



# Autostrada Asti-Cuneo

## ADEGUAMENTO DELLA TANGENZIALE DI ALBA

### PROGETTO DEFINITIVO

### 01 - PARTE GENERALE

#### 01.03 - Capitolati

#### Capitolato speciale d'appalto - Norme tecniche - Vol. 1

IMPRESA  	PROGETTISTA  	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031  	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
A	05-2021	EMISSIONE	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	MAGGIO 2021	-
							N. Progr.	
							01.03.01	

CODIFICA PROGETTO    LIV    DOCUMENTO    REV <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">N</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</div> </div>	WBS <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between;"> <span>A</span><span>3</span><span>3</span><span> </span><span>I</span><span>T</span><span>A</span><span>0</span><span>0</span><span>0</span><span>0</span> </div> CUP <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between;"> <span>G</span><span>6</span><span>4</span><span>E</span><span>2</span><span>0</span><span>0</span><span>0</span><span>2</span><span>0</span><span>6</span><span>0</span><span>0</span><span>0</span><span>5</span> </div>
--	---

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE
-------------------------------	-------------------------

**SOMMARIO:**

<b>PARTE I - GENERALITÀ - PIANIFICAZIONE - MATERIALI ED ATTREZZATURE.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Premesse generali.....</b>	<b>1</b>
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
<b>2. Pianificazione dei lavori.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Caratteristiche dei materiali e dei sistemi da impiegarsi.....</b>	<b>7</b>
3.1. Generalità.....	7
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.....	11
3.5.5. Aggregati per opere in terra.....	11
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.....	13
3.5.10. Materiali laterizi.....	13
3.5.11. Argilla espansa.....	13
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.....	15
3.5.15. Acciaio.....	15
3.5.15.1. Generalità.....	15
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... ..	23
3.5.15.4. Acciaio ordinario da costruzione (o “per impieghi strutturali” o “da carpenteria”).....	24
3.5.16. Acciaio inossidabile.....	30
3.5.17. Ghisa.....	30
3.5.18. Zincatura a caldo dei componenti in acciaio o ghisa.....	31
3.5.19. Alluminio e sue leghe.....	34
3.5.20. Rame e sue leghe.....	34
3.5.21. Polimetilmetacrilato (PMMA), policarbonato (PC), polipropilene (PP) e altre materie plastiche..	35
3.5.22. Legno.....	36
3.5.23. Bitumi e leganti bituminosi.....	37
3.5.24. Vetro.....	37
3.5.25. Geosintetici.....	38
3.5.25.1. Generalità.....	38
3.5.25.2. Classificazione.....	39
3.5.25.3. Geotessili e affini.....	42
3.5.25.4. Geosintetici in generale e con funzione di barriera.....	44

3.5.26. Membrane per impermeabilizzazione .....	45
3.5.27. Tubazioni in ghisa.....	46
3.5.28. Tubazioni in PVC.....	47
3.5.29. Tubazioni in PE .....	49
3.5.30. Tubazioni in gres .....	50
3.5.31. Elementi in fibrocemento .....	50
3.5.32. Elementi in PRFV (vetrosina) .....	51
3.5.33. Serramenti.....	52
3.5.34. Materiali per opere a verde .....	53
<b>PARTE II - NORME PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI .....</b>	<b>57</b>
<b>4. Sondaggi e tracciati.....</b>	<b>57</b>
<b>5. Scavi .....</b>	<b>57</b>
5.1. Norme generali .....	57
5.1.1. Definizione e generalità .....	57
5.1.2. Geometria degli scavi.....	58
5.1.3. Puntellature, franamenti, scavo per campioni.....	58
5.1.4. Disboscamento.....	58
5.1.5. Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito.....	59
5.1.5.1. Aspetti ambientali .....	59
5.1.6. Scavi con esplosivi.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
5.2. Scavi di sbancamento.....	60
5.3. Scavi di fondazione.....	61
5.4. Scavi subacquei e scavi all'asciutto .....	61
<b>6. Demolizioni e rimozioni .....</b>	<b>62</b>
6.1. Premessa.....	62
6.2. Demolizione di murature, fabbricati e strutture.....	62
6.2.1. Generalità.....	62
6.2.2. Mezzi da impiegare .....	62
6.2.3. Criteri e precauzioni .....	63
6.2.4. Demolizioni su strade ed autostrade in esercizio .....	63
6.2.5. Idrodemolizioni .....	63
6.3. Demolizione di pavimentazione in conglomerato bituminoso .....	64
6.3.1. Demolizione di pavimentazione mediante frese .....	64
6.3.2. Demolizione dell'intera sovrastruttura realizzata con sistemi tradizionali.....	65
6.4. Rimozioni.....	65
<b>7. Rilevati.....</b>	<b>65</b>
7.1. Generalità.....	65
7.1.1. Definizioni .....	65
7.1.2. Premesse di carattere generale .....	67
7.1.3. Normativa di riferimento .....	67
7.2. Aggregati per la formazione dei rilevati .....	71
7.2.1. Provenienza dei materiali .....	71
7.2.2. Prove sui materiali .....	73
7.2.3. Documentazione soggetta ad approvazione .....	74
7.3. Preparazione del piano di posa dei rilevati .....	75
7.3.1. Scotico, bonifica, gradonature e trincee drenanti .....	75
7.3.2. Strato anticapillare e strati rinforzati .....	77
7.4. Formazione del rilevato .....	79
7.4.1. Generalità e materiali da impiegare .....	79
7.4.1.1. Generalità .....	79
7.4.1.2. Rilevati autostradali.....	79
7.4.1.3. Rilevati in terra "armata" o "rinforzata".....	80
7.4.1.4. Rilevati di precarico e riempimenti.....	82
7.4.2. Costruzione del rilevato .....	85

7.4.2.1.	Stesa dei materiali .....	85
7.4.2.2.	Compattazione .....	86
7.4.2.3.	Zone di transizione per manufatti .....	86
7.4.2.4.	Condizioni climatiche avverse .....	87
7.4.2.5.	Rilevati di prova .....	87
7.4.2.6.	Caratteristiche di portanza dei piani di posa del rilevato e della sovrastruttura .....	88
7.5.	Prove di controllo .....	90
7.5.1.1.	Prove di controllo sui piani di posa .....	90
7.5.1.2.	Altre prove di controllo .....	90
7.6.	Trattamenti delle terre con calce .....	91
7.6.1.	Generalità .....	91
7.6.2.	Materiali .....	91
7.6.2.1.	Terreni o aggregati naturali .....	91
7.6.2.2.	Calce .....	92
7.6.2.3.	Acqua .....	93
7.6.3.	Studi e Prove preliminari .....	93
7.6.3.1.	Generalità .....	93
7.6.3.2.	Indagini sui terreni naturali .....	93
7.6.3.3.	Indagini sulle miscele calce-terreno .....	94
7.6.3.4.	Campi prova .....	95
7.6.4.	Modalità esecutive .....	96
7.6.4.1.	Prescrizioni generali .....	96
7.6.4.2.	Attrezzature .....	96
7.6.4.3.	Preparazione del terreno naturale .....	96
7.6.4.4.	Stesa del terreno naturale .....	97
7.6.4.5.	Stesa della calce .....	97
7.6.4.6.	Miscelazione .....	97
7.6.4.7.	Compattazione .....	98
7.6.4.8.	Prove di controllo .....	98
7.7.	Documentazione dei lavori .....	99
<b>8.</b>	<b>Palancolate .....</b>	<b>99</b>
8.1.	Generalità .....	99
8.2.	Normative di riferimento .....	101
8.3.	Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali in generale .....	102
8.4.	Prove tecnologiche preliminari .....	103
8.5.	Preparazione del piano di lavoro .....	103
8.6.	Materiali .....	103
8.7.	Installazione .....	104
8.7.1.	Attrezzature .....	104
8.7.2.	Tracciamento .....	104
8.7.3.	Movimentazione e saldature .....	104
8.7.4.	Infissione .....	105
8.7.5.	Controlli e documentazione lavori .....	105
<b>9.</b>	<b>Diaframmi in cemento armato .....</b>	<b>106</b>
9.1.	Definizione e campi di impiego .....	106
9.2.	Norme di Riferimento .....	106
9.3.	Soggezioni geotecniche, geoidrologiche ed ambientali .....	106
9.4.	Tolleranze geometriche .....	107
9.5.	Preparazione del piano di lavoro .....	108
9.6.	Perforazione .....	109
9.6.1.	Attrezzatura .....	109
9.6.2.	Perforazione a secco .....	109
9.6.3.	Perforazione in presenza di fluido di stabilizzazione .....	109
9.6.4.	Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose .....	110
9.6.5.	Controlli .....	110
9.7.	Armature metalliche .....	111

