /s	6,0x10 ⁻⁵ m ² /s	7,0x10 ⁻⁵ m ² /s

- rete metallica elettrosaldata con fili del diametro 6÷10 mm in maglie differenziate di 15x15 e 15x30 cm oppure 12,5x15 e 15x30 cm, rispondenti alle caratteristiche riportate nelle presenti Norme;
- distanziatori e puntoni fissatori del diametro 8÷10 mm, rispondenti alle caratteristiche riportate nelle presenti Norme;
- geotessile composito per il contenimento del paramento di scarpata, costituito da un telo in poliestere o polipropilene a filo continuo, strutturato in maglie di 2x4 mm di contenimento del terreno e di base d'appoggio della vegetazione. Tale geotessile dovrà risultare di peso non inferiore a 200 g/m², avere resistenza allo strappo non inferiore a 15 kN/m e presentare caratteristiche di stabilità ai raggi U.V., di ininfiammabilità e di imputrescibilità.

La sistemazione in opera dei materiali, la cui stesa e compattazione dovranno essere eseguite per strati di spessore non superiore a 25 cm, fino ad ottenere una densità non inferiore al 95% della densità individuata mediante la prova AASHTO mod.

Il paramento in vista dovrà essere seminato a spruzzo con una miscela avente la seguente composizione:

- miscuglio di semi di specie erbacee e foraggere in ragione di 50-60 g/m²;
- composto costituente il supporto del seme, con funzione agglomerante, fertilizzante ecc., comprendente tra l'altro:
 - materiale portante su base organica formato da terreno vegetale, silicati, sostanze concimanti organiche, fibre vegetali, bentonite;
 - materiale ad elevato assorbimento e ritenzione idrica;
 - materiale agglomerante a base di colloidali organici;
 - fibre vegetali biodegradabili;
 - fertilizzanti complessi granulati ad azione ritardata; in ragione di complessivi 5,2 kg/m²;
- acqua in ragione di 15÷20 kg/m².

La Direzione Lavori provvederà a fare eseguire le sottoelencate prove e controlli:

- a) per il geotessile d'armatura (per ogni 2.000 m² o frazione):
- n. 1 prova per la determinazione del peso unitario;
 - n. 1 prova per la determinazione della resistenza allo strappo;
 - n. 1 prova per la determinazione dell'allungamento;
 - n. 1 prova per la determinazione della permeabilità;
 - n. 1 prova per la determinazione della trasmissività;
 - n. 1 prova per attestare le proprietà a lungo termine (CREEP test, secondo BS 6906 parte V, 1991) o prova equivalente approvata dalla Direzione Lavori;
- b) per il geotessile di contenimento della scarpata (per ogni 2.000 m² o frazione):
- n. 1 prova per la determinazione del peso unitario;
 - n. 1 prova per la determinazione della resistenza allo strappo;
 - n. 1 prova di stabilità ai raggi U.V.;
 - n. 1 prova di ininfiammabilità;
 - n. 1 prova di imputrescibilità;
- c) per la sistemazione in opera delle terre (per ogni 1.000 m³ o frazione):
- secondo le prescrizioni del presente Capitolato Speciale per le terre armate (art. 3.4.1.2).

In caso di rilevamento di valori inferiori a quelli prescritti, l'Appaltatore dovrà a sua cura e spese smantellare l'opera costruita, sostituire i materiali non idonei e provvedere alla successiva ricostruzione.

33.6. Struttura di sostegno in terra rinforzata con paramento in pietrame

Struttura di sostegno in terra rinforzata costituita da paramento in gabbioni a scatola zincati e plastificati (2x1x1 m) muniti di teli in rete zincata e plastificata, per rinforzo e armatura del terrapieno posteriore, di lunghezza 4 m.

Il manufatto sarà realizzato in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10, tessuto con trafilato in ferro avente carico di rottura compreso fra 38 e 50 kg/mm² e allungamento minimo pari al 10%, avente diametro 2,7 mm interno e diametro 3,7 mm esterno, rivestito in lega eutettica Zinco-Alluminio (5%) conforme alla ASTM 856 con un quantitativo di ricoprimento di almeno 260 g/m².

Gli elementi in gabbioni saranno provvisti di barre di rinforzo zincate e plastificate (filo di diametro 3,4 mm interno e 4,4 mm esterno) inserite all'interno della doppia torsione delle maglie in corrispondenza degli spigoli esterni della struttura e di un diaframma centrale realizzato in modo da conferire continuità, senza legature tra paramento esterno in gabbione ed armature di rinforzo.

Si dovrà inserire fra il paramento e il rilevato strutturale un geosintetico ritentore di fine, da utilizzare come interfaccia, costituito da un geotessile a filo continuo in filamento bopolimero coesteso di polipropilene-polietilene assemblato mediante esclusivo processo di termosaldatura ed avente una massa areica di 135 g/m² ed una permeabilità con battente idraulico di 10 cm non inferiore a 90 l/m²/sec.

Il riempimento del paramento esterno sarà eseguito con elementi in pietrame di adeguate dimensioni curandone la faccia-vista.

Il filo in lega Zinco-Alluminio (5%) sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio a base di PVC (cloruro di polivinile) che dovrà avere uno spessore minimo di 0,5 mm si da incrementare il diametro esterno a circa 3,7 mm.

Il materiale costituente il rivestimento plastico dovrà possedere le seguenti principali caratteristiche:

- peso specifico: compreso tra 1,30 e 1,55 dm³;
- durezza: compresa tra 50 e 60 Shore D secondo metodo di prova ASTM D 2240- 75;
- carico di rottura: superiore a 210 kg/cm²;
- abrasione: perdita di peso inferiore a 190 mg, secondo metodo di prova ASTM D 1242-56 (750);
- temperatura di fragilità inferiore a -30 °C secondo metodo di prova BSS 2782-104 A.

Oltre alle seguenti prove specifiche di invecchiamento artificiale:

- nebbia salina: periodo di prova = 1500 h, metodo di prova ASTM-B 117-90;
- esposizione ai raggi UV: periodo di prova = 2000 h a 63 °C, metodo di prova ASTM D1499-92 e ASTM G23-93 apparatus type E;
- esposizione alle alte temperature: periodo di prova = 24 h a 105 °C, metodo di prova ASTM D1203-89 in accordo con ASTM D2287-92;
- temperatura di fragilità: Cold Bend inferiore a -30 °C secondo metodo di prova BS2782-104 A; Cold Flex inferiore a +15 °C secondo metodo di prova BS 2782-151 A (84).

La rete metallica costituente il manufatto sarà del tipo 8x10 con filo di 2,7 mm e dovrà rispettare conformemente alla normativa ASTM A-975-97, le seguenti minime caratteristiche fisico-meccaniche:

- resistenza longitudinale alla torsione 42 kN/m;
- resistenza perpendicolare alla torsione 20 kN/m;
- resistenza in corrispondenza della stringitura 17 kN/m;
- resistenza al punzonamento 23 kN.

Le legature in opera tra i vari elementi in rete metallica saranno effettuate con filo in lega Zinco-Alluminio (5%) plastificato (secondo le normative internazionali sopra specificate), avente diametro 2,2 mm interno e 3,2 mm esterno o con punti metallici in acciaio con diametro 3,00 mm e carico di rottura minimo pari a 170 kg/m².

Prima della messa in opera e per ogni partita ricevuta in cantiere l'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori il relativo certificato di collaudo e garanzia rilasciato in originale dalla Ditta produttrice, in possesso di certificazione di sistema qualità in conformità alle normative in vigore, ISO 9002.

La Direzione Lavori preleverà dei campioni per far verificare in Laboratori Ufficiali le seguenti rispondenze:

- il rivestimento rispetti le norme ASTM 856, ASTM D 5540-75, ASTM D 1242-56 (750), BSS 2782-104 A oltre che gli standard di invecchiamento artificiale indicati;
- la rete rispetti la norma ASTM A-975.

Data in opera compreso ogni fornitura prestazione ed onere occorrenti, inclusi i maggiori oneri di compattazione in presenza di reti metalliche e a ridosso del paramento esterno. Solo escluso la fornitura e posa dei materiali di riempimento dei gabbioni e per la formazione del terrapieno.

Misurazione netta in proiezione verticale del paramento esterno in gabbioni, senza tener conto di eventuali riseghe.

34. Impermeabilizzazione di opere d'arte

34.1. Norme Generali

Tutti i materiali per impermeabilizzazione dovranno rispondere ai requisiti prescritti dalle rispettive Norme di accettazione.

Particolare cura dovrà essere posta nella preparazione delle superfici da impermeabilizzare; eventuali punti singolari dovranno essere stuccati e sigillati con idonee malte o stucchi epossidici.

Dovranno avere adeguate pendenze per un regolare sgrondo delle acque e presentarsi sane, regolari, perfettamente pulite, assenti da oli, grassi, polveri e prive di residui di boiaccia o di malta cementizia, di prodotti disarmanti, di preesistenti impermeabilizzazioni. Le superfici dovranno essere asciutte e stagionate per almeno venti giorni per assicurare una buona adesione del manto impermeabilizzante. A questo fine la superficie dovrà essere sabbiata e/o bocciardata, anche quando siano stati eseguiti precedenti interventi di ripristino con l'impiego di betoncini o calcestruzzi reoplastici a ritiro compensato.

A questi interventi preparatori dovrà seguire un'accurata pulizia delle superfici interessate anche mediante idrolavaggi (preferibilmente in periodi caldi o asciutti) e conseguente energica soffiatura con aria compressa.

L'esecuzione delle impermeabilizzazioni dovrà essere eseguita con la massima accuratezza, specialmente in prossimità di fori, passaggi, canne ecc.; il convogliamento delle acque meteoriche ai pluviali sarà assicurato mediante idonei pezzi speciali fissati a livello della soletta in calcestruzzo mediante l'impiego di stucchi epossidici al manto impermeabile e muniti di griglia parafoglie. L'impermeabilizzazione dovrà interessare anche le zone dei bocchettoni di scarico delle ac-

que superficiali, ricoprendoli nell'area dei risvolti; non si dovranno in nessun modo danneggiare le attrezzature di smaltimento preesistenti e/o ricostruite.

Le riprese di lavoro dovranno essere ridotte al minimo, salvo le esigenze particolari; in ogni caso dovrà essere assicurata una perfetta adesione tra vecchia e nuova membrana.

Il manto dovrà essere transitabile, senza distacchi e perforazioni, dal normale traffico di cantiere (escluso quello cingolato).

Dovrà risultare impermeabile, dopo la stesa su di esso dei conglomerati bituminosi, sotto una pressione di 1 MPa in permeametro, a 333 K per 5 h, anche nelle zone di giunto.

Le strutture sovrastanti gli strati impermeabili dovranno essere eseguite dopo il perfetto consolidamento degli strati stessi.

Eventuali perdite che si manifestassero sino a collaudo eseguito, dovranno essere sanate ed eliminate dall'Appaltatore a suo totale carico, compreso ogni lavoro di ripristino delle eventuali sovrastrutture.

L'Appaltatore dovrà sottoporre preliminarmente alla Direzione Lavori i campioni dei materiali che intende adottare per essere sottoposti alle prove di idoneità che saranno richieste dalla Direzione Lavori.

Potranno essere prelevati anche tasselli già posti in opera su cui effettuare le prove di laboratorio su zone scelte a caso.

Qualora dalle prove di cui sopra non risultassero le caratteristiche richieste, i materiali saranno rifiutati e l'Appaltatore dovrà allontanarli a sua cura e spese.

34.2. Manto con membrana elastica continua in materiale epossipoliuretano

34.2.1. Primer di adesione

Il primer di adesione dovrà essere costituito da base epossidica ed induritore poliamminoalifatico con solventi, per un residuo secco non inferiore al 60% in peso.

34.2.2. Membrana impermeabilizzante sintetica elastica continua spruzzata in opera

La membrana impermeabilizzante elastica continua dovrà essere costituita da un copolimero epossipoliuretano con presenza attiva di un terzo polimero elastomerico. Il prodotto deve polimerizzare entro le 24 h dal termine della stesa alle condizioni di temperatura $T > 293$ K ed UR $65\% \pm 5\%$. Il materiale applicato dovrà, a polimerizzazione avvenuta, avere le seguenti caratteristiche chimico-fisiche salvo diversa prescrizione progettuale:

- Densità relativa (riferita al prodotto A+B polimerizzato): $1,15 \pm 0,05$ kg/dm³
- Durezza superficiale: 90 ± 5 Shore "A"
- Resistenza a sollecitazione per trazione: minimo 6 MPa (UNI EN 12311)
- Allungamento percentuale a trazione: minimo 80% (UNI EN 12311)
- Elasticità: massimo 15% (verificata come deformazione residua a trazione) (UNI EN 12311)
- Resistenza alle basse temperature: integrità per avvolgimento su mandrino cilindrico fino a $T = 253$ K (UNI EN 495-5 e UNI EN 1109)
- Adesione al supporto cementizio: minimo 3 MPa e per valori inferiori purché risulti una rottura coesiva del supporto (riferito alla superficie di prova) almeno pari al 60% della superficie (ASTM 2197-68).

34.2.3. Mano d'attacco per collegamento della membrana con la pavimentazione

La mano d'attacco tra membrana e pavimentazione dovrà essere costituita da un bitume modificato con polimeri SBS-R da spruzzare a caldo ($T > 453$ K) in ragione di circa $0,8$ kg/m² e le cui caratteristiche sono riportate nelle presenti Norme (pavimentazioni in conglomerato bituminoso) salvo diverse disposizioni progettuali.

34.2.4. Modalità di applicazione

Si provvederà, al fine di garantire una perfetta adesione tra membrana e supporto, alla stesa del "primer" applicato mediante spruzzo "airless" e con adeguata apparecchiatura, in quantità comprese tra 0,20 e 0,25 kg/m².

Tale stesa si dovrà estendere a tutta la superficie interna dei cordoli ed anche sulla superficie orizzontale degli stessi, qualora essi non siano già stati protetti con guaine bituminose per effettuare il montaggio dei parapetti New Jersey prima dell'impermeabilizzazione dell'impalcato.

Sulla superficie così pretrattata si dovrà procedere all'applicazione della membrana epossipoliuretanic elastomerica mediante idonee apparecchiature automontate ed automatiche che garantiscano, oltre che potenzialità di lavoro adeguata, il controllo dei quantitativi di stesa.

L'impermeabilizzazione deve essere continua ed omogenea su tutta la superficie superiore dell'impalcato, compresi i cordoli nella parte verticale interna, nella superficie orizzontale e con piccolo risvolto (3-5 cm) sul paramento verticale esterno.

Anche eventuali canalette per cavi devono essere integralmente rivestite come le superfici esposte dei cordoli.

La realizzazione della membrana dovrà essere fatta mediante l'applicazione di un quantitativo di prodotto medio di 3,4-3,6 kg/m² (spessore secco 3,0 mm) tale da garantire un'elevata protezione all'azione delle acque meteoriche e degli agenti aggressivi in soluzione (sali fondenti antigelo).

La sua adesione al primer non dovrà essere inferiore a quella di quest'ultimo alla soletta.

La posa in opera dell'intero ciclo impermeabilizzante non sarà effettuata quando, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni meteorologiche saranno tali da non garantire la perfetta riuscita del lavoro e comunque quando la temperatura esterna sia inferiore a 283 K.

Non prima di 12 h dal termine della stesa della membrana impermeabile, nel caso di temperature > 293 K, dovrà seguire l'accurata ed uniforme applicazione della mano di attacco e di collegamento alla pavimentazione nella quantità di 0,8 kg/m².

Detto materiale dovrà essere spruzzato anche sulla parte verticale interna dei cordoli che sarà coperta dalla pavimentazione.

34.3. Manto con cappa di mastice di asfalto

34.3.1. Materiali

L'impermeabilizzazione degli impalcati delle opere d'arte sarà realizzata mediante applicazione per colata di cappe di mastice di asfalto colato di spessore finito non inferiore a 10 mm. Il mastice d'asfalto dovrà avere la seguente composizione:

- Legante: previo idoneo primer compatibile con il legante utilizzato, dovrà essere costituito da una miscela di bitume 40-50 e Trinidad Epureè in rapporto di 5 a 2 in peso. In alternativa potranno essere usati, previa approvazione della Direzione Lavori, altri bitumi naturali, quali il Selenitza o gomme termoplastiche, del tipo E le cui caratteristiche sono riportate nelle presenti Norme (pavimentazioni in conglomerato bituminoso). I dosaggi di questi materiali saranno definiti da uno studio preliminare da presentare alla Direzione Lavori per la necessaria approvazione. Il legante sarà dosato in ragione del 15-19% in peso sulla miscela degli inerti (corrispondenti al 13-16% in peso sulla miscela finale), compreso il bitume contenuto nel Filler asphaltico. Il bitume 40-50 dovrà avere un indice di penetrazione (IP) compreso tra -0,1 e +0,1 calcolato secondo la formula:

$$IP = \frac{20u - 500v}{u + 50v}$$

dove:

- v = log 800 - log penetrazione a 298 K
 - u = temperatura di P.e.A in K detratti 298 K
- Filler: dovrà essere passante totalmente al setaccio 0,18 mm UNI (ASTM n. 80) e per il 90% al setaccio 0,075 mm UNI. (ASTM n. 200, granulometria da effettuare per via umida) contenuto per il 30÷35% in peso sullo miscela degli aggregati. Il suo potere stabilizzante dovrà essere tale che la miscela bitume 40-50/filler, nel rapporto in peso di 1 a 2, abbia un punto di rammollimento P.A. almeno 15 K superiore a quello del bitume puro;

- Sabbia: dovrà essere totalmente passante al setaccio 2,5 mm UNI, pulita ed esente da materiali estranei, naturale e/o di frantumazione, di granulometria ben graduata da 0,075 a 2,5 mm (sarà tollerato al massimo un 5% in peso passante al setaccio 0,075 mm UNI), contenuta per il 65-70% in peso sulla miscela di inerti;
- Miscela finale: la parte lapidea della miscela (sabbia + filler) dovrà avere una percentuale di vuoti (v) compresa tra il 18 ed il 23%.

Il legante totale dovrà saturare tutti gli spazi vuoti, garantendo inoltre un'eccedenza compresa tra il 5 ed il 7% ($V_b - V = 5-7$ in cui V_b è la percentuale in volume del legante sulla miscela finale).

Il mastice completo confezionato nel rispetto delle Norme sopra esposte dovrà avere nelle prove di laboratorio un punto di rammollimento alla prova Wilhelmi (Norma DIN 1966) compreso tra 373 e 388 K. Alla stessa prova il mastice prelevato al confezionamento o alla stesa potrà presentare valori compresi tra 373 e 403 K.

L'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, prima dell'inizio dei lavori, per la necessaria approvazione, la composizione prevista per il mastice e la curva granulometrica delle sabbie nonché campioni del prodotto finito e dei materiali componenti compresi i primer, in modo che su di essi possano essere effettuati preventivamente tutte le prove previste nelle presenti Norme.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Nelle lavorazioni si dovranno riscontrare gli stessi materiali e le stesse composizioni di cui ai campioni di prova, con le sole variazioni prevedibili con l'uso di un adeguato processo di produzione su scala reale e comunque rientranti in tutti i limiti espressi in precedenza.

La miscela posta in opera dovrà essere costituita da uno strato continuo ed uniforme su tutta la superficie, con spessore minimo di 10 mm e max di 14 mm, da verificare mediante prelievo di campioni.

34.3.2. Modalità di preparazione del mastice di asfalto colato

La confezione del mastice di asfalto colato sarà eseguita con idonei impianti di mescolamento fissi o mobili, approvati dalla Direzione Lavori, di potenzialità adeguata all'entità del lavoro da eseguire. Tassativamente si prescrive che il dosaggio del legante, del filler e delle sabbie debba essere fatto a peso.

Per ottenere degli impasti perfettamente omogenei, potrà essere seguita una delle seguenti procedure, a seconda del tipo di impianto a disposizione.

1^ procedura

- a) Premiscelazione degli inerti, compreso il filler, a temperatura di 483÷503 K.
- b) Aggiunta del bitume nella corretta percentuale preventivamente portato alla temperatura di 423÷433 K.
- c) Mescolazione dell'impasto per almeno 5 min.
- d) Scarico dell'impasto in un'apposita caldaia (cooker) coibentata, munita di sistema di riscaldamento e di apposito agitatore.
- e) Mescolazione dell'impasto nella caldaia, per un tempo non inferiore a 30 min, alla temperatura di 473÷483 K, al fine di ottenere un'intima miscelazione del bitume con il filler.

2^ procedura

- a) Introduzione nella caldaia del filler e del bitume, dosati separatamente a peso e miscelazione alla temperatura di 473 K, per almeno 30 min, fino ad ottenere un'intima miscelazione del bitume con il filler.
- b) Aggiunta delle sabbie preventivamente asciugate e riscaldate e mescolamento a temperatura di 473÷483 K, fino ad ottenere un impasto perfettamente omogeneo ed uniforme.

La procedura da adottare sarà scelta subordinatamente alla preventiva autorizzazione della Direzione Lavori; in ambedue i metodi di confezionamento occorre che le apparecchiature di riscaldamento siano tali da evitare il contatto diretto di fiamme o gas caldi con i bitumi ed il filler, per non dar luogo ad eccessivi indurimenti o bruciature dei medesimi.

Qualora la confezione non sia fatta sul luogo della stesa, il trasporto del mastice sarà effettuato con caldaie mobili (bonze), munite anche esse di agitatore meccanico ed apposito impianto di riscaldamento.

34.3.3. Modalità di applicazione

Le superfici di calcestruzzo da impermeabilizzare dovranno essere stagionate e presentarsi sane ed asciutte, esenti da oli, grassi, polveri e prive di residui di boiaccia o di malta cementizia; prima dell'applicazione del mastice si dovrà procedere ad un'accurata pulizia dell'impalcato, mediante bocciardatura eseguita con idonea macchina avente potenza non inferiore ad 80 CV, spazzolatura e successiva energica soffiatura con aria compressa.

Eventuali punti singolari dovranno essere stuccati e sigillati con idonee malte o stucchi epossidici. Seguirà la stesa di un idoneo primer che potrà essere costituito, a giudizio della Direzione Lavori, da emulsione bituminosa al 50÷55% o da soluzione di bitume polimerizzato, a medio punto di rammollimento (P.e A. 358÷363 K), in opportuni solventi selettivi di miscele di butadieni, in modo da consentire un aumento del potere adesivo rispetto ai normali bitumi ed un ritardo dell'evaporazione del solvente, ciò al fine di avere una buona facilità di stesa del primer stesso ed un'elevata penetrazione nella soletta.

Le quantità da stendere saranno di 0,5-0,7 kg/m² salvo diverse prescrizioni progettuali.

Sul primer sarà posto in opera, dopo evaporazione dell'acqua o del solvente, il mastice di asfalto, mediante colamento del materiale a temperatura di 473 K (\pm 24 K); la sua distribuzione ed il livellamento saranno eseguiti con fratazzi di legno.

La sua adesione al primer non dovrà essere inferiore a quella di quest'ultimo alla soletta.

Per stese di una certa estensione l'applicazione può essere eseguita a macchina con finitrici particolarmente studiate ed attrezzate, sottoposte a preventiva approvazione della Direzione Lavori.

La posa in opera del mastice non sarà effettuata quando, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni meteorologiche siano tali da non garantire la perfetta riuscita del lavoro e comunque, quando la temperatura esterna sia inferiore a 283 K.

Il mastice d'asfalto deve essere steso, per quanto possibile, con uno spessore costante, per cui tutte le irregolarità della soletta dovranno essere portate a livello, affinché le stesse non si ripercuotano sulla cappa.

In seguito, dopo il completamento dell'impermeabilizzazione, a discrezione della Direzione Lavori, si dovrà procedere ad una risagomatura della soletta mediante stesa di un sottile strato di conglomerato bituminoso realizzato con inerti calcarei di granulometria appropriata; successivamente si procederà con la stesa della pavimentazione definitiva.

Qualora le condizioni dell'impalcato da impermeabilizzare siano tali da determinare irregolarità o soffiature del manto (umidità eccessiva dei calcestruzzi di soletta), dovranno essere adottati tutti quei provvedimenti che la Direzione Lavori prescriverà di volta in volta in relazione allo stato dell'impalcato stesso.

In ogni caso si dovrà avere cura che la temperatura dello strato di conglomerato bituminoso, all'atto della stesa non sia inferiore a 413 K in modo da ottenere la sigillatura di eventuali fori presenti nello strato di mastice d'asfalto.

Sulla parete interna dei cordoli dovrà essere applicata a caldo, previa mano di primer di ancoraggio, una guaina bituminosa preformata dello spessore di 4÷5 mm, armata con geotessile non tessuto in poliestere del peso non inferiore a 300 g/m².

La guaina dovrà essere risvoltata per almeno 25 cm rispettivamente sulla cappa di mastice di asfalto e sul coronamento di cordolo.

34.4. Manto con bitume modificato con elastomeri ed armato con TNT

I lavori di impermeabilizzazione dovranno essere eseguiti a temperatura non inferiore a 10°C ed in assenza di forte umidità e di pioggia. Il piano di posa deve risultare perfettamente asciutto e privo di polvere.

L'impermeabilizzazione consisterà essenzialmente nelle seguenti operazioni:

- c) accurata preparazione delle superfici da trattare, che devono risultare compatte, asciutte ed esenti da olii. Si provvederà quindi ad una accurata pulizia generale della superficie con motosoffiatore e, se necessario con motospazzatrice o getto di acqua ad alta pressione (operazione quest'ultima da eseguirsi con la massima cura e senza l'impiego di soluzioni acide);
- d) spargimento con autocisterna termica, provvista di autonomo impianto di riscaldamento e barra di distribuzione automatica, dotata di strumentazione in grado di assicurare l'uniformità della stesa ed il controllo di processo in tempo reale, di bitume elastomerizzato alla temperatura di 180-190 °C in ragione di 2,5 kg/m².

- e) applicazione sulla zona trattata di tessuto non tessuto di poliestere, che dovrà essere sovrapposto di circa 20 cm; il peso di tessuto applicato dovrà essere compreso tra 150 e 200 gr/m².
- f) per completare l'adesione del tessuto non tessuto al bitume elastomerizzato nonché per l'impregnazione dello stesso al tessuto si dovrà rullare la superficie con un leggero mezzo di compattazione gommato. Ad operazione conclusa il tessuto dovrà risultare perfettamente aderente al piano di posa legante.
- g) spargimento con le stesse modalità di cui al punto b) di una seconda mano di bitume elastomerizzato, in ragione di 2 kg/m².
- h) spargimento uniforme di sabbia di natura calcarea o silicea, di pezzatura non superiore a 3 mm, in ragione di circa 2 kg/m².

All'atto della stesa del conglomerato bituminoso sul manto impermeabilizzante non si dovrà eseguire la consueta mano di attacco tramite emulsione bituminosa.

34.4.1. Requisiti di accettazione dei materiali impiegati e del manto impermeabilizzante

34.4.1.1. Caratteristiche del bitume elastomerizzato

Come da tabella seguente:

CARATTERISTICHE	NORME	VALORI
Penetrazione a 25°C, dmm	CNR-BU n. 24/71	50-70
Punto di rammollimento, P&A, °C, min	CNR-BU n. 35/73	60
Punto di rottura FRAAS, °C, max	CNR-BU n. 43/74	- 20
Viscosità dinamica a 160°C, Pa x s	SN 67.1722a/85	> 0,45
Ritorno elastico a 25°C, %, min	DIN 52013	80
Stabilità allo stoccaggio (Δ Pen, dmm e P&A, °C), max	-	5
Invecchiamento (RTFOT), penetrazione residua, % min	ASTM D 2872	60
Invecchiamento (RTFOT), variazione P&A, °C	ASTM D 2872	+/-5

34.4.1.2. Caratteristiche del tessuto in poliestere

Il tessuto non tessuto in poliestere dovrà essere privo di collanti, appretti o impregnanti e non dovrà aver subito alcun trattamento di termosaldatura; dovrà essere del tipo agugliato ottenuto dal solo processo di filatura (stirotesturizzazione).

Sono richieste le seguenti caratteristiche chimico-fisiche:

- imputrescibilità
- inattaccabilità da muffe, batteri, roditori
- punto di rammollimento PA, °C > 240
- punto di fusione °C > 260
- ottima resistenza ai raggi UV
- ottima resistenza agli agenti chimici
- ottima tenuta allo scorrimento sotto carico costante.

Dovranno inoltre essere garantite le seguenti caratteristiche meccaniche, riscontrate su campioni di dimensioni mm 50 x 150:

- resistenza a trazione longitudinale, N >225
- resistenza a trazione trasversale, N >225

- allungamento a rottura longitudinale, % >65
- allungamento a rottura trasversale, % >75
- resistenza alla lacerazione longitudinale, N >125
- resistenza alla lacerazione trasversale, N >155

34.4.1.3. Caratteristiche del manto impermeabilizzante

Sul manto impermeabilizzante ottenuto al termine della lavorazione, dovranno essere garantite le seguenti caratteristiche meccaniche, riscontrate su campioni di dimensioni mm 50 x 150 con spessore di mm 5:

- resistenza a trazione longitudinale, N >500
- resistenza a trazione trasversale, N >500
- allungamento a rottura longitudinale, % >125
- allungamento a rottura trasversale, % >125
- resistenza alla lacerazione longitudinale, N >245
- resistenza alla lacerazione trasversale, N >245
- resistenza alla punzonatura, PS >3
- adesione al supporto cementizio liscio, longitudinale, N >200
- adesione al supporto cementizio liscio, trasversale, N >200

34.5. Manto con guaine preformate in bitumi modificati con elastomeri ed armato con TNT

L'impermeabilizzazione dovrà essere realizzata con guaine bituminose preformate, armate con geotessile non tessuto in poliestere, aventi le caratteristiche riportate nel seguito.

34.5.1. Materiali

Il primer di adesione dovrà essere costituito da base epossidica ed induritore poliamminoalifatico con solventi, per un residuo secco non inferiore al 60% in peso.

La massa bituminosa della guaina sarà costituita indicativamente da bitume leggermente polimerizzato, in quantità non superiore al 70% in peso della massa costituente il legante, mescolato con copolimeri di butilene e propilene con opportuni agenti stabilizzanti della dispersione degli elastomeri nel bitume. Potranno in alternativa essere usati altri tipi di elastomeri e plastomeri purché compatibili con il bitume e con le temperature di fabbricazione e messa in opera.

Dovrà essere escluso l'uso di ogni tipo di carica minerale.

La massa bituminosa costituente la guaina dovrà rispondere alle caratteristiche riportate di seguito:

- punto di rammollimento P.e A. > 423 K;
- punto di rottura Frass 258 K;
- penetrabilità DOW a 288 K (con peso 100 g a 289 K) 20÷30 dmm.

La non rispondenza a quanto sopra comporterà il rifiuto delle guaine.

L'armatura delle guaine sarà costituita da geotessile non tessuto ottenuto da fibre di poliestere a filo continuo agglomerato mediante agugliatura. Saranno ammesse anche guaine con armatura mista in geotessile non tessuto in poliestere e rete o velo in fibra di vetro (o altro materiale non putrescibile). Dalle prove di qualificazione, dovranno risultare i seguenti valori:

- | | |
|---|------------------------|
| – peso | > 300 g/m ² |
| – resistenza a trazione su striscia di 5 cm (UNI EN ISO 13934-1 e UNI EN 29073-3) | > 18 kN/m |

- allungamento (UNI EN ISO 13934-1 UNI EN 29073-3) > 60%
- lacerazione > 0,5 kN
- punzonamento (UNI 8279-14) > 3 kN
- inalterabilità all'azione anche prolungata di sali, alcali, acidi, idrocarburi e microrganismi;
- perfetta adesione ed impregnabilità con la massa bituminosa.

Le guaine impermeabili preformate dovranno avere l'armatura in posizione asimmetrica rispetto alla massa bituminosa (posta a 0,5 mm dalla superficie a contatto con il conglomerato bituminoso della pavimentazione). Le guaine dovranno essere sottoposte preliminarmente a prove dalle quali dovrà risultare la rispondenza ai requisiti sottoelencati:

- massa areica (UNI 8202-7):
 - guaina di spessore non minore di 5 mm > 5,500 kg
 - guaina di spessore non minore di 4 mm > 4,500 kg
- resistenza a trazione (UNI EN 12311):
 - longitudinale > 18 kN/m
 - trasversale > 16 kN/m
- resistenza a lacerazione (UNI EN 12310):
 - longitudinale 0,16 kN
 - trasversale 0,17 kN
- punzonamento statico:
 - classe di resistenza/carico supportato su sfera diam. 10 mm:
 - su supporto rigido Ps4/> 25 kg
 - su supporto non rigido Ps4/> 25 kg
- flessibilità a freddo su mandrino (UNI EN 495-5 e UNI EN 1109) 263 K
- scorrimento a 343 K (UNI 8202-16) < 1 mm
- impermeabilità all'acqua (UNI EN 1928) > 100 kPa

Salvo diverse prescrizioni progettuali.

34.5.2. Modalità di posa in opera

Eseguiti gli interventi preparatori descritti al punto 33.1 seguirà la stesa di un idoneo primer che potrà essere costituito da bitumi di tipo C, le cui caratteristiche sono riportate nelle presenti Norme (pavimentazioni in conglomerato bituminoso), applicato mediante spruzzo "airless" e con adeguata apparecchiatura.

La guaina del tipo preformato dello spessore non inferiore a 5 mm e larghezza minima di 1,00 m, armata con geotessile non tessuto in poliestere del peso di 300 g/m², salvo diverse prescrizioni progettuali, sarà posta in opera direttamente sul primer di attacco alla soletta, quando la temperatura media diurna dell'aria sia superiore ai 283 K.

Le guaine saranno incollate, previa fusione con fiamma, al primer steso in precedenza, curando la perfetta adesione in ogni punto e la tenuta dei giunti (sormonti) di costruzione.

Nel caso invece di guaina del tipo preformato dello spessore non inferiore a 4 mm, sarà posta in opera previa spalmatura, su primer di attacco alla soletta, di 1 kg/m² di materiale bituminoso avente le stesse caratteristiche di quello formante la guaina.

La messa in opera delle guaine dovrà essere effettuata solo dopo completa evaporazione del solvente.

In ambedue i casi la loro adesione al primer non dovrà essere inferiore a quella di quest'ultimo alla soletta.

34.6. Manto con cartonfeltro bitumato

L'impermeabilizzazione è costituita da due strati di cartonfeltro bitumato ricoperto a doppio bagno, del peso cadauno non inferiore a 1,2 kg/m², alternati con tre spalmature di bitume ad alto punto di fusione, dato a caldo, in ragione di 1,2 kg/m² per ogni spalmatura. Il peso complessivo dell'impermeabilizzazione dovrà risultare mediamente di 6 kg/m².

Quando il manto è posto al piede di murature e/o tramezzi dovrà avere una larghezza eccedente almeno 10 cm per parte il loro spessore.

34.7. Manto con membrane prefabbricate a base bituminosa

L'impermeabilizzazione è costituita da membrane prefabbricate a base bituminosa, disposte ad uno o due strati ed armate con tessuto non tessuto in poliestere o con teli di fibre di vetro. La massa bituminosa sarà costituita indicativamente per il 70% in peso da bitume leggermente polimerizzato mescolato con copolimeri di butilene e propilene con opportuni agenti stabilizzanti della dispersione degli elastomeri nel bitume; avrà le seguenti caratteristiche:

- punto di rammollimento P.e A. 403÷413 K
- punto di rottura Frass 288 K
- penetrazione con peso di 100 g a 298 K: 2÷3 mm.

L'armatura, in relazione alle previsioni progettuali, sarà costituita da:

- tessuto non tessuto del peso di 300 g/m² in fibre di poliestere ad alto titolo e tenacità solidamente collegate tra loro mediante legamento per agugliatura;
- velo in fibra di vetro del peso di almeno 50 g/m²;
- tessuto in fibra di vetro del peso di almeno 50 g/m².

La finitura superficiale delle membrane sarà di tipo: normale; granigliata; autoprotetta con lamina goffrata di alluminio ricotto titolo 99,5% colore naturale di spessore di 0,08 mm; con lamina goffrata di rame ricotto titolo 99,5% colore naturale spessore di 0,08 mm, come da scelte progettuali.

Il peso delle membrane, per quelle armate in tessuto non tessuto in poliestere e per quelle armate con tessuto di fibra di vetro e autoprotette con lamine metalliche sarà di almeno 4 kg/m²; per quelle armate con velo di fibra di vetro sarà di 3 kg/m².

Le membrane saranno applicate a fiamma previa pulizia del supporto e spalmatura di primer a base bituminosa, sovrappponendo i bordi dei teli per almeno 5 cm.

Nel manto costituito da doppio strato di membrane, il secondo strato sarà applicato a fiamma incrociato rispetto al primo.

34.8. Manto con fogli di PVC o di gomma sintetica

L'impermeabilizzazione è costituita da fogli in PVC o in gomma sintetica, come da scelte progettuali, dello spessore di 1,2÷1,3 mm, posti in opera con giunti sovrapposti per almeno 10 cm e saldati ad aria calda o mediante solvente.

Le operazioni di saldatura dovranno essere realizzate in tre fasi: puntatura dei teli; formazione di un primo cordone di saldatura; saldatura definitiva a tenuta idraulica ottenuta mediante un secondo cordone di saldatura.

I fogli in PVC (cloruro di polivinile), plastificato e stabilizzato ai raggi ultravioletti, saranno armati con tessuto in poliestere o fibra di vetro.

I fogli in gomma sintetica (Hypalon), da porre in opera, previa impregnazione del sottofondo con appositi adesivi, dovranno essere accoppiati con un feltro in fibra sintetica dello spessore di 0,4 mm.

I manti dovranno essere risvoltati, fissandoli sul coronamento perimetrale con profilati estrusi in alluminio di adeguata sezione e sagomati per farli aderire alla struttura sottostante; l'acqua meteorica sarà convogliata ai pluviali mediante pezzi speciali saldati e muniti di griglie parafoglie; particolare cura dovrà essere posta nella realizzazione dei raccordi con le strutture emergenti dal manto (lucernari, canne fumarie ecc.) utilizzando opportuni collari.

34.9. Manto con fogli di PVC e coibentazione in pannelli di poliuretano espanso

Il manto è costituito da un primo strato di tessuto non tessuto del peso di 300 g/m²; una barriera antivapore in poliestere di spessore > 0,5 mm; un secondo strato di tessuto non tessuto del peso di 300 g/m²; uno strato coibente dello spessore complessivo di 50 mm a doppio ordine di pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 35 kg/m³ posti in opera a giunti sfalsati; uno strato impermeabile in PVC dello spessore di 1,5 mm, rinforzato con tessuto in poliestere o velo in fibra di vetro e stabilizzato ai raggi UV.

34.10. Barriera antivapore

La barriera antivapore sarà ottenuta mediante fogli di polietilene dello spessore > 0,5 mm; avrà giunti sovrapposti per almeno 10 cm che saranno sigillati con nastro biadesivo o sistemi equivalenti.

34.11. Geotessile

Lo strato separatore sarà realizzato in geotessile non tessuto, in fibre di polipropilene o poliestere aventi le seguenti caratteristiche:

Resistenze a trazione MD e CD (EN ISO 10319: 1998)	≥ 18 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319: 1998)	≥ 50%
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236: 1999)	≥ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 918:1999)	≤ 10 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058:2002)	≥ 1 x 10 ⁻³ m/s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956: 2001)	≤ 80 μm

Sarà fissato al piano di posa mediante punti di bitume e i giunti fra i teli saranno sovrapposti per almeno 5 cm.

34.12. Impermeabilizzazioni vasche

Le impermeabilizzazioni del fondo e delle pareti interne delle vasche in c.a. di accumulo dell'acqua saranno realizzate con applicazione di vernice monocomponente a base di cloroaccaiù data in tre mani per uno spessore complessivo non inferiore a 0,3 mm, previa preparazione del fondo effettuata mediante sabbiatura e stuccatura delle eventuali lesioni o cavillature.

35. Impermeabilizzazione della superficie di estradosso delle gallerie artificiali

35.1. Impermeabilizzazione dei tratti sottoposti a reinterro

L'impermeabilizzazione della superficie di estradosso di gallerie artificiali sarà realizzata mediante l'applicazione di guaina in PVC trasparente dello spessore di 2 mm, salvo diverse prescrizioni progettuali, posta in opera tra due strati di geotessile non tessuto.

Detta tecnologia sarà adottata per i tratti di galleria sottoposti a reinterro.

La posa in opera della guaina dovrà essere preceduta dalla preparazione del supporto, comprendente:

- eliminazione di eventuali asperità, dislivelli, grumi ed imperfezioni in genere mediante bocciardatura, spinta anche a fondo;
- stuccatura di eventuali lesioni o vespai;

- pulizia mediante lavaggio con acqua in pressione (almeno 50 bar).

35.2. Strato di geotessile con funzione antipunzonamento

Sul supporto così preparato dovrà essere steso uno di strato di separazione con funzione antipunzonante costituito da un geotessile non tessuto di fibre di polipropilene puro al 100 %, al fine di assicurare l'uniformità del piano di posa per evitare che imperfezioni, detriti inamovibili od altre irregolarità dello strato sottostante possano danneggiare, causando perforamenti o punzonamenti, lo strato impermeabile. La funzione di questo strato è strettamente connessa con la preparazione del supporto e, in conformità a questa, dovrà essere scelta un'adeguata grammatura del tessuto, comprese tra i 500 ed i 1000 gr/mq. Le fibre in polipropilene garantiscono una miglior capacità di resistenza alle aggressioni chimiche (causate per esempio da processi di indurimento dei cementi) rendendole idonee all'uso su supporti cementizi non totalmente maturati.

Dalle prove, effettuate da laboratori ufficiali certificati, dovranno risultare soddisfatti i seguenti requisiti minimi:

Peso UNI EN ISO 9864:2005	≥ 500 g
Resistenza a trazione su striscia di 20 cm (EN ISO 13934-1)	≥ 25 kN/m
Allungamento (UNI EN ISO 13934-1)	≥ 50%
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236: 1999)	≥ 5 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 918:1999)	≤ 6 mm
Permeabilità radiale all'acqua alla pressione di 0,002 MPa (UNI EN ISO 12958)	≥ 3 x 10 ⁻³ m/s
Comportamento al fuoco (UNI EN ISO 11925-2)	Classe E

La campionatura del materiale dovrà essere fatta secondo la Norma UNI 8279-1, intendendosi per N l'unità elementare di un rotolo. Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero requisiti inferiori a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere. Nel caso di materiali già posti in opera, l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

Il geotessile sarà steso procedendo in senso trasversale all'asse della galleria artificiale, sovrapponendo i bordi di 20 cm e pressandoli con listoni in PVC fissati al supporto con chiodi a sparo. I listoni in PVC, ai quali successivamente dovrà essere saldata per termofusione la guaina in PVC, dovranno avere una speciale sagomatura per evitare che le teste di chiodi di fissaggio possano venire a contatto con la sovrastante guaina.

35.3. Guaina impermeabile in PVC

Sullo strato di geotessile sarà fornita e posta in opera una guaina in PVC trasparente dello spessore di 2 mm, costante misurabile in ogni punto del rotolo.

La trasparenza della guaina, oltre ad essere una garanzia di purezza formulativa e pertanto di maggiore stabilità del polimero nel tempo, consente di controllare visivamente la lavorazione ed in particolare l'eventuale presenza, in corrispondenza delle saldature, di un eccesso di residui carboniosi e di bolle d'aria che sono sintomi di cattiva esecuzione. Il materiale dovrà essere qualificato prima dell'impiego. Le prove dovranno essere effettuate presso laboratori qualificati preliminarmente su materiali approvvigionati in cantiere, prima del loro impiego; successivamente, su materiali prelevati durante il corso dei lavori, con frequenza minima di un prelievo per ogni carico di materiale giunto in cantiere. Dalle prove dovranno risultare soddisfatti i seguenti requisiti:

spessore	(UNI 8202 -6)	≥ 2 mm	Non è ammessa nessuna tolleranza in difetto
Massa volumica		$\geq 1,22$ g/cm ³	Non è ammessa nessuna tolleranza in difetto
Massa di superficie		$> 1,900$ kg/m ²	
Ceneri		$\leq 1,0\%$	
Trasmittanza luminosa totale (trasparenza)		$> 70\%$	
Carico a rottura	provetta tipo 1 velocità D	> 18 MPa nei due sensi	Provino a clessidra
Allungamento a rottura	provetta tipo 1 velocità D	$> 330\%$ nei due sensi	Provino a clessidra
Resistenza alla lacerazione	(DIN 53363)	> 80 N/mm	È di prossima pubblicazione una norma italiana corrispondente
Piegatura a freddo		240 K	Mandrino diam. 2 mm
Stabilità dimensionale a caldo	(UNI 8202 -17)	$< 2\%$	6 h a 353 K
Resistenza all'attacco batterico	(UNI EN ISO 846)	Saggio di accrescimento: livello 0 (nessuna crescita)	
	(AFNOR NFX 41514)	Attacco funghi: livello 0 (nessuna crescita)	
	(ASTM G 21 -80)	Crescita microrganismi: classe 0 (nessuna crescita)	

Ai fini della resistenza al fuoco, i materiali utilizzati dovranno essere classificati in Classe E secondo la norma EN 11925-2.

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero requisiti inferiori a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.

Nel caso di materiali già posti in opera, l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a sua cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

La guaina in PVC sarà stesa in opera in senso trasversale all'asse della galleria, con i giunti sormontati di 15 cm e dovrà essere fissata ai listoni in PVC mediante termosaldatura.

La guaina dovrà presentarsi ben distesa, senza pieghe e parti in tensione.

Si procederà quindi alla saldatura dei giunti per termofusione con apposite saldatrici a controllo automatico di velocità, temperatura e pressione, predisposte per effettuare una doppia saldatura senza soluzione di continuità da un estremo all'altro del giunto in modo da permettere la prova di tenuta del giunto ad aria compressa.

La tenuta dei giunti dovrà essere verificata con aria alla pressione di 1,0 bar; l'eventuale perdita di pressione dopo 15÷20 min non dovrà superare 0,2 bar.

Il controllo delle saldature dovrà essere sistematico; l'osservazione attraverso il PVC trasparente permetterà di verificare che non vi siano difetti, quali eccessi di residui carboniosi o bolle che potrebbero far cedere la saldatura in un secondo tempo. Le prove di tenuta dei giunti dovranno essere effettuate in ragione di almeno una prova ogni dieci giunti o frazione di dieci e ciascuna prova dovrà essere verbalizzata.

Nel caso che qualche prova dia esito negativo, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, al rifacimento delle saldature difettose, eventualmente anche con sostituzione delle guaine compromesse, mentre la Direzione Lavori potrà ordinare che siano sottoposti a prove tutti i giunti senza che per questo l'Appaltatore stessa possa reclamare alcun compenso.

35.4. Strato di geotessile di protezione

Sulla guaina in PVC sarà steso uno strato di geotessile non tessuto di fibre di polipropilene puro al 100 %, in polipropilene del peso minimo di 500 g/m², avente la funzione di proteggere la guaina stessa dalla azione dei materiali di riem-

pimento che saranno posti a copertura. Per quanto attiene a caratteristiche, requisiti e prove si richiamano integralmente le norme precedentemente trattate all'art. 34.1.1.

Il geotessile sarà posto in opera sovrapponendo i bordi di 30 cm e dovrà essere immediatamente ricoperto con sabbia fine lavata per uno spessore compattato non inferiore a 30 cm, avendo particolare cura di porre, successivamente alla posa della sabbia, materiale fine (pezzatura massima consentita 40 mm), eventualmente ricorrendo alla vagliatura, per uno spessore minimo di 50 cm ed in ogni caso secondo le indicazioni di Progetto.

La compattazione della sabbia lungo i piedritti dovrà avvenire tramite l'utilizzo di un getto d'acqua con pressione non superiore ad 1 MPa; eventuali vuoti che si verranno a creare durante la fase di compattazione dovranno essere colmati con l'aggiunta di ulteriori quantità di sabbia.

35.5. Drenaggio al piede

Il manto impermeabile in PVC dovrà essere risvoltato con il sovrastante geotessile alla base dei piedritti. All'interno della sacca formata dal risvolto andrà posizionato un tubo di drenaggio in polietilene ad alta densità corrugato esternamente, liscio internamente e fessurato esternamente con fessurazioni a 220° e resistente allo schiacciamento > 450 N, con deformazione interna pari al 55% (specificata estrapolata da norma EN 50086-2-4/A1).

Il drenaggio al piede andrà collegato agli elementi di raccolta ed allontanamento previsti dal Progetto.

35.6. Impermeabilizzazione dei tratti non sottoposti a reinterro.

Il trattamento protettivo delle superfici in conglomerato cementizio delle gallerie artificiali, non sottoposte a reinterro, o se reinterrate, aventi particolari forme geometriche tali da non garantire la perfetta tenuta del trattamento di cui ai paragrafi precedenti, sarà realizzato mediante l'applicazione di un sistema protettivo poliuretano alifatico elastico bicomponente di colore grigio cemento (RAL 7032 o 7038).

Tale sistema protettivo sarà caratterizzato da:

- strato di adesione realizzato con primer bicomponente a base di resine epossipoliamicidiche di spessore di film secco pari a 50 µm;
- strato di finitura realizzato con prodotto bicomponente a base di elastomeri poliuretano alifatici dello spessore definito in Progetto.

Il sistema protettivo dovrà fornire le seguenti prestazioni, salvo diverse prescrizioni progettuali:

Aderenza al calcestruzzo	> 3,5 MPa	Ahesion Tester ASTM
Allungamento a rottura	> 400%	UNI EN 12311
Resistenza alla propagazione della Lacerazione	> 12,5 MPa	DIN 53515
Permeazione d'acqua ad una Pressione di 500 KPa	assente	UNI EN 1928
Fattore di resistenza al vapore d'acqua	$\mu_{\text{vapore}} < 0,8 \times 10^4$	DIN 52615
Corrispondente spessore di aria equivalente	$S_d < 3,6 \text{ mm}$	DIN 52615
Fattore di resistenza alla CO ₂	$\mu_{\text{CO}_2} > 50 \times 10^4$	DIN 52615 modificata
Corrispondente spessore di aria equivalente	$R > 225 \text{ m}$	DIN 52615 modificata
Permeabilità allo ione Cl ⁻	$< 7 \text{ g}/(\text{m}^2 \times 24 \text{ h})$	metodo TEL
Resistenza all'irraggiamento	elevata	ASTM G53

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero requisiti inferiori a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla, a sua cura e spese, immediatamente dal cantiere.

Nel caso di materiali già posti in opera, l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a sua cura e spese alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei. La frequenza dei prelievi per l'esecuzione delle prove sarà di uno ogni 250 m² di galleria impermeabilizzata.

In presenza di un sistema misto, guaina in P.V.C, trasparente con tessuto non tessuto e trattamento verniciante, oltre ad una sovrapposizione dei due sistemi (vernice sotto guaina) per una fascia di larghezza pari a 50 cm, l'Appaltatore dovrà provvedere a sigillare i lembi della guaina in P.V.C. tramite l'ausilio del sigillante avente le caratteristiche riportate nel paragrafo che segue.

35.7. Sigillatura dei giunti strutturali e/o di costruzione.

In corrispondenza dei giunti strutturali e/o di costruzione, sia reinterati che non reinterati, l'Appaltatore, dovrà adottare, tutti gli accorgimenti possibili affinché non si verifichino ammaloramenti di sorta del materiale impermeabilizzante.

Gli stessi giunti, prima di essere sottoposti ad impermeabilizzazione, dovranno essere chiusi con sigillante poliuretano monocomponente, di colore grigio (RAL 7032 o 7038), verniciabile, a basso modulo elastico, del tipo approvato dalla Direzione Lavori, dato in opera mediante attrezzatura di estrusione (pistola) pneumatica con regolatore di pressione.

I giunti potranno avere una larghezza minima pari a 5 mm e massima pari a 35 mm.

La profondità (P) della sigillatura sarà definita in rapporto alla larghezza del giunto così come segue:

- con larghezza fino a 12 mm: $P = 1/1$;
- con larghezza tra 12 mm e 35 mm: $P = 2/1$.

Il sigillante sarà posto in opera, previa spazzolatura e pulizia della base cementizia, su un supporto costituito da idoneo primer di adesione, dato a pennello, del tipo approvato dalla Direzione Lavori. Le caratteristiche del sigillante, salvo diverse prescrizioni progettuali, sono le seguenti:

Peso specifico kg/l	1,30 ± 0,05 kg/l
Temperatura d'esercizio	233 K/343 K
Durezza Shore A	≥ 18
Allungamento di lavoro	25%
Allungamento alla rottura	> 500%
Resistenza alla trazione:	
Allungamento 50%	293 K < 0,15 MPa 253 K < 0,40 MPa
Allungamento 100%	293 K < 0,20 MPa 253 K < 0,60 MPa

Precedentemente alla posa del sigillante, si dovrà porre in opera, al fine di ottenere un corretto dimensionamento del giunto, un cordone comprimibile in polietilene espanso a cellule chiuse con diametro massimo di 40 mm.

Le presenti specifiche valgono anche per i giunti che non siano riferiti alle gallerie artificiali (es. murature ecc.).

35.8. Profilati in PVC (water-stop) per giunti, a tenuta idraulica

Il P.V.C. costituente i nastri (water stop) dovrà avere particolare elasticità ed essere ottenuto da resine viniliche termoplastiche di qualità pura che abbiano elevata resistenza all'azione aggressiva delle soluzioni acido alcaline, all'invecchiamento ed alle sollecitazioni meccaniche.

La miscela utilizzata per la produzione dei profilati dovrà avere i seguenti requisiti, salvo diverse prescrizioni progettuali:

Tipo	cloruro di polivinile	Analisi chimica
Durezza Shore a +293 K	> 65	DIN 53505
Resistenza a trazione +293 K	$\geq 10 \text{ N/mm}^2$	DIN 16938 E
Allungamento a rottura	$\geq 200\%$	DIN 16938 E
Resistenza all'azione aggressiva delle soluzioni acidi alcaline		CRD-C 572-65
Limiti di temperatura d'impiego	da 238 K a +333 K	

Il tipo di profilato da impiegarsi e le sue dimensioni saranno stabilite dal Progettista in base al tipo di sollecitazioni alle quali lo stesso sarà sottoposto ed allo spessore del getto di calcestruzzo.

La classificazione delle sollecitazioni si deve ritenere la seguente salvo diverse condizioni operative segnalate dalla Direzione Lavori:

Grado di sollecitazione	Pressione idrostatica (MPa)	Dilatazione assiale (mm)	Movimento trasversale (mm)
Basso	<0,5	<10	<5
Medio	0,5-1,5	10-20	5-10
Alto	>1,5	20-50	10-20

Inoltre, la copertura minima del profilato su ogni "ala" dovrà essere di 1/2 della lunghezza del profilato stesso. Particolari cura ed attenzione dovranno essere poste in fase di compattazione del conglomerato in corrispondenza del water stop, posizionando l'ago vibrante con un'inclinazione di 45° anteriormente e posteriormente alle "ali" del profilato mantenendo una distanza dallo stesso pari a circa 10 cm.

I pesi minimi a metro lineare dei profilati, dovranno essere adeguati in base al grado di sollecitazione ipotizzato. La posa in opera del profilato dovrà avvenire prima del getto del conglomerato cementizio.

Il water stop dovrà essere agganciato all'armatura mediante apposite graffe in numero sufficiente a conferire adeguata stabilità al nastro posato.

Durante le fasi di getto si dovrà usare la massima cura nell'evitare che il profilato venga in qualche modo rimosso dalla posizione ottimale conferitagli in fase di posa; qualora ciò avvenisse, l'Appaltatore, dovrà rimuovere il calcestruzzo sino a quel momento posto in opera, ripristinare la posizione ottimale del nastro e completare il getto, senza che alla stessa sia dovuto alcunché.

Qualora si verificasse la necessità di saldare le estremità di due nastri, le operazioni dovranno essere eseguite mediante l'utilizzo di saldatrice elettrica a resistenza munita di bocchetta di aria calda avente temperatura di circa 773 K.

Durante la saldatura dovrà essere particolarmente curata la complanarità delle superfici da unire.

Al termine della saldatura, a protezione della stessa si dovrà applicare un apposito nastro coprigiunto in P.V.C. adesivo posto lungo tutto il perimetro dell'unione saldata.

36. Segnaletica verticale e orizzontale

36.1. Premessa

Nel presente Capitolato Speciale sono descritte le metodologie per l'esecuzione di tutte le opere, prestazioni e forniture che si renderanno necessarie per la realizzazione della segnaletica verticale ed orizzontale sulle autostrade e loro pertinenze.

La segnaletica autostradale verticale e orizzontale, regola il traffico a seconda delle diverse condizioni ambientali e planimetriche del tracciato, anche di notte e in condizioni climatiche avverse, contribuendo ad aumentare il livello di sicurezza e facilitando l'uso dell'infrastruttura e dei servizi da parte della clientela.

I progetti e la relativa esecuzione devono attenersi a quanto prescritto dal D. Lgs 30 aprile 1992, n° 285 (Nuovo Codice della Strada) e dal D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495 (Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada), con le modifiche e integrazioni successivamente intervenute, dalle Circolari e Decreti Ministeriali vigenti in

materia, nonché a quanto previsto nelle soluzioni segnaletiche di dettaglio, ed. gennaio 1996, approvate dal Ministero dei Lavori Pubblici, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, con lett. prot. n° 575 del 4 marzo 1996 (lett. n° 247.0614.00 del 14 maggio 1996), al presente Capitolato Speciale e a quanto esposto dettagliatamente nei disegni di Progetto.

36.2. Capo I – Segnaletica verticale

36.2.1. Produzione

La segnaletica verticale deve essere prodotta da costruttori in possesso di un Certificato di Conformità del prodotto finito rilasciato da un organismo di certificazione accreditato, come previsto nelle circolari del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3652 del 17.06.1998 e n. 1344 del 11.03.1999; la data di rilascio di detto certificato non deve essere superiore a cinque anni all'atto di partecipazione alla gara e deve essere presentata nella sua stesura integrale.

36.2.2. Costruzione dei segnali

I pannelli facenti parte della fornitura devono essere realizzati secondo le seguenti caratteristiche.

36.2.2.1. Forme e dimensioni dei segnali

Tutti i segnali devono avere forme, dimensioni, colori, simboli e caratteristiche conformi a quelle prescritte dalle norme citate in Premessa.

L'altezza dei caratteri alfabetici componenti le iscrizioni (vedi Allegato al D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495, Titolo II, tab. II 16 – Distanza di leggibilità in funzione dell'altezza delle lettere) deve essere tale da garantire una distanza di leggibilità non inferiore a 150 m.

36.2.2.2. Supporto metallico

Il supporto metallico dei cartelli deve essere in lamiera di ferro tipo P-AL 99,5, dello spessore 30/10 mm se la superficie della faccia anteriore del cartello è uguale o superiore a 2,00 m², mentre per i cartelli con superficie inferiore a 2,00 m² la lamiera di alluminio deve essere di uno spessore di 25/10 mm.

Qualora i cartelli siano formati da più pannelli, questi dovranno essere nel più basso numero possibile e di dimensioni compatibili con la reperibilità delle lamiere sul mercato.

Tali lamiere, dopo avere subito le necessarie lavorazioni meccaniche e rese scabre in superficie mediante vibratrice elettrica, dovranno essere sottoposte ai seguenti trattamenti di preverniciatura:

- sgrassatura mediante vapori di trielina o con bagno in soluzione alcalina per una durata di circa 15 min a temperatura di esercizio pari a circa 70 °C;
- lavaggio con acqua e trattamento cromatante o fosfocromatante per un tempo sufficiente a depositare un rivestimento avente un peso compreso tra 105 e 375 mg/ m² (valore medio ottimale 270 mg/ m²) secondo la norma UNI 9921;
- lavaggio con acqua a perdere e passaggio in forno per essiccazione a temperatura compresa tra +60 e +70 °C;

Trattamenti sostitutivi potranno essere eseguiti dopo preventivo esame e conseguente autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

36.2.2.3. Rinforzo perimetrale del cartello

Il rinforzo perimetrale deve essere ottenuto mediante piegatura a scatola dei bordi del cartello che non dovranno essere inferiore a 10 mm, eccezione fatta per i dischi.

36.2.2.4. Congiunzioni dei pannelli costituenti i cartelli di grandi dimensioni

Tali congiunzioni si devono ottenere con l'apposizione, lungo i lembi contigui dei pannelli, di angolari in anticorodal, spessore 3 mm sia in senso orizzontale che verticale saldato come descritto all'art. 35.2.2.5.

Tale angolare deve essere opportunamente forato e munito di un numero di bulloncini di acciaio inossidabile da 1/4" sufficiente ad ottenere il perfetto accostamento dei lembi dei pannelli.

36.2.2.5. Traverse di rinforzo

Il rinforzo sul retro del cartello deve essere costituito da traverse orizzontali o verticali in alluminio, saldate elettricamente, per punti, al cartello.

Dette traverse devono essere dello spessore di 3 mm, piegate a C con le dimensioni di 56x30x15 mm se la misura del cartello, presa normalmente alle traverse, è \geq di 500 mm. Se la misura del cartello è $<$ di 500 mm le traverse a C devono essere di 45x17x12 mm e su queste non è previsto l'uso delle traverse di irrigidimento in ferro di cui all'art. 35.2.2.7.

La distanza in asse fra due traverse e quella dal bordo del cartello, non deve superare rispettivamente 500 mm e 250 mm.

I cartelli devono avere non meno di due traverse.

La lunghezza della traversa deve essere pari a quella del cartello meno 70 mm per lato. Per i segnali di direzione la lunghezza delle traverse deve essere determinata posizionandole ad una distanza dal lato verticale uguale o minore di 70 mm fino a lambire i lati obliqui della punta della freccia.

36.2.2.6. Saldatura elettrica per punti

La saldatura deve essere effettuata con puntatrice elettrica (la distanza massima fra due punti deve essere di 150 mm) su profilati ad omega in modo da non creare sbavature o altra disuguaglianza sulla superficie del cartello.

Utilizzando la traversa a C la distanza massima fra due punti di saldatura deve essere di 100 mm.

36.2.2.7. Traverse di irrigidimento

Le traverse di irrigidimento devono essere in ferro qualità UNI EN 10025 - S235JR, dello spessore minimo di 4 mm, piegate a C con le dimensioni di 50x25x18 mm,

Dette traverse, della lunghezza prescritta come art. 35.2.2.5, devono essere complete di staffe con attacco a morsetto per il collegamento alle traverse di rinforzo nella qualità necessaria.

Sia le traverse che i vari attacchi devono essere zincati a caldo per immersione come da art. 35.2.3.10.

36.2.2.8. Attacchi

Le traverse di rinforzo e le traverse di irrigidimento, in caso di loro utilizzo, poste sul retro del cartello devono portare i relativi attacchi speciali completi di morsetti, staffe o cravatte, bulloni con relative piastrine di ferro, rondelle e quanto necessita per l'adattamento ed il fissaggio ai sostegni ed alle intelaiature di sostegno, tali da non richiedere alcuna foratura del cartello e degli accessori.

Nel caso di installazione di due cartelli a facce contrapposte ad una stessa altezza sugli stessi sostegni, devono essere adottate staffe doppie.

Tutti i materiali ferrosi devono essere zincati a caldo per immersione, come da art. 35.2.3.10 delle presenti Norme.

36.2.2.9. Verniciatura del cartello

La verniciatura deve essere ottenuta mediante l'applicazione di una vernice a polvere a base di resine cotte al forno a temperatura di cottura 140 °C, spessore 25-35 mm, di colore grigio opaco, nella gradazione precisata dalla Direzione Lavori.

36.2.2.10. Faccia anteriore del cartello

Fondi, lettere, simboli e bordini di contorno dovranno essere eseguiti secondo quanto prescritto per ogni segnale e secondo le disposizioni progettuali:

- con pellicola non retroriflettente (PNR);
- con pellicola retroriflettente di classe 1 (CL1);
- con pellicola retroriflettente di classe 2 (CL2) o di classe 2 microprismatica (CL2-mp);
- con pellicola retroriflettente di classe 2 speciale microprismatica (CL2S-mp)
- con pellicola retroriflettente di classe 2 speciale microprismatica trattata con materiali atti ad evitare la formazione di condensa (CL2S-mp-a);
- con procedimento serigrafico (SER).

L'applicazione della pellicola al supporto metallico deve essere eseguita con l'adesivo presente nella pellicola stessa.

Possono essere utilizzate pellicole già colorate o pellicole bianche successivamente colorate mediante procedimento serigrafico. Gli elaborati progettuali conterranno la tipologia di pellicola da utilizzare.

Per i dischi ed i triangoli è da applicare pellicola a pezzo unico, intendendo con questa definizione un unico pezzo di pellicola, sagomato secondo la forma del segnale, stampato con processo serigrafico; questo deve mantenere le proprie caratteristiche – colorimetriche e di rifrangenza - inalterate per un periodo uguale a quello previsto per la pellicola retroriflettente.

Nei cartelli di dimensioni superiori a 2 m2 ognuna delle pellicole applicate sul cartello deve avere una superficie minima di 0,70 m2.

Le caratteristiche colorimetriche, fotometriche e tecnologiche cui devono rispondere le pellicole retroriflettenti e le relative metodologie di prova alle quali devono essere sottoposte per essere utilizzate nella realizzazione della segnaletica stradale, sono stabilite dal Ministero dei Lavori Pubblici con D.M. del 31 Marzo 1995 n. 1584 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 106 del 9 Maggio 1995). Le pellicole microprismatiche devono in più avere caratteristiche prestazionali che soddisfino i requisiti della Norma Nazionale UNI 11122.

La Direzione Lavori può richiedere pellicole, con tecnologia microprismatica, ad altissima risposta luminosa con durata di 10 anni, munite di certificazione per la classe 2 ma aventi caratteristiche prestazionali superiori alle pellicole di classe 2 da utilizzarsi in specifiche situazioni stradali:

- segnaletica che per essere efficiente richiede una maggiore visibilità, rispetto alla classe 2, alle brevi, medie e lunghe distanze (segnaletica di cantiere);
- segnali posizionati in modo tale da renderne difficile la corretta visione e interpretazione da parte del conducente del veicolo;
- strade ad elevata percorrenza di mezzi pesanti;
- strade con forte illuminazione ambientale.

Possono essere utilizzate le pellicole di classe 2S-mp-a , trattate con materiali atti a evitare la formazione di condensa, qualora la Direzione Lavori lo ritenga necessario, in zone soggette a tale evento atmosferico. Dette pellicole debbono essere accompagnate da una relazione tecnica, relativa alla valutazione delle effettive proprietà anticondensa, rilasciata da un istituto di misura come previsto dal D.M. 31.03.1995.

Per la realizzazione dei cartelli contenenti il marchio TELEPASS o per quelli a fondo giallo della cantieristica deve essere utilizzata una pellicola di classe 2S-mp fluoro-rifrangente rispondente alle caratteristiche stabilite dalla norma UNI 11122 nel prospetto 2 (tabella 1) per il colore ed al prospetto A2 (tabella 2) per le caratteristiche fotometriche (coefficiente aerico di intensità luminosa).

Tabella 1 - Coordinate cromatiche e fattore di luminanza in condizioni diurne di pellicole microprismatiche fluoro-rifrangenti

Colore	Coordinate cromatiche				Fattore di luminanza β
Giallo	1	2	3	4	> 0,5

	X	0,545	0,487	0,427	0,465
	Y	0,454	0,423	0,483	0,534

Tabella 2 - Coefficiente di retroriflessione R' (cd/lux m²) minimo per pellicole microprismatiche fluoro-rifrangenti nuove

Angolo di osservazione α [°]	Angolo di illuminazione β_1 [°]	Giallo Fluo
0,33	5	180
1,0	5	21
1,5	5	9
0,33	20	144
1,0	20	18
1,5	20	7,8
0,33	30	99
1,0	30	12
1,5	30	5,4
0,33	40	18
1,0	40	2,0
1,5	40	1,0

36.2.2.11. Faccia posteriore del cartello

Successivamente alla verniciatura come da art. 35.2.2.9, devono essere chiaramente indicati: la dicitura "autostrade//per l'italia S.p.A."; il marchio della Ditta che ha fabbricato il segnale e l'anno di fabbricazione nonché il marchio dell'Organismo di certificazione e il relativo numero del certificato di conformità di prodotto rilasciato. L'insieme delle predette annotazioni non deve superare la superficie di 0,02 m².

Per i segnali di prescrizione devono essere riportati inoltre, gli estremi dell'ordinanza di apposizione.

36.2.3. Costruzione delle strutture

36.2.3.1. Norme progettuali di riferimento

Per la progettazione di tutte le opere in cemento ed in metallo deve assumersi come riferimento l'apposita normativa in materia.

Nella costruzione di profilati di acciaio formati a freddo, si devono rispettare le prescrizioni e tolleranze previste dalle norme UNI relative ai prodotti impegnati.

36.2.3.2. Sostegni per cartelli

I sostegni devono essere in ferro tubolare qualità UNI EN 10025 - S235JR con le seguenti caratteristiche:

Diametro (mm)	Spessore minimo (mm)	Peso (Kg/ml)
48	2,5	2,79
60	3,2	4,19

90	4,0	8,39
----	-----	------

Devono essere zincati a caldo per immersione, come da art. 35.2.3.10 delle presenti Norme; possono essere anche del tipo antirrotazione o sagomati per l'ottenimento di uno sbalzo come indicato dai disegni tipo.

Ogni sostegno e controvento deve essere chiuso nella parte superiore con tappo di gomma o materiale plastico e recherà al piede un'asola per l'alloggiamento dello spinotto di ancoraggio al basamento di fondazione. Non deve essere eseguita alcuna saldatura su sostegni e controventi già zincati.

Il tipo di sostegno, le dimensioni e la loro eventuale controventatura devono essere indicati nei disegni di Progetto, fermo restando la responsabilità dell'Appaltatore in merito alla resistenza degli impianti.

La bulloneria impiegata deve essere rispondente alla Norma UNI 3740 classe 8.8.

36.2.3.3. Portali e strutture in acciaio

I portali a cavalletto, a farfalla ed a bandiera devono essere realizzati con profilato tubolare in ferro qualità UNI EN 10025 - S275JR; esenti da difetti come bolle di fusione e scalfitture; tutti i collegamenti tra gli elementi prefabbricati devono essere realizzati mediante flange e devono essere riuniti in opera con bulloni.

Tutte le saldature necessarie per la realizzazione del traliccio devono essere esclusivamente del tipo a penetrazione e devono rispettare quanto previsto dalle norme UNI EN 1011-1.

