



# Autostrada Asti-Cuneo




## ADEGUAMENTO DELLA TANGENZIALE DI ALBA

### PROGETTO DEFINITIVO

### 01 - PARTE GENERALE

#### 01.03 - Capitolati

#### Capitolato speciale d'appalto - Norme tecniche - Vol. 2

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.	
							01.03.02	

CODIFICA PROGETTO    LIV    DOCUMENTO    REV P 0 1 8    D    S P E    N T    0 0 2    A	WBS A 3 3 1 T A 0 0 0 0 CUP G 6 4 E 2 0 0 0 2 0 6 0 0 0 5
---	--

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

**SOMMARIO:**

<b>15. Monitoraggio .....</b>	<b>1</b>
15.1. Generalità sul monitoraggio .....	1
15.2. Prescrizioni tecniche generali a cura dell’appaltatore .....	1
15.3. Monitoraggio di aree e opere all’aperto.....	2
15.3.1. Generalità .....	2
15.3.2. Monitoraggio topografico.....	3
15.3.2.1. Monitoraggio topografico dei movimenti del terreno e delle strutture .....	3
15.3.2.2. Topografia convenzionale .....	4
15.3.2.3. GPS ( <i>Global Positioning System</i> ) .....	5
15.3.2.4. Teodolite a puntamento automatico .....	6
15.3.2.5. Interferometria terrestre SAR .....	7
15.3.2.6. Interferometria satellitare SAR .....	9
15.3.3. Il monitoraggio strutturale .....	9
15.3.4. Piezometro tipo Casagrande.....	12
15.3.4.1. Generalità .....	12
15.3.4.2. Specifiche tecniche.....	12
15.3.4.3. Preparazione del foro .....	12
15.3.4.4. Modalità d’installazione .....	13
15.3.4.5. Documentazione d’installazione .....	14
15.3.5. Piezometro elettrico .....	14
15.3.5.1. Generalità .....	14
15.3.5.2. Specifiche tecniche.....	14
15.3.5.3. Preparazione del foro .....	15
15.3.5.4. Modalità d’installazione .....	15
15.3.5.5. Documentazione d’installazione .....	16
15.3.6. Tubo inclinometrico.....	16
15.3.6.1. Generalità .....	16
15.3.6.2. Normative e specifiche di riferimento.....	16
15.3.6.3. Caratteristiche della strumentazione .....	16
15.3.6.4. Controlli preliminari .....	17
15.3.6.5. Preparazione del foro .....	17
15.3.6.6. Installazione.....	17
15.3.6.7. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica .....	18
15.3.6.8. Documentazione richiesta relativa all’installazione .....	19
15.3.7. Estensimetro multibase ad aste.....	19
15.3.7.1. Generalità .....	19
15.3.7.2. Normative e specifiche di riferimento.....	20
15.3.7.3. Specifiche tecniche.....	20
15.3.7.4. Preparazione del foro .....	20
15.3.7.5. Installazione.....	21
15.3.7.6. Documentazione richiesta relativa all’installazione .....	22
15.3.8. Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx e inclinometrica.....	22
15.3.8.1. Generalità .....	22
15.3.8.2. Caratteristiche dell’attrezzatura e specifiche tecniche .....	22
15.3.8.3. Preparazione del foro .....	23
15.3.8.4. Controlli preliminari .....	23
15.3.8.5. Installazione.....	23
15.3.8.6. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica.....	24
15.3.8.7. Documentazione richiesta relativa all’installazione .....	25
15.3.9. Clinometro di superficie.....	25
15.3.9.1. Generalità .....	25
15.3.9.2. Specifiche tecniche.....	25
15.3.9.3. Installazione.....	26
15.3.9.4. Documentazione richiesta relativa all’installazione .....	26
15.3.10. Celle di carico toroidali .....	26