9.8.	Getto .....	112
9.8.1.	Preparazione e trasporto del calcestruzzo.....	112
9.8.2.	Posa in opera del calcestruzzo .....	112
9.8.3.	Controlli.....	113
9.9.	Formazione dei giunti.....	113
9.10.	Lavori complementari .....	114
9.11.	Documentazione dei lavori .....	114
9.12.	Prove preliminari.....	114
9.12.1.	Prove tecnologiche.....	114
9.12.2.	Prove di progetto .....	115
9.13.	Prove di controllo sugli elementi di diaframma.....	115
9.13.1.	Prove di carico per i soli elementi di diaframma con funzione portante verticale .....	115
9.13.2.	Controlli non distruttivi.....	116
<b>10.</b>	<b>Pali di fondazione.....</b>	<b>117</b>
10.1.	Generalità.....	117
10.1.1.	Tipologie di pali .....	117
10.1.2.	Norme di riferimento .....	117
10.1.3.	Soggezioni geotecniche e geoidrologiche ed ambientali generali.....	118
10.1.4.	Prove preliminari.....	118
10.1.4.1.	Prove tecnologiche .....	118
10.1.4.2.	Prove di progetto.....	119
10.1.5.	Preparazione del piano di lavoro .....	119
10.2.	Pali infissi prefabbricati .....	119
10.2.1.	Definizione .....	119
10.2.2.	Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche.....	119
10.2.3.	Caratteristiche dei materiali.....	120
10.2.4.	Tolleranze geometriche .....	121
10.2.5.	Tracciamento .....	121
10.2.6.	Infissione .....	122
10.2.6.1.	Generalità .....	122
10.2.6.2.	Infissione per battitura .....	122
10.2.6.3.	Infissione per vibrazione.....	123
10.2.6.4.	Aspetti generali d'installazione .....	123
10.2.7.	Controlli e documentazione lavori.....	123
10.3.	Pali battuti o roto-infissi, gettati in opera .....	124
10.3.1.	Definizione .....	124
10.3.2.	Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche.....	124
10.3.3.	Tolleranze geometriche .....	125
10.3.4.	Tracciamento .....	125
10.3.5.	Installazione del tubo forma .....	125
10.3.5.1.	Infissione con Battipalo .....	125
10.3.5.2.	Roto-infissione del tubo forma.....	126
10.3.6.	Formazione del fusto del palo.....	126
10.3.6.1.	Generalità .....	126
10.3.6.2.	Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio costipato .....	127
10.3.6.3.	Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio colato .....	127
10.3.6.4.	Posa in opera delle armature .....	128
10.3.7.	Controlli e documentazione dei lavori .....	128
10.4.	Pali trivellati di medio e grande diametro.....	129
10.4.1.	Definizione .....	129
10.4.2.	Soggezioni geotecniche e idrogeologiche specifiche.....	129
10.4.3.	Tolleranze geometriche .....	129
10.4.4.	Tracciamento .....	130
10.4.5.	Perforazione.....	130
10.4.5.1.	Attrezzature.....	130
10.4.5.2.	Perforazione a secco senza rivestimento .....	131
10.4.5.3.	Perforazione con impiego di tubazione di rivestimento provvisoria.....	131

10.4.5.4.	Perforazione in presenza di fango bentonitico .....	131
10.4.5.5.	Perforazione con elica continua .....	132
10.4.5.6.	Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose.....	133
10.4.5.7.	Controlli .....	133
10.4.6.	Armature metalliche .....	133
10.4.7.	Formazione del fusto del palo .....	134
10.4.7.1.	Preparazione e trasporto del conglomerato cementizio .....	134
10.4.7.2.	Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati.....	135
10.4.7.3.	Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati con elica continua .....	135
10.4.7.4.	Condizioni particolari.....	136
10.4.7.5.	Controlli .....	136
10.4.8.	Documentazione dei lavori .....	137
10.5.	Micropali .....	137
10.5.1.	Definizione, classificazione e campi di applicazione.....	137
10.5.2.	Soggezioni geotecniche e geoidrologiche.....	137
10.5.3.	Tolleranze geometriche .....	138
10.5.4.	Tracciamento .....	138
10.5.5.	Perforazione.....	138
10.5.5.1.	Attrezzature.....	138
10.5.5.2.	Metodologie di perforazione.....	138
10.5.6.	Confezione e posa delle armature.....	139
10.5.6.1.	Copriferro delle armature .....	139
10.5.6.2.	Armatura con profilati di acciaio .....	140
10.5.6.3.	Armature tubolari in acciaio.....	140
10.5.6.4.	Armature in materiale speciale .....	140
10.5.7.	Formazione del fusto del micropalo .....	140
10.5.7.1.	Riempimento a gravità .....	141
10.5.7.2.	Riempimento a bassa pressione.....	141
10.5.7.3.	Iniezione ripetuta ad alta pressione.....	141
10.5.8.	Caratteristiche delle miscele cementizie e delle malte cementizie.....	142
10.5.8.1.	Miscela cementizia .....	142
10.5.8.2.	Malta cementizia .....	142
10.5.8.3.	Calcestruzzo.....	143
10.5.9.	Controlli .....	143
10.5.10.	Documentazione dei lavori .....	143
10.5.11.	Particolari controlli delle malte e miscele cementizie impiegate .....	144
10.5.11.1.	Misure di densità .....	144
10.5.11.2.	Misure della decantazione .....	144
10.6.	Prove di carico.....	144
10.6.1.	Generalità .....	144
10.6.2.	Prove su pali di grande diametro.....	145
10.6.2.1.	Prove di carico assiale .....	145
10.6.2.2.	Prove di carico su pali strumentati.....	148
10.6.2.3.	Prove di carico laterale.....	149
10.6.3.	Prove di carico su micropali.....	150
10.6.3.1.	Prove di carico assiale .....	150
10.7.	Controlli non distruttivi.....	151
10.7.1.	Generalità .....	151
10.7.2.	Prove geofisiche.....	152
10.7.3.	Carotaggio continuo meccanico .....	152
10.7.4.	Scavi attorno al fusto del palo .....	153
<b>11.</b>	<b>Trattamenti colonnari .....</b>	<b>153</b>
11.1.	Generalità .....	153
11.2.	Normative di riferimento .....	154
11.3.	Soggezioni geotecniche, idrologiche ed ambientali.....	154
11.3.1.	Generalità .....	154
11.3.2.	Piano di monitoraggio.....	155
11.3.3.	Gestione dei materiali reflui .....	155