La base del piedritto deve essere provvista di piastra per l'ancoraggio tra il traliccio metallico ed il basamento di fondazione la cui connessione deve essere effettuata con l'impiego di tirafondi, collegati tra di loro con una piastra, annegati nel plinto e completi di doppi dadi di contrasto.

Le piastre di collegamento tra il montante della struttura e quella di connessione con i tirafondi devono essere unite secondo le indicazioni di volta in volta indicate nel Progetto; il tipo di ferro impiegato deve essere della qualità EN 10025 – S275JR.

I tirafondi da annegare nel basamento in cls e da collegare con l'armatura devono essere in acciaio rispondenti alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 3269.

L'acciaio in tondini per l'armatura dei plinti deve essere della qualità Fe B 44K.

L'altezza minima tra il limite inferiore dei cartelli ed il piano stradale deve essere di 5,20 m.

I portali devono essere zincati a caldo come previsto dall'art. 35.2.3.10 delle presenti Norme, così come i tirafondi e la contropiastra.

Le strutture verticali quali portali a cavalletto, a farfalla, a bandiera, ecc., devono essere realizzati secondo i disegni specifici esecutivi di Progetto.

Eventuali altre soluzioni progettuali devono essere approvate dalla Direzione Lavori.

36.2.3.4. Strutture su pensiline

I cartelli da posizionare al di sopra delle pensiline di stazione per segnalare le modalità di riscossione del pedaggio devono essere installati su apposite strutture le quali devono essere realizzate con ferro di qualità UNI EN 10025 - S235JR.

La bulloneria impiegata deve essere rispondente alla Norma UNI EN ISO 898-1.

Devono essere prodotti alla Direzione Lavori i calcoli statici e i disegni costruttivi di ogni singola struttura.

36.2.3.5. Strutture per segnali su New Jersey

I manufatti necessari per posizionare i segnali, fino ad una superficie di 0,810 m², sulle barriere di sicurezza New Jersey devono essere realizzati con una sella in ferro, qualità UNI EN 10025 - S235JR, di 5 mm che si adatti alla conformazione della barriera.

Nella testa della sella deve essere praticato un foro nel quale deve essere collocato un tubolare di 200 mm, di 76 mm di diametro, di 4 mm di spessore, alla cui estremità inferiore deve essere saldata una piastra in ferro di 100x100 mm, spessore 3 mm.

Dopo aver inserito il bicchiere nel foro realizzato nella sella, devono essere eseguite due saldature perimetrali interna ed esterna. Tale bicchiere deve essere predisposto, inoltre, con due fori passanti che consentano l'inserimento di due bulloni M12, per il bloccaggio del sostegno col cartello, classe 8.8 tesati a 2.000 kg.

In ogni faccia laterale della sella deve essere eseguita un'asola di 40x24 mm per l'alloggiamento della barra filettata e due fori diametro 15 mm per l'eventuale posa di bulloni e relativi prigionieri metallici.

36.2.3.6. New Jersey con foro verticale

Alla piastra in ferro, di 100x100 mm saldata con la sella, deve essere saldato, nella parte inferiore un tubolare di 300 mm con diametro di 48 mm.

Il bicchiere di cui sopra e la sella, devono essere uniti tra di loro saldando due fazzoletti in acciaio triangolari, di 100x150 mm spessore 5 mm, applicati nel senso del massimo sforzo.

36.2.3.7. New Jersey con foro orizzontale

Il bloccaggio del manufatto alla barriera deve avvenire con una barra filettata M20 e due dadi autobloccanti, classe 8.8 tesata a 5.000 kg usufruendo del foro passante esistente.

36.2.3.8. New Jersey senza fori

Il bloccaggio del manufatto deve essere realizzato effettuando un foro passante al fine di poter inserire una barra filettata M20 e due dadi autobloccanti, classe 8.8 tesata a 5.000 kg.

36.2.3.9. Supporto per sostegni su barriera metallica

Il supporto per il bloccaggio del sostegno alla barriera metallica deve essere realizzato utilizzando una staffa in ferro, qualità UNI EN 10025-S235JR, composta da un collare normale o antirrotazione che avvolge il palo, una piastra sagomata a C, spessore 5 mm, sulla quale devono essere saldate due barre filettate diametro 14 mm e bulloneria necessaria.

Per quei casi particolari e puntuali, dove i manufatti previsti nel presente Capitolato Speciale non sono applicabili, La Direzione Lavori deve determinare la tipologia di attacco più idonea.

L'installazione di segnali in galleria, consentita solo su sostegni a parete o in volta, deve utilizzare staffe in ferro, qualità UNI EN 10025-S235JR, idonee alla parte di manufatto sulla quale devono essere fissate.

36.2.3.10. Zincatura a caldo per immersione

Tutti gli elementi di materiale ferroso impiegati per i lavori previsti nel presente Capitolato Speciale devono essere zincati mediante immersione in zinco fuso (zincatura detta a caldo ed anche a fuoco) a scopo protettivo contro la corrosione.

Questa operazione deve essere eseguita con le modalità e le prescrizioni previste dalla norma C.N.R. - CEI n. 7-6 del Luglio 1968.

Lo zinco da impiegare nel bagno deve essere di qualità Zn 99,95 EN 1179/05.

I valori di zincatura prescritti dalla succitata norma sono riassunti nella tabella seguente; gli elementi ferrosi non riportati nella stessa devono essere zincati in base al rispettivo spessore.

Tipologia oggetto	Massa dello strato di zinco g/m ²	Spessore dello strato di zinco µm
-------------------	---	--------------------------------------

	media sui campioni esaminati	minima su campione singolo	medio sui campioni esaminati	minimo su campione esaminato
A Traverse e morsetti Tubolari e staffe \varnothing 60 e \varnothing 90 Portali Profilato per delineatori in gallerie con marciapiede Tutti gli oggetti in acciaio aventi 3 mm o più di spessore, esclusi gli oggetti assimilabili alle classi C e D	600	550	86	78
B Tubolari \varnothing 48 Delineatori su guardavia Paletti scambio carreggiata Tutti gli oggetti in acciaio aventi spessore minore a 3 mm, esclusi gli oggetti assimilabili alle classi C e D	400	350	57	50
C Ganci, perni, viti, dadi ed altri oggetti assimilabili, di diametro uguale o maggiore a 10 mm	400	350	57	50
D Ganci, perni, viti, dadi ed altri oggetti assimilabili, di diametro minore di 10 mm	300	250	43	36

I campioni prelevati dalla Direzione Lavori devono essere sottoposti alle prove previste dalla succitata norma CEI e più precisamente:

- determinazione della massa dello strato di zinco;
- qualità dello zinco;
- spessore dello strato di zinco;
- uniformità di spessore del rivestimento di zinco;
- aderenza dello strato di zinco.

36.2.4. Posa in opera

36.2.4.1. Caratteristiche generali

Visibilità dei segnali

Al fine di garantire la perfetta visibilità, di giorno come di notte, in qualsiasi condizione, per ciascun segnale deve essere garantito uno spazio di avvistamento, tra il conducente ed il segnale stesso, libero da ostacoli.

Le misure minime del suddetto spazio di avvistamento sono indicate dettagliatamente dall' art. 39 del D. Lgs 30 aprile 1992, n° 285 (Nuovo Codice della Strada) nonché dall'art. 79 del D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495 (Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada) così come modificato dal D.P.R. 16 settembre 1996 n° 610.

Per i segnali di indicazione tale distanza è di 250 m

Distanza dalla carreggiata

La distanza tra l'estremità del cartello, lato carreggiata, ed il margine della carreggiata stessa deve essere minima 0,50 m e massima 1,00 m; fanno eccezione tutti i cartelli dello spartitraffico, quelli a sbalzo, quelli in prossimità delle gallerie, quelli in galleria, ecc., che devono essere di volta in volta esaminati dalla Direzione Lavori.

Altezza dalla pavimentazione

L'altezza tra il bordo inferiore del cartello e la pavimentazione deve essere minimo 1,20 m e massimo 1,50 m secondo un criterio di proporzione inversa rispetto alle dimensioni del cartello; fanno eccezione le targhe chilometriche, i cartelli per la numerazione dei cavalcavia, la cui altezza deve essere di 1,70 - 1,80 m e tutti gli altri cartelli in posizioni particolari la cui altezza sarà stabilita di volta in volta dalla Direzione Lavori.

L'altezza minima tra la pavimentazione ed il bordo inferiore del o dei cartelli, collocati al di sopra della carreggiata deve essere di 5,20 m.

In ogni caso sullo stesso itinerario deve essere rispettata un'altezza uniforme.

Installazione della segnaletica

L'installazione della segnaletica al lato della carreggiata deve essere eseguita in modo tale che il segnale abbia un'inclinazione rispetto al flusso del traffico di 93°.

I segnali, collocati al di sopra della carreggiata, devono essere installati in modo tale da avere un'inclinazione rispetto al piano perpendicolare di circa 3° verso il lato da cui proviene il traffico. Il giudizio dell'esattezza di tale posizione è riservato in modo insindacabile alla Direzione Lavori.

36.2.4.2. Posa in opera degli impianti su terra

Nella posa in opera di tubolari in ferro di sostegno su terra si deve realizzare un blocco di ancoraggio in calcestruzzo di cemento non inferiore alla classe Rck 20 MPa delle dimensioni minime di 0,50x0,50x0,70 m.

Nei casi in cui non si ritenga idonea, per la stabilità dell'impianto, la fondazione sopradescritta, l'Appaltatore deve opportunamente dimensionarla. Detti basamenti devono essere sottoposti all'approvazione della Direzione Lavori con l'avvertenza che tale approvazione non esonera in alcun modo l'Appaltatore stesso dalle sue responsabilità in ordine alla resistenza degli impianti.

L'approvazione preliminare da parte della Direzione Lavori deve essere condizione determinante per la corresponsione di eventuali compensi.

Il controvento deve essere ancorato al sostegno secondo quanto indicato negli elaborati progettuali.

Ogni sostegno tubolare deve essere chiuso nella parte superiore con tappo di gomma o materiale plastico e recherà un'asola per l'alloggiamento dello spinotto di ancoraggio al basamento di fondazione.

Il controvento deve essere ancorato al sostegno con una particolare staffa ad una distanza dal bordo superiore del cartello pari a un terzo dell'altezza complessiva del cartello stesso.

Il controvento deve avere un'inclinazione, rispetto al sostegno, di 30°.

Deve essere inoltre ripristinato, sia sullo spartitraffico che sulle scarpate o in qualunque altra situazione di continuità, il preesistente piano di posa.

36.2.4.3. Posa in opera di portali, monopali e strutture in acciaio

I portali devono essere posti in opera su basamenti di calcestruzzo armato, delle dimensioni come da Progetto, di classe non inferiore a Rck 25 MPa.

Le dimensioni e l'armatura in ferro di detti basamenti devono essere in linea con quanto disposto negli elaborati progettuali.

Le dimensioni e l'armatura in ferro di detti basamenti devono essere determinate dall'Appaltatore, tenendo presente che l'alloggiamento della struttura ai basamenti deve avvenire mediante flange e relativi tirafondi; devono essere prodotti alla Direzione dei Lavori i relativi calcoli.

Le parti costituenti il traliccio dovranno essere unite impiegando bulloneria rispondente alla norma UNI 3740-1 classe 8.8.

Tutte le unioni bullonate dovranno essere testate ai valori prescritti negli elaborati progettuali.

Nel caso di portali e monopali a bandiera si deve realizzare il basamento sulla scarpata laterale, cercando di evitare il posizionamento sulla cuspide.

La determinazione del peso delle strutture deve essere effettuata in pese pubbliche ed i certificati di pesa devono essere allegati al verbale di pesatura.

Non deve essere eseguita alcuna saldatura su strutture già zincate.

La piastra e i tirafondi con relativi dadi devono essere protetti dagli agenti atmosferici e corrosivi mediante l'applicazione di silicone.

Il tutto deve essere sottoposto all'approvazione della Direzione Lavori; tale approvazione non esonera in alcun modo l'Appaltatore stesso dalle responsabilità in ordine alla resistenza degli impianti.

36.2.4.4. Posa in opera di strutture per pensiline

La struttura deve essere ancorata alla pensilina mediante staffe in acciaio opportunamente dimensionate, barre filettate o bulloni; le dimensioni e il numero per garantire il suddetto ancoraggio devono essere determinate dal progettista a seconda dei diversi tipi di pensilina utilizzati, producendo alla Direzione Lavori i relativi calcoli e disegni.

La determinazione del peso delle strutture deve essere effettuata in pese pubbliche ed i certificati di pesa devono essere allegati al verbale di pesatura.

Il tutto deve essere sottoposto all'approvazione della Direzione Lavori; tale approvazione non esonera in alcun modo l'Appaltatore stesso dalle responsabilità in ordine alla resistenza degli impianti.

Sulle pensiline di vecchia costruzione si dovrà prestare particolare attenzione nell'installazione delle strutture, evitando di causare danni (infiltrazioni d'acqua, sfondamento delle coperture ecc.). Gli stessi, una volta accertata la responsabilità, verranno addebitati all'Appaltatore dei lavori.

36.2.4.5. Posa in opera degli impianti al new Jersey con foro verticale

Per tale installazione si deve adottare uno speciale manufatto in ferro calzante la testa del new jersey inserendo lo spezzone tubolare, di 0,30 m e diametro 48 mm, nel foro verticale esistente.

Il sostegno, diametro 60 mm, deve essere in ferro, deve essere chiuso nella parte superiore con tappo di gomma o materiale plastico e deve avere nella parte inferiore due fori passanti.

Il sostegno deve essere inserito nel bicchiere, un tubolare in ferro diametro 76 mm preforato, e deve essere unito al manufatto mediante 2 bulloni M12 passanti. La testa del bicchiere deve essere sigillata con silicone o materiali similari, al fine di proteggere il manufatto da infiltrazioni d'acqua.

Il manufatto deve essere bloccato al New Jersey, usufruendo dei fori esistenti sulle facce laterali del manufatto stesso, mediante 2 bulloni con relativi prigionieri metallici ad espansione M12 x 100 che devono essere posizionati uno per faccia laterale.

36.2.4.6. Posa in opera degli impianti al new Jersey con foro orizzontale

Si deve adottare uno speciale manufatto in ferro calzante la testa del new jersey in corrispondenza del foro orizzontale esistente. Il bloccaggio del manufatto alla barriera deve avvenire con una barra filettata M20 tesata a 5.000 kg e due dadi autobloccanti, classe 8.8, usufruendo del foro passante.

La tipologia del sostegno, la posa in opera ed il serraggio tra il manufatto ed il sostegno deve essere effettuato come descritto nell'art 35.2.4.5.

Qualora per motivi particolari la Direzione Lavori lo ritenga opportuno, la stessa potrà ordinare la messa in opera di due o più bulloni con relativi prigionieri metallici ad espansione M12.

36.2.4.7. Posa in opera degli impianti al new Jersey senza fori

Si deve adottare uno speciale manufatto in ferro calzante la testa del new jersey in corrispondenza del foro orizzontale che deve essere realizzato perpendicolarmente all'asse del new jersey stesso così da consentire la collocazione della barra filettata M20 tesata a 5.000 kg per il bloccaggio del manufatto alla barriera con due dadi autobloccanti, classe 8.8.

La tipologia del sostegno, la posa in opera ed il serraggio tra il manufatto ed il sostegno deve essere effettuato come descritto nell'art. 35.2.4.5.

Qualora per motivi particolari la Direzione Lavori lo ritenga opportuno, la stessa potrà ordinare la messa in opera di due o più bulloni con relativi prigionieri metallici ad espansione M12.

36.2.4.8. Posa in opera degli impianti su paletti M100 o di sostegno del guardrail

Il tubolare di sostegno in ferro, chiuso nella parte superiore con tappo di gomma o materiale plastico, deve essere fissato al paletto M100 o a quello di sostegno del guardrail mediante due staffe in acciaio realizzate come da art. 35.2.3.9.

36.2.4.9. Posa in opera degli impianti su punti particolari

Nel caso in cui l'impianto deve essere installato in punti non previsti agli articoli precedenti, il manufatto di ancoraggio predisposto deve essere posizionato secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

36.2.4.10. Segnaletica antinebbia

Nei tratti autostradali classificati ad alta frequenza di nebbia può essere installata una specifica segnaletica verticale didattica che ha il compito di fornire alla clientela in viaggio indicazioni sulla condotta di guida più consona all'intensità di nebbia presente.

Tale segnaletica deve essere composta da cinque tipologie di cartelli:

- Tipo A: indica l'inizio del tratto antinebbia;
- Tipo B: indica gli elementi caratterizzanti il tratto antinebbia;
- Tipo C: indica la velocità consigliata in caso sia visibile al cliente un unico delineatore o semiellisse;
- Tipo D: indica la velocità consigliata in caso siano visibili al cliente due delineatori o semiellissi;
- Tipo E: indica il termine del tratto antinebbia.

I suddetti cartelli devono essere installati lungo il tratto seguente le seguenti disposizioni:

- all'inizio del tratto devono essere installati i segnali di tipo A,B,C e D;
- ogni 5 km e dopo l'ingresso dalle stazioni autostradali devono essere installati i segnali B,C e D;
- la distanza tra i segnali deve essere di circa 200 m
- il termine del tratto deve essere identificato con il cartello di tipo E.

La grafica dei segnali di tipo B, C e D varia a seconda della tipologia della carreggiata, pertanto questa unitamente alle misure e al tipo di pellicola deve essere conforme a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale.

36.2.4.11. Numerazione delle opere soprapassanti

Per ogni opera soprapassante devono essere posizionati due impianti.

Questi devono essere collocati ad una distanza di circa 40/60 m prima e dopo l'asse del cavalcavia stesso.

Ogni impianto deve essere costituito da un sostegno o struttura al quale devono essere montati due cartelli (900x900 o 600x600 mm) con l'indicazione dell'autostrada e del numero progressivo dell'opera soprapassante.

La posa in opera degli impianti deve essere eseguita nello spartitraffico ed i segnali devono essere posizionati in modo tale che abbiano un'inclinazione rispetto al flusso del traffico di 93°.

Solamente dove non sia possibile l'installazione dei segnali, anche di formato ridotto, sul lato sinistro della carreggiata (es. muro a retta), questi devono essere collocati sul lato destro garantendo comunque una perfetta visibilità dei cartelli sia sulla sede autostradale che dal cavalcavia.

In presenza di autostrade con carreggiate a sedi separate o con larghezze di banchina centrale tali da non consentire una corretta visibilità e leggibilità del messaggio riportato sui segnali, si devono posizionare due impianti per ogni carreggiata.

In vicinanza di cavalcavia a ridosso di gallerie, gli impianti devono essere posizionati comunque all'esterno dei tunnel.

Quando due o più cavalcavia sono ad una distanza ridotta tra di loro (es. 40 m) gli impianti devono essere installati a distanze inferiori a quelle prescritte e comunque a non meno di 5 m dalla proiezione del cavalcavia stesso sulla carreggiata autostradale, al fine di garantire la leggibilità dei segnali dal cavalcavia.

L'altezza tra il bordo inferiore del cartello e la pavimentazione deve essere minimo 1,70 m e massimo 1,80 m. Fanno eccezione le targhe in posizioni particolari la cui altezza sarà stabilita di volta in volta dalla Direzione Lavori. In nessun caso il segnale deve essere posizionato in modo tale da superare in larghezza la sagoma della barriera di sicurezza.

Qualora nello spartitraffico sia presente la rete per impedire l'attraversamento della carreggiata, i segnali devono essere collocati al di sopra della rete stessa.

La numerazione delle opere soprapassanti deve avere origine dal primo caposaldo e deve essere progressiva.

L'Appaltatore è responsabile della resistenza degli impianti.

Le opere soprapassanti sono numerate sequenzialmente secondo la Direttiva del Ministero dei Lavori Pubblici n°1156 del 28 febbraio 1997.

36.2.4.12. Segnali di limite massimo di velocità in caso di nebbia

I cartelli compositi di limite massimo di velocità in caso di nebbia devono essere installati sulle tratte soggette a tale fenomeno atmosferico e contenute nel Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n. 335 del 16 febbraio 1993.

La composizione grafica di tali cartelli è contenuta nel citato D.M.

Le caratteristiche costruttive dovranno essere comunque conformi a quanto contenuto nel presente Capitolato Speciale.

36.2.4.13. Segnaletica di indicazione delle modalità di pagamento

Le specifiche costruttive devono essere conformi a quanto contenuto nel presente Capitolato Speciale.

Le composizioni grafiche e le tipologie dei materiali da utilizzare sono contenute nell'elaborato tecnico VTP2005.

36.2.5. Rettifiche e rimozione

36.2.5.1. Rettifiche alla segnaletica

L'Appaltatore si deve assumere la responsabilità della perfetta conservazione della segnaletica in opera accollandosi l'incarico di eseguire le eventuali correzioni, modifiche o aggiunte sui cartelli già in opera che possono essere ordinate dalla Direzione Lavori fino al giorno del collaudo.

Nel caso di piccole correzioni, l'Appaltatore deve provvedere sul posto alla modifica impiegando pellicole autoadesive.

Quando sia necessario operare in laboratorio dette correzioni, queste devono essere eseguite nel modo descritto all'art. 35.2.2.10.

Le sopraccitate modifiche devono essere compensate come da Elenco Prezzi.

Il giudizio sull'esattezza del posizionamento dei segnali deve essere riservato in modo insindacabile alla Direzione Lavori e rimane ad esclusivo carico e spesa dell'Appaltatore ogni operazione e fornitura relativa allo spostamento dei segnali giudicati non correttamente posati.

36.2.5.2. Rimozione della segnaletica

Gli impianti segnaletici devono essere completamente rimossi dalla sede di posa. I materiali di risulta devono essere trasportati dall'Appaltatore nelle seguenti destinazioni di ricovero:

- Magazzini Autostrade per L'Italia S.p.A., per i profilati in ferro di qualsiasi forma e dimensione e per l'alluminio;
- Discarica autorizzata, per i basamenti di fondazione.

Deve essere, inoltre, ripristinato sullo spartitraffico, sulle scarpate o in qualunque altra situazione di continuità il preesistente piano di posa.

36.2.6. Indicazioni progettuali specifiche

36.2.6.1. Segnali Ponte e Galleria

Le targhe indicanti i viadotti sono previste solo se la lunghezza del manufatto è \geq a 50 m. (fig. II 317 art. 135 del D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495).

Le targhe indicanti le gallerie sono sempre previste indipendentemente dalla lunghezza del manufatto. (fig. II 316 art. 135 del D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495).

36.2.6.2. Itinerari internazionali

Gli itinerari internazionali (fig. II 256 art. 129 del D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495) devono essere indicati con le modalità di seguito indicate:

Lungo il tratto autostradale

- 1) sul preavviso di bivio, alla sinistra del capostrada o caposaldo. Qualora la lunghezza del toponimo sia tale da rendere problematico l'inserimento della fig. II art. 129 del D.P.R. 16 dicembre 1992, n° 495, quest'ultima deve essere impaginata sotto il toponimo, allineata a sinistra sul pannello di sinistra del portale alla sinistra del capostrada o caposaldo;
- 2) nel caso che un tratto autostradale faccia parte di due o più "itinerari internazionali" le indicazioni di prosecuzione sui preavvisi di bivio e sui portali devono essere integrate con le due o più sigle fino al loro punto di divergenza;
- 3) quando due autostrade si intersecano direttamente o tramite un'altra autostrada, sulla autostrada A deve essere data l'indicazione dell'autostrada B e si deve indicare l'itinerario di inizio dell'autostrada B.

In corrispondenza delle uscite autostradali

- 1) se l'itinerario internazionale esce dall'autostrada e prosegue sulla strada di intersezione:
 - sul preavviso di bivio, inserito nel tratto orizzontale della freccia a destra, prima del nome della stazione o dello svincolo;
 - sul pannello di destra del portale, alla sinistra del nome della stazione o dello svincolo;
 - sul preavviso di bivio e sulle frecce di cuspide relativi all'intersezione esterna;
- 2) se l'itinerario è indicato solamente sui cartelli degli itinerari esterni, il segnale di indicazione degli itinerari internazionali deve essere riportato solo sulle frecce di cuspide relative all'intersezione esterna.

In corrispondenza delle entrate autostradali

- 1) nel preavviso di bivio, sulla viabilità esterna, a sinistra dell'indicazione del tratto autostradale che si andrà a percorrere;
- 2) sulle frecce di indicazione in cuspide;
- 3) sul preavviso di bivio posto subito dopo le stazioni autostradali, in entrata. Nel caso in cui non sia possibile installare tale cartello:
 - se l'itinerario internazionale è unico, per le due direzioni, non deve essere indicato su nessun cartello;
 - se l'itinerario internazionale è più di uno, questi saranno indicati nei segnali di direzione posti in cuspide in entrata subito dopo la stazione.

36.2.6.3. Segnali retro-illuminati in galleria

A discrezione della Direzione Lavori all'interno delle gallerie possono essere installati, in alternativa alla normale segnaletica rifrangente, dei segnali retroilluminati (illuminati per trasparenza) sia per le eventuali prescrizioni/indicazioni di codice che per segnalare dotazioni di emergenza, colonnine SOS, vie di fuga o localizzazione luoghi sicuri.

Tutta la segnaletica utilizzata dovrà essere conforme alle caratteristiche costruttive e prestazionali previste dalla norma UNI 12899-1 del gennaio 2003 e a quanto contenuto negli articoli 156 e 157 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Codice della Strada.

Qualora il segnale illuminato per trasparenza sia in avaria, lo stesso deve mantenere le sue caratteristiche colorimetriche e di rifrangenza.

36.2.6.4. Segnali per vie di fuga e luoghi sicuri in galleria

I segnali all'interno delle gallerie utilizzati per segnalare le vie di fuga o i luoghi sicuri dovranno essere conformi a quanto contenuto nel D.Leg. n°264 del 5 ottobre 2006 di attuazione della Direttiva Europea 2004/54/CE del 29 aprile 2004.

36.2.7. Certificazioni e prove

I materiali da impiegare nelle lavorazioni devono essere forniti da Produttori che dimostrino la disponibilità di un efficiente sistema per il controllo qualitativo della produzione, in conformità della Circolare del LL.PP. n. 2357 del 16/05/1996 e successive modificazioni.

La qualità dei materiali deve essere comunque verificata tutte le volte che la Direzione Lavori lo riterrà necessario ed in qualsiasi fase della produzione e/o realizzazione dei lavori.

Le unioni bullonate, compresi i tirafondi di fondazione, devono essere sottoposte all'atto della posa in opera, dalla Direzione dei Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, a verifica con chiave dinamometrica, tarata e dotata di bussole intercambiabili, dei valori della coppia di serraggio previsti in Progetto, sulla base delle indicazioni riportate nella norma CNR UNI 10011/88.

Per ogni giunto devono essere verificati da quattro a sei bulloni e deve essere redatto il relativo verbale di constatazione.

Per le unioni saldate si dovrà produrre le certificazioni, rilasciate da Istituti o Laboratori di certificazione riconosciuti legalmente, le quali attestino che tutte le saldature relative a tutte le unioni di forza ed il 20% delle saldature di dettaglio di ogni singola struttura o portale, sono state sottoposte a controllo manuale mediante ultrasuoni nel rispetto della norma UNI EN 1714/05.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di svolgere ispezioni in officina o nei laboratori e di prelevare in qualsiasi momento, senza preavviso ed anche dopo la fornitura in opera, campioni di tutti i materiali impiegati per sottoporli alle analisi e prove che riterrà opportuno eseguire presso noti Istituti specializzati, autorizzati e competenti, allo scopo di rendere soddisfatte tutte le prescrizioni richiamate nel presente Capitolato Speciale.

I prelievi di materiale devono avvenire in contraddittorio con un rappresentante dell'Appaltatore e deve essere redatto il relativo verbale di prelievo.

Le campionature relative alla zincatura possono essere inviate dalla Direzione Lavori ad un laboratorio di fiducia per essere sottoposte alle analisi di controllo.

Le relative spese per sottoporre ad analisi e prove i vari campioni, comprese quelle di prelievo e di spedizione prima e dopo la verifica verranno addebitate al fornitore.

36.2.8. Penali

Qualora i risultati delle certificazioni, relativi alla qualità dei materiali ed alla realizzazione dei manufatti e/o i risultati delle prove predisposte dalla Direzione Lavori, non fossero rispondenti al presente Capitolato Speciale, dovranno essere applicati i seguenti provvedimenti.

36.2.8.1. Forme e dimensioni dei segnali

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i segnali realizzati con forme e dimensioni diverse da quelle previste dalle norme citate in Premessa ed a quanto esposto dettagliatamente nei disegni di Progetto.

36.2.8.2. Qualità dell'acciaio

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i materiali e/o strutture sia forniti che posti in opera, realizzati con qualità di acciaio diverse da quelle richieste.

36.2.8.3. Bulloneria

Dovrà essere sostituita a cura e spese dell'Appaltatore tutta la bulloneria sia fornite che posta in opera, se non rispondente alla norma UNI EN 20898 classe 8.8.

36.2.8.4. Unioni saldate

Dovranno essere sostituite a cura e spese dell'Appaltatore tutte le strutture, sia fornite che poste in opera, realizzate con saldature non conformi a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale.

36.2.8.5. Zincatura

Dovranno essere applicate le penali sotto elencate sull'importo totale relativo alla fornitura della tipologia dei materiali ferrosi, presi in esame, se gli stessi presenteranno uno spessore di zinco inferiore a quanto previsto al precedente specifico punto.

Tipo	Variazione percentuale di quantità o qualità di protezione anticorrosiva in meno, rispetto al richiesto	Sanzione percentuale da applicarsi sul prezzo/i relativo all'opera non a norma
A	Fino al 10%	5%
B	Dal 10% al 20%	10%
C	Oltre il 20%	Sostituzione completa dei materiali

36.2.8.6. Alluminio

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i segnali realizzati con lamiera di alluminio non rispondenti a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale.

36.2.8.7. Pellicole retro-riflettenti

Tutti i segnali realizzati con pellicole risultate non rispondenti a quanto previsto dalle Norme in vigore dovranno essere sostituite a cura e spese dell'Appaltatore.

36.2.8.8. Posa in opera

Tutti i basamenti realizzati con dimensioni inferiori rispetto a quelli riportati negli elaborati progettuali dovranno essere rimossi e nuovamente realizzati a cura e spese dell'Appaltatore; potranno anche essere adeguati secondo le direttive indicate dalla Direzione Lavori.

Dovranno essere ad esclusivo carico e spesa dell'Appaltatore ogni operazione e fornitura relativa allo spostamento dei segnali giudicati non correttamente posati.

36.2.9. Garanzie di durata

L'Appaltatore deve comunque garantire quanto segue:

- a) le pellicole, applicate secondo le tecniche prescritte dal fabbricante e dalle presenti Norme, non dovranno presentare, per almeno 7 anni, per quelle non retro-riflettenti e retro-riflettenti di classe 1, 10 anni per quelle retro-riflettenti di classe 2, 2-mp, 2s-mp e 2s-mp-a, di esposizione all'esterno, alcuna decolorazione, (restando nelle coordinate dei limiti cromatici di cui alla tabella I del Decreto Ministeriale del 31 marzo 1995 n. 1584) nessuna fessurazione, corrugamento, formazione di scaglie o bolle, cambio di dimensioni, segni di corrosione, distacco dal supporto o diminuzione dell'adesione;
- b) i supporti, le traverse, le staffe, i sostegni e tutti i materiali metallici che compongono l'impianto segnaletico, per almeno 10 anni di esposizione all'esterno, non dovranno presentare alcuna forma di ossidazione, nemmeno in piccole quantità;
- c) la posa in opera deve essere eseguita a perfetta regola d'arte e l'impianto segnaletico dovrà resistere al vento spirante a 150 km/h e non presentare per almeno 10 anni alcuna anomalia (distacco anche parziale di traverse, bulloni tranciati, staffe lente, ecc.).

36.2.10. Norme per la misurazione e valutazione dei lavori

Le quantità dei lavori devono essere determinate con metodi geometrici in relazione a quanto previsto nell'Elenco Prezzi.

In nessun caso devono essere tollerate dimensioni minori di quelle ordinate e l'Appaltatore deve essere chiamato ad eseguire il rifacimento a sua cura e spese.

Le misure devono essere prese in contraddittorio, via via che si procede all'esecuzione delle opere, e devono essere riportate su apposito libretto che deve essere firmato dagli incaricati della Direzione Lavori e dell'Appaltatore. Resta sempre salva, in ogni caso, la possibilità di verifica e di rettifica in occasione delle operazioni di liquidazione finale dei lavori.

Le norme da seguire nella misurazione e valutazione dei lavori devono essere:

- 1) l'area dei pannelli di qualsiasi forma e consistenza deve essere misurata rilevando la superficie netta della faccia anteriore dei pannelli stessi, non tenendo conto dei risvolti costituenti l'eventuale scollatura;
- 2) qualora lo spessore della lamiera fosse inferiore a quello stabilito nel Capitolato Speciale, la Direzione Lavori deve valutare caso per caso se deve provvedere alla contabilizzazione del pannello applicando il prezzo di elenco relativo allo spessore immediatamente inferiore oppure applicare le disposizioni dell'art. 35.2.8.1. Resta inteso che l'accertamento dello spessore del pannello deve essere eseguito al netto di pellicole;
- 3) i metalli lavorati e sagomati per l'intelaiatura dei pannelli devono essere valutati a peso e dati in opera completi di ogni onere per il fissaggio e l'irrigidimento;
- 4) i pali devono essere valutati a peso, dati a piè d'opera;
- 5) qualora per esigenze particolari si rende necessario effettuare aggiunte o modifiche di fondi, scritte o simboli su cartelli già realizzati, la misurazione dell'area dei fondi deve essere effettuata per la superficie effettiva. La misurazione dell'area delle pellicole per lettere, simboli, marchi ecc. deve essere effettuata misurando la superficie del parallelogramma ortogonale che circoscrive ogni singola lettera o figura valutandola ai singoli prezzi di elenco.

36.3. Capo II – Delineatori

36.3.1. Delineatori stradali

I delineatori stradali fanno parte del gruppo dei "Segnali Complementari".

Per delineatori complementari si intendono, ai sensi dell'articolo 42, comma 1 del Codice della Strada, quei dispositivi e mezzi segnaletici destinati ad evidenziare o rendere noto:

- il tracciato stradale;
- particolari curve e punti critici;
- ostacoli posti sulla carreggiata o ad essa adiacenti.

I segnali complementari si suddividono in:

- 1) delineatori normali di margine;

- 2) delineatori speciali;
- 3) mezzi e dispositivi per segnalare gli ostacoli;
- 4) isole di traffico.

36.3.1.1. Delineatori normali di margine

Le caratteristiche dei delineatori normali di margine sono prescritte dall'art. 173 del Regolamento di Esecuzione e di Attuazione del Nuovo Codice della Strada.

Impiegati lungo le autostrade, ne indicano i margini visualizzando a distanza le carreggiate.

Lungo le carreggiate autostradali e sui rami di svincolo monodirezionali i delineatori in sinistra dovranno avere due elementi rifrangenti di colore giallo della superficie minima rifrangente di 30 cm² e quelli in destra uno della superficie minima rifrangente di 60 cm².

Sui rami di svincolo bidirezionali i delineatori in sinistra, rispetto alla corrente di traffico dovranno avere un elemento rifrangente di colore bianco e in destra un elemento rifrangente di colore rosso; entrambi dovranno avere una superficie minima rifrangente di 30 cm².

Le caratteristiche fisiche e chimiche dei materiali da usare per la costruzione dei delineatori normali, le dimensioni e le forme degli stessi, nonché i requisiti fotometrici e colorimetrici degli elementi rifrangenti sono stabiliti con apposito disciplinare tecnico approvato con Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica.

I delineatori sono costituiti da paletti di colore bianco con fascia nera alta 25 cm, posta nella parte superiore, nella quale devono essere inseriti elementi rifrangenti volti verso le correnti di traffico interessate.

Il paletto del delineatore deve essere a sezione trapezoidale con spigoli arrotondati che devono potersi iscrivere in un rettangolo di 10x12 cm, con lato minore parallelo all'asse stradale.

Devono essere costruiti mediante soffiaggio, in appositi stampi, di una candela continua di polietilene ad alta densità e della migliore qualità, arricchito di aditivi antinvecchiamento. La parte superiore di colore nero dovrà essere incorporata nel segnalimita in fase di stampaggio, escludendosi operazioni di verniciatura o incastro a pressione.

Il materiale utilizzato deve essere sufficientemente elastico ed avere un'elevata resistenza strutturale.

I paletti dei delineatori devono portare impresso l'anno di fabbricazione ed il marchio della ditta produttrice. La stabilità alle escursioni termiche deve essere garantita per una temperatura minima di -15 °C ed una massima di +80 °C.

Il polimero deve presentare valori compresi nei seguenti limiti:

- 5) purezza del polietilene ad alta densità (trattamento all'ebollizione con tricloroetilene) – il polietilene è puro se assorbe meno del 35% di tricloroetilene e cede al tricloroetilene meno del 4% del suo peso;
- 6) indice di fluidità (meltindex): 0,2 – 0,4;
- 7) densità: 0,95;
- 8) carico di rottura: prima dell'esposizione continua all'azione dei raggi ultravioletti in un apparecchio "Weather o meter", deve essere di 220 kg/cm²; dopo l'esposizione deve essere almeno 85% del valore iniziale;
- 9) resistenza all'urto: prima dell'esposizione ai raggi ultravioletti, la resistenza all'urto deve raggiungere un minimo di 9 kg/cm²; dopo l'irradiazione la resistenza deve raggiungere almeno l'80% del valore ottenuto prima dell'esposizione;
- 10) la resistenza agli agenti chimici è testata con i sotto elencati agenti aggressivi:
 - cloruro di sodio al 20%;
 - cloruro di calcio al 20%
 - idrossido di ammonio al 10%
 - acido cloridrico al 10%
 - acido solforico al 10%
 - olio minerale
 - benzina

L'accertamento di eventuali modificazioni occorse al paletto segnalimita in esame dovrà essere effettuata mediante pesatura dello stesso prima e dopo l'immersione nelle soluzioni di cui sopra.

Nel delineatore di destra, l'elemento rifrangente deve essere di colore giallo, di forma rettangolare e della superficie rifrangente minima di 60 cm²; nel delineatore di sinistra i due elementi rifrangenti, posti verticalmente l'uno rispetto all'altro, devono essere di colore giallo, di forma rettangolare e ciascuno, con una superficie rifrangente minima di 30 cm², ad una distanza fra loro pari al doppio dell'altezza di ciascun dispositivo, con una tolleranza in più del 10%.

Sia i catadiottri di destra che quelli di sinistra, corrispondenti, devono avere le stesse dimensioni e caratteristiche, con la base maggiore parallela alla pavimentazione stradale.

Gli elementi rifrangenti devono essere realizzati in metacrilato di metile di colore giallo.

I catadiottri, per essere regolari, devono seguire le seguenti norme:

- Devono essere omologati dal Ministero dei Trasporti Dipartimento dei Trasporti Terrestri e devono riportare impresso il numero dell'omologazione e il nome del fabbricante;
- devono essere rettangolari con superficie minima rifrangente di 60 cm² e il valore minimo di intensità luminosa dovrà essere di 20 m.c.d./lux cm², rilevato a 20° di incidenza e 20° di divergenza;
- devono presentarsi inalterati dopo la prova di resistenza all'esposizione per invecchiamento ai raggi ultravioletti e infrarossi (durata della prova 72 h, lampada OSRAM ULTRA LIGHT da 1000 W, temperatura massima 65°C ± 1);
- devono presentare una perfetta tenuta stagna nella prova di immersione in acqua (durata della prova 24 h, temperatura 20°C ± 1).

Devono inoltre essere collocati come stabilito dall'art. 173 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada: al limite esterno della banchina e comunque a non meno di 50 cm dal bordo esterno della carreggiata.

I delineatori devono essere infissi nel terreno per una profondità di 30 cm, curando sia la verticalità e l'allineamento del paletto stesso che l'angolarità del o dei catadiottri.

Il terreno intorno al paletto va compattato.

I delineatori posizionati su cordoli o cunette in calcestruzzo devono essere infissi in un foro sagomato praticato nel calcestruzzo stesso.

L'altezza fuori terra deve essere compresa fra 70 e 110 cm e comunque omogenea con gli altri delineatori adiacenti.

L'altezza tra il bordo inferiore del catadiottri e la pavimentazione stradale deve essere quella figurante nei disegni, curando scrupolosamente che tali altezze restino costanti lungo la medesima tratta anche quando si passa da un tipo all'altro di delineatore.

Su tratte omogenee l'installazione dei delineatori deve essere continuativa, evitando installazioni saltuarie e usando lo stesso tipo di delineatore. Deve essere adottata la spaziatura minima prevista all'art. 173 comma 4 del suddetto Regolamento. In curva i delineatori vanno infittiti con criterio differenziale in relazione al raggio di curvatura.

Nel caso della sostituzione di delineatori in quelle autostrade ove vigono norme diverse dalle presenti, occorrerà effettuare l'installazione per tratte significative, conformi alle prescrizioni del suddetto art. 173 comma 4.

Qualora si presenti la necessità di installare delineatori su manufatti diversi da quelli di seguito elencati dovranno essere studiati i nuovi tipi di supporti e di attacchi, fermo restando i principi basilari prescritti dalle presenti norme.

L'Appaltatore dovrà presentare campioni di ogni tipo di delineatore i quali saranno esaminati dalla Direzione Lavori.

Eventuali proposte di nuove soluzioni presentate saranno prese in considerazione, esaminate e se idonee accettate; comunque, gli elementi rifrangenti devono essere fissati al supporto metallico mediante attacchi a baionetta o simili e comunque mai incollati.

Nel caso di delineatori su barriere di sicurezza tipo New Jersey, questi devono avere le seguenti caratteristiche:

- i supporti devono essere realizzati in alluminio di spessore 20/10 mm;
- i catadiottri, sia quelli di sinistra che quelli di destra, devono aver dimensioni che garantiscano una superficie minima rifrangente di 10x6 cm.

Nel caso di posizionamento su New Jersey monofilari, i delineatori devono essere installati utilizzando i fori esistenti nel manufatto, con tassello ad espansione:

- Detto tassello, sotto l'azione di una vite a brucola di 6 mm, dilatandosi deve esercitare sulla parete del foro una pressione tale da ostacolarne la fuoriuscita.

Nel caso di New Jersey bifilari e laterali, i delineatori devono essere installati mediante l'impiego di n. 2 tasselli con vite a chiodo:

- Dette viti devono essere zincate galvanicamente e passivate e devono avere una lunghezza minima di 35 mm con il foro di diametro 6 mm.

Nel caso di barriere metalliche, i delineatori devono avere le seguenti caratteristiche:

- I supporti devono essere realizzati in lamiera di ferro nello spessore rappresentato nei disegni tipo e zincato a caldo secondo quanto previsto nelle norme CEI 7.6 del luglio 1968.
- Nella realizzazione dei supporti si deve tenere conto della diversa inclinazione delle lame nei vari tipi di guard-rail esistenti sulla rete autostradale da cui scaturisce una diversa angolazione dell'asta di supporto dei catadiottri rispetto all'onda stessa; questa per mantenere costante la verticalità del dispositivo.
- i catadiottri, sia quelli di sinistra che quelli di destra, devono aver dimensioni che garantiscano una superficie minima di 10x6 cm
- Devono essere posizionati sulla parte superiore del nastro con sistemi di attacco tali da non interessare in alcun modo la bulloneria necessaria per l'unione tra le barriere e quella tra le barriere e i montanti.
- Il metodo di attacco deve essere del tipo indicato negli elaborati progettuali, formato da piastra di acciaio sagomata e collegata al supporto tramite una vite a brucola del diametro di 6 mm, anche essi zincati come sopra.

Nel caso di muri di controripa, i delineatori devono avere le seguenti caratteristiche:

- I supporti devono essere realizzati in alluminio spessore 20/10 mm.
- I catadiottri devono avere una superficie riflettente di 15x10 cm.
- Per mantenere il lato maggiore del catadiottero orizzontale occorre determinare l'inclinazione del muro stesso e conseguentemente la piegatura da dare al supporto.

Nel caso di cordoli, muretti ed elementi prefabbricati di varie altezze devono essere realizzati delineatori con supporti tali da mantenere orizzontalità e altezza costante:

- Il fissaggio di detti delineatori deve esser eseguito come quello indicato per i New Jersey.

36.3.1.2. Delineatori speciali

Per delineatori speciali si intendono, secondo l'art. 174 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada, quei delineatori utilizzati come dispositivi permanenti tra cui:

- delineatori in galleria
- delineatori modulari di curva

I delineatori in galleria devono avere le caratteristiche previste dalle presenti norme e di seguito elencate.

I catadiottri, sia quello di destra che quelli di sinistra, devono avere le dimensioni della superficie rifrangente di 15x10 cm.

In sinistra oltre ai due catadiottri posti nel senso di marcia, il delineatore ne deve avere un terzo sul retro, con uguali caratteristiche e dimensioni, ma di colore rosso.

In destra oltre al catadiottero posto nel senso di marcia, il delineatore deve avere sul retro un altro catadiottero con uguali caratteristiche e dimensioni ma di colore bianco.

In relazione alle diverse situazioni devono essere adottate le seguenti tipologie di delineatori:

a) Gallerie con guard-rail

- i delineatori devono avere caratteristiche uguali a quelli previsti per i guard-rail a cielo aperto, ma di dimensioni maggiorate, sia nel supporto che nell'attacco e devono essere installati sulla parte superiore della lama;

b) Gallerie senza marciapiede e senza guard-rail

- i delineatori devono avere i supporti in alluminio 30/10 mm in sinistra e 25/10 mm in destra e devono essere installati sui piedritti delle gallerie mediante l'impiego di n. 3 tasselli con vite a chiodo. Dette viti devono essere uguali a quelle utilizzate per delineatori su New Jersey. Per rispettare la condizione di parallelismo bisogna sagomare opportunamente i supporti secondo l'inclinazione del piedritto stesso;

c) Gallerie con marciapiede

- i delineatori devono avere il supporto in profilato di ferro, spesso 4 mm, avente alla base una piastra in ferro saldata di 10x15 cm, spessore 3 mm, zincata a caldo con quattro fori;
- in detto supporto deve essere fissato un pannello in alluminio 30/10 mm per quelli in sinistra e 25/10 mm per quelli in destra, sui quali devono essere fissati i catadiottri necessari;
- il montaggio del delineatore al marciapiede deve essere ottenuto mediante n. 2 bulloni e prigionieri metallici ad espansione.

Va tenuto presente che, alla luce di quanto contenuto nell'art. 174 del Regolamento, in galleria la spaziatura longitudinale deve essere di 15 metri salvo il tratto di imbocco, della galleria stessa, in cui il distanziamento sarà di 8 metri, per i primi 10 elementi; per curve con raggio inferiore a 500 metri ad una distanza di 7,5 metri.

I delineatori modulari di curva sono regolamentati dall'art. 174 comma e) del Regolamento.

Devono essere impiegati nei casi in cui la percezione dello sviluppo della curva risulti poco agevole; la stessa deve essere quindi segnalata con una serie variabile di pannelli, denominati pannelli modulari di curva Fig. Il 468 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada, delle dimensioni di 90x90 cm. In condizioni particolari - svincoli, rampe, ecc., qualora gli spazi non siano sufficienti per l'installazione del formato normale, sarà possibile utilizzare il formato ridotto 60x60 cm.

Tali pannelli devono essere realizzati in alluminio 25/10 mm, la faccia anteriore ricoperta da pellicola nera non retro-riflettente e il disegno a punta di freccia realizzato con pellicola bianca retro-riflettente di classe 2 superiore.

I pannelli devono essere distanziati di circa 15 metri ed essere installati nello spartitraffico, o sul bordo laterale della carreggiata, lungo tutto lo sviluppo della curva tra i due punti di tangenza con i rettifili collegati alla curva stessa.

Il punto di inizio e quello di fine dei pannelli potrà essere anticipato o prolungato qualora se ne ravveda la necessità.

Infine, nelle autostrade con tracciato per clotoide e curve circolari, il punto di inizio e fine deve corrispondere con l'inizio e la fine delle clotoidi.

36.3.1.3. Penali

La Direzione Lavori ha la facoltà di prelevare, in qualunque momento, dei campioni per sottoporli alle prove tecniche previste dalle presenti Norme.

I delineatori dovranno essere tutti sostituiti, a cure e spese dell'Appaltatore, qualora i catadiottri non dovessero rispondere alle prescrizioni delle caratteristiche richieste al punto 11.1.4, riguardo ai delineatori normali di margine, a quanto indicato per i delineatori speciali, e alle installazioni su manufatti diversi.

Dovrà invece essere applicata una penale pari al 5% dell'importo totale relativo alla fornitura se i catadiottri dovessero presentare alterazioni dopo la prova indicata al punto 3 del suddetto articolo mentre, dovranno essere sostituiti tutti quei catadiottri che dovessero presentare opacità per effetto della scarsa tenuta stagna.

Dovranno essere sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore tutti i paletti che non dovessero rispondere alle caratteristiche indicate dall'art. 35.3.1.2 delle presenti Norme.

Per i supporti dei delineatori realizzati in acciaio zincato, dovranno essere applicate le penali indicate nell'art. 35.2.8.

36.4. Capo III – Segnaletica orizzontale

36.4.1. Segnaletica orizzontale

36.4.1.1. Premessa

La segnaletica orizzontale da utilizzare come guida ottica presente sul tracciato autostradale ed impiegante materiali con formulazioni e tipologie applicative diverse, deve rispondere a precise richieste comportamentali e prestazionali in funzione del suo posizionamento.

La classificazione per livelli applicativi indirizza all'uso preciso di materiali da utilizzare per segnaletica orizzontale le cui proprietà rispondono a differenti standard di sicurezza.

Pertanto l'impiego di un materiale viene individuato in base a determinate condizioni: nebbia, pioggia, neve, galleria, andamento planoaltimetrico del tracciato presenti nella zona in cui si deve operare.

L'Appaltatore, prima e durante i lavori, deve essere in grado di operare conoscendo i supporti su cui intervenire, i materiali da utilizzare e i macchinari con cui effettuare la messa in opera secondo quanto riportato nella Norma UNI 11154:2006.

Qualsiasi tipo di segnaletica orizzontale da realizzare deve essere conforme a quanto stabilito dal nuovo Codice della Strada Direzione Lavori n° 285 del 30/04/1992, dal Regolamento d'esecuzione e d'attuazione del nuovo codice della strada D.P.R. n° 495 del 16/12/92, così come modificato dal D.P.R. 16 Settembre 1996 n° 610 e dai disegni esecutivi di Progetto.

36.4.1.2. Classificazione dei materiali per segnaletica orizzontale

I materiali da utilizzare per la segnaletica orizzontale sono classificati nel seguente modo:

Pitture:

Possono essere di due tipi:

1) idropitture con microsfere di vetro postspruzzate(*);

La idropittura è un prodotto verniciante liquido costituito da una miscela di resina e plastificanti, pigmenti e materiali riempitivi il tutto contenuto in una sospensione a base d'acqua.

2) pitture a freddo con microsfere di vetro postspruzzate(*);

La pittura a freddo è un prodotto verniciante liquido costituito da una miscela di resine e plastificanti, da pigmenti e materiali riempitivi; il tutto disperso in diluenti e solventi idonei.

Termoplastico con microsfere di vetro premiscelate e postspruzzate(*):

Il materiale termoplastico è un prodotto verniciante costituito da una miscela di resine idrocarburiche sintetiche plastificate con olio minerale, da pigmenti ed aggregati, da microsfere di vetro premiscelate, privo di solvente e fornito in uno o più componenti applicati con attrezzature appropriate.

Laminati elastoplastici (nastro stradale elastoplastico preformato)

I nastri stradali elastoplastici preformati:

3) per applicazioni provvisorie;

4) per applicazioni poco sollecitate;

5) per applicazioni altamente sollecitate

(*) Le microsfere di vetro impiegate per la postspruzzatura devono essere marcate "CE" come definito dalla norma UNI EN1423:2004.

36.4.1.3. Tratti antinebbia

Sui tratti autostradali individuati come "antinebbia" la linea di margine destro può avere le seguenti caratteristiche:

- lo spessore della striscia con elementi a rilievo non deve essere maggiore di 6 mm, così come descritto all'art. 141 del Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada D.P.R. 16.12.1992 n.495.
- la forma, dimensioni e frequenza del rilievo deve essere come indicato nei disegni di Progetto.

36.4.1.4. Caratteristiche dei materiali

Vengono di seguito definiti i requisiti, in base a quanto previsto dalla normativa UNI EN 1436:2004, ai quali tutti i prodotti, impiegati nei lavori di segnaletica orizzontale, devono ottemperare per tutta la loro vita utile.

Valori prestazionali minori a quelli richiesti sono da considerare insufficienti a garantire il mantenimento degli standard di sicurezza previsti.

La segnaletica orizzontale deve essere efficiente subito dopo la posa in opera.

Gli standard prestazionali richiesti sono:

- Colore
- Retroriflessione (Visibilità notturna)
- Resistenza allo slittamento SRT Skid Resistance Tester (resistenza al derapaggio)
- Tempo di essiccazione

Il colore dei prodotti di segnaletica orizzontale è la sensazione cromatica percepita dall'osservatore; viene definito mediante le coordinate di cromaticità riferite al diagramma colorimetrico standard CIE (ISO/CIE 10526 – 1991).

I colori dei prodotti di segnaletica orizzontale di tipo a, b e c devono rientrare, per tutta la loro vita funzionale, all'interno delle zone determinate dalle coordinate cromatiche, rilevate secondo le metodologie di cui ai successivi articoli e riportate nella tabella seguente:

Punti d'angolo delle regioni cromatiche per i colori bianco e giallo misurati con illuminante standard D65 (ISO/CIE 10526).

Colore	Vertici				
		1	2	3	4
Bianco (materiali tipo a,b,c)	x	0.355	0,305	0.285	0.335
	y	0.355	0.305	0.325	0.375
Giallo (classe Y2) (materiali tipo a,b,c)	x	0.494	0.545	0.465	0.427
	y	0.427	0.455	0.535	0.483
Blù ^(*)	x	0.078	.0,150	.0,210	0.137
	y	0.171	.0,220	.0,160	0.038
Geometria di lettura: 45°/0°, illuminazione a (45°±5°) e misura a (0°±1°)					
Nota: per il giallo la classe Y2 è intesa per segnaletica provvisoria (cantieri di lunga durata)					
^(*) valori definiti secondo il diagramma colorimetrico standard CIE (ISO/CIE 10526 – 1991)					

La retroriflessione della segnaletica orizzontale è determinata dall'illuminazione artificiale della segnaletica stessa e viene definita dal valore del coefficiente di luminosità retroriflessa.

Il valore minimo del coefficiente di luminosità retroriflessa (RL) in condizioni di superficie stradale asciutta, rilevato secondo la metodologia di cui ai successivi articoli, deve essere per i prodotti di segnaletica orizzontale di tipo a, b e c e per tutta la loro vita utile di:

Tipo di materiale e colore		Valore minimo R _L (mcd·m ⁻² ·lx ⁻¹)
a,b	Bianco	150
a,b(classe Y2)	Giallo	150
c	Bianco	300
c (classe Y2)	Giallo	150
Nota: per il giallo la classe Y2 è intesa per segnaletica provvisoria (cantieri di lunga durata)		

La segnaletica orizzontale deve possedere nelle sue caratteristiche una resistenza al derapaggio creato dalla interazione tra il pneumatico ed il prodotto segnaletico in condizioni sfavorevoli.

Il valore minimo, rilevato secondo le metodologie di cui ai successivi articoli, deve essere per i prodotti di segnaletica orizzontale di tipo a, b e c e per tutta la loro vita funzionale di:

Classe	Valore SRT minimo
--------	-------------------

S1

SRT ≥ 45

Nota: SRT (British portable Skid Resistance Tester).

Il tempo di essiccazione rilevato secondo le metodologie di cui al successivo articolo, deve rientrare nei tempi di seguito indicati.

Per le pitture il materiale da utilizzare per segnaletica orizzontale applicato sulla superficie autostradale (manto bituminoso, manto bituminoso drenante, manto in conglomerato cementizio), alla temperatura dell'aria compresa tra +10°C e +40°C ed umidità relativa non superiore al 70% deve asciugarsi entro 15 minuti dall'applicazione.

Trascorso tale periodo di tempo il materiale da utilizzare per segnaletica orizzontale non deve sporcare o scolorire sotto l'azione delle ruote gommate degli autoveicoli in transito.

Le idropitture devono essere impiegate con una temperatura dell'aria superiore a 10° e con un umidità relativa inferiore a 80%.

Il materiale da utilizzare per segnaletica orizzontale applicato sulla superficie autostradale (manto bituminoso, manto bituminoso drenante, manto in conglomerato cementizio), alla temperatura dell'aria compresa tra +10°C e +40°C ed umidità relativa non superiore al 70% deve solidificarsi entro 30 secondi per lo spruzzato ed entro 180/240 secondi per l'estruso dall'applicazione.

Trascorso tale periodo di tempo il materiale da utilizzare per segnaletica orizzontale non deve sporcare o scolorire sotto l'azione delle ruote gommate degli autoveicoli in transito.

In presenza di superfici umide e/o con umidità relativa superiore al 70%, a discrezione della Direzione Lavori e/o per motivi di sicurezza del traffico, l'applicazione della segnaletica deve essere preceduta da una fase d'asciugatura della pavimentazione (termoriscaldamento) al fine di garantire una perfetta adesione del prodotto.

Prefabbricato conformabile (laminato elastoplastico)

La completa essiccazione del primer, al fine di facilitare l'adesione del prodotto alla pavimentazione, deve avvenire entro 15 minuti dall'applicazione.

Dopo la rullatura i laminati devono essere trafficabili.

Prefabbricati conformabili (laminato elastoplastico)

La striscia laminata deve essere costituita da laminati elastoplastici, autoadesivi costituiti da polimeri d'alta qualità, contenenti microgranuli di materiale speciale ad alto potere antisdrucchiolo, di pigmenti stabili nel tempo e con microsferi di vetro o di ceramica con ottime caratteristiche di rifrazione ed ad elevata resistenza all'usura.

Devono essere inoltre impermeabili, idrorepellenti, antiderapanti, resistenti alle soluzioni saline, alle escursioni termiche, all'abrasione e non deve scolorire al sole.

I laminati devono essere facilmente applicabili su qualunque tipo di superficie: manto bituminoso, manto bituminoso drenante, manto in conglomerato cementizio

La scelta del laminato, tipo C2 o C3, incassato su pavimentazione nuova o applicato su pavimentazioni esistenti, deve essere effettuata in base alla vita funzionale prevista del manto bituminoso. Potranno essere posti in opera mediante i procedimenti seguenti:

- incassandoli in pavimentazioni nuove ad addensamento non ancora completamente ultimato e con temperatura compresa tra i 50° e i 70°.
- potrà essere effettuato, se ordinato dalla Direzione Lavori, anche su pavimentazioni realizzate già da tempo, riscaldando la superficie d'incasso con idonea attrezzatura munita di lampade a raggi infrarossi in grado di riscaldare il supporto alle temperature sopra indicate.

(L'incasso in entrambi i modi deve essere realizzato con l'impiego di un rullo costipatore, a ruote metalliche, d'adeguato peso e dimensioni accettato dalla Direzione Lavori).

- su pavimentazioni esistenti, preventivamente pulite, utilizzando del primer per facilitarne l'adesione. Prima di applicare il laminato il primer deve essere completamente essiccato. Dopo l'applicazione deve essere pressato con l'impiego di un rullo costipatore, a ruote metalliche, d'adeguato peso e dimensioni accettato dalla Direzione Lavori.

L'applicazione dei laminati deve avvenire con l'impiego d'idonea attrezzatura, approvata dalla Direzione Lavori, automatica e semovente dotata di puntatore regolabile, rulli di trascinamento del laminato e lame da taglio comandate automaticamente.

Le frecce, le lettere e le zebraature saranno posate manualmente e successivamente sottoposte a rullatura.

36.4.1.5. Controlli standard prestazionali dei materiali

I controlli previsti degli standard prestazionali dei materiali, devono essere effettuati al fine di verificare il mantenimento dei valori richiesti per tutta la vita funzionale.

Tali verifiche saranno effettuate tutte le volte che la Committente lo riterrà opportuno.

Queste devono avvenire in contraddittorio con l'Appaltatore, qualora questo non si presenti, l'avvenuto prelievo o verifica sarà comunicata dal Direttore dei Lavori all'Appaltatore stesso successivamente con espressa scrittura che indichi i termini di riferimento del luogo in cui è stata effettuata la prova.

Le prove a cui saranno sottoposti i prodotti saranno eseguite in cantiere con strumentazioni portatili in sito ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori e riguarderanno:

- Colore
- Retroriflessione
- Resistenza al derapaggio

I controlli delle coordinate cromatiche verranno eseguiti, come previsto dall'allegato C della UNI EN1436:2004, con uno strumento dotato di una sorgente luminosa avente una distribuzione spettrale del tipo D65, come definito dalla norma ISO/CIE 10526.

La configurazione geometrica di misura da impiegare deve essere la 45/0, con un angolo di illuminazione di $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ e un angolo di osservazione di $0^{\circ} \pm 10^{\circ}$.

Gli angoli si intendono misurati rispetto alla normale alla superficie della segnaletica.

La superficie minima misurata deve essere di 5 cm².

Per delle superfici molto rugose, la superficie di misurazione deve essere superiore a 5 cm², ad esempio 25 cm².

Il valore delle coordinate tricromatiche deve essere determinato, in funzione della tipologia della segnaletica e più precisamente:

a) linee longitudinali

deve risultare dalla media di tre sondaggi eseguiti nel tratto scelto per il controllo; in ogni sondaggio devono essere effettuate minimo tre letture dei valori delle coordinate cromatiche.

b) simboli

per ogni simbolo, il valore delle coordinate tricromatiche, sarà dato dalla media di cinque letture.

c) lettere

per ogni lettera, il valore delle coordinate tricromatiche, sarà dato dalla media di tre letture.

d) linee trasversali

per ogni striscia trasversale, il valore delle coordinate tricromatiche, sarà dato dalla media di cinque letture.

I controlli dei valori di retroriflessione verranno eseguiti con apparecchi che utilizzino la geometria stabilita dalla UNI EN1436:2004 allegato B, con le seguenti principali caratteristiche:

- angolo di osservazione $\alpha = 2.29^{\circ}$
- altezza osservatore rispetto al piano stradale 1,2 m
- altezza proiettori rispetto dal piano stradale 0,65 m
- superficie minima di misurazione 50 cm²;
- angolo di illuminazione $\epsilon = 1.24^{\circ}$
- distanza visiva simulata 30 m;
- illuminante A analoga a quella definita dalla ISO/CIE 10526;

Il valore di retroriflessione deve essere determinato, in funzione della tipologia della segnaletica e delle condizioni della superficie stradale come previsto nella UNI EN 1436 allegato B e più precisamente:

a) linee longitudinali

deve risultare dalla media di tre sondaggi eseguiti nel tratto scelto per il controllo (tratto riferito ai rapportini giornalieri e/o ordinativi di lavoro).

In ogni sondaggio devono essere effettuate minimo dieci letture dei valori di retroriflessione.

b) simboli

per ogni simbolo, il valore di retroriflessione, sarà dato dalla media di dieci letture.

c) lettere

per ogni lettera, il valore di retroriflessione, sarà dato dalla media di tre letture.

d) strisce trasversali

per ogni striscia trasversale, il valore di retroriflessione, sarà dato dalla media di dieci letture.

I controlli dei valori di resistenza al derapaggio verranno eseguiti con l'apparecchio "Skid Resistance Tester ", come previsto nella UNI EN 1436:2004 allegato D, consistente in un pendolo oscillante accoppiato ad un cursore di gomma nella sua estremità libera.

Lo strumento in oggetto rileva la perdita di energia del pendolo, causata dalla frizione del cursore in gomma su una data area del segnale orizzontale, con risultato espresso in unità SRT.

Il valore di resistenza al derapaggio sarà dato dalla media di cinque letture eseguite in ogni singolo punto scelto, nel tratto riferito ai rapportini giornalieri, se i valori rilevati non differiscono di più di tre unità; altrimenti devono essere effettuate misure successive finché si otterranno cinque valori che non differiscono di più di tre unità.

36.4.1.6. Esecuzione dei lavori

La posa del materiale dipende dal tipo di prodotto da applicare al quale è associato una specifica attrezzatura. Per il controllo qualità dell'applicazione dei prodotti si deve fare riferimento alla UNI 11154:2006.

Le superfici interessate dalla segnaletica orizzontale devono essere accuratamente pulite in modo da essere liberate da ogni impurità in grado di nuocere all'adesione dei materiali impiegati. E' vietata l'eliminazione di tracce di olio o grasso a mezzo di solventi.

L'applicazione dei materiali deve avvenire su superfici asciutte e deve essere effettuata, con mezzi meccanici idonei cercando inoltre di ridurre al minimo l'ingombro della carreggiata e quindi le limitazioni da imporre alla circolazione.

La posa in opera dei materiali per segnaletica orizzontale deve essere eseguita secondo i tracciati, le figure e le scritte preesistenti o stabiliti negli elaborati progettuali.

Comunque l'Appaltatore è tenuto a propria cura e spese, ad effettuare la rimozione ed il rifacimento della segnaletica giudicata non regolarmente eseguita anche per quanto concerne la sua geometria (dimensioni, intervalli, allineamenti ecc.).

I materiali dovranno avere un potere coprente uniforme e tale da non far trasparire, in nessun caso, il colore della sottostante pavimentazione.

36.4.1.7. Penali

Qualora i risultati delle certificazioni relativi sia alla qualità che alla posa in opera dei materiali, ottenuti dalle prove predisposte, non fossero rispondenti a quanto prescritto dal presente Capitolato Speciale dovranno essere applicati i seguenti provvedimenti:

a) certificazione di qualità

I materiali non conformi a quanto richiesto nelle presenti Norme, non saranno accettati.

b) prodotti non approvati

l'uso di prodotti non approvati dalla Committente comporterà il non pagamento dei lavori eseguiti.

c) vita utile della segnaletica orizzontale

durante il periodo della vita utile della segnaletica orizzontale, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, a tutti i ripristini e rifacimenti che si dovessero rendere necessari a causa della carenza, anche di una sola, delle caratteristiche prestazionali richieste, come indicato nelle presenti Norme.

37. Sistemi antirumore

37.1. Prequalifica del sistema antirumore

I sistemi antirumore devono essere caratterizzati sia in termini di proprietà prettamente acustiche, descritte da alcune prestazioni funzionali (caratteristiche acustiche), sia in termini di proprietà meccaniche, di sicurezza, di compatibilità ambientale, ecc. (caratteristiche non acustiche).

L'insieme di queste caratteristiche, acustiche e non acustiche, deve essere opportunamente certificato, secondo le metodologie e le norme di riferimento di seguito esplicitate.

I sistemi antirumore stradali sono regolamentati dal CPR e dalla norma armonizzata UNI EN 14388:2005 + EC1-2011 "Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Specifiche". Fondamento della norma è il principio in base al quale i prodotti impiegati devono essere dotati di caratteristiche idonee a garantirne la conformità ai seguenti requisiti essenziali:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di incendio;
- igiene salute e ambiente;
- sicurezza di utilizzazione;
- protezione contro il rumore;
- risparmio energetico e isolamento termico.

Le norme armonizzate europee riguardano le caratteristiche intrinseche dei prodotti utilizzati e costituiscono il riferimento per il rilascio del marchio CE.

Pertanto, il "sistema barriera antirumore", costituito da diversi elementi (pannelli, montanti, guarnizioni, etc.), deve possedere i requisiti funzionali minimi dettagliati dalla norma armonizzata ed essere commercializzato come sistema omogeneo riportante la marcatura CE.

Seguendo lo spirito che è alla base delle norme armonizzate, la marcatura CE si intende applicata al sistema barriera antirumore e non al singolo componente; inoltre la marcatura CE garantisce la conformità di un certo numero di prestazioni "minime" e non è quindi esaustiva di altre funzionalità o requisiti dettagliati dal presente Capitolato Speciale al fine di tener conto di particolari situazioni di installazione dei prodotti.

Peraltro i suoi componenti in carpenteria metallica devono a loro volta rispondere alla norma armonizzata UNI EN 1090-1:2012 "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali", con la relativa marcatura CE.

La marcatura CE si riferisce pertanto ad un insieme di caratteristiche prestazionali che attestano la prequalifica del sistema antirumore.

L'attestato di marcatura e relativi certificati di prova rilasciati da laboratorio accreditato devono essere esibiti in fase di approvazione degli elaborati di officina, in ogni caso prima dell'inizio delle attività di cantiere.

La marcatura CE non esime comunque il fornitore dal presentare:

- certificati relativi a prove integrative alla prequalifica eventualmente richieste dal progettista;
- certificati di conformità di prodotti e materiali richiesti dalla Direzione Lavori in base alle caratteristiche prescrittive (vedi più avanti);
- certificati di collaudo e verifiche di durabilità richieste dalla Direzione Lavori in base alle indicazioni progettuali.

Nei paragrafi seguenti sono trattate separatamente le singole caratteristiche prestazionali, indicando per ognuna le grandezze da verificare, corredate delle norme di riferimento secondo cui le prove devono essere eseguite.

In alcuni casi le norme di riferimento forniscono i valori minimi di accettazione e/o i criteri per la ripartizione in classi dei risultati ottenuti.

37.1.1. Requisiti acustici. Modalità di esecuzione delle prove e classificazione dei sistemi

I requisiti acustici che i sistemi antirumore devono possedere all'atto della prequalifica si riferiscono alle cosiddette caratteristiche intrinseche.

Questa categoria comprende le caratteristiche proprie del prodotto antirumore, indipendentemente dall'ambiente in cui esso sarà installato e dall'effetto finale di riduzione del rumore; sono tali le proprietà di assorbimento o riflessione del suono (vedere UNI EN 1793-1 - prova di laboratorio e UNI CEN/TS 1793-5 - prova in campo aperto), le proprietà di isolamento acustico per via aerea (vedere UNI EN 1793-2 - prova di laboratorio e UNI CEN/TS 1793-5 – prova in campo aperto) e, per le barriere con dispositivi aggiunti, le modalità di diffrazione al bordo superiore (vedere UNI CEN/TS 1793-4 – prova in campo aperto).