11.4.	Campo prove preliminare .....	155
11.4.1.	Generalità.....	155
11.4.2.	Obiettivi del campo prove.....	155
11.4.3.	Definizione del campo prove .....	156
11.4.4.	Controlli finali ed accettazione .....	156
11.5.	Perforazione .....	157
11.5.1.	Attrezzature di perforazione ed iniezione .....	157
11.5.2.	Impianto di preparazione miscele cementizie e di pompaggio .....	158
11.5.3.	Sistema di acquisizione dei parametri di perforazione ed iniezione .....	158
11.6.	Tolleranze geometriche .....	159
11.7.	Tracciamento e programma lavori.....	159
11.8.	Esecuzione dei trattamenti .....	160
11.8.1.	Trattamenti colonnari monofluido .....	160
11.8.2.	Trattamenti colonnari bi e tri-fluido .....	160
11.9.	Armatura dei trattamenti colonnari.....	161
11.9.1.	Tipologie di armatura .....	161
11.9.2.	Tubi in acciaio.....	161
11.9.3.	Profilati in acciaio .....	161
11.9.4.	Barre in acciaio speciale.....	162
11.9.5.	Armature in vetroresina.....	162
11.9.6.	Altri materiali .....	162
11.10.	Miscele cementizie.....	162
11.10.1.	Materiali di base.....	162
11.10.2.	Dosaggi e caratteristiche.....	163
11.11.	Controlli.....	163
11.12.	Documentazione dei lavori .....	164
<b>12.</b>	<b>Dreni.....</b>	<b>165</b>
12.1.	Dreni perforati nel terreno.....	165
12.1.1.	Generalità.....	165
12.1.2.	Perforazione .....	165
12.1.3.	Fornitura e posa del tubo filtrante.....	166
12.1.4.	Dispositivo di separazione tra il tratto filtrante ed il tratto cieco .....	166
12.1.5.	Lavaggio e manutenzione dei dreni .....	166
12.1.6.	Dreni in rocce lapidee .....	167
12.1.7.	Dreni in terreni argillosi stringenti .....	167
12.2.	Dreni prefabbricati a nastro .....	167
12.2.1.	Definizioni e campo di impiego .....	167
12.2.2.	Requisiti del nastro prefabbricato .....	167
12.2.3.	Preparazione del piano di lavoro e posa del materasso drenante di collegamento.....	169
12.2.4.	Installazione dei dreni .....	170
<b>13.</b>	<b>Tiranti di ancoraggio nei terreni .....</b>	<b>170</b>
13.1.	Definizioni e scopo .....	170
13.2.	Normative di riferimento .....	171
13.3.	Prove di carico preliminari .....	171
13.4.	Linee guida per le prove di carico preliminari.....	172
13.4.1.	Generalità.....	172
13.4.2.	Lunghezza libera apparente .....	172
13.4.3.	<i>Creep</i> critico .....	173
13.5.	Soggezioni geotecniche, idrogeologiche e ambientali.....	173
13.6.	Materiali ed elementi costruttivi .....	174
13.6.1.	Acciai e dispositivi di bloccaggio .....	174
13.6.2.	Miscela di iniezione: composizione e controlli .....	175
13.6.3.	Protezione dell'armatura .....	176
13.6.4.	Distanziatori, tamponi e condotti di iniezione.....	177
13.7.	Elementi di protezione dell'armatura .....	178
13.8.	Tolleranze geometriche .....	178

13.9.	Perforazione.....	179
13.10.	Assemblaggio e posa delle armature .....	180
13.11.	Connessione al terreno .....	180
13.11.1.	Generalità .....	180
13.11.2.	Iniezione semplice o di prima fase.....	181
13.11.3.	Iniezione ripetuta in pressione .....	181
13.11.4.	Iniezione in terreni o rocce ad elevata permeabilità .....	182
13.12.	Tesatura e collaudo.....	182
13.13.	Operazioni finali e protezione della testata.....	183
13.14.	Documentazione dei lavori .....	184
13.15.	Modalità di esecuzione delle prove sulla miscela fresca .....	185
13.15.1.	Misura del peso specifico .....	185
13.15.2.	Misura della fluidità .....	185
13.15.3.	Misura della decantazione.....	185
<b>14.</b>	<b>Bulloni di ancoraggio e chiodi.....</b>	<b>186</b>
14.1.	Generalità .....	186
14.2.	Materiali.....	186
14.3.	Modalità operative .....	187
14.3.1.	Bulloni di ancoraggio .....	187
14.3.2.	Chiodi .....	188
14.3.3.	Bulloni e chiodi speciali.....	188
14.3.3.1.	Bulloni attivi ad ancoraggio meccanico.....	188
14.3.3.2.	Bulloni frizionali a espansione idraulica (SWELLEX, BELLEX o similari) .....	189
14.3.3.3.	Bulloni autopercoranti (MAI, BELBOR, DYWI Drill o similari) .....	191
14.3.3.4.	Bulloni costituiti da lamiera, barre o profilati infissi a pressione .....	191
14.3.3.5.	Elementi in vetroresina .....	192

Pagina lasciata intenzionalmente bianca.

Capitolato Speciale d'Appalto

---

**NORME TECNICHE - VOL. 1**

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-

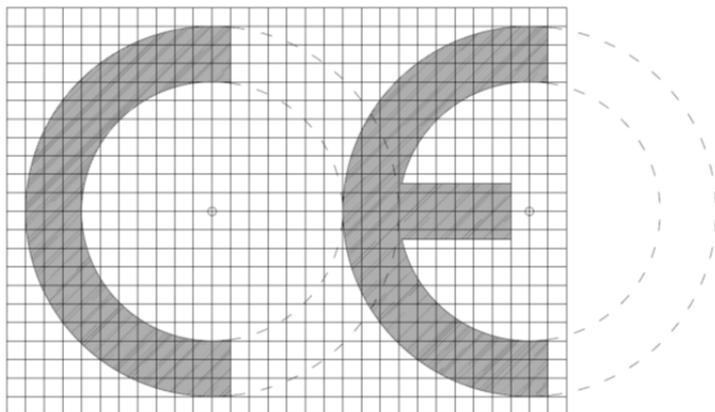
genti in materia, dal presente Capitolato e dalle fonti prescrittive ad esso sovraordinate di cui al paragrafo precedente. In mancanza di una loro precisa specificazione dovranno essere rappresentativi dello “stato dell’arte”, ovvero i migliori reperibili sul mercato.

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”<sup>(1)</sup>, la marcatatura 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](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<sup>(1)</sup>, 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 prov-

<sup>(1)</sup> 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.

vede 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.

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<sup>(1)</sup> 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 aggotamento 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.

---

<sup>(1)</sup> 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.

### 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).

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)*.

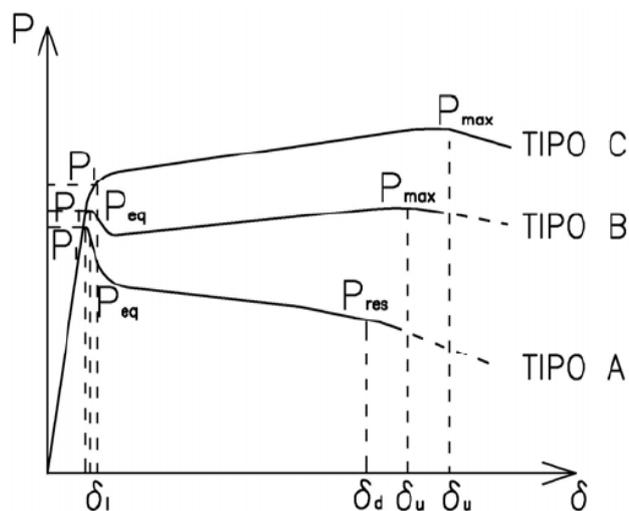


Diagramma P- $\delta$  da prova di trazione o flessione su provino in FRC.

Significato dei simboli:  $\delta$  = deformazione imposta al provino,  $P$  = carico corrisp. a  $\delta$ ,  $P_1$  = carico di prima fessurazione,  $\delta_1$  = deformazione alla prima fessurazione,  $P_{eq}$  = carico post-picco equivalente (al netto della resistenza a trazione del materiale che incorpora le fibre),  $\delta_d$  = deformazione di calcolo,  $P_{res}$  = carico residuo,  $P_{max}$  = carico massimo raggiunto dopo fessurazione,  $\delta_u$  = deformazione corrispondente a  $P_{max}$ .

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

Curva tipo B: comportamento incrudente (*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:	<b>UNI EN 490</b> (tegole di calcestruzzo e relativi accessori per coperture e rivestimenti murari: specifiche di prodotto);
Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato:	<b>UNI EN 771-4</b> (specifica per elementi per muratura: elementi di calcestruzzo aerato autoclavato per muratura);
Pietra artificiale:	<b>UNI EN 771-5</b> (specifica per elementi per muratura: elementi di pietra agglomerata per muratura);
Lastre alveolari:	<b>UNI EN 1168</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: lastre alveolari);
Pavimentazioni:	<b>UNI EN 1338</b> (masselli di calcestruzzo per pavimentazione: requisiti e metodi di prova), <b>UNI EN 1339</b> (lastre di calcestruzzo per pavimentazione: requisiti e metodi di prova), <b>12737</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: lastre per pavimentazioni di stalle);
Cordonati:	<b>UNI EN 1340</b> (cordoli di calcestruzzo: requisiti e metodi di prova);
Componenti in calcestruzzo alleggerito:	<b>UNI EN 1520</b> (componenti prefabbricati armati di calcestruzzo alleggerito con struttura aperta, con armatura strutturale o non-strutturale);
Camini:	<b>UNI EN 1857</b> (camini – componenti: condotti fumari di calcestruzzo), <b>1858</b> (camini – componenti: blocchi di calcestruzzo), <b>12446</b> (camini – componenti: elementi esterni di calcestruzzo);
Tubi e relativi raccordi:	<b>UNI EN 1916</b> (tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali);
Pozzetti:	<b>UNI EN 1917</b> (pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali);
Fondazioni:	<b>UNI EN 12794</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: pali di fondazione), <b>14991</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi di fondazione);
Recinzioni:	<b>UNI EN 12839</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi per recinzioni);
Antenne e pali:	<b>UNI EN 40-4</b> (pali per illuminazione pubblica: requisiti per pali per illuminazione di calcestruzzo armato e precompresso), <b>12843</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: antenne e pali);
Solai:	<b>UNI EN 13224</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi nervati per solai), <b>15037-1</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: travetti), <b>15037-2</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di calcestruzzo), <b>15037-3</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di laterizio), <b>15037-4</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - solai a travetti e blocchi: blocchi di polistirene espanso);
Travi e pilastri per edifici:	<b>UNI EN 13225</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi strutturali lineari);
Elementi speciali per coperture:	<b>UNI EN 13693</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi speciali per coperture);
Particolari edifici prefabbricati:	<b>UNI EN 13978-1</b> (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:	<b>UNI EN 14843</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: scale);
Scatolari:	<b>UNI EN 14844</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi scatolari);
Pareti:	<b>UNI EN 14992</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi di parete – proprietà e prestazioni di prodotto);
Ponti:	<b>UNI EN 15050</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi da ponte);
Muri di sostegno:	<b>UNI EN 15258</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo: elementi per muri di sostegno);

Elemento	Norme europee armonizzate
Casserature:	<b>UNI EN 15435</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito: proprietà e prestazioni dei prodotti), <b>15498</b> (prodotti prefabbricati di calcestruzzo - blocchi cassero di calcestruzzo con trucioli 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 cavalcaferrovia.

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 tralici 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  $7,85 \text{ kg/dm}^3$ . Gli scostamenti massimi ammessi per le barre effettivamente messe in opera, in termini di diametro nominale misurato, sono pari a:

$$\pm 6\% \quad \text{per} \quad 5 \leq \varnothing \leq 8 \text{ mm};$$

$$\pm 4,5\% \quad \text{per} \quad 8 < \varnothing \leq 40 \text{ mm}.$$

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:

$$0,007389 \leq K \leq 0,008323 \quad \text{per} \quad 5 \leq \varnothing \leq 8 \text{ mm}$$

$$0,007499 \leq K \leq 0,008205 \quad \text{per} \quad 8 < \varnothing \leq 40 \text{ mm}$$

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	$\geq 6$	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  $7850 \text{ kg/m}^3$ ) è la seguente:

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

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	$425 \text{ N/mm}^2$	$(450-25) \text{ N/mm}^2$
$f_y$ massimo	$572 \text{ N/mm}^2$	$[450 \times (1.25 + 0.02)] \text{ N/mm}^2$
$A_g$ minimo	$\geq 6.0\%$	Per acciai B450C
$A_g$ minimo	$\geq 2.0\%$	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 tralicci elettrosaldati

Per le reti ed i tralicci 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 tralicci 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 tralicci 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 <sup>2</sup>
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm <sup>2</sup>

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 $(A_{gt})_k$ :	$\leq 1,25$	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 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

## Acciaio B450A

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

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 $\phi$	

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 nominali.

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 ( $\cong 65 \mu m$ ) per il tondo di diametro 5 mm e di 540 g/mq ( $\cong 75 \mu m$ ) per diametri maggiori e comunque non superiore 1070 g/mq ( $\cong 150 \mu m$ ).

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  $\mu m$ ).

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  $\mu m$ .

#### 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 temine  $f_t$ , 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 delle norme 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	As relevant	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  $\leq 16$  mm, espressa in N/mm<sup>2</sup>;

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	S355JO	1.0553	Fe 510 C
S275JR	1.0044	Fe 430 B	S355J2	1.0577	Fe 510 D
S275JO	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 S355JO S355J2 S355K2 S450JO
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 .....		a			
Principal symbols		Additional symbols					
Letter	Mechanical property	For steel				For steel product	
		Group 1 <sup>b</sup>		Group 2 <sup>c d</sup>			
G = steel casting (where necessary)  S = structural steel	nnn = specified minimum yield strength <sup>e</sup> in MPa <sup>f</sup> for the smallest thickness range	Impact property Energy Joules (J)		Test temperature		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	°C		
		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					
<sup>a</sup> n = numerical characters, a = alpha characters, an = alphanumeric characters. <sup>b</sup> Symbols A, M, N and Q in Group 1 apply to fine grain steels. <sup>c</sup> 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. <sup>d</sup> If two of the symbols of this Group are needed the chemical symbol shall be the last one. <sup>e</sup> 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. <sup>f</sup> 1 MPa = 1 N/mm <sup>2</sup> .							

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

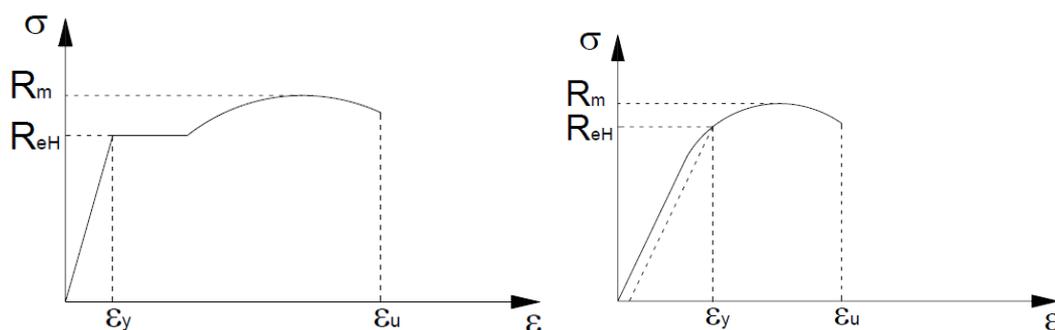
Concerne gli acciai per prodotti piani e lunghi laminati a caldo. Sono gli acciai che costituiscono i prodotti ottenuti mediante laminazione a caldo, quali: travi laminate, travi integrate, travi alveolari, prodotti piani purchè laminati a caldo. Le possibili condizioni di fornitura sono legate al procedimento 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”<sup>(1)</sup>). 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/mm<sup>2</sup>];
- modulo di elasticità:  $E$  [N/mm<sup>2</sup>];
- allungamento minimo a rottura:  $A$  [%];
- resistenza minima di trazione a rottura:  $R_m$  [N/mm<sup>2</sup>];
- 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	-	-	-

<sup>(1)</sup> *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<sup>®</sup>, 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 0 <150	>150 0 <200	>200 0 <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 ( $\mu\text{m}$ ) e a massa per unità di area ( $\text{g/m}^2$ ), 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 <sup>a)</sup>

Articolo e suo spessore	Rivestimento locale (minimo) <sup>b)</sup>		Rivestimento medio (minimo) <sup>c)</sup>	
	$\text{g/m}^2$	$\mu\text{m}$	$\text{g/m}^2$	$\mu\text{m}$
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 <sup>a)</sup>