I valori minimi indicati dalla norma tecnica non escludono specifiche richieste effettuate dal progettista in relazione alle peculiarità dei singoli progetti. In questi casi i sistemi antirumore, all'atto della prequalifica, dovranno soddisfare i requisiti minimi di Progetto.

Le prove in campo aperto sopracitate possono essere ripetute sulla barriera installata, su richiesta della Direzione Lavori, per valutare la corretta installazione (collaudo) o per valutare nel tempo il mantenimento delle caratteristiche iniziali (controlli previsti dal piano di manutenzione).

A fini di collaudo i rilievi devono essere eseguiti in ragione di almeno un punto individuato dalla Direzione Lavori, per 2.000 metri lineari di barriera. Rispetto ai valori nominali di prequalificazione è ammessa una tolleranza in difetto pari al 10% per quanto riguarda l'indice di riflessione, DL_{Ri} , in ciascuna banda di 1/3 ottava, e a 2 dB per quanto riguarda il fonoisolamento, espresso come DL_{Si} .

Se previsto dal piano di manutenzione, le stesse procedure possono essere utilizzate per verificare la durabilità dei materiali impiegati, con riferimento all'invecchiamento (condizioni meteorologiche, effetti chimico-fisici).

I rilievi devono essere eseguiti negli stessi punti su cui sono state effettuate le prove di collaudo in sito, a distanza di cinque anni dalla data di ultimazione dell'intervento. Rispetto ai valori nominali di pre-qualificazione è ammessa una tolleranza in difetto pari al 20% per quanto riguarda l'indice di riflessione, DL_{Ri} , in ciascuna banda di 1/3 ottava, ed a 3 dB per quanto riguarda il fonoisolamento, espresso come DL_{Si} .

37.1.1.1. Assorbimento acustico

Per assorbimento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora riflessa dal sistema antirumore.

Le caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico, ovvero di riflessione del suono, sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-1; viene misurato il coefficiente di assorbimento acustico α_s ;
- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI CEN/TS 1793-5; viene misurato il reflection index, RI.

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- DL_{α} per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI EN 1793-1;
- DL_{Ri} per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI CEN/TS 1793-5.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3 e raggruppato per classi così come definite dalla norma UNI EN 1793-1.

Tale classificazione consente di definire un range di prestazioni del sistema antirumore come esplicitato qui di seguito:

Indice DL_{α} (dB)	Categoria
Non determinato	A0
< 4	A1
Da 4 a 7	A2
Da 8 a 11	A3
> 11	A4

La categoria A0 è da intendersi riferita a sistemi antirumore per i quali la valutazione della caratteristica di fonoassorbimento non è rilevante.

37.1.1.2. Isolamento acustico

Per isolamento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora trasmessa dal sistema antirumore.

Le caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-2; viene misurato il potere fonoisolante, R ;
- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI CEN/TS 1793-5; viene misurato il sound insulation index, S_i .

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- $DL_{R,i}$, per prodotti provati in accordo alla UNI EN 1793-2;
- DL_{S_i} , per prodotti provati in accordo alla UNI CEN/TS 1793-5.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3 e raggruppato per classi così come definite dalla norma UNI EN 1793-2.

Tale classificazione consente di definire un range di prestazioni del sistema antirumore come esplicitato qui di seguito:

Indice DLR (dB)	Categoria
Non determinato	B0
< 15	B1
Da 15 A 24	B2
> 24	B3

La categoria B0 è da intendersi riferita a sistemi antirumore per i quali la valutazione della caratteristica di fonoisolamento non è rilevante.

37.1.1.3. Diffrazione del bordo superiore

Al fine di influenzare l'efficacia acustica del sistema antirumore agendo primariamente sull'energia diffratta, vengono in casi specifici previsti dispositivi aggiunti, installati generalmente sul profilo superiore.

Le caratteristiche intrinseche di prestazione acustica associate a tali dispositivi sono determinate in un campo sonoro direttivo in ambiente esterno, in conformità alla UNI CEN/TS 1793-4; viene misurata la grandezza diffraction index difference, ΔDI .

Ai fini della prequalifica, la misurazione viene eseguita con il dispositivo aggiunto a:

- un muro di riferimento acusticamente riflettente, ottenendo la ΔDI_{refl} ;
- un muro di riferimento acusticamente assorbente, ottenendo la ΔDI_{abs} .

Ai fini della verifica in situ di un dispositivo aggiunto ad un sistema antirumore installato, la misurazione viene eseguita con il dispositivo aggiunto al sistema antirumore così come installato in opera, ottenendo la ΔDI_{situ} .

La UNI CEN/TS 1793-4 richiede di esprimere i risultati in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz.

Le prestazioni misurate in funzione della frequenza sono sintetizzate dall'indice di valutazione, che viene indicato come:

- $DL_{\Delta Di,refl}$, per prodotti provati in accordo alla UNI CEN/TS 1793-4 su di un muro di riferimento acusticamente riflettente;
- $DL_{\Delta Di,abs}$, per prodotti provati in accordo alla UNI CEN/TS 1793-4 su di un muro di riferimento acusticamente assorbente;
- $DL_{\Delta Di,situ}$, per prodotti provati in accordo alla UNI CEN/TS 1793-4 su di un sistema antirumore così come installato in opera.

Per ottenere gli indici di valutazione deve essere impiegato lo spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3, nel caso di infrastrutture stradali.

37.1.2. Requisiti strutturali

37.1.2.1. Premessa

I sistemi antirumore collocati in margine alle infrastrutture stradali sono sottoposti alle azioni meccaniche conseguenti al carico del vento e della neve, alla spinta aerodinamica dei mezzi in transito ed al peso proprio. Occasionalmente possono essere interessati da impatto di pietrisco e sottoposti al carico addizionale della neve espulsa dai mezzi di sgombero.

La norma di riferimento relativa alle caratteristiche strutturali dei sistemi antirumore è la UNI EN 1794-1. Si deve inoltre tenere conto dei criteri generali per la progettazione strutturale, riportati nelle Norme UNI EN dal numero 1990 al 1999 (Eurocodici) e ai relativi Documenti Nazionali di riferimento.

I sistemi antirumore dovranno essere posti in opera a una distanza sufficiente dalle barriere di sicurezza, tale da garantire il funzionamento indipendente dei due sistemi. Qualora il Progetto preveda l'utilizzo di sistemi combinati di sicurezza ed antirumore, questi, oltre alle verifiche di conformità previste per le barriere antirumore, dovranno rispondere anche alla normativa vigente in materia di barriere di sicurezza stradale (D.M.21/6/2004 e norma armonizzata UNI EN 1317-5 e altre norme della serie 1317 ad essa correlate).

37.1.2.2. Requisiti meccanici

La norma UNI EN 1794-1 specifica i requisiti meccanici dei sistemi per la riduzione del rumore; tali sistemi sono soggetti alle tipologie di carico seguenti, come definite dalla stessa norma:

- carichi indotti dal vento (Appendice A);
- pressione dinamica dovuta al passaggio dei veicoli (Appendice A);
- neve (barriere non verticali - Appendice A);
- peso proprio (Appendice B);
- impatto di pietre (Appendice C);
- carichi indotti dalla rimozione della neve (Appendice E)

In particolare, anche nel caso in cui la barriera antirumore sia collocata su un ponte stradale, l'azione del vento da considerare per le verifiche di stabilità del sistema è ricavata dal documento ENV 1991-2-4 (Eurocodice 1: Basi di calcolo ed azioni sulle strutture – Parte 2-4: Azioni sulle strutture – Azioni del vento) e dal relativo Documento Nazionale di riferimento.

Le combinazioni, la contemporaneità e i fattori di combinazione dei carichi elementari elencati sono definiti nelle Appendici A e B della UNI EN 1794-1

La conformità di un sistema antirumore ai requisiti meccanici richiesti deve essere dimostrata da una relazione di calcolo, firmata da un professionista abilitato che se ne assume la piena responsabilità, quando tutti i fattori concorrenti, incluse le tipologie di vincolo, siano determinabili con affidabilità. Il resoconto di calcolo deve includere tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.

37.1.2.3. Prove

La verifica della conformità del sistema antirumore ai requisiti richiesti può essere ottenuta mediante prove, da condurre in accordo alla UNI EN 1794-1. E' richiesta la prova sperimentale in presenza di elementi acustici compositi (esempio lastra trasparente con cornice) e, in generale, quando alcuni fattori, come le caratteristiche di resistenza del prodotto, le tipologie di vincolo, etc., non possano essere determinati con piena affidabilità.

Qualora in Progetto si preveda che, a causa della vicinanza della barriera alla corsia di marcia e della presenza di notevoli volumi di traffico, la barriera antirumore sia soggetta a fenomeni di fatica, occorre effettuare, oltre alla verifica della struttura portante, anche una verifica sperimentale del comportamento dei moduli acustici (pannelli o lastre trasparenti con relative cornici). Tale prova dovrà essere eseguita secondo procedure e modalità di carico concordate con il progettista, in funzione delle caratteristiche specifiche dell'opera da eseguire.

Il resoconto di prova deve includere una descrizione completa delle condizioni di prova, inclusi i dettagli dei supporti, delle procedure seguite e del carico degli elementi; deve inoltre fornire tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.

37.1.3. Requisiti di sicurezza nell'esercizio e compatibilità ambientale dei materiali impiegati.

Per quanto riguarda la sicurezza nell'esercizio, la normativa europea tratta i seguenti aspetti:

- comportamento degli elementi in presenza di fuoco;
- pericolo di caduta di parti di barriera in seguito a violenti urti;
- uscite di sicurezza;
- riflessione della luce e trasparenza

Per quanto riguarda la compatibilità ambientale dei materiali impiegati valgono le normative e prescrizioni tecniche sulle proprietà intrinseche dei materiali utilizzati: atossicità, riciclabilità, smaltimento. La compatibilità dei sistemi antirumore alle specifiche inerenti i temi sopraelencati viene valutata con riferimento alla norma tecnica UNI EN 1794-2.

37.1.3.1. Sistemi anticaduta e Pericolo di caduta di frammenti

Frammenti di barriera, derivanti da rotture a seguito di impatti violenti, non devono costituire elementi di pericolo per gli occupanti dei veicoli o per altre persone poste in vicinanza della barriera.

Per i materiali fragili (esempio lastre trasparenti) è previsto l'impiego di lastre rinforzate (esempio lastre in PMMA con armatura interna realizzata con fili in poliammide) o di sistemi di ritenuta dei frammenti (esempio rete di sicurezza installata a tergo della barriera).

Inoltre è importante che a seguito di urti violenti i pannelli, pur rimanendo integri, non cadano creando pericoli per persone sottostanti, sia dal lato strada che dal lato ricettori. Per questo tipo di prodotti si ricorre in genere a sistemi di cavi di sicurezza che assicurano il pannello alla struttura portante della barriera.

In generale quindi, nel caso di barriere posizionate su opere d'arte sovrastanti altre infrastrutture di trasporto o abitazioni, come anche nel caso di barriere poste nelle immediate vicinanze di abitazioni o di aree in cui è probabile lo svolgimento di attività umane, vengono definiti criteri di accettabilità e test da eseguire, secondo quanto riportato nell'allegato B della norma tecnica UNI EN 1794 – 2.

37.1.3.2. Comportamento in presenza di fuoco

I sistemi antirumore possono essere esposti a fiamme provenienti dalla vegetazione secca o da altro materiale in stretta vicinanza.

Fiamme di maggiore intensità possono levarsi come risultato di incidenti. Particolarmente critico in caso d'incendio risulta il comportamento dei rivestimenti utilizzati per le gallerie o delle coperture parziali della sede viaria.

La conformità di un sistema antirumore per infrastrutture di trasporto ai requisiti di resistenza all'incendio della macchina deve essere dimostrata da una prova sperimentale, conforme alla UNI EN 1794-2, appendice A.

Il campione sottoposto a prova deve avere la medesima composizione del sistema antirumore per infrastrutture di trasporto che verrà effettivamente installato; se, per esempio, si vuole caratterizzare la resistenza al fuoco di un si-

stema antirumore composto da pannelli di materiali differenti, posti a diverse altezze dal suolo, il campione in prova deve essere costituito da pannelli dello stesso tipo e con la stessa posizione relativa.

Poiché la prova specificata nella UNI EN 1794-2, appendice A, non sottopone alle medesime condizioni tutti i materiali di cui può essere composto un sistema antirumore (per esempio, in un sistema antirumore composto da pannelli di due materiali differenti, con cambiamento della tipologia a partire da 2 m dal suolo, i pannelli posti ad altezza maggiore non sono esposti alla fiamma di prova come quelli vicini al suolo) e poiché comunque tale prova non contempla aspetti quali la classe di reazione al fuoco dei singoli materiali componenti, la tossicità dei fumi sprigionati in presenza di combustione, ecc. essa deve essere intesa solo come un'attestazione convenzionale di alcune caratteristiche di prodotto.

Al fine di assicurare requisiti minimi di sicurezza in presenza di un elevato carico d'incendio, il presente Capitolato Speciale d'Appalto raccomanda l'applicazione dei seguenti criteri:

- mantenere una distanza minima di 8 m tra i sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto contenenti materiali non combustibili ed i più vicini siti con presenza di persone e/o di materiali infiammabili; per distanze inferiori, i sistemi antirumore devono essere totalmente costruiti con materiali incombustibili;
- per la sicurezza al fuoco dei rivestimenti di gallerie o per coperture parziali di infrastrutture di trasporto occorre valutare il carico d'incendio e la temperatura massima raggiungibile in accordo con le autorità competenti; nei casi suddetti non utilizzare la prova specificata in UNI EN 1794-2 app.A;
- al fine di evitare la propagazione della combustione lungo sistemi antirumore costruiti con materiali non combustibili, tali sistemi devono includere almeno ogni 150 m un tratto di lunghezza pari almeno a 6 m costruito con materiali incombustibili;
- su entrambi i lati di ogni via di fuga e/o accesso d'emergenza i sistemi antirumore devono comprendere un tratto di almeno 3 m di lunghezza costruito con materiali incombustibili;
- i materiali, combustibili e non combustibili, utilizzati nella realizzazione dei sistemi antirumore non devono sviluppare in caso di incendio fumi densi e/o tossici né provocare la caduta di materiale infiammato o produrre gocce o fili incandescenti che possano essere trasportati dal vento.

A supporto delle scelte tecniche di cui sopra, tutti i prodotti e/o componenti del sistema antirumore riguardo alla reazione al fuoco, devono essere testati e classificati in conformità alla UNI EN 13501-1.

37.1.3.3. Riflessione della luce

Per angoli di incidenza specifici, la luce solare o quella dei corpi illuminanti dei veicoli riflettendosi sui sistemi antirumore, può produrre effetti di abbagliamento per gli utenti dell'infrastruttura, pregiudicando la sicurezza stradale.

L'effetto dipende da parametri intrinseci dei prodotti da caratteristiche estrinseche dei siti di installazione.

Le norme tecniche non fissano pertanto un valore limite di riflessività. E' tuttavia richiesto che i prodotti siano testati così da poter disporre dei valori di riflessività determinati in condizioni normalizzate.

Per i sistemi antirumore per impieghi stradali o comunque in prossimità di strade i valori di riflessività sono misurati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice E.

37.1.3.4. Trasparenza statica e dinamica

Per le barriere si considerano due aspetti della trasparenza:

- trasparenza statica per le persone che vivono oltre la barriera
- trasparenza dinamica per gli utenti dell'infrastruttura stradale.

La trasparenza statica è importante per ragioni estetiche; quella dinamica viene valutata al fine di migliorare la visibilità e l'orientamento degli utenti della strada (ad esempio in corrispondenza di incroci e corsie di accesso), contribuendo alla sicurezza.

Tra i requisiti prestazionali richiesti per i sistemi antirumore, devono essere forniti valori di trasparenza statica e dinamica calcolati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice F.

37.1.3.5. Vie di fuga in caso di emergenza

Gli accessi per la manutenzione delle barriere e dei margini della strada, per i servizi di emergenza in soccorso ad un incidente e come via di fuga devono essere conformi a quanto prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice D.

Sono in genere previste porte attrezzate (dispositivi di apertura azionabili dall'esterno con chiavi e dall'interno con maniglioni antipanico) realizzate con gli stessi elementi costituenti la barriera o elementi equivalenti.

Ove necessario, si prevederanno scale realizzate secondo le norme di sicurezza vigenti, o altri provvedimenti qualora le uscite si trovino in condizioni avverse.

In mancanza di un'indicazione precisa relativamente alla distanza minima tra le vie di fuga, si assume come riferimento la norma sui collegamenti pedonali previsti nelle gallerie a doppio fornice (ogni 300 metri), secondo il D.M. 05.11.01, capitolo 4.1.2, salvo specifiche indicazioni progettuali più restrittive.

37.1.3.6. Compatibilità ambientale

Relativamente ai requisiti di protezione ambientale deve essere rilasciata una dichiarazione dal fornitore del sistema antirumore, per la quale è possibile eventualmente avvalersi delle attestazioni emesse dai produttori dei singoli materiali componenti. Le voci da esplicitare chiaramente e compiutamente sono di seguito riportate:

- elenco dei materiali costituenti il sistema antirumore, utilizzando la nomenclatura chimica ed evitando i nomi commerciali,
- elenco delle sostanze che risultano dalla decomposizione a seguito di esposizione naturale durante l'intera vita di servizio del sistema antirumore,
- elenco delle sostanze che risultano dall'esposizione al fuoco del sistema antirumore,
- elenco delle condizioni chimiche o fisiche che potrebbero determinare il rilascio nell'ambiente di sostanze potenzialmente nocive o tossiche per l'uomo e per l'ambiente,
- elenco dei materiali che possono essere riciclati, indicando in quale misura sono presenti ed eventuali limitazioni d'uso,
- elenco dei materiali riciclati e relativa percentuale,
- elenco dei materiali che devono essere smaltiti secondo particolari procedure, da indicare in dettaglio,
- elenco di eventuali benefici legati al riutilizzo dei materiali costituenti, indicando tutte le limitazioni esistenti alle condizioni di trasformazione.

37.1.4. Requisiti di durabilità e criteri di manutenzione

Il sistema antirumore deve mantenere le prestazioni dichiarate (i requisiti funzionali strutturali ed acustici) per l'intera durata della vita utile.

Per la durabilità delle caratteristiche acustiche si fa riferimento alla prEN 14389-1.

Secondo questa norma è onere del produttore di sistemi antirumore dichiarare la durabilità delle caratteristiche acustiche di ogni tipologia di elemento prodotto.

La durabilità delle caratteristiche acustiche deve essere espressa dalla degradazione delle prestazioni (indice di valutazione di reflection index e sound insulation index), in decibel, in funzione degli anni di installazione della barriera.

Essa può essere stabilita in due modi:

- con soluzioni descrittive basate sull'esperienza pregressa;
- con prove prestazionali secondo la UNI CEN/TS 1793-5.

Relativamente alla durabilità delle caratteristiche non acustiche, con riferimento alla UNI EN 14389-2 che fornisce un'indicazione non vincolante, la durata della vita di servizio è posta pari a:

- 15 anni per gli elementi acustici;
- 30 per gli elementi strutturali.

Il produttore deve presentare per ogni tipologia di elemento acustico e strutturale una attestazione (sotto forma di certificato emesso da un laboratorio prove) sulla durata della vita di servizio prevista, con la classificazione delle condizioni ambientali utilizzate per la valutazione, la specificazione delle procedure progettuali usate e le eventuali prove sperimentali.

A lavori ultimati deve essere predisposto un piano di manutenzione che specifichi tipologia e frequenza dei controlli da effettuare oltre gli interventi di pulizia ordinaria, rimozione dei graffi ed in genere, lavori dovuti a cause accidentali.

Indicazioni sui requisiti di durabilità e manutenibilità delle opere in relazione ai diversi materiali impiegati sono contenute nel capitolo successivo, relativo ai requisiti prescrittivi dei prodotti impiegati.

37.2. Caratteristiche dei pannelli e dei materiali costituenti le barriere

37.2.1. Generalità

I componenti di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto possono essere realizzati con materiali e tecnologie costruttive di varia natura, che devono tuttavia garantire i requisiti prestazionali enunciati nel capitolo precedente.

Il presente capitolo, per le tipologie di prodotto finito comunemente utilizzate, specifica le caratteristiche fisiche e chimiche rilevanti dei materiali costituenti e definisce i rispettivi valori di riferimento affinché il sistema antirumore mantenga le prestazioni dichiarate per l'intera durata della vita di servizio.

Viene inoltre elencata la documentazione ed i principali controlli che l'Appaltatore dei lavori è tenuto a consegnare a corredo dei materiali forniti a garanzia della conformità del prodotto al campione oggetto di prove di prequalifica.

Vengono trattati in sequenza i moduli acustici delle principali famiglie di materiali. Seguono gli elementi strutturali, le guarnizioni ed i sigillanti, gli accessori metallici e le porte di servizio.

Separatamente vengono trattati i sistemi antirumore per i quali non è sempre possibile distinguere tra elementi acustici ed elementi strutturali (terrapieni naturali ed in terra rinforzata, biomuri, barriere inverdibili a basso ingombro trasversale).

Sono ammessi sistemi con montanti infissi direttamente nel terreno, mediante apposite apparecchiature. In tali casi è necessario che il vincolo costituito dal terreno sia sufficiente a garantire le prestazioni statiche del sistema.

37.2.2. Pannelli metallici

Si tratta di elementi acustici costituiti da uno o più gusci in lamiera metallica con eventuali nervature di irrigidimento, in genere preassemblati fino a costituire un pannello scatolato.

Il guscio metallico può essere realizzato in lega di alluminio, in acciaio o in altro metallo, adeguatamente protetto contro la corrosione

Al suo interno è inserita una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.

37.2.2.1. Caratteristiche del guscio in alluminio

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche minime raccomandate per il guscio in alluminio unitamente al metodo di verifica a cui il materiale deve essere sottoposto.

Lo stato fisico dell'alluminio, indipendentemente dal tipo di lega, deve essere tale da permettere la formabilità a freddo senza che siano compromesse le caratteristiche meccaniche (per esempio a causa della formazione di cricche).

Nella realizzazione di giunzioni metalliche occorre evitare il problema della corrosione per contatto bimetallico.

E' raccomandato l'impiego di lamiere bocciardate che consentono di mascherare eventuali piccoli danni arrecati al prodotto durante il montaggio o nella sua vita operativa.

La lega di alluminio non deve essere stabilmente in contatto con materiale di diverso potenziale elettrico al fine di prevenire fenomeni di corrosione per effetto galvanico

Al fine di assicurare lo smorzamento meccanico del materiale ed incrementare le proprietà fonoisolanti del pannello è possibile applicare sulla lamiera non forata una guaina smorzante avente massa areica non inferiore a 5 kg/mq. Di questa guaina occorre controllarne le modalità applicative per garantire la completa adesione alla superficie metallica. Il materiale costituente, in genere di tipo elastomerico, deve assicurare il mantenimento delle caratteristiche elastiche nel range di temperature di impiego dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei gusci metallici dei pannelli scatolati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Percentuale di foratura della lamiera (lato sorgente)	---	$30\% \leq p_f \leq 40\%$
Lega di alluminio – tipologia	UNI EN 573-1	Lega Al-Mg-Mn del gruppo 3xxx
Lega di alluminio – spessore minimo	---	1,2 mm

Il film di vernice deve inoltre rispondere alle caratteristiche riportate in tabella. Al fine di garantire l'integrità dello strato protettivo si raccomanda che le operazioni meccaniche di foratura siano effettuate prima dell'esecuzione del trattamento. E' pertanto da escludere l'impiego di coils preverniciati per la realizzazione dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei prodotti verniciati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Valutazione dello spessore del film di vernice	UNI EN ISO 2360	> 60 μm
Determinazione della brillantezza (con luce incidente a 60°)	UNI EN ISO 2813	30 \pm 5 gloss
Valutazione del grado di aderenza	UNI EN ISO 2409	Classe 0 (nessun distacco)
Valutazione della durezza (resistenza all'impronta Buchholz)	UNI EN ISO 2815	>80
Valutazione della resistenza all'urto	UNI EN ISO 6272	Nessun distacco o fessurazione
Prova di resistenza alla corrosione in camera a nebbia salina acetica	UNI ISO 9227	Dopo 1500 h di esposizione l'arruggimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 16 mm ² per un taglio di 100 mm, con un massimo di 4 mm per ogni infiltrazione. Non è ammessa altra alterazione visibile o perdita di aderenza
Prova di resistenza alla corrosione accelerata Kesternich	UNI EN ISO 3231	Nessuna corrosione oltre 1 mm dall'incisione dopo 24 cicli
Determinazione della ritenzione della brillantezza	UNI EN ISO 11341	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza del colore	UNI EN ISO 11341	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza all'umidità	UNI EN ISO 6270-1	Dopo 1000 ore di esposizione, nessuna formazione di bolle e penetrazione < 1 mm
Determinazione della resistenza alla corrosione filiforme	UNI EN ISO 3665	Dopo 1500 ore di esposizione, penetrazione < 2 mm

37.2.2.2. Materiale fonoassorbente

Il materiale fonoassorbente inserito nel guscio metallico è in genere costituito da materassini di materiale fibroso (lane minerali o fibra di poliestere).

Per la fibra in poliestere termolegata deve essere garantita l'assenza di collanti termoindurenti nei materiali costituiti da fibre plastiche. Per aumentare la durabilità ed evitare impregnazioni il Progetto del guscio metallico deve prevedere accorgimenti e soluzioni atte a garantire l'evacuazione dell'acqua. Ad ulteriore garanzia per le lane minerali occorre prevedere una membrana microporosa ed idrorepellente, posizionata sulla superficie del materassino rivolta verso la sorgente del rumore. Il materiale deve risultare imputrescibile, inerte agli agenti atmosferici e non infiammabile. Per le fibre minerali (roccia o vetro) deve essere esclusa la classificazione di sostanza pericolosa in relazione a quanto previsto dalla Direttiva 97/69/CE del 5/12/97.

Per assicurare le proprietà acustiche, di resistenza e di durabilità, i materiali fonoassorbenti fibrosi utilizzati devono soddisfare i requisiti riportati in tabella

Valori raccomandati di alcune proprietà relative ai più diffusi materiali fonoassorbenti fibrosi presenti negli elementi acustici		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore strato	---	> 50 mm
Diametro medio delle fibre	UNI 6484	> 6 µm
Massa volumica apparente	UNI 6485	Lana di roccia: $90 \text{ kg/m}^3 \leq Mva \leq 180 \text{ kg/m}^3$ Lana di vetro $40 \text{ kg/m}^3 \leq Mva \leq 60 \text{ kg/m}^3$ Fibre di poliestere $30 \text{ kg/m}^3 \leq Mva \leq 60 \text{ kg/m}^3$
Grado di igroscopicità	UNI 6543	<0.2% in volume con tempo di prova: 1 giorno
Classe di reazione al fuoco (nel caso di installazione in galleria)	EN 13501-1	Contributo al fuoco: A1 e A2 (non combustibili) Densità dei fumi s1 (assenza di fumi) Gocce incandescenti: d0 (assenza di gocce entro 600s)

Per quanto riguarda le proprietà di resistenza all'acqua, resistenza al calore ed ancoraggio del materiale fonoassorbente, non esistono metodi di prova normalizzati. Nella tabella sono riportati i metodi di prova da seguire per la valutazione delle proprietà testé citate ed i valori di riferimento raccomandati.

Metodi di prova non normalizzati e relativi valori di riferimento		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza all'acqua	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato, completamente immerso in acqua distillata per 24 h a temperatura ambiente.	Al termine della prova non devono essere avvenuti né sfaldamenti né colorazione rispettivamente del provino e dell'acqua.
Resistenza al calore	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato, in una stufa ad 80° C per 24 h poggiandolo su una delle due facce.	Al termine della prova non devono essere avvenute variazioni di lunghezza o larghezza del provino superiori a 5 mm, né variazioni di spessore superiori ad 1 mm.
Ancoraggio del materiale fonoassorbente	L'elemento acustico, o una sua porzione significativa, disposto in posizione verticale, è sottoposto per 24 h a vibrazione, anch'essa verticale, con livello di accelerazione di 123 dB nell'intervallo di frequenza compreso tra 1 e 80 Hz. La vibrazione deve essere trasmessa all'elemento in prova imponendo una scansione a passi di 1 Hz, riproducendo un ciclo completo di	Al termine della prova, il materiale fonoassorbente deve risultare privo di sfaldamenti ed ancora saldamente ancorato alla struttura.

	scansione ogni 12 minuti (9 s per singola frequenza)	
--	--	--

37.2.3. Pannelli in legno

Si tratta di elementi acustici costituiti da una struttura scatolare in legno al cui interno è alloggiata una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.

La struttura scatolare è in genere costituita da travetti portanti in legno a cui è fissato posteriormente un tavolato perlinato ed anteriormente una griglia di contenimento del materassino fonoassorbente formata da listelli di legno.

In alternativa questa griglia anteriore può essere sostituita da lamiera grecata in alluminio a realizzare un sistema misto legno – metallo.

Per le caratteristiche prescritzionali delle parti metalliche si rinvia al paragrafo specifico.

Per le caratteristiche prescritzionali del materassino fonoassorbente si rinvia al paragrafo specifico.

Segue una trattazione specifica delle componenti in legno.

37.2.3.1. Caratteristiche della struttura scatolare in legno

Per il grado di esposizione agli agenti atmosferici, i pannelli devono essere accuratamente lavorati e realizzati con legno di ottima qualità, esente da radici, funghi e muffe. Non sono accettabili elementi danneggiati dagli attacchi da parte di batteri o insetti. Analogamente non sono accettabili elementi che presentino cricche, fessure profonde e nodi non collegati fermamente alla struttura.

Il legno deve resistere al deperimento organico e va trattato con impregnanti speciali per evitare la formazione di funghi. In alternativa è previsto l'impiego di legno di durabilità naturale che non richiede di essere protetto mediante impregnazione in autoclave.

Come sostanza impregnante devono essere utilizzati sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo.

Il legno utilizzato deve provenire da foreste gestite in maniera sostenibile nel rispetto delle norme ambientali di corretta politica forestale.

Metodi di prova, valori raccomandati e altri requisiti di alcune proprietà degli elementi acustici in legno		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Legno lamellare – classe di resistenza	DIN 4074, DIN 1052	Classe II
Classe di impregnazione	UNI EN 350-1	Classe 1 o 2
Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante	UNI EN 351-1	Conforme il legno impregnato deve essere stato trattato con sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo, in autoclave in pressione
Durabilità del legno	UNI EN 350-1	Certificata
Classe della specie legnosa per il legno di pino	UNI EN 350-2	Certificata
Caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni	UNI 11160, punto 8.2.3	Conforme

Le caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni, devono essere le seguenti:

- telaio scatolare in legni di massello con sezione di 100 mm x 80 mm, bloccati fra loro da incastri angolari;
- telaio attrezzato sui lati della lunghezza con una fresatura esterna per la sede dei regoli in legno, aventi lo scopo di congiungere ermeticamente la sovrapposizione dei pannelli;
- tavolato finale di tamponamento composto da assiti trattati, di spessore minimo 20 mm, fissato sia in lunghezza che in altezza almeno in almeno tre punti con viti in acciaio inossidabile;
- tessuto antispolvero in rete di polietilene con tramatura rinforzata, resistente ai raggi UVA, da posizionare anteriormente a protezione del materassino fonoassorbente;

I listelli in legno, che possono essere una variante ai modelli dei pannelli, devono essere trattati in autoclave, avere sezione minima di 50 mm x 25 mm, essere opportunamente lavorati e sagomati, fissati con viti in acciaio inossidabile alle estremità, in fori predisposti, lasciando la parte legnosa di 20 mm - 30 mm.

Deve essere presente una scossalina in lamierino di acciaio verniciato a caldo a protezione dei pannelli. Tutta la parte metallica necessaria all'assemblaggio del pannello, deve essere in acciaio inossidabile.

37.2.4. Pannelli trasparenti

L'impiego di lastre trasparenti nelle barriere antirumore è dovuto ad esigenze di tipo architettonico o inserimento paesaggistico, di visibilità e, in casi specifici, di sicurezza dell'esercizio (garanzia di visuale su corsie di immissione o segnaletica).

Queste lastre non hanno proprietà fonoassorbenti intrinseche. Devono comunque garantire i valori di fonoisolamento minimi richiesti a Progetto.

I materiali trasparenti comunemente impiegati sono il polimetilmetacrilato, il policarbonato ed il vetro stratificato. Il modulo pannello è realizzato con idonee guarnizioni ed una cornice strutturale portante realizzata in acciaio, alluminio o legno.

Nei paragrafi seguenti sono trattati specificatamente le singole tipologie di materiale trasparente e relativi accessori (guarnizioni / bulloneria).

Per le caratteristiche della cornice strutturale portante si rimanda al paragrafo 37.2.7 se di acciaio ed al paragrafo 37.2.3.1 se di legno.

37.2.4.1. Pannelli trasparenti con lastre in polimetilmetacrilato (PMMA)

Le lastre di polimetilmetacrilato (PMMA) possono essere di tipo colato conforme alla UNI EN ISO 7823-1 o estruso conforme alla UNI EN ISO 7823-2.

In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	ISO 1183-1	$\geq 1\,190 \text{ kg/m}^3$
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1 (24h, 23°C) le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	$\leq 0,5 \%$
Resistenza a flessione	UNI EN ISO 178	$\geq 100 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione	UNI ISO 527-2/1B/50	$\geq 65 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	$\geq 60 \text{ MPa}$
Modulo elastico a flessione	UNI EN ISO 178	$\geq 3\,000 \text{ MPa}$
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/1	$\geq 3\,000 \text{ MPa}$

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/1	$\geq 2\ 800\ \text{MPa}$
Resistenza all'urto Izod con intaglio	UNI EN ISO 180-4	$\geq 1,5\ \text{kJ/m}^2$
Resistenza all'urto Charpy senza intaglio	UNI EN ISO 179-1/1fU	$\geq 10\ \text{kJ/m}^2$
Temperature di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	$\geq 95^\circ\ \text{C}$
Coefficiente di dilatazione termica lineare	UNI 6061	$\leq 8,10^{-5}\ ^\circ\ \text{C}^{-1}$
Fattore di trasmissione luminosa totale	UNI EN ISO 13468-1 le provette sono incolori e di spessore pari a 3 mm (UNI EN ISO 7823-1 e UNI EN ISO 7823-2)	$\geq 90\%$
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	$\geq 90\%$
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: dopo l'esposizione alla lampada allo Xenon	UNI EN ISO 4892-2 per 1000 h	$\geq 88\%$
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40° C)	---	$\leq 7\ \text{N/mm}^2$

Le lastre in PMMA devono essere inserite in un telaio metallico con interposta una guarnizione in EPDM, per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione sotto carico.

Le lastre in PMMA devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura.

Lo spessore della lastra deve essere determinato in funzione dei carichi dinamici e statici richiesti, delle dimensioni delle lastre e del tipo di cornice utilizzata. Lo spessore delle lastre di PMMA deve essere non inferiore a 15 mm.

La verifica di resistenza ai carichi dinamici e statici, secondo quanto richiesto dalla UNI EN 1794-1, appendice A, deve essere eseguita sull'intero pannello comprensivo di lastra, guarnizione e cornice metallica.

Analogamente per la prova di impatto e caduta dei frammenti prevista in conformità alla UNI EN 1794-2, appendice B. Per le condizioni di impatto più severe previste dalla norma, oltre ai sistemi tradizionali di ritenuta dei frammenti (rete di contenimento) è possibile utilizzare lastre in PMMA rinforzate internamente con filamenti in poliammide o altro materiale compatibile. Le lastre di PMMA rinforzate devono essere assicurate alla struttura portante (HE o altro) mediante idonei collegamenti come, per esempio, cavetti di sicurezza in acciaio (con una resistenza a trazione non minore di 1 500 N/mm²), fissati sui 4 angoli della lastra in PMMA, a non meno di 140 mm dal bordo. Per l'esecuzione dei fori sulla lastra devono essere rispettate le istruzioni del produttore.

Tra i requisiti di protezione ambientale per le lastre in PMMA deve essere fornita specifica scheda di sicurezza CE per le lastre in PMMA estruso e colato in quanto le due tipologie di materiale vanno trattate in modo diverso in fase di riciclo a fine vita di esercizio.

Al fine di rendere visibile l'ostacolo barriera ai volatili può essere adottata una opportuna colorazione in massa; questa soluzione è consigliata altresì per minimizzare l'effetto sporco nei periodi di siccità. In alternativa è possibile ricorrere a trattamenti serigrafici o ad applicazione di decalcomanie.

Per la pulizia delle lastre devono essere programmate operazioni di pulizia periodiche delle lastre di PMMA con acqua in pressione, in conformità alla cadenza temporale dichiarata dal produttore del PMMA.

Al fine di individuare l'onere connesso con la manutenzione degli elementi in PMMA, deve essere indicato il tipo di trattamento a cui occorre che tali elementi siano sottoposti per la rimozione della polvere e dei graffi.

Le guarnizioni che vengono impiegate a contatto con il PMMA, devono essere realizzate in EPDM o altro materiale compatibile con il materiale trasparente; non devono cioè rilasciare, durante la vita di servizio, prodotti chimici che aggrediscano chimicamente il materiale

trasparente. La geometria della guarnizione deve essere tale da consentire la dilatazione ed il ritiro delle lastre evitando che queste fuoriescano durante la vita di servizio.

Le guarnizioni devono avere le caratteristiche minime elencate nel prospetto.

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore minimo (*)
Durezza	UNI EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3 (± 3 Shore A/3)
Carico di rottura	UNI 6065	10 Mpa (± 5%)
Allungamento a rottura	UNI 6065	300% (± 15%)

(*) Tra parentesi sono riportate le variazioni ammesse dopo invecchiamento termico di sette giorni alla temperatura di 70 °C, in conformità alla UNI ISO 188.

La cornice metallica deve essere installata su almeno tre lati della lastra, offrendo a quest'ultima idonea resistenza meccanica per effetto della forma, dello spessore e delle caratteristiche meccaniche del materiale impiegato.

37.2.4.2. Pannelli trasparenti con lastre in policarbonato protetto a UV

L'impiego di lastre in policarbonato presuppone che non si tratti di materiale riciclato e che sia prevista idonea protezione per i raggi UV. Possono essere impiegate lastre in policarbonato a partire da uno spessore minimo di 12 mm.

In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	UNI 7092, metodo A	≥ 1 000 kg/m ³
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1(24h, 23°C) le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	≤ 16 %
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 60 MPa
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 55 MPa
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/1	≥ 2 200 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/1	≥ 2 000 MPa
Resistenza all'urto Charpy con intaglio	UNI EN ISO 179-1/1eA	≥ 6 KJ/m ²
Temperatura di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	≥ 145°C
Coefficiente di dilatazione termica lineare	UNI 6061	≤ 6,5.10 ⁻⁵ °C ⁻¹
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/1	≥ 2 200 MPa
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm		
Prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	≥ 85%
Dopo l'esposizione	UNI EN ISO 4892-2 per 1 000 h	≥ 82%
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40°C)	---	≤ 10 N/mm ²

Valgono per i pannelli con lastra in policarbonato tutte le caratteristiche generali riportate precedentemente per le lastre in PMMA.

37.2.4.3. Pannelli trasparenti con lastre in vetro stratificato

Per motivi di sicurezza gli elementi acustici in vetro devono essere realizzati esclusivamente con lastre di vetro stratificato ottenute da procedimento di lavorazione float per colata su bagno metallico in atmosfera controllata e da un film intermedio in polivinilbutirrale (PVB), avente uno spessore costante di 0.76 mm, per uno spessore totale minimo di 15 mm (6+8+PVB).

Le singole lastre devono essere sottoposte a trattamento termico di tempera o di indurimento in funzione del tipo di applicazione e del grado di sicurezza che si vuole conseguire in caso di urto.

Il trattamento di tempera aggiunge al livello di sicurezza dovuto alla stratificazione i risultati di maggior resistenza meccanica ed agli shock termici, migliorando la sicurezza di impiego del prodotto nel caso di applicazione in barriere antirumore poste a lato delle infrastrutture di trasporto.

In caso di lastre curve è preferibile la stratificazione di due o più vetri temperati della stessa natura e spessore.

Qualora le lastre siano applicate in copertura, si raccomanda l'uso di vetro stratificato costituito da una lastra temperata ed una indurita; il vetro temperato ha una migliore resistenza meccanica; il vetro indurito ha una compattezza in caso di rottura superiore al vetro stratificato temperato, poiché presenta una frammentazione di grandi dimensioni.

I pannelli realizzati in vetro possono essere costituiti da materiale incolore o colorato, eventualmente con serigrafie decorative. Il colore può essere ottenuto con l'impiego di fogli di PVB della colorazione richiesta.

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore totale	---	≥ 15 mm
Caratteristiche del materiale di base e limitazione dei difetti ottici e visivi	UNI EN 572-1, UNI EN 572-2 e UNI EN ISO 12543-6	
Resistenza ad alta temperatura, all'umidità e all'irraggiamento solare simulato	UNI EN ISO 12543, parti 1, 2, 3 e 4	
Dimensioni, scostamenti limite e finiture dei bordi	UNI EN ISO 12543-5	
Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie	UNI 7697	
Molatura delle lastre	UNI 6028	
Trattamento serigrafico (eventuale)	UNI EN 12150-1	
Fattore di trasmissione luminosa ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,81
Fattore di riflessione luminosa ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,07
Fattore di trasmissione energetica ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,54
Fattore di riflessione energetica ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,40
Fattore di assorbimento energetico ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,06
Fattore solare ¹	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,65

Valgono per i pannelli con lastra in vetro tutte le caratteristiche generali riportate per le lastre in PMMA al paragrafo 37.2.4.1

Per assicurare la compatibilità con il plastico PVB, è preferibile impiegare guarnizioni a miscela a base silconica.

37.2.5. Pannelli in calcestruzzo

Si tratta di pannelli costituiti da uno strato portante in calcestruzzo armato abbinato ad uno strato di materiale poroso di varie tipologie.

Lo strato portante assicura le proprietà fonoisolanti del pannello; lo strato poroso assicura le proprietà fonoassorbenti grazie alla sua geometria ed al materiale di cui può essere costituito (granuli di argilla espansa o lapillo vulcanico).

I due strati sono normalmente abbinati in fase di getto con la tecnica del fresco su fresco che assicura l'omogeneità del pannello se effettuata con tempi di getto ravvicinati in modo da garantire la contemporaneità del fenomeno di presa.

Esistono tuttavia altre modalità produttive quali la prefabbricazione separata dei moduli alleggeriti ed il successivo fissaggio meccanico allo strato portante.

Per questa tipologia di elementi acustici, la norma tecnica EN 14990 contiene i riferimenti tecnici per le caratteristiche meccaniche, di sicurezza e durabilità.

L'eventuale colorazione dello strato fonoassorbente deve essere preferibilmente realizzata con pigmentazione dell'impasto mediante impiego di ossidi, al fine di non pregiudicare le proprietà fonoassorbenti del manufatto. Il ricorso a sistemi di colorazioni mediante vernici silicatiche o poliuretatiche è approvato se i test di fonoassorbimento sono effettuati sul pannello verniciato.

Le due tipologie di pigmentazione possono essere applicate indifferentemente per lo strato portante in calcestruzzo.

Qualora siano richieste unicamente proprietà fonoisolanti (esempio pannello di base di barriere antirumore) il pannello sarà realizzato in unico strato in cls armato.

37.2.5.1. Strato in cls armato

I pannelli che costituiscono la barriera saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/m² e lo spessore del pannello non inferiore a 8 cm per ottenere uno spessore adeguato del copriferro.

I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE secondo il D.P.R. 246/93 e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206-1.

Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN197/1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008. Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934/2.

Gli aggregati devono essere conformi alle UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare, dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e, per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF), inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.

Il coefficiente di permeabilità, secondo UNI EN 12390-8, ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10} \text{ cm s}^{-1}$.

Le superfici di cemento o calcestruzzo dovranno essere protette con additivi idrofobizzanti inseriti in fase di confezionamento.

L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44K come da D.M. Min.LL.PP. 09/01/1996 e successive modificazioni.

37.2.5.2. Strato fonoassorbente in argilla espansa o pomice

La superficie fonoassorbente del pannello è ottenuta con un getto di argilla espansa o pomice normalmente greccato per incrementare la superficie fonoassorbente attiva.

I pannelli dovranno avere apposita protezione della struttura cellulare in argilla espansa o pomice esposta agli agenti atmosferici mediante applicazione in fase di confezionamento di additivi idrofobizzanti.

La protezione della superficie deve impedire l'assorbimento delle acque meteoriche, limitando così i rischi del gelo ed impedendo la naturale formazione di vegetazione, nonché la proliferazione di microrganismi all'interno del materiale.

La protezione nei confronti degli agenti atmosferici potrà essere realizzata in tempi successivi al processo produttivo, mediante trattamenti superficiali, effettuati in stabilimento o in cantiere, con impiego di una soluzione composta di acqua e silicone spruzzata sulla superficie, oppure da una soluzione a base di silani (in quantitativi dipendenti dalla porosità del supporto), applicata sulle superfici pulite e asciutte tramite irroratori a bassa pressione. Questo tipo di applicazione, avendo effetti sul fonoassorbimento del manufatto, comporta la certificazione di questa caratteristica per il pannello verniciato.

Nel caso di realizzazione del pannello stratificato con la tecnica del fresco su fresco, le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'argilla espansa in granuli utilizzata in conglomerati cementizi non strutturali		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	$350 \text{ kg/m}^3 \leq M_{va} \leq 850 \text{ kg/m}^3$
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	$12 \text{ mm} \leq D_{max} \leq 20 \text{ mm}$
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto		$200 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Dosaggio} \leq 350 \text{ kg/m}^3$
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa	UNI 7548-2	$\leq 1200 \text{ kg/m}^3$
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		$\geq 40 \text{ mm}$
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	$\geq 5 \text{ N/mm}^2$

In alcune applicazioni vengono realizzati blocchi di argilla espansa vibrocompressi successivamente solidarizzati ad uno strato portante in calcestruzzo. Per questo tipo di applicazione le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà degli elementi vibrocompressi fonoassorbenti in calcestruzzo di argilla espansa da solidarizzare ad una struttura portante		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	$500 \text{ kg/m}^3 \leq M_{va} \leq 800 \text{ kg/m}^3$
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	$\leq 20 \text{ mm}$
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto.		$\geq 200 \text{ kg/m}^2$
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa	UNI 7548-2	$\leq 1200 \text{ kg/m}^3$
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		$\geq 80 \text{ mm}$
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	$\geq 5 \text{ N/mm}^2$

Alternativamente all'argilla espansa, per realizzare lo strato fonoassorbente del pannello può essere utilizzato lapillo vulcanico o pomice che deve avere le caratteristiche riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'inerte naturale di pomice in conglomerati cementizi non strutturali		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dell'inerte naturale di pomice	UNI EN 13055-1	$600 \text{ kg/m}^3 \leq M_{va} \leq 900 \text{ kg/m}^3$
Diámetro massimo dei granuli	UNI EN 13055-1	$\leq 14 \text{ mm}$
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di inerte		$200 \text{ kg/m}^3 \leq M_{va} \leq 350 \text{ kg/m}^3$
Massa volumica del calcestruzzo con inerte naturale di pomice	UNI EN 13055-1	$\leq 1200 \text{ kg/m}^3$
Spessore minimo dello strato in calcestruzzo poroso		$\geq 40 \text{ mm}$
Resistenza media a compressione del calcestruzzo poroso di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	$\geq 5 \text{ N/mm}^2$

37.2.6. Sistemi di copertura a "baffles"

Si tratta di un sistema di copertura a cielo aperto ottenuta con pannelli fonoisolanti/fonoassorbenti sospesi (baffles) sulla sede stradale così da formare una griglia in grado di attenuare l'onda acustica e garantire lo smaltimento dei fumi; integrati con altri sistemi di copertura (trasparente o cieca) consentono di gradualizzare il livello di luminosità all'interno della copertura.

I pannelli tipo baffles sono generalmente costituiti da un involucro metallico e materassino fonoassorbente/fonoisolante interno con caratteristiche rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 37.2.1.

Dal punto di vista prestazionale è richiesta la qualificazione acustica del sistema con l'effettuazione di un test di fonoisolamento secondo la UNI/EN 1793-1. Il campione deve essere rappresentativo del sistema di copertura e costituito quindi da una porzione di grigliato a baffles montato nella camera di prova così come previsto dagli elaborati progettuali, rispettando cioè le quote relative agli interassi fra i pannelli.

Sono inoltre richieste le prove di prequalifica acustica sul prodotto come riportato al capitolo 37.1.1.

Considerata la modalità di impiego dei pannelli baffles, è richiesta la verifica strutturale prevista al paragrafo 37.1.2.1 relativa ai carichi aerodinamici e statici.

Relativamente ai requisiti di sicurezza e compatibilità ambientale occorre siano prodotti i certificati di comportamento in presenza di fuoco e le attestazioni relative ai materiali come elencato nei precedenti paragrafi specifici.

37.2.7. Diffrattori di sommità per barriere

Si tratta di dispositivi che installati sulla sommità delle barriere antirumore agiscono sull'onda diffratta migliorando le prestazioni globali della barriera stessa.

Sono in genere elementi lineari collegati alla struttura portante della barriera e costituiti da un guscio metallico con materassino interno fonoassorbente. In questi casi le loro caratteristiche tecniche devono essere rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 37.2.1.

Dal punto di vista acustico è prevista l'effettuazione del test di diffrazione del bordo superiore (rif. Par. 37.1.1.3).

Relativamente alle prove di tipo statico deve essere verificata la resistenza ai carichi (rif. par. 37.1.2.1).

Relativamente alla sicurezza in esercizio devono essere verificati i sistemi anticaduta ed il comportamento in presenza di fuoco (rif. par. precedenti).

37.2.8. Biomuri in calcestruzzo armato vibrato

I biomuri in calcestruzzo sono costituiti da una griglia spaziale tridimensionale di elementi prefabbricati in conglomerato cementizio armato vibrato, che, incastrati o comunque collegati fra di loro, realizzano un'intelaiatura avente larghe superfici aperte, atta però a contenere materiale di riempimento a matrice terrosa di modo che la struttura prefabbricata, a regime, possa restare pressoché totalmente immersa all'interno dell'inverdimento del proprio paramento frontale.

Gli elementi prefabbricati costituenti il muro devono essere modulari e vincolabili, atti a qualsivoglia configurazione planimetrica, comprese le curvilinee. Inoltre gli elementi costituenti le parti frontali esterne della barriera devono essere sagomati in modo da evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento, garantendo nel contempo la minima presenza di calcestruzzo prefabbricato in facciata e la massima capacità di accogliere le essenze arbustive e/o erbacee.

Le strutture costituenti l'intelaiatura devono avere conformazioni e sagome tali da realizzare una struttura autostabile. Devono altresì poter essere applicate in collegamento con strutture similari utilizzate per il sostegno di terrapieni per le conformazioni a duna.

I suddetti elementi prefabbricati saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/m² e lo spessore dell'elemento tale da garantire uno spessore adeguato del copri-ferro.

I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE secondo il D.P.R. 246/93 e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206-1.

Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN197/1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008. Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934/2.

Gli aggregati devono essere conformi alla UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF) inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.

Il coefficiente di permeabilità, secondo UNI EN 12390-8, ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10} \text{ cm s}^{-1}$.

L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata Fe B 44K come al D.M. Min.LL.PP. 09/01/1996 e successive modificazioni.

A richiesta del Committente gli elementi prefabbricati possono presentare colorazioni a seguito di pigmentazione dell'impasto di calcestruzzo.

La colorazione dell'impasto di cemento ed aggregati avverrà utilizzando ossidi di ferro, pigmenti insolubili in acqua, resistenti agli alcali ed aventi ottima stabilità alla luce e alle intemperie.

I contenitori andranno riempiti con materiale a matrice terrosa, con la tolleranza di una quota-parte fino ad una percentuale pari al 25% di materiale a matrice pietroso-lapidea, diametro massimo di 15 cm, a fungere da scheletro.

Detto materiale di riempimento ha la funzione di configurarsi come massa resistente nei confronti della propagazione del rumore oltre che la funzione di conferire stabilità all'opera di attenuazione dei fenomeni acustici, ma altresì soprattutto la funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione; deve quindi essere esente da qualsivoglia sostanza inquinante e comunque possedere caratteristiche tali da non ostacolare o addirittura impedire la buona propagazione al suo interno della radicazione delle essenze messe a dimora nello strato superficiale più ricco di terreno agrario.

L'impianto delle essenze deve essere preceduto dalla rimozione di eventuali materiali estranei quali detriti, ciottoli, radici e/o eventuali erbe infestanti.

Per assicurare la massima velocità di sviluppo delle pianticelle il paramento frontale del biomuro deve essere arricchito con la somministrazione di terreno agrario prelevato ad una profondità massima di 0.50 m, privo di pietre, tronchi, rami, radici e loro parti che possano ostacolare le lavorazioni agronomiche del terreno dopo la posa in opera, e chimicamente neutro (pH 6,5-7).

La quantità di scheletro non dovrà eccedere il 5% del volume totale e la percentuale di sostanza organica non dovrà essere inferiore al 2%. L'Appaltatore, prima di effettuare il riporto del terreno agrario, altrimenti denominabile terra di coltivo, dovrà accertarne la qualità per sottoporla all'approvazione della Direzione Lavori e dovrà, se richiesto, disporre a proprie spese l'esecuzione delle analisi di laboratorio per ogni tipo di suolo. Le analisi dovranno essere eseguite, salvo quanto diversamente disposto dal presente capitolato, secondo i metodi ed i parametri normalizzati di analisi del suolo, pubblicati dalla Società Italiana della Scienza del Suolo S.I.S.S..

Detto terreno agrario dovrà essere privo di agenti patogeni e di sostanze tossiche per le piante e dovrà inoltre essere mescolato con terriccio, torba o compost di origine ligneo-cellulosica sufficientemente stabilizzato dal punto di vista microbiologico in ragione di almeno 20 litri per m² di superficie frontale, compresa altresì la distribuzione di concime minerale complesso a lenta cessione da spandere prima della definitiva sistemazione del terreno.

La messa a dimora delle essenze deve essere effettuata avendo cura di non danneggiare né l'apparato radicale né la parte epigea, distanziando opportunamente le pianticelle in base alle esigenze della singola specie e provvedendo alla leggera compattazione manuale del terreno in prossimità del colletto radicale.

La scelta delle specie vegetali da inserire nei Muri Cellulari inverdibili a reticolo spaziale deve essere effettuata fra le essenze erbacee e/o arbustive nelle varietà tappezzanti, ricadenti e/o rampicanti; le pianticelle dovranno essere vigorose e di buon sviluppo, provviste di buon apparato radicale, esenti da fitopatie e sintomi di carenze e da postumi di attacchi parassitari, non manifestanti segni di grandinata; dovranno inoltre soddisfare le esigenze qui di seguito elencate, contemperandole in maniera il più possibile efficace, nei casi in cui le stesse risultino contrapposte:

- adattamento al clima generale della zona
- adattamento al microclima della barriera a reticolo spaziale, caratterizzato da possibili minori apporti idrici meteorici, maggiori temperature massime giornaliere e stagionali e più elevata escursione termica;
- capacità biotecniche di ricoprimento e consolidamento;
- ottimo sviluppo radicale (per resistere alle sollecitazioni meccaniche prodotte dall'effetto aerodinamico del passaggio di veicoli ed automezzi), discreto sviluppo epigeo (necessario per coprire il più possibile la vista degli elementi strutturali), avendo cura dal lato carreggiata stradale di scegliere essenze a sviluppo esterno contenuto per salvaguardare la percorribilità del camminamento di ispezione e/o di manutenzione;
- buona possibilità di inserimento nel contesto ambientale circostante;
- appartenenza al patrimonio botanico locale, il più adatto a rispondere alle esigenze sopraesposte di adattabilità al clima della zona e di migliore effetto di inserimento nell'ambiente circostante, con possibilità di intercalare anche piante di origine diversa ma ben inseribili nel particolare contesto ambientale, per tener conto degli altri fattori elencati.

In condizioni climatiche o microclimatiche particolari o comunque laddove si ravvisa la necessità di accelerare il processo di attecchimento delle pianticelle, la barriera a reticolo spaziale potrà essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.

L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

37.2.9. Biomuri in calcestruzzo armato vibrato a basso ingombro trasversale

I biomuri inverdibili in cemento armato vibrato a basso ingombro trasversale sono sistemi antirumore a parete doppia ed a limitato ingombro trasversale (dimensione trasversale nel punto di massimo ingombro minore di 1 m) costituiti da doppia facciata inverdibile, oppure da una sola facciata inverdibile con la facciata opposta realizzata con pannelli fonoassorbenti oppure semplicemente fonoisolanti, in conformità alla necessità.

Essi sono ottenuti mediante l'inserimento di elementi prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato, tra loro variamente composti, per sovrapposizione nel senso dello sviluppo in altezza, in linea di principio su montanti di sostegno in profilato metallico. Sempre in linea di principio i montanti metallici, eventualmente sostituibili con elementi di sostegno prefabbricati in cemento armato vibrato o altro materiale, devono risultare totalmente mascherati od inglobati all'interno della struttura finita.

I suddetti elementi prefabbricati formano dei contenitori tra loro comunicanti, aventi sulla facciata e/o sulle facciate inverdibili larghe superfici aperte; al loro interno viene posto il materiale di riempimento costituito interamente da una miscela di inerti miscelati a materiale di origine vulcanica, argille speciali, concimi minerali complessi a lenta cessione ed ammendanti organici (torbe, fibre naturali, cortecce) con funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione le cui percentuali componenti varieranno in relazione sia alle specie vegetali impiegate sia alle condizioni microclimatiche del sito e saranno quindi oggetto, di volta in volta, di specifica definizione.

Gli elementi costituenti le pareti frontali inverdibili della barriera acustica sono sagomati in modo da impedire la fuoriuscita del materiale di riempimento per dilavamento, senza impiego di alcun mezzo di ritenzione aggiuntivo (geosintetici), garantendo nel contempo la minor superficie possibile di calcestruzzo in vista.

Per determinare le caratteristiche costruttive delle singole parti componenti i biomuri inverdibili a basso ingombro trasversale, si fa riferimento alle specifiche tecniche di competenza ed in particolar modo a quelle relative ai pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti in c.a., agli elementi prefabbricati in c.a per realizzazione di biomuri, ed alle essenze per l'inverdimento.

Questo particolare tipo di barriera acustica, vista la esigua quantità di substrato all'inverdimento legata alle limitate dimensioni di ingombro trasversale deve sempre essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.

L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

37.2.10. Pannelli realizzati con altri materiali

Ove vengano adottati pannelli realizzati con materiali diversi da quelli indicati o integrati con sistemi innovativi di attenuazione del rumore, dovranno essere fornite tutte le caratteristiche necessarie per il controllo qualitativo dei materiali ai fini acustici, strutturali, di sicurezza, durabilità e di corretto inserimento paesaggistico/ambientale, nonché la casistica delle situazioni similari in cui sono stati applicati, corredata delle certificazione degli Enti appaltanti.

Detti prodotti devono comunque essere sottoposti alla preventiva approvazione del Committente.

37.2.11. Carpenteria metallica portante

I montanti metallici se realizzati con profili aperti laminati devono essere realizzati in acciaio con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle del tipo S275JR (UNI EN 10025-1÷6). Per laminati in forma di profilati cavi la norma di riferimento è la EN 10210-1.

Per i montanti metallici è prevista, salvo diverse specifiche accettate dalla Direzione Lavori, la zincatura a caldo per immersione in accordo alla Norma UNI EN ISO 1461/99, per uno spessore non inferiore a 85 µm, previo ciclo di sabbatura SA 21/2 oppure trattamento di decapaggio chimico. Inoltre è richiesto un ulteriore trattamento della superficie, subito dopo la zincatura, secondo il sistema seguente:

- applicazione di mano di fondo a base di pittura epossidica al fosfato di zinco di spessore 60÷80 µm.
- applicazione di mano di copertura a base di pittura poliuretanicca di spessore 60÷80 µm del colore previsto in progetto o deciso dalla Direzione Lavori.

Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, deve essere di almeno 200 µm in modo da realizzare una superficie esente da pori.

Il fornitore deve comunque indicare il sistema del trattamento previsto per la protezione anticorrosiva della superficie dei diversi elementi ed allegare le schede tecniche dei prodotti vernicianti impiegati e le modalità di applicazione.

Controlli sugli strati protettivi dell'acciaio costituente gli elementi in carpenteria portante		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza all'urto	UNI 8901	La pellicola non deve presentare fessurazioni a seguito della caduta del maglio da una altezza di 50 cm
Aderenza	EN ISO 2409	Resistenza alla quadrettatura – nessun distacco.
Brillantezza	UNI 9389	Glossmetro a 60° ; gloss massimo 60
Piegamento su mandrino cilindrico	UNI ISO 1519	Con piegamento su mandrino di 4 mm la pellicola non deve fessurarsi
Resistenza in nebbia salina neutra	UNI ISO 9227	Dopo 150 ore - penetrazione massima della corrosione di 1 mm lungo la crocettatura. Dopo 500 ore - penetrazione massima della corrosione di 15 mm lungo la crocettatura; blistering massimo 8 medium secondo ASTM D 814

Controlli sugli strati protettivi dell'acciaio costituente gli elementi in carpenteria portante		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza in camera umidostatica		Dopo 150 ore - blistering assente Dopo 500 ore – blistering massimo 8 medium secondo ASTM D 814

Tutte le saldature manuali devono essere effettuate ad arco con elettrodi rivestiti E44 aventi caratteristiche di classe 2, 3, 4 secondo UNI 5132, per spessori inferiori a 30 mm e classe 4B per spessori superiori.

Sui profili costituenti i montanti che non risultino "prodotti qualificati" ai sensi del DM 9/1/96, devono essere effettuate tutte le prove meccaniche e chimiche previste dalle norme UNI (oppure EN), in numero atto a fornire un'adeguata conoscenza delle proprietà di ogni singolo lotto di fornitura e comunque almeno tre saggi per ogni 20 tons di ogni singolo profilo.

In alternativa è ammesso l'impiego di acciai marcati CE secondo le procedure di rilascio del marchio dei manufatti in acciaio ricadenti sotto Direttiva Europea 89/106 Prodotti da costruzione.

Il sistema realizzativo dei montanti (ossia il loro schema statico e la loro modalità di posa in opera) deve essere conforme alla marcatura CE dei prodotti ed alle loro istruzioni di montaggio redatte dal produttore.

37.2.12. Accessori

Tutti gli elementi metallici non precedentemente esaminati (bulloneria, rivetti, rondelle elastiche e non, piastre di base dei montanti, distanziatori, tirafondi, ecc.) devono essere in acciaio zincato a caldo in accordo alla norma UNI EN ISO 1461/99, per uno spessore non inferiore a 60 micron (ad eccezione delle piastre di base per le quali vale quanto indicato per i montanti).

Per quanto riguarda i tirafondi, questi devono essere costituiti da barre filettate in acciaio di caratteristiche di resistenza non inferiore alla classe 8.8 secondo UNI EN 898 parte I (riferimento UNI 5712) con dadi di classe 8 secondo UNI EN 20898 parte II (riferimento UNI 5713).

In alternativa, possono essere utilizzati ancoraggi.

La bulloneria ad alta resistenza per le unioni acciaio-acciaio deve essere conforme per le caratteristiche dimensionali delle viti alle UNI EN 898-1 riferimento UNI 5712 e per quelle dei dadi alle UNI EN 20898-2 riferimento UNI 5713, appartenenti alla classe 8.8 e 8 della UNI 3740.

Le rosette metalliche devono essere in acciaio C50 UNI EN 10083-2/UNI 5714 temprato e rinvenuto (HRC 32÷40).

I sigillanti e le guarnizioni devono garantire nel tempo l'ermeticità acustica e deve quindi resistere all'invecchiamento da agenti naturali (raggi UV, variazioni di temperatura, ecc.).

Il fornitore dovrà specificare preventivamente le caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati per i sigillanti e le guarnizioni specie per quanto riguarda la qualità dell'elemento elastico e la sua resistenza all'invecchiamento.

37.2.13. Particolarità costruttive della barriera

La geometria della barriera indicata negli elaborati grafici dovrà essere rigorosamente rispettata in fase di esecuzione. Qualora si rendano necessari adattamenti del profilo, si richiede la preventiva approvazione del progettista.

I materiali costituenti le barriere devono essere forniti nei colori previsti a Progetto, scelti per una corretta integrazione dell'opera con l'ambiente circostante.

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua. In particolare per i pannelli composti l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli e non ristagnare sia fra pannello e pannello sia tra pannello inferiore della parete e superficie di appoggio.

Le soluzioni costruttive devono consentire la rimozione della barriera senza che occorra la demolizione della relativa fondazione. I getti di bloccaggio dovranno essere effettuati con idonee malte cementizie di tipo reoplastico.

Dovranno essere previsti dispositivi atti a impedire l'asportazione dei pannelli.

Qualora previsto a Progetto tutte le componenti metalliche della barriera devono essere rese equipotenziali e collegate all'impianto di messa a terra elettrico.

Per le modalità di messa a terra e per il dimensionamento elettrico dell'impianto si dovrà fare riferimento alla Norma CEI 9.6 vigente.

38. Barriere di sicurezza

38.1. Premessa

38.1.1. Generalità

Le normative da rispettare per le barriere di sicurezza sono le seguenti:

- D.M. 28 giugno 2011 (G.U. n. 233 del 06.10.11), "Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale";
- D.M. 21 giugno 2004 n° 2367 (G.U. n. 182 del 05.08.04), "Aggiornamento alle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale";
- UNI EN 1317-1:2010 + EC1⁽¹⁾, "Sistemi di ritenuta stradali parte 1: terminologia e criteri generali per i metodi di prova";
- UNI EN 1317-2:2010 + EC1 + EC2, "Sistemi di ritenuta stradali parte 2: classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza inclusi i parapetti veicolari";
- UNI EN 1317-3:2010 + EC1, "Sistemi di ritenuta stradali parte 3: classi di prestazione, criteri di accettabilità basati sulla prova di impatto e metodi di prova per attenuatori d'urto";
- UNI ENV⁽²⁾ 1317-4:2003, "Barriere di sicurezza stradali parte 4 : classi di prestazione, criteri di accettazione per la prova d'urto e metodi di prova per terminali e transizioni delle barriere di sicurezza";
- UNI EN 1317-5:2012 + EC1⁽³⁾ (norma europea armonizzata), "Barriere di sicurezza stradali parte 5: requisiti di prodotto e valutazione di conformità per sistemi di trattenimento veicoli";
- UNI CEN/TR⁽⁴⁾ 1317-6:2012, "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 6: Sistema di ritenuta dei pedoni - Parapetti pedonali";
- UNI CEN/TS⁽⁵⁾ 1317-8:2012, "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 8: Sistemi di ritenuta stradali motociclisti in grado di ridurre la severità dell'urto del motociclista in caso di collisione con le barriere di sicurezza";
- Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti, prot. 62032 del 21.07.2010, "Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali";
- D.M. 18 febbraio 1992, n. 223. (G.U. n. 63 del 16.03.92). "Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza";
- D. Lg.vo n. 285/92 e s.m.i.. "Nuovo codice della Strada";
- D.P.R. n. 495/92 e s.m.i.. "Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada";
- D.M. 5 novembre 2001, n. 6792. "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade";
- EAD 330232-00-0601 - Mechanical fasteners for use in concrete
- EAD 330076-00-0604 - Metal injection anchors for use in masonry
- EOTA TR 053: 2016-04 - Recommendations for job-site tests of metal injection anchors use in masonry.
- EOTA TR 054: 2016-04 - Design method for anchorages with metal injection anchors for use in masonry.

⁽¹⁾ EC = Errata Corrige; segue numero d'ordine.

⁽²⁾ Norma europea provvisoria.

⁽³⁾ Data di entrata in vigore e data di scadenza del periodo di coesistenza: 01.01.2013. La precedente versione della stessa norma (2008) cessava il suo periodo di coesistenza (cioè ne diveniva obbligatoria l'osservanza) in data 01.01.2011.

⁽⁴⁾ CEN/TR = *CEN Technical Report* (documento informativo del CEN sul contenuto tecnico dei lavori di normalizzazione). Utilizzo facoltativo.

⁽⁵⁾ CEN/TS = *CEN Technical Specification* (documento pre-normativo del CEN sottoposto ad inchiesta pubblica). Utilizzo facoltativo.

- D.M. 14 gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- UNI EN 12767, “Sicurezza passiva di strutture di sostegno per attrezzature stradali. Requisiti e metodi di prova”.

Si fa notare come le versioni 2010 delle norme 1317-1, -2, -3, con i relativi “errata-corrige”, in vigore dal 05.08.2010, siano diventate cogenti, in quanto norme europee armonizzate, a partire dal 01.01.2013.

Ai sensi delle vigenti ed in parte già citate norme (D.M. 18/02/1992 n. 223, D.Lgs. 16 giugno 2017, n. 106 Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE, D.M. 21/06/2004, Regolamento UE n. 305/2011 del 09/03/2011, D.M. 28/06/2011), considerato che risulta da tempo recepito l'utilizzo delle norme europee UNI EN 1317, parti 1, 2, 3 e 4 concernenti le barriere di sicurezza stradali e che risulta scaduto in data 01/01/2011 il periodo di coesistenza relativo alla norma europea armonizzata UNI EN 1317-5:2012 “Barriere di sicurezza stradali – Parte 5: requisiti di prodotto e valutazione di conformità per sistemi di trattamento veicoli” e che dal 01.07.2013 è in vigore il citato Reg. UE n. 305/2011, denominato anche CPR (Construction Products Regulation), possono essere installati soltanto dispositivi di ritenuta stradali dotati di “marcatura CE” in conformità alla norma UNI EN 1317-5:2008 e successivi aggiornamenti (il più recente è del 2012) ed alle norme di supporto in essa riportate.

La fornitura di tali sistemi dovrà essere accompagnata da:

- "Dichiarazione di Prestazione" (DoP), rilasciata dal Fabbricante ovvero da un suo mandatario stabilito nell'Unione Europea, ai sensi del CPR;
- (a richiesta) "Certificazione di Costanza della Prestazione" (AVCP), rilasciata da un Organismo Notificato ai sensi del CPR ;
- "Manuale di utilizzo e di installazione", di cui al D.M. 28/06/2011, art. 2, comma 3, avente i contenuti minimi di cui all'Allegato 1 dello stesso D.M.

Le barriere ed i dispositivi, a seconda della loro destinazione ed ubicazione, devono corrispondere a quanto prescritto nelle "Istruzioni Tecniche" allegate al D.M. sopracitato.

Gli interventi compreso quelli relativi alle barriere amovibili, nonostante la mobilità del sistema, avranno le caratteristiche dell'impianto di tipo "definitivo" per cui il materiale impiegato, in particolare per le barriere metalliche, dovrà essere esclusivamente di nuova produzione.

A seconda della loro destinazione ed ubicazione, le barriere e gli altri dispositivi si dividono nei seguenti tipi:

- barriere centrali da spartitraffico;
- barriere laterali;
- barriere per opere d'arte, quali ponti, viadotti, sottovia, muri, ecc.;
- barriere o dispositivi per punti singolari, quali barriere per chiusura varchi, attenuatori d'urto per ostacoli fissi, letti di arresto o simili, terminali speciali, dispositivi per zone di approccio ad opere d'arte, dispositivi per zone di transizione e simili.

38.1.2. Finalità dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali

Le barriere di sicurezza stradale e gli altri dispositivi di ritenuta sono posti in opera essenzialmente al fine di realizzare per gli utenti della strada e per gli esterni eventualmente presenti, accettabili condizioni di sicurezza in rapporto alla configurazione della strada, garantendo, entro certi limiti, il contenimento dei veicoli che dovessero tendere alla fuoriuscita dalla carreggiata stradale. Le barriere di sicurezza stradale e gli altri dispositivi di ritenuta devono quindi essere idonei ad assorbire parte dell'energia di cui è dotato il veicolo in movimento, limitando contemporaneamente gli effetti d'urto sui passeggeri.

38.1.3. Individuazione delle zone da proteggere

Le zone da proteggere per le finalità previste, definite, come previsto dal decreto ministeriale 18 febbraio 1992, n. 223, e successivi aggiornamenti e modifiche, dal progettista della sistemazione dei dispositivi di ritenuta, devono riguardare almeno: i margini di tutte le opere d'arte all'aperto quali ponti, viadotti, ponticelli, sovrappassi e muri di sostegno della carreggiata, indipendentemente dalla loro estensione longitudinale e dall'altezza dal piano di campagna; la protezione dovrà estendersi opportunamente oltre lo sviluppo longitudinale strettamente corrispondente all'opera sino a raggiungere punti (prima e dopo l'opera) per i quali possa essere ragionevolmente ritenuto che il comporta-

mento delle barriere in opera sia paragonabile a quello delle barriere sottoposte a prova d'urto e comunque fino a dove cessi la sussistenza delle condizioni che richiedono la protezione; lo spartitraffico ove presente; il margine laterale stradale nelle sezioni in rilevato dove il dislivello tra il colmo dell'arginello ed il piano di campagna e' maggiore o uguale a 1 m; la protezione e' necessaria per tutte le scarpate aventi pendenza maggiore o uguale a 2/3. Nei casi in cui la pendenza della scarpata sia inferiore a 2/3, la necessita' di protezione dipende dalla combinazione della pendenza e dell'altezza della scarpata, tenendo conto delle situazioni di potenziale pericolosita' a valle della scarpata (presenza di edifici, strade, ferrovie, depositi di materiale pericoloso o simili): gli ostacoli fissi (frontali o laterali) che potrebbero costituire un pericolo per gli utenti della strada in caso di urto, quali pile di ponti, rocce affioranti, opere di drenaggio non attraversabili, alberature, pali di illuminazione e supporti per segnaletica non cedevoli, corsi d'acqua, ecc, ed i manufatti, quali edifici pubblici o privati, scuole, ospedali, ecc, che in caso di fuoriuscita o urto dei veicoli potrebbero subire danni comportando quindi pericolo anche per i non utenti della strada. Occorre proteggere i suddetti ostacoli e manufatti nel caso in cui non sia possibile o conveniente la loro rimozione e si trovino ad una distanza dal ciglio esterno della carreggiata, inferiore ad una opportuna distanza di sicurezza; tale distanza varia in funzione dei seguenti parametri: velocita' di Progetto, volume di traffico, raggio di curvatura dell'asse stradale, pendenza della scarpata, pericolosita' dell'ostacolo. Le protezioni dovranno in ogni caso essere effettuate per una estensione almeno pari a quella indicata nella documentazione di cui alla marcatura CE, ponendone circa due terzi prima dell'ostacolo, integrando lo stesso dispositivo con eventuali ancoraggi e con i terminali semplici indicati nella suddetta documentazione, salvo diversa prescrizione del progettista.

Le barriere di sicurezza dovranno avere la lunghezza minima di cui sopra, escludendo dal computo della stessa i terminali semplici o speciali, sia in ingresso che in uscita. Laddove non sia possibile installare un dispositivo con una lunghezza minima pari a quella effettivamente testata (per esempio ponti o ponticelli aventi lunghezze in alcuni casi sensibilmente inferiori all'estensione minima del dispositivo), sara' possibile installare una estensione di dispositivo inferiore a quella effettivamente testata, provvedendo però a raggiungere la estensione minima attraverso un dispositivo diverso (per esempio testato con pali infissi nel terreno), ma di pari classe di contenimento (o di classe ridotta - H3 nel caso di affiancamento a barriere bordo ponte di classe H4) garantendo inoltre la continuita' strutturale. L'estensione minima che il tratto di dispositivo «misto» dovra' raggiungere sara' costituita dalla maggiore delle lunghezze prescritte nella documentazione di cui ai certificati CE dei due tipi di dispositivo da impiegare.

In particolare, ove possibile, per le protezioni isolate di ostacoli fissi, all'inizio dei tratti del dispositivo di sicurezza, potranno essere utilizzate integrazioni di terminali speciali appositamente testati. Per la protezione degli ostacoli frontali dovranno essere usati attenuatori d'urto, salvo diversa prescrizione del progettista.

38.1.4. Conformita' dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali e loro installazione

Tutti i componenti di un dispositivo di ritenuta devono avere adeguata durabilita' mantenendo i loro requisiti prestazionali nel tempo sotto l'influenza di tutte le azioni prevedibili. Per la produzione di serie delle barriere di sicurezza e degli altri dispositivi di ritenuta, i materiali ed i componenti dovranno avere le caratteristiche costruttive riportate nella documentazione di cui alla marcatura CE, nei limiti delle tolleranze previste dalle norme vigenti o dal produttore come riportato nella documentazione sopra citata. All'atto dell'impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali, le caratteristiche costitutive dei materiali impiegati dovranno essere certificate mediante prove di laboratorio. Dovranno inoltre essere allegate le corrispondenti dichiarazioni di conformita' dei produttori alle relative specifiche tecniche di prodotto. Le barriere e gli altri dispositivi di ritenuta marcati CE, dovranno essere identificati attraverso opportuno contrassegno, da apporre sulla barriera (almeno uno ogni 100 metri di installazione) o sul dispositivo, e riportante le informazioni previste nella stessa norma EN 1317, parte 5.

Nell'installazione sono tollerate piccole variazioni, rispetto a quanto indicato nella documentazione di cui alla marcatura CE, conseguenti alla natura del terreno di supporto o alla morfologia della strada (ad esempio: infissione ridotta di qualche paletto o tirafondo; inserimento di parte dei paletti in conglomerati cementizi di canalette; eliminazione di supporti localizzati conseguente alla coincidente presenza di caditoie per l'acqua o simili). Altre variazioni di maggior entita' e comunque limitate esclusivamente alle modalita' di ancoraggio del dispositivo di supporto sono possibili solo se previste in Progetto, come riportato nell'art. 6 del D.M. 21 giugno 2004 n° 2367.

Come previsto dall'art. 5 del D.M. 21.06.2004 n. 2367, alla fine della posa in opera dei dispositivi, dovra' essere effettuata una verifica in contraddittorio da parte della ditta installatrice, nella persona del suo Responsabile Tecnico, e da parte del committente, nella persona del direttore lavori anche in riferimento ai materiali costituenti il dispositivo. Tale verifica dovra' risultare da un certificato di corretta posa in opera sottoscritto.

Come previsto dall'art. 79, c.17 del d.P.R. del 5 ottobre 2010, ai fini del collaudo, l'esecutore dovra' presentare una certificazione del produttore delle barriere di sicurezza attestante il corretto montaggio delle stesse.

38.1.5. Documentazione “as built” da presentare al termine dei lavori

L'impresa dovrà fornire elaborati grafici riportanti le tipologie effettivamente utilizzate e la loro ubicazione effettiva.

Nel caso siano intervenute variazioni rispetto al progetto occorrerà fornire una relazione tecnica giustificativa delle modifiche introdotte.

38.2. Barriere metalliche

38.2.1. Accettazione dei materiali

I produttori dei dispositivi marcati CE devono essere specializzati e certificati in qualità aziendale secondo le norme UNI EN ISO 9001.

I materiali componenti, i suddetti dispositivi marcati dovranno avere le caratteristiche costitutive descritte nella documentazione di cui alla marcatura CE e dovranno essere realizzati con le stesse caratteristiche di cui sopra, risultanti da una dichiarazione di conformità di produzione che nel caso di barriere con componentistica di più origini, dovrà riguardare ogni singolo componente strutturale.

Tale dichiarazione dovrà essere emessa dall'Appaltatore e controfirmata dal Direttore Tecnico della Ditta Produttrice a garanzia della rispondenza del prodotto ai requisiti di cui alla marcatura CE.

38.2.2. Qualità dei materiali

38.2.2.1. Caratteristiche dell'acciaio.

L'acciaio impiegato per le barriere dovrà essere esente da difetti come bolle di fusione e scalfitture e di tipo extra, per qualità, spessori e finiture. La qualità deve essere di tipo UNI EN 10025 - S275 JR, o di qualità UNI EN 10025 - S235.

L'acciaio impiegato per la costruzione degli elementi metallici dovrà avere inoltre attitudine alla zincatura, secondo quanto previsto dalle Norme NF A 35-503 : 2008 - Categoria A.

Per ogni partita di materiale impiegato, l'Appaltatore dovrà presentare un attestato di qualità dell'acciaio rilasciato dalla ferriera di provenienza e sottoscritto dal legale rappresentante del fornitore.

38.2.2.2. Tolleranze dimensionali.

Nella costruzione dei profilati d'acciaio formati a freddo si dovranno rispettare le prescrizioni e le tolleranze previste dalle norme UNI EN 10162:2006 . Per le tolleranze di spessore, si riterranno validi i valori riportati di seguito:

- Lamiere o nastri fino a 3,50 mm - Tolleranza di spessore ammessa $\pm 0,05$ mm;
- Lamiere o nastri da 3,50 mm a 7,00 mm - Tolleranza di spessore ammessa $\pm 0,10$ mm;
- Lamiere o nastri oltre 7,50 mm - Tolleranza di spessore ammessa $\pm 0,15$ mm.

38.2.2.3. Unioni bullonate.

Se non diversamente specificato nella documentazione di cui alla marcatura CE della barriera, la bulloneria impiegata dovrà essere della classe 8.8 UNI EN 20898.

38.2.2.4. Unioni saldate.

I collegamenti tra elementi metallici da effettuarsi mediante saldatura dovranno essere del tipo a penetrazione ed effettuati nel rispetto DM 14/1/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare l'Appaltatore, qualora non espressamente descritto nei disegni di Progetto, dovrà rispettare le Norme sopra richiamate, tenendo presente di volta in volta, le caratteristiche generali e particolari delle saldature stesse, ivi compresi, qualità e spessori dei materiali, procedimenti, tipi di giunto e classi di saldatura.

38.2.2.5. Zincatura.

Il rivestimento delle superfici dei profilati a freddo sarà ottenuto con zincatura a bagno caldo il quale dovrà presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie, secondo le norme UNI EN ISO 1461:2009

Le quantità minime di rivestimento di zinco per unità di superficie sono riportate nel prospetto 3 della suddetta Norma.

Lo zinco impiegato per i rivestimenti dovrà essere di qualità Zn 99,95.

38.2.2.6. Caratteristiche della rete e dei fili metallici.

La rete, utilizzata a complemento dei parapetti metallici, sarà realizzata con fili d'acciaio crudo, con resistenza minima unitaria di rottura di 55 kg/mm², mentre i fili di legatura saranno in acciaio dolce.

La rete e i fili saranno zincati a caldo secondo le caratteristiche della classe P (zincatura pesante). In particolare la quantità minima accettabile della massa di zinco dovrà essere di 230 g/m².

Il rivestimento protettivo della rete e dei fili sarà costituito da zinco di qualità Zn 99,95, oppure da una lega eutettica di zinco ed alluminio. In questo caso la percentuale d'alluminio presente nella lega non dovrà superare il 5%.

38.2.3. Modalità d'esecuzione

38.2.3.1. Barriere infisse a bordo laterale e spartitraffico

La barriera sarà posizionata sul margine esterno o in spartitraffico in modo che il filo dell'onda superiore del nastro cada in corrispondenza del ciglio della piattaforma stradale ⁽¹⁾.

I nastri saranno collegati fra di loro ed ai sostegni mediante bulloni con esclusione di saldature; il collegamento tra i nastri sarà fatto tenendo conto del senso di marcia in maniera che ogni elemento sia sovrapposto al successivo per evitare risalti contro la direzione del traffico.

Il serraggio dei bulloni dovrà essere tale da garantire l'applicazione della coppia prevista dal produttore, così come indicato nella documentazione della barriera (marcatura CE e/o manuale di installazione) da verificare con chiave dinamometrica su un proporzionato numero di bulloni.

Sul bordo superiore dei nastri saranno applicati dei delineatori con elementi rifrangenti segnalimita, i quali dovranno essere conformi alle normative vigenti ed accettati dalla Direzione Lavori.

Saranno costituiti da un supporto in lamiera e da catadiottri in metacrilato di colore arancione, composti da un catadiottrio, quelli da porre in destra al senso di marcia, da due catadiottri sovrapposti quelli da porre in sinistra.

I suddetti saranno applicati alle barriere mediante sistemi a morsetto senza interessare la bulloneria delle stesse.

Per la viabilità ordinaria saranno invece utilizzati quelli di tipo bifacciale bianco/rosso con caratteristiche simili ai precedenti.

I sostegni saranno infissi con idonea attrezzatura vibrante o a percussione fino alla profondità necessaria per il rispetto della quota stabilita, avendo cura di non deformare la testa del sostegno ed ottenere l'assoluta verticalità finale, facendo in modo che le alette del sostegno siano posizionate in senso contrario a quello del traffico.

Quando per la presenza di trovanti o eccessiva consistenza del terreno non risulti possibile l'infissione, sarà ammesso il taglio della parte eccedente del sostegno e la formazione in sito del nuovo foro di collegamento, sempreché la parte infissa risulti superiore a 50 cm, senza riconoscere all'Appaltatore alcun compenso.

Qualora il rifiuto interessi più sostegni contigui, l'Appaltatore è tenuto a sospendere l'infissione e avvertire tempestivamente la Direzione Lavori perché questa possa assumere le decisioni circa i criteri d'ancoraggio da adottare.

Le cavità eventualmente formatisi alla base dei sostegni dopo l'infissione, a seconda della natura della sede, dovranno essere intasate con materiale inerte costipato o chiuse con malte di cemento.

⁽¹⁾ Margine esterno, spartitraffico e ciglio come definiti dal DM 05.11.2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"

In caso di carenza di vincolo od altre particolari situazioni, la Direzione Lavori potrà richiedere l'adozione d'adeguate opere di rinforzo.

Lungo il tracciato della barriera possono esistere cavi elettrici, telefonici e altri, per cui l'Appaltatore è tenuto a chiedere agli Enti interessati, in accordo con la Direzione Lavori, le necessarie indicazioni per la loro individuazione ed operare con le dovute cautele.

In ogni caso eventuali danni arrecati agli impianti predetti ed eventuali oneri per l'individuazione dei cavi stessi sono totalmente a carico dell'Appaltatore restando la Committente sollevata da ogni responsabilità ed onere conseguente.

Sono a carico dell'Appaltatore le eventuali riprese d'allineamento e rimessa in quota delle barriere per il periodo sino al collaudo ancorché ciò dipenda da limitati cedimenti della sede stradale e la ripresa possa essere eseguita operando sulle tolleranze dei fori di collegamento.

Dovrà inoltre essere resa una dichiarazione di conformità d'installazione da parte dell'Appaltatore, controfirmata dal Direttore Tecnico dell'eventuale impresa installatrice che garantirà la rispondenza dell'eseguito alle prescrizioni tecniche descritte nella documentazione di cui alla marcatura CE..

Questa dichiarazione dovrà essere associata alle altre attestazioni previste dalla normativa vigente in termini di controllo qualità ed altro.

Nel caso di sostituzione di barriera esistente, l'eventuale smontaggio dovrà essere effettuato con cura senza causare rotture o danni. Eventuali danni o perdite saranno imputate all'Appaltatore.

Le banchine in terra e le cunette in calcestruzzo, sede dei montanti estratti, dovranno essere perfettamente ripristinate ed ogni detrito o materiale di scarto trasportato a rifiuto a cura e spese dell'Appaltatore.

Il materiale metallico rimosso rimane di proprietà della Committente e dovrà essere trasportato ed accatastato presso i depositi o portato a discarica, secondo quanto indicato dalla Direzione Lavori, sempre a cura e spese dell'Appaltatore.

Alla rimozione dovrà seguire prontamente il montaggio delle nuove barriere in modo da non lasciare tratti d'autostrada senza protezione.

38.2.3.2. Barriere per opere d'arte

La posa in opera delle barriere sulle opere d'arte sarà effettuata mediante montanti con piastra, fissati con tasselli o per mezzo di tirafondi nel cordolo di calcestruzzo.

La barriera sarà posizionata sul cordolo in calcestruzzo in modo che il filo dell'onda superiore del nastro cada a filo cordolo, in corrispondenza del ciglio della piattaforma stradale ⁽¹⁾

In caso di presenza di traffico l'Appaltatore dovrà adottare tutti i sistemi e le precauzioni per evitare sia interruzioni nel transito dei veicoli che la caduta d'oggetti e materiali.

Nel caso di sostituzione di barriera esistente, ai lavori di smontaggio dovranno seguire, nel tempo strettamente necessario, i lavori d'installazione in modo da non lasciare parti di parapetto prive di protezione.

Il materiale metallico rimosso rimane di proprietà della Committente e dovrà essere trasportato ed accatastato presso i depositi o portati a discarica, secondo quanto indicato dalla Direzione Lavori, sempre a cura e spese dell'Appaltatore.

38.2.3.3. Barriere mobili per chiusura varchi dello spartitraffico centrale

I varchi presenti nello spartitraffico - nei casi in cui debbano essere dotati di barriera di sicurezza – possono prevedere due tipi di dispositivo:

- barriere amovibili con attrezzature di sollevamento (tipo NJ in calcestruzzo), per varchi di tipo operativo, che vanno aperti per lavori o altre esigenze operative legate a programmazioni precise, in adiacenza di opere d'arte, uscite autostradali e simili;
- barriere mobili ad apertura rapida, apribili senza l'ausilio di attrezzature, anche da personale non esperto, per esigenze di gestione incidenti.

La barriera mobile, salvo indicazioni particolari, sarà posizionata sull'asse dello spartitraffico centrale e sarà appoggiata su una pavimentazione in asfalto priva di gradini e quant'altro possa impedire il movimento degli elementi costituenti la suddetta barriera.

¹⁾ Come definiti dal DM 05.11.2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"

38.2.4. Prove

Di norma le campionature saranno eseguite con la cadenza descritta di seguito tenendo conto che ogni prelievo sarà composto da un campione di ciascuno dei componenti la barriera di protezione, prelevati in contraddittorio con un rappresentante dell'Appaltatore.

38.2.4.1. Prove relative alle caratteristiche dell'acciaio e bulloneria.

La qualità dell'acciaio sarà verificata con le prove previste dalle Norme UNI EN 10025.

Il controllo degli spessori, dimensioni e prescrizioni sarà fatto misurando i materiali in più punti e sarà ritenuto positivo se tutte le misure rientreranno nei limiti delle prescrizioni e tolleranze richiesti.

La classe della bulloneria sarà controllata con le prove previste dalla norma UNI EN ISO 898-2:2012, mentre la Direzione Lavori provvederà a verificare in contraddittorio con un rappresentante dell'Appaltatore il serraggio dei dadi con chiave dinamometrica tarata secondo le specifiche riportate nella documentazione della barriera (marcatura CE e/o manuale di installazione).

Le caratteristiche delle unioni saldate saranno controllate in conformità alle Norme previste dal Decreto M.LL.PP. del 14/02/1992.

In particolare sarà effettuato preventivamente un controllo visivo in cantiere da parte dei responsabili della Direzione Lavori, mirato ad individuare eventuali presenze d'anomalie sui cordoni, come porosità, inclusioni o cricche.

In questo caso il materiale dovrà essere sostituito con altro rispondente a quanto richiesto.

Inoltre sarà effettuata una verifica in sito o in laboratorio che prevede il controllo mediante ultrasuoni, oppure un controllo mediante liquidi penetranti.

Sarà eseguito, per le barriere di sicurezza, un prelievo ogni 3.000 m d'impianto.

Per le opere d'arte invece un prelievo pari al 5% sul numero totale delle opere da proteggere. In ogni caso, per ogni tipologia dovrà essere effettuato almeno un prelievo.

Per i varchi amovibili, sarà eseguito un prelievo ogni dieci varchi, con un minimo di uno.

Le campionature relative alle resistenze e tolleranze dell'acciaio e della bulloneria saranno inviate presso un laboratorio indicato dalla Direzione Lavori.

Per irregolarità relative alla qualità, spessori e dimensioni dei materiali e quanto altro possa concorrere anche in modo parziale a compromettere la resistenza strutturale degli impianti, l'Appaltatore sarà tenuto a sostituire, a sue spese, i materiali in difetto con altri che corrispondano alle caratteristiche richieste.

I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

38.2.4.2. Prove relative alle caratteristiche dei rivestimenti anticorrosivi.

Le caratteristiche del rivestimento di zinco dei profilati a freddo saranno verificate con le prove previste dalle Norme UNI EN ISO 1461:2009 descritte di seguito:

- Determinazione della qualità dello zinco mediante analisi chimica.
- Determinazione della massa dello strato di zinco.
- Determinazione dello spessore dello strato di zinco.
- Determinazione della uniformità di spessore del rivestimento di zinco.
- Determinazione della aderenza dello strato di zinco.

Per quanto concerne la rete relativa alle barriere per opere d'arte, essa sarà sottoposta alla prova di sollecitazione corrosiva di 28 cicli in clima variabile d'acqua condensa con atmosfera contenente anidride solforosa, secondo le Norme UNI EN ISO 6988:1998 oppure DIN 50018 SFW 1.05. I relativi provini saranno depositi nell'apparecchio di "Kesternich" per la durata massima di 28 cicli.

Ogni ciclo avrà la durata di 24 h, suddiviso in due parti: nella prima parte, della durata di 8 h, i campioni saranno sottoposti alla sollecitazione dell'agente corrosivo; nella seconda parte i campioni saranno tenuti a riposo e sottoposti ad aerazione.

Il materiale sarà ritenuto accettabile qualora al termine della prova della durata di 28 cicli i campioni non abbiano subito alcuna entità d'ossidazione aderente e/o permanente.

Sarà eseguito, per le barriere di sicurezza, un prelievo ogni 3.000 m d'impianto; per le opere d'arte invece un prelievo pari al 5% sul numero totale delle opere da proteggere.

In ogni caso, per ogni tipologia dovrà essere effettuato almeno un prelievo.

Le campionature relative alla zincatura dovranno essere inviate al "Laboratorio Autostrade".

Per irregolarità relative alla qualità e spessori della zincatura, l'Appaltatore sarà tenuto a sostituire, a sue spese, i materiali in difetto con altri che corrispondano alle caratteristiche richieste.

I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

38.2.4.3. Penali per irregolarità d'esecuzione

Per quanto concerne il montaggio, l'Appaltatore sarà tenuto a sua cura e spese al completo rifacimento degli impianti o di parte di essi se questi non dovessero essere stati eseguiti conformemente a quando indicato nel Progetto e nelle prescrizioni tecniche descritte nel "Certificato d'omologazione".

38.3. Barriere prefabbricate a profilo New Jersey

La posa e rimozione di barriere prefabbricate a profilo "New Jersey" del tipo monofilare "provvisorie", occorrenti per deviazioni del traffico e/o delimitazione del cantiere, comprende il carico, trasporto e scarico degli elementi dal deposito al cantiere e viceversa, il montaggio e lo smontaggio delle piastre di collegamento e quant'altro occorre.

Gli elementi prefabbricati "definitivi" in conglomerato cementizio armato a profilo "New Jersey" saranno installati nello spartitraffico centrale e sui cordoli laterali del viadotto.

38.3.1. NJ in spartitraffico

Nello spartitraffico saranno installati elementi di tipo "monofilare" rinforzati in testa con barra dywidag: altezza 1 m, larghezza alla base 62 cm, larghezza in testa 13,6 cm, lunghezza standard 6,20 m; che saranno poggiati direttamente sul piano stradale collegandoli tra loro con una piastra d'acciaio zincato al piede ed in testa con un manicotto per le barre.

Eventuali elementi di chiusura avranno lunghezze diverse, così come saranno installati di forma diversa in corrispondenza dei varchi di scambio-carreggiata.

38.3.2. NJ bordo opera

Nei cordoli laterali del viadotto saranno posizionati elementi "bordo opera" predisposti d'ancoraggi per il corrimano di tipo strutturale: altezza 1 m, larghezza alla base 50 cm, larghezza in testa 24 cm, lunghezza nominale 3 e 6 m (lunghezza effettiva 2,98 e 5,98 m); che saranno ancorati ai cordoli con tiranti ed in testa muniti di una barra dywidag con manicotto.

Nelle zone di approccio all'opera d'arte stessa saranno posti elementi NJ ancorati su cordoli in conglomerato cementizio, di tipo II con $R_{ck} > 35$ MPa ed armati con acciaio B450C, allineati ai cordoli del viadotto.

38.3.3. Caratteristiche tecniche

Le caratteristiche di resistenza e comportamento previste, sono riferite a manufatti prefabbricati e quindi, per la loro accettazione così come per i controlli di qualità da eseguire, vale quanto precisato dalle Norme Tecniche emanate in applicazione dell'art. 21 della legge 5.11.1971 n. 1086 (D.M. in vigore).

Indipendentemente dall'accettazione dei materiali da parte della Direzione Lavori, l'Appaltatore resta totalmente responsabile della riuscita delle opere anche per quanto può dipendere dai materiali stessi.

38.3.4. Materiali

38.3.4.1. Conglomerato cementizio

Dovrà rispondere alle specifiche tecniche riportate nell'art. 20 del presente Capitolato Speciale. La resistenza caratteristica specifica del conglomerato cementizio (R_{ck}), sarà > 45 MPa ed il copriferro non inferiore a 2 cm.

Qualora sia richiesta la fornitura di barriere New Jersey realizzate in conglomerato cementizio leggero strutturale si dovranno seguire, per il confezionamento del suddetto conglomerato, i medesimi principi di quello ordinario, utilizzando argilla espansa strutturale tipo T6, con resistenza del granulo allo schiacciamento non inferiore a 70 kg/cm^2 (UNI EN 13055:2016); il conglomerato cementizio leggero dovrà avere una resistenza caratteristica $R_{ck} > 40$ MPa ed una massa volumica non superiore a quanto riportato negli elaborati progettuali. Tutti i materiali necessari per il suo confezionamento dovranno corrispondere, come caratteristiche, a quanto stabilito nelle leggi e regolamenti vigenti in materia.

38.3.4.2. Acciaio

L'armatura del conglomerato cementizio sarà in acciaio tipo B450C e barre a filettatura continua tipo "dywidag". Le piastre d'ancoraggio saranno in lamiera d'acciaio, zincata a caldo dopo lavorazione a norma ASTM A 123, protetta su ciascuna faccia da uno strato di zincatura non inferiore a $43 \mu\text{m}$ pari a 300 g/m^2 .

Sarà zincata anche la bulloneria di collegamento e serraggio. Il manicotto di collegamento delle barre dywidag sarà realizzato in acciaio PR8035MnPb10; dovrà essere a forma esagonale e composto di due pezzi collegati tramite un filetto maschio sinistrorso. Il manicotto dovrà essere protetto con processo di teflatura di spessore minimo $30 \mu\text{m}$ in tutte le sue parti (compresa la filettatura).

38.3.5. Posa in opera

Le modalità di posa in opera saranno concordate con la Direzione Lavori, alla quale l'Appaltatore sottoporrà il Progetto operativo.

38.3.5.1. Barriera spartitraffico "monofilare"

Gli elementi costituenti, la barriera "monofilare" situata nello spartitraffico saranno posti direttamente sul piano viabile curando l'allineamento planimetrico ed altimetrico, utilizzando per questo dei compensatori di quota con zeppe o quadrotti in policloroprene a durezza elevata. Successivamente si procederà al collegamento degli elementi con le piastre zincate, alla base, ed in testa con manicotto in acciaio per dare continuità alle barre dywidag.

Il manicotto sarà protetto con lubrificante ad alta stabilità termica (perdita di peso $< 3\%$ con riscaldamento a 473 K per 4 h) e ricoperto con guaina elastica di polipropilene trattato UV/CP (contro i raggi ultravioletti e gli agenti atmosferici) di colore grigio (RAL n. 7032) arrotolato sulla zona per proteggere il tutto, dotato d'idoneo sistema di chiusura, e tale da sembrare un tubo. All'interno del manicotto si dovrà porre un bloccante anaerobico costituito da una resina di poliaccrilidiesteri.

38.3.5.2. Barriera laterale parapetto

La posa degli elementi "da viadotto" costituenti la barriera laterale parapetto sarà indicativamente la seguente, iniziando i lavori dalla fine del viadotto rispetto alla direzione del traffico:

- predisposizione nel cordolo dei fori, avendo cura che il loro centro sia, dal bordo interno del cordolo (camera d'espansione), alle distanze prefissate;
- posizionamento longitudinale sul cordolo di due strisce di gomma espansa EPDM (Etilene Propilene Diene) a cellule chiuse tipo E75-2 di colore nero, come guarnizioni di tenuta all'acqua; lungo il lato interno, la striscia dovrà avere fori predisposti in corrispondenza delle camere d'espansione;

- posizionamento della barriera New Jersey con opportuni spessoramenti compensatori di quota con zeppe o quadrotti: in policloroprene a durezza elevata, al fine di aver un buon allineamento dei parapetti;
- collegamento degli elementi New Jersey tra di loro serrando il manicotto con le barre dywidag longitudinali. A tal fine l'Appaltatore dovrà colorare gli ultimi 7 cm della barra dywidag lato femmina con vernice rossa per consentire, in qualsiasi momento, il controllo del montaggio. Le misure potranno avere una tolleranza di ± 1 cm.
- perforazione, attraverso le scatole al piede della barriera, di un foro con corona diamantata delle caratteristiche come da Progetto;
- realizzazione del sottosquadro (camera conica che consente l'espansione delle alette del tirante) con lo strumento alesatore applicato alla carotatrice; l'esecuzione corretta della alesatura terminerà quando la boccola andrà a contatto con la rondella del fermo. L'ampiezza del sottosquadro, misurabile con idoneo strumento a "compasso", dovrà rispettare le indicazioni progettuali;
- posizionamento della guarnizione di tenuta all'acqua, in materiale di gomma espansa EPDM E75-2 a cellule chiuse di colore nero, tonda e con foro per il passaggio del tirante, attaccandola in corrispondenza del foro d'ancoraggio dei tiranti; detta guarnizione sarà pressata dalla rondella del tirante;
- l'introduzione del tirante, verificando che i segmenti per l'ancoraggio siano appoggiati al sottosquadro;
- spruzzo sulla testa del tirante di uno spray lubrificante a base di Bisolfuro Molibdeno per ridurre gli attriti del bullone;
- serraggio del dado con chiave dinamometrica, applicando un momento torcente pari a 180 Nm per garantire l'espansione; oppure, tramite apposito martinetto, procedere all'espansione del tirante quindi serrare il dado;
- bloccaggio del dado con un ulteriore dado autobloccante zincato a caldo di classe 8 provvisto internamente d'anello in plastica;
- chiusura della tasca, situata alla base della barriera New Jersey, con apposito tappo in polipropilene con copolimeri di colore grigio (RAL n.7032) resistente ai raggi ultravioletti e incollato con idoneo adesivo;
- installazione del montante e del corrimano strutturale, posizionando i manicotti di collegamento dopo il montante, rispetto al senso di marcia;
- protezione del manicotto realizzata con lubrificante ad alta stabilità termica (perdita di peso < 3% con riscaldamento a 473 K per 4 h) e ricopertura con guaina elastica di polipropilene trattato UV/CP (contro i raggi ultravioletti e gli agenti atmosferici) di colore grigio (RAL n. 7032) arrotolato sulla zona per proteggere il tutto, dotato d'idoneo sistema di chiusura in modo da sembrare un tubo. All'interno del manicotto si dovrà porre un bloccante anaerobico costituito da una resina di poliacrildiesteri.

38.3.5.3. Posa in corrispondenza dei giunti di dilatazione

In corrispondenza dei giunti di dilatazione dell'impalcato, gli elementi di barriera prossimi al giunto non dovranno essere accostati ma distanziati di 8 cm per consentire le dilatazioni dell'impalcato.

Di conseguenza i collegamenti tra i due elementi saranno realizzati con pezzi speciali che, pur mantenendo le stesse resistenze di quelli correnti, permetteranno spostamenti relativi tra le due barriere collegate:

- le due barre dywidag saranno collegate tramite un manicotto speciale e con due dadi di serraggio;
- alla base degli elementi N.J. si porranno due piastrine di collegamento, di cui una asolata e l'altra provvista di bullone, libera di scorrere relativamente all'altra.

Questi accorgimenti saranno applicati anche nella barriera con elementi monofilari sullo spartitraffico dell'opera d'arte.

Nelle barriere parapetto, inoltre, sarà ammessa la sovrapposizione di parte dell'elemento prefabbricato sul cordolo della campata successiva, con la sola aggiunta dei particolari elementi di collegamento, come appresso specificato.

Nel caso di semplice accostamento dei parapetti (per lunghezze d'impalcato fino a 80 m) la parte del prefabbricato "a sbalzo" sulla campata successiva, dovrà essere appoggiata su un doppio strato di neoprene da 3 mm con interposta una lamina di Teflon di spessore 0,5 mm avente funzione di strato lubrificante anti attrito.

L'alternanza d'elementi da 3 e 6 m nel posizionamento dovrà tener conto quindi della presenza dei giunti di dilatazione sul cordolo, in corrispondenza dei quali non sarà possibile effettuare il foro per l'ancoraggio.

Indicativamente i fori dovranno essere effettuati ad una distanza tra giunto e asse foro non inferiore a 25 cm.

A tal fine dovranno essere combinati insieme gli elementi da 6 e 3 m con la possibilità, nella zona di giunto, di avere un elemento a sbalzo sulla campata contigua, rinunciando al massimo ad un ancoraggio di base.

Per lunghezze d'impalcato superiori agli 80 m, si dovrà prevedere un dispositivo, in acciaio zincato, di copertura del vuoto della zona di giunto, sovrapposto ai parapetti in calcestruzzo e con il loro stesso profilo New Jersey.

Detti coprigiunti metallici, opportunamente dimensionati, potranno anche essere usati per chiudere "vuoti" fino ad un massimo di 1,0 m.

38.3.5.4. Verifiche

La Direzione dei Lavori dovrà:

- prima del montaggio delle barriere, verificare che la lunghezza degli spezzoni dywidag per il serraggio dei montanti del mancorrente sia di almeno 9 cm, in modo da consentire il completo serraggio dai dadi dywidag da 7 cm. In caso di non rispondenza, l'elemento di barriera non sarà installato e dovrà essere allontanato immediatamente dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore;
- al termine del montaggio delle barriere, verificare il serraggio dei tiranti con chiave dinamometrica impostata ad un valore di coppia così come previsto nella documentazione del produttore, al fine di accertare che l'esecuzione del sottosquadro sia stata fatta correttamente.

Se al momento del serraggio sarà riscontrato un cedimento dell'ancoraggio con eventuale fuoriuscita dello stesso, l'Appaltatore procederà al suo ripristino.

38.3.6. Barra antiribaltamento

Il corrimano strutturale posto sui parapetti laterali del ponte avrà funzioni di barriera al ribaltamento dei mezzi pesanti.

Se non diversamente specificato nella documentazione di cui alla marcatura CE della barriera, sarà realizzato in acciaio S355JR (calmato all'alluminio con almeno lo 0,02%) avente una percentuale di silicio compresa tra lo 0,15% e lo 0,25%, per essere idoneo alla successiva zincatura a caldo.

Il corrimano è costituito essenzialmente da:

- montante a doppio T di caratteristiche come da indicazioni progettuali, opportunamente sagomato, munito di piastra di base ed in testa d'anello, il montante sarà collegato alla barriera N.J. tramite dadi;
- elementi di tubo in acciaio senza saldatura per costruzioni meccaniche, con fori alle estremità; collegati con manico ricavato da tubo senza saldatura per costruzioni meccaniche, completo di due bulloni, con doppia foratura (4 fori);
- elemento terminale curvo, sia destro che sinistro, costituito da un tubo in acciaio senza saldature per costruzioni meccaniche, opportunamente sagomato, con piastra saldata per ancoraggio.

In corrispondenza dei giunti di dilatazione saranno installati manicotti speciali costituiti da tubo in acciaio senza saldatura per costruzioni meccaniche; completo di due fori, d'asole e di due bulloni con dadi.

Nei giunti di dilatazione per grandi escursioni, per i quali è prevista l'installazione di coprigiunti metallici, potrà essere necessario un montante aggiuntivo con tubi corrimano d'idonea lunghezza.

Il materiale dovrà provenire dalla produzione di Ditte di primaria importanza. Pertanto l'Appaltatore consegnerà alla Direzione dei Lavori una certificazione, rilasciata dal produttore dell'acciaio, attestante l'analisi chimica dell'acciaio e i risultati delle prove meccaniche per lotto di campioni; inoltre su ogni tubo di corrimano dovrà essere presente la marcatura a punzone del fabbricante.

38.3.6.1. Resistenze strutturali e protezione dei materiali

Se non diversamente specificato nella documentazione di cui alla marcatura CE della barriera, il corrimano strutturale dovrà rispondere alle resistenze da verificarsi con le seguenti prove e modalità:

Montante:

Il montante metallico incastrato alla base dovrà resistere ad una forza di 12 t applicata, su una striscia lunga 35 cm in corrispondenza dell'asse del montante (a 45 cm dal piano superiore del parapetto in calcestruzzo). Interasse dei montanti 3 m.

Corrimano:

Il tubo corrimano metallico appoggiato agli estremi con un interasse di 3 m dovrà resistere ad una forza 11,5 t applicata nella mezzeria su una striscia larga 35 cm (considerando il collegamento con il successivo elemento di corrente). Freccia massima ammissibile al centro di 3 cm.

Zincatura a caldo:

Tutti gli elementi costituenti il corrimano e suoi accessori dovranno essere zincati a caldo, a lavorazione ultimata, secondo le norme ASTM A 123.

Lo zinco per il bagno dovrà essere di qualità Zn 99,95.

La quantità minima di zinco su ogni superficie di 300 g/m², pari cioè ad uno spessore di 43 µm.

38.3.6.2. Posa in opera

Se non diversamente specificato nella documentazione di cui alla marcatura CE della barriera e/o nel manuale di installazione, il corrimano strutturale andrà fissato alla barriera tipo New Jersey mediante bloccaggio alla piastra già predisposta, secondo gli schemi riportati nei disegni di Progetto.

In particolare si dovrà aver cura che i manicotti di collegamento del corrimano siano posti dopo il montante, rispetto al senso di marcia.

I montanti e le piastre degli elementi terminali curvi saranno collegati ai ferri fuoriuscenti dagli elementi N. J. con bulloni, resistenza HV 10.9.

38.3.6.3. Prove sui materiali

La qualità dell'acciaio sarà verificata con le prove analitiche previste dalla norma UNI EN 10210-1:2006, fatta eccezione per la percentuale di alluminio che deve essere almeno pari allo 0,02% e del silicio che deve essere compresa tra lo 0,15% e lo 0,25%.

Per le verifiche di esecuzione e il controllo di spessori, la tolleranza massima sugli spessori deve essere del $\pm 5\%$; le verifiche saranno fatte misurando i materiali in più punti e saranno ritenute positive se tutte le misure rientreranno nei limiti delle prescrizioni e tolleranze richiesti.

La classe della bulloneria sarà controllata con le prove previste dalle Norme UNI EN ISO 898-2:2012.

Le caratteristiche del rivestimento a caldo di zinco dei tubi in acciaio sarà verificata secondo le seguenti prove:

- determinazione della qualità dello zinco mediante analisi chimica;
- determinazione della massa dello strato di zinco;
- determinazione dello spessore dello strato di zinco;
- determinazione della uniformità di spessore del rivestimento di zinco.

Indipendentemente dalla certificazione rilasciata dal Produttore, la Direzione Lavori potrà prelevare in qualsiasi momento campioni di tutti i materiali impiegati per sottoporli ad analisi e prove, tutte le volte che lo riterrà opportuno, presso Laboratori Ufficiali allo scopo di rendere soddisfatte tutte le prescrizioni richiamate nelle presenti Norme.

I risultati ottenuti in tali laboratori saranno i soli riconosciuti validi dalle parti ed esclusivamente ad essi si farà riferimento a tutti gli effetti dell'appalto.

Le prove saranno eseguite su una serie di campioni prelevati dal materiale fornito, in contraddittorio con un rappresentante dell'Appaltatore.

Qualora le prove eseguite su questa prima serie di campioni dessero risultati negativi, esse saranno ripetute su altre due serie e soltanto se tutte e due queste ultime avranno dato esito positivo il materiale sarà ritenuto idoneo, in caso contrario la partita dovrà essere sostituita a cura e spese dell'Appaltatore.

38.4. Barriere in acciaio a profilo New Jersey

38.4.1. Materiali

Le lamiere componenti la barriera saranno in acciaio del tipo S275JR .

I bulloni per i mutui collegamenti tra barriere dovranno essere in acciaio 8.8 a Norma UNI EN ISO 898-2:2012; i tubi del corrimano saranno collegati tra loro con manicotti tramite 2 bulloni M24 classe HV 10.9 a Norma UNI EN 14399-4:2005.

Il corrimano sarà realizzato con un tubo di acciaio S 355 J2G3 , elettrosaldato ERW scordonato, di lunghezza 2940 o 5940 mm, diametro esterno 139.7 mm e spessore 12,5 mm.

38.4.2. Zincatura

Sulle lamiere componenti la barriera e sul tubo corrimano si dovrà eseguire un processo di zincatura a caldo, per ottenere uno spessore di zinco di almeno 60 µm e un tasso superficiale di 450 g/m².

38.4.3. Verniciatura protettiva

La verniciatura protettiva delle superfici metalliche della barriera dovrà essere eseguita in stabilimento di produzione, previa pulizia della superficie con acqua e detergente esente da lanolina, con vernice monocomponente ad alto spessore tipo ICOSIT 5530 SIKA, contenente cariche inerti, pigmenti ed a base di una combinazione di PVC e resine acriliche con solventi, tale da essere una vernice tixotropica che mantiene lo spessore anche in corrispondenza degli spigoli; dovrà avere un'ottima resistenza all'aggressività chimica, in atmosfere industriali con piogge acide o basiche ed agli effetti dei raggi UV.

Tale prodotto dovrà essere applicato in due mani ad airless sulle superfici a vista della barriera (con esclusione del tubo corrimano e relativo manicotto di collegamento) per una quantità di 400-420 g/m² per avere a secco uno spessore di almeno 100 µm. Il colore da ottenere è il grigio RAL n. 7032.

Relativamente a detta verniciatura protettiva, è essenziale per il buon esito della fornitura che la protezione della lamiera abbia comunque una resistenza alla corrosione in nebbia salina, misurata secondo la Norma ASTM 8117, di almeno 1000 h (dopo 1000 h l'arrugginimento o la bollatura lungo l'incisione prevista non devono penetrare per più di 2 mm, con esclusione di qualsiasi altra alterazione visiva o di aderenza).

Tale requisito dovrà essere comprovato con la certificazione di prove, eseguite da un Laboratorio Ufficiale, su tre provini di lamiera di spessore 4 mm zincati a caldo e quindi protetti come sopra descritto; sulla certificazione dovrà comparire, oltre all'esito della prova, anche lo spessore dello strato protettivo.

La certificazione dovrà essere pronta e presentata (insieme ai tre campioni oggetto degli esami) in occasione del successivo collaudo dove si controllerà la conformità degli spessori della verniciatura sulle barriere collaudate con quelli certificati.

Resta salva la facoltà da parte della Direzione Lavori di prelevare altri provini da sottoporre ad eventuali ulteriori prove.

38.4.4. Collaudo delle barriere

All'approntamento delle barriere presso lo stabilimento di produzione e per quantitativi minimi non inferiori ad un terzo dell'intera fornitura o pari alla fornitura richiesta in cantiere di posa, sarà cura della Direzione Lavori richiedere il collaudo degli elementi approntati prima della posa in opera.

Il collaudo sarà effettuato a campione scegliendo a caso tre elementi di barriera ogni 200 approntati (per lotti inferiori si collauderanno comunque tre elementi) e sugli stessi sarà verificata l'osservanza delle prescrizioni tecniche previste ed in particolare il rispetto dei sei standard di qualità sotto riportati, per i quali si convengono due livelli di tolleranza come da tabella:

Tabella "STANDARD" E RELATIVE TOLLERANZE

	"STANDARD" SPESSORE RICHIESTO	LIVELLO DI TOLLERANZA ACCETTABILE
Spessore lamiera (≤ 4 mm)	valore nominale	0.10 mm
Spessore lamiera (da 6 a 8 mm)	valore nominale	0.15 mm
Spessore lamiera (> 8 mm)	valore nominale	0.25 mm
Spessore zinco su barriera	min. 60 μm	0 μm
Spess. zinco su tubo mancorrente	min. 60 μm	0 μm
Spessore verniciatura su superfici a vista (mantello)	min. 100 μm	0 μm

Nel caso in cui anche uno solo dei tre elementi di barriera superi alla verifica il livello di tolleranza (per uno o più Standards), il lotto sarà rifiutato.

In ogni caso sia il riscontro di difettosità superficiali della verniciatura, che la presenza di ondulazioni o irregolarità della superficie a vista della barriera, renderanno inaccettabile il lotto.

A collaudo positivo sarà rilasciato dalla Direzione Lavori un "Verbale di approntamento e collaudo" con la certificazione delle quantità di barriere approntate e le risultanze delle verifiche effettuate. Le barriere collaudate con esito positivo saranno quindi consegnate in cantiere per la posa in opera, che avverrà in analogia a quanto descritto, nel presente Capitolato Speciale, per le barriere in conglomerato cementizio.

38.5. Attenuatori frontali

Gli attenuatori dovranno essere testati secondo la norma EN 1317-3:2010. Gli attenuatori si dividono in redirettivi e non-redirettivi, nel caso in cui sia probabile l'urto angolato, frontale o laterale, sarà preferibile l'uso di attenuatori redirettivi. Particolare attenzione dovrà essere fatta alle zone di inizio barriera, in corrispondenza di una cuspide; esse andranno eseguite solo se necessarie in relazione alla morfologia del sito o degli ostacoli in esso presenti e protette in questo caso da specifici attenuatori d'urto. (salvo nelle cuspidi di rampe che vanno percorse a velocità 40 km/h).

Si useranno assorbitori a bags multiple in polietilene lineare rotostampato assemblati con funi di collegamento in acciaio e riempiti con sacche di appesantimento in acqua salata.

39. Recinzioni metalliche

39.1. Caratteristiche delle opere

Le recinzioni si distinguono in funzione della loro destinazione e posizione, nelle tipologie seguenti:

39.1.1. Recinzione laterale tipo R.1.A alta 1,22 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per i bordi laterali del corpo autostradale ed è costituita da una rete metallica in filo di acciaio, a maglie differenziate dell'altezza di 119,4 cm, sorretta da montanti costituiti da paletti di acciaio di sezione ad U, dell'altezza di 122 cm dal piano di campagna, posti mediamente ad interasse di 2,00 m.

Detta rete dovrà essere elettrosaldata, zincata e quando previsto, rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).

Ogni 30 m circa ed in corrispondenza di piccole deviazioni del tracciato, sarà posto un montante di controvento dotato di una saetta di sezione ad U, unita ad esso a mezzo di bulloncini zincati del tipo TDE M 8x25, completi di dado e rondella.

Ogni 100 m circa e nel caso di rilevanti variazioni angolari del tracciato, saranno posizionati montanti di caposaldo, uguali ai precedenti ma dotati di due saette, collegate al sostegno come sopra.

Ai suddetti montanti saranno fissati tre ordini di filo di irrigidimento in acciaio zincato e, se previsto, plasticato di color verde; a questi sarà fermata la rete mediante legature ogni 50 cm in modo che questa aderisca perfettamente e si presenti uniformemente tesa, senza ondulazioni o bombature.

I fili di tensione saranno legati ad ogni montante e tesi da tenditori ad occhiello in acciaio zincato o quando previsto, del tipo a molla e sfera di acciaio in monoblocco di zinco pressofuso, applicati ad ogni caposaldo. Ogni 100 m di recinzione saranno apposte targhette in alluminio con la scritta "Divieto di Accesso".

39.1.2. Recinzione laterale tipo R.1.B. alta 2,12 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per le stazioni - posti di manutenzione - parcheggi - depositi della Società - aree di servizio - sullo spartitraffico adiacente le aree di servizio, nella zona compresa tra gli scambi di carreggiata nei casi in cui il corpo stradale si trovi in prossimità di insediamenti residenziali, industriali o di viabilità ordinaria.

Sarà costituita da una rete delle medesime caratteristiche della precedente, a maglie differenziate, rivestita quando previsto, con una pellicola in PVC di color verde R.A.L. 6005, ma di altezza di 180,3 cm e sormontata da due ordini di corda spinosa, sovrapposti di 14,5 cm; la corda sarà composta da due fili di acciaio zincato con triboli a quattro punte distanziati fra loro di 10 cm e, quando previsto, plasticata di colore verde.

I montanti intermedi, di controvento e di caposaldo avranno altezza di 212 cm dal piano di campagna e saranno disposti come descritto per la rete del tipo R.1.A., uno o due saette completeranno il sistema di sostegno della recinzione.

La rete sarà fissata a quattro ordini di filo di irrigidimento e montata con le stesse modalità della precedente avendo cura di darla in opera perfettamente fissata e tesata.

Tutti gli altri componenti la recinzione: legatura, targhette, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno caratteristiche uguali a quelle descritte per la recinzione di tipo R.1.A.

39.1.3. Recinzione laterale tipo R.1.B. "FAUNISTICA" alta m 2,12

La recinzione "Faunistica" sarà uguale alla recinzione di tipo R.1.B. ad eccezione degli ordini di corda spinosa posti alla sommità della recinzione stessa, che saranno sostituiti da due ordini di filo liscio del tipo usato per i tenditori.

La recinzione "Faunistica" sarà installata nei bordi perimetrali della proprietà autostradale qualora il tracciato autostradale attraversi zone con presenza di ungulati o animali selvatici particolari: foreste, parchi Nazionali, aziende faunistiche e venatorie, enti produttori di selvaggina, zone adibite a ripopolamenti, ecc.

L'installazione di detta recinzione sarà eseguita prevalentemente nei tratti in trincea posti a monte della carreggiata dove il dislivello della scarpata favorisce il salto degli animali all'interno della carreggiata autostradale.

39.1.4. Recinzione laterale tipo R.2.A. alta 1,25 m con rete a maglie annodate

Sarà posta sui bordi laterali dei tratti autostradali montani o su terreni che presentano delle notevoli variazioni di pendenza.

Sarà composta da una rete a maglie annodate e differenziate, dell'altezza di 120,1 cm, con sostegni e saette delle stesse dimensioni della recinzione di tipo R.1.A.

La rete sarà realizzata con fili orizzontali continui, distanziati fra di loro e ad essi saranno fissati sulla stessa linea verticale n. 15 segmenti di filo aventi lunghezza uguale a quella delle maglie. I segmenti di filo verticali saranno avvolti con due spirali ai fili orizzontali continui.

I montanti di controvento, di caposaldo e gli accessori saranno disposti come quelli per la recinzione R.1.A., ma con diversa posizione dei fori per il fissaggio dei fili tenditori, delle saette e dei tenditori ad occhiello.

Ai montanti saranno fissati tre ordini di filo di irrigidimento ed a questi sarà fermata la rete mediante legature ogni 46 cm, in modo che si adatti perfettamente al profilo dei terreni di posa evitando così la presenza di ondulazioni o bombature di qualsiasi genere.

Tutti gli altri componenti la recinzione: legatura, targhette, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno caratteristiche uguali a quelle descritte per la recinzione di tipo R.1.A.

39.1.5. Recinzione laterale tipo R.3.A. alta 1,25 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per i bordi laterali del corpo autostradale.

Sarà costituita da una rete metallica in filo di acciaio a maglie differenziate di altezza di 119,4 cm, sorretta da montanti costituiti da paletti di acciaio dell'altezza di 125 cm dal piano di campagna, posti mediamente ad interasse di 2,50 m. Detta rete sarà elettrosaldata, zincata e quando previsto, rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).

Ogni 30 m circa ed in corrispondenza di piccole deviazioni del tracciato, sarà posto un montante di controvento dotato di una saetta, unita al sostegno a mezzo di un gancio zincato, oppure mediante staffe, collari e cappellotti. Le saette dovranno essere installate sulla stessa linea della rete.

Ogni 100 m circa e nel caso di rilevanti variazioni angolari del tracciato saranno posizionati montanti di caposaldo, uguali ai precedenti, ma dotati di due saette, anch'esse collegate al sostegno come descritto precedentemente.

I sostegni suddetti saranno costituiti da montanti tubolari in acciaio a sezione circolare con nervatura longitudinale sagomata per permettere il fissaggio della rete; saranno zincati a caldo, sia esternamente che internamente, con una massa minima di zinco pari a 140 g/m² e successivamente rivestiti con una pellicola in poliestere (PE) dello spessore minimo di 60 µm, di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR), oppure di colore grigio R.A.L. 7030 (in abbinamento alla rete di tipo zincata).

Dovranno avere inoltre un modulo di resistenza minimo di $W_x = W_y = 2,30 \text{ cm}^3$ per i sostegni intermedi e di $1,30 \text{ cm}^3$ per i sostegni di controvento e di caposaldo.

I sostegni saranno dotati di cappucci in alluminio o in plastica del colore previsto.

Il collegamento della rete ai sostegni avverrà mediante graffette a Clips-inox, poste in opera a mezzo di una speciale pinza sagomata, ogni 30 cm, in modo che la rete aderisca perfettamente e si presenti uniformemente tesa, senza ondulazioni o bombature.

I collegamenti tra montanti e saette saranno realizzati con bulloni in acciaio del tipo M 8X30 con un gancio opposto alla parte filettata, completi di bullone in acciaio, guarnizione e rondella in plastica, oppure mediante staffe o collari con i relativi cappellotti del colore previsto.

Ogni 100 m di recinzione saranno apposte targhette in alluminio con la scritta "Divieto di Accesso - I trasgressori saranno puniti a norma di legge".

39.1.6. Recinzione laterale tipo R.3.B. alta 1,85 m con rete a maglie elettrosaldate

Sarà ubicata in alcuni posti di manutenzione - parcheggi - depositi della Società - aree di servizio - sullo spartitraffico adiacente le aree di servizio - nella zona compresa tra gli scambi di carreggiata - nei casi in cui il corpo stradale si trovi in prossimità di insediamenti residenziali, industriali o di viabilità ordinaria.

Sarà composta da una rete del tipo R.3.A, ma di altezza 180,3 cm.

I montanti intermedi, di controvento e di caposaldo avranno l'altezza di 185 cm dal piano di campagna e saranno disposti come descritto per la recinzione R.3.A., protetti da un rivestimento dello stesso tipo, precedentemente descritto. Il loro modulo di resistenza minimo W_x e W_y sarà di $2,30 \text{ cm}^3$.

La rete sarà fissata ai montanti con le stesse modalità della precedente con graffette inox ogni 30 cm.

Tutti gli altri componenti la recinzione avranno le medesime caratteristiche descritte per la recinzione tipo R.3.A.

39.1.7. Recinzione di protezione sulle opere d'arte tipo R.9.A. alta 1,98 m

Questo tipo di protezione sarà montato sui cordoli delle opere d'arte a luce limitata con parapetto metallico nella cui area sottostante siano presenti centri abitati, viabilità ordinaria o insediamenti industriali ed il cui scopo è quello di impedire la caduta di oggetti.

Sarà composta da una rete fissata a dei montanti in acciaio, di sezione ad U, posti dietro i sostegni del parapetto, normalmente ad interasse di 1,33 m, ai quali saranno uniti mediante due fasce di nastro metallico e graffettate.

La rete, alta 193 cm, sarà fissata con legature a quattro ordini sovrapposti di fili di tensione ogni 50 cm, legati ad ogni montante e tesi con tenditori applicati ai montanti terminali e di controvento, come già descritto per la normale recinzione laterale.

Dovrà essere elettrosaldata, zincata, a maglie quadrate e dovrà essere posizionata alla distanza di 2,5 cm dal cordolo del manufatto. All'inizio ed al termine di ogni tratta saranno montate delle saette, di sezione ad U, ancorate con malta di cemento reoplastico in fori da predisporre nel coronamento dell'opera.

Tutti gli altri componenti la protezione: fili di tensione e legature, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno le stesse caratteristiche previste per le recinzioni laterali tipo R.1.A e R.1.B.

39.1.8. Recinzione antiscavalramento per Aree Di Servizio tipo R.4.B. alta 2,40 m

La recinzione tipo R.4.B. sarà ubicata nei confini della proprietà autostradale in prossimità delle aree di servizio.

La recinzione è costituita da pannelli di rete metallica a maglie rettangolari dell'altezza di 240 cm, sorretta da montanti scatolari opportunamente sagomati, posti ad interasse di 2,53 m.

I pannelli di rete sono composti da due elementi sovrapposti per ogni interasse, di dimensione diverse, realizzati per mezzo di fili verticali e piatti orizzontali elettrosaldati; il secondo pannello avrà la parte superiore inclinata di 45 gradi verso l'esterno per una lunghezza di 40 cm, in modo da impedire l'accesso di persone dall'esterno.

Saranno zincati, previa fosfatazione e rivestiti con una pellicola di poliestere dello spessore di 100 µm, di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).

Ai tubolari, di sezione quadrata, saranno fissati i pannelli di rete mediante staffe inox e bulloni di sicurezza antisvitamento, ogni 40 cm, in modo che aderiscano perfettamente ai montanti stessi. In caso di terreni ondulati i pannelli saranno posizionati in modo sfalsato mediante l'utilizzo di sostegni più lunghi.

I tubolari saranno zincati a caldo, sia esternamente che internamente con una massa minima di zinco pari a 130 g/m² per ogni faccia, previa fosfatazione: dovranno avere un modulo di resistenza pari a $W_x = W_y = 1,35 \text{ cm}^3$ e saranno infine rivestiti con una pellicola di poliestere dello spessore minimo di 60 µm, di colore verde RAL. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).

Per collegare tra di loro il pannello inferiore a quello superiore ed entrambi al sostegno saranno utilizzati giunti di collegamento in profilato in acciaio a C, zincati e rivestiti come i tubolari, del colore verde previsto, mentre i cappucci per i sostegni saranno realizzati in plastica, del colore verde previsto, di forma tale da poter essere inseriti perfettamente nei pali scatolari.

Il collegamento della rete ai sostegni avverrà a mezzo di staffe di sicurezza in acciaio pressofuso utilizzando speciali viti di sicurezza che saranno realizzate in acciaio INOX AISI 303 del tipo TT M 6x60; le suddette viti saranno formate da una semisfera filettata e da una testa esagonale che a serraggio avvenuto si distaccherà dalla parte sferica la quale invece rimarrà a vista.

I relativi copribulloni saranno realizzati in plastica a forma di asola e saranno collocati sulle cavità delle staffe di fissaggio in corrispondenza del bullone a mezzo di silicone, mentre le graffette in acciaio INOX, saranno impiegate per collegare i pannelli in caso di formazione di angolo acuto.

Per motivi di sicurezza, la recinzione dovrà essere installata in modo che la bulloneria e le staffe di fissaggio dei pannelli, rimangano all'interno della proprietà autostradale in modo da impedire eventuali manomissioni.

L'Appaltatore dovrà inoltre fornire tutti gli accessori necessari alla completa esecuzione del lavoro e in particolare nel caso di recinzione installata su tracciati con angoli acuti o ottusi, dovrà provvedere a fornire pali con forme particolari, graffe speciali e quanto altro occorra per avere l'opera rispondente alle necessità richieste.

I cancelli di sicurezza saranno realizzati secondo le prescrizioni, forme e dimensioni contenute nei disegni di Progetto.

Dovranno aprirsi verso l'interno della proprietà autostradale e dovranno essere muniti di serrature anti-trapano del tipo "kama" o di altro tipo che comunque dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.

Inoltre, le maniglie dovranno essere posizionate solo nella parte interna del cancello.

Ogni 100 m di recinzione saranno apposte le previste targhette in alluminio con la scritta "Divieto di Accesso - I trasgressori saranno puniti a norma di Legge".

39.2. Qualità dei materiali - Prove

39.2.1. Qualità dei materiali

1) Caratteristiche dell'acciaio.

I montanti e le saette impiegati per le recinzioni dovranno essere esenti da difetti come bolle di fusione e scalfitture e di tipo extra per spessori e finiture; dovrà essere della qualità UNI EN 10025 - S235 JR.

L'acciaio impiegato per la costruzione degli elementi metallici, dovrà avere inoltre attitudine alla zincatura, secondo quanto previsto dalle Norme NF A 35-303 : 1994 - Classe 1.

La rete, i fili di tensione e la corda spinosa saranno realizzati in acciaio crudo, con resistenza minima unitaria di rottura di 45 kg/mm², mentre i fili di legatura, in acciaio dolce, ad eccezione dei fili longitudinali della rete a maglie annodate, che dovranno avere una resistenza minima unitaria di rottura di 110 kg/mm².

2) Tolleranze dimensionali.

Nella costruzione dei profilati di acciaio formati a freddo si dovranno rispettare le prescrizioni e le tolleranze previste dalle norme UNI 7344. Per le tolleranze degli spessori dei profilati e della rete, sarà accettata una tolleranza massima di $\pm 0,05$ mm.

3) Zincatura delle reti, fili, corde spinose.

La rete, i fili e la corda spinosa saranno zincati a caldo secondo le caratteristiche della classe P (zincatura pesante). In particolare la quantità minima accettabile della massa di zinco dovrà essere di 230 g/m².

Il rivestimento protettivo della rete dei fili e della corda spinosa delle recinzioni sarà costituito da zinco di qualità Zn 99,95 oppure da una lega eutettica di zinco ed alluminio. In questo caso, la percentuale di alluminio presente nella lega, non dovrà superare il 5%.

4) Zincatura dei sostegni e delle saette tradizionali ad U.

Il rivestimento delle superfici dei profilati a freddo sarà ottenuto con zincatura a bagno caldo, il quale dovrà presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie e difetti, secondo le norme CNR-CEI n.7-6/VII 1968. Le quantità minime di rivestimento di zinco per unità di superficie sono di 350 g/m². Lo zinco impiegato per i rivestimenti dei profilati dovrà essere di qualità Zn 99,95.

5) Zincatura dei sostegni e delle saette tubolari a sezione circolare.

Il rivestimento delle superfici sia interne che esterne dei tubolari a sezione circolare sarà ottenuto con zincatura a bagno caldo o con processo sendzimir; dovrà presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie e difetti, secondo le norme CNR-CEI n.7-6/VII 1968.

Le quantità minime di rivestimento di zinco per unità di superficie sono di 140 g/m². Lo zinco impiegato per i rivestimenti dei profilati dovrà essere di qualità Zn 99,95.

Questi tipi di componenti saranno successivamente rivestiti con poliestere.

6) Zincatura dei pannelli e pali.

Il rivestimento delle superfici, sia interne che esterne, dei profilati formati a freddo sarà ottenuto con zincatura a bagno caldo; dovrà presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie e difetti. Le quantità minime di rivestimento di zinco per unità di superficie sono di 40 g/m² per i pannelli e di 130 g/m² per i pali.

Lo zinco impiegato per i rivestimenti dei profilati dovrà essere di qualità Zn 99,95.

Questi tipi di componenti saranno successivamente rivestiti con poliestere.

7) Fosfatazione.

I pannelli ed i pali per la recinzione di tipo R.4.B dovranno subire un processo di fosfatazione ai sali di zinco.

8) Rivestimento di protezione.

I pali e gli accessori della recinzione di tipo R.4.B e dei montanti a sezione circolare della recinzione di tipo R.3, saranno ricoperti con un film di poliestere dello spessore di 60 μ m mentre i pannelli con un film dello spessore di 100 μ m, di colore verde RAL 6005; le reti elettrosaldate saranno invece, quando previsto, ricoperte da un film in PVC dello stesso colore. Tali films dovranno essere perfettamente aderenti ad essi, resistenti all'azione da parte dei raggi ultravioletti ed infrarossi, alle variazioni di temperatura, essere non infiammabile e stabile nei colori.

La corda spinosa e i fili saranno zincati e rivestiti analogamente.

39.2.2. Prove sui materiali

1) Prove relative alle caratteristiche dell'acciaio e della bulloneria.

La qualità dell'acciaio sarà verificata con le prove previste dalle Norme UNI EN 10025.

Il controllo degli spessori, dimensioni e prescrizioni sarà fatto misurando i materiali in più punti e sarà ritenuto positivo se tutte le misure rientreranno nei limiti delle prescrizioni e tolleranze richiesti.

2) Prove di corrosione.

La rete, i fili e la corda spinosa saranno sottoposti alla prova di sollecitazione corrosiva, di 28 cicli per la rete tradizionale o di 20 cicli per la rete relativa alla recinzione di tipo R.4.B, in clima variabile di acqua condensa con atmosfera contenente anidride solforosa, secondo le Norme DIN 50018 SFW 1.0S (un litro di SO₂ per un volume totale della camera di 300 l). I relativi provini saranno depositi nell'apparecchio di "Kesternich" per la durata massima dei 28 o 20 cicli previsti.

Ogni ciclo avrà la durata di 24 h, suddiviso in due parti: nella prima parte, della durata di 8 h, i campioni saranno sottoposti alla sollecitazione dell'agente corrosivo composto da H₂O + SO₂; nella seconda parte i campioni saranno tenuti a riposo mediante aerazione degli stessi.

Il materiale sarà ritenuto accettabile qualora al termine della prova della durata dei cicli richiesti, i campioni non abbiano subito alcuna entità di ossidazione aderente e/o permanente.

La rete zincata rivestita con film in PVC sarà sottoposta alla prova di sollecitazione corrosiva, precedentemente descritta, dopo aver asportato chimicamente la pellicola di PVC.

Gli eventuali films di PVC di rivestimento della rete dovranno rispondere inoltre ai seguenti requisiti senza che al termine delle prove subiscano alcuna alterazione:

- Resistenza all'invecchiamento ponendo i campioni in forno a ventilazione forzata, alla temperatura di 80 ± 2 °C per 6 h secondo le Norme DIN 16938.
- Stabilità dei colori esponendo i campioni ad una sorgente luminosa UV di 2000 W per 24 h.
- Ciclaggio termico, ponendo i campioni a sbalzi di temperatura di ± 20 °C alternati in maniera rapida ogni ora.

Relativamente ai sostegni e alle saette tradizionali zincati con sezione ad U, le caratteristiche del rivestimento di zinco saranno verificate con le prove previste dalle Norme CNR - CEI n. 7-6/VII 1968 descritte di seguito:

- Determinazione della qualità dello zinco mediante analisi chimica.
- Determinazione della massa dello strato di zinco.
- Determinazione dello spessore dello strato di zinco.
- Determinazione della uniformità di spessore del rivestimento di zinco.
- Determinazione della aderenza dello strato di zinco.

Relativamente ai montanti e alle saette tubolari a sezione circolare zincate e rivestite in poliestere, dovranno essere sottoposti alla prova di sollecitazione corrosiva di 20 cicli in clima variabile di acqua condensa con atmosfera contenente anidride solforosa secondo le norme DIN 50018 SFW 1,0 S.

I relativi provini saranno depositi nell'apparecchio di "Kesternich" dopo l'esecuzione di un intaglio sulla pellicola di poliestere parallelo all'asse del sostegno per la durata massima di 20 cicli e testati come previsto per la rete.

La pellicola di poliestere di rivestimento dovrà rispondere ai seguenti requisiti, senza che al termine dei quali subisca alcuna alterazione:

- Prova alla nebbia salina secondo le Norme ASTM-B 117 resistenza fino a 1000 h.
- Prova di aderenza della pellicola di poliestere (PE) secondo le Norme DIN 53151 (GT=G).
- Prova di resistenza alla luce con lampade XE-NON 6000 W, nessuna alterazione dopo 2000 h.

Relativamente a tutti gli altri accessori, dovranno essere verificati con le norme e i criteri dei relativi settori di appartenenza e comunque nel rispetto delle norme già descritte.

39.3. Accettazione dei materiali

I materiali da impiegare nelle lavorazioni dovranno essere forniti da Produttori che dimostrino la disponibilità di un efficiente sistema per il controllo qualitativo della produzione. I materiali dovranno essere forniti da Produttori certificati secondo la UNI EN ISO 9001 in conformità a quanto previsto dalla Circolare del Ministero dei lavori Pubblici del 30/05/96 n.125 e successive modificazioni.

In ogni caso i materiali, prima della posa in opera, dovranno essere riconosciuti idonei ed accettati dalla Direzione dei Lavori; ciò stante l'Appaltatore resta totalmente responsabile della riuscita delle opere anche per quanto possa dipendere dalla qualità dei materiali stessi.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di svolgere ispezioni in officina per constatare la rispondenza dei materiali impiegati circa le attestazioni e la regolarità delle lavorazioni. La qualità dei materiali sarà verificata tutte le volte che questa lo riterrà opportuno. Di norma le campionature saranno eseguite con la cadenza descritta di seguito, tenendo conto che ogni prelievo sarà composto da un campione di ciascuno dei componenti della recinzione, prelevati in contraddittorio con un rappresentante dell'Appaltatore:

1) Prove relative alle caratteristiche dell'acciaio:

- un prelievo per ogni 5.000 m di impianto e comunque una prova per ogni partita pervenuta in cantiere.