Articolo e suo spessore	Rivestimento locale (minimo) <sup>b)</sup>		Rivestimento medio (minimo) <sup>c)</sup>	
	$\text{g/m}^2$	$\mu\text{m}$	$\text{g/m}^2$	$\mu\text{m}$
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 [ $\mu\text{m}$ ] (UNI EN ISO 14713-1)
C1 - Molto bassa	Interno: asciutto	< 0,1
C2 - Bassa	Interno: condensa occasionale	0,1 ÷ 0,7
	Esterno: area rurale esposta nell'entroterra	
C3 - Media	Interno: alta umidità, leggero inquinamento dell'aria	0,7 ÷ 2
	Esterno: area entroterra urbana o costiera temperata	
C4 - Alta	Interno: alta umidità, leggero inquinamento dell'aria	2 ÷ 4
	Esterno: area entroterra urbana o costiera temperata	
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 cm<sup>2</sup> 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  $\leq 3$  mm:
  - classe HB (*Horizontal Burning*): brucia ad una velocità  $\leq 76$  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:  $\text{SiO}_2$ ) 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 microsfele di vetro (dette anche "perline"), che attribuiscono alle vernici cosiddette "spartitraffico" migliori prestazioni e alle stesse e alle loro applicazioni proprietà retroriflettenti. Tali microsfele 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  $\mu\text{m}$  per perline da premiscelare con funzione di retroriflettenza, 60÷90  $\mu\text{m}$  per perline da premiscelare per miglioramento prestazioni vernice, 850÷1000  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$ .

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 sodio-calcico: 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** (microsfele 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 sodio-calcico 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 lustro 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 incolore, 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 abbinata 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 Geosynthetic Society*):

Simbolo	Denominazione internazionale	Denominazione italiana
GSY	<i>Geosynthetic material</i>	Geosintetico
GBA	<i>Geobar</i>	Geobarra
GBL	<i>Geoblanket</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>Geomattress</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

Simbolo	Denominazione internazionale	Denominazione italiana
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 (*banded*): 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), agrovigliati 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 semi 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
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 agugliatura 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 <sup>3</sup>	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: dDeterminazione 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 sottoterraneo), **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 <sup>(1)</sup>).

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 interrato);

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

- 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 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 ac-

cessori 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 interrate 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.

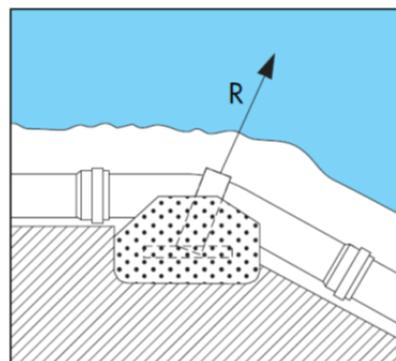
Nel caso in cui i tubi vengano tagliati in cantiere, il taglio dovrà essere perpendicolare all'asse e si dovrà effettuare lo smusso del codolo. I codoli dovranno essere inseriti nei bicchieri fino alla linea di riferimento (se presente) evitando contaminazioni.

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 interrate 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 interrate 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 interrate 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 (poliesteri, vinilisteri, epossidici, 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<sup>(1)</sup>. Questo materiale è spesso identificato in Italia con l'acronimo VTR.

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 poliesteri 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

<sup>(1)</sup> 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*).

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 restante 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 interrato 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 co-

dice 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 escavato 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 escavato”*.

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÷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 ÷ 2,5 daN/cm<sup>2</sup>.

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'aggottamento 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 guardiana, 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 sicurvia di qualunque tipo, sia con montanti infissi, sia con montanti ancorati tramite piastra o inghisati;
- 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 soppor-

	tare 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 lavorazioni 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 $19.6 \text{ kN/m}^3$ e $29.4 \text{ kN/m}^3$ .
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 <sub>din</sub>	Modulo elastico dinamico, determinato con prove di carico in sito a massa battente (FWD, HWD, LWD) o massa vibrante (RVM) <sup>(1)</sup>
------------------	--

### 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.

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, purchè 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).

<sup>(1)</sup> 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*.

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, Miscela non legate – Specifiche;
- UNI EN 13286-1, Miscela 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, Miscela 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<sup>(1)</sup>;

<sup>(1)</sup> 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/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*) 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/ft<sup>3</sup> (2,700 kN m/m<sup>3</sup>))*) 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 <sup>3</sup> ]
	Ø [cm]	H [cm]	V [cm <sup>3</sup> ]	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 13286-3, 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;
- UNI EN 13286-44, Miscele 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, Miscele 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, Miscele 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, Miscele 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, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 48: Metodo di prova per la determinazione del grado di polverizzazione;
- UNI EN 13286-49, Miscele 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, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 50: Metodo per la preparazione di provini di miscele legate con leganti idraulici mediante attrezzatura Proctor oppure compattazione con tavola vibrante;
- UNI EN 13286-51, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 51: Metodo per la preparazione di provini di miscele legate con leganti idraulici mediante compattazione con martello vibrante;
- UNI EN 13286-52, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 52: Metodo per la preparazione di provini di miscele legate con leganti idraulici mediante vibro compressione;
- UNI EN 13286-53, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 53: Metodo per la preparazione di provini di miscele 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, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 1: Miscele legate con cemento per fondi e sottofondi stradali;
- UNI EN 14227-3, Miscele legate con leganti idraulici - Specifiche - Parte 3: Miscele 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 (sciolta e lapidea), 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 m<sup>3</sup> 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 solfuri. 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 do-

vrà 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 garan-

tire una permeabilità minima di  $60 \text{ l}/(\text{m}^2\text{s})$  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  $60 \div 150 \mu\text{m}$ .

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)	$\geq 19 \text{ kN/m}$
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq 35 \text{ (MD e CD)}$ $\geq 50 \text{ (MD+CD)}/2$
Resistenze a trazione al 10% di allungamento ( UNI EN ISO 10319)	$\geq 3 \text{ kN/m}$
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq 3 \text{ kN}$
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq 20 \text{ mm}$
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq 60 \text{ l}/\text{m}^2\text{s}$
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	$60 \div 150 \mu\text{m}$

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 sottofon-

do, 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 (metali, 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 <sub>max</sub>	UNI EN 933/1	= 125 mm
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'All. 3 del D.M. 05.02.1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 05.02.1998
(*) 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 H <sub>2</sub> O. (**) 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. 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). 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 scevro 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. 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 m <sup>3</sup> . Possono essere impiegati esclusivamente lotti precedentemente caratterizzati e tale caratterizzazione è da intendersi valida esclusivamente per il lotto cui si riferisce.		

## **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.

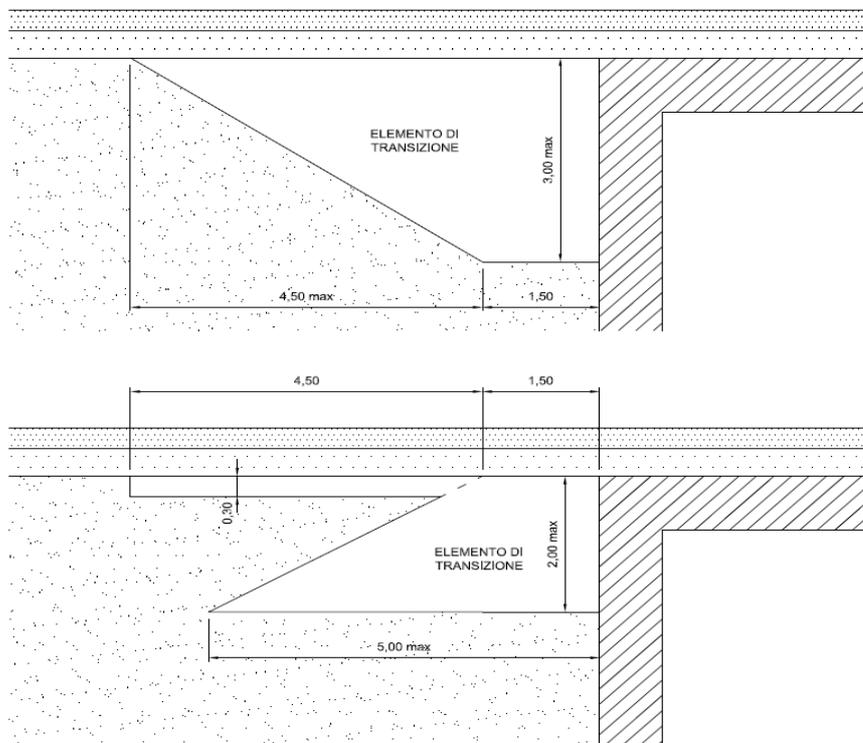
### 7.4.2.3. Zone di transizione per manufatti