2) Prove relative alle caratteristiche anticorrosive:

- un prelievo per ogni 3.000 m di impianto e comunque una prova per ogni partita pervenuta in cantiere.

Le campionature relative alla zincatura dovranno essere inviate dalla Direzione dei Lavori al "Laboratorio Autostrade" (Centro rilevamento dati e prove sui materiali), per essere sottoposte alle analisi di controllo.

Le campionature relative alle resistenze e tolleranze dell'acciaio e della bulloneria saranno invece inviate dalla Direzione dei Lavori presso un laboratorio qualificato a scelta della stessa Direzione Lavori. I risultati ottenuti in tali laboratori saranno i soli riconosciuti validi dalle parti e ad essi si farà riferimento a tutti gli effetti.

Qualora le prove eseguite su una serie di campioni risultasse fuori norma, esse saranno ripetute su ulteriori due serie e soltanto se i risultati di queste ultime avranno dato esito positivo il materiale sarà ritenuto idoneo; in caso contrario saranno applicate le penali di seguito elencate.

Per quanto concerne il montaggio, la corretta e regolare esecuzione dei lavori sarà accertata dalla stessa Direzione Lavori che potrà richiedere anche la demolizione dell'opera in caso di grave negligenza.

39.4. Modalità d'esecuzione

I lavori di posa in opera della recinzione si svolgeranno ai lati del corpo autostradale e delle sue pertinenze, lungo un tracciato che di norma seguirà il limite della proprietà autostradale, salvo disposizioni diverse.

L'Appaltatore dovrà predisporre per una fascia larga 1,00 m circa e per le tratte previste dal Progetto, il taglio della vegetazione sia erbacea che arbustiva di qualsiasi specie e forma, comprese le piante di alto fusto, lo spianamento e la sistemazione del piano di posa della recinzione.

I materiali rimossi dovranno essere di volta in volta allontanati dalle pertinenze autostradali a meno che la Direzione Lavori non disponga il loro reimpiego in sito.

I montanti, come le saette, dovranno essere ancorati al terreno con blocchetti di calcestruzzo o con cordoli di cemento armato, dimensionati fino a resistere senza visibile cedimento ad una spinta orizzontale di 60 kg, applicata sul paletto all'altezza di 1,00 m da terra mentre in caso di terreni rocciosi, strutture in calcestruzzo o pavimentazioni, saranno ancorati in fori di dimensioni adeguate, eseguiti preventivamente e successivamente riempiti di conglomerato cementizio reoplastico.

Al piede della rete e fino a coprire la prima maglia in basso, sarà eseguito un rinalzo con terra o altro materiale analogo.

In corrispondenza di fossi o tombini saranno riportati pezzi di rete verticali od orizzontali sistemati e fissati a chiusura del cavo del fosso o dell'imbocco del tombino; nel caso che la recinzione termini o inizi contro o sopra un muro di sostegno, la rete dovrà essere prolungata e fissata al muro mediante chiodi sparati in modo da impedire il passaggio o lo scavalco dello stesso.

Nel caso di sostituzione di tratti di recinzione obsoleta, è fatto obbligo che i lavori di posa in opera della nuova recinzione seguano immediatamente quelli di rimozione affinché non rimangano tratti non protetti o comunque varchi o passaggi aperti.

L'eventuale rimozione dei sostegni potrà avvenire ad esclusivo giudizio della Direzione Lavori, sia mediante il taglio alla base degli stessi, sia mediante la rottura in sito o l'asportazione dei blocchetti o dei cordoli di fondazione.

La misurazione della fornitura in opera o della rimozione delle varie tipologie di recinzione sarà eseguita per tratte continue comprese fra le due estremità e sarà valutata per il suo sviluppo in opera senza tener conto di eventuali sovrapposizioni.

39.5. Penali

Qualora le caratteristiche e la qualità dei materiali, non dovessero corrispondere ai limiti in precedenza indicati, la partita sarà ritenuta in penale e la Direzione Lavori procederà alla loro applicazione nel modo di seguito descritto:

1) Per irregolarità relative alla qualità dell'acciaio, spessori e dimensioni dei materiali e quanto altro possa concorrere anche in modo parziale a compromettere la resistenza strutturale degli impianti:

- in questo caso l'Appaltatore sarà tenuto a sostituire a sue spese i materiali in difetto con altri che rispondano alle caratteristiche richieste. I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

2) Per irregolarità relative alle caratteristiche delle protezioni anticorrosive dei materiali metallici od altro, che comunque non concorrano a compromettere la resistenza degli impianti:

- in questo caso si procederà all'applicazione di una sanzione pari a quelle indicate nella tabella seguente:

PENALI RELATIVE ALLE ZINCATURE	
Variazione percentuale di quantità o qualità anticorrosiva in meno, rispetto al richiesto	Sanzione percentuale da applicarsi sul prezzo/i relativo all'opera non a norma
Fino al 10% in meno	10%
Dal 10% al 20% in meno	15%
Oltre il 20% in meno	Sostituzione dei materiali in difetto

3) Per irregolarità relative alle modalità di esecuzione:

in questo caso l'Appaltatore è tenuto a sua cura e spese al completo rifacimento degli impianti o a parte di essi se questi non fossero stati eseguiti secondo le indicazioni progettuali o della Direzione Lavori.

40. Opere in verde

40.1. Generalità

Le presenti Norme regolano l'esecuzione:

- delle opere in verde per l'inserimento dell'autostrada nel paesaggio; della sistemazione a verde, nelle aree progettualmente previste, delle stazioni, delle aree di servizio e di parcheggio, dei punti singolari, dei reliquati, della banchina centrale spartitraffico;
- degli eventuali lavori preliminari per la preparazione delle zone d'impianto;
- dei lavori di manutenzione degli impianti a carico dell'Appaltatore fino al completo attecchimento delle piante, compresi delle sostituzioni delle essenze arboree per le eventuali fallanze.

40.2. Caratteristiche dei vari materiali

40.2.1. Terreno vegetale

Il terreno da fornire per il ricarico, la livellazione e le riprese d'aree destinate agli impianti, per il riempimento dell'aiuola centrale spartitraffico tradizionale od allestita con doppio N.J., dovrà essere a reazione neutra e quindi possedere un pH dell'estratto acquoso compreso fra 6,8 e 7,2.

Solo per questo parametro possono valere delle specificazioni diverse in ordine a particolari esigenze di pH per alcune specie vegetali.

Le caratteristiche tessiturali dovranno essere quelle di un terreno di "medio impasto" o "franco" o "terra a tessitura equilibrata" che si compone, in via indicativa, di:

	Diametro	(%)
sabbia	2 - 0,02 mm	35 - 55
limo	0,02 - 0,002 mm	25 - 45
argilla	< 0,002 mm	10 - 25

e di una frazione trascurabile d'elementi con diametro compreso fra i 2 e i 20 mm (scheletro).

I parametri chimici che devono essere sempre analizzati, dovranno invece possedere i "valori normali" che vengono di seguito indicati.

Analisi chimica	
	Valori "normali"
reazione	pH = 6,8 - 7,3
calcare totale	-
calcare attivo (%)	-
sostanza organica	2 %
azoto totale	N = 1,5 - 2 %
fosforo assimilabile	P ₂ O ₅ = 50 - 80 ppm *
potassio scambiabile	K ₂ O = 100 - 200 ppm *
magnesio scambiabile	50 - 100 ppm
ferro assimilabile	2,5 ppm
manganese assimilabile	1,0 ppm
zinco assimilabile	0,5 ppm
rame assimilabile	0,2 ppm
* Per il fosforo e il potassio alcuni laboratori esprimono i risultati in termini di P e K Tali risultati possono essere trasformati nei corrispondenti P ₂ O ₅ e K ₂ O moltiplicandoli rispettivamente per 2,3 e 1,2	

I "valori normali" della sostanza organica, del fosforo e del potassio definiscono le "sufficienze" per le colture arboree, ma possono anche variare per delle specifiche esigenze. Il calcare va considerato sia nel totale che come calcare attivo (in soluzione) in quanto influisce negativamente sull'assorbimento del ferro e dei fertilizzanti fosfatici (per retrogradazione).

Le deficienze riscontrate fra i dati dell'analisi ed i "valori normali", dovranno essere corrette con la somministrazione d'ammendanti e/o concimi secondo la risultanza d'appropriati calcoli.

La concimazione organica di base può essere effettuata in alternativa con letame maturo, con humus o con sottoprodotti organici come lettiere sfruttate nella coltivazione artificiale dei funghi, da scarti di lavorazione animale (cuoiattoli, cornungia, ecc.), dell'industria tessile (cascami di lana), di vinacce esauste, alghe, compost, ecc..

Per avere un quadro completo delle caratteristiche pedologiche sarà necessario sottoporre ad analisi, in numero adeguato, campioni di suolo che siano rappresentativi. È opportuno pertanto raccogliere campioni in punti diversi e per ciascun punto procedere al prelievo in:

- un solo orizzonte (0-200 mm) nel caso di rivestimenti erbacei;
- due diversi orizzonti (0-200 mm; 500-800 mm) nel caso d'impianti arbustivi e/o arborei.

I campioni prelevati ad una stessa quota ma in punti diversi devono essere mescolati in modo da ottenere un unico campione del peso indicativo di circa 2 kg. I campioni prelevati ed etichettati dovranno venire inviati a Laboratori Ufficiali per l'analisi fisico e chimica.

Si precisa inoltre che nel terreno vegetale non è ammessa la presenza di radici, d'altre parti legnose o di qualunque altro materiale o sostanza fitotossica.

40.2.2. Concimi minerali ed organici

I concimi sono utilizzati:

- per costruire nel terreno da fornire o sul quale si vuole effettuare un impianto, un'adeguata ed omogenea dotazione d'elementi nutritivi dimostratisi carenti alle analisi di Laboratorio; nel tal caso si parlerà di concimazione di fondo;
- per mantenere la funzione nutritiva del terreno proporzionalmente alle asportazioni, nel qual caso si parla di concimazione di copertura.

Gli elementi che risultano indispensabili sono N, P, K, Ca, MG, S: questi sono denominati macroelementi perché assorbiti in gran quantità.

Gli elementi richiesti in quantità minima sono invece chiamati microelementi e sono: Mn, B, Zn, Mo, Fe.

I concimi sono classificati in base a:

- lo stato fisico: si hanno concimi polverulenti, granulari e liquidi;
- il titolo: indica la percentuale in peso di sostanza attiva rispetto al prodotto commerciale;
- la reazione chimica e fisiologica: ci sono concimi acidi (es. perfosfato), alcalini (es. calciocianammide, scorie Thomas), o neutri che possono comportarsi come fisiologicamente acidi (es. solfato ammonico, cloruro di potassio) o fisiologicamente alcalini (es. nitrato di calcio o di sodio);
- il numero degli elementi apportati: quelli "semplici" portano al terreno un solo elemento (azotati, fosfatici e potassici); quelli "complessi" due o tre elementi (binari o ternari) in forma di granuli;
- la rapidità d'azione: possono essere differenziati in concimi a pronto effetto (es. nitrati) e a lento effetto (es. perfosfato, scorie Thomas). Ultimamente sono andati diffondendosi i concimi "azotati a lenta cessione" o "ritardati".

Questi concimi fissano l'azoto in modo graduale grazie a particolari accorgimenti presi in fase produttiva quali:

- impiego di sostanze a bassa solubilità;
- rivestimento dei granuli con materiali poco permeabili;
- incorporamento di paraffine, gelatine, argille, ecc.;
- aggiunta d'inibitori della microflora (es. ureasi).

I concimi da usare dovranno essere di marca nota sul mercato nazionale, avere titolo dichiarato e in caso di concimi complessi avere un rapporto, azoto - fosforo - potassio, precisato. Dovranno inoltre essere consegnati negli involucri originali di fabbrica.

I fertilizzanti organici (letame, residui organici vari, ecc.) dovranno essere forniti o raccolti solo presso fornitori o luoghi approvati dalla Direzione Lavori che si riserva comunque la facoltà di richiedere le opportune analisi, prima e durante la posa in opera.

Anche nel caso di fornitura di concimi organici industriali, questi dovranno essere consegnati negli involucri originali di fabbrica. La scelta e le condizioni d'impiego dei prodotti deve comunque essere approvata dalla Direzione Lavori.

40.2.3. Prodotti fitosanitari

La scelta e le condizioni d'impiego dei prodotti fitosanitari sono subordinate alle disposizioni legislative vigenti in materia e all'approvazione della Direzione Lavori. Tutti i prodotti dovranno comunque essere consegnati negli involucri originali di fabbrica.

Nel comparto della lotta antiparassitaria, a fronte dei problemi ambientali connessi ad un largo uso, o abuso, di prodotti antiparassitari, sono da preferirsi quei metodi d'intervento che sono denominati "lotta guidata" o "vigilata".

40.2.4. Materiale vivaistico

Con il termine materiale vivaistico s'individua tutto il complesso delle piante (alberi, arbusti, tappezzanti, ecc.) e delle sementi occorrenti per impieghi paesaggistici, inclusa la siepe centrale spartitraffico, per interventi biotecnici anti-inquinamento acustico.

Il materiale da fornire dovrà rispondere per genere, specie, compresa l'eventuale entità sottospecifica (varietà e/o cultivar) e dimensioni a quanto indicato nel Progetto.

Il materiale dovrà provenire da strutture vivaistiche dislocate in zone limitrofe o comunque assimilabili, da un punto di vista fitoclimatico, a quelle d'impianto al fine di garantire la piena adattabilità del materiale alle caratteristiche pedoclimatiche del luogo d'impiego.

Dette strutture vivaistiche devono essere dotate d'idonee organizzazioni di produzione nonché di collaudati centri di ricerca e sperimentazione nel settore forestale e nell'arboricoltura e di un ampio patrimonio di conoscenze ed esperienze tecnico-scientifiche.

Ciò al fine di garantire:

- un'opportuna e mirata sperimentazione, per individuare, nell'ambito dei vari lavori, le caratteristiche genetiche (provenienza, varietà, cultivar, cloni brevettati, ecc.) ottimali, in funzione delle utilizzazioni specifiche;
- l'ottimizzazione delle tecniche di moltiplicazione e d'allevamento, finalizzate sempre al soddisfacimento degli scopi prefissi.

Tutto il materiale vivaistico dovrà essere esente da attacchi parassitari (in corso o passati) d'insetti, malattie crittogamiche, virus, altri patogeni, deformazioni e/o alterazioni di qualsiasi natura che possano compromettere il regolare sviluppo vegetativo e il portamento tipico della specie, varietà e cultivar.

Il materiale vivaistico dovrà essere sempre fornito di dichiarazione, da effettuarsi su apposite Schede di Valutazione del Materiale Vivaistico, dalle quali risulti:

- vivaio di provenienza;
- genere, specie, eventuali entità sottospecifiche;
- origine;
- identità clonale per il materiale da moltiplicazione vegetativa;
- regione di provenienza per il materiale di produzione sessuale;
- luogo ed altitudine di provenienza per il materiale non proveniente dal materiale di base ammesso dalla normativa vigente;
- applicazione, nella fase di coltivazione in vivaio, di particolari tecniche d'allevamento che limitino e/o eliminino l'incidenza degli oneri manutentori.

L'apparato radicale di tutto il materiale vivaistico dovrà essere ricco di piccole ramificazioni e di radici capillari sane e, secondo quanto disposto nei documenti d'appalto, dovrà essere o a radice nuda, o racchiuso in contenitore (vaso, cassa, mastello di legno o in plastica) con relativa terra di coltura, o in zolla rivestita (paglia, plant plast, juta, rete metallica, fitocella).

L'apparato radicale dovrà comunque avere uno spiccato geotropismo positivo.

40.2.4.1. Alberi

Devono avere la parte aerea a portamento e forma regolari, simile agli esemplari cresciuti spontaneamente, sviluppo robusto, non filato e che non dimostri una crescita troppo rapida o stentata per eccessiva densità di coltivazione in vivaio, per terreno troppo irrigato, per sovrabbondante concimazione ecc..

Dovranno rispondere alle specifiche indicate nei documenti d'appalto per quanto riguarda le seguenti caratteristiche:

- circonferenza del tronco misurata ad un metro da terra;
- altezza totale;
- altezza d'impalcatura misurata dal colletto al ramo più basso;
- diametro della chioma misurato in corrispondenza delle prime ramificazioni per le conifere, a due terzi dell'altezza per le latifoglie, in corrispondenza alla proiezione a terra della chioma per i cespugli.

Gli alberi dovranno essere trapiantati un numero di volte sufficiente secondo le buone regole vivaistiche, con l'ultima lavorazione delle radici risalente a non più di tre anni.

Le forniture in contenitore costituiranno comunque titolo preferenziale anche per quelle per le quali è espressamente richiesta una fornitura in zolla o a radice nuda.

Le dimensioni dei contenitori e/o delle zolle, nel caso in cui sia espressamente richiesta la fornitura in tale forma, dovranno essere proporzionate alle dimensioni delle singole piante.

40.2.4.2. Piante esemplari

Con il termine "esemplari" s'intende far riferimento ad alberi ed arbusti di grandi dimensioni che somigliano, per forma e portamento, agli individui delle stesse specie cresciuti liberamente e quindi con particolare valore ornamentale.

Queste piante devono essere state opportunamente preparate per la messa a dimora; devono cioè essere state zollate secondo le necessità e l'ultimo trapianto o zollatura deve essere avvenuto da non più di due anni. La zolla deve essere stata imballata a perfetta regola d'arte (juta, rete metallica, doghe, casse, plant plast, ecc.) al fine di garantire un corretto e armonico sviluppo della pianta; tali involucri di protezione dovranno essere imprescindibilmente rinforzati, qualora le singole piante superino altezze di 3,50 m, con rete metallica, con pellicola di plastica porosa o altro materiale equivalente.

Le piante esemplari sono evidenziate a parte nei documenti contrattuali.

40.2.4.3. Arbusti, tappezzanti, rampicanti

Devono avere una massa fogliare ben formata e regolare a densità costante a decorrere dalla base; devono possedere un minimo di tre fusti a partire dal colletto e rispondere alle specifiche indicate nei documenti d'appalto per quanto riguarda altezza e/o diametro della chioma.

40.2.4.4. Sementi

Devono essere conformi al genere e specie richiesti nei documenti d'appalto.

Devono essere fornite nelle confezioni originali, sigillate e munite di certificato d'identità ed autenticità con l'indicazione del grado di purezza, di germinabilità e della data di scadenza stabilita dalle leggi vigenti.

La mescolanza delle sementi di specie diverse da quelle indicate nei documenti d'appalto, qualora non disponibili in commercio, dovrà essere effettuata alla presenza della Direzione Lavori.

40.2.5. Pacciamatura

È la tecnica agronomica che consiste nel ricoprire la superficie del suolo con materiali di varia natura, in modo da impedire o limitare lo sviluppo della vegetazione infestante e ottenere altri vantaggi.

I materiali utilizzabili per mettere in atto questa tecnica possono essere:

- incoerenti degradabili: corteccia di piante arboree resinose uniformemente sfibrata e sminuzzata in spezzoni di dimensioni comprese fra 30x10 mm e 70x30 mm, con un tasso d'umidità inferiore al 20%, libera da insetti e preventivamente trattata con prodotti antimicotici;
- incoerenti non degradabili: materiale lapideo tipo argilla espansa con granuli di dimensioni da 4 mm a 10 mm, inerte sia chimicamente che fisicamente, in grado di creare un campo isolante che mantenga stabile la temperatura e il tenore d'umidità del terreno.

La Direzione Lavori, su richiesta dell'Appaltatore, potrà autorizzare l'impiego di pacciame approvvigionato sfuso su autocarri a condizione che i campioni prelevati e sottoposti ad analisi di laboratorio risultino idonei all'impiego specifico.

40.2.6. Torba

Questo materiale, sia di provenienza estera che nazionale, dovrà avere reazione acida con pH non inferiore a 3,5. Deve inoltre presentarsi non eccessivamente umidificata, libera da erbe infestanti, formata in prevalenza da Sphagnum ed Eriophorum ed essere confezionata in balle compresse e sigillate.

40.2.7. Acqua

L'acqua per l'irrigazione d'impianto e per tutti gli altri usi manutentori deve essere assolutamente esente da fattori inquinanti che possono derivare da attività industriali e/o da scarichi urbani o essere costituiti da acque salmastre che per la presenza di sali in concentrazione eccessiva (salinità), o per loro natura (alcalinità), possono provocare danni alla vegetazione.

La Direzione Lavori provvederà a far valutare le caratteristiche chimiche dell'acqua.

40.2.8. Tappeti erbosi in strisce e zolle

Nel caso in cui fosse necessario il rapido inerbimento delle superfici, l'Appaltatore dovrà fornire zolle e/o strisce erbose costituite con le specie prative richieste nei documenti d'appalto (es. cotico naturale, miscuglio di graminacee e leguminose, prato monospecifico, ecc.).

Prima del trasporto a piè d'opera l'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori campioni del materiale che intende utilizzare; analogamente, nel caso che fosse richiesto del cotico naturale, l'Appaltatore dovrà prelevare le zolle soltanto in luoghi approvati dalla Direzione Lavori.

Le zolle erbose, a seconda delle esigenze, delle richieste e delle specie che costituiscono il prato, dovranno essere fornite in forme regolari rettangolari, quadrate o a strisce.

Al fine di non pregiudicarne la compattezza, le strisce dovranno essere consegnate arrotolate e le zolle in pallet; in ogni caso dovranno essere evitati danni dovuti alla fermentazione e alla mancata esposizione alla luce del materiale; in tal senso il materiale non dovrà essere lasciato accatastato o arrotolato.

Il materiale dovrà presentarsi completamente rivestito dalla popolazione vegetale e non dovrà presentare soluzioni di continuità. La larghezza del materiale dovrà essere di circa 50 cm con uno spessore di 2-4 cm per raccogliere la maggior parte dell'intrico di radici delle erbe che la costituiscono e poter trattenere tutta la terra vegetale.

40.2.9. Pali tutori e legature

Per fissare al suolo le piante arboree con altezza superiore o uguale ad 1 m l'Appaltatore dovrà fornire pali di sostegno (tutori) adeguati per numero, diametro ed altezza alle dimensioni delle piante. I pali tutori devono essere di legno, diritti, scortecciati, appuntiti dalla parte dell'estremità di maggior diametro. La parte appuntita dovrà essere resa imputrescibile per un'altezza di 100 cm circa.

In alternativa, su autorizzazione della Direzione Lavori, si potrà fare uso di pali di legno industrialmente preimpregnati di sostanze imputrescibili. Analoghe caratteristiche d'imputrescibilità dovranno avere anche i picchetti di legno per l'eventuale bloccaggio a terra dei tutori. Le legature in filo di ferro nudo non possono essere utilizzate; dovranno invece essere impiegati speciali collari in adatto materiale elastico (cinture di gomma, nastri di plastica, ecc.), oppure corda di canapa.

40.3. Esecuzione dei lavori

40.3.1. Prescrizioni generali

Tutti i lavori dovranno essere eseguiti a perfetta regola d'arte secondo il miglior magistero.

Tutte le opere non eseguite a perfetta regola d'arte secondo le prescrizioni impartite, dovranno essere demolite e ricostruite a cura e spese dell'Appaltatore.

Di qualsiasi operazione si tratti, ogni residuo prodotto deve essere debitamente smaltito all'esterno delle pertinenze autostradali in aree autorizzate, fatte salve le vigenti Norme di Legge, a meno di diverse disposizioni contrattuali o di un diverso impiego in loco dei soli residui vegetali (interramento, pacciamatura), privo di controindicazioni e comunque autorizzato dalla Direzione Lavori.

È fatto assoluto divieto di bruciare i residui delle lavorazioni in conformità alle Leggi e ai Regolamenti vigenti in materia.

In ogni caso al termine di qualsiasi operazione il piano viabile e la segnaletica orizzontale devono risultare ripuliti da ogni residuo vegetale o di terra.

Nell'esecuzione dei lavori l'Appaltatore dovrà:

- rispettare tutti i picchetti posti in opera, compresi quelli che sono serviti da capisaldi nella costruzione del corpo autostradale; curarne la conservazione ricollocando quelli che eventualmente possano essere manomessi durante il corso dei lavori previsti;
- provvedere ad eseguire tutti gli interventi necessari per il regolare smaltimento delle acque di pioggia e/o d'irrigazione onde evitare erosioni superficiali e/o ristagni che possano danneggiare gli impianti.

All'atto della consegna dei lavori ed in conformità a quanto previsto dai documenti d'appalto sarà effettuata la delimitazione delle aree da sistemare a verde e dell'aiuola centrale spartitraffico da impiantare, prendendo come riferimento le progressive chilometriche dell'autostrada.

40.3.2. Preparazione delle zone d'impianto

Prima di effettuare gli impianti l'Appaltatore è tenuto ad eseguire le operazioni preliminari di seguito specificate.

Solo per gli impianti di cui ai successivi artt. 41.3.5 e 41.3.6 le operazioni necessarie alla preparazione delle zone d'impianto appresso indicate, sono comunque a carico dell'Appaltatore.

40.3.2.1. Pulizia generale del terreno

Qualora nell'area oggetto dell'intervento sia presente della vegetazione indesiderata e/o materiali di risulta (laterizi, pietre, calcinacci, materiali estranei, ecc.) l'Appaltatore provvederà ad eliminare completamente tali elementi di disturbo alle operazioni d'impianto.

In particolare gli interventi sulla vegetazione indesiderata, sia essa arborea od arbustiva, saranno eseguiti nel rispetto delle "prescrizioni di massima e di Polizia Forestale territorialmente competente".

Per il taglio delle sole piante arboree latifoglie, è richiesto anche la rimozione della ceppaia.

Questa avverrà con impiego di trivella trituratrice avente diametro minimo di 0,50 m, per una profondità di 0,70 m, allo scopo di evitare l'assoluto ricaccio di polloni; l'Appaltatore dovrà provvedere, successivamente, al ripristino del profilo naturale del terreno.

Nel corso della pulizia generale del sito d'impianto, ove i documenti contrattuali lo prevedano, l'Appaltatore dovrà provvedere a recuperare e/o conservare, anche con interventi di dendrochirurgia, eventuali piante di particolare valore estetico esistenti nell'area da sistemare.

Contemporaneamente allo sgombero del materiale legnoso di risulta, si dovrà effettuare anche lo sgombero delle ramaglie, delle frasche e del materiale estraneo presente.

L'Appaltatore, per il trasporto e il successivo conferimento a discarica dovrà attenersi a quanto disposto dalle norme vigenti in materia di Smaltimento dei Rifiuti.

40.3.2.2. Lavorazione del terreno

Qualora le condizioni dell'area e/o la valenza ed il tipo d'impianto lo richiedano, il Progetto prevederà interventi di preparazione agraria del terreno dove andrà eseguito l'impianto.

Si dovrà provvedere a lavorare il terreno fino ad una profondità massima di 30-40 cm. La lavorazione dovrà di norma essere eseguita con mezzi meccanici e potrà essere una semplice fresatura o un intervento d'areazione o decompattamento con "ripper".

Nel corso di quest'operazione l'Appaltatore dovrà rimuovere gli eventuali ostacoli sotterranei (sassi, pietre, radici, ecc.) che potrebbero impedire la corretta esecuzione dei lavori, provvedendo anche ad accantonare e conservare, su ordine della Direzione Lavori, eventuali preesistenze naturali con particolare valore estetico (rocce, massi, ecc.) e tutti gli altri materiali che possano essere utilizzati nella sistemazione.

L'esecuzione delle lavorazioni avverrà in periodo d'andamento climatico favorevole, in funzione anche della natura del terreno il quale si deve trovare in tempera (40-50% della capacità totale per l'acqua).

40.3.2.3. Correzione, Ammendamento, Concimazione di fondo e impiego di Fitofarmaci

In occasione della lavorazione l'Appaltatore dovrà incorporare nel terreno, a mezzo d'interventi leggeri (30-40 cm di profondità), le sostanze (correttivi, ammendanti, concimi per concimazioni di fondo, fitofarmaci) necessarie.

Le sostanze usate dovranno essere trasportate in cantiere nella confezione originale della fabbrica e risultare comunque a titolo o principio attivo ben definito e in caso di concimi complessi, avere il rapporto azoto-fosforo-potassio chiaramente indicato.

Prima dell'esecuzione degli interventi l'Appaltatore è tenuto a darne tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori affinché questa possa disporre per eventuali controlli in merito ai prodotti e alle modalità di lavoro.

40.3.3. Tracciamenti

Dopo aver eseguito le operazioni di preparazione e comunque prima della messa a dimora delle piante, l'Appaltatore sulla scorta dei disegni di Progetto, predisporrà, a sua cura e spese, la picchettatura delle aree d'impianto segnando con picchetti la posizione nella quale dovranno essere eseguite le piantagioni singole quali alberi, arbusti ed altre piante e tracciando sul terreno il perimetro delle piantagioni omogenee (tappezzanti, siepi, macchie d'arbusti rimboschimenti, ecc.).

Prima di procedere alle operazioni di piantagione, dovrà comunque ottenere il benestare della Direzione dei Lavori.

40.3.4. Esecuzione degli impianti

40.3.4.1. Trasporto del materiale vivaistico

Il trasporto del materiale vivaistico deve essere effettuato con tutte le precauzioni necessarie, affinché giunga sul luogo d'impiego nelle migliori condizioni.

Il tempo intercorrente fra il prelievo in vivaio e la messa a dimora deve essere il più breve possibile e anche in questo caso devono comunque essere prese tutte le precauzioni necessarie per la conservazione delle piante e per evitare traumi o disseccamenti, nonché danni da gelo.

40.3.4.2. Preparazione del materiale vivaistico prima della messa a dimora

Prima della messa a dimora le eventuali piccole e limitate lesioni del tronco dovranno essere curate nei modi più opportuni.

Per il materiale da fornirsi a radice nuda occorre sottoporre le radici ad una moderata potatura, in modo tale da eliminare quelle lesionate, disseccate, morte o contorte, rinnovare e migliorare i tagli eseguiti in vivaio e asportare il fittone (se presente) eseguendo in tutti i casi tagli netti su tessuti sani.

Nel caso che il materiale sia fornito in contenitori o in zolla, è necessario rimuovere i contenitori o gli eventuali involucri della zolla, eliminare le radici danneggiate o malformate e rimuovere parte del suolo periferico del pane di terra per consentire un miglior contatto fra lo stesso ed il terreno di riempimento della buca.

40.3.4.3. Messa a dimora del materiale vivaistico

Le buche per l'impianto del materiale vivaistico devono essere predisposte prima dell'arrivo del materiale stesso ed avere le dimensioni indicate nel Progetto.

Nelle buche predisposte per la messa a dimora di piante arboree con altezza superiore o uguale a 1,00 m, e prima del loro posizionamento, andranno collocati i tutori.

Il tutore deve affondare di almeno 0,30 m oltre il fondo della buca.

In rapporto alla pianta il tutore deve essere posto in direzione opposta al vento dominante.

Per piante arboree con altezza superiore o uguale a 3,00 m, in funzione del volume della chioma, può rendersi necessaria un'armatura formata da più paletti, opportunamente controventati alla base con ulteriori paletti infissi saldamente nel terreno e sporgenti circa 0,20 m dal livello del terreno.

Qualora si dovessero presentare problemi di natura particolare (mancanza di spazio, esigenze estetiche, ecc.) i pali di sostegno, su autorizzazione della Direzione Lavori, potranno essere sostituiti con ancoraggi in corda d'acciaio muniti di tendifilo.

Sul fondo della buca aperta per la messa a dimora di ciascuna delle categorie di cui si compone il materiale vivaistico, dovrà quindi essere posto del terreno vegetale, con l'esclusione di ciottoli e/o di materiali comunque impropri per la vegetazione, sul quale sarà sistemato l'apparato vegetale.

Tutte le categorie di materiale vivaistico devono essere collocate nella buca in modo tale che il colletto si trovi a livello del fondo della conca d'irrigazione.

Il terreno da utilizzare per il definitivo riempimento della buca, dovrà essere mescolato con un adeguato quantitativo di concimi minerali complessi, del tipo azotati a lenta cessione o ritardati e concime organico, o torba nei quantitativi necessari.

La compattazione del terreno di riempimento dovrà essere eseguita con cura e per strati successivi in modo da non danneggiare le radici, non squilibrare la pianta, che deve restare dritta e non creare sacche d'aria.

La terra al piede della pianta va inoltre sistemata in modo tale da formare intorno al colletto una piccola conca (formella) d'irrigazione.

Per favorire il compattamento del terreno di riempimento ed il perfetto assestamento dello stesso attorno alle radici, si dovrà irrigare abbondantemente la pianta messa a dimora attraverso l'apposita conca. Come indicazioni di massima, la quantità d'acqua necessaria alle diverse categorie di soggetti vegetali, per questo tipo d'irrigazione, sono le seguenti:

Tipologia vegetale	altezza del materiale	volume di acqua / individuo
alberi	oltre i 3,00 m	35 - 50 l
alberi	fino a 3,00 m	10 - 15 l
piantine forestali, arbusti	-	5 - 8 l

Le legature fra la pianta arborea e il tutore dovranno essere disposte in modo che attraverso la loro azione, il tutore serva d'appoggio alle piante. La legatura più alta va quindi disposta di norma a circa 0,20 m al di sotto delle prime ramificazioni, la più bassa ad un metro dal suolo.

Per evitare danni alla corteccia è indispensabile interporre, fra tutore e fusto, un idoneo cuscinetto antifrizione in materiale adatto. A livello della chioma dovranno essere eliminati i rametti danneggiati, troppo deboli, molto vicini, avendo cura di stabilire un equilibrio tra la porzione aerea e quella radicale ed eseguendo un taglio di formazione della chioma, in modo da conferire la forma desiderata rispettando l'habitus naturale della specie. Dopo il trapianto, la pianta deve risultare ben ferma così da poter radicare regolarmente senza il pericolo di rottura delle radici sottili di nuova formazione.

40.3.5. Impianto di tappeti erbosi e/o zolle

Prima della messa a dimora dei tappeti erbosi l'Appaltatore deve preparare un adeguato letto di posa per il tappeto stesso.

Il terreno dovrà essere lavorato per una profondità di almeno 15 cm, debitamente liberato da qualsiasi materiale di rifiuto (pietrame, cocci, radici, ecc.) e dovrà risultare finemente sminuzzato ed opportunamente livellato.

Contemporaneamente a tali lavorazioni l'Appaltatore dovrà effettuare la somministrazione di almeno 5 q/ha di concime ternario (N - P - K) a titolo 10 - 10 - 15.

Il materiale, sia esso in strisce che in zolle, dovrà essere disposto a file, con giunti sfalsati tra fila e fila, in modo da non presentare soluzioni di continuità fra striscia e striscia o fra zolla e zolla; in tal senso l'Appaltatore dovrà provvedere allo spandimento di un'opportuna quantità di terriccio (composto con terra di coltivo, sabbia e torba) al fine di sigillare il tappeto erboso nei punti di giunzione, compattando il tutto con battitura o rullatura così da risultare perfettamente assestato.

Inoltre l'Appaltatore, a seconda dell'epoca d'impianto e a prescindere dall'andamento stagionale, dovrà provvedere ad un'abbondante irrigazione d'impianto, assicurando un minimo di 20-25 l/m² così da ottenere un completo assestamento del tappeto posto in opera.

40.3.6. Semine di prati

La realizzazione del manto erboso potrà essere eseguita con metodo secco (semina manuale o meccanica) o con metodo umido (idrosemina con attrezzature a pressione).

- Metodo secco: l'Appaltatore è tenuto a provvedere alla preparazione del terreno su cui sarà eseguita la semina; questo dovrà risultare debitamente liberato da qualsiasi materiale di rifiuto (pietrame, cocci, radici, ecc.) e finemente sminuzzato.

Contemporaneamente a tali lavorazioni l'Appaltatore dovrà somministrare almeno 5 q/ha di concime binario (P - K) a titolo 18-20 e procedere alla semina del miscuglio, opportunamente mescolato, nel quantitativo e nelle specie previste dai documenti contrattuali. Successivamente il terreno dovrà essere sottoposto a leggera rastrellatura manuale o meccanica per favorire l'interramento del concime e del miscuglio, seguita da un'opportuna rullatura per la perfetta adesione dei materiali con il terreno.

Su pendii leggeri o superfici pianeggianti si può ricorrere alla semina meccanizzata. A germinazione avvenuta, l'Appaltatore è tenuto a somministrare almeno 2 q/ha di concime azotato con titolo 15/16.

L'Appaltatore è tenuto a dare tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori, affinché questa possa effettuare l'eventuale prelievo di campioni e possa verificare la qualità e la quantità prescritta, restando comunque a suo carico le eventuali operazioni di risemina, nel caso che la germinazione non avvenisse in modo regolare ed uniforme.

- Metodo umido o idrosemina: in tutte le situazioni che per giacitura, per le insufficienti caratteristiche fisico-chimiche dei terreni e per la scarsa accessibilità, nelle quali è difficoltoso o sconsigliabile l'impiego del metodo secco, i documenti contrattuali prescriveranno l'idrosemina.

L'Appaltatore procederà al rivestimento di tali superfici mediante lo spargimento meccanico a mezzo d'idrosemiatrice a pressione, in grado di effettuare l'irrorazione a distanza, con diametro degli ugelli tale da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.

Con l'idrosemina s'irrorerà una miscela in soluzione acquosa costituita da:

- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- miscela di sementi nel quantitativo e specie previsti nel Progetto;
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nel terreno nelle fasi iniziali di sviluppo;
- concime organico e/o inorganico nella quantità e qualità prevista nei documenti contrattuali;
- altri ammendanti e inoculi nella quantità e qualità prevista nei documenti contrattuali.

La miscelazione dei componenti dovrà avvenire in loco, onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna, alla presenza della Direzione Lavori.

Anche per questo metodo, l'Appaltatore è tenuto a dare tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori, affinché questa possa effettuare il prelievo di campioni e possa verificarne la qualità e la quantità prescritta, restando in ogni

modo a suo carico le eventuali operazioni di risemina, nel caso che la germinazione non avvenisse in modo regolare ed uniforme.

40.3.7. Rimboschimento con semenzali e impianto di talee

Sulle superfici preparate e concimate come ai precedenti punti, l'Appaltatore procederà all'impianto di semenzali o talee, secondo le previsioni di Progetto e/o le prescrizioni della Direzione Lavori, in ragione di cinque/sei piantine per metro quadrato, disposte a quinconce su file parallele al ciglio strada.

L'Appaltatore è libero di effettuare l'impianto nel periodo che riterrà più opportuno, tenuto conto naturalmente del tempo previsto per l'ultimazione dei lavori, restando comunque a suo carico l'onere della sostituzione delle fallanze.

L'impianto potrà essere fatto a mano od a macchina, comunque in modo tale da poter garantire l'attecchimento ed il successivo sviluppo regolare e rapido.

Prima della messa a dimora delle piantine a radice nuda, l'Appaltatore avrà cura di regolare l'apparato radicale, rinfrescando il taglio delle radici ed eliminando le ramificazioni che si presentassero appassite, perite o eccessivamente sviluppate, impiegando forbici a doppio taglio ben affilate.

Sarà inoltre cura dell'Appaltatore trattare l'apparato radicale con una miscela di terra argillosa e letame bovino diluita in acqua.

L'Appaltatore avrà cura di approntare a piè d'opera il materiale vivaistico perfettamente imballato, in maniera da evitare fermentazioni e disseccamenti durante il trasporto.

Le piantine o talee dovranno presentarsi in stato di completa freschezza e con vitalità necessarie al buon attecchimento.

Negli impianti di talee, queste dovranno risultare del diametro minimo di 1,5 cm, di taglio fresco ed allo stato verde e tale da garantire il ripollonamento.

Qualora i materiali non rispondessero alle caratteristiche di cui sopra la Direzione Lavori n'ordinerà l'allontanamento dal cantiere.

40.3.8. Protezione scarpate in trincea con stuoie biodegradabili paglia e fibre vegetali

Su scarpate in trincea, precedentemente preparate (asportazione di pietre, radici e vegetazione infestante, regolarizzazione del terreno) e seminate, l'Appaltatore stenderà le stuoie, srotolandole lungo le linee di massima pendenza, sovrapponendole sui bordi longitudinali per almeno 10-15 cm ed interrando sui bordi superiore ed inferiore in trincee della profondità di almeno 20 cm.

Le stuoie, costituite da una stuoia di paglia e fibre vegetali contenuta fra due reti di polipropilene del peso di 1,00 kg per metro quadrato, dovranno essere ancorate al terreno mediante picchetti in ferro tondo Ø 8 mm, sagomati ad U, della lunghezza di 50 cm, disposti lungo le linee di sovrapposizioni delle stuoie, in ragione di due picchetti per metro quadrato.

40.3.9. Protezione di scarpate in trincea mediante stuoie in materiale termoplastico

Preliminarmente l'Appaltatore dovrà regolarizzare le scarpate asportando pietre, radici e vegetazione infestante, colmando le buche e spianando i rilievi.

Procederà quindi alla stesa della stuoia costituita da monofilamenti in poliammide resistente ai raggi UV, aggrovigliati e termosaldati.

La stuoia è strutturata in due strati tra loro termosaldati nei punti di contatto: lo strato superiore a maglia tridimensionale e quello inferiore a maglia piatta, per uno spessore complessivo non inferiore a 18 mm e peso a metro quadrato di 0,40-0,45 kg.

Le stuoie dovranno essere srotolate lungo le linee di massima pendenza, sovrapponendole sui bordi longitudinali per almeno 10 - 15 cm ed interrando sui bordi superiore ed inferiore in trincee della profondità di almeno 20 cm.

Dovranno aderire perfettamente al terreno di posa ed esservi ancorate con picchetti in ferro tondo del diametro di 8 mm, sagomati ad U, della lunghezza di 50 cm, disposti lungo le linee di sovrapposizione delle stuoie, in ragione di due picchetti per metro quadrato.

Completata la posa in opera, le stuoie dovranno essere interrare con uno strato di terra vegetale dello spessore medio di 5 cm che dovrà intasare completamente gli alveoli della struttura.

40.3.10. Rivestimento di scarpate in roccia con rete metallica

Le scarpate di scavi in roccia dovranno essere rivestite con rete metallica ad alta resistenza a maglia esagonale a doppia torsione, in filo d'acciaio zincato del diametro di 3 mm. Ogni partita di rete dovrà essere sottoposta a controlli secondo il disposto delle presenti Norme; la quantità di zinco per metro quadrato di superficie zincata dovrà risultare uguale o superiore a 270 g.

La rete dovrà essere stesa sulle scarpate disponendo i teli secondo le linee di massima pendenza; dovrà essere ancorata in sommità entro un cordolo in conglomerato cementizio di tipo III con Rck > 25 MPa, della sezione di 20 x 30 cm, corrente per tutto lo sviluppo del rivestimento; intorno all'armatura del cordolo, costituita da un tondo in acciaio, dovrà essere ripiegata la rete.

I teli dovranno essere accuratamente legati tra di loro nei punti di giunzione con filo d'acciaio zincato del diametro uguale al filo della rete, così da dare continuità al rivestimento.

Si dovrà provvedere quindi all'ancoraggio della rete alla parete mediante cambre in tondini d'acciaio zincato della lunghezza di almeno 30 cm e del diametro di 16 mm, posti in opera entro fori di profondità minima di 20 cm, sigillati con malta di cemento. La frequenza degli ancoraggi in parete dovrà essere in media di uno per metro quadrato di rete; alla base del rivestimento dovrà essere realizzata una fila d'ancoraggi tra loro distanti mediamente un metro. Nell'esecuzione dei fori l'Appaltatore dovrà avere cura di posizionarli nei punti dove la roccia si presenta più sana e compatta.

40.4. Manutenzione degli impianti e cure colturali

Dopo aver eseguito i lavori previsti nei documenti d'appalto, l'Appaltatore dovrà eseguire a sua cura e spese, tutta una serie di lavori di manutenzione e di pratiche colturali, atte a garantire la piena efficienza degli impianti per un periodo non inferiore a 2 stagioni vegetative dall'ultimazione dei lavori, comprensivi anche degli oneri per la sostituzione delle eventuali fallanze.

In particolare si precisa che le specie prescelte per la sistemazione in argomento sono adatte alla specifica zona fito-climatica attraversata dal tronco autostradale e pertanto dovranno essere allevate e governate rispettando la forma naturale delle specie stesse, senza ricorrere a particolari forme di potatura ed allevamento a meno che non sia stato espressamente richiesto dai documenti d'appalto.

Durante il periodo di manutenzione, l'Appaltatore dovrà offrire tutta la propria esperienza professionale, al fine di ottenere un impianto per quanto possibile perfetto, effettuando tutte le cure colturali e di manutenzione, senza che la Direzione dei Lavori debba sollecitare di volta in volta i diversi interventi che si rendessero necessari.

Per questo motivo l'Appaltatore dovrà attenersi, nel modo più scrupoloso, alla migliore tecnica che consenta di garantire appieno, l'attecchimento ed il rapido sviluppo delle piante collocate a dimora e la buona riuscita di tutti i lavori eseguiti.

Le pratiche colturali che dovranno essere eseguite dall'Appaltatore, con la tecnica più razionale e con la più sollecita tempestività, sono le seguenti:

- A - per la manutenzione di piante arboree, arbustive, rampicanti, tappezzanti e degli "esemplari"
 - 1 - Sostituzione fallanze;
 - 2 - Ripristino conche d'irrigazione, rinalzi delle piante e ripristino tutorazioni e ancoraggi;
 - 3 - Potature e spollonature;
 - 4 - Scerbature e sarchiature.
- B - per la manutenzione dei prati seminati e dei tappeti erbosi a strisce e/o zolle
 - 5 - Taglio delle erbe nelle zone seminate e tosatura dei tappeti erbosi;
 - 6 - Rinnovo parti difettose nelle zone seminate e nei tappeti erbosi.
- C - per la manutenzione sia delle piante arboree, arbustive, rampicanti, tappezzanti e degli "esemplari" sia dei prati seminati dei tappeti erbosi a strisce e/o zolle e delle relative zone d'impianto

- 7 - Concimazioni chimiche;
- 8 - Trattamenti anticrittogamici e insetticidi;
- 9 - Adacquamenti;
- 10 - Assolcature e ripristino danni causati da erosione.

40.4.1. Sostituzione delle fallanze

Le piante che per qualsiasi ragione non avessero attecchito dovranno essere sostituite, a cura e spese dell'Appaltatore, con soggetti della stessa specie e/o entità sottospecifica. Le dimensioni delle piante impiegate per le sostituzioni delle fallanze dovranno essere superiori a quelle previste in Progetto e poste in opera al momento dell'impianto e comunque tali da ottenere, con le piante non fallite e aventi un diverso sviluppo di quello che avevano inizialmente, un insieme omogeneo, identico come struttura, a quello previsto in Progetto. La sostituzione delle fallanze dovrà avvenire alla prima stagione favorevole all'impianto, dopo che si saranno verificate le fallanze stesse.

A tale fine la Direzione dei Lavori, prima del riposo invernale, provvederà in contraddittorio con l'Appaltatore all'accertamento delle piante morte e alla definizione delle altezze d'impiego. L'Appaltatore stesso avrà cura di effettuare immediatamente lo sgombero delle piante fallite per evitare dubbi sulle sostituzioni da eseguire.

40.4.2. Ripristino conche d'irrigazione, rinalzi e ripristino tutorazioni e ancoraggi

Le conche d'irrigazione, realizzate al piede delle piante all'atto della messa a dimora, devono essere tenute costantemente efficienti e pulite e se necessario ripristinate.

Anche i tutori, che per qualsiasi ragione venissero ad essere manomessi o resi inservibili, dovranno essere sostituiti. Parimenti dovranno essere controllati i sistemi di legatura agli ancoraggi, garantendo la costante efficienza dei pali tutori e l'incolumità delle piante dal rischio di ferite e sgraffiature. L'Appaltatore deve inoltre provvedere al rinalzo delle piante e al ripristino della loro verticalità.

40.4.3. Potature e spollonature

Oltre alle normali potature da effettuarsi al momento dell'impianto per equilibrare la parte aerea con quella radicale, l'Appaltatore avrà cura di effettuare nei momenti opportuni gli interventi di potatura di formazione, di taglio di rami secchi e rimonda di parti ammalate e di spollonatura dei succhioni, il tutto al fine di equilibrare lo sviluppo delle piante.

40.4.4. Scerbature e sarchiature

Il terreno attorno alle piante poste a dimora dovrà risultare costantemente libero da erbe infestanti per una superficie media di 1 m² per ogni pianta arbustiva, tappezzante e rampicante e di 2 m² per ognuna di quelle a portamento arboreo.

Per le sole piante poste a dimora a semplice o doppio filare nell'aiuola centrale spartitraffico, la fascia di terreno sgombra da erbe infestanti non dovrà mai risultare inferiore a 1 m² per metro lineare di siepe.

a) Le operazioni saranno di scerbatura nel caso d'impianti di siepe spartitraffico allestita in doppio New Jersey e comunque d'impianti in cui sia stata realizzata una pacciamatura. Le scerbature dovranno essere eseguite ogni volta che sarà necessario per mantenere le zone sopraccitate prive d'erbe infestanti.

b) Le operazioni saranno di sarchiatura in tutti gli impianti diversi da quelli citati al precedente punto a). Le sarchiature dovranno essere eseguite ogni qualvolta il terreno di coltura si presenta costipato, riarso, poco aerato e/o coperto di vegetazione infestante.

40.4.5. Taglio delle erbe nelle zone seminate e tosatura dei tappeti erbosi

L'Appaltatore è obbligato ad effettuare:

- lo sfalcio nelle zone in cui è stata eseguita la semina dei prati;

- la tosatura nelle zone in cui è stato impiantato un tappeto erboso in strisce e/o zolle.

Le operazioni di sfalcio delle zone in cui è stata effettuata la semina dei prati dovranno essere eseguite per mantenere l'erba ad un'altezza media non superiore a 25 cm. Il taglio deve essere eseguito a raso del terreno, ossia a pochi centimetri sopra il colletto delle piante.

Per l'esecuzione degli sfalci, l'Appaltatore dovrà impiegare attrezzature con testate a martelletti che triturino l'erba in spezzoni della lunghezza massima di 50 mm e la distribuiscano uniformemente sulla superficie d'intervento.

Il tappeto erboso dovrà essere mantenuto costantemente libero da erbe infestanti e l'altezza dell'erba mantenuta entro un minimo di 5 cm e un massimo di 10 cm con le opportune tosature.

Subito dopo ciascuna tosatura l'Appaltatore avrà cura di effettuare una passata di rullo leggero da prato.

Almeno per ogni tre tosature o con maggior frequenza, se necessario, l'Appaltatore dovrà altresì effettuare spandimenti di concime minerale ternario complesso nel quantitativo di almeno 0,50 q/ha.

Sia nel caso di sfalci che di tosature la Direzione dei Lavori potrà prescrivere all'Appaltatore di effettuare gli interventi, atti a mantenere gli standard fissati, anche a tratti discontinui senza che questo possa costituire motivo di richiesta d'indennizzi particolari da parte dell'Appaltatore stesso.

40.4.6. Rinnovo parti difettose prati seminati e dei tappeti erbosi

Le superfici seminate o impiantate con tappeto erboso che per qualsiasi ragione presentino delle fallanze, una crescita irregolare, difettosa o comunque insufficiente, dovranno essere riseminate o impiantate di nuovo dall'Appaltatore, nel periodo e nelle condizioni climatiche più opportune.

40.4.7. Concimazioni chimiche

Oltre alle concimazioni minerali ed organiche previste negli articoli inerenti la concimazione di fondo e messa a dimora del materiale vivaistico, l'Appaltatore avrà cura di somministrare concimi a pronto effetto, preferibilmente ad assorbimento fogliare, qualora lo stato vegetativo delle piante messe a dimora possa pregiudicare l'attecchimento delle singole piante e comunque la riuscita dell'impianto.

40.4.8. Trattamenti anticrittogamici ed insetticidi

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire con tempestività i trattamenti anticrittogamici ed insetticidi, sia profilattici che terapeutici, non appena ci siano i sintomi di una qualsiasi patologia e/o di danni dovuti ad insetti. Qualora se ne presenti la necessità l'Appaltatore dovrà inoltre provvedere alla disinfestazione ed all'allontanamento d'insetti ed animali anche rifugiati nel terreno.

Le attrezzature impiegate per queste operazioni dovranno essere del tutto compatibili con la sicurezza della viabilità autostradale e conformi alle Leggi vigenti in materia.

L'Appaltatore assume ogni responsabilità per il mancato intervento, per l'adozione di fitofarmaci non adatti, per il cattivo uso dei prodotti dovuto alla negligenza degli operatori o comunque per l'impiego di fitofarmaci senza una giustificazione tecnica profilattica.

40.4.9. Adacquamenti

Anche se le piante previste sono state scelte per la particolare zona fitoclimatica attraversata dall'autostrada, quindi adatte all'ambiente e da allevare senza particolari artifici, non è escluso che, specialmente nelle prime fasi d'impianto, sia necessario ricorrere a adacquamenti di soccorso. Questi saranno fatti nel modo più tempestivo, in abbondanza e senza che la Direzione dei Lavori sia costretta ad emanare particolari disposizioni al riguardo. Sarà a carico dell'Appaltatore il reperimento, il trasporto dell'acqua d'irrigazione e tutto quanto occorre per la somministrazione e distribuzione.

40.4.10. Assolcature e Ripristino danni causati da erosione

Affinché le acque piovane o d'irrigazione possano agevolmente defluire o penetrare nel terreno uniformemente senza provocare danni per erosioni, ruscellamenti, smottamenti ecc., l'Appaltatore è tenuto ad eseguire delle opportune assolcature. L'Appaltatore è comunque tenuto a ripristinare e conguagliare le aree oggetto di sistemazione a verde nel caso in cui si verificano danni per erosioni, ruscellamenti, smottamenti ecc..

41. Murature

41.1. Norme generali

I tipi e gli spessori delle murature sono quelli indicati in Progetto.

I laterizi, il pietrame ed i blocchetti in calcestruzzo dovranno essere bagnati all'atto dell'impiego fino a sufficiente saturazione. Dovranno essere messi in opera in corsi regolari con commessure ben riempite di malta.

Prima di dare inizio alla esecuzione delle murature dovrà essere richiesto il benestare della Direzione Lavori sulla idoneità del piano d'appoggio.

Murature nelle quali dovesse riscontrarsi l'impiego di materiali scadenti o difetti d'esecuzione saranno rifiutate, restando a carico dell'Appaltatore l'onere per la demolizione e il successivo rifacimento.

Dovrà essere curato in ogni particolare l'esecuzione di spigoli, sguinci, spalle, mazzette, strombature, incassature, immorsature, canne, piattabande, pilastri, pilastrini, lesene, ecc..

Dovranno essere lasciati i necessari fori, tracce, incavi, canalizzazioni per il passaggio e l'installazione d'impianti d'ogni tipo e degli scarichi, per la posa in opera dei controtelai di norma in legno d'abete e degli infissi, per gli ancoraggi di strutture, per i rivestimenti e per quant'altro sia posto in opera dopo l'esecuzione delle murature.

Quanto sopra allo scopo di evitare lo scalpellamento o la demolizione anche parziale della muratura, il cui onere in ogni caso deve ritenersi a totale carico dell'Appaltatore.

L'Appaltatore dovrà adottare i provvedimenti ritenuti più opportuni per proteggere le murature dal gelo nel periodo invernale.

Le dosature dei materiali componenti le malte dovranno essere eseguite con mezzi capaci d'esatta misurazione che l'Appaltatore dovrà fornire e mantenere efficienti a sua cura e spese.

L'impasto dei materiali dovrà essere ottenuto con idonei mescolatori meccanici.

Gli impasti dovranno essere preparati solamente nelle quantità necessarie per l'impiego immediato. I residui impasti che non avessero, per qualsiasi ragione, immediato impiego, dovranno essere portati a rifiuto.

41.2. Murature di mattoni

I mattoni, all'atto dell'impiego dovranno essere abbondantemente bagnati per immersione sino a sufficiente saturazione.

Essi dovranno essere messi in opera a regola d'arte, con le commessure alternate in corsi regolari; saranno posati sopra uno strato di malta e premuti sopra di esso in modo che la malta rimonti all'ingiro e riempia tutte le commessure.

La larghezza delle commessure non dovrà essere maggiore di 1 cm, né minore di 0,5 cm. Si dovrà iniziare e proseguire la costruzione in modo uniforme, onde assicurare collegamenti perfettamente addentellati e solide immorsature tra le varie parti, evitando la formazione di eccessive sporgenze.

La malta di allettamento avrà classe di resistenza a 28 d $> 28/35$ MPa e sarà dosata con minimo 400 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento $< a 0,5$ che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.

In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.

La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.

Per la muratura da eseguirsi a paramento a vista, si dovrà aver cura di scegliere, per le facce esterne, i mattoni di migliore cottura, a spigoli vivi, meglio formati, di colore uniforme, da disporre con perfetta regolarità di piani a ricorrenze ed alternando con precisione i giunti verticali. I laterizi dovranno essere conformi a quanto previsto nell'art. relativo ai materiali del presente Capitolato.

41.2.1. Murature di laterizi pieni e forati, per fabbricati

I laterizi dovranno essere messi in opera a regola d'arte, legati con malta bastarda composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa, in corsi regolari con commisure di larghezza non superiore a 1 cm né inferiore a 0,5 cm.

Si dovrà iniziare e proseguire la costruzione in modo uniforme, onde assicurare collegamenti perfettamente addentellati e solide immorsature tra le varie parti, evitando la formazione di eccessive sporgenze.

Nel caso delle murature in laterizi forati, dovranno essere impiegati mattoni pieni per l'esecuzione di mazzette, sguincci, angoli.

41.2.2. Murature a faccia-vista, per fabbricati

Le murature da eseguire a «faccia vista» dovranno iniziare almeno 20 cm al di sotto del piano finito del marciapiede o della pavimentazione esterna.

Dovranno usarsi mattoni stampati (pressati) con facce a vista sabbiolate, di prima scelta, integri, con tagli e spigoli netti, di colore uniforme.

Le commisure, perfettamente orizzontali, dovranno essere eseguite inserendo in corso d'opera un tondino $\varnothing=8$ mm, da togliere una volta eseguito il ricorso.

Tutti i giunti saranno stilati con malta di cemento.

Si dovrà porre la massima cura nella suddivisione dei ricorsi in modo tale che l'ultimo vada a combaciare esattamente contro le travi o i cordoli superiori e che i giunti verticali, perfettamente allineati secondo disegni, risultino con mezza bugna alternata in corrispondenza di angoli e di mazzette.

Quando previsto in Progetto, le piattabande di porte e finestre dovranno essere eseguite con mattoni posti a coltello.

41.2.3. Murature ad intercapedine, per fabbricati

Saranno costituite come segue:

- in laterizi: parete esterna dello spessore di una testa; parete interna in foglio;
- in blocchetti forati di conglomerato di argilla espansa: dosati a 200 kg di cemento tipo 42,5, parete esterna dello spessore di 12 cm; parete interna di 8 cm;

legate con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa.

La tipologia dei materiali impiegati e la larghezza dell'intercapedine tra le pareti esterne ed interne sono quelli indicati in Progetto.

In corrispondenza degli angoli, delle spalle di porte e finestre, degli incroci con strutture di spina, la muratura dovrà essere piena per una lunghezza minima pari ad una volta e mezzo gli spessori.

Detto provvedimento, con muratura piena, dovrà inoltre essere adottato come collegamento tra il tamponamento esterno e quello interno, ogni qualvolta la lunghezza della intercapedine dovesse superare 2 m e dove indicato nei disegni esecutivi.

41.2.4. Murature in blocchetti forati prefabbricati, per fabbricati

- a - Blocchetti in calcestruzzo di cemento vibrocompresso legati con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa:
- di tipo normale, da ricoprire con intonaco;
 - di tipo impermeabilizzato mediante additivazione del calcestruzzo, da lasciare a faccia vista con giunti stuccati e stilati a cemento, con anche la malta legante additivata con idrorepellente.
- b - Blocchetti in conglomerato di argilla espansa, del tipo strutturale di densità 600÷650 kg/m³, dosato a 200 kg di cemento tipo 42,5 per metro cubo di impasto, legati con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa: di tipo normale o impermeabilizzati, come descritto al precedente punto a).

Quando previsto in Progetto, i fori verticali dei blocchetti dovranno essere intasati con calcestruzzo di tipo II con classe di resistenza > 20/25 MPa ed eventualmente armati con ferri tondi; la muratura sarà provvista di armatura orizzontale mediante l'inserimento, a ricorsi alterni, di scalette in acciaio costituite da ferri longitudinali e ferri trasversali intervalati tra loro.

Le murature da eseguire a «faccia vista» dovranno iniziare almeno 20 cm al di sotto del piano finito del marciapiede o della pavimentazione esterna.

Le commesure, perfettamente orizzontali, dovranno essere eseguite inserendo in corso d'opera un tondino $\phi=8$ mm, da togliere una volta eseguito il ricorso.

Tutti i giunti saranno stilati con malta di cemento.

Si dovrà porre la massima cura nella suddivisione dei ricorsi in modo tale che l'ultimo vada a combaciare esattamente contro le travi o i cordoli superiori e che i giunti verticali, perfettamente allineati secondo disegni, risultino con mezza bugna alternata in corrispondenza di angoli e di mazzette.

Quando previsto in Progetto, le piattabande di porte e finestre dovranno essere eseguite con mattoni posti a coltello.

41.3. Murature di pietrame a secco

La muratura di pietrame a secco dovrà essere eseguita con pietre ridotte col martello alla forma il più possibile regolare, restando assolutamente escluse quelle di forma rotonda.

Le pietre saranno collocate in opera in modo che si colleghino perfettamente fra loro, scegliendo per i paramenti quelle di maggiori dimensioni, non inferiori a 20 cm di lato e le più adatte per il migliore combaciamento.

Si eviterà sempre la ricorrenza delle commesure verticali.

Nell'interno della muratura si farà uso delle scaglie soltanto per appianare i corsi e riempire gli interstizi fra pietra e pietra.

Per i cantonali si useranno le pietre di maggiori dimensioni e meglio rispondenti allo scopo. La rientranza delle pietre del paramento non dovrà mai essere inferiore all'altezza del corso. Inoltre si disporranno frequentemente pietre di lunghezza tale da penetrare nello spessore della muratura.

A richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà lasciare opportune feritoie regolari e regolarmente disposte, anche in più ordini, per lo scolo delle acque.

41.4. Murature di pietrame e malta

La muratura di pietrame con malta cementizia dovrà essere eseguita con elementi di pietrame delle maggiori dimensioni possibili e, ad ogni modo, non inferiori a 25 cm in senso orizzontale, 20 cm in senso verticale e 30 cm di profondità.

Per i muri di spessore 40 cm si potranno avere alternanze di pietre minori.

Le pietre, prima del collocamento in opera dovranno essere diligentemente pulite e ove occorra, a giudizio della Direzione Lavori, lavate.

Nella costruzione della muratura le pietre dovranno essere battute col martello e rinzeppate diligentemente con scaglie e con abbondante malta così che ogni pietra resti avvolta dalla malta stessa e non rimanga alcun vano od interstizio.

La malta avrà classe di resistenza a 28 d $> 25/30$ MPa e sarà dosata con minimo 350 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento $< a 0,5$ che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.

In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.

La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.

Nel paramento ad opera incerta, il pietrame dovrà essere scelto diligentemente e la sua faccia vista dovrà essere ridotta col martello a superficie approssimativamente piana.

Le facce di posa e combaciamento delle pietre dovranno essere spianate e adattate col martello, in modo che il contatto dei pezzi avvenga in tutti i giunti per una rientranza non minore di 8 cm.

Nel paramento a mosaico greggio, le facce viste dei singoli pezzi dovranno essere ridotte, col martello a punta grossa, a superficie piana poligonale; i singoli pezzi dovranno combaciare fra loro regolarmente, restando vietato l'uso delle scaglie.

La muratura a corsi regolari dovrà progredire a strati orizzontali da 20 a 30 cm di altezza con pietre disposte in modo da evitare la corrispondenza delle commessure verticali fra due corsi immediatamente sovrastanti. In tutte le specie di paramento, la sigillatura dei giunti dovrà essere fatta raschiando preventivamente le connesure fino a conveniente profondità per purgarle della malta e delle materie estranee, lavandole a grande acqua e riempiendo poi le commesure stesse con nuova malta, curando che questa penetri bene comprimendola e lisciandola con apposito ferro, in modo che il contorno dei corsi sui fronti del paramento, a lavoro finito, si disegni nettamente e senza sbavature.

Nelle facce viste saranno impiegate pietre lavorate secondo il tipo di paramento prescritto e nelle facce contro terra saranno impiegate pietre sufficientemente piane e rabboccate con malta in modo da evitare cavità.

Nelle murature contro terra saranno lasciate apposite feritoie secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

41.5. Muratura in pietra da taglio

Prima di cominciare i lavori l'Appaltatore dovrà preparare i campioni dei vari generi di lavorazione della pietra da taglio e sottoporli, per l'approvazione, alla Direzione Lavori.

Qualunque sia il genere di lavorazione delle facce viste, i letti di posa e le facce di combaciamento dovranno essere ridotti a perfetto piano e lavorati a grana fine. Non saranno tollerate né smussature a spigoli, né cavità nelle facce, né masticature o rattoppi.

La pietra da taglio che presentasse tali difetti sarà rifiutata e l'Appaltatore sarà in obbligo di farne l'immediata sostituzione, sia che le scheggiature od ammanchi si verificino al momento della posa in opera, sia dopo e sino al collaudo. Le forme e dimensioni di ciascun concio in pietra da taglio dovranno essere perfettamente conformi ai disegni dei particolari di Progetto ed alle istruzioni che, all'atto della esecuzione, fossero eventualmente date dalla Direzione Lavori.

Inoltre, ogni concio dovrà essere lavorato in modo da potersi collocare in opera secondo gli originali letti di cava.

Per la posa si potrà fare uso di zeppe da togliere immediatamente quando la malta rifluisca nel contorno della pietra battuta a mazzuolo sino a prendere la posizione voluta.

La malta di allettamento avrà classe di resistenza a 28 d $> 28/35$ MPa e sarà dosata con minimo 400 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento $< a 0,5$ che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.

In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.

La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.

Occorrendo, i diversi conci dovranno essere collegati con grappe ed arpioni di bronzo saldamente suggellati entro apposite incassature praticate nei conci medesimi.

Le commessure delle facce viste dovranno essere profilate con cemento a lenta presa, diligentemente compresso e lisciato mediante apposito ferro.

41.6. Muratura in pietrame e conglomerato cementizio

La muratura di conglomerato cementizio con paramento esterno in pietrame sarà realizzata con conglomerato cementizio di tipo II, avente classe di resistenza > 28/35 MPa per quanto concerne il paramento interno, mentre il paramento esterno realizzato in pietrame dello spessore medio di 30 cm, ben ammorsato nel conglomerato cementizio retrostante, sarà eseguito con caratteristiche riportate negli art. 40.3 o 40.4 in relazione alle disposizioni progettuali.

42. Intonaci

Gli intonaci possono essere del tipo:

- Intonaco rustico tirato in piano a fratazzo fino, su murature di qualsiasi forma e tipo e su soffitti, eseguito con due strati di malta dosata a 400 kg di calce idraulica per metro cubo di sabbia;
- Intonaco civile interno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, eseguito in due strati; con malta dosata a 400 kg di calce idraulica per metro cubo di sabbia e rifinito con malta di calce fina (grassello) o con malta dosata a 400 kg di cemento per metro cubo di sabbia, rifinito a fratazzo fino;
- Intonaco civile interno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, dello spessore non inferiore a 7 mm, eseguito a mano e o a macchina con malta premiscelata composta da calce, gesso, perlite ed additivi;
- Intonaco civile esterno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, eseguito in due strati: con malta bastarda dosata a 250 kg di calce idraulica e 250 kg di cemento per metro cubo di sabbia e rifinito a fratazzo fino, o con malta dosata a 350 kg di cemento per metro cubo di sabbia, ambedue rifiniti a fratazzo fino;
- Intonaco ignifugo a superficie rasata eseguito con malta composta da 1 m³ di vermiculite, 250 kg di cemento tipo 42,5 e 1 kg di VICSOL aerante o equivalente.

L'esecuzione degli intonaci sarà preceduta da bagnatura ed accurata preparazione delle superfici mediante rimozione di grumi di malta, scarnitura delle commessure fino a conveniente profondità, ripulitura delle pareti e rinzafo delle irregolarità più salienti.

Non dovranno essere di norma eseguiti in periodi di temperature troppo rigide od elevate; dovrà essere presa ogni precauzione necessaria a proteggerli dagli agenti atmosferici di qualsiasi genere, quando questi siano tali da pregiudicare la normale presa della malta.

Salvo prescrizioni particolari, l'esecuzione sarà con angoli e spigoli a filo vivo, perfettamente a "piombo", con squadra perfetto tra soffitti e pareti e con superfici prive di ondulazioni, irregolarità, peli, screpolature od altri difetti. Gli intonaci che non presentassero la necessaria aderenza alle murature dovranno essere demoliti e rifatti a cura e spese dell'Appaltatore.

Prima dell'esecuzione degli intonaci si predisporranno opportune fasce, eseguite sotto regoli di guida, in numero sufficiente per ottenere intonaci perfettamente piani; sarà applicato quindi un primo strato di malta gettata con forza in modo che penetri in tutti gli interstizi e li riempia.

Quando il primo strato avrà ottenuto una leggera presa si applicherà su di esso un secondo strato che sarà regolarizzato con regolo e fratazzo.

Quando l'intonaco deve essere applicato sull'intradosso di solai e su strutture in conglomerato cementizio si dovrà eseguire, preliminarmente, un primo leggero rinzafo con malta fluida di cemento, cui seguiranno le operazioni descritte in precedenza.

Gli intonaci civili interni ed esterni saranno rifiniti con malta fina tirata a fratazzo.

Tutti gli spigoli degli intonaci interni dovranno essere protetti da paraspigoli fino all'altezza di 1,50 m.

Gli intonaci ignifughi dello spessore previsto in Progetto saranno eseguiti con la stessa metodologia degli altri intonaci, stendendoli in strati successivi fino ad ottenere gli spessori richiesti.

42.1. Intonaci eseguiti a mano

L'intonaco a mano sarà eseguito in doppio strato fresco su fresco per uno spessore complessivo di 20 mm, dosato a 500 kg di cemento normale (di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia.