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  $300 \text{ g/m}^2$ . 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 le 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  $0,15 \div 0,25$  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  $0,05 \div 0,15$  MPa);

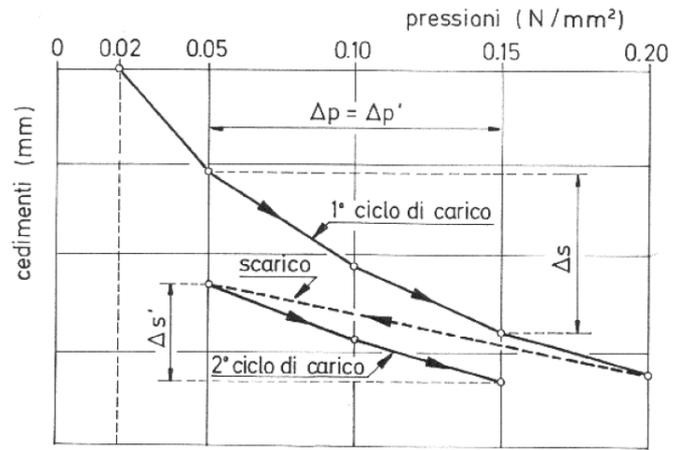
15 MPa: sul piano di imposta del rilevato, quando posto a 2,00 m da quello della sovrastruttura (intervallo di pressione di riferimento pari a  $0,05 \div 0,15$  MPa).

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.

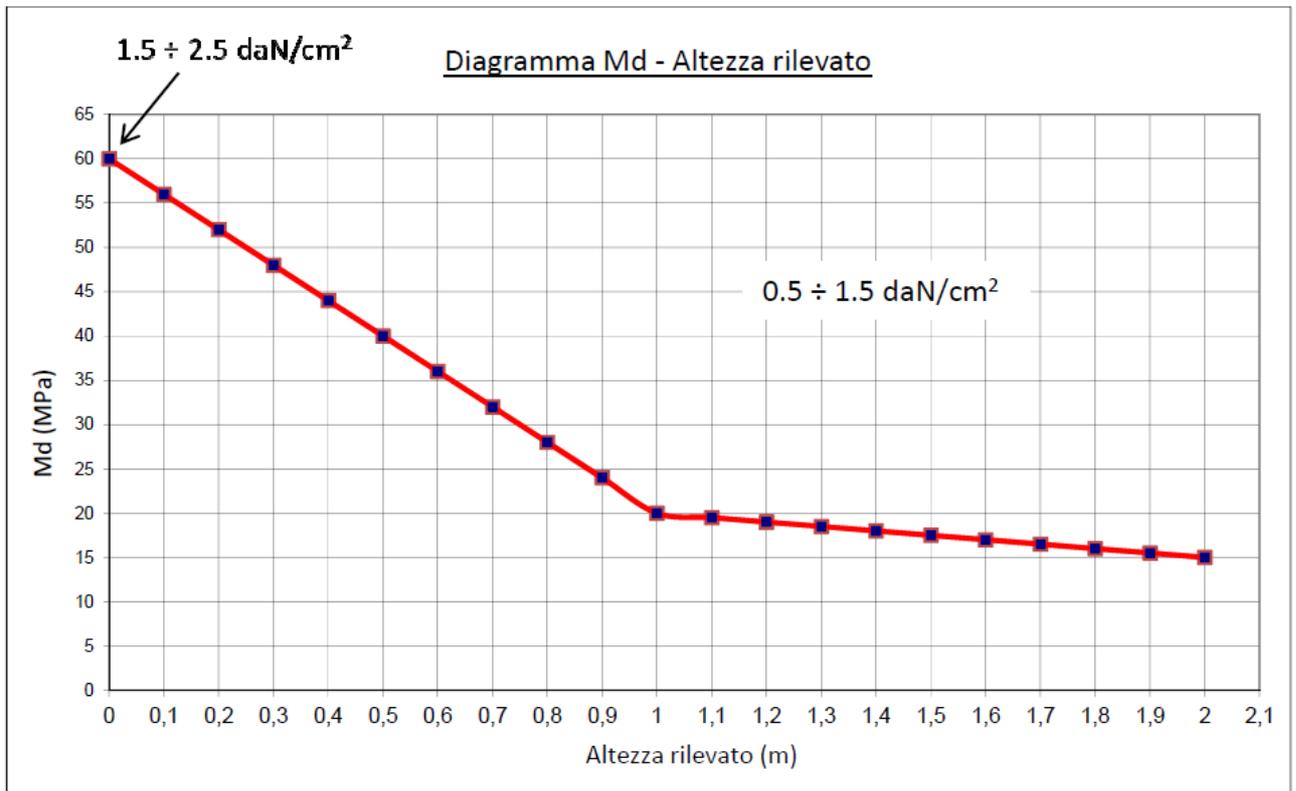
La variazione del valore minimo del modulo di deformazione (nell'intervallo  $0,05 \div 0,15$  MPa) dovrà risultare lineare al variare della differenza di quota tra il piano di posa del rilevato ed il piano di posa della sovrastruttura, come dal diagramma più avanti riportato.

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 <sup>(1)</sup>)



<sup>(1)</sup> La norma consente fra l'altro di calcolare il "modulo di deformazione"  $M_d$ , dalla prova in sito con l'opportuna attrezzatura (v. foto in figura), tramite la formula:

$$M_d = D * \Delta p / \Delta s \quad [\text{MPa}]$$

essendo:

D il diametro (mm) della piastra,

$\Delta p$  l'incremento di pressione (MPa) preso a riferimento ,

$\Delta s$  l'incremento di abbassamento (mm) valutato come media delle misure ai tre comparatori a 120° impiegati.

La prova prevede un leggero pre-carico 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.

## 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.

Prove	S = 0 ÷ 1 m	S = 1 ÷ 2 m	S > 2 m
prove di carico su piastra: - una ogni	1500 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>	3000 m <sup>2</sup>
prove di densità in sito: - una ogni	1500 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>

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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup> (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 m<sup>2</sup>. attraverso misure topografiche prima e dopo la compattazione con una griglia di punti avente una densità non superiore ad un punto/80 m<sup>2</sup>.

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 m<sup>3</sup>) 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 m<sup>3</sup> 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	Rilevati Autostradali	Terre Rinforzate ed	Rilevati precarico
------	-----------------------	---------------------	--------------------

di prova	Corpo del rilevato		Ultimo strato di spess. 30 cm		Armature		Riempimenti banche	
	primi 5000 m <sup>3</sup>	successivi m <sup>3</sup>	primi 5000 m <sup>3</sup>	successivi m <sup>3</sup>	primi 5000 m <sup>3</sup>	successivi m <sup>3</sup>	primi 5000 m <sup>3</sup>	successivi m <sup>3</sup>
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	*	*
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 m<sup>2</sup>.

## 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 labo-

ratorio, 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<sup>a)</sup>

	Tipo di calce da costruzione	CaO + MgO	MgO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Calce libera
1	CL 90	≥90	≤5 <sup>c)</sup>	≤4	≤2	-
2	CL 80	≥80	≤5 <sup>c)</sup>	≤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  $W_{n\text{opt}}$ :

- 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 misure 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 vene 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 fenolftaleina 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 m<sup>2</sup>; 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 m<sup>2</sup>;
- una prova CBR e prova di compattazione AASHTO mod T/180-57, ogni 3000 m<sup>2</sup>.

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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>.

#### Terreno miscelato dopo compattazione

Sugli strati intermedi verranno eseguite le prove di densità in sito ogni 2000 m<sup>2</sup> 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 rapportini 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. Palancolate**

### **8.1. Generalità**

Le palancolate (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  $\Omega$ ;
- ad onde multiple di varia forma;
- rettangolari (con elementi longitudinali di giunzione).

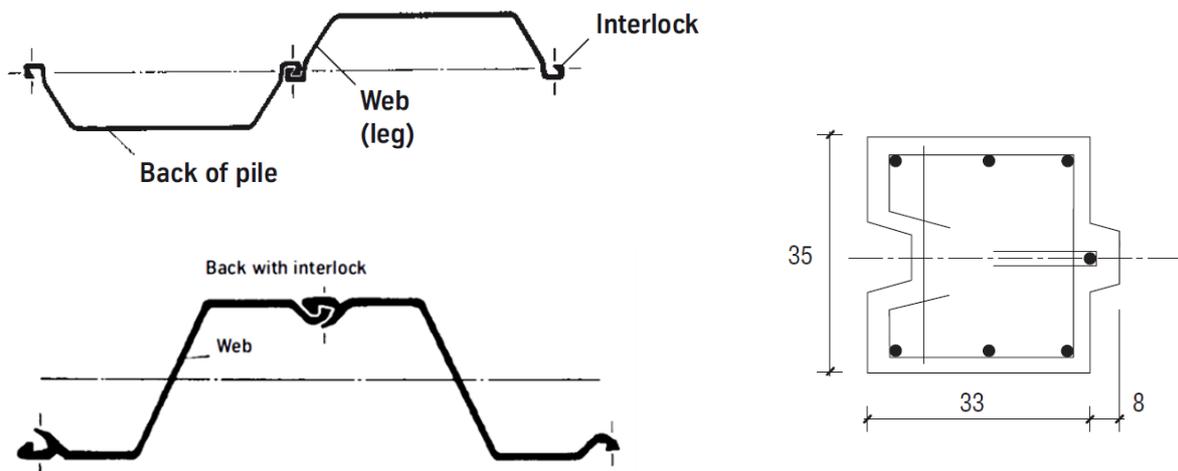
La composizione delle sezioni semplici, soprattutto se con utilizzo di pezzi speciali, genera una grandissima varietà di sezioni possibili che possono a loro volta far variare, entro un intervallo assai ampio, la rigidità della palancolata.

Quanto allo schema statico, esso è del tutto analogo a quello di altre similari 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 palancolate 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 garanzie 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.



<b>LARSSEN section</b> Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
<b>LARSSEN 43, 430</b> Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
<b>HOESCH section</b> (finger-and-socket interlock) Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
<b>PEINE interlock steel/ PEINE sheet piling</b> Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
<b>UNION straight-web section</b> Interlock design conforming to DIN EN 10248-2 and E 67 of EAU 2004	
<b>KL lightweight section</b> Interlock design conforming to DIN EN 10249-2	
<b>Ball-and-socket interlock</b>	

Nelle figure sono riportate alcune sezioni esemplificative di palancole (a sin. in alto: Larssen, 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 palancole 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 alte frequenze (> 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  $\pm 75$  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 palancole, 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 trafileamento 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 immersa 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 provochino 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 interrate 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  $\leq 20$  mm verso lo scavo,  $\leq 50$  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:  $\pm 50$  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  $\pm 50$  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:  $\pm 50$  mm rispetto al teorico.

In generale, per entrambi i casi, valgono inoltre i seguenti criteri costruttivi:

- le tolleranze  $\Delta S$  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  $\pm 150$  mm;
- la posizione di eventuali inserti, elementi di collegamento strutturali (manicotti, fazzoletti saldati:  $\pm 75$  mm rispetto al quota teorica verticale);
- tolleranza verticale sulla posizione della gabbia:  $\pm 50$  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  $80 \div 100$  cm di profondità dal piano di lavoro, distanti tra loro dello spessore del diaframma aumentato di  $4 \div 6$  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 casserature, in modo da ottenere che la linea mediana delle corree non si discosti dalla posizione planimetrica del diaframma in misura superiore a  $\pm 20$  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 trascinamento di materiale e franamenti; 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 benne 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 benne 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' innesco 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, 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 ultimarla 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 rinvenzano altre anomalie, la Direzione Lavori, con l'eventuale collabora-

zione 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  $\Omega$ , 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 immorsamento 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 purchè 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:

- $\geq 80$  mm, con aggregati aventi dimensione  $\leq 20$  mm;
- $\geq 100$  mm con aggregati aventi dimensione inferiore  $\leq 25$  mm;
- $\geq 140$  mm con aggregati aventi dimensione inferiore  $\leq 32$  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 m<sup>3</sup>, 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.

Previa 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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 scoperta 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 richiesta 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 inservanze 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 norma 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 d 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		D	osservazione	100%
giunto di sovrapposizione-B	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692		131		D	osservazione	100%
				135				
				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:  $\pm 0.1$  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 ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

**10.2.5. 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 vibrator 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:

- la lunghezza minima di progetto;
- 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:  $\pm 0.1$  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 mandrino/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 contemporaneamente 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:
  - $\pm 0.1$  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;
  - $\pm 0.15$  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 planoaltimetrica 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,

$\gamma$  = 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 disgregazione del terreno e la estrazione dei detriti dal foro.

In terreni sabbiosi si potrà fare ricorso anche ad utensili disgregatori rotanti con risalita dei detriti per trascinarsi 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 opportuna 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 ultimare 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 Ac (sezione Ac nominale del palo), se  $Ac \leq 0.5 \text{ m}^2$ ,
- $0.0025 \text{ m}^2$ , se  $0.5 \text{ m}^2 < Ac \leq 1.0 \text{ m}^2$ ,
- 0.25% di Ac, se  $0.5 \text{ m}^2 < Ac \leq 1.0 \text{ m}^2$ ,
- 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  $D \leq 0.60$  m,
- 60 mm, se  $D > 0.60$  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÷15 cm - larghezza > 6 cm) con perno in tondino fissato a due ferri verticali contigui.

I centratori saranno posti a gruppi di 3÷4, regolarmente distribuiti sul perimetro e con spaziatura verticale di 3÷4 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 spiazzamento del fango stabilizzante e che durante il getto si garantisca un continuo immorsamento 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/m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup>/h per pali di diametro < 800 mm e di 20 m<sup>3</sup>/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÷0,6 m<sup>3</sup> 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÷60 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 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 m e massima di 6,0 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 sottoplinto.

#### **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 sottoplinto.

#### 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 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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  $\pm 50$  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 <sup>(1)</sup>):

- 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.

#### **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 puo' essere ridotto 20 mm nel caso in cui l' elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,
- malta cementizia:  $S \geq 40$  mm che puo' essere ridotto 35 mm nel caso in cui l' elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,

<sup>(1)</sup> 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.

- 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 ÷ 14m).

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 orifici 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 idrofratturazione;
- 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/m<sup>3</sup>.

Gli aggregati utilizzati non dovranno superare il diametro massimo di 8 mm, con l'85%  $\leq 4$  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:  $\pm 5\%$ ,
- decantazione a ventiquattro 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.

### 10.5.8.3. 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/m<sup>3</sup>.

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:  $\pm 5\%$ ,
- decantazione a ventiquattro ore dalla preparazione:  $\leq 3\%$  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/cm<sup>3</sup> 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 sottopinto, 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 imperniata 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  $\pm 5$  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  $120^\circ$  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  $\geq 200$  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:

$$M \geq 1.2 P_{\text{prova}} / g = 0.12 P_{\text{prova}}$$

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 ( $\pm 20$  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  $\approx 50$  cm. Nel tratto di fusto esposto saranno inserite n. 3 staffe metalliche, a  $120^\circ$ , 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 ( $h_{\text{min}} = 1.5$  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  $\Delta P$ , 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  $\Delta P$  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, allorché risulti verificata una delle seguenti condizioni:

- cedimento ( $P_{lim}$ )  $\geq 2 * \text{cedimento} (P_{lim} - \Delta P)$ ;
- cedimento ( $P_{lim}$ )  $\geq 0.10$  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" <sup>(1)</sup>.

### 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.

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.

<sup>(1)</sup> 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  $Q_{lim} = 0,9/n$ .