42.2. Intonaci eseguiti a spruzzo (gunita)

Prima di applicare la gunita su pareti in conglomerato cementizio degradate, l'Appaltatore avrà cura di eseguire la sabbiatura ad aria compressa ed un efficace lavaggio con acqua in pressione.

La malta sarà di norma composta di 500 kg di cemento (di tipo IV 32,5 o 32,5R) per metro cubo di sabbia salvo diverse prescrizioni.

Il dosaggio dei componenti deve essere fatto a peso.

L'acqua proverrà da fonti ben definite che diano acqua rispondente alle caratteristiche specificate nelle presenti Norme.

Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,45.

Allo scopo di realizzare un intonaco impermeabile si farà costantemente uso di additivi acceleranti di presa e fluidificanti, del tipo e nella quantità approvate dalla Direzione Lavori.

Le sabbie da impiegare nell'impasto saranno di natura silicea, lavate e vagliate, scevre da limo ed ogni altra impurità.

La granulometria sarà compresa nel seguente fuso avente andamento continuo ed uniforme:

Serie crivelli e setacci UNI	Passante % totale in peso
crivello 10	100
crivello 5	98÷88
setaccio 2	73÷63
setaccio 0,4	32÷22
setaccio 0,18	13÷3

L'intonaco avrà di norma spessore di 35 mm e sarà eseguito in tre strati: il primo strato del tipo boiaccia servirà a preparare la superficie per accogliere lo strato successivo, mentre il terzo strato sarà di spessore tale da portare la gunita ai prescritti 35 mm.

Potrà essere prevista l'inclusione di reti metalliche elettrosaldate in fili d'acciaio che saranno fissate al supporto mediante chiodatura, di caratteristiche come indicate in Progetto. Quando l'intonaco fosse eseguito in gallerie e si verificassero delle venute d'acqua dovranno essere predisposte, prima della gunitatura, opportune canalette di captazione.

42.3. Prove e controlli di laboratorio

A discrezione della Direzione Lavori saranno prelevati campioni di sabbia stoccata a piè d'opera per il controllo granulometrico.

Essa, al momento della posa in opera dovrà essere ben asciutta ai fini di ottenere un buon impasto al momento dell'applicazione.

Saranno prelevati campioni di gunita sulla parete (dopo aver completato il ciclo degli strati) per il controllo della percentuale di acqua, della percentuale di cemento e della curva granulometrica, cospargendo il campione di alcool fino a coprire il prelievo.

Inoltre, durante la posa in opera della miscela saranno prelevati campioni della stessa spruzzandola entro apposite cubettiere con getto normale al fondo dei contenitori; la superficie sarà rasata e fratazzata. La maturazione dei provini avverrà in camera climatica.

La frequenza dei prelievi e il numero dei campioni sarà indicato dalla Direzione Lavori.

Le prove di rottura a compressione a ventotto giorni dovranno dare una classe di resistenza non inferiore a 35/40 MPa.

43. Solai

43.1. Generalità

Per tutti i solai, valgono le norme emanate in applicazione dell'art. 21 della Legge 5.11.1971 n. 1086, della Legge 2.2.1974 n. 64 (D.M. LL.PP. 3.12.1987 e successivi aggiornamenti) nonché le norme di cui all'articolo "Conglomerati cementizi semplici e armati".

43.2. Solai misti in c.a. e laterizi

I blocchi forati in laterizio per solai misti dovranno essere del tipo a funzione statica in collaborazione con il conglomerato; dovranno rispondere alle norme per l'accettazione di materiali di cui all'art. 2 ed avere i seguenti requisiti:

- spessore delle pareti perimetrali ed orizzontali compresse: non minore di 8 mm;
- spessore dei setti: non minore di 7 mm;
- resistenza caratteristica cubica a compressione nella direzione dei fori: di 30 MPa;
- il rapporto fra l'area complessiva dei fori e l'area lorda delimitata dal perimetro della sezione del blocco non deve essere superiore a $0,6 \div 0,625 A$, dove «A» è l'altezza del blocco in metri, con un massimo del 75%.

Le nervature, della larghezza non minore di 1/8 dell'interasse e in ogni modo non inferiore a 8 cm, le zone piene agli incastri, la soletta superiore di compressione, dello spessore non inferiore a 4 cm, saranno realizzate in calcestruzzo di cemento di tipo II e con $R_{ck} > 30$ MPa; i ferri d'armatura apparterranno al tipo Fe B 44k.

Nei solai di luce superiore a 5,00 m dovranno essere previsti travetti di ripartizione in spessore di solaio; i laterizi dovranno essere bagnati fino a saturazione prima del getto.

43.3. Solai alleggeriti a struttura in c.a.

Sono costituiti da lastre prefabbricate in calcestruzzo di tipo II con $R_{ck} > 30$ MPa, dello spessore di 4 cm, in elementi modulari di larghezza 120, 240 cm o sottomultipli, armati con rete elettrosaldata e tralicci in barre d'acciaio a aderenza migliorata del tipo Fe B 44k, dimensionati in funzione delle luci e delle portate dei solai.

L'alleggerimento sarà ottenuto con blocchi di polistirolo espanso non collaboranti, della densità non inferiore a 20 kg/m^3 , tenuti in posto con idonei sistemi.

Le nervature, della larghezza non minore di 1/8 dell'interasse e in ogni modo non inferiore a 8 cm, le zone piene agli incastri, le travi a spessore perimetrali e trasversali, la soletta superiore di compressione, dello spessore non inferiore a 4 cm ed armata con rete elettrosaldata in acciaio del tipo Fe B 44 k in ragione di 2,5 kg/m^2 di soletta, saranno realizzate in calcestruzzo di cemento di tipo II con $R_{ck} > 30$ MPa; i ferri d'armatura integrativa apparterranno al tipo Fe B 44k, dimensioni e sagomature secondo le indicazioni progettuali.

Nei solai di luce superiore a 5,00 m dovranno essere previsti travetti di ripartizione in spessore di solaio.

Le lastre prefabbricate dovranno essere perfettamente complanari e poggiate su piani livellati, l'intradosso del solaio sarà rifinito mediante sigillatura dei giunti con malta antiritiro additivata con speciali collanti e rasatura finale.

43.4. Solai in lamiera grecata e getto collaborante in c.a.

Costituiti da lastre di lamiera grecata con sovrastante getto collaborante in calcestruzzo.

Le lastre di lamiera grecata d'acciaio laminato a freddo dello spessore di 1,2 mm dovranno avere nel senso trasversale un rapporto tra sviluppo effettivo e larghezza della lastra $> 1,6$; dovranno essere zincate a caldo con sistema Sendzimir, la faccia a contatto con il calcestruzzo dovrà avere idonei staffaggi atti a migliorare l'aderenza acciaio calcestruzzo.

Il getto collaborante in calcestruzzo di tipo II con $R_{ck} > 30$ MPa dovrà colmare le nervature e formare una soletta superiore continua dello spessore minimo di 4 cm; potrà eventualmente essere alleggerito mediante impiego d'inerti d'argilla espansa strutturale; sarà armato con rete d'acciaio del tipo Fe B 44k a maglie elettrosaldate; i ferri d'armatura integrativa apparterranno al tipo Fe B 44k, dimensioni e sagomature secondo le indicazioni progettuali.

Compresa la solidarizzazione del solaio alle strutture portanti, secondo i disegni di Progetto, gli sfridi della lamiera, la fornitura in opera d'idonee scossaline per il tamponamento delle testate ed il contenimento del getto, ecc..

43.5. Solai in lastre multiferi estruse prefabbricate in c.a.

Costituiti da lastre multiferi estruse prefabbricate in cemento armato precompresso di tipo I con $R_{ck} > 55$ MPa, armate con trefoli d'acciaio preteso aventi $f_{ptk} > 1800$ MPa, da considerare, come schema statico, a semplice appoggio, di spessore come da indicazioni progettuali.

Compreso: il livellamento dei piani d'appoggio; l'impiego di puntelli e banchinaggi per ottenere perfetta planarità all'intradosso; la sigillatura dei giunti longitudinali con malta di cemento dosato a 400 kg/m^3 ed additivato con agenti antiritiro; l'esecuzione.

Sulle lastre ancora fresche saranno realizzate delle asole per la posa in opera dei ferri di connessione, che saranno bloccati in opera con calcestruzzo e/o malta additivati con agenti antiritiro; la messa in opera sarà completata dalla realizzazione di cordoli e di corree in c.a. di tipo II con $R_{ck} > 30$ MPa.

44. Controsoffitti

44.1. In pannelli ad impasto gessoso

Costituiti da pannelli modulari piani accostati e realizzati con impasto gessoso opportunamente fibrato, delle dimensioni di 60×60 cm e spessore minimo 3 cm, dotati sui bordi di speciale incastro atto a consentire una rapida movimentazione, aventi resistenza al fuoco di 45 min.

Il pannello sarà dotato d'armatura portante non in vista, costituita da profilati d'acciaio zincato a T e relativi distanziatori, fissati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla e sarà rifinito con speciale coprifilo perimetrale in profilato d'alluminio d'adeguata sezione anodizzato o verniciato.

Come da prescrizione di Progetto, sono richiesti pannelli a superficie in vista liscia; o pannelli fonoassorbenti con superfici in vista forata, con foratura regolare o irregolare, muniti di materassino in lana di vetro incorporato e protetto da una lamina in alluminio.

44.2. In pannelli di fibre minerali

Costituiti da pannelli piani del tipo acustico decorativo con resistenza al fuoco di 120 min, idonei per essere installati in ambienti ad alto tasso d'umidità, realizzati con fibre minerali selezionate disposte a strati incrociati e trattate in forno ad alta temperatura; avranno dimensioni modulari 60×60 cm e spessore minimo di 15 mm; la superficie in vista finita con tre mani di tinta bianca lavabile.

Montati su orditura di sostegno costituita da profilati a T d'acciaio zincato verniciati a forno di colore bianco, posti in vista e formanti un reticolo delle dimensioni dei pannelli, ancorati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondini d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla; forniti di speciale coprifilo perimetrale in profilato d'alluminio d'adeguata sezione anodizzato o verniciato.

44.3. In pannelli di lamierino d'alluminio

Costituiti da pannelli modulari fonoassorbenti in lamierino d'alluminio di dimensioni 60x60 cm, dello spessore minimo di 0,5 mm a superficie forata, verniciati con smalto vinilico polimerizzato a forno di colore previsto in Progetto.

Ogni pannello sarà scatolato con i bordi sagomati per il montaggio accostato, compreso un materassino dello spessore di 3 cm di lana di vetro a fibra lunga imbustato in sacchetto di polietilene sigillato a caldo, posto nella parte superiore.

I pannelli saranno posti in opera, sospesi mediante clips a scatto d'acciaio zincato, su orditura di sostegno in tubi d'acciaio trattati con vernice anticorrosiva, ancorati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla.

Il controsoffitto così realizzato sarà rifinito perimetralmente da speciale coprifilo in profilato d'alluminio, d'adeguata sezione, anodizzato o verniciato.

44.4. In elementi modulari a cielo aperto

Costituiti da elementi modulari in fibre minerali selezionate e compresse, d'altezza minima 16 cm e spessore minimo 1,5 cm, rifiniti con una mano d'imprimatura e due mani di pittura acrilica bianca, aventi resistenza al fuoco di 90 min.

Gli elementi saranno posti in opera in posizione verticale accoppiati dorso contro dorso, formanti una struttura alveolare a cielo aperto a maglia quadra di 60x60 cm, su orditura a maglia costituita da speciali profilati d'acciaio zincato sagomati ad omega e verniciati a forno in colore bianco.

Il fissaggio dell'orditura alle strutture portanti sarà realizzato mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato $\varnothing=4$ mm con molla, da staffe a più vie d'ancoraggi e da artigli ferma pannelli. La lavorazione sarà completata dalla messa in opera di un pannello corrente sull'intero perimetro del controsoffitto.

44.5. In doghe d'alluminio

Saranno del tipo modulare piano, realizzati con doghe in profilato d'alluminio dello spessore minimo di 0,5 mm, preverniciate a forno nel colore previsto in Progetto, con bordi sagomati.

In Progetto può essere previsto l'utilizzo di doghe normali e/o forate fonoassorbenti, queste ultime con sovrastante materassino in lana di vetro a strisce della larghezza delle doghe e dello spessore di 3 cm.

Saranno poste in opera a scuretto aperto di 15 mm, montate con aggancio rapido su orditura portante costituita da traverse d'acciaio zincato verniciate in colore nero, fissata alle strutture portanti mediante pendinatura in barrette regolabili d'acciaio zincato e stabilizzata alle pareti perimetrali.

Sarà rifinito perimetralmente con uno speciale coprifilo in alluminio, d'adeguata sezione, anodizzato o verniciato.

44.6. In lastre di gesso cartonato su intelaiatura portante

Le lastre avranno uno spessore minimo di 13 mm; saranno applicate a vite, su un'intelaiatura portante realizzata con profilati d'acciaio zincato rullati a freddo; l'intradosso del soffitto dovrà essere rifinito con rasatura e stuccatura dei giunti.

44.7. In tavolato d'abete

Sarà realizzato in tavolato d'abete, piallato e maschiettato, dello spessore di 22 mm, lavorato e posto in opera su apposita struttura di sostegno d'acciaio zincato, per la realizzazione di pannellature preassemblate come da Progetto; comprese le viti di fissaggio, le guarnizioni perimetrali in dutral, il trattamento con due mani d'impregnante trasparente ed una mano di vernice poliuretana trasparente e quant'altro occorre.

Il ciclo di trattamento sarà preceduto dalla preparazione del supporto mediante stuccatura, rasatura e carteggiatura.

44.8. Controsoffitto tagliafuoco

Costituito da pannelli in calcio silicato del tipo isolante termico e acustico, avente reazione al fuoco di classe 0 e reazione al fuoco 180 min, delle dimensioni modulari di 60x60 cm e spessore minimo 25 mm con bordi sagomati per l'incastro dell'orditura, idonei per essere installati anche in ambienti ad alto tasso d'umidità; la superficie in vista finita con tre mani di tinta lavabile.

L'orditura di sostegno reticolare a vista, dovrà essere realizzata in profilati a T d'acciaio zincato e verniciato, ancorata alle strutture portanti con tiranti rigidi regolabili.

45. Coperture

45.1. Norme generali

Le coperture saranno eseguite con lastre e pannelli aventi misure commerciali idonee per ottenere il miglior risultato estetico e funzionale nonché lunghezza corrispondente a quella delle rispettive falde.

Quando, per esigenze di trasporto od altro, non fosse possibile avere lastre di tale lunghezza la sovrapposizione dovrà essere di almeno 15 cm.

Le sovrapposizioni laterali saranno di almeno due onde; in zone particolarmente ventose il senso di posa dovrà essere contrario a quello del vento dominante.

Lastre e pannelli dovranno essere fissati alle strutture portanti con sistemi atti a garantire l'aderenza ed impedire deformazioni, pur consentendo i movimenti di dilatazione.

Le coperture dovranno essere complete di converse, scossaline frontali e laterali, colmi, raccordi; ancorate su un'orditura di listelli di legno fissati alle strutture portanti mediante bulloneria e accessori vari di fissaggio, ecc..

I pezzi speciali (comignoli, esalatori, ecc.) dovranno possibilmente essere forniti dagli stessi produttori delle lastre o pannelli; in mancanza saranno preparati in lamiera zincata o in rame, secondo le previsioni progettuali.

45.2. In lastre ondulate di fibrocemento

Saranno realizzate con lastre ondulate conformi alle vigenti norme UNI, dello spessore minimo di 6 mm ed altezza d'onda non superiore a 5 cm poste in opera su orditura di listelli di legno abete di sezione minima 6x3 cm, posti ad interasse non superiore a 1,00 m, bitumati e fissati con opportuna tecnica (malta cementizia, bullonatura, ecc.) alla struttura portante.

Le lastre saranno fissate con viti di ferro zincato e rondelle in materiale plastico, passanti in fori eseguiti col trapano ed il cui diametro sarà maggiore di quello della vite per consentire eventuali piccoli spostamenti dovuti alla dilatazione.

45.3. In lastre nervate d'alluminio

Le lastre saranno del tipo a sezione trapezoidale o semiesagonale d'alluminio primario ALP 99,5 di qualità cruda, con spessore minimo di 0,7 mm e peso non inferiore a 1,850 kg/m².

L'altezza delle nervature sarà di 38 mm con una tolleranza massima di ± 2 mm.

La posa in opera su orditura di listelli di legno abete, posti ad interasse non superiore a 1,00 m, bitumati e fissati alla struttura portante con malta cementizia.

Il fissaggio delle lastre sarà eseguito di norma mediante viti di ferro zincato o cadmiato o in lega leggera non contenente rame con interposta rondella d'alluminio ricotto oltre ad una rondella o feltro bitumato per la tenuta del foro all'acqua.

Le viti debbono essere applicate nella sommità delle nervature e serrate fino a comprimere le rondelle senza deformare le nervature stesse.

Di norma il numero delle viti non dovrà essere inferiore ad una ogni metro quadrato di copertura e di una ogni onda ai bordi di colmo e di gronda.

Nelle sovrapposizioni dovranno essere eseguite cuciture con viti autofilettanti, in lega leggera, serrate fino al perfetto combaciamento delle due lastre.

Potranno essere usate anche modalità diverse d'ancoraggio, che evitino il perforamento della lamiera, con sistemi a gancio sottolastra o con profilati speciali in alluminio crudo.

Per ciascuno di questi dovrà essere chiesta preventiva approvazione alla Direzione Lavori.

Resta comunque inteso che qualunque sia il sistema adottato, questo dovrà garantire la totale sicurezza dell'ancoraggio in relazione ai carichi applicati ed in rapporto all'azione del vento.

Una opportuna tecnica di montaggio, inoltre, dovrà sempre evitare le saldature, ma se queste non potranno essere sostituite, sarà opportuno eseguirle con sistemi elettrici od autogeni adeguati, escludendo assolutamente saldature dolci a bassa temperatura con uso di leghe a base di piombo, stagno od ottone.

Dovrà essere evitato nel modo più scrupoloso il contatto dell'alluminio con la malta o con metalli pesanti (piombo, rame, bronzo, ecc.), anche in tracce lasciate da inadeguati attrezzi di lavoro, poiché potrebbero dar luogo a rapido deterioramento in presenza d'umidità.

I listelli dell'orditura saranno rivestiti con liste di cartonfeltro bitumato, esente da catrame, fenoli e non sabbiato.

In alternativa il Progetto può prevedere la posa in opera su orditura d'acciaio zincato, fissata con cavallotti e bulloneria rispettando i passi e norme del fissaggio su listelli di legno.

L'orditura d'acciaio non zincata dovrà, prima della posa in opera delle lastre, essere spalmata con vernice a base bituminosa o ricoperta con strisce di plastica autoadesive.

Le lastre dovranno essere immagazzinate isolandole dal suolo con tavole di legno e proteggendole da spolveri di cemento, calce e da altri composti chimici.

Si dovrà inoltre proibire durante la posa in opera l'uso di scarpe chiodate, sostituendole con calzari di gomma e disporre tavole trasversali sulla copertura di modo che gli operai possano muoversi senza causare ammaccature alle ondulazioni.

Sarà diritto della Direzione Lavori il non accettare e pretendere dall'Appaltatore la sostituzione, con tutti gli oneri da questa derivanti, di quelle lastre che per qualsiasi motivo risultassero danneggiate o non idonee.

45.4. In pannelli Sandwich autoportanti

I pannelli avranno dimensioni trasversali modulari secondo le esigenze di Progetto e saranno costituiti da due lamiere d'acciaio zincato sistema Sendzimir, preverniciate, dello spessore di 0,6 mm.

La lastra superiore può essere prevista in Progetto in rame, dello stesso spessore.

Le due lamiere racchiudono uno strato di materiale isolante in schiuma poliuretanic autoestingente della densità minima di 40 kg/m³.

La lamiera superiore avrà una grecatura conformata in modo da garantire la resistenza alle sollecitazioni previste; le nervature dovranno avere altezza non inferiore a 35 mm, con un rapporto, nel senso trasversale, tra sviluppo effettivo e larghezza di lastra, pari a circa 1,3.

La giunzione tra i pannelli sarà realizzata in modo da garantire la perfetta impermeabilità all'acqua e sarà dotata di guarnizione continua di tenuta inserita in opera o in fase di produzione.

Il fissaggio dei pannelli alle strutture sarà effettuato per mezzo di viti zincate autofilettanti o automaschianti dotate di rondella in P.V.C. e sarà completato con l'inserimento di un cappellotto munito di relativa guarnizione.

45.5. In lastre di lamiera grecata

Le lastre saranno in acciaio zincato a caldo col sistema Sendzimir; avranno spessore minimo di 1,2 mm ed un rapporto tra sviluppo effettivo e larghezza di lastra, misurato in senso trasversale, pari a 1,6÷1,7.

Saranno fissate alla struttura portante metallica mediante cavallotti e viti, compresi pezzi speciali, lattonerie per colmi, converse e scossaline, guarnizioni e quanto altro necessario.

Il fissaggio delle lastre sarà eseguito di norma mediante viti di ferro zincato o cadmiato o in lega leggera non contenente rame con interposta rondella d'alluminio ricotto oltre ad una rondella o feltro bitumato per la tenuta del foro all'acqua.

Le viti debbono essere applicate nella sommità delle nervature e serrate fino a comprimere le rondelle senza deformare le nervature stesse.

Di norma il numero delle viti non dovrà essere inferiore ad una ogni metro quadrato di copertura e di una ogni onda ai bordi di colmo e di gronda.

45.6. In lastre di metacrilato

Le lastre piane avranno uno spessore di 6 mm e potranno essere curvate per manti anche a superficie curva aventi raggi di curvature superiore a 1,00 m; saranno realizzate in metacrilato traslucido o colorato in pasta, come da indicazioni di Progetto e saranno fissate su orditura metallica; i giunti saranno sigillati con idonei collanti e rifiniti con coprigiunti metallici.

45.7. In pannelli d'acciaio inox

I pannelli forniti in opera per la copertura delle scale delle isole di stazione, saranno realizzati come da Progetto.

I manufatti dovranno essere costruiti con struttura portante in profilati d'acciaio zincato, le pannellature di copertura e delle pareti laterali in scatolato d'acciaio inox, con iniettato all'interno poliuretano espanso, le due finestre laterali realizzate in metacrilato trasparente, completi di un corrimano d'acciaio inox posizionato sul lato interno delle scale.

I profilati, le piastre e i bulloni, in acciaio Fe 430 saranno zincati a caldo per uno spessore non inferiore a 60 µm; i profilati in vista, oltre la zincatura, dovranno essere verniciati in nero opaco, con vernici epossidiche e poliuretaniche applicate con ciclo "D".

La copertura, in acciaio inox AISI 304/L satinato e protetto di spessore 10/10, sarà realizzata mediante unica piegatura, la lastra interna sarà in alluminio preverniciato di colore bianco e il riempimento fonoassorbente ottenuto mediante iniettamento di poliuretano espanso a bassa pressione.

I pannelli di tamponamento laterali saranno realizzati con doppio guscio, con gli stessi materiali esterni e riempimenti utilizzati nella copertura.

Le lastre in polimetilmetacrilato colato, sagomate e lucidate, saranno dello spessore di mm 5.

Il mancorrente realizzato con tubolare d'acciaio inox AISI 304/L.

45.8. In lamiera di rame

Manto di copertura costituito da lamiera in rame, conforme alla Norma UNI 10372, dello spessore previsto in Progetto, di larghezza modulare e lunghezza pari a quella di falda.

Le giunzioni dovranno essere realizzate a doppia aggraffatura e la posa in opera, sulla struttura portante prevista in Progetto, sarà completa d'accessori di fissaggio, raccordi, chiodature, ripiegature e quant'altro occorre.

45.9. Strato di ghiaia

Dove previsto sarà steso sulle coperture uno strato di ghiaia lavata di cava o di fiume, di granulometria e spessore, come indicato negli elaborati progettuali.

La stesa potrà essere realizzata a mano o con mezzi idonei, che non sollecitino eccessivamente il sottostante solaio di copertura.

46. Mantovane

La mantovana per pensilina di stazione a struttura metallica, sarà realizzata secondo le previsioni progettuali: in stecche estruse in lega leggera d'alluminio anodizzato e satinato di speciale profilo come da disegno, dello spessore minimo di 1,6 mm, montate su armatura di ferro profilato; in elementi scanalati o nervati in senso orizzontale, in alluminio anodizzato di colore nero opaco, dello spessore di almeno 1,5 mm, conformi ai disegni; in elementi sagomati in lamiera d'alluminio dello spessore di almeno 1,5 mm comprendenti essenzialmente una scossalina inferiore, una superiore ed una fascia frontale. La mantovana avrà altezza di 80 cm e profondità di 40 cm: quest'ultima misurata sui risvolti delle scossaline inferiore e superiore. La fascia frontale, rientrante di 28 cm rispetto alle due scossaline si raccorda al loro filo esterno in corrispondenza dei portali e delle estremità mediante speciali elementi trapezoidali.

Gli elementi in lamiera d'alluminio, fissati alla struttura portante mediante bullonerie e accessori di posa saranno tra loro collegati mediante piastre di giunzione; saranno provvisti d'attacchi portasemafori ed elettrocolorati in tutte le superfici in vista nei colori a scelta dalla Società.

47. Pareti in pannelli prefabbricati

47.1. Pannelli portanti in c.a.v. normale o alleggerito

Realizzati in calcestruzzo di cemento di tipo II con $R_{ck} > 30$ MPa, vibrato, ottenuto con inerti, cemento ed additivi fluidificanti e/o acceleranti; eventualmente del tipo alleggerito con impiego d'inerti d'argilla espansa strutturale di densità di $600 \div 650$ kg/m³ e di granulometria appropriata.

I pannelli, delle dimensioni modulari e finiture esterne come previste in Progetto (comunque non eccedenti 3,60 m in larghezza), nelle tipologie di: pannello cieco, pannello finestra, pannello porta, pannello veletta, ecc., pezzi speciali quali angolari, riquadrature vani, ecc. e con finiture della superficie esterna tipo: graniglia lavata e colorata, graffiata mediante trattamento a fresco con appositi pettini metallici o lavorata mediante impiego d'idonee matrici di gomma, in calcestruzzo colorato nell'impasto con pigmenti organici o in cemento bianco, ecc.; quell'interna sarà rifinita a fraz-zo.

I pannelli avranno lo spessore indicato in Progetto e saranno armati con rete elettrosaldata e barre tonde in acciaio (queste ultime poste in corrispondenza delle aperture e dei punti sollecitati).

Particolare cura dovrà essere posta nel posizionamento dell'armatura metallica per garantire l'indefor-mabilità dell'assetto ed adeguato copriferro.

Per conseguire uniformità di finitura dei pannelli di ciascun edificio, il cemento e gli inerti impiegati dovranno avere provenienza costante; inoltre dovrà essere posta cura nella scelta del disarmante per evitare alterazioni di colore ed altre anomalie. I pannelli prefabbricati dovranno essere provvisti di ganci per la loro movimentazione; saranno completi di controtelai e/o contromaschere metallici, trattati con vernice isolante dielettrica, zancati ai pannelli di contorno alle aperture di porte e finestre per l'ancoraggio dei serramenti.

Quelli a profilo concavo avranno sagomatura dei bordi con staffe fuoriuscenti dal calcestruzzo in ragione di almeno tre per metro; in particolare le staffe fuoriuscenti dai pannelli dovranno essere collegate mediante barre d'acciaio d'adeguata sezione; il vano risultante fra i bordi dei pannelli dovrà essere sigillato con prodotti a base silconica.

I giunti saranno realizzati in modo di assicurare continuità strutturale alle pareti e costituire un sistema di tenuta all'acqua ed all'aria.

L'Appaltatore potrà proporre, in alternativa un diverso sistema di giunto, purché di caratteristiche equivalenti, che potrà essere adottato soltanto dopo formale approvazione della Direzione Lavori. Durante la fase di montaggio dovranno essere predisposti puntellamenti provvisori adeguati.

47.2. Pannelli di tamponamento e divisori

47.2.1. In c.a.v. normale o alleggerito

Valgono le prescrizioni di cui al precedente punto 45.1, salvo le seguenti variazioni:

- il calcestruzzo di cemento sarà di tipo II con $R_{ck} > 25$ MPa; lo spessore dei pannelli sarà quello previsto in Progetto;

- l'armatura dei pannelli sarà in rete elettrosaldata in fili d'acciaio Fe B 44K, del peso di 10 kg/m², e barre d'acciaio poste in corrispondenza d'aperture e nei punti più sollecitati;
- fornitura in opera di boccole ed inserti in profilati HALFEN per il fissaggio dei pannelli alle strutture portanti; telai metallici per l'ancoraggio dei serramenti;
- fornitura in opera di guarnizioni in neoprene d'adeguata sezione alla base dei pannelli;
- i giunti dovranno assicurare un sistema di tenuta all'aria e all'acqua costituito almeno da due linee di difesa, strutturate come segue:
 - inserimento per compressione nell'apposita scanalatura ricavata sui bordi verticali dei pannelli di una guarnizione in profilato di neoprene o materiale equivalente, d'opportuna sagomatura e d'adeguata sezione;
 - applicazione lungo la linea di giunto, sulla faccia interna dei pannelli, di una guarnizione di tenuta all'aria costituita da nastro sintetico espansivo autoadesivo in schiuma poliuretana od altro materiale equivalente;
 - sigillatura della fuga esterna del giunto mediante materiale idoneo approvato dalla Direzione Lavori, applicato previo inserimento nel giunto stesso di un listello separatore.

L'Appaltatore potrà proporre, in alternativa, un diverso sistema di giunti, purché di caratteristiche equivalenti, che potrà essere adottato soltanto dopo formale approvazione della Direzione Lavori.

47.2.2. In fibrocemento

Pannelli prefabbricati dello spessore di 80 mm formati da due lastre piane in fibrocemento compresso e stabilizzato, ciascuna dello spessore di 8÷10 mm, intelaiate con profilati d'acciaio zincato ed interposto strato coibente in resina espansa rigida iniettata a caldo avente bassa permeabilità al vapore e densità non inferiore a 40 kg/m³.

I pannelli saranno di dimensioni modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, realizzati nelle tipologie di pannello cieco, pannello finestra, pannello veletta; avranno i bordi sagomati per ottenere una perfetta unione ad incastro e la superficie perfettamente planare; i vani di porte e finestre dovranno essere riquadrati con telai in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, d'adeguata sezione, per l'ancoraggio degli infissi. Per le pareti esterne, i giunti tra i pannelli dovranno essere adeguatamente attrezzati con guarnizioni flessibili, tali da assicurare la tenuta dell'aria e dell'acqua; inoltre dovranno essere impiegati idonei pezzi speciali per la esecuzione degli angoli nonché scossaline d'adeguata sagomatura alla base ed in sommità dei pannelli.

La sigillatura all'aria e all'acqua dei giunti tra i pannelli e dei bordi orizzontali degli stessi nonché del contorno dei serramenti, sarà realizzata con guarnizioni in Dutral e coprifili in profilati estrusi d'alluminio anodizzato.

Per le pareti interne, i pannelli dovranno essere posti in opera su profilo a pavimento e guida di contenimento superiore in alluminio con adeguati coprifili di finitura in alluminio anodizzato; i giunti saranno eseguiti con guarnizioni coibenti e coprifili in alluminio anodizzato.

Saranno predisposti inoltre nel pannello ganci, boccole ed inserti per la loro movimentazione ed il fissaggio alle strutture portanti.

Il tutto secondo le indicazioni di Progetto.

47.2.3. In lamiera zincata

Pannelli dello spessore indicato in Progetto, formati da due lamiere da 0,6 mm, lisce o nervate, in acciaio zincato con il sistema Sendzimir e preverniciate a fuoco nel colore previsto; con interposto uno strato coibente in resina espansa rigida iniettata a caldo avente bassa permeabilità al vapore e densità non inferiore a 40 kg/m³, contenuto perimetralmente da profilati in P.V.C..

I pannelli saranno di dimensioni modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, realizzati nelle tipologie pannello cieco, pannello finestra, pannello veletta; avranno i bordi sagomati per ottenere una perfetta unione ad incastro e la superficie perfettamente planare; i vani di porte e finestre dovranno essere riquadrati con montanti e traversi in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, d'adeguata sezione, per l'ancoraggio degli infissi; i giunti dovranno essere adeguatamente attrezzati con guarnizioni flessibili, tali da assicurare la tenuta all'aria ed all'acqua.

Dovranno essere impiegati idonei pezzi speciali per la esecuzione degli angoli; alla base ed in sommità delle pareti dovranno essere fornite e poste in opera le scossaline d'adeguata sagomatura e gli accessori di fissaggio dei pannelli alle strutture portanti.

47.2.4. In gesso

Pannelli prefabbricati in gesso dello spessore indicato in Progetto, a sezione piena o con anima a nido d'ape, con giunti ad incastro a maschio e femmina.

Le giunzioni tra i pannelli saranno opportunamente stuccate con materiali idonei e rasate in modo da dare una superficie continua planare.

I pannelli saranno completi di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato e di controtelai sui vani degli infissi.

47.2.5. In gesso cartonato

Pannelli di gesso cartonato dello spessore di 105 mm, realizzati con due doppie lastre accoppiate in aderenza dello spessore di 26 mm, applicate con viti ad una ossatura portante in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, della sezione 50x40 mm, posta verticalmente ad interasse di 60 cm e fissata a trasversi di collegamento posti a pavimento, a soffitto e nel contorno dei vani di porte e d'eventuali superfici a giorno.

Il vano risultante tra le due coppie di lastre sarà coibentato con materassini in lana di roccia dello spessore di 50 mm e densità minima di 50 kg/m³.

Le giunzioni tra i pannelli saranno sigillate e rasate in modo da dare una superficie continua planare. I pannelli saranno completi di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato e di controtelai sui vani degli infissi.

47.2.6. In agglomerato di cemento bianco e lana di vetro (tipo G.R.C.)

Pannelli prefabbricati in agglomerato di cemento Portland ad alta resistenza chimica e materiali inerti fini, armati con speciale fibra di vetro resistente agli alcali e trattati con sostanze idrorepellenti per resistere agli agenti aggressivi esterni.

I pannelli saranno preformati in cassero e dimensionati secondo i disegni di Progetto; dovranno essere atti a creare motivi architettonici attraverso una precisa definizione della forma e della finitura superficiale.

Lo spessore dei pannelli sarà variabile in funzione della ripartizione degli sforzi con un minimo di 10 mm.

Dovranno essere completi d'organi di sollevamento e fissaggio alle strutture portanti e strutturati per realizzare un sistema atto ad assorbire vibrazioni e dilatazioni termiche oltre a garantire l'impermeabilità delle pareti.

La superficie esterna dovrà essere impermeabilizzata con soluzione a base siliconica trasparente.

Particolare cura dovrà essere posta nella esecuzione dei giunti fra i pannelli, frontali e d'angolo, che dovranno essere attrezzati con canali di drenaggio e scossaline, in lega leggera d'alluminio, atti a drenare ogni infiltrazione e condensa, ed inoltre sigillati con materiale a base siliconica.

Sono previsti: pannelli di facciata ciechi; coppelle; pannelli di facciata con vano finestra, predisposti per ricevere i serramenti, con la battuta munita d'appoggi fissi semielastici (neoprene duro o nylon), guarnizioni in elastomeri ed elementi di fissaggio perimetrali tali da permettere una perfetta messa in quadro dei serramenti e conferire al sistema assoluta impermeabilità.

Particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera dei pannelli, che dovrà essere preceduta da un'accurata selezione cromatica dei pannelli stessi, così da ottenere facciate a tonalità uniforme.

48. Pareti divisorie mobili

48.1. Norme generali

Le pareti divisorie mobili saranno realizzate con pannelli di larghezza modulare di 90÷120 cm o sottomultipli, di qualsiasi altezza e dello spessore indicato in Progetto. I pannelli saranno nelle tipologie di pannello cieco, pannello porta, pannello con superfici a giorno e saranno costituiti da:

- una intelaiatura in profilati d'acciaio zincato, rullati a freddo, corrente perimetralmente ai pannelli ed alle eventuali superfici a giorno, con montanti verticali intermedi posti ad interasse di 60 cm;

- due lastre fissate lateralmente all'intelaiatura con viti autofilettanti o automaschianti in acciaio zincato;
- uno strato coibente in pannelli rigidi resinati di lana di vetro.

Le superfici a giorno saranno riquadrate con una intelaiatura in profilati estrusi d'alluminio anodizzato, con interposto vetro lucido dello spessore 4 mm, o lastra di plexiglass dello spessore di 6 mm.

I pannelli saranno posti in opera su profilati d'acciaio zincato posti a pavimento, con guide di contenimento superiore e inferiore in alluminio anodizzato.

I giunti fra i pannelli dovranno essere conformati in modo tale da consentire l'unione fra due o più elementi; inoltre dovranno consentire il passaggio dei cavi elettrici ed avranno la cavità riempita con materiali coibenti.

L'attacco a soffitto ed a pavimento ed i giunti verticali saranno completati con coprifili in alluminio anodizzato; il coprifilo a pavimento avrà anche funzione di battiscopa. La parete dovrà risultare insonorizzata, priva di ponti acustici; l'abbattimento acustico medio dovrà essere non inferiore a 30 dB.

48.2. Pareti in lastre di truciolare ignifugo

Costituite da pannelli modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, dello spessore di 90÷95 mm, formate da due lastre in truciolare ignifugo classe 1, ciascuna dello spessore di 20 mm nobilitata melaminico su ambedue le facce, fissate su intelaiatura in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo d'adeguata sezione, correnti anche sul perimetro di vani di porte e finestrate.

L'intelaiatura sarà costituita da trasversi e montanti, quest'ultimi fissati in opera mediante viti di registrazione.

La coibentazione interna sarà in pannelli rigidi resinati in lana di vetro dello spessore di 50 mm e di densità minima 40 kg/m³.

Tra l'intelaiatura e le lastre in truciolare dovranno essere interposte guarnizioni elastiche fonoassorbenti.

I pannelli saranno posti in opera su profilo a pavimento d'acciaio zincato e guide di contenimento a pavimento e soffitto in alluminio anodizzato.

Compresa la fornitura e posa in opera di fasce d'aggiustaggio orizzontali e verticali, costituite sempre da due lastre in truciolare nobilitato melaminico, con interposti pannelli rigidi resinati in lana di vetro, di speciali guarnizioni elastiche sul perimetro delle pareti, i coprigiunti in alluminio anodizzato.

Sopraluci e parti finestrate a giorno dovranno essere riquadrate in legno nobilitato melaminico, chiuse da due lastre di vetro lucido dello spessore di 4 mm, intelaiate con profilati in alluminio anodizzato completi di coprifili.

Le porte interne saranno del tipo tamburato ad un'anta, dello spessore di 45 mm, costituite da un profilato perimetrale d'adeguata sezione in alluminio estruso anodizzato portante due lastre di truciolare ignifugo dello spessore di 8 mm, placcate su entrambe le facce con laminato plastico melaminico dello spessore di 0,8 mm; internamente coibentate con pannelli in lana di vetro della densità non inferiore a 40 kg/m³ e spessore 25 mm.

Compreso telaio fisso e coprifili in profilati estrusi d'alluminio anodizzato, maniglie a pomolo aprichiudi e serratura incorporata.

48.3. Pareti in lastre di fibrocemento

Valgono le prescrizioni di cui al precedente punto salvo le seguenti variazioni:

- i pannelli avranno spessore di 80 mm e saranno formati da due lastre di fibrocemento dello spessore di 8÷10 mm con interposta coibentazione in pannelli rigidi resinati in lana di vetro dello spessore di 60 mm e densità minima 40 kg/m³.

49. Controfodere

49.1. Norme generali

Le controfodere, da abbinare alle pareti mobili, saranno realizzate con lastre e/o pannelli applicati su una ossatura portante in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, di sezione 50x40 mm, disposta verticalmente ad interasse di 60 cm e fissata a traversi di collegamento posti a pavimento, a soffitto e sul contorno dei vani di porte e d'eventuali superfici a giorno.

Le controfodere saranno fissate lateralmente all'ossatura e ai traversi con viti autofilettanti o automaschianti in acciaio zincato.

È previsto in Progetto che il vano risultante tra la controfodera e la parete sia coibentato con pannelli di lana minerale o di roccia dello spessore prescritto e densità minima di 50 kg/m³.

Le giunzioni tra i pannelli e le lastre saranno sigillate o rasate in modo da dare una superficie continua planare.

Le controfodere saranno provviste di coprigiunti, di guide, di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato, di rivestimento dei pilastri, di riquadrature; il tutto secondo le indicazioni di Progetto.

49.2. Controfodera in pannelli di gesso cartonato

Il pannello avrà spessore di 26 mm e sarà costituito da due lastre accoppiate in aderenza di gesso cartonato, ciascuna dello spessore di 13 mm.

Compresa la fornitura e posa in opera del coprigiunto, delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con materassini di lana di roccia dello spessore di 50 mm.

49.3. Controfodera in lastre truciolari

Lastra truciolare ignifuga dello spessore di 20 mm, nobilitata melaminico su entrambe le facce.

La lastra sarà posta in opera completa del coprigiunto, delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con pannelli rigidi di lana minerale dello spessore di 45 mm.

49.4. Controfodera in lastre di fibrocemento

Lastre di fibrocemento dello spessore di 8÷10 mm. La lastra sarà posta in opera completa del coprigiunto e delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con pannelli rigidi di lana minerale dello spessore di 45 mm.

50. Isolamenti

I materiali per isolamento termico ed acustico sono:

- pannelli rigidi resinati in fibra di vetro, della densità di 90÷110 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- pannelli rigidi resinati in lana di roccia feldspatica, della densità di 120 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- pannelli semirigidi resinati in fibre di vetro della densità di 15÷25 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- feltri resinati in lana di roccia feldspatica, della densità di 30 kg/m³ completi di schermo antivapore;
- pannelli di polistirene espanso della densità di 20÷30 kg/m³;
- feltri dello spessore di 3 mm, in fibre lunghe di vetro, legate con collanti, cosparsi su una faccia con miscele bituminose, specificatamente per l'isolamento acustico di pavimenti interni;

- pannelli rigidi a struttura cellulare chiusa, in schiuma poliuretanica espansa, di densità 35 kg/m³, additivata con ignifuganti e ritardanti di fiamma, rivestiti sulle due facce con carta kraft del peso di 75 g/m² o in cartongesso bitumato cilindrato del peso di 300 g/m².

I pannelli dovranno essere elastici per seguire gli eventuali movimenti delle strutture a contatto senza screpolarsi e opportunamente fissati su strutture o entro intercapedini variamente inclinate.

I materiali dovranno essere chimicamente inerti, imputrescibili, autoestinguenti, inodori, non corrosivi, inattaccabili dagli agenti atmosferici, dagli insetti ecc., resistenti alle temperature d'impiego.

In Progetto è indicato il tipo di materiale da utilizzare con spessori e densità.

Di questi materiali dovranno essere documentati, mediante certificato di prova rilasciato da un laboratorio ufficiale, la corrispondenza alle caratteristiche richieste.

51. Rivestimenti

51.1. Plastico al quarzo

Il rivestimento plastico al quarzo nei tipi effetto graffiato, rustico, cortina e nel colore previsto in Progetto, sarà costituito da resine acriliche, additivo autolavante, inerti di quarzo sferoidale nelle varie granulometrie, pigmenti a base di biossido di titanio ed ossidi di ferro ad alta resistenza, da sostanze battericide, batteriostatiche, fungicide e da agenti siliconici idrorepellenti.

Sarà applicato su superfici interne e/o esterne, su intonaci bene stagionati, previa apposizione d'appretto sigillante e cementante colorato; potrà essere prevista l'eventuale formazione di pannellature mediante esecuzione di fughe.

Sulle superfici esterne è prevista l'applicazione di protettivo ai siliconi dato in copertura.

Particolare cura dovrà essere posta nella preparazione delle superfici da rivestire che dovranno essere ripulite da polvere od altri materiali inquinanti per assicurare una buona aderenza del rivestimento sul sottostante intonaco.

L'applicazione del rivestimento plastico dovrà essere preceduta dalla protezione delle parti contigue da non rivestire, con carta adesiva, che dovrà essere asportata prima dell'indurimento del materiale.

51.2. Piastrelle smaltate

Le piastrelle smaltate (monocottura o maiolica) per rivestimenti interni dovranno corrispondere, per quanto riguarda dimensioni e caratteristiche alle norme in vigore.

Dovranno essere di prima scelta, avere lo spessore indicato come normale dalle normative ed essere di superficie lisce e di colore uniforme.

Dovranno essere fornite nella forma, colore e dimensione indicate negli elaborati di Progetto; non sono ammesse variazioni nelle dimensioni e nel colore delle piastrelle nell'ambito di ciascun locale.

L'Appaltatore dovrà sostituire, a sua cura e spese, i materiali comunque non corrispondenti alle norme di cui sopra restando a suo carico i necessari ripristini.

Le piastrelle saranno poste in opera, su superfici verticali intonacate, con idoneo adesivo a base di cemento, sabbia, resine sintetiche ed additivi speciali.

I giunti dovranno essere perfettamente allineati ed inoltre saranno sigillati con speciali stucchi colorati.

Ove necessario saranno messi in opera: becchi di civetta, elementi di spigolo, ecc..

51.3. Mattoncini in litoceramica (clinker)

Rivestimento esterno in elementi di litoceramica (clinker) trafilati ad alto punto di cottura comprendenti listelli normali da 26x6 cm o 23x4,5 cm e pezzi speciali quali angolari, teste lisce, architravi ecc., in colore come da indicazioni progettuali.

Applicati con malta di cemento additivata su superfici intonacate cementizie idrorepellenti verticali e/o orizzontali.

I giunti dovranno essere perfettamente allineati ed inoltre saranno sigillati con speciali riempitivi cementizi colorati.

51.4. Zoccolino battiscopa

Lo zoccolino battiscopa e i relativi pezzi speciali saranno messi in opera con idonei collanti o accessori di fissaggio suintonaci bene stagionati.

Materiali (lastre di marmo, elementi di grès rosso liscio, grès ceramico, grès fine porcellanato, alluminio anodizzato, gomma, PVC, lastre di agglomerato in scapoli di marmo o in granuli di marmo, legno) e dimensioni sono quelli indicati in Progetto.

51.5. Lastre in pietra naturale

Dovranno corrispondere alla natura, alle forme e dimensioni previste in Progetto.

I materiali dovranno avere le caratteristiche proprie della specie prescelta (marmo bianco di Carrara, Botticino classico, travertino, serizzo, ecc.) per quanto attiene a grana, colore e venatura.

Nell'accostamento delle lastre dovranno essere evitati contrasti di colore o di venatura.

Rispetto agli spessori teorici: 2 cm per rivestimenti, alzate di gradini, zoccoletti, soglie di porte, controsoglie di finestre, 3 cm per pedate di gradini, è ammessa una tolleranza di $\pm 1,5$ mm.

Durante le operazioni di scarico, movimentazione nell'ambito del cantiere, magazzinaggio e posa in opera, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, alla conservazione dei materiali proteggendoli da rotture, scheggiature, graffi ecc., avendo cura particolare per spigoli e cornici.

Le lastre dovranno presentare le facce e le coste in vista ben levigate; dove previsto in Progetto devono essere lucidate a piombo.

Le lastre saranno poste in opera in posizione verticale e/o orizzontale con malta cementizia, eventualmente addolcita con calce idraulica colata tra le lastre e le strutture retrostanti.

Ogni lastra dovrà inoltre essere ancorata alla struttura portante mediante quattro o più zanche in acciaio inossidabile aventi una estremità alloggiata in fori ciechi predisposti sul bordo delle lastre stesse.

Particolare cura dovrà essere posta nella lavorazione e nella posa in opera delle lastre di rivestimento dei gradini, delle soglie per porte e finestre, degli zoccolini, nonché dei battenti e gocciolatoi ricavati con listelli della stessa pietra di sezione 2x3 cm, incassati sulla soglia per 1 cm e sigillati con collanti a base di resine.

I giunti tra le lastre dovranno essere sigillati con prodotti idonei.

51.6. Cordonate in pietra

Dovranno avere la sezione prevista in Progetto e saranno posti in opera su getto in conglomerato cementizio di tipo III con $R_{ck} > 20$ MPa, dello spessore di 10 cm allettati con malta di cemento; i giunti saranno stuccati con malta di cemento.

Gli elementi in pietra naturale, (granito, travertino, Trani), retti o curvi, anche di speciale sagomatura, di sezione $300 \div 400$ cm² o $700 \div 800$ cm², di lunghezza non inferiore a 1,25 m se rettilinei ed a 0,75 m se curvilinei, dovranno essere lavorati nelle facce in vista a punta media, con spigolo esterno arrotondato, raffilati nelle teste a perfetta squadra per l'intera altezza e nel bordo interno a filo usuale e, ove previsto, dotati di vani a «bocca di lupo».

51.7. Gradini prefabbricati

Il gradino prefabbricato, realizzato in conglomerato cementizio avente $R_{ck} > 30$ MPa e armato con acciaio Fe B 44K, sagomato secondo disegno esecutivo e formante pedata e alzata, sarà allettato con malta di cemento o incastrato agli estremi nella struttura portante; le superfici in vista saranno o perfettamente piane e lisce atte ad essere rivestite, o

con pedata ed alzata finite con ghiaietto di fiume lavato, della granulometria indicata, incorporato nel getto secondo le indicazioni progettuali.

51.8. Gradini rivestiti con profilati di gomma

I rivestimenti di gradini con profilato di gomma, dello spessore di 4 mm, saranno composti da un unico pezzo comprendente alzata, parabordo e pedata, con superficie in vista a rilievo e rovescio, idonea per l'applicazione sul supporto preventivamente preparato della gomma con speciali adesivi a base poliuretanica a due componenti.

51.9. Soglie e davanzali in c.a.

La lastra prefabbricata per soglie e davanzali sarà realizzata in conglomerato cementizio avente $R_{ck} > 35$ MPa, armata con ferro tondo.

Avrà lo strato superficiale in graniglia o scaglie di marmo e cemento bianco o colorato, di spessore non inferiore a 5 mm e con spigoli profilati; le superfici in vista saranno rifinite mediante lisciatura o martellinatura.

La posa in opera delle soglie e davanzali sarà effettuata con allettamento di malta di cemento.

La sagomatura e le dimensioni saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

51.10. Rivestimento con pannelli di acciaio porcellanato

Il rivestimento modulare per pareti esterne sarà realizzato con pannelli preformati in acciaio porcellanato, fissato ad una struttura in profilati di acciaio zincato rullato a freddo.

La struttura portante sarà ancorata alle murature con tasselli ad espansione, con disposizione dei montanti e dei traversi atti a creare la modularità richiesta dal Progetto; il fissaggio dei pannelli alla struttura avverrà mediante mollette di appensione di acciaio inox tipo 302, collegate agli stessi con rivetti, anche questi in acciaio inox.

I pannelli di tamponamento, in acciaio speciale decarburato, delle dimensioni e colori previsti in Progetto, bordati e risbordati mediante pressopiega sui quattro lati, saranno porcellanati con smalti acidoresistenti di classe "A", in conformità alle norme UNI 9757 e P.E.I. S100/65.

La smaltatura dovrà avvenire su entrambe le facce del supporto metallico, previo decapaggio, applicando uno strato vetroso di fondo, con deposito di "ground" di almeno 200 μm , cotto in forno alla temperatura di almeno 820 °C.

Successivamente dovrà essere applicato, sul lato in vista, un secondo strato vetroso che ne determini il colore e la lucentezza, inalterabili nel tempo, con un deposito di almeno 120 μm .

I pannelli dovranno essere muniti di controbilanciatura interna, eseguita con lastre di anidride sinterizzata dello spessore di 10 mm; sul risbordo dei pannelli, nel punto di sovrapposizione degli stessi, dovrà essere applicata una guarnizione continua autoadesiva in Dutral.

Particolare cura dovrà essere posta nella formazione di pannelli d'angolo; i coprifili perimetrali e lo zoccolino al piede dovranno essere in alluminio preverniciato, di adeguata sezione.

La casa produttrice dovrà garantire la inalterabilità del rivestimento, per un periodo di almeno dieci anni e lo stesso dovrà possedere i seguenti requisiti: processo di porcellanatura in conformità alla norma UNI 9757; resistenza all'urto; resistenza agli acidi; resistenza allo shock termico; durezza della superficie e resistenza alle abrasioni; resistenza ai raggi U.V.A., al fuoco ed alle escursioni termiche; di facile pulizia delle superfici ed antibatterico.

La Direzione Lavori farà sottoporre campioni del rivestimento a prove presso un Laboratorio Ufficiale che certifichi la corrispondenza del prodotto, alle caratteristiche richieste.

51.11. Rivestimento in blocchi prefabbricati

Il rivestimento di strutture metalliche e/o murarie a faccia vista sarà realizzato con blocchi prefabbricati di cemento impermeabilizzati, dello spessore di 68 cm a superficie splittata normale o scanalata, legati con malta bastarda additivata con idrorepellente, compresa la stuccatura e stilatura dei giunti.

Può essere prevista in Progetto la colorazione dei blocchetti, nel colore indicato, con pigmenti inorganici addizionati nell'impasto.

52. Vespai

Dopo aver regolarizzato il terreno, per evitare umidità e infiltrazioni di acqua attraverso le pavimentazioni dei fabbricati, sarà realizzato un vespaio composto da:

- ghiaia mista o detriti di cava posti in opera a mano;
- scheggioni di pietrame o ciottoli di fiume intasati con ghiaia o minuto di cava di pezzatura assortita.

Il materiale dovrà essere assestato con idonei mezzi vibranti.

Il vespaio del tipo a camera d'aria è formato da muricci di mattoni pieni ad una testa dell'altezza minima di 15 cm ad interasse di 80 cm con sovrastante tavellonato da 6 cm e massetto dello spessore di 5 cm in conglomerato cementizio avente Rck > 25 MPa. La circolazione dell'aria necessaria per tenere asciutto l'ambiente sarà assicurata da canali di aerazione e bocche di sfogo realizzate nelle murature perimetrali.

53. Pavimenti

53.1. Norme generali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori una campionatura dei materiali da pavimento perché la stessa possa valutarne la conformità e la qualità.

La posa in opera dei pavimenti dovrà essere curata in modo che nessun elemento sporga rispetto ad altri e tutti risultino tra loro ben serrati; le commessure dovranno essere invisibili e ben allineate; elementi anche minimamente imperfetti dovranno essere scartati.

Le superfici dovranno risultare perfettamente in piano salvo nei casi in cui il Progetto le preveda in pendenza, nel qual caso dovrà essere comunque assicurata la perfetta planarità delle falde.

I pavimenti dovranno addentrarsi per almeno 15 mm entro l'intonaco fino al rustico delle murature. Su pavimenti molto estesi dovranno essere previsti giunti di dilatazione, sia longitudinali sia trasversali, da riempire con idonei materiali secondo le indicazioni di Progetto.

A pavimentazione ultimata, l'Appaltatore dovrà pulire accuratamente la superficie perché non vi restino tracce di malta e curare la protezione e la conservazione dei pavimenti fino alla consegna, restando inteso che sarà addebitato ogni onere occorrente alla demolizione, al ripristino e, se necessario, anche al totale rifacimento di quei pavimenti o di quelle parti di essi, che, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, risultassero per qualità di materiale, per cattiva esecuzione o per mancata conservazione, non idonei.

I pavimenti saranno posati su un massetto di sottofondo formato da:

- conglomerato cementizio avente Rck > 20 MPa, dello spessore finito di 10 cm;

oppure:

- in malta dosata con 400 kg di cemento normale per metro cubo di sabbia, armato con rete elettrosaldata in fili di acciaio zincato del peso di 2 kg/m², spessore non inferiore a 3 cm.

Tipologia e spessori secondo quanto previsto dagli elaborati di Progetto.

Il massetto dovrà essere configurato e regolarizzato in superficie, pronto per la posa della prevista pavimentazione.

Se previsto in Progetto, sotto il massetto, sarà realizzato l'isolamento termico mediante posa di pannelli in polistirene espanso, della densità non inferiore a 30 kg/m², spessore non inferiore a 2 cm.

53.2. In cubetti di porfido

Saranno eseguiti con cubetti di porfido del tipo delle cave Alto Adige e saranno posti in opera con disegno ad archi contrastanti, su letto dello spessore di 10 cm, di sabbia scevra da materie eterogenee e dovranno risultare a contatto prima di qualsiasi battitura.

I cubetti non dovranno presentare piani secondari di sfaldamento e avranno il lato, come da prescrizioni progettuali.

La battitura sarà eseguita con abbondante spargimento di acqua in modo da facilitare l'assestamento definitivo della pavimentazione.

I giunti non dovranno superare la dimensione di 10 mm e la loro sigillatura sarà eseguita con emulsione bituminosa al titolo minimo 50% previa scarnitura degli stessi con acqua a pressione e successivo spandimento di materiale siliceo per saturazione.

Nell'esecuzione delle fasce costituite da due file di binderi di 10x20 cm posti di testa, il sottofondo sarà in calcestruzzo di tipo III con Rck > 25 MPa, di spessore 15 cm, e la sigillatura dei giunti sarà eseguita con malta di cemento.

53.3. In conglomerato cementizio

53.3.1. In conglomerato cementizio per nuove pavimentazioni

Sul sottofondo sarà eseguita una spianata di calcestruzzo a 200 kg/m³ di consistenza appena umida, ben battuta, livellata e di spessore medio di 5 cm, sufficiente a costituire il piano di posa.

Su detto piano sarà steso uno strato di spessore 2 cm composto da sabbia granita che sarà rullata a perfetta consistenza.

Quindi, sarà eseguita la gettata in conglomerato di cemento, di Rck > 30 MPa, opportunamente vibrata dello spessore minimo di 15 cm, sistemata secondo le pendenze prescritte e divisa, mediante giunti di dilatazione, in lastroni di superficie non superiore a 10 m².

Durante il getto, a 5 cm dal filo superiore finito, sarà annegata una rete metallica elettrosaldata in fili di acciaio del tipo Fe B 44K. Le superfici saranno trattate, secondo le previsioni progettuali, nel seguente modo:

- trattamento antiusura della pavimentazione mediante spolvero della superficie del calcestruzzo fresco con idoneo prodotto indurente a base di inerte metallico, o di miscela di inerti silicei selezionati di elevata durezza, applicati ambedue in ragione di 8,00 kg/m² ed incorporati nel calcestruzzo che sarà lisciato con fratazzatrice meccanica;
- trattamento superficiale con manto speciale tipo "Duromit", ad alta resistenza alla compressione (100 MPa), all'urto ed all'usura (coefficiente 2,38), idoneo al transito di veicoli gommati montanti catene o anche cingolati, impermeabile ed inattaccabile agli oli minerali, detersivi, carburanti, ecc., impermeabile all'acqua ad alta pressione, agli agenti chimici di normale uso industriale; a superficie ruvida del tipo:
- «a massetto di riporto» dello spessore totale di 4 cm, di cui 3 cm costituito da calcestruzzo dosato a 300 kg/m³ di cemento di altoforno, con inerti silicei lavati delle dimensioni max 6÷7 mm, e 1 cm costituito da impasto speciale additivato, gettato fresco su fresco, di formulazione idonea a garantire la resistenza di cui sopra, realizzato nei colori previsti;
- «a pastina» dello spessore di 1 cm, costituito da impasto confezionato con prodotto speciale gettato fresco su fresco, in ragione di 22 kg di prodotto secco per metro quadrato di superficie trattata, realizzato nei colori previsti.

La superficie sarà trattata con una finitura superficiale mediante idonea fratazzatrice meccanica.

La lavorazione sarà completata dalla formazione dei giunti, con riquadri di superfici non superiore a 6,00÷7,00 m² mediante taglio con sega a dischi e successiva applicazione di profilati elastici in PVC.

53.3.2. In conglomerato cementizio su pavimentazioni esistenti

Il pavimento sarà realizzato mediante getto sulla pavimentazione esistente, di conglomerato cementizio avente Rck > 35 MPa, dello spessore di 4 cm; sarà armato con rete elettrosaldata in fili di acciaio del tipo Fe B 44k del diametro di 4

mm e maglie di 15x15 cm; la rete sarà ancorata al sottofondo con n. 4 staffe per metro quadrato, previa esecuzione di fori nella sottostante pavimentazione.

Il pavimento sarà trattato superficialmente mediante spolvero con idoneo prodotto indurente a base di inerte metallico.

La lavorazione sarà completata con la formazione dei giunti e loro sigillatura.

53.3.3. In conglomerato cementizio ad alta resistenza

La pavimentazione ad elevata resistenza meccanica ed all'usura, idonea al transito di mezzi pesanti gommati, con catene o cingolati, impermeabile agli oli minerali e carburanti, sarà realizzata con malta spatolabile a base di resine epossidiche ed inerti a curva granulometrica chiusa di origine minerale, a tre componenti da miscelare al momento dell'uso, da applicare su superfici in conglomerato cementizio previo trattamento con idoneo primer a base di resine epossidiche e con successivo intasamento superficiale a base di resine epossidiche bicomponenti.

Lo spessore della pavimentazione finita sarà maggiore di 4 mm, con un consumo di almeno 10 kg/m² di malta e 0,40 kg/m² di primer.

Caratteristiche della malta:

- peso specifico : 2,1 kg/dm³
- tempo di indurimento : > 24 h
- tempo di pedonabilità : > 48 h
- tempo di carrabilità : > 96 h

La pavimentazione dovrà essere data ultimata in opera nei colori previsti e con la formazione dei giunti da eseguirsi come descritto all'articolo precedente.

53.3.4. In conglomerato cementizio per corsie di stazione

Sarà costituita da uno strato di conglomerato cementizio di tipo II con Rck > 35 MPa, dello spessore di 35 cm, steso in unico strato ed armato con rete elettrosaldada posta a 5 cm dal piano di posa del conglomerato; in corrispondenza delle pedane e pedanine la rete dovrà essere interrotta come indicato nei disegni esecutivi; tra la pavimentazione ed il sottofondo dovrà essere steso uno strato di sconnessione in cartonfeltro bitumato del peso di 0,70 kg/m².

Il conglomerato dovrà avere l'aggregato fino costituito da sabbie di natura calcarea e silicea, con una percentuale di quest'ultima non inferiore al 20% in peso delle sabbie; questo per avere una buona e durevole rugosità superficiale.

L'aggregato grosso potrà anche essere di natura calcarea, ma dovrà avere i seguenti requisiti:

- perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature secondo le norme ASTM 131 AASHTO T 96 inferiore al 30%;
- coefficiente di frantumazione secondo le norme C.N.R. fasc. IV/1953, inferiore a 130.

Dovrà essere valutata anche l'attitudine del calcestruzzo, confezionato con tali inerti, ad essere segato per la formazione dei giunti.

Per ottenere un calcestruzzo avente caratteristiche ottimali di lavorabilità, plasticità e durabilità, sarà necessario l'impiego di additivi aeranti e fluidificanti nelle quantità occorrenti. Il calcestruzzo dovrà essere distribuito, vibrato, compattato e livellato a perfetta regola d'arte, curando che durante il getto e la vibratura il materiale non si segreghi.

Opportune tecniche dovranno essere seguite per la posa in opera delle spire magnetiche contatraffico da inserire nel getto in modo che quest'ultime rimangano nella posizione prevista durante le operazioni di stesa e sistemazione del calcestruzzo. Da parte della Direzione Lavori potrà essere richiesto qualsiasi accorgimento adatto a tal fine.

In ogni caso sarà cura dell'Appaltatore evitare che alcun oggetto metallico resti racchiuso nel getto in prossimità delle spire.

Dovrà essere curata in modo particolare la finitura superficiale del getto, da effettuare preferibilmente con impiego di fratazzatrici meccaniche o stagge vibranti, del tipo approvato dalla Direzione Lavori.

Eventuali irregolarità dovranno essere colmate fresco su fresco con lo stesso calcestruzzo usato per il getto evitando tassativamente riprese a base di malta.

La regolarità della pavimentazione sarà controllata impiegando un regolo della lunghezza minima di 3,00 m, disposto secondo due direzioni ortogonali; non dovranno aversi scostamenti superiori a 5 mm rispetto alla sagoma di Progetto.

In presenza di scostamenti superiori a 5 mm la pavimentazione dovrà essere demolita e ricostruita a cura e spese dell'Appaltatore.

La finitura superficiale sarà completata usando scope di saggina per conferire alla pavimentazione la necessaria rugosità in senso trasversale a quello di marcia. La pavimentazione, subito dopo la finitura, dovrà essere mantenuta continuamente bagnata per almeno dieci giorni, ricoprendola dapprima con teli o sacchi bagnati e, dopo il primo indurimento, con una coltre di sabbia tenuta continuamente imbevuta di acqua.

Potranno essere adottati anche altri sistemi protettivi quali prodotti antievaporanti (curing), ecc., purché tempestivamente sottoposti all'approvazione della Direzione Lavori.

La pavimentazione potrà essere aperta al traffico dopo un periodo di almeno venti giorni dall'esecuzione dei getti, previo accertamento da parte della Direzione Lavori delle resistenze raggiunte dal calcestruzzo.

I giunti trasversali di contrazione, mediante i quali si ha la suddivisione in lastre della pavimentazione, saranno del tipo senza barre di trasferimento e saranno realizzati come giunti segati e tagliati ad interasse di 4÷5 m, in posizione tale da non nuocere alle spire magnetiche e comunque secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

Per ricavare questi giunti dovranno essere impiegate mole diamantate.

L'operazione di taglio sarà iniziata da 6 a 24 h dopo il getto, secondo le condizioni climatiche (temperatura, ventilazione, stato igrometrico dell'aria): non si dovrà iniziare il taglio se non quando l'indurimento del calcestruzzo sia sufficiente ad evitare ogni possibile deterioramento e, nello stesso tempo, quanto prima onde evitare la formazione di fessure di ritiro.

I giunti avranno una apertura di circa 3÷4 mm ed una profondità max di 10 cm.

Appena segati essi dovranno essere completamente puliti mediante aria compressa.

La sigillatura definitiva può essere rimandata a più tardi, ma in tal caso è necessaria una sigillatura provvisoria mediante l'introduzione nella fessura di una corda o di un nastro di carta o d'altro materiale, onde evitare che si introducano sassi o corpi estranei.

Questo materiale sarà successivamente rimosso per procedere alla sigillatura definitiva, per la quale dovranno essere impiegati prodotti approvati dalla Direzione Lavori (in particolare mastici elastomerici).

Quando previsto in Progetto, il trattamento superficiale antiusura del calcestruzzo fresco costituente la pavimentazione, sarà realizzato con una miscela formata da quarzo sferoidale della granulometria prescritta dalla Direzione Lavori in ragione di 5,00 kg/m² e cemento in ragione di 3,00 kg/m² applicata in tre strati.

Ogni strato sarà densificato meccanicamente con fratazzatrice a pale multiple e successivamente regolarizzato manualmente; l'ultimo strato sarà irruvidito con mezzi idonei.

L'Appaltatore dovrà fornire assistenza muraria, comprensiva di mano d'opera, materiali, ganci, tubazioni, ecc. per l'installazione delle sottoelencate apparecchiature:

- telaio di base delle cabine esazione pedaggi;
- pedane contassali e pedanine discriminanti nelle corsie di stazione, sia manuali sia automatiche;
- telaio di base sul pozzetto della barriera microonde.

53.4. In lastre di marmo

Saranno poste in opera su letto di malta dosata a 600 kg di cemento tipo 32,5 per metro cubo di sabbia distesa sopra il massetto di fondazione.

Le lastre consisteranno in elementi di tipo e forma previste in Progetto e di spessore non inferiore a 2 cm; saranno premute finché la malta rifluisca dalle commessure e stuccate con cemento naturale o colorato; la loro larghezza non dovrà superare 1 mm. A posa ultimata, sarà eseguita la levigatura e la lucidatura a piombo.

53.5. In piastrelle di grès

Le piastrelle di grès di prima scelta, saranno poste in opera, previa bagnatura del piano di posa, su uno strato di malta cementizia dello spessore non inferiore a 2 cm, ben battuto e costipato, con sovrastante spolvero di cemento di circa 3 mm.

Le piastrelle saranno disposte secondo il disegno previsto, avendo cura di adattare e contrapporre per compensare le differenze di calibro e di squadra, scartando quelle comunque difettose.

Gli interstizi tra le piastrelle non dovranno risultare maggiori di 1 mm.

Successivamente la superficie sarà cosparsa di acqua e si procederà alla battitura delle piastrelle per farle aderire perfettamente al letto di posa.

In alternativa le piastrelle potranno essere poste in opera con idonei adesivi in pasta (a base di leganti idraulici, resine sintetiche e additivi speciali), previa lisciatura del piano di posa con idonei prodotti autolivellanti ad indurimento rapido (a base di cementi speciali, sabbia silicea, resine ed additivi).

Si procederà quindi alla sigillatura degli interstizi mediante colaggio di boiaccia di cemento (normale, bianco o colorato a secondo del colore delle piastrelle), al lavaggio ed alla pulizia finale con spugne.

53.6. In gomma e vinilico

Gli elementi saranno applicati su massetto di calcestruzzo di tipo III Rck > 30 MPa, di spessore 4 cm, con speciale adesivo che sarà steso uniformemente e in quantità strettamente necessaria impiegando apposite spatole dentellate.

Il collocamento degli elementi avrà inizio solo quando l'adesivo sarà asciutto e facendo attenzione che non fuoriesca dai giunti.

Particolare cura dovrà aversi nella posa di elementi che presentano disegni o marmorizzazioni e in corrispondenza di sporgenze, o rientranze, o di forme comunque irregolari, dove gli elementi stessi dovranno essere perfettamente adattati mediante tagli, avendo cura di non incidere il sottofondo.

Per i pavimenti in gomma è previsto in più l'onere della fornitura e posa in opera di un coprifiolo perimetrale in anticorodal.

Si procederà alla pulizia del pavimento finito con panno asciutto o leggermente umido solo dopo che l'adesivo sarà completamente essiccato.

53.7. In lastre di calcestruzzo

Sarà eseguita con lastre prefabbricate in calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa di dimensioni da 40x40 cm o 50x50 cm e spessore di almeno 5 cm del tipo:

- con ghiaietto lavato - Le lastre avranno la superficie in vista rivestita con ghiaietto lavato ed incorporato nel getto; saranno poste in opera: con malta di cemento ed i giunti saranno stilati e sigillati a cemento, oppure potranno essere utilizzate, poste a secco su piedini in PVC, a protezione di manti di copertura in alternativa a pavimentazioni tradizionali;
- a scanalature oblique - Le lastre avranno la superficie in vista finita a rilievo con scanalature oblique; saranno poste in opera con malta di cemento ed i giunti saranno stilati e sigillati a cemento.