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  $\approx 20$  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  $120^\circ$ , 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  $\Delta P$ , 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  $\Delta P$ , 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 sonde 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, fonde 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 tale 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 gettiniezione 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 gettiniezione 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 gettiniezione su falde accertate dall'indagine idrogeognostica;
- effetti di rigonfiamento del terreno a seguito della gettiniezione, 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 gettiniezione.

### **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*) <sup>(1)</sup>;

<sup>(1)</sup> La *Rock Quality Designation* (RQD) è una classificazione geotecnica delle rocce sviluppata nel 1964 da D. U. Deere. E' 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. Lund). Il valore RQD è definito dalla formula:  $RQD = \frac{\sum A}{L_{tot}} \cdot 100$ , essendo:  $\sum A$  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

- 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 restrittive 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 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  $\pm 15$  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 in-

terstrati 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 dei 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	≤ 3.000 mg/l
Contenuto sostanze organiche	≤ 100 mg/l
Contenuto sostanze solide sospese	≤ 2.000 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: ± 2%;
- decantazione a due ore dalla preparazione: ≤ 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  $1^\circ 30'$  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 benestare della Direzione Lavori:

- capacità di trasporto acqua alla pressione laterale, esercitata sull'involucro in geotessile, di 0,3 MPa: > 500 m<sup>3</sup>/anno;
- permeabilità radiale all'acqua dell'involucro in geotessile, alla pressione di 0,002 MPa, non inferiore a 0,1 cm/s.

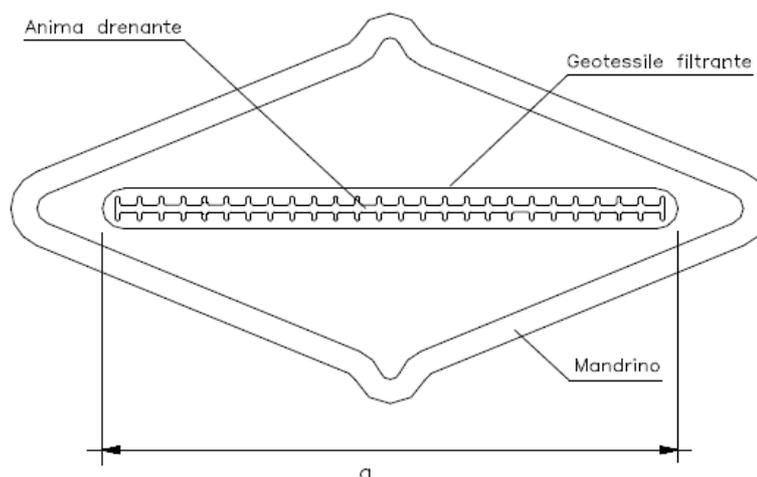
Gli altri requisiti di accettazione del nastro drenante sono riportati nella tabella seguente:

Caratteristica	Unità di misura	Normativa	Requisito d'accettazione
Resistenza a trazione dreni ( $\alpha$ )	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 ( $O_F$ )	$\mu\text{m}$	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 <sup>3</sup> /anno	ASTM D4716	$q_{D+F} > 500$ m <sup>3</sup> /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
$\alpha_{D+F}$ (kN/m)	resistenza a trazione del drenante nel suo complesso (anima drenante+geotessile filtrante)
$\alpha_D$ (kN/m)	resistenza a trazione della sola anima drenante
$\alpha_F$ (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
$O_F$ ( $\mu\text{m}$ )	diametro di filtrazione del solo geotessile filtrante (misurato in una prova di filtrazione idrodinamica)
$q_{D+F}$ ( $\text{m}^3/\text{anno}$ )	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 ( $\Delta T$ ) 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;
- $\Delta s$  è l'allungamento elastico dell'armatura (valutato per l'intervallo di carico  $\Delta P$ );
- $\Delta P$  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 pro-

getto - 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)	$\geq 1000$	$\geq 1570$	$\geq 1860$	$\geq 1820$
Tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione residua $f_{p(0.1)k}$ (MPa)	---	$\geq 1420$	---	---
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale $f_{p(1)k}$ (MPa)	---	---	$\geq 1670$	$\geq 1620$
Tensione caratteristica di snervamento $f_{pyk}$ (MPa)	$\geq 800$	---	---	---

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 usufruissero 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 (*datalogger*) per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la sostituzione 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 ri-prese 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.

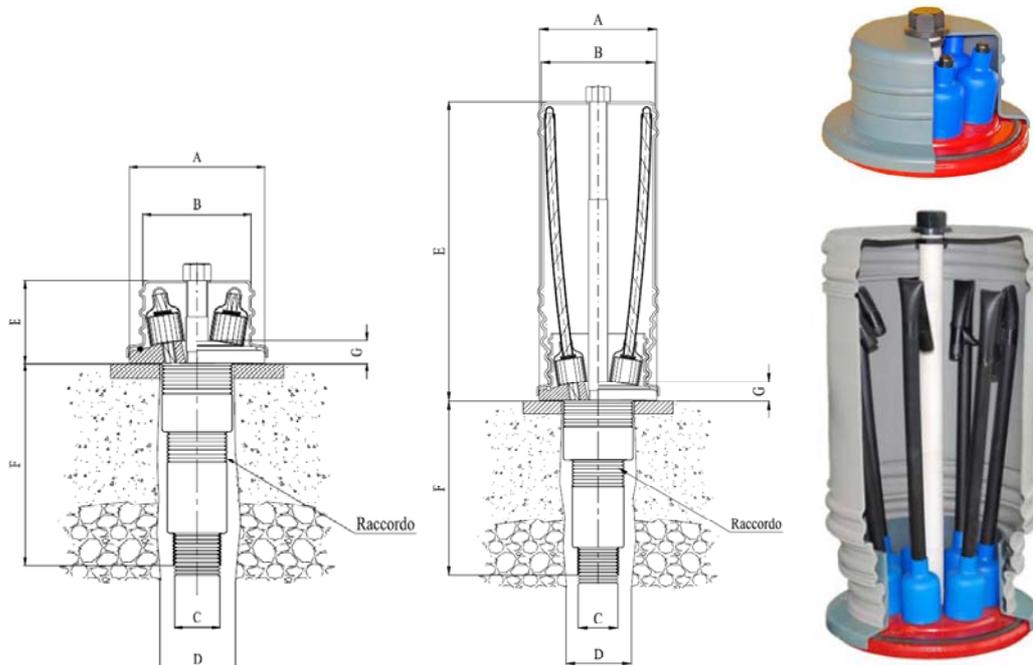
La protezione della testa d'ancoraggio si esplica in due direzioni: la protezione del piccolo tratto d'armatura immediatamente sotto la piastra di appoggio e la protezione della piastra stessa con i dispositivi di bloccaggio e l'eventuale armatura in esubero.

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 cm<sup>3</sup>;
- 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 cm<sup>3</sup> 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 cm<sup>3</sup>. La provetta verrà riempita di miscela esattamente al limite di 1.000 cm<sup>3</sup> 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.

Possono 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 <sup>2</sup> )	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  $420 \text{ N/mm}^2$ ;
- resistenza a rottura non inferiore a  $700 \text{ N/mm}^2$ ;
- allungamento a rottura non inferiore al 15%;
- resilienza a  $20^\circ\text{C}$  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  $20^\circ$  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)<sup>1</sup>**

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 sgrassatura, 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:  $43 \div 52 \text{ mm}$ ;
- carico di snervamento  $\geq 200 \text{ kN}$ ;
- allungamento a rottura  $\geq 10\%$ ;

c) Resinatura

<sup>(1)</sup> Il marchio SWELLEX è di proprietà della Atlas Copco Craelius AB (Svezia), il marchio BELLEX è di proprietà della Belloli SA (Svizzera).

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 m<sup>2</sup>/litro per 150 µm;
- massa volumica: 1,10 g/cm<sup>3</sup>;
- viscosità: 116 KV a 20 °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 °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 °C.

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 scartata.

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 autoperforanti (MAI, BELBOR, DYWI Drill o similari)<sup>1</sup>**

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/mm<sup>2</sup>;
- 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

- 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.

<sup>(1)</sup> 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).

#### **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;
- spirallatura 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.

---

Segue: **Capitolato Speciale d'Appalto - Vol 2**