Tipologia e dimensioni delle lastre secondo le indicazioni di Progetto.

53.8. In elementi modulari autobloccanti in cls vibrato

Sarà eseguita con elementi modulari autobloccanti in calcestruzzo vibrato avente Rck > 30 MPa di spessore 6 cm, posti in opera su letto di sabbia vagliata ed assestata mediante vibrazione dello spessore finito di 5 cm.

Particolare cura dovrà usarsi per ottenere la superficie della pavimentazione perfettamente piana ed i giunti dovranno essere intasati con sabbia.

Le lastre saranno del colore indicato negli elaborati progettuali, ottenute aggiungendo all'impasto pigmenti inorganici.

53.9. In mattonelle

Saranno delle dimensioni previste in Progetto, ricavate dal taglio di blocchi di agglomerati vibrocompressi confezionati con scapoli di marmo naturale pregiato e speciali resine sintetiche.

Le mattonelle saranno fornite grezze, poste in opera su letto di malta cementizia additivata da collante a base di lattice di gomma e stuccate con materiali idonei.

Saranno finite in opera mediante levigatura e lucidatura.

53.10. In lastre di agglomerato vibrocompresso

Saranno ricavate dal taglio di blocchi di agglomerato vibrocompresso confezionato con granuli di marmi naturali selezionati e speciali resine sintetiche aventi l'aspetto di granito con durezza grado 3÷4 Scala Mohs.

Saranno di dimensioni secondo le prescrizioni di Progetto e di spessore 1,5 cm.

Dovranno avere superficie lucida ed essere calibrate e bisellate sugli spigoli.

Saranno poste in opera incollate con adesivo, a base di lattice di gomma sintetica, cemento e sabbia silicea, su massetto di sottofondo in conglomerato cementizio di tipo II con Rck > 30 MPa, dello spessore 4 cm; ad avvenuta stagionatura il massetto dovrà essere rifinito con idonei prodotti autolivellanti a presa rapida costituiti da resina, sabbia e cemento.

Si procederà quindi alla sigillatura delle fughe con boiaccia di cemento (normale, bianco o colorato a secondo del colore delle lastre), al lavaggio ed alla pulizia finale a posa ultimata.

53.11. In moquette

Sul massetto in conglomerato cementizio si creerà un sottofondo di spessore 4 cm costituito da calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa che sarà convenientemente battuto e fratazzato stretto, fino a perfetto livellamento e rasato sino ad ottenere una superficie perfettamente regolare, priva di asperità, ondulazioni, fori o bolle che pregiudicherebbero il lavoro.

La moquette, del colore previsto, sarà in tessuto bouclé mouliné di fibra poliammidica, con sottofondo sintetico in doppio strato, di cui quello inferiore in poliestere a stabilità dimensionale.

Dovrà avere caratteristiche di antistaticità permanente, essere antisporcico e avere reazione al fuoco di classe 1.

Lo spessore complessivo sarà di 7 mm, di cui 4 mm di felpa, ed il peso dovrà risultare di 1,9÷2,0 kg/m².

Nella eventualità che si dovesse procedere alla esecuzione di giunti fra i teli, questi dovranno essere cuciti tra di loro in modo tale che i giunti stessi dovranno risultare perfettamente invisibili.

In corrispondenza di vani di porte la moquette terminerà sotto la soglia che sarà realizzata con profilati speciali di ottone fissati con viti di ottone.

53.12. In modulare sopraelevato

Sono costituiti da:

- pannelli amovibili ed ininfiammabili aventi dimensioni non inferiori a 60x60 cm, ricoperti con rivestimento antistatico in plastica laminata del colore previsto, completi di guarnizione perimetrali a tenuta ermetica e, per ogni locale, di una ventosa per la rimozione dei pannelli, provvista di valvola di sfiato.
- pannelli modulari ininfiammabili aventi dimensioni non inferiori a 60x60 cm, in legno duro di densità non inferiore a 730 kg/m³ rivestiti con laminato plastico antistatico, ricoperti in superficie con mattonelle di grès porcellanato

monostrato delle dimensioni 30x30 cm, incollate con speciale adesivo neoprenico, del colore e disegno come da Progetto.

- pannelli grigliati pressofusi in acciaio zincato a caldo di adeguato spessore, compreso i collegamenti equipotenziali.

Posti in opera su intelaiatura continua reticolare realizzata in tubi di acciaio cadmiato di adeguata sezione, appoggiata, in corrispondenza di ciascun nodo, su supporti costituiti da colonnine metalliche ad altezza regolabile da un minimo di 10 cm ad un massimo di 50 cm.

Il pavimento dovrà essere strutturato in modo tale da sopportare in qualsiasi punto un carico massimo concentrato di 500 kg, un carico massimo ripartito di 1.700 kg/m² ed un carico su ogni supporto di 2.000 kg. È prevista inoltre la fornitura in opera di uno zocchetto perimetrale in gomma dell'altezza di 8 cm.

54. Canali di gronda, pluviali, scossaline, ecc.

54.1. Norme generali

La sezione, lo sviluppo e la sagoma dei canali di gronda, nonché il numero, la posizione e la sezione dei pluviali, delle scossaline e delle converse, le modalità di fissaggio, saranno quelle definite nel Progetto relativo a ciascun fabbricato.

Le sezioni dei pluviali, sono previste in rapporto ai dati pluviometrici e secondo prescrizioni regolamentari particolari.

La pendenza dei canali di gronda verso gli scarichi non dovrà, di norma, risultare minore dello 0,5%.

Saranno a totale carico dell'Appaltatore le riparazioni per qualsiasi perdita ed ogni altro difetto che si manifestasse, dalla consegna fino a collaudo eseguito, compreso ogni onere di ripristino.

54.2. Bocchettoni

I bocchettoni, in materiale plastico (PVC, Neoprene) o in tubi di piombo finiti con verniciatura isolante o spalmatura di catrame, saranno posti in opera sulle coperture piane per raccogliere e convogliare le acque piovane nei tubi pluviali; saranno provvisti di griglia al fine di trattenere materiali che possano ostruire i pluviali; saranno incassati e sigillati all'estradosso del solaio di copertura.

54.3. Canali di Gronda, Foderature, Converse, Scossaline

Possono essere nelle seguenti tipologie:

- in lamiera di ferro nero, dello spessore come da Progetto, finiti con verniciatura a due mani, ciclo "E", previa sabbatura di grado SA 2½;
- in lamiera di ferro zincato, dello spessore come da Progetto, finiti con una mano di primer epossidico antiruggine ad alto spessore, ciclo "C";
- in lamiera di rame crudo dello spessore come da Progetto.

Le sovrapposizioni dovranno interessare la lamiera per almeno 8 cm e saranno rivolte verso lo scarico.

Dovranno inoltre essere predisposti opportuni giunti di dilatazione con interasse mediamente di circa 15 m.

Lo sviluppo delle converse sotto il manto di copertura dovrà essere sufficiente a contenere l'acqua di stravento.

Le lamiere saranno fissate al supporto, previa impermeabilizzazione di quest'ultimo con prodotti bituminosi, mediante staffe, accessori di fissaggi, con chiodi sparati ricoperti da saldatura.

I punti di fissaggio dovranno essere in numero sufficiente e posizione opportuna, tenendo conto soprattutto dell'azione del vento.

54.4. Pluviali

I tubi di discesa delle acque meteoriche, pluviali, sono in lamiera di ferro zincato o in tubi elettrosaldati di acciaio dolce di tipo commerciale, come da scelta progettuale; posti in opera in vista o incassati nelle murature e raccordati mediante bocchettoni ai canali di gronda.

I pluviali scatolati saranno piegati a freddo e saldati elettricamente in pezzi della lunghezza di almeno 2 m. Le giunzioni a libera dilatazione tra i vari pezzi dovranno avere sovrapposizione non inferiore a 5 cm.

I pluviali dovranno essere ancorati alle strutture portanti mediante grappe di sezione adeguata in ragione di una grappa ogni 2 m di tubo, comprese le necessarie opere murarie, e dovranno essere raccordati al piede ai pozzetti di raccolta; particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera dei pluviali incassati nelle murature allo scopo di evitare infiltrazioni di acqua.

Internamente saranno catramati ed esternamente finiti con verniciatura a due mani con ciclo "E" nei colori previsti, previa sabbiatura di grado SA 2½.

54.5. Strutture e lattonerie in acciaio inox

Si richiama l'articolo relativo all'acciaio per carpenteria per l'osservanza di Leggi e Regolamenti in ordine agli adempimenti connessi con la esecuzione dei lavori, al collaudo tecnologico dei materiali, al controllo in corso di lavorazione ed al montaggio.

Per strutture portanti costituite da pilastri, travi, cerniere e carpenterie in genere di qualsiasi spessore, forma e dimensione, anche scatolare, è previsto l'impiego di lamiere laminate a caldo in acciaio inox x6 Cr/Ni Ti 18/11.

Nelle lattonerie per foderature, carenature, scossaline, tubazioni, ecc. di qualsiasi forma e dimensione, anche scatolare, di spessore fino a 3 mm, è previsto l'impiego di lamiera laminata a freddo in acciaio inox x5 Cr/Ni 18/10.

Gli acciai inox dovranno presentare il grado di finitura previsto in Progetto, di norma satinatura ottenuta mediante smerigliatura e preceduta da decapaggio con soluzione acida.

In corrispondenza di cordoni di saldatura o in altri punti particolari, la smerigliatura dovrà essere preceduta da rimozione dei residui del fondente e da sabbiatura.

Particolare cura dovrà essere posta nell'imballaggio delle lamiere e nella protezione superficiale mediante carta o plastica adesiva.

55. Rivestimenti in alluminio e leghe leggere di alluminio

Per foderature e manufatti anche scatolati in lamiera di alluminio puro (titolo 99,5%) dello spessore indicato in Progetto, dovrà essere impiegato alluminio primario PALP 99,5. Per i rivestimenti in profilati estrusi di alluminio anodizzato bianco satinato dovranno essere impiegate leghe leggere da lavorazione plastica resistente alla corrosione secondo le norme in vigore.

Le finiture potranno essere realizzate anche mediante:

- anodizzazione in alluminio puro, a colore naturale o per elettrocolorazione (di norma bruno, bronzo, nero);
- preverniciatura a forno con polveri poliestere, nei colori previsti;

secondo quanto indicato negli elaborati di Progetto.

Nell'intradosso di pensiline, il rivestimento sarà eseguito con profilati cannettati estrusi di alluminio anodizzato bianco satinato, fissati alle strutture portanti mediante bulloneria.

I profilati dovranno avere lo spessore di 1,5 mm; la cannettatura avrà passo come da Progetto e profondità di almeno 3,5 mm e contenere particolari sagomature in corrispondenza dei vani per le plafoniere od altri accessori.

56. Infissi

56.1. Norme generali

L'Appaltatore prima di dare corso alla esecuzione delle singole opere dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori campioni dei materiali, disegni di dettaglio e particolari eseguiti al vero; quando esplicitamente richiesto dalla Direzione Lavori dovrà produrre anche prototipi.

Quanto sopra per far verificare dalla Direzione Lavori, anche nei particolari, le caratteristiche di struttura e di funzionamento delle singole tipologie di infissi.

L'Appaltatore è responsabile della verifica del fabbisogno degli infissi nelle varie tipologie e dimensioni per cui deve intendersi a suo carico qualsiasi discordanza che dovesse riscontrarsi in sede esecutiva.

Gli infissi sia in legno sia in metallo, dovranno sempre intendersi completi, adeguatamente a ciascun tipo, di tutti gli accessori di sostegno, movimento, chiusura e trattenuta nonché, come previsto nei disegni esecutivi, di vetri o di cristalli.

L'Appaltatore ha l'obbligo di sottoporre all'esame della Direzione Lavori, prima della posa in opera, tutti gli infissi; a questo fine farà conoscere i tempi e i luoghi delle varie lavorazioni eseguite in stabilimento ancorché lo stabilimento non sia di proprietà dell'Appaltatore.

In particolare per gli infissi che dovranno essere finiti con vernice opaca, il controllo della Direzione Lavori dovrà esplicarsi prima della verniciatura.

L'accettazione delle forniture da parte della Direzione Lavori non avrà comunque carattere definitivo, riservandosi il giudizio finale agli atti di collaudo.

Resta pertanto inteso che l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla sostituzione, rettifica e ripristino di tutte quelle opere o parti di esse che presentassero difetti di qualsiasi natura o genere.

I vetri dovranno essere della qualità e delle dimensioni richieste, di un sol pezzo per ogni specchiatura ed essere conformi alle Norme di unificazione propria per ogni tipo (Norme UNI: EN 5721÷7, EN 121501, 105931÷4, EN ISO 125431÷6). Dovranno avere trasparenza limpida ed essere perfettamente lisci, privi di bolle, ondulazioni e macchie, di spessore uniforme con facce piane parallele.

L'Appaltatore procederà alla fornitura e posa in opera dei vetri secondo le previsioni di Progetto e nel rispetto della Norma UNI 6534 "Vetrazioni in opere edilizie".

I vetri camera dovranno essere uniti al perimetro con apposito profilato e distanziatore saldato con siliconi o polisolfuri o butile; lo spessore delle lastre e della camera sono quelli indicati negli elaborati di Progetto.

I cristalli di sicurezza stratificati sono costituiti dalla unione di più lastre di cristallo con interposti fogli di polivinilbutirrale di spessore 0,38 mm, secondo le indicazioni progettuali.

Gli accessori di sostegno, movimento, chiusura e trattenuta saranno del tipo indicato nei disegni di dettaglio.

L'Appaltatore dovrà effettuare la posa in opera a regola d'arte avendo cura, tra l'altro, di proteggere convenientemente i manufatti da urti, polveri, calci e/o cemento, mediante adeguati rivestimenti provvisori.

Quando previsto negli elaborati progettuali, gli infissi saranno dotati di:

- maniglione antipanico a barra tubolare orizzontale oscillante a mezzo di leve incernierate alle scatole laterali, fissato su una anta di porta metallica in luogo della maniglia prevista, del tipo a semplice o triplice espansione;
- serratura elettrica del tipo da infilare, con scrocco e catenaccio a due mandate in luogo della serratura prevista, per apertura a distanza compreso il collegamento elettrico ed il relativo comando;
- chiudiporta a pompa:
 - del tipo a pavimento dato in opera previa formazione di incavo e di piastra di copertura in acciaio inox;
 - del tipo aereo a compasso con finitura superficiale dello stesso colore della porta alla quale va imposto;
- griglie di aerazione in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato nei colori argento o bronzo, costituita da lamelle di speciale sagomatura, telaio portante e cornici coprifili sui due lati, in Progetto può essere previsto che (alcune), sui lati interni, siano munite di elementi filtranti.

56.2. Infissi in legno

Il tipo di legname da impiegare per i singoli lavori è quello specificato nel Progetto.

I legnami saranno, esclusivamente di prima scelta, stagionati per almeno due anni dal taglio o perfettamente essiccati artificialmente; la percentuale di umidità massima ammessa sarà del 15%.

Dovranno essere ricavati da tavolami diritti, a fibra compatta e resistente, con venatura e colore uniformi, privi di spaccature e fenditure sia radiali sia circolari, sani ed esenti da nodi, cipollature, tarli ed ogni altro difetto.

Ogni singolo elemento degli infissi dovrà essere finito con carta vetrata e pomice onde eliminare qualsiasi sbavatura; tutti gli spigoli dovranno essere leggermente arrotondati. È assolutamente vietato l'uso di qualsiasi mastice per coprire difetti naturali o di lavorazione.

Ogni particolare dovrà risultare conforme ai disegni di Progetto.

Le quote riportate sui disegni particolari e di dettaglio debbono intendersi come riferite ad elementi finiti: saranno, in via eccezionale, ammesse tolleranze di $\pm 0,5$ mm sullo spessore e di ± 2 mm su larghezza e lunghezza.

I montanti e i traversi dovranno essere ciascuno in un solo pezzo, collegati a tenone e mortasa con caviglie in legno duro.

Gli infissi da finire con vernici trasparenti avranno le connessioni a ingletto od ugnatura, cioè a 45° tra montante e traverso.

Gli incastri a maschio e femmina dovranno attraversare i pezzi a cui saranno calettati con un gioco tra tenone e mortasa non superiore a $0,1 \div 0,2$ mm per una perfetta aderenza con la colla.

La tolleranza di testa per incastri in legni massicci lavorati a pannelli, perline o doghette dovrà risultare non inferiore ai 2 mm ed in ogni caso sufficiente a permettere la naturale dilatazione tra i singoli elementi.

Per la lavorazione di elementi tamburati è prescritto l'uso di fogli compensati e paniforti, confezionati con legnami di prima categoria selezionati, sani, incollati a freddo e con strati a spessore costante.

Gli strati interni dovranno essere disposti a fibra incrociata; i fogli esterni, continui, uniformi, esenti da fenditure, buchi e tarli, con un massimo per ogni metro quadrato di 5 nodi sani, aderenti e di diametro inferiore a 15 mm.

Strutture tamburate, comunque eseguite, saranno finite sul perimetro con massello in legno duro.

Per l'unione delle varie parti e per il fissaggio degli accessori e degli apparecchi di manovra, posti a perfetto incasso, dovranno adottarsi viti inossidabili; è vietato l'uso di chiodi. Dette viti, dopo il loro approfondimento di $1 \div 2$ mm nello spessore del legno, dovranno essere opportunamente stuccate.

Il fissaggio al muro dei controtelai avverrà per mezzo di codette o di fascette in ferro con estremità a zanca, protette da vernice antiruggine.

Gli infissi dovranno essere finiti con cicli di verniciatura, come indicato nel presente Capitolato Speciale.

56.2.1. Porte in legno

Le tipologie delle porte sono le seguenti:

- Porta interna tamburata ad una o più ante in legno di abete di prima scelta, cieche o munite di specchiature con vetro float di spessore 6 mm, costituita da:
 - telaio portante di spessore non inferiore a 35 mm e larghezza pari a quella del controtelaio;
 - cornici coprifilo di abete;
 - ante mobili dello spessore minimo di 40 mm composte da intelaiatura perimetrale di sezione 50x40 mm e struttura interna in cellulare a nido d'ape rivestita con pannelli in compensato di pioppo da 5 mm.

La porta sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta, maniglie in ottone cromato di tipo pesante, serratura tipo Patent. L'infisso sarà finito con verniciatura a tre mani con ciclo "A" (ciclo opaco).

- Porta interna tamburata ad una o più ante in legno pregiato (rovere, noce, mogano, ecc.) di prima scelta, cieche o munite di specchiature con vetro float di spessore 6 mm, costituita da:
 - telaio portante di spessore non inferiore a 35 mm e larghezza pari a quella del controtelaio;
 - cornici coprifilo in legno pregiato;

- ante mobili dello spessore minimo di 43 mm composte da intelaiatura in massello di legno di sezione 50x40 mm, struttura interna in cellulare a nido d'ape;
- pannellatura di compensato impiallacciato in legno pregiato dello spessore di 5 mm o con pannellatura in sibrato di legno extra duro dello spessore di 3,5 mm rivestita con laminato plastico di spessore 1,2 mm;
- finitura perimetrale con cornice in massello di legno pregiato avente sezione ad U munita di battuta.

La porta sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta, maniglia in ottone cromato di tipo pesante, serratura tipo Patent. L'infisso sarà finito con una verniciatura a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente).

Sopraluce costituita da telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello della porta; cornici coprifili; specchiatura con vetro float dello spessore di 6 mm o grigliata con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di particolare sagomatura; è prevista l'apertura a vasistas con i relativi organi di manovra e chiusura.

- Portoncino alla mercantile ad una o due ante costituito da: telaio portante di sezione 50x60 mm e cornici coprifilo in rovere o pitchpine; ante mobili con intelaiatura in regoli di abete di 1a scelta di spessore 30 mm; specchiatura esterna ed interna in doghe di rovere o di pitchpine dello spessore di 12 mm; gocciolatoio riportato ad incastro.
- Il portoncino sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta; ferramenta e maniglie in ottone di tipo pesante; serratura tipo Yale.
- L'infisso sarà finito con una verniciatura a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente).
- Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello della porta; cornici coprifili; specchiatura con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm di cui: lastra esterna in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 8÷9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm; apertura a vasistas e relativi organi di manovra e chiusura.
- Dimensioni e tipologie delle porte saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

56.2.2. Finestre e Portefinestre

Le finestre e le portefinestre:

- in legno di abete verniciato a tre mani con ciclo "A" (ciclo opaco);
- in rovere o pitchpine verniciato a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente);

avranno una o più ante anche con apertura a vasistas.

Saranno costituite da telaio portante di 55x75 mm, da ante mobili in regoli di 45x65 mm con traversa inferiore di 85 mm e con il gocciolatoio riportato ad incastro; rifinite con cornici coprigiunto; saranno complete di: vetri tipo float da 6 mm; ferramenta in ottone cromato di tipo pesante; cremonese con asta incassata.

Dimensioni e tipologie delle finestre e portefinestre saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

56.3. Infissi in ferro

I profilati da impiegare dovranno essere del tipo speciale ferrofinestra e dovranno avere sezione tale da garantire assoluta indeformabilità e perfetto funzionamento.

I profili dovranno essere ben definiti, a superficie liscia, spigoli netti, con spessore uniforme non inferiore ai 2 mm nelle membrature ed essere esenti da qualsiasi difetto superficiale e strutturale.

Le parti apribili dovranno essere munite di coprigiunti in modo che il buon funzionamento non sia compromesso dalla polvere o dagli agenti atmosferici.

La tenuta all'acqua ed all'aria dovrà essere garantita da battute multiple, sussidiate da guarnizioni elastiche, gocciolatoi esterni e raccoglicondensa.

Inoltre, quei tipi che in disegno saranno indicati a filo esterno del muro dovranno essere muniti di apposito coprigiunto da sovrapporre tra telaio ed intonaco. Tutte le giunzioni dovranno essere eseguite con saldatura elettrica di testa od a filo continuo.

In particolare le saldature dei giunti a 45° dovranno realizzare l'unione dell'intero perimetro delle superfici accoppiate ed evitare filtrazioni di acque nell'interno dei profilati.

Tutte le saldature dovranno essere accuratamente ripulite dalle scorie e molate.

Per l'applicazione dei vetri dovranno usarsi esclusivamente fermavetri in canalina ad U di lamiera zincata di dimensioni minime di 10x10x1 mm.

Le finestre e le portefinestre realizzate in profilati speciali di acciaio dovranno avere la ferramenta di sostegno e di manovra in ottone tipo pesante.

Tutti gli infissi in ferro dovranno essere protetti con cicli di verniciatura, come indicato nel presente Capitolato Speciale.

Gli infissi per le finestre e le portefinestre dovranno avere un peso medio, compreso il telaio fisso ed esclusi i vetri, di norma non inferiore a 23 kg/m².

56.3.1. Porte

La porta esterna, ad una o due ante, in acciaio zincato a caldo sarà costituita da:

- un telaio portante realizzato in profilati tubolari di adeguata sezione;
- ante mobili tamburate mediante una pannellatura in lamiera di acciaio zincato a caldo dello spessore di 1 mm, applicata sull'intelaiatura in profilati di acciaio e con interposto strato coibente realizzato con pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 40 kg/m³;
- ante mobili grigliate con stecche in acciaio zincato a caldo dello spessore di 3 mm, munite sul lato interno di rete antinsetti, intelaiate in profilati tubolari dello spessore minimo di 50 mm munite di gocciolatoio. Sarà corredata da tre cerniere per ogni anta, da maniglie in ottone cromato, da serratura tipo Yale e finite con verniciatura a tre mani con ciclo "D" oppure preverniciate a polveri.

Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello delle porte; cornici coprifili; specchiatura con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm, di cui: lastra esterna in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 8÷9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm oppure grigliata con stecche in acciaio zincato a caldo di spessore 3 mm. Saranno finite con lo stesso ciclo di verniciatura della porta e potranno essere complete di apertura a vasistas e dei relativi organi di manovra e di chiusura.

Dimensioni e tipologia delle porte saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

56.3.2. Finestre e Portefinestre

Le finestre e le portefinestre saranno realizzate in acciaio verniciato a tre mani con ciclo "B"; saranno costituite da un telaio portante e una intelaiatura delle parti fisse in profilati speciali; da parti mobili apribili a ventola, bilico, a vasistas, in profilati a battentatura multipla muniti di guarnizioni elastiche; saranno completate con apparecchi per l'apertura contemporanea di bilici o vasistas da azionarsi mediante maniglie a frizione o ad asta e cariglione, cornici coprigiunti e vetri float dello spessore di 6 mm.

56.3.3. Porte blindate

Porta blindata ad un'anta costituita da: un controtelaio da premurare realizzato in lamiera di acciaio dello spessore di 4 mm munito di otto robuste zanche della lunghezza di almeno 25 cm; un telaio portante realizzato in lamiera di acciaio dello spessore di 4 mm che sarà fissato al controtelaio mediante perni in corrispondenza della battuta dell'anta; cornici coprifilo; anta mobile tamburata in acciaio composta da una lamiera esterna dello spessore di 4 mm; una intelaiatura perimetrale ed interna in profilati scatolati dello spessore di 4 mm; una lamiera interna dello spessore di 2 mm; coibentazione interna formata da pannelli rigidi di lana minerale; cerniere in acciaio con perno antifrizione munite di cuscinetti a sfere reggispinta; serratura di servizio con scrocco e maniglia; serratura di sicurezza a triplice espansione con sette catenacci di cui cinque orizzontali, uno superiore ed uno inferiore; quattro parastrappi fissi sul lato delle cerniere.

L'anta sarà finita con:

- verniciatura a tre mani con ciclo "D" o preverniciate a polveri, previa sabbiatura;

- rivestita sulle due facce con pannellatura costituita da sfibrato in legno di spessore 3 mm e soprastante laminato plastico dello spessore di 1,2 mm; le parti metalliche in vista rifinite come sopra.

Quando previsto in Progetto, l'anta dovrà avere una specchiatura della superficie di 6 dm² in vetro blindato a quattro strati dello spessore di 36÷38 mm.

Porta esterna blindata ad una o due ante, costituita da profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore minimo di 4 mm, di adeguata sezione e con vetri stratificati a quattro strati di spessore 36÷38 mm.

Sarà completa di: telaio portante in profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore minimo di 4 mm, ancorato solidamente alle strutture con robuste zanche; cerniere in acciaio con perno antifrizione munite di cuscinetti a sfera reggispinta; parastrappi applicati sul telaio dal lato delle cerniere; paletti di bloccaggio; serratura di servizio con scrocco e maniglia; serratura di sicurezza a triplice espansione con sette catenacci di cui cinque orizzontali, uno superiore ed uno inferiore; verniciatura a tre mani con ciclo "D"; guarnizioni di tenuta; coprifili.

56.3.4. Porte tagliafuoco

Porta tagliafuoco, ad uno o due battenti, avente resistenza al fuoco di classe "REI 120" atta a conservare sotto l'azione del fuoco, per 120 min, la resistenza meccanica, la tenuta a fiamme, a gas e a fumi e l'isolamento termico.

La porta sarà costituita da:

- telaio portante in profilati in acciaio a Z fissato alla muratura con zanche, munito di guarnizione perimetrale autoespandente, protetta da lamierino, per tenuta al fumo e resistente alle alte temperature;
- ante scatolate dello spessore minimo di 50 mm, in lamiera di acciaio dello spessore minimo di 1 mm, pressopiegata per formare ala di battuta sul telaio, irrigidite internamente sul perimetro con profilato saldato elettricamente, isolate nell'intercapedine con pannello rigido costituito o da lana di vetro o da due lastre di solfato di calcio precompresso con interposto strato rigido in perlite espansa ad alta densità, rostro di tenuta e cerniere speciali delle quali una con molla interna per chiusura automatica, serratura antincendio adeguatamente protetta e maniglione antipánico a barra oscillante. La porta sarà rifinita con verniciatura a tre mani di ciclo "D" previa sabbiatura.

Porta tagliafuoco ad un'anta ad apertura scorrevole avente resistenza al fuoco di classe "REI 60", predisposta per il funzionamento semiautomatico.

La porta sarà costituita da:

- telaio portante in profilati in acciaio fissato alla muratura con zanche;
- anta scatolata dello spessore minimo di 45 mm, in lamiera di acciaio dello spessore minimo di 1,0 mm, pressopiegata per formare battuta sul telaio, irrigidita internamente sul perimetro con profilato saldato elettricamente, isolata nell'intercapedine con due materassini in fibra ceramica con interposto un pannello rigido in lana minerale.
- Sarà completata da una monoroia superiore in acciaio completa di veletta di copertura, staffe e supporti; carrelli di scorrimento snodati; guida inferiore sagomata; guarnizioni di tenuta; serratura antincendio adeguatamente protetta; contrappeso con cordino di trascinamento entro carter metallico ispezionabile; verniciatura a tre mani con ciclo "D" previa sabbiatura.

56.4. Infissi in alluminio e sue leghe

I materiali da impiegare nella costruzione degli infissi dovranno avere le caratteristiche di seguito indicate:

- profilati estrusi in lega primaria PAI Si 04 Mg allo stato bonificato;
- laminati, trafilati o sagomati non estrusi in alluminio primario PALP99,5;

entrambi trattati con ossidazione anodica di spessore 15 µm, nelle classi ARP15, ARS15, ARC15, in base alle previsioni di Progetto.

I profilati estrusi speciali (tubolari o aperti) impiegati dovranno essere a battentatura multipla dei tipi e delle sezioni previsti in Progetto; in particolare la sezione dei profilati dovrà essere adeguata alle dimensioni degli infissi ed ai tipi di vetro imposti.

Dovranno essere lavorati con il sistema a giunto aperto con camera interna di rarefazione e guarnizioni di tenuta in neoprene.

La tenuta perimetrale degli infissi dovrà essere conseguita mediante perfetta lavorazione e rettifica dei profilati; gli elementi dovranno essere connessi tra loro mediante saldatura elettrica; le unioni agli angoli rafforzate con squadrette inserite nelle cavità dei profilati e fissate con avvitamento occulto.

La blindatura dei serramenti, quando prevista in Progetto, dovrà essere realizzata con profilati di acciaio zincato a caldo, fissati con avvitamento occulto all'interno dei profilati estrusi in lega leggera.

Nelle strutture murarie, dovranno essere posti in opera controtelai o contromaschere in acciaio trattati con vernice isolante dielettrica per permettere la completa rifinitura dei vani prima di montare gli infissi.

Tra le contromaschere e gli infissi esterni dovrà essere applicato, in sede di montaggio, nell'apposito alloggiamento un cordone autosigillante. Le cerniere dovranno essere in profilato estruso di lega leggera con spine di acciaio inossidabile; maniglie e organi di manovra in lega leggera di tipo pregiato.

Quando previsto in Progetto, gli infissi di finestra dovranno avere incorporate guide con relativi accessori per l'installazione di tende alla veneziana in lamelle di alluminio, da manovrare mediante comando ad arganello con dispositivo "DUE IN UNO" ad asta e manovella oscillante per la raccolta e l'orientamento simultaneo delle lamelle.

Gli infissi di finestra dovranno avere un peso medio, escluse le contromaschere, le blindature in acciaio ed i vetri, di norma non inferiore a 15 kg/m²; quelle con apertura a bilico, ad anta ribalta o blindate dovranno avere un peso unitario superiore rispetto ai 15 kg/m² e comunque rapportato alle dimensioni dell'infisso. Per la posa in opera dei vetri dovranno usarsi esclusivamente fermavetri in profilati ad U estrusi in lega leggera; per evitare vibrazioni e movimenti delle lastre nei telai, tra lastra e telaio, dovranno essere forniti e posti in opera tasselli e guarnizioni in gomma dura o neoprene di dimensioni adeguate al peso ed allo spessore delle lastre.

56.4.1. Porte

Le tipologie delle porte in alluminio sono:

Porta interna tamburata ad una o più ante costituita da: telaio portante composto da due elementi in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione tra loro uniti telesopicamente per essere imposti a pareti di spessore da 90 a 150 mm, ciascuno comprendente una cornice coprifilo munita di guarnizione in dutral nei punti a contatto con la parete; ante mobili cieche o munite di specchiature con vetro float dello spessore di 6 mm, come da indicazioni di Progetto, dello spessore minimo di 43 mm composte da intelaiatura in massello di legno di sezione 50x40 mm, struttura interna in cellulare a nido d'ape, pannellatura in sfibrato di legno extra duro dello spessore di 3,5 mm rivestita con laminato plastico di spessore 1,2 mm, finitura perimetrale con cornice in profilato estruso in lega leggera di alluminio anodizzato avente sezione ad U munita di battuta. Le cerniere saranno tre per anta in lega leggera di alluminio anodizzato e serratura e pomolo del tipo "premiapri".

Porta interna ad una o più ante costituita da: telaio portante composto da due elementi in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione, tra loro uniti telesopicamente per essere imposti a pareti di spessore da 90 a 150 mm, ciascuno comprendente una cornice coprifilo munita di guarnizione in dutral nei punti a contatto con la parete.

Le ante mobili, secondo le indicazioni di Progetto:

- tamburate mediante pannellatura in lamiera di alluminio anodizzato di spessore 1 mm applicata sull'intelaiatura in profilati estrusi di lega leggera con interposto strato coibente in pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 40 kg/m³;
- aventi ciascuna due specchiature in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 6÷7 mm;
- aventi la parte inferiore tamburata e la parte superiore a vetri;
- dello spessore minimo di 45 mm composte da intelaiatura in profilati estrusi di lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione.

La porta sarà provvista di tre cerniere per anta in lega leggera di alluminio anodizzato e serratura e pomolo tipo "premiapri".

Porta esterna ad una o due ante in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, di adeguata sezione costituita da: telaio portante; cornici coprifilo. Le ante mobili, secondo le indicazioni di Progetto:

- tamburate mediante pannellatura in lamiera di alluminio anodizzato di spessore 1,5 mm applicata sull'intelaiatura in profilati estrusi in lega leggera con interposto strato coibente in pannelli rigidi di poliuretano espanso della

densità di 40 kg/m³;

aventi ciascuna due specchiature con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm, di cui: lastra esterna in vetro antifondamento stratificato dello spessore di 8±9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm;

- aventi la parte inferiore tamburata e la parte superiore a vetri;
- grigliate con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di idoneo spessore e particolare sagomatura, munite sul lato interno di rete antinsetti.

Le ante mobili saranno intelaiate in lega leggera di alluminio dello spessore minimo di 45 mm munite di gocciolatoio. Le porte sono provviste di controtelaio in acciaio trattato con vernice isolante dielettrica; di tre cerniere per anta e pomolo o maniglia in lega leggera di alluminio anodizzato; di serratura tipo Yale.

Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello delle porte; cornici coprifili; specchiatura con vetro float dello spessore di 6 mm o grigliata con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di particolare sagomatura. Il sopraluce, quando previsto in Progetto, dovrà avere apertura a vasistas con relativi organi di manovra e chiusura.

Le tipologie ed accessori saranno conformi a quelli scelti dal progettista.

56.4.2. Finestre e portefinestre

Le finestre e le porte finestre saranno realizzate in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, lavorato con il sistema a giunto aperto, costituite essenzialmente da:

- contromaschere in acciaio trattato con vernice isolante dielettrica, complete di zanche da premurare, per permettere la completa rifinitura dei vani prima di montare gli infissi;
- telaio perimetrale in profilati estrusi in lega, da fissare con avvitamento occulto;
- parti mobili apribili costituite da: telaio portante in profilati estrusi in lega leggera con battentatura multipla muniti di guarnizioni elastiche; specchiature che, da scelte progettuali, possono essere con vetro float, stratificato, vetrocamera. Quando previsto, i profilati del telaio e delle parti mobili, saranno elettrocolorati e/o preverniciati a forno con polveri poliesteri, nei colori indicati.

Vetrata fissa, con parti mobili per vani di porte e finestre, in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, realizzata come da prescrizioni progettuali, costituita da: telaio perimetrale, intelaiatura delle specchiere, vetrate, controtelaio in acciaio zincato trattato con vernice isolante dielettrica.

Vetrata blindata fissa, con parti mobili per vani di porte e finestre, in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione, rinforzati internamente con profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore di 46 mm, realizzata come da prescrizioni progettuali, costituita da: telaio perimetrale, intelaiatura delle specchiere, vetrate, controtelaio in acciaio zincato trattato con vernice isolante dielettrica.

Parete esterna perimetrale realizzata con sistema di facciata continua, secondo i disegni di Progetto, costituita da una struttura portante in profilati estrusi di lega leggera di alluminio «a taglio termico».

La struttura composta da montanti e traversi, distribuiti secondo la maglia indicata nei disegni di Progetto e sarà indipendente e termicamente isolata dal reticolo di pannellatura e vetratura esterno.

Data in opera completa di raccordo alle strutture perimetrali, con scossaline in lamiera di alluminio preverniciato e riempimento della cavità con materiale coibente, coprigiunti in alluminio per i rivestimenti, guarnizioni esterne in gomma siliconica ed EPDM, ancoraggio alle strutture portanti con tasselli ad espansione di tipo pesante e quant'altro occorre.

56.5. Tende alla veneziana

Costituite da lamelle in alluminio a sezione curvata, indeformabili, leggere, insensibili alla luce ed agli agenti atmosferici e corrosivi.

La raccolta sarà a pacco su speciale cassonetto completamente metallico e racchiudente tutti i meccanismi di manovra, orientamento, arresto a qualsiasi altezza e fermo di fine corsa.

Il comando per la manovra e l'orientamento sarà del tipo a cordoncini.

Per quelle applicate su infissi di finestre vedasi quanto riportato al precedente punto 57.4.

La verniciatura delle lamelle dovrà essere eseguita con smalto a fuoco, del colore previsto.

56.6. Persiane avvolgibili in materia plastica

Costituite da stecche in profilati estrusi cavi di policloruro di vinile (PVC) collegate orizzontalmente a mezzo di ala continua dello stesso profilato.

Le stecche dovranno presentare rigidità a flessione, resistenza all'urto, resistenza all'agganciamento, stabilità dimensionale; dovranno presentarsi di colore uniforme con superfici esenti da irregolarità, perfettamente rettilinee e di sezione costante.

Ogni stecca dovrà essere munita di non meno di due coste colleganti internamente le due facce per l'intera lunghezza; una delle coste dovrà presentare incamerazione idonea per l'alloggiamento di un rinforzo metallico in acciaio zincato in ragione di un profilato ogni tre stecche.

In questo caso è prevista l'adozione del comando ad arganello con asta oscillante in alluminio anodizzato, in luogo del comando a cinghia.

Lo spessore della stecca non dovrà essere inferiore a 14 mm; l'altezza compresa tra 40÷50 mm, escluso il gancio.

La stecca di base sarà in plastica, in legno o in lega leggera.

La persiana avvolgibile sarà completa di: guide in ferro ad U di dimensioni 18x30 mm, rullo avvolgitore completo di puleggia e supporti con cuscinetti a sfere, avvolgicinghia automatico da incasso con cassetta in ferro e piastra in ottone cromato, cinghia in canapa, paracinghia, squadrette o tappi di arresto.

56.7. Serrande avvolgibili in acciaio zincato

Costituite da elementi a nastro, mobili, agganciate tra loro con passo 105÷111 mm, in acciaio dolce zincato a caldo del tipo liscio e non nervato, dello spessore di 1 mm.

Gli elementi dovranno essere sagomati in modo da formare verso l'interno un gocciolatoio a protezione e rinforzo delle cerniere snodabili.

A circa 60 cm dal pavimento del locale potrà essere posto un elemento, in tutto uguale ai precedenti, ma con feritoia per l'aerazione.

Lo spiaggiare battente sulla soglia dovrà essere eseguito con pezzo speciale, particolarmente robusto, provvisto di battuta di arresto sull'architrave completa di gommini ed inoltre: serratura di chiusura tipo Yale.

Il movimento, su guide ad U ancorate alla muratura, dovrà avvenire gradatamente durante la manovra sia di apertura che di chiusura ed in modo tale che sia ridotto notevolmente l'attrito degli elementi contro la guida stessa.

Il rullo avvolgitore, munito di molle di sollevamento in acciaio, agirà su supporto ancorato solidamente alla struttura muraria.

Le serrande dovranno essere dotate di apparecchiatura per la manovra a mano mediante argano con manovella provvisto di ingranaggi superiori ed inferiori, asta discendente e fine corsa superiore ed inferiore.

Gli ingranaggi dovranno essere protetti da cassette in lamiera munita di sportelli di ispezione.

L'apparecchiatura di manovra dovrà essere azionabile sia dall'esterno che dall'interno dei locali.

Quando previsto in Progetto, la serranda dovrà essere corredata di un apparecchio di manovra elettrico del tipo monofase o trifase comprensivo del quadro di comando, dei necessari collegamenti elettrici, di un chiavistello e freno meccanico, di un selettore a chiave e dischi di compensazione.

Le serrande saranno finite con verniciatura a tre mani con ciclo "D".

56.8. Porte a bilico

Costituite da due pannelli ciechi in lamiera di acciaio zincata fortemente nervata in senso orizzontale, di spessore minimo di 1 mm, intelaiati con una struttura tubolare sagomata in acciaio zincato e collegati tra di loro mediante cerniera continua.

La manovra della porta dovrà risultare costantemente equilibrata per mezzo di contrappesi laterali, collegati al pannello inferiore mediante trasmissione a carrucole superiori e funi o catene in acciaio.

Qualora, per ragioni strutturali o di ingombro, la porta debba essere installata con un unico contrappeso dovrà essere munita di un apposito dispositivo di blocco automatico in caso di accidentale rottura della trasmissione.

Il movimento sulle guide laterali di scorrimento avverrà mediante carrelli ruotanti su cuscinetti a sfere. I contrappesi scorreranno a loro volta su apposite guide fissate con zanche alla muratura.

Ciascuna porta dovrà essere fornita in opera completa di serratura tipo Yale centrale, di maniglie e quanto altro necessario per darla perfettamente funzionante. Tutte le porte saranno finite con verniciatura a tre mani con ciclo D.

56.9. Portoni ad impacco laterale

Il portone dovrà essere a manovra manuale con predisposizione per la motorizzazione. Sarà composto da un numero qualsiasi di ante raccolte internamente su uno o due lati del vano, secondo le indicazioni di Progetto.

Ciascuna anta sarà formata da un unico elemento strutturale assemblato con collanti a freddo ad alta resistenza, costituito da:

- telaio perimetrale in profilati di acciaio zincato a caldo con metodo Sendzimir;
- scatoletta con due lamiere lisce pressopiegate in acciaio zincato a caldo con metodo Sendzimir, dello spessore non inferiore a 1 mm;
- coibentazione con pannello rigido in cloruro di polivinile espanso a cellule chiuse di densità 30 kg/m³ tale da garantire un coefficiente di trasmissione del calore $K > 0,34 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (DIN 52612);
- guarnizioni verticali tubolari in mescole elastomeriche antinvecchiamento;
- guarnizioni orizzontali, superiore ed inferiore, a spazzola in setole di nylon antiroditori ed antiusura;
- cerniere ad alta resistenza ad ancoraggio meccanico munite di boccole antifrizione e cuscinetto reggispinga;
- verniciatura, previo trattamento di fosfatazione mediante mano di primer epossidico e finitura con vernice a base di resine poliesteri essiccate in forno, nel colore previsto, dello spessore non inferiore a 0,04 mm.

Lo spessore delle ante dovrà essere almeno di 50 mm ed il peso di ciascuna anta non dovrà risultare inferiore a 25 kg/m².

Il portone sarà fornito in opera completamente funzionante, compreso:

- guida portante superiore in acciaio pressopiegato di spessore 3÷5 mm completa di deragliatore, cavallotti e staffe di fissaggio alle strutture portanti;
- guida inferiore in acciaio pressopiegato del tipo ad incasso, con fori per lo scarico dell'acqua, completa di zanche per il fissaggio a pavimento;
- carrelli di guida, a quattro ruote portanti funzionanti a circolazione di sfere, ad azione autocentrante e di allineamento con la guida superiore, regolabili in altezza;
- profili di tenuta fissati alla struttura muraria e guarnizioni di tenuta in mescole elastomeriche antinvecchiamento fissate alle ante estreme;
- due cariglioni di chiusura (uno per ogni impacco di ante) con relative maniglie di manovra; uno dei due cariglioni dovrà essere munito di cilindro tipo Yale con chiave funzionante anche dall'esterno;
- quando previsto in Progetto, il portone sarà fornito anche di griglia di aerazione di superficie 0,15÷0,20 m², costituita da profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato elettrocolorato, completa di cornici coprifilo, di accessori di fissaggio;
- costola di sicurezza.

La motorizzazione, quando prevista in Progetto, avrà velocità di traslazione costante e sarà realizzata da:

- sistema di catene con tendicatena a molla collegato con un microinterruttore con funzione di sicurezza antischiacciamento;
- motore elettrico con voltaggio monofase o trifase (220/380 V) di potenza adeguata alle dimensioni del portone;
- gruppo motoriduttore per la movimentazione contemporanea dei due impacchi;
- comando aperturastopchiusura con pulsantiera all'interno e selettore a chiave all'esterno;
- quadro elettrico di comando e controllo;
- microinterruttori e cammes regolabili di fine corsa aperturachiusura;
- dispositivo di sbloccaggio per manovra manuale in caso di mancanza di corrente;
- tamponi di fine corsa, staffe di supporto, accessori di fissaggio alla muratura, montaggio, allacciamenti e cablaggi, linea elettrica di alimentazione e relativa canalizzazione.

Il portone ad impacco laterale, quando previsto in Progetto, sarà provvisto di porte pedonali della superficie minima di almeno 1,20 m², apribili verso l'esterno, con caratteristiche strutturali di rifinitura uguali a quelle dei pannelli del portone, munite di serrature tipo Yale, maniglie di presa e guarnizioni perimetrali a doppia battuta in mescola elastomerica antinvecchiamento.

Possono essere previste in Progetto anche delle specchiature a giorno nelle ante del portone, della superficie di almeno 0,30 m² realizzate con oblò rettangolari in doppia parete di metacrilato montati con guarnizioni di tenuta avvolgenti in mescola elastomerica antinvecchiamento.

56.10. Portoni di tipo sezionale

Composti da pannelli scatolati, scorrenti verticalmente e a soffitto, come da indicazioni di Progetto.

Ciascun pannello sarà formato da un unico elemento strutturale scatolato costituito da due lamiere piane con nervature longitudinali in acciaio zincato a caldo dello spessore non inferiore a 0,6 mm, assemblato con speciali collanti e coibentato internamente con schiuma di resine poliuretatiche a cellula chiusa della densità di 50 kg/m³, iniettata a caldo, avente coefficiente di trasmissione del calore $K > 0,42 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (DIN 52612).

Internamente al pannello dovranno essere inseriti rinforzi longitudinali in profilati di acciaio per aumentarne la resistenza e per il fissaggio delle cerniere.

Lateralmente, i pannelli saranno finiti con elementi in acciaio zincato aventi funzione di supporti per l'ancoraggio di carrelli e delle cerniere.

I pannelli, uniti con cerniere in acciaio zincato a caldo, saranno resi solidali con le guide di scorrimento per mezzo di carrelli in acciaio zincato a caldo portanti rulli di scorrimento di tipo rinforzato in acciaio rettificato muniti di cuscinetti a sfere, ciascun carrello regolabile perpendicolarmente e trasversalmente per una agevole registrazione del portone in opera.

I giunti longitudinali tra i pannelli saranno muniti di guarnizioni in gomma; lateralmente e superiormente ai portoni dovranno essere fornite guarnizioni in mescola elastomerica antinvecchiamento del tipo a labbro; sulla battuta inferiore la guarnizione sarà del tipo tubolare.

Il sistema di scorrimento sarà del tipo bilanciato a molle elicoidali precaricate calettate su un albero in acciaio posto sopra le guide di scorrimento.

Il portone sarà fornito completo di:

- guide laterali di scorrimento fissate alla muratura ed a soffitto;
- albero portamolle in acciaio zincato di adeguato spessore con molle elicoidali di bilanciamento in numero necessario;
- dispositivo di sicurezza paracadute che interviene in caso di rottura accidentale del cavo di sollevamento;
- dispositivo di sicurezza contro lo scarrucolamento del cavo traente;
- serratura del tipo Yale e maniglie di sollevamento interna ed esterna;
- può essere previsto in Progetto, anche la griglia di aerazione di superficie $0,15 \div 0,20 \text{ m}^2$ costituita da profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato elettrocolorato;

- cornici coprifilo, accessori di fissaggio;
- costola di sicurezza.

La finitura delle facce in vista, esterna ed interna dei portoni, sarà eseguita mediante trattamento con speciale vernice plastificata dello spessore non inferiore a 0,2 mm.

Il portone dovrà essere a manovra manuale con predisposizione per la motorizzazione.

Quando previsto in Progetto, il portone dovrà essere corredato di porte pedonali, aprentesi verso l'esterno, della superficie minima di almeno 1,20 m² aventi caratteristiche strutturali e di rifinitura uguali a quelle del portone, munite di serratura tipo Yale, maniglie di presa e guarnizioni perimetrali a doppia battuta in miscela elastomerica antinvecchiamento.

Possono essere previste anche specchiature a giorno, della superficie ciascuna di almeno 0,25 m², realizzate con oblo rettangolari in doppia parete di metacrilato montati con guarnizioni di tenuta avvolgenti in mescola elastomerica antinvecchiamento.

Nel Progetto può essere prevista la motorizzazione del portone, la velocità di traslazione dovrà risultare costante e le apparecchiature previste saranno composte da:

- sistema di catene con tendicatena a molla collegato con un microinterruttore con funzione di sicurezza antischiacciamento;
- motore elettrico con voltaggio monofase o trifase (220/380 V) di potenza adeguata alle dimensioni del portone;
- comando aperturastopchiusura con pulsantiera all'interno e selettore a chiave all'esterno;
- quadro elettrico di comando e controllo;
- microinterruttori e cammes regolabili di fine corsa aperturachiusura;
- dispositivo di sbloccaggio per manovra manuale in caso di mancanza di corrente;
- tamponi di fine corsa, staffe di supporto, accessori di fissaggio alla muratura, montaggio, allacciamenti e cablaggi, linea elettrica di alimentazione e relativa canalizzazione.

56.11. Lucernari

Costituiti da basamento e cupola della superficie utile interna di 1,301,40 m², avente le seguenti caratteristiche:

- basamento scatolato in profilati di alluminio preverniciato dello spessore minimo di 0,8 mm, coibentato nell'intercapedine con poliuretano autoestingente;
- cupola termoformata a doppia parete di cui quella interna in policarbonato trasparente spess. 3 mm e quella esterna in metacrilato trasparente od opalino di spess. 4 mm, sigillata ai bordi;
- scossaline in lamierino di rame dello spessore di 0,8 mm, opportunamente sagomate per riprodurre la gregatura dei pannelli di copertura, per il raccordo tra lucernario e copertura.

Dato in opera su copertura metallica a pannelli, anche sandwich, compreso gli attacchi in acciaio zincato di collegamento alle strutture portanti e gli accessori di posa.

57. Tinteggiature e verniciature

57.1. Norme generali

Prima dell'esecuzione di qualsiasi opera di tinteggiatura e verniciatura, le superfici da trattare dovranno essere oggetto, adeguatamente a ciascun tipo, di una idonea ed accurata preparazione.

L'Appaltatore ha l'obbligo di eseguire campioni per i vari tipi di finiture per la verifica della rispondenza dei colori a quelli di Progetto.

Tinteggiature e verniciature, quando specificatamente previsto, saranno completate con filettature, fascette e zoccolini.

Le mani dovranno essere date a passate incrociate; per le verniciature, le varie mani saranno eseguite in colore o tonalità diverse in modo tale che sia possibile il controllo del numero di mani applicate.

Non saranno assolutamente accettate vernici non rispondenti alle caratteristiche ed ai requisiti prescritti, addebitando all'Appaltatore, in qualsiasi stadio dei lavori, l'asportazione e la sostituzione delle verniciature eseguite che non risultassero idonee.

Le tinteggiature e verniciature, con particolare riferimento a quelle su legno e su metallo, dovranno essere eseguite in condizioni di tempo asciutto, evitando eccessi di caldo o di gelo e non si dovrà mai procedere alla stesura di uno strato fino a che il precedente non sia perfettamente essiccato.

Si riterranno inoltre a totale carico dell'Appaltatore la pulitura, la riparazione o il risarcimento di eventuali danni arrecati da spruzzi o macchie su qualsiasi superficie finita, poiché rientra nei suoi obblighi l'adozione preliminare di ogni precauzione atta ad evitarli.

57.2. Tinteggiatura

57.2.1. Tinteggiatura a tempera

La tinteggiatura di pareti e soffitti sarà eseguita con pittura a tempera data in tre mani, previa adeguata preparazione del sottofondo che dovrà essere regolarizzato e lisciato mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario.

57.2.2. Tinteggiatura con idropittura

tinteggiatura di pareti (per interni):

Con pittura emulsionata opaca lavabile a base di resine vinilacriliche disperse in acqua, con 50÷60% di veicolo avente residuo secco non inferiore al 30% e 40÷50 di pigmento costituito da biossido di titanio per almeno il 50%.

Lo spessore della pellicola per ciascuna mano non dovrà risultare inferiore a 0,025 mm.

Data in due mani previa preparazione del sottofondo che dovrà essere regolarizzato e lisciato mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario compresa l'applicazione di uno strato di isolante inibente.

tinteggiatura per esterni:

Si dovrà impiegare idropittura a base di resine vinilacriliche disperse in acqua con 55÷60% di veicolo avente residuo secco non inferiore al 50% e 40÷45% di pigmento costituito da biossido di titanio rutilo per almeno il 65%.

Lo spessore di ogni mano non dovrà risultare inferiore a 0,035 mm.

Data in due mani previa preparazione del sottofondo mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario compresa l'applicazione di uno strato di isolante inibente.

Se previsto in Progetto, sopra la tinteggiatura esterna, sarà applicata una mano di vernice trasparente idrorepellente siliconica a solvente, data a pennello o a spruzzo.

57.3. Verniciatura di pareti in muratura

Le pareti interne in muratura saranno finite con due mani di smalto poliuretano, previa preparazione del sottofondo e spolveratura delle superfici, di colore e modalità indicate in Progetto; le pareti esterne saranno finite con una mano di vernice trasparente idrorepellente siliconica a solvente su faccia vista o intonacata e tinteggiate.

57.4. Verniciature di strutture in acciaio

Tutte le strutture in acciaio (inclusi gli infissi) dovranno essere finite con uno dei cicli di verniciatura di seguito descritti, secondo le indicazioni progettuali.

I cicli di verniciatura saranno preceduti dalla preparazione del supporto mediante spazzolatura meccanica, o sabbiatura, o sgrassaggio.

57.4.1. Ciclo "A"

Per strutture non in vista o come preparazione a successivi trattamenti di protezione al fuoco.

Da applicare in superfici preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½ della SVENSK STANDARD SIS con l'avvertenza che i ritocchi da effettuare con primer epossidico allo zinco, dopo la posa in opera delle strutture e prima dell'applicazione della seconda mano, dovranno interessare tutte le superfici dalle quali sia stata asportata la prima mano data in officina, in corrispondenza di saldature e comunque in tutti i punti che si presentassero scoperti.

Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti, oltre alla mano di ritocchi; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I	RITOCCHI I	II
TIPO DI	PRIME EPOSSIDIC ALLO	PRIME EPOSSIDICO ZINC	PITTUR EPOSSIDIC
PESO gram-	≥260	≥	≥
COMPONENT n	2	2	2
SPESSORE DEL m	≥	≥	≥
METODO DI	PENNELL SPRUZZ AIRLES	PENNELL SPRU Z	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.4.2. Ciclo "B"

Per strutture in vista, preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½ della SVENSK STANDARD SIS, con la prima mano di antiruggine ed i ritocchi come al precedente Ciclo "A"; la seconda mano di pittura epossidica e la terza mano di smalto poliuretano date in opera; complessivamente il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti oltre alla mano di ritocchi; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO DATA IN OFFICINA	RITOCCHI SULLA I MANO DATA IN OPERA	II MANO DATA IN OPERA	III MANO DATA IN OPERA
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PITTURA EPOSSIDICA	SMALTO POLIURETANICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 2600	≥ 2600	≥ 1400	≥ 1100
COMPONENTI n.	2	2	2	1 o 2
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,07	≥ 0,07	≥ 0,08	≥ 0,035
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.4.3. Ciclo "C"

Da applicare su superfici non in vista o come preparazione a successivi trattamenti di: protezione al fuoco; strutture portanti in acciaio zincato a caldo; lattoneria in lamiera di ferro zincato per converse, canali di gronda, tubazioni, foderature ecc.

Il ciclo comprende una sola mano di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche della mano:

	I MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500
COMPONENTI n.	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq 0,08$
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.4.4. Ciclo "D"

Da applicare su superfici in vista zincate a caldo o su superfici metalliche esistenti preparate mediante spazzolatura meccanica o sabbiatura.

Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSIDICA	SMALTO POLIURETANICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500	≥ 1400	≥ 1100
COMPONENTI n.	2	2	1 o 2
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,08	≥ 0,08	≥ 0,035
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.4.5. Ciclo "E"

Da applicare su lattoneria in lamiera di ferro nero per foderature, tubazioni, canali, ecc. e su pluviali in tubi di acciaio elettrosaldati, previa preparazione mediante sabbiatura.

Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSIDICA
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500	≥ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq 0,08$	$\geq 0,08$
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.4.6. Ciclo "F"

Ciclo F/1

Da applicare su superfici non in vista preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½.

Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PITTURA EPOSSICATRAME
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 2600	≥ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,07	≥ 0,15
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

Ciclo F/2

Da applicare su superfici non in vista zincate a caldo.

Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSICATRAME
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500	≥ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq 0,08$	$\geq 0,15$
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

57.5. Verniciature di opere in legno

Tutte le opere in legno dovranno essere finite con i cicli di verniciatura di seguito descritti.

I cicli di verniciatura saranno preceduti dalla preparazione del supporto; tra la prima mano e quelle successive si dovrà procedere alla stuccatura, alla rasatura e alla carteggiatura.

57.5.1. Ciclo "A" (ciclo opaco)

Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti aventi le caratteristiche indicate nello specchio che segue:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	FONDO SINTETICO DI IMPRIMITURA A BASE DI RESINA ALCHIDICA	SMALTO SINTETICO SATINATO A BASE DI RESINA ALCHIDICA	SMALTO SINTETICO SATINATO A BASE DI RESINA ALCHIDICA
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500	≥ 1200	≥ 1200
COMPONENTI n.	1	1	1
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,04	≥ 0,04	≥ 0,04
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO

57.5.2. Ciclo "B" (ciclo trasparente)

Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti aventi le caratteristiche indicate nello specchio che segue:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	FONDO TRASP. A BASE DI RESINE SINTETICHE, OLI ESSICCATIVI E FUNGHICIDI	FINITURA TRASP. SATINATA A BASE DI RESINE ALCHIDICHE	FINITURA TR ASP. SATINATA A BASE DI RESINE ALCHIDICHE
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 850	≥ 880	≥ 880
COMPONENTI n.	1	1	1
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,04	≥ 0,04	≥ 0,04
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO O IMMERSIONE	PENNELLO	PENNELLO

57.6. Protezione al fuoco

57.6.1. Con pittura ignifuga intumescente

Verniciatura protettiva di strutture metalliche costituita da pittura ignifuga intumescente a base acquosa (esente da solventi) atta all'isolamento al fuoco e ritardante la propagazione della fiamma mediante reazione ad effetto schiumogeno. Applicata a più mani, a pennello o a spruzzo, nelle quantità e con gli spessori sottoindicati, secondo le classi di protezione richieste, come da prescrizioni specificate nella circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 4/9/1961 e successivi aggiornamenti, gli spessori e le classi di protezione saranno le seguenti:

- per ottenere una resistenza al fuoco di classe 60 min, sarà applicato un quantitativo di pittura pari a $1,7 \div 1,8 \text{ kg/m}^2$ dato in 3÷4 mani, pari ad uno spessore finito di 0,8 mm;
- per ottenere una resistenza al fuoco di classe 120 min, sarà applicato un quantitativo di pittura pari a $2,9 \div 3,0 \text{ kg/m}^2$ dato in 4÷5 mani, pari ad uno spessore finito di 1,35 mm.

La pittura sarà applicata su superfici preventivamente preparate come ai cicli A e C; o su superfici di strutture in acciaio esistenti, sabbiate a metallo bianco di grado SVENSK STANDARD 2½ e trattate con una mano di antiruggine sintetico magro al cromato di zinco dello spessore di 0,04 mm.

57.6.2. Con strato di fibre minerali miscelate con cemento e collante

Copertura di strutture in acciaio, in calcestruzzo o in muratura mediante spruzzatura di uno strato costituito da fibre minerali di lana di roccia sfibrate, esenti da amianto e silice libera miscelate con cemento e collante vinilico negli spessori sottoindicati, atti a garantire:

- resistenza al fuoco di classe 90 min: spessore di 10 mm;
- resistenza al fuoco di classe 120 min: spessore di 15 mm;
- resistenza al fuoco di classe 180 min: spessore di 20 mm.

La copertura dovrà eseguirsi con impiego di idonea attrezzatura comprendente: tramoggia rotativa, sibratore a pettine, booster a secco ecc. e applicata su superfici preventivamente preparate come ai cicli A e C; su superfici di strutture in acciaio esistenti, sabbiate a metallo bianco di grado SVENSK STANDARD 2½ e trattate con una mano di antiruggine sintetico magro al cromato di zinco dello spessore di 0,04 mm; su strutture in calcestruzzo o in muratura adeguatamente preparate mediante bagnatura con acqua e collante in pressione.

57.7. Tappezzeria in plastica

L'applicazione della tappezzeria in plastica su pareti interne dovrà essere preceduta da un accurata preparazione dell'intonaco opportunamente regolarizzato e liscio mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro occorrente.

La tappezzeria dovrà essere in plastica con supporto di tela, «di tipo ignifugo di classe I»; costituita da cloruro di polivinile spalmato a caldo su tela di puro cotone, avente un peso non inferiore a $0,680 \text{ kg/m}^2$; dovrà essere di grana e del tipo e colore, secondo le scelte progettuali.

L'applicazione alle pareti, preceduta da una spalmatura di colla dello stesso tipo di quella impiegata per l'incollaggio dei teli, diluita in acqua nel rapporto 1/1, dovrà essere fatta mediante collanti a freddo a base di carbossimetilcellulosa od a base vinilica, miscelati con antifermentativi nella misura dello 0,5% circa. La colla dovrà essere spalmata sulla tappezzeria e lasciata maturare prima dell'applicazione dei teli.

È vietata la sovrapposizione dei bordi dei teli; le giunzioni dovranno presentarsi perfettamente verticali e combacianti per l'intera altezza del telo.

I teli dovranno essere in un sol pezzo: sono pertanto vietate giunzioni intermedie. La tappezzeria, dopo l'applicazione e il prosciugamento dovrà risultare perfettamente distesa ed aderente su tutte le superfici e non presentare bolle d'aria, distacchi o ad altre imperfezioni.

57.8. Rivestimenti plastici

Il rivestimento plastico per superfici intonacate di pareti interne e/o esterne e di soffitti, sarà composto da: resine sintetiche, pigmenti coloranti selezionati, cariche minerali inerti di varia granulometria e solventi di adeguata tensione superficiale.

Le superfici da rivestire dovranno essere perfettamente stagionate, accuratamente preparate e depolverizzate, trattate preliminarmente con una mano di impregnante isolante inibente a solvente.

Il rivestimento liscio avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico del prodotto: > 1350 g/l;
- applicazione: due strati dati a pennello o con rullo in lana;
- rilievo massimo: fino a 0,5 mm.

Il rivestimento bucciato avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico del prodotto: > 1600 g/l;
- applicazione: pennello o rullo in lana;
- rilievo massimo: fino a 1,2 mm.

57.9. Ossidazione anodica

Le parti in vista di manufatti in alluminio e sue leghe (compresi gli infissi) dovranno essere trattate, con ossidazione anodica, nei colori previsti in Progetto.

Classi e caratteristiche degli strati di ossidazione anodica da adottare sono quelle sottoelencate:

- ARP 15 Architettonico lucido;
- ARS 15 Architettonico spazzolato;
- ARC 15 Architettonico satinato chimicamente;

dove lo spessore dello strato dovrà essere non inferiore a 15 µm.

Le superfici da trattare dovranno essere preliminarmente preparate, in funzione delle classi sopraelencate, rispettivamente mediante lucidatura meccanica o spazzolatura meccanica o trattamento chimico.

Le superfici dovranno presentarsi regolari, prive di porosità e di colore uniforme.

I manufatti dovranno essere protetti, in via provvisoria, da speciali pellicole trasparenti e facilmente asportabili, in modo particolare quelli da fissare alle strutture murarie, affinché agenti chimici eterogenei non ne corrodano o macchino le superfici durante l'esecuzione dei lavori.

* * * * *

Segue: **APPENDICE -NORME EUROPEE ARMONIZZATE PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE**
(G.U.U.E. n. C226 del 10.07.2015)

**APPENDICE - NORME EUROPEE ARMONIZZATE PER I PRODOTTI DA
COSTRUZIONE (G.U.U.E. n. C226 del 17/07/2015)**

URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2015:226:TOC>

Comunicazione della Commissione nell'ambito dell'applicazione del regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio

(Pubblicazione di titoli e riferimenti di norme armonizzate ai sensi della normativa dell'Unione sull'armonizzazione)

(Testo rilevante ai fini del SEE)

(2015/C 226/04)

In caso di conflitto, le disposizioni di cui al regolamento (UE) n. 305/2011 prevalgono su quelle delle norme armonizzate.

OEN ⁽¹⁾	Riferimento e titolo della norma (e documento di riferimento)	Riferimento della norma sostituita	Data di entrata in vigore della norma in quanto norma armonizzata	Data di scadenza del periodo di coesistenza
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1:1998 Stufe alimentate a olio con bruciatori a vapo- rizzazione		1.1.2008	1.1.2009
	EN 1:1998/A1:2007		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 40-4:2005 Pali per illuminazione pubblica — Parte 4: Requisiti per pali per illuminazione di calcestruz- zo armato e precompresso		1.10.2006	1.10.2007
	EN 40-4:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 40-5:2002 Pali per illuminazione pubblica — Specifiche per pali per illuminazione pubblica di acciaio		1.2.2003	1.2.2005
CEN	EN 40-6:2002 Pali per illuminazione pubblica — Requisiti per pali per illuminazione pubblica di alluminio		1.2.2003	1.2.2005
CEN	EN 40-7:2002 Pali per illuminazione pubblica — Specifiche per pali per illuminazione pubblica di compositi polimerici fibrorinforzati		1.10.2003	1.10.2004
CEN	EN 54-2:1997 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incen- dio — Centrale di controllo e segnalazione		1.1.2008	1.8.2009
	EN 54-2:1997/A1:2006		1.1.2008	1.8.2009
	EN 54-2:1997/AC:1999		1.1.2008	1.1.2008

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 54-3:2001 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Dispositivi sonori di allarme incendio		1.4.2003	1.6.2009
	EN 54-3:2001/A1:2002		1.4.2003	30.6.2005
	EN 54-3:2001/A2:2006		1.3.2007	1.6.2009
CEN	EN 54-4:1997 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Apparecchiatura di alimentazione		1.10.2003	1.8.2009
	EN 54-4:1997/A1:2002		1.10.2003	1.8.2009
	EN 54-4:1997/A2:2006		1.6.2007	1.8.2009
	EN 54-4:1997/AC:1999		1.6.2005	1.6.2005
CEN	EN 54-5:2000 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Rivelatori di calore — Rivelatori puntiformi		1.4.2003	30.6.2005
	EN 54-5:2000/A1:2002		1.4.2003	30.6.2005
CEN	EN 54-7:2000 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Rivelatori di fumo — Rivelatori puntiformi funzionanti secondo il principio della diffusione della luce, della trasmissione della luce o della ionizzazione		1.4.2003	1.8.2009
	EN 54-7:2000/A1:2002		1.4.2003	30.6.2005
	EN 54-7:2000/A2:2006		1.5.2007	1.8.2009
CEN	EN 54-10:2002 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Rivelatori di fiamma — Rivelatori puntiformi		1.9.2006	1.9.2008
	EN 54-10:2002/A1:2005		1.9.2006	1.9.2008
CEN	EN 54-11:2001 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Punti di allarme manuali		1.9.2006	1.9.2008
	EN 54-11:2001/A1:2005		1.9.2006	1.9.2008

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 54-12:2002 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Rivelatori di fumo — Rivelatori lineari che utilizzano un raggio ottico luminoso		1.10.2003	31.12.2005
CEN	EN 54-16:2008 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Componenti per sistemi di segnalazione d'incendio vocali — Parte 16: Centrale di controllo e segnalazione per segnalazioni vocali		1.1.2009	1.4.2011
CEN	EN 54-17:2005 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 17: Isolatori di corto circuito		1.10.2006	1.12.2008
	EN 54-17:2005/AC:2007		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 54-18:2005 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 18: Requisiti e metodi di prova per dispositivi di ingresso/uscita da utilizzare per percorsi di trasmissione di sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio		1.10.2006	1.12.2008
	EN 54-18:2005/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 54-20:2006 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 20: Rivelatori di fumo ad aspirazione		1.4.2007	1.7.2009
	EN 54-20:2006/AC:2008		1.8.2009	1.8.2009
CEN	EN 54-21:2006 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 21: Dispositivi di trasmissione dell'allarme e del segnale di guasto		1.3.2007	1.6.2009
CEN	EN 54-23:2010 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 23: Dispositivi visuali di allarme incendio		1.12.2010	31.12.2013
CEN	EN 54-24:2008 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 24: Componenti di sistemi di allarme vocale — Altoparlanti		1.1.2009	1.4.2011
CEN	EN 54-25:2008 Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio — Parte 25: Componenti che utilizzano collegamenti radio		1.1.2009	1.4.2011
	EN 54-25:2008/AC:2012		1.7.2012	1.7.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 179:2008 Accessori per serramenti — Dispositivi per uscite di emergenza azionati mediante maniglia a leva o piastra a spinta	EN 179:1997	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 197-1:2011 Cemento — Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni	EN 197-1:2000 EN 197-4:2004	1.7.2012	1.7.2013
CEN	EN 295-1:2013 Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue — Parte 1: Requisiti per tubi, elementi complementari e sistemi di giunzione	EN 295-10:2005	1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 295-4:2013 Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue — Parte 4: Requisiti per adattatori, connessioni e collegamenti flessibili	EN 295-10:2005	1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 295-5:2013 Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue — Parte 5: Requisiti per tubi perforati ed elementi complementari	EN 295-10:2005	1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 295-6:2013 Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue — Parte 6: Requisiti dei componenti per pozzetti e camere di ispezione	EN 295-10:2005	1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 295-7:2013 Sistemi di tubazioni di gres per impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue — Parte 7: Requisiti per tubi e sistemi di giunzione di gres per tubazioni con posa a spinta	EN 295-10:2005	1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 331:1998 Rubinetti a sfera ed a maschio conico con fondo chiuso, a comando manuale, per impianti a gas negli edifici		1.9.2011	1.9.2012
	EN 331:1998/A1:2010		1.9.2011	1.9.2012
CEN	EN 413-1:2011 Cemento da muratura — Parte 1: Composizione, specifiche e criteri di conformità	EN 413-1:2004	1.2.2012	1.2.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 416-1:2009 Apparecchi di riscaldamento a gas a tubo radiante sospeso con bruciatore singolo per uso non domestico — Parte 1: Sicurezza		1.12.2009	1.12.2010
CEN	EN 438-7:2005 Laminati decorativi ad alta pressione (HPL) — Pannelli a base di resine termoindurenti (generalmente chiamati laminati) — Parte 7: Laminati stratificati e pannelli compositi HPL per applicazioni su pareti interne ed esterne e su soffitti		1.11.2005	1.11.2006
CEN	EN 442-1:1995 Radiatori e convettori — Specifiche tecniche e requisiti		1.12.2004	1.12.2005
	EN 442-1:1995/A1:2003		1.12.2004	1.12.2005
CEN	EN 450-1:2012 Ceneri volanti per calcestruzzo — Parte 1: Definizione, specificazioni e criteri di conformità	EN 450-1:2005 +A1:2007	1.5.2013	1.5.2014
CEN	EN 459-1:2010 Calci da costruzione — Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità	EN 459-1:2001	1.6.2011	1.6.2012
CEN	EN 490:2011 Tegole di calcestruzzo e relativi accessori per coperture e rivestimenti murari — Specifiche di prodotto	EN 490:2004	1.8.2012	1.8.2012
CEN	EN 492:2012 Tegole piane di fibrocemento e relativi accessori — Specifica di prodotto e metodi di prova	EN 492:2004	1.7.2013	1.7.2013
CEN	EN 494:2012 Lastre nervate di fibrocemento e relativi accessori — Specifica di prodotto e metodi di prova	EN 494:2004 +A3:2007	1.8.2013	1.8.2013
CEN	EN 516:2006 Accessori prefabbricati per coperture — Installazioni per l'accesso al tetto — Passerelle, piani di camminamento e scalini posapiEDE		1.11.2006	1.11.2007
CEN	EN 517:2006 Accessori prefabbricati per coperture — Ganci di sicurezza da tetto		1.12.2006	1.12.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 520:2004+A1:2009 Lastre di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 520:2004	1.6.2010	1.12.2010
CEN	EN 523:2003 Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione — Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità		1.6.2004	1.6.2005
CEN	EN 534:2006+A1:2010 Lastre bituminose ondulate — Specifica di prodotto e metodi di prova	EN 534:2006	1.1.2011	1.1.2011
CEN	EN 544:2011 Tegole bituminose con aggiunta di minerali e/o sintetici — Specifica di prodotto e metodi di prova	EN 544:2005	1.4.2012	1.4.2012
CEN	EN 572-9:2004 Vetro per edilizia — Prodotti di base di vetro di silicato sodio-calcico — Parte 9: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 588-2:2001 Tubi di fibrocemento per fognature e sistemi di scarico — Pozzetti e camere di ispezione		1.10.2002	1.10.2003
CEN	EN 598:2007+A1:2009 Tubi, raccordi e accessori di ghisa sferoidale e loro assemblaggi per fognatura — Prescrizioni e metodi di prova	EN 598:2007	1.4.2010	1.4.2011
CEN	EN 621:2009 Generatori d'aria calda a convezione forzata alimentati a gas, per il riscaldamento di ambienti non domestici, senza ventilatore nel circuito di combustione con portata termica riferita al potere calorifico inferiore non maggiore di 300 kW		1.8.2010	1.8.2011
CEN	EN 671-1:2012 Sistemi fissi di estinzione incendi — Sistemi equipaggiati con tubazioni — Parte 1: Napi antincendio con tubazioni semirigide	EN 671-1:2001	1.3.2013	1.7.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 671-2:2012 Sistemi fissi di estinzione incendi — Sistemi equipaggiati con tubazioni — Parte 2: Idranti a muro con tubazioni flessibili	EN 671-2:2001	1.3.2013	1.7.2013
CEN	EN 681-1:1996 Elementi di tenuta in elastomero — Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua — Gomma vulcanizzata		1.1.2003	1.1.2009
	EN 681-1:1996/A1:1998		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-1:1996/A2:2002		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-1:1996/A3:2005		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 681-2:2000 Elementi di tenuta in elastomero — Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua — Elastomeri termoplastici		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-2:2000/A1:2002		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-2:2000/A2:2005		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 681-3:2000 Elementi di tenuta in elastomero — Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua — Materiali cellulari di gomma vulcanizzata		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-3:2000/A1:2002		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-3:2000/A2:2005		1.7.2012	1.7.2012
CEN	EN 681-4:2000 Elementi di tenuta in elastomero — Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua — Elementi di tenuta di poliuretano colato		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-4:2000/A1:2002		1.1.2003	1.1.2004
	EN 681-4:2000/A2:2005		1.7.2012	1.7.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 682:2002 Elementi di tenuta in elastomero — Requisiti dei materiali elastomerici utilizzati in tubi e raccordi per il trasporto di gas e idrocarburi fluidi		1.10.2002	1.12.2003
	EN 682:2002/A1:2005		1.7.2012	1.7.2012
CEN	EN 771-1:2011 Specifica per elementi di muratura — Part 1: Elementi per muratura di laterizio	EN 771-1:2003	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 771-2:2011 Specifica per elementi di muratura — Parte 2: Elementi di muratura di silicato di calcio	EN 771-2:2003	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 771-3:2011 Specifica per elementi di muratura — Parte 3: Elementi per muratura di calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri)	EN 771-3:2003	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 771-4:2011 Specifica per elementi di muratura — Parte 4: Elementi di muratura di calcestruzzo aerato autoclavato	EN 771-4:2003	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 771-5:2011 Specifica per elementi di muratura — Parte 5: Elementi per muratura di pietra agglomerata	EN 771-5:2003	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 771-6:2011 Specifica per elementi di muratura — Part 6: Elementi di muratura di pietra naturale	EN 771-6:2005	1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 777-1:2009 Tubi radianti a gas sospesi con bruciatori multipli per uso non domestico — Parte 1: Sistema D, sicurezza		1.11.2009	1.11.2010
CEN	EN 777-2:2009 Tubi radianti a gas sospesi con bruciatori multipli per uso non domestico — Parte 2: Sistema E, sicurezza		1.11.2009	1.11.2010

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 777-3:2009 Tubi radianti a gas sospesi con bruciatori multipli per uso non domestico — Parte 3: Sistema F, sicurezza		1.11.2009	1.11.2010
CEN	EN 777-4:2009 Tubi radianti a gas sospesi con bruciatori multipli per uso non domestico — Parte 4: Sistema H, sicurezza		1.11.2009	1.11.2010
CEN	EN 778:2009 Generatori di aria calda a gas a convezione forzata per il riscaldamento di ambienti non domestici, alimentati a gas di portata termica riferita al potere calorifico inferiore, non maggiore di 70 kW, senza ventilatore nel circuito di combustione		1.8.2010	1.8.2011
CEN	EN 845-1:2013 Specifica per elementi complementari per muratura — Parte 1: Connettori trasversali, incatenamenti orizzontali, ganci e mensole di sostegno	EN 845-1:2003 +A1:2008	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 845-2:2013 Specifica per elementi complementari per muratura — Parte 2: Architravi	EN 845-2:2003	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 845-3:2013 Specifica per elementi complementari per muratura — Parte 3: Armatura di acciaio per giunti orizzontali	EN 845-3:2003 +A1:2008	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 858-1:2002 Impianti di separazione per liquidi leggeri (ad esempio benzina e petrolio) — Principi di progettazione, prestazione e prove sul prodotto, marcatura e controllo qualità		1.9.2005	1.9.2006
	EN 858-1:2002/A1:2004		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 877:1999 Tubazioni e raccordi di ghisa, loro giunzioni e accessori per l'evacuazione dell'acqua dagli edifici — Requisiti, metodi di prova e assicurazione della qualità		1.1.2008	1.9.2009
	EN 877:1999/A1:2006		1.1.2008	1.9.2009
	EN 877:1999/A1:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 934-2:2009+A1:2012 Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione — Parte 2: Additivi per calcestruzzo — Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura	EN 934-2:2009	1.3.2013	1.9.2013
CEN	EN 934-3:2009+A1:2012 Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione — Parte 3: Additivi per malte per opere murarie — Definizioni, requisiti, conformità e marcatura ed etichettatura	EN 934-3:2009	1.3.2013	1.9.2013
CEN	EN 934-4:2009 Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione — Parte 4: Additivi per malta per cavi di precompressione — Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura	EN 934-4:2001	1.3.2010	1.3.2011
CEN	EN 934-5:2007 Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione — Parte 5: Additivi per calcestruzzo proiettato — Definizioni, specificazioni e criteri di conformità		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 969:2009 Tubi, raccordi ed accessori di ghisa sferoidale e loro assemblaggio per condotte di gas — Prescrizioni e metodi di prova		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 997:2012 Apparecchi sanitari — Vasi indipendenti e vasi abbinati a cassetta, con sifone integrato	EN 997:2003	1.12.2012	1.6.2013
	EN 997:2012/AC:2012		1.3.2013	1.3.2013
CEN	EN 998-1:2010 Specifiche per malte per opere murarie — Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni	EN 998-1:2003	1.6.2011	1.6.2012
CEN	EN 998-2:2010 Specifiche per malte per opere murarie — Parte 2: Malte da muratura	EN 998-2:2003	1.6.2011	1.6.2012
CEN	EN 1013:2012 Lastre traslucide profilate di materia plastica, per coperture interne ed esterne, pareti e soffitti — Requisiti e metodi di prova	EN 1013:2012	10.7.2015	10.7.2015

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1020:2009 Generatori di aria calda a convezione forzata per il riscaldamento di ambienti non domestici, alimentati a gas di portata termica riferita al potere calorifico inferiore, non maggiore di 300 kW, equipaggiati con ventilatore nel circuito di combustione		1.8.2010	1.8.2011
CEN	EN 1036-2:2008 Vetro per edilizia — Specchi di vetro float argentato per uso in interni — Parte 2: Valutazione di conformità/norma di prodotto		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 1051-2:2007 Vetro per edilizia — Diffusori di vetro per pareti e pavimentazioni — Parte 2: Valutazione della conformità		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 1057:2006+A1:2010 Rame e leghe di rame — Tubi di rame tondi senza saldatura per acqua e gas nelle applicazioni sanitarie e di riscaldamento	EN 1057:2006	1.12.2010	1.12.2010
CEN	EN 1090-1:2009+A1:2011 Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio — Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali	EN 1090-1:2009	1.9.2012	1.7.2014
CEN	EN 1096-4:2004 Vetro per edilizia — Vetri rivestiti — Parte 4: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 1123-1:1999 Tubi e raccordi di tubi di acciaio rivestiti a caldo con saldatura longitudinale con giunto a bicchiere per sistemi di acque reflue — Requisiti, prove e controllo qualità		1.6.2005	1.6.2006
	EN 1123-1:1999/A1:2004		1.6.2005	1.6.2006
CEN	EN 1124-1:1999 Tubi e raccordi di acciaio inossidabile con saldatura longitudinale con giunto a bicchiere per sistemi di acque reflue — Requisiti, prove e controllo di qualità		1.6.2005	1.6.2006
	EN 1124-1:1999/A1:2004		1.6.2005	1.6.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1125:2008 Accessori per serramenti — Dispositivi anti-panico per uscite di sicurezza azionati mediante una barra orizzontale — Requisiti e metodi di prova	EN 1125:1997	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 1154:1996 Accessori per serramenti — Dispositivi di chiusura controllata delle porte — Requisiti e metodi di prova		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1154:1996/A1:2002		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1154:1996/A1:2002/AC:2006		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 1155:1997 Accessori per serramenti — Dispositivi elettromagnetici fermoporta per porte girevoli — Requisiti e metodi di prova		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1155:1997/A1:2002		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1155:1997/A1:2002/AC:2006		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 1158:1997 Accessori per serramenti — Dispositivi per il coordinamento della sequenza di chiusura delle porte — Requisiti e metodi di prova		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1158:1997/A1:2002		1.10.2003	1.10.2004
	EN 1158:1997/A1:2002/AC:2006		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 1168:2005+A3:2011 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Lastre alveolari	EN 1168:2005 +A2:2009	1.7.2012	1.7.2013
CEN	EN 1279-5:2005+A2:2010 Vetro per edilizia — Vetrate isolanti — Parte 5: Valutazione della conformità	EN 1279-5:2005 +A1:2008	1.2.2011	1.2.2012
CEN	EN 1304:2005 Tegole di laterizio per coperture discontinue — Definizioni e specifiche di prodotto		1.2.2006	1.2.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1317-5:2007+A2:2012 Sistemi di ritenuta stradali — Parte 5: Requisiti di prodotto e valutazione di conformità per sistemi di trattamento veicoli	EN 1317-5:2007 +A1:2008	1.1.2013	1.1.2013
	EN 1317-5:2007+A2:2012/AC:2012		1.3.2013	1.3.2013
CEN	EN 1319:2009 Generatori di aria calda a convezione forzata alimentati a gas, per il riscaldamento di ambienti domestici, equipaggiati con bruciatore munito di ventilatore, con portata termica nominale riferita al potere calorifico inferiore non maggiore di 70 kW		1.10.2010	1.10.2011
CEN	EN 1337-3:2005 Appoggi strutturali — Parte 3: Appoggi elastomerici		1.1.2006	1.1.2007
CEN	EN 1337-4:2004 Appoggi strutturali — Parte 4: Appoggi a rullo		1.2.2005	1.2.2006
	EN 1337-4:2004/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 1337-5:2005 Appoggi strutturali — Parte 5: Appoggi a disco elastomerico		1.1.2006	1.1.2007
CEN	EN 1337-6:2004 Appoggi strutturali — Parte 6: Appoggi a contatto lineare		1.2.2005	1.2.2006
CEN	EN 1337-7:2004 Appoggi strutturali — Parte 7: Appoggi sferici e cilindrici di PTFE	EN 1337-7:2000	1.12.2004	1.6.2005
CEN	EN 1337-8:2007 Appoggi strutturali — Parte 8: Guide e ritegni		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 1338:2003 Masselli di calcestruzzo per pavimentazione — Requisiti e metodi di prova		1.3.2004	1.3.2005
	EN 1338:2003/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1339:2003 Lastre di calcestruzzo per pavimentazione — Requisiti e metodi di prova		1.3.2004	1.3.2005
	EN 1339:2003/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 1340:2003 Cordoli di calcestruzzo — Requisiti e metodi di prova		1.2.2004	1.2.2005
	EN 1340:2003/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 1341:2012 Lastre di pietra naturale per pavimentazioni esterne — Requisiti e metodi di prova	EN 1341:2001	1.9.2013	1.9.2013
CEN	EN 1342:2012 Cubetti di pietra naturale per pavimentazioni esterne — Requisiti e metodi di prova	EN 1342:2001	1.9.2013	1.9.2013
CEN	EN 1343:2012 Cordoli di pietra naturale per pavimentazioni esterne — Requisiti e metodi di prova	EN 1343:2001	1.9.2013	1.9.2013
CEN	EN 1344:2013 Elementi per pavimentazione di laterizio — Requisiti e metodi di prova	EN 1344:2002	8.8.2014	8.8.2016
CEN	EN 1423:2012 Materiali per segnaletica orizzontale — Materiali da postspruzzare — Microsfere di vetro, granuli antiderapanti e loro miscele	EN 1423:1997	1.11.2012	1.11.2012
	EN 1423:2012/AC:2013		1.7.2013	1.7.2013
CEN	EN 1433:2002 Canalette di drenaggio per aree soggette al passaggio di veicoli e pedoni — Classificazione, requisiti di progettazione e di prova, marcatura e valutazione di conformità		1.8.2003	1.8.2004
	EN 1433:2002/A1:2005		1.1.2006	1.1.2006
CEN	EN 1457-1:2012 Camini — Condotti interni di terracotta/ceramica — Parte 1: Condotti di terracotta/ceramica operanti a secco — Requisiti e metodi di prova	EN 1457:1999	1.11.2012	1.11.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1457-2:2012 Camini — Condotti interni di terracotta/ceramica — Parte 2: Condotti di terracotta/ceramica operanti in condizioni umide — Requisiti e metodi di prova	EN 1457:1999	1.11.2012	1.11.2013
CEN	EN 1463-1:2009 Materiali per segnaletica orizzontale — Insetti stradali catarifrangenti — Parte 1: Requisiti delle prestazioni iniziali	EN 1463-1:1997	1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 1469:2004 Prodotti di pietra naturale — Lastre per rivestimenti — Requisiti		1.7.2005	1.7.2006
CEN	EN 1504-2:2004 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità — Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo		1.9.2005	1.1.2009
CEN	EN 1504-3:2005 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità — Riparazione strutturale e non strutturale		1.10.2006	1.1.2009
CEN	EN 1504-4:2004 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità — Parte 4: Incollaggio strutturale		1.9.2005	1.1.2009
CEN	EN 1504-5:2004 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità — Parte 5: Iniezione del calcestruzzo		1.10.2005	1.1.2009
CEN	EN 1504-6:2006 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione di conformità — Parte 6: Ancoraggio dell'armatura di acciaio		1.6.2007	1.1.2009

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1504-7:2006 Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo — Definizioni, requisiti, controllo e valutazione della conformità — Protezione contro la corrosione delle armature		1.6.2007	1.1.2009
CEN	EN 1520:2011 Componenti prefabbricati armati di calcestruzzo alleggerito con struttura aperta con armatura strutturale o non-strutturale	EN 1520:2002	1.1.2012	1.1.2013
CEN	EN 1748-1-2:2004 Vetro per edilizia — Prodotti di base speciali — Vetri borosilicati — Parte 1-2: Valutazione di conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 1748-2-2:2004 Vetro per edilizia — Prodotti di base speciali — Parte 2-2: Vetro ceramica — Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 1806:2006 Camini — Blocchi di laterizio/ceramica per camini a parete singola — Requisiti e metodi di prova		1.5.2007	1.5.2008
CEN	EN 1825-1:2004 Separatori di grassi — Parte 1: Principi di progettazione, prestazione e prove, marcatura e controllo qualità		1.9.2005	1.9.2006
	EN 1825-1:2004/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 1856-1:2009 Camini — Requisiti per camini metallici — Parte 1: Prodotti per sistemi camino	EN 1856-1:2003	1.3.2010	1.3.2011
CEN	EN 1856-2:2009 Camini — Requisiti per camini metallici — Parte 2: Condotti interni e canali da fumo metallici	EN 1856-2:2004	1.3.2010	1.3.2011
CEN	EN 1857:2010 Camini — Componenti — Condotti fumari di calcestruzzo	EN 1857:2003 +A1:2008	1.1.2011	1.1.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 1858:2008+A1:2011 Camini — Componenti — Blocchi di calcestruzzo	EN 1858:2008	1.4.2012	1.4.2013
CEN	EN 1863-2:2004 Vetro per edilizia — Vetro di silicato sodio-calcico indurito termicamente — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 1873:2005 Accessori prefabbricati per coperture — Cupole di materie plastiche — Specifica di prodotto e metodi di prova		1.10.2006	1.10.2009
CEN	EN 1916:2002 Tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali		1.8.2003	23.11.2004
	EN 1916:2002/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 1917:2002 Pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali		1.8.2003	23.11.2004
	EN 1917:2002/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 1935:2002 Accessori per serramenti — Cerniere ad asse singolo — Requisiti e metodi di prova		1.10.2002	1.12.2003
	EN 1935:2002/AC:2003		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 10025-1:2004 Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali — Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 10088-4:2009 Acciai inossidabili — Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura per fogli/lamiere e nastri di acciai resistenti alla corrosione da utilizzare nelle costruzioni		1.2.2010	1.2.2011

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 10088-5:2009 Acciai inossidabili — Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura per barre, vergella, filo, profilati e prodotti finiti a freddo di acciai resistenti alla corrosione da utilizzare nelle costruzioni		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 10210-1:2006 Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali. Condizioni tecniche di fornitura		1.2.2007	1.2.2008
CEN	EN 10219-1:2006 Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate — Condizioni tecniche di fornitura		1.2.2007	1.2.2008
CEN	EN 10224:2002 Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di liquidi acquosi incluso l'acqua per il consumo umano — Condizioni tecniche di fornitura		1.4.2006	1.4.2007
	EN 10224:2002/A1:2005		1.4.2006	1.4.2007
CEN	EN 10255:2004+A1:2007 Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura — Condizioni tecniche di fornitura		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 10311:2005 Giunzioni per la connessione di tubi e raccordi di acciaio per il trasporto di acqua e di altri liquidi acquosi		1.3.2006	1.3.2007
CEN	EN 10312:2002 Tubi saldati di acciaio inossidabile per il convogliamento di liquidi acquosi incluso l'acqua per il consumo umano — Condizioni tecniche di fornitura		1.4.2006	1.4.2007
	EN 10312:2002/A1:2005		1.4.2006	1.4.2007
CEN	EN 10340:2007 Getti di acciaio per impieghi strutturali		1.1.2010	1.1.2011
	EN 10340:2007/AC:2008		1.1.2010	1.1.2010

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 10343:2009 Acciai da bonifica da utilizzare nelle costruzioni — Condizioni tecniche di fornitura		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 12004:2007+A1:2012 Adesivi per piastrelle — Requisiti, valutazione di conformità, classificazione e designazione	EN 12004:2007	1.4.2013	1.7.2013
CEN	EN 12050-1:2001 Impianti di sollevamento delle acque reflue per edifici e cantieri — Principi per costruzione e prove — Impianti di sollevamento per acque reflue contenenti materiale fecale		1.11.2001	1.11.2002
CEN	EN 12050-2:2000 Impianti di sollevamento delle acque reflue per edifici e cantieri — Principi per costruzione e prove — Impianti di sollevamento per acque reflue prive di materiale fecale		1.10.2001	1.10.2002
CEN	EN 12050-3:2000 Impianti di sollevamento delle acque reflue per edifici e cantieri — Principi per costruzione e prove — Impianti di sollevamento per acque reflue contenenti materiale fecale ad applicazione limitata		1.10.2001	1.10.2002
CEN	EN 12050-4:2000 Impianti di sollevamento delle acque reflue per edifici e cantieri — Principi per costruzione e prove — Valvole di non-ritorno per acque reflue prive di materiale fecale e per acque reflue contenenti materiale fecale		1.10.2001	1.10.2002
CEN	EN 12057:2004 Prodotti di pietra naturale — Marmette modulari — Requisiti		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 12058:2004 Prodotti di pietra naturale — Lastre per pavimentazioni e per scale — Requisiti		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 12094-1:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per dispositivi elettrici automatici di comando e gestione spegnimento e di ritardo		1.2.2004	1.5.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12094-2:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per dispositivi non elettrici automatici di comando e gestione spegnimento e di ritardo		1.2.2004	1.5.2006
CEN	EN 12094-3:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per dispositivi manuali di azionamento e di bloccaggio		1.1.2004	1.9.2005
CEN	EN 12094-4:2004 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Parte 4: Requisiti e metodi di prova per complesso valvola di scarica e rispettivi attuatori		1.5.2005	1.8.2007
CEN	EN 12094-5:2006 Impianti fissi antincendio — Componenti per sistemi di estinzione a gas — Parte 5: Requisiti e metodi di prova per le valvole di smistamento per sistemi ad alta e bassa pressione e loro attuatori	EN 12094-5:2000	1.2.2007	1.5.2009
CEN	EN 12094-6:2006 Impianti fissi antincendio — Componenti per sistemi di estinzione a gas — Parte 6: Requisiti e metodi di prova per i dispositivi non elettrici di messa fuori servizio	EN 12094-6:2000	1.2.2007	1.5.2009
CEN	EN 12094-7:2000 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per ugelli per sistemi a CO ₂		1.10.2001	1.4.2004
	EN 12094-7:2000/A1:2005		1.11.2005	1.11.2006
CEN	EN 12094-8:2006 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a CO ₂ — Parte 8: Requisiti e metodi di prova per raccordi flessibili		1.2.2007	1.5.2009

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12094-9:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per rivelatori di incendio speciali		1.1.2004	1.9.2005
CEN	EN 12094-10:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per manometri e pressostati		1.2.2004	1.5.2006
CEN	EN 12094-11:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per dispositivi di pesatura meccanici		1.1.2004	1.9.2005
CEN	EN 12094-12:2003 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per dispositivi di allarme pneumatici		1.1.2004	1.9.2005
CEN	EN 12094-13:2001 Sistemi fissi di lotta contro l'incendio — Componenti di impianti di estinzione a gas — Requisiti e metodi di prova per valvole di ritegno e valvole di non ritorno		1.1.2002	1.4.2004
	EN 12094-13:2001/AC:2002		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 12101-1:2005 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 1: Specificazioni per le barriere antifumo		1.6.2006	1.9.2008
	EN 12101-1:2005/A1:2006		1.12.2006	1.9.2008
CEN	EN 12101-2:2003 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 2: Specifiche per gli evacuatori naturali di fumo e calore		1.4.2004	1.9.2006
CEN	EN 12101-3:2002 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Specifiche per gli evacuatori forzati di fumo e calore		1.4.2004	1.4.2005
	EN 12101-3:2002/AC:2005		1.1.2006	1.1.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12101-6:2005 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 6: Sistemi di controllo del fumo per differenza di pressione — Kit		1.4.2006	1.4.2007
	EN 12101-6:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 12101-7:2011 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 7: Condotte per il controllo dei fumi		1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 12101-8:2011 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 8: Serrande per il controllo del fumo		1.2.2012	1.2.2013
CEN	EN 12101-10:2005 Sistemi per il controllo di fumo e calore — Parte 10: Alimentazioni		1.10.2006	1.5.2012
	EN 12101-10:2005/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 12150-2:2004 Vetro per edilizia — Vetro di silicato sodio-calcico di sicurezza temprato termicamente — Parte 2: Valutazione di conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 12209:2003 Accessori per serramenti — Serrature e chiavistelli — Serrature azionate meccanicamente, chiavistelli e piastre di bloccaggio — Requisiti e metodi di prova		1.12.2004	1.6.2006
	EN 12209:2003/AC:2005		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 12259-1:1999 + A1:2001 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a sprinkler e a spruzzo d'acqua — Sprinklers		1.4.2002	1.9.2005
	EN 12259-1:1999 + A1:2001/A2:2004		1.3.2005	1.3.2006
	EN 12259-1:1999 + A1:2001/A3:2006		1.11.2006	1.11.2007
CEN	EN 12259-2:1999 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a sprinkler e a spruzzo di acqua — Valvole di allarme idraulico		1.1.2002	1.8.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	EN 12259-2:1999/A1:2001		1.1.2002	1.8.2007
	EN 12259-2:1999/A2:2005		1.9.2006	1.8.2007
	EN 12259-2:1999/AC:2002		1.6.2005	1.6.2005
CEN	EN 12259-3:2000 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a sprinkler e a spruzzo d'acqua — Valvole d'allarme a secco		1.1.2002	1.8.2007
	EN 12259-3:2000/A1:2001		1.1.2002	1.8.2007
	EN 12259-3:2000/A2:2005		1.9.2006	1.8.2007
CEN	EN 12259-4:2000 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a sprinkler e a spruzzo d'acqua — Allarmi a motore ad acqua		1.1.2002	1.4.2004
	EN 12259-4:2000/A1:2001		1.1.2002	1.4.2004
CEN	EN 12259-5:2002 Installazioni fisse antincendio — Componenti per sistemi a sprinkler e a spruzzo d'acqua — Indicatori di flusso		1.7.2003	1.9.2005
CEN	EN 12271:2006 Trattamenti superficiali di irruvidimento — Requisiti		1.1.2008	1.1.2011
CEN	EN 12273:2008 Trattamenti superficiali con malte a freddo — Requisiti		1.1.2009	1.1.2011
CEN	EN 12285-2:2005 Serbatoi di acciaio prefabbricati — Parte 2: Serbatoi orizzontali cilindrici a singola e a doppia parete per depositi fuori-terra di liquidi infiammabili e non infiammabili che possono inquinare l'acqua		1.1.2006	1.1.2008
CEN	EN 12326-1:2014 Ardesia e pietra per coperture discontinue e rivestimenti esterni — Parte 1: Specifiche per ardesia e ardesia a carbonati	EN 12326-1:2004	13.2.2015	13.2.2016
CEN	EN 12337-2:2004 Vetro per edilizia — Vetro di silicato sodio-calcico indurito chimicamente — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12352:2006 Attrezzatura per il controllo del traffico — Dispositivi luminosi di pericolo e di sicurezza		1.2.2007	1.2.2008
CEN	EN 12368:2006 Attrezzatura per il controllo del traffico — Lanterne semaforiche		1.2.2007	1.2.2008
CEN	EN 12380:2002 Valvole di ingresso aria per sistemi di scarico — Requisiti, metodi di prova e valutazione di conformità		1.10.2003	1.10.2004
CEN	EN 12446:2011 Camini — Componenti — Elementi esterni di calcestruzzo	EN 12446:2003	1.4.2012	1.4.2013
CEN	EN 12467:2012 Lastre piane di fibrocemento — Specifica di prodotto e metodi di prova	EN 12467:2004	1.7.2013	1.7.2013
CEN	EN 12566-1:2000 Piccoli sistemi di trattamento delle acque reflue fino a 50 PT — Fosse settiche prefabbricate		1.12.2004	1.12.2005
	EN 12566-1:2000/A1:2003		1.12.2004	1.12.2005
CEN	EN 12566-3:2005+A2:2013 Piccoli sistemi di trattamento delle acque reflue fino a 50 PT — Parte 3: Impianti di trattamento preassemblati e/o assemblati in sito delle acque reflue domestiche	EN 12566-3:2005 +A1:2009	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 12566-4:2007 Piccoli sistemi di trattamento delle acque reflue fino a 50 PT — Parte 4: Fosse settiche assemblate in sito da kit prefabbricati		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 12566-6:2013 Piccoli sistemi di trattamento delle acque reflue fino a 50 PT — Parte 6: Unità prefabbricate di trattamento per effluenti di fosse settiche		1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 12566-7:2013 Piccoli sistemi di trattamento delle acque reflue fino a 50 PT — Parte 7: Unità di trattamento terziario prefabbricate		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 12591:2009 Bitumi e leganti bituminosi — Specifiche per i bitumi per applicazioni stradali		1.1.2010	1.1.2011

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12602:2008+A1:2013 Componenti armati prefabbricati di calcestruzzo aerato autoclavato		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 12620:2002+A1:2008 Aggregati per calcestruzzo	EN 12620:2002	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 12676-1:2000 Dispositivi anti-abbagliamento per strade — Prestazioni e caratteristiche		1.2.2004	1.2.2006
	EN 12676-1:2000/A1:2003		1.2.2004	1.2.2006
CEN	EN 12737:2004+A1:2007 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Lastre per pavimentazioni di stalle		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 12764:2004+A1:2008 Apparecchi sanitari — Specifica per bagni idromassaggio	EN 12764:2004	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 12794:2005+A1:2007 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Pali di fondazione	EN 12794:2005	1.2.2008	1.2.2009
	EN 12794:2005+A1:2007/AC:2008		1.8.2009	1.8.2009
CEN	EN 12809:2001 Caldaie per riscaldamento domestico, indipendenti, a combustibile solido — Potenza termica nominale non maggiore di 50 kW — Requisiti e metodi di prova		1.7.2005	1.7.2007
	EN 12809:2001/A1:2004		1.7.2005	1.7.2007
	EN 12809:2001/AC:2006		1.1.2008	1.1.2008
	EN 12809:2001/A1:2004/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 12815:2001 Termocucine a combustibile solido — Requisiti e metodi di prova		1.7.2005	1.7.2007
	EN 12815:2001/A1:2004		1.7.2005	1.7.2007
	EN 12815:2001/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
	EN 12815:2001/A1:2004/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 12839:2012 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi per recinzioni	EN 12839:2001	1.10.2012	1.10.2013
CEN	EN 12843:2004 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Antenne e pali		1.9.2005	1.9.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 12859:2011 Blocchi di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 12859:2008	1.12.2011	1.12.2012
CEN	EN 12860:2001 Adesivi a base di gesso per blocchi di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.4.2002	1.4.2003
	EN 12860:2001/AC:2002		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 12878:2005 Pigmenti per la colorazione di materiali da costruzione a base di cemento e/o calce — Specifiche e metodi di prova		1.3.2006	1.3.2007
	EN 12878:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 12899-1:2007 Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale — Parte 1: Segnali permanenti		1.1.2009	1.1.2013
CEN	EN 12899-2:2007 Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale — Parte 2: Delineatori di ostacolo transilluminati (TTB)		1.1.2009	1.1.2013
CEN	EN 12899-3:2007 Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale — Parte 3: Delineatori di margine e dispositivi rifrangenti		1.1.2009	1.1.2013
CEN	EN 12951:2004 Accessori prefabbricati per coperture — Scale permanentemente fissate per coperture — Specifica di prodotto e metodi di prova		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 12966-1:2005+A1:2009 Segnaletica verticale per il traffico stradale — Pannelli a messaggio variabile — Parte 1: Norma di prodotto		1.8.2010	1.8.2010
CEN	EN 13024-2:2004 Vetro per edilizia — Vetro di borosilicato di sicurezza temprato termicamente — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 13043:2002 Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico		1.7.2003	1.6.2004

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	EN 13043:2002/AC:2004		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13055-1:2002 Aggregati leggeri — Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione		1.3.2003	1.6.2004
	EN 13055-1:2002/AC:2004		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 13055-2:2004 Aggregati leggeri — Parte 2: Aggregati leggeri per miscele bituminose, trattamenti superficiali e per applicazioni in strati legati e non legati		1.5.2005	1.5.2006
CEN	EN 13063-1:2005+A1:2007 Camini — Sistemi camino con condotti interni di terracotta/ceramica — Parte 1: Requisiti e metodi di prova per la resistenza al fuoco da fuliggine	EN 13063-1:2005	1.5.2008	1.5.2009
CEN	EN 13063-2:2005+A1:2007 Camini — Sistemi camino con condotti interni di terracotta/ceramica — Parte 2: Requisiti e metodi di prova in condizioni umide	EN 13063-2:2005	1.5.2008	1.5.2009
CEN	EN 13063-3:2007 Camini — Sistemi camino con condotti interni di terracotta/ceramica — Parte 3: Requisiti e metodi di prova per sistemi camino a flusso bilanciato		1.5.2008	1.5.2009
CEN	EN 13069:2005 Camini — Pareti esterne di laterizio/ceramica per sistemi di canne fumarie — Requisiti e metodi di prova		1.5.2006	1.5.2007
CEN	EN 13084-5:2005 Camini industriali strutturalmente indipendenti — Parte 5: Materiali per pareti interne di mattoni — Specifiche di prodotto		1.4.2006	1.4.2007
	EN 13084-5:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 13084-7:2012 Camini strutturalmente indipendenti — Parte 7: Specifiche di prodotto applicabili ad elementi cilindrici di acciaio da utilizzare per camini di acciaio a parete singola e per pareti interne di acciaio	EN 13084-7:2005	1.9.2013	1.9.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13101:2002 Gradini per camere di ispezione sotterranee — Requisiti, marcatura, prove e valutazione di conformità		1.8.2003	1.8.2004
CEN	EN 13108-1:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 1: Conglomerato bituminoso prodotto a caldo		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-1:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-2:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 2: Conglomerato bituminoso per strati molto sottili		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-2:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-3:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 3: Conglomerato con bitume molto tenero		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-3:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-4:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 4: Conglomerato bituminoso chiodato		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-4:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-5:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 5: Conglomerato bituminoso antisdrucchiolo chiuso		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-5:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-6:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 6: Asfalto colato		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-6:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13108-7:2006 Miscele bituminose — Specifiche del materiale — Parte 7: Conglomerato bituminoso ad elevato tenore di vuoti		1.3.2007	1.3.2008
	EN 13108-7:2006/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 13139:2002 Aggregati per malta		1.3.2003	1.6.2004
	EN 13139:2002/AC:2004		1.1.2010	1.1.2010

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13160-1:2003 Sistemi di rivelazione delle perdite — Principi generali		1.3.2004	1.3.2005
CEN	EN 13162:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13162:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13163:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13163:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13164:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di polistirene espanso estruso (XPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13164:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13165:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PU) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13165:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13166:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di resine fenoliche espanse (PF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13166:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13167:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di vetro cellulare (CG) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13167:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13168:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di lana di legno (WW) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13168:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13169:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Pannelli di perlite espansa (EPB) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13169:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13170:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di sughero espanso (ICB) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13170:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 13171:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di fibre di legno (WF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 13171:2012	10.7.2015	10.7.2016

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13224:2011 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi nervati per solai	EN 13224:2004 +A1:2007	1.8.2012	1.8.2013
CEN	EN 13225:2013 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi strutturali lineari	EN 13225:2004	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 13229:2001 Termocaminetti e caminetti aperti, a combustibile solido — Requisiti e metodi di prova		1.7.2005	1.7.2007
	EN 13229:2001/A1:2003		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13229:2001/A2:2004		1.7.2005	1.7.2007
	EN 13229:2001/AC:2006		1.7.2007	1.7.2007
	EN 13229:2001/A2:2004/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 13240:2001 Stufe a combustibile solido — Requisiti e metodi di prova		1.7.2005	1.7.2007
	EN 13240:2001/A2:2004		1.7.2005	1.7.2007
	EN 13240:2001/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
	EN 13240:2001/A2:2004/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 13241-1:2003+A1:2011 Porte e cancelli industriali, commerciali e da garage — Norma di prodotto — Parte 1: Prodotti senza caratteristiche di resistenza al fuoco o controllo del fumo	EN 13241-1:2003	1.1.2012	1.1.2013
CEN	EN 13242:2002+A1:2007 Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade	EN 13242:2002	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 13245-2:2008 Materie plastiche — Profilati di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) per applicazioni edilizie — Parte 2: Profilati di PVC-U e profilati di PVC-UE per le finiture di pareti e di soffitti per interni ed esterni		1.7.2010	1.7.2012
	EN 13245-2:2008/AC:2009		1.7.2010	1.7.2010

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13249:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse ferrovie e l'inclusione in conglomerati bituminosi)		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13249:2000/A1:2005		1.11.2005	1.11.2006
CEN	EN 13250:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di ferrovie		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13250:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
CEN	EN 13251:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13251:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
CEN	EN 13252:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nei sistemi drenanti		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13252:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
CEN	EN 13253:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nelle opere di controllo dell'erosione (protezione delle coste, rivestimenti di sponda)		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13253:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
CEN	EN 13254:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di bacini e dighe		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13254:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13254:2000/AC:2003		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13255:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di canali		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13255:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13255:2000/AC:2003		1.6.2006	1.6.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13256:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di gallerie e strutture in sotterraneo		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13256:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13256:2000/AC:2003		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13257:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego in discariche per rifiuti solidi		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13257:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13257:2000/AC:2003		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13263-1:2005+A1:2009 Fumi di silice per calcestruzzo — Parte 1: Definizioni, requisiti e criteri di conformità	EN 13263-1:2005	1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 13265:2000 Geotessili e prodotti affini — Caratteristiche richieste per l'impiego nei progetti di contenimento di rifiuti liquidi		1.10.2001	1.10.2002
	EN 13265:2000/A1:2005		1.6.2006	1.6.2007
	EN 13265:2000/AC:2003		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13279-1:2008 Leganti e intonaci a base di gesso — Parte 1: Definizioni e requisiti	EN 13279-1:2005	1.10.2009	1.10.2010
CEN	EN 13282-1:2013 Leganti idraulici per impieghi stradali — Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido — Composizione, specificazioni e criteri di conformità		1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 13310:2003 Lavelli da cucina — Requisiti funzionali e metodi di prova		1.2.2004	1.2.2006
CEN	EN 13341:2005+A1:2011 Serbatoi statici di materiale termoplastico per immagazzinaggio fuori terra di oli combustibili domestici, cherosene e gasolio — Serbatoi di polietilene fabbricati per soffiaggio (blow moulded) e per stampaggio rotazionale e serbatoi fabbricati per stampaggio rotazionale di poliammide 6 polimerizzata anionicamente — Requisiti e metodi di prova	EN 13341:2005	1.10.2011	1.10.2011

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13361:2004 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di bacini e dighe		1.9.2005	1.9.2006
	EN 13361:2004/A1:2006		1.6.2007	1.6.2008
CEN	EN 13362:2005 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di canali		1.2.2006	1.2.2007
CEN	EN 13383-1:2002 Aggregati per opere di protezione (armourstone) — Specifiche		1.3.2003	1.6.2004
	EN 13383-1:2002/AC:2004		1.1.2010	1.1.2010
CEN	EN 13407:2006 Urinatori a parete — Requisiti di funzionamento e metodi di prova		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 13450:2002 Aggregati per massicciate per ferrovie		1.10.2003	1.6.2004
	EN 13450:2002/AC:2004		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 13454-1:2004 Leganti, leganti compositi e miscele realizzate in fabbrica per massetti a base di solfato di calcio — Parte 1: Definizioni e requisiti		1.7.2005	1.7.2006
CEN	EN 13479:2004 Materiali di apporto per saldatura — Norma di prodotto generale per i metalli di apporto e i flussi utilizzati nella saldatura per fusione dei materiali metallici		1.10.2005	1.10.2006
CEN	EN 13491:2004 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego come barriere ai fluidi nella costruzione di gallerie e strutture in sotterraneo		1.9.2005	1.9.2006
	EN 13491:2004/A1:2006		1.6.2007	1.6.2008
CEN	EN 13492:2004 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di discariche per smaltimento, di opere di trasferimento o di contenimento secondario di rifiuti liquidi		1.9.2005	1.9.2006
	EN 13492:2004/A1:2006		1.6.2007	1.6.2008

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13493:2005 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di discariche per accumulo e smaltimento di rifiuti solidi		1.3.2006	1.3.2007
CEN	EN 13502:2002 Camini — Requisiti e metodi di prova per terminali di terracotta/ceramica		1.8.2003	1.8.2004
CEN	EN 13561:2004+A1:2008 Tende esterne — Requisiti prestazionali compresa la sicurezza	EN 13561:2004	1.8.2009	1.8.2010
CEN	EN 13564-1:2002 Dispositivi anti-allagamento per edifici — Requisiti		1.5.2003	1.5.2004
CEN	EN 13616:2004 Dispositivi di troppopieno per serbatoi statici per combustibili liquidi derivati dal petrolio		1.5.2005	1.5.2006
	EN 13616:2004/AC:2006		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 13658-1:2005 Profili e bordi di metallo — Definizioni, requisiti e metodi di prova — Parte 1: Intonaco per interno		1.3.2006	1.3.2007
CEN	EN 13658-2:2005 Profili e bordi di metallo — Definizioni, requisiti e metodi di prova — Parte 2: Intonaco per esterno		1.3.2006	1.3.2007
CEN	EN 13659:2004+A1:2008 Chiusure oscuranti — Requisiti prestazionali compresa la sicurezza	EN 13659:2004	1.8.2009	1.8.2010
CEN	EN 13693:2004+A1:2009 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi speciali per coperture	EN 13693:2004	1.5.2010	1.5.2011
CEN	EN 13707:2004+A2:2009 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di coperture — Definizioni e caratteristiche		1.4.2010	1.10.2010
CEN	EN 13747:2005+A2:2010 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Lastre per solai	EN 13747:2005+A1:2008	1.1.2011	1.1.2011
CEN	EN 13748-1:2004 Piastrelle di graniglia — Parte 1: Piastrelle di graniglia per uso interno		1.6.2005	1.10.2006

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	EN 13748-1:2004/A1:2005		1.4.2006	1.10.2006
	EN 13748-1:2004/AC:2005		1.6.2005	1.6.2005
CEN	EN 13748-2:2004 Piastrille di graniglia — Parte 2: Piastrille di graniglia per uso esterno		1.4.2005	1.4.2006
CEN	EN 13808:2013 Bitumi e leganti bituminosi — Quadro di riferimento delle specifiche per le emulsioni cationiche bituminose	EN 13808:2005	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 13813:2002 Massetti e materiali per massetti — Materiali per massetti — Proprietà e requisiti		1.8.2003	1.8.2004
CEN	EN 13815:2006 Intonaco a base di gesso rinforzato con fibre — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.6.2007	1.6.2008
CEN	EN 13830:2003 Facciate continue — Norma di prodotto		1.12.2004	1.12.2005
CEN	EN 13859-1:2010 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Definizioni e caratteristiche dei sottostrati — Parte 1: Sottostrati per coperture discontinue		1.4.2011	1.4.2012
CEN	EN 13859-2:2010 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Definizioni e caratteristiche dei sottostrati — Parte 2: Sottostrati murari		1.4.2011	1.4.2012
CEN	EN 13877-3:2004 Pavimentazioni a base di calcestruzzo — Parte 3: Specifiche per elementi di collegamento da utilizzare nelle pavimentazioni a base di calcestruzzo		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 13915:2007 Pannelli prefabbricati di lastre di cartongesso con nido d'ape di cartone — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.6.2008	1.6.2009
CEN	EN 13924:2006 Bitumi e leganti bituminosi — Specifiche per bitumi di grado duro per pavimentazioni		1.1.2010	1.1.2011
	EN 13924:2006/AC:2006		1.1.2010	1.1.2010

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13950:2014 Pannelli isolanti termo/acustici accoppiati con lastre di gesso rivestito (cartongesso) — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 13950:2005	13.2.2015	13.2.2016
CEN	EN 13956:2012 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane di materiale plastico e di gomma per l'impermeabilizzazione delle coperture — Definizioni e caratteristiche	EN 13956:2005	1.10.2013	1.10.2013
CEN	EN 13963:2005 Materiali di giunzione per lastre di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.3.2006	1.3.2007
	EN 13963:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 13964:2004 Controsoffitti — Requisiti e metodi di prova		1.1.2005	1.7.2007
	EN 13964:2004/A1:2006		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 13967:2012 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane di materiale plastico e di gomma impermeabili all'umidità incluse membrane di materiale plastico e di gomma destinate ad impedire la risalita di umidità dal suolo — Definizioni e caratteristiche	EN 13967:2004	1.3.2013	1.7.2013
CEN	EN 13969:2004 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane bituminose destinate ad impedire la risalita di umidità dal suolo — Definizioni e caratteristiche		1.9.2005	1.9.2006
	EN 13969:2004/A1:2006		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 13970:2004 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Strati bituminosi per il controllo del vapore — Definizioni e caratteristiche		1.9.2005	1.9.2006
	EN 13970:2004/A1:2006		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 13978-1:2005 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Garage prefabbricati di calcestruzzo — Parte 1: Requisiti per garage di calcestruzzo armato realizzati con elementi monolitici o composti da sezioni individuali con dimensioni di un modulo		1.3.2006	1.3.2008
CEN	EN 13984:2013 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Strati di plastica e di gomma per il controllo del vapore — Definizioni e caratteristiche	EN 13984:2004	1.11.2013	1.11.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 13986:2004 Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni — Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura	EN 13986:2002	1.6.2005	1.6.2006
CEN	EN 14016-1:2004 Leganti per massetti a base di magnesite — Magnesia caustica e cloruro di magnesio — Definizioni, requisiti		1.12.2004	1.12.2005
CEN	EN 14023:2010 Bitumi e leganti bituminosi — Quadro delle specifiche riguardanti i bitumi modificati da polimeri		1.1.2011	1.1.2012
CEN	EN 14037-1:2003 Strisce radianti a soffitto alimentate con acqua a temperatura minore di 120 °C — Parte 1: Specifiche tecniche e requisiti		1.2.2004	1.2.2005
CEN	EN 14041:2004 Rivestimenti resilienti, tessili e laminati per pavimentazioni — Caratteristiche essenziali		1.1.2006	1.1.2007
	EN 14041:2004/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 14055:2010 Cassette di scarico per vasi e orinatoi		1.9.2011	1.9.2012
CEN	EN 14063-1:2004 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa realizzati in situ — Parte 1: Specifiche per i prodotti sfusi prima della messa in opera		1.6.2005	1.6.2006
	EN 14063-1:2004/AC:2006		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 14064-1:2010 Isolanti termici per l'edilizia — Prodotti sfusi di lana minerale (MW) realizzati in situ — Parte 1: Specifiche per i prodotti sfusi prima dell'installazione		1.12.2010	1.12.2011
CEN	EN 14080:2013 Strutture di legno — Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato — Requisiti	EN 14080:2005	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 14081-1:2005+A1:2011 Strutture di legno — Legno strutturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza — Parte 1: Requisiti generali	EN 14081-1:2005	1.10.2011	31.12.2011

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14178-2:2004 Vetro per edilizia — Prodotti di base di vetro a matrice alcalina — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 14179-2:2005 Vetro per edilizia — Vetro di sicurezza di silicato sodo-calcico temprato termicamente e sottoposto ad heat soak test — Parte 2: Valutazione della conformità/norma di prodotto		1.3.2006	1.3.2007
CEN	EN 14188-1:2004 Filler e materiali per la sigillatura dei giunti — Parte 1: Specifiche per materiali per la sigillatura applicati a caldo		1.7.2005	1.1.2007
CEN	EN 14188-2:2004 Filler e materiali per la sigillatura dei giunti — Parte 2: Specifiche per materiali per la sigillatura applicati a freddo		1.10.2005	1.1.2007
CEN	EN 14188-3:2006 Filler e materiali per la sigillatura dei giunti — Parte 3: Specifiche per materiali per la sigillatura di giunti preformati		1.11.2006	1.11.2007
CEN	EN 14190:2014 Prodotti di trasformazione secondaria di lastre di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 14190:2005	13.2.2015	13.2.2016
CEN	EN 14195:2005 Componenti di intelaiature metalliche per sistemi a pannelli di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.1.2006	1.1.2007
	EN 14195:2005/AC:2006		1.1.2007	1.1.2007
CEN	EN 14209:2005 Cornici di gesso sagomate — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.9.2006	1.9.2007
CEN	EN 14216:2004 Cemento — Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi speciali a calore di idratazione molto basso		1.2.2005	1.2.2006
CEN	EN 14229:2010 Legno strutturale — Pali di legno per linee aeree		1.9.2011	1.9.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14246:2006 Elementi di gesso per controsoffitti — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.4.2007	1.4.2008
	EN 14246:2006/AC:2007		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 14250:2010 Strutture di legno — Requisiti di prodotto per elementi strutturali prefabbricati assemblati con elementi di collegamento di lamiera metallica punzonata	EN 14250:2004	1.11.2010	1.11.2010
CEN	EN 14296:2005 Apparecchi sanitari — Lavabi a canale		1.3.2006	1.3.2008
CEN	EN 14303:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14303:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14304:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di espanso elastomerico flessibile (FEF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14304:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14305:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di vetro cellulare (CG) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14305:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14306:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di silicato di calcio (CS) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14306:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14307:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di polistirene espanso estruso (XPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14307:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14308:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso (PIR) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14308:2009	1.11.2013	1.11.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14309:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14309:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14313:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di polietilene espanso (PEF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14313:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14314:2009+A1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di resine fenoliche espanse (PF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 14314:2009	1.11.2013	1.11.2013
CEN	EN 14315-1:2013 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) spruzzati e formati in sito — Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido a spruzzo prima dell'installazione		1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 14316-1:2004 Isolanti termici per edilizia — Isolamento termico realizzato in sito con prodotti di perlite espansa (EP) — Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera		1.6.2005	1.6.2006
CEN	EN 14317-1:2004 Isolanti termici per edilizia — Isolamento termico realizzato in sito con prodotti di vermiculite espansa (EV) — Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera		1.6.2005	1.6.2006
CEN	EN 14318-1:2013 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) formati in sito per iniezione — Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido per iniezione prima dell'installazione		1.11.2013	1.11.2014

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14319-1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) formati in sito per iniezione — Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido per iniezione prima dell'installazione		1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 14320-1:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e per le installazioni industriali — Prodotti di poliuretano espanso rigido (PUR) e di poliisocianurato espanso rigido (PIR) spruzzati e formati in sito — Parte 1: Specifiche per il sistema espanso rigido a spruzzo prima dell'installazione		1.11.2013	1.11.2014
CEN	EN 14321-2:2005 Vetro per edilizia — Vetro di silicato alcalino di sicurezza temprato termicamente — Parte 2: Valutazione di conformità/Norma di prodotto		1.6.2006	1.6.2007
CEN	EN 14339:2005 Idranti interrati, cassette e coperchi di superficie		1.5.2006	1.5.2007
CEN	EN 14342:2013 Pavimentazioni di legno — Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura	EN 14342:2005 +A1:2008	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 14351-1:2006+A1:2010 Finestre e porte — Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali — Parte 1: Finestre e porte esterne pedonali senza caratteristiche di resistenza al fuoco e/o di tenuta al fumo	EN 14351-1:2006	1.12.2010	1.12.2010
CEN	EN 14353:2007+A1:2010 Profili metallici per impiego con lastre di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 14353:2007	1.11.2010	1.11.2010
CEN	EN 14374:2004 Strutture di legno — LVL — Requisiti		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 14384:2005 Idrante a pilastro		1.5.2006	1.5.2007

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14388:2005 Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale — Specifiche		1.5.2006	1.5.2007
	EN 14388:2005/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 14396:2004 Gradini fissi per pozzetti di ispezione		1.12.2004	1.12.2005
CEN	EN 14399-1:2005 Elementi di collegamento strutturali ad alta resistenza adatti al precarico — Parte 1: Requisiti generali		1.1.2006	1.10.2007
CEN	EN 14411:2012 Piastrine di ceramica — Definizioni, classificazione, caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura	EN 14411:2006	1.7.2013	1.7.2014
CEN	EN 14428:2004+A1:2008 Pareti doccia — Requisiti funzionali e metodi di prova	EN 14428:2004	1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 14449:2005 Vetro per edilizia — Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza — Valutazione della conformità/norma di prodotto		1.3.2006	1.3.2007
	EN 14449:2005/AC:2005		1.6.2006	1.6.2006
CEN	EN 14471:2013+A1:2015 Camini — Sistemi di camini con condotti interni di plastica — Requisiti e metodi di prova	EN 14471:2013	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 14496:2005 Adesivi a base di gesso per pannelli accoppiati termo/acustici e lastre di gesso rivestito — Definizioni, requisiti e metodi di prova		1.9.2006	1.9.2007
CEN	EN 14509:2013 Pannelli isolanti autoportanti a doppio rivestimento con paramenti metallici — Prodotti industriali — Specifiche	EN 14509:2006	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 14516:2006+A1:2010 Vasche da bagno per impieghi domestici		1.5.2011	1.5.2012
CEN	EN 14527:2006+A1:2010 Piatti doccia per usi domestici		1.5.2011	1.5.2012
CEN	EN 14528:2007 Bidè — Requisiti funzionali e metodi di prova	EN 14528:2005	1.1.2008	1.1.2009

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14545:2008 Strutture di legno — Connettori — Requisiti		1.8.2009	1.8.2010
CEN	EN 14566:2008+A1:2009 Elementi di collegamento meccanici per sistemi a pannelli di gesso — Definizioni, requisiti e metodi di prova	EN 14566:2008	1.5.2010	1.11.2010
CEN	EN 14592:2008+A1:2012 Strutture di legno — Elementi di collegamento di forma cilindrica — Requisiti	EN 14592:2008	1.3.2013	1.7.2013
CEN	EN 14604:2005 Rivelatori di fumo autonomi		1.5.2006	1.8.2008
	EN 14604:2005/AC:2008		1.8.2009	1.8.2009
CEN	EN 14647:2005 Cementi alluminosi — Composizione, specificazioni e criteri di conformità		1.8.2006	1.8.2007
	EN 14647:2005/AC:2006		1.1.2008	1.1.2008
CEN	EN 14680:2006 Adesivi per sistemi di tubazioni non sotto pressione di materiale termoplastico — Specifiche		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14688:2006 Apparecchi sanitari — Lavabi — Requisiti funzionali e metodi di prova		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14695:2010 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di impalcati di ponte di calcestruzzo e altre superfici di calcestruzzo soggette a traffico — Definizioni e caratteristiche		1.10.2010	1.10.2011
CEN	EN 14716:2004 Plafoni in tensione — Requisiti e metodi di prova		1.10.2005	1.10.2006
CEN	EN 14782:2006 Lastre metalliche autoportanti per coperture e per rivestimenti murari esterni e interni — Specifica di prodotto e requisiti		1.11.2006	1.11.2007
CEN	EN 14783:2013 Lastre e nastri metallici totalmente supportati per coperture, rivestimenti esterni e interni — Specifica di prodotto e requisiti	EN 14783:2006	8.8.2014	8.8.2015

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14785:2006 Apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati con pellet di legno — Requisiti e metodi di prova		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 14800:2007 Assemblaggi di tubi metallici corrugati di sicurezza per il collegamento di apparecchi domestici che utilizzano combustibili gassosi		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14814:2007 Adesivi per sistemi di tubazioni di materiale termoplastico per fluidi sotto pressione — Specifiche		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14843:2007 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Scale		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14844:2006+A2:2011 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi scatolari	EN 14844:2006 +A1:2008	1.9.2012	1.9.2013
CEN	EN 14846:2008 Accessori per serramenti — Serrature e chiavistelli — Serrature azionate elettromeccanicamente — Requisiti e metodi di prova		1.9.2011	1.9.2012
CEN	EN 14889-1:2006 Fibre per calcestruzzo — Parte 1: Fibre di acciaio — Definizioni, specificazioni e conformità		1.6.2007	1.6.2008
CEN	EN 14889-2:2006 Fibre per calcestruzzo — Parte 2: Fibre polimeriche — Definizioni, specificazioni e conformità		1.6.2007	1.6.2008
CEN	EN 14891:2012 Prodotti impermeabilizzanti applicati liquidi da utilizzare sotto a piastrellature di ceramica incollate con adesivi — Requisiti, metodi di prova, valutazione della conformità, classificazione e designazione		1.3.2013	1.3.2014
	EN 14891:2012/AC:2012		1.3.2013	1.3.2013
CEN	EN 14904:2006 Superfici per aree sportive — Specifiche per superfici per interni per uso multi-sport		1.2.2007	1.2.2008
CEN	EN 14909:2012 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane di materiale plastico e di gomma destinate ad impedire la risalita di umidità — Definizioni e caratteristiche	EN 14909:2006	1.3.2013	1.7.2013

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14915:2013 Rivestimenti interni ed esterni di pareti con elementi di legno massiccio — Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura	EN 14915:2006	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 14933:2007 Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile — Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione		1.7.2008	1.7.2009
CEN	EN 14934:2007 Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile — Prodotti di polistirene estruso (XPS) ottenuti in fabbrica — Specificazione		1.7.2008	1.7.2009
CEN	EN 14963:2006 Coperture — Lucernari continui di materiale plastico con o senza basamenti — Classificazione, requisiti e metodi di prova		1.8.2009	1.8.2012
CEN	EN 14964:2006 Sottostrati rigidi per coperture discontinue — Definizioni e caratteristiche		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14967:2006 Membrane flessibili per impermeabilizzazione — Membrane bituminose per muratura destinate ad impedire la risalita di umidità — Definizioni e caratteristiche		1.3.2007	1.3.2008
CEN	EN 14989-1:2007 Camini — Requisiti e metodi di prova per camini metallici e condotti di adduzione aria di qualsiasi materiale apparecchi di riscaldamento a tenuta stagna — Parte 1: Terminali verticali aria/fumi per apparecchi di tipo C6		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 14989-2:2007 Camini — Requisiti e metodi di prova per camini metallici e condotti di adduzione aria di qualsiasi materiale per apparecchi di riscaldamento a tenuta stagna — Parte 2: Condotti per fumi e aria comburente per apparecchi a tenuta stagna		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 14991:2007 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi di fondazione		1.1.2008	1.1.2009

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 14992:2007+A1:2012 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi da parete	EN 14992:2007	1.4.2013	1.7.2013
CEN	EN 15037-1:2008 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Solai a travetti e blocchi — Parte 1: Travetti		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 15037-2:2009+A1:2011 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Solai a travetti e blocchi — Parte 2: Blocchi di calcestruzzo		1.12.2011	1.12.2012
CEN	EN 15037-3:2009+A1:2011 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Solai a travetti e blocchi — Parte 3: Blocchi di laterizio		1.12.2011	1.12.2012
CEN	EN 15037-4:2010+A1:2013 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Solai a travetti e blocchi — Parte 4: Blocchi di polistirene espanso	EN 15037-4:2010	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15037-5:2013 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Solai a travetti e blocchi — Parte 5: Blocchi leggeri per casseforma semplice		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15048-1:2007 Bulloneria strutturale non a serraggio controllato — Parte 1: Requisiti generali		1.1.2008	1.10.2009
CEN	EN 15050:2007+A1:2012 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi da ponte	EN 15050:2007	1.12.2012	1.12.2012
CEN	EN 15069:2008 Assemblaggi di valvole di sicurezza gas per tubi metallici utilizzati per il collegamento di apparecchi domestici che utilizzano combustibili gassosi		1.1.2009	1.1.2010
CEN	EN 15088:2005 Alluminio e leghe di alluminio — Prodotti strutturali per impieghi nelle costruzioni — Condizioni tecniche di controllo e fornitura		1.10.2006	1.10.2007
CEN	EN 15102:2007+A1:2011 Rivestimenti murali decorativi — Prodotti in rotoli e pannelli	EN 15102:2007	1.7.2012	1.7.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 15129:2009 Dispositivi antisismici		1.8.2010	1.8.2011
CEN	EN 15167-1:2006 Loppa granulata d'altoforno macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione — Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità		1.1.2008	1.1.2009
CEN	EN 15250:2007 Apparecchi domestici a lento rilascio di calore alimentati a combustibili solidi — Requisiti e metodi di prova		1.1.2008	1.1.2010
CEN	EN 15258:2008 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Elementi per muri di sostegno		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 15274:2007 Adesivi per impieghi generali negli assemblaggi strutturali — Requisiti e metodi di prova		1.4.2010	1.4.2011
CEN	EN 15275:2007 Adesivi strutturali — Caratterizzazione di adesivi anaerobici per l'assemblaggio metallico coassiale in edifici e in strutture di ingegneria civile		1.4.2010	1.4.2011
	EN 15275:2007/AC:2010		1.1.2011	1.1.2011
CEN	EN 15283-1:2008+A1:2009 Lastre di gesso rinforzate con fibre — Definizioni, requisiti e metodi di prova — Parte 1: Lastre di gesso rinforzate con rete	EN 15283-1:2008	1.6.2010	1.6.2011
CEN	EN 15283-2:2008+A1:2009 Lastre di gesso rinforzate con fibre — Definizioni, requisiti e metodi di prova — Parte 2: Lastre di gesso con fibre	EN 15283-2:2008	1.6.2010	1.6.2011
CEN	EN 15285:2008 Lapidei agglomerati — Marmette modulari per pavimentazioni (interne ed esterne)		1.1.2009	1.1.2010
	EN 15285:2008/AC:2008		1.1.2009	1.1.2009
CEN	EN 15286:2013 Lapidei agglomerati — Lastre e marmette per finiture di pareti (interne ed esterne)		8.8.2014	8.8.2015

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 15322:2013 Bitumi e leganti bituminosi — Quadro di riferimento delle specifiche dei leganti bituminosi fluidificati e flussati	EN 15322:2009	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15368:2008+A1:2010 Legante idraulico per applicazioni non strutturali — Definizione, specifiche e criteri di conformità		1.9.2011	1.9.2012
CEN	EN 15381:2008 Geosintetici e prodotti affini — Requisiti per l'impiego in pavimentazioni e strati di usura		1.1.2010	1.1.2011
CEN	EN 15382:2013 Geosintetici con funzione barriera — Caratteristiche richieste per l'impiego nelle infrastrutture di trasporto	EN 15382:2008	8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15435:2008 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito — Proprietà e prestazioni dei prodotti		1.2.2009	1.2.2010
CEN	EN 15497:2014 Legno massiccio strutturale con giunti a dita — Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione		10.10.2014	10.10.2015
CEN	EN 15498:2008 Prodotti prefabbricati di calcestruzzo — Blocchi cassero di calcestruzzo con trucioli di legno — Proprietà e prestazioni dei prodotti		1.2.2009	1.2.2010
CEN	EN 15501:2013 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e le installazioni industriali — Prodotti di perlite espansa (EP) e vermiculite espansa (EV) ottenuti in fabbrica — Specificazione		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15599-1:2010 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e le installazioni industriali — Isolamento termico realizzato in sito con prodotti di perlite espansa (EP) — Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera		1.4.2011	1.4.2012

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 15600-1:2010 Isolanti termici per gli impianti degli edifici e le installazioni industriali — Isolamento termico realizzato in sito con prodotti di vermiculite espansa (EV) — Parte 1: Specifiche per i prodotti legati e sfusi prima della messa in opera		1.4.2011	1.4.2012
CEN	EN 15650:2010 Ventilazione degli edifici — Serrande tagliafuoco		1.9.2011	1.9.2012
CEN	EN 15651-1:2012 Sigillanti per giunti per impiego non strutturale negli edifici e piani di camminamento pedonali — Parte 1: Sigillanti per elementi di facciate		1.7.2013	1.7.2014
CEN	EN 15651-2:2012 Sigillanti per giunti per impiego non strutturale negli edifici e piani di camminamento pedonali — Parte 2: Sigillanti per vetrate		1.7.2013	1.7.2014
CEN	EN 15651-3:2012 Sigillanti per giunti per impiego non strutturale negli edifici e piani di camminamento pedonali — Parte 3: Sigillanti per giunti per impieghi sanitari		1.7.2013	1.7.2014
CEN	EN 15651-4:2012 Sigillanti per giunti per impiego non strutturale negli edifici e piani di camminamento pedonali — Parte 4: Sigillanti per camminamenti pedonali		1.7.2013	1.7.2014
CEN	EN 15682-2:2013 Vetro per edilizia — Vetro di sicurezza di silicato alcalino temprato termicamente sottoposto a «heat soak test» — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15683-2:2013 Vetro per edilizia — Vetro di sicurezza di silicato sodocalcico profilato temprato termicamente — Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto		8.8.2014	8.8.2015
CEN	EN 15732:2012 Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile (CEA) — Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa (LWA)		1.8.2013	1.8.2014

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 15743:2010 Cemento sovrasolfatato — Composizione, specifiche e criteri di conformità		1.11.2010	1.11.2011
CEN	EN 15814:2011+A2:2014 Rivestimenti per impermeabilizzazione di elevato spessore a base di bitume modificato con polimeri — Definizioni e requisiti	EN 15814:2011 +A1:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 15821:2010 Sauna a più fuochi alimentati da ciocchi di legna naturale — Requisiti e metodi di prova		1.7.2011	1.7.2012
CEN	EN 15824:2009 Specifiche per intonaci esterni ed interni a base di leganti organici		1.4.2010	1.4.2011
CEN	EN 16034:2014 Porte pedonali, porte e cancelli industriali, commerciali e finestre apribili — Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali — Caratteristiche di resistenza al fuoco e/o controllo del fumo		1.12.2015	1.12.2018
CEN	EN 16069:2012+A1:2015 Isolanti termici per edilizia — Prodotti di polietilene espanso (PEF) ottenuti in fabbrica — Specificazione	EN 16069:2012	10.7.2015	10.7.2016
CEN	EN 16153:2013+A1:2015 Lastre traslucide piane multistrato di policarbonato (PC) per coperture, pareti e soffitti interni ed esterni — Requisiti e metodi di prova	EN 16153:2013	10.7.2015	10.7.2016
Cenelec	EN 50575:2014 Cavi di energia, comando e comunicazioni — Cavi per applicazioni generali nei lavori di costruzione soggetti a prescrizioni di reazione al fuoco		1.12.2015	1.12.2016

⁽¹⁾ OEN: Organizzazione europea di normazione:

— CEN: Avenue Marnix 17, B-1000, Brussels, Tel. +32 2 5500811; fax + 32 2 5500819 (<http://www.cen.eu>)

— CENELEC: Avenue Marnix 17, B-1000, Brussels, Tel. +32 2 5196871; fax + 32 2 5196919 (<http://www.cenelec.eu>)

— ETSI: 650, route des Lucioles, F-06921 Sophia Antipolis, Tel. +33 492 944200; fax +33 493 654716, (<http://www.etsi.eu>)

NOTA:

- Ogni informazione relativa alla disponibilità delle norme può essere ottenuta o presso le organizzazioni europee di normazione o presso gli organismi nazionali di normazione il cui l'elenco è pubblicato nella *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* conformemente all'articolo 27 del regolamento (UE) n. 1025/2012 ⁽¹⁾.
- Le norme armonizzate sono adottate dalle organizzazioni europee di normazione in lingua inglese (il CEN e il Cenelec pubblicano norme anche in francese e tedesco). Successivamente i titoli delle norme armonizzate sono tradotti in tutte le altre lingue ufficiali richieste dell'Unione europea dagli organismi nazionali di normazione. La Commissione europea non è responsabile della correttezza dei titoli presentati per la pubblicazione nella *Gazzetta ufficiale*.
- La pubblicazione dei riferimenti alle rettifiche «.../AC:YYYY» avviene a solo scopo di informazione. Una rettifica elimina errori di stampa, linguistici o simili nel testo di una norma e può riferirsi a una o più versioni linguistiche (inglese, francese e/o tedesco) di una norma adottata da un'organizzazione europea di normazione.
- La pubblicazione dei riferimenti nella *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* non implica che le norme siano disponibili in tutte le lingue ufficiali dell'Unione.
- Il presente elenco sostituisce tutti gli elenchi precedenti pubblicati nella *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*. La Commissione europea assicura l'aggiornamento del presente elenco.
- Per ulteriori informazioni sulle norme armonizzate o altre norme europee, consultare il seguente indirizzo Internet:
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/index_en.htm

⁽¹⁾ GU L 316 del 14.11.2012, pag. 12.