15.3.10.1. Generalità .....	26
15.3.10.2. Specifiche tecniche .....	26
15.3.10.3. Installazione .....	27
15.3.10.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione .....	27
15.3.11. Barrette estensimetriche per calcestruzzo .....	27
15.3.11.1. Generalità .....	27
15.3.11.2. Specifiche tecniche .....	28
15.3.11.3. Installazione .....	28
15.3.11.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione .....	28
15.3.12. Barrette estensimetriche per acciaio .....	29
15.3.12.1. Generalità .....	29
15.3.12.2. Specifiche tecniche .....	29
15.3.12.3. Installazione .....	29
15.3.12.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione .....	30
<b>15.4. Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali .....</b>	<b>30</b>
15.4.1. Generalità.....	30
15.4.2. Caratteristiche delle apparecchiature.....	30
15.4.2.1. Apparecchiatura a 2 canali .....	30
15.4.2.2. Apparecchiature pluricanali.....	31
15.4.3. Installazione .....	32
15.4.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	32
<b>15.5. Cavi elettrici di collegamento.....</b>	<b>33</b>
15.5.1. Generalità.....	33
15.5.2. Caratteristiche tecniche .....	33
15.5.2.1. Cavi a 6 conduttori.....	33
15.5.2.2. Cavi multipolari.....	33
<b>16. Dispositivi per lo smaltimento dell'acqua dagli impalcati .....</b>	<b>33</b>
16.1. Generalità.....	33
16.2. Componenti.....	34
16.2.1. Dispositivi di captazione delle acque .....	34
16.2.1.1. Caditoie.....	34
16.2.1.2. Bocche di lupo .....	35
16.2.1.3. Sistemi ibridi bocca di lupo - caditoia .....	36
16.2.2. Griglie .....	36
16.2.3. Bocchettoni .....	36
16.2.4. Collettori .....	36
16.3. Accettazione e controlli.....	37
<b>17. Sistemi di drenaggio del corpo stradale.....</b>	<b>37</b>
17.1. Campo di applicazione .....	37
17.2. Tubazioni .....	37
17.2.1. Materiali .....	37
17.2.1.1. Generalità .....	37
17.2.1.2. Tubi in PVC-U .....	38
17.2.1.3. Tubi strutturati in PVC-U, PP e PE.....	38
17.2.1.4. Tubi in calcestruzzo con armature tradizionali o fibrorinforzato .....	38
17.2.2. Posa in opera.....	39
17.2.2.1. Scarico ed accatastamento.....	39
17.2.2.2. Scavo.....	39
17.2.2.3. Letto di posa .....	39
17.2.2.4. Installazione .....	39
17.2.2.5. Rinfiaccio e rinterro.....	40
17.2.3. Controlli ed accettazione .....	40
17.2.4. Controlli in cantiere.....	41
17.2.4.1. Livелlette .....	41
17.2.4.2. Costipamento del rinfiaccio .....	41
17.2.4.3. Collaudo in opera.....	41
17.2.5. Norme di misurazione.....	41

17.3.	Pozzetti.....	41
17.3.1.	Materiali.....	41
17.3.1.1.	Generalità.....	41
17.3.1.2.	Pozzetti prefabbricati in c.a.v.....	42
17.3.1.3.	Pozzetti in PE strutturato.....	42
17.3.2.	Posa in opera.....	42
17.3.3.	Controlli ed accettazione.....	42
17.3.4.	Controlli in cantiere.....	43
17.3.5.	Norme di misurazione.....	43
17.4.	Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti.....	43
17.4.1.	Definizioni.....	43
17.4.2.	Materiali.....	43
17.4.3.	Posa in opera.....	44
17.4.4.	Controlli ed accettazione.....	44
17.4.5.	Controlli in cantiere.....	45
17.4.6.	Norme di misurazione.....	45
17.5.	Canali di drenaggio.....	45
17.5.1.	Definizioni.....	45
17.5.2.	Materiali.....	45
17.5.3.	Posa in opera.....	46
17.5.4.	Controlli ed accettazione.....	46
17.5.5.	Controlli in cantiere.....	46
17.5.6.	Norme di misurazione.....	46
17.6.	Canalette, mantellate, cordonate e simili.....	46
17.6.1.	Materiali.....	46
17.6.2.	Posa in opera.....	47
17.6.3.	Controlli ed accettazione.....	47
17.6.4.	Controlli in cantiere.....	47
17.6.5.	Norme di misurazione.....	47
<b>18.</b>	<b>Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata.....</b>	<b>47</b>
18.1.	Campo di applicazione.....	47
18.2.	Materiali.....	48
18.2.1.	Lamiera ondulata.....	48
18.2.2.	Bulloni.....	48
18.2.3.	Giunti.....	48
18.2.4.	Rivestimenti protettivi.....	48
18.2.4.1.	Zincatura.....	48
18.2.4.2.	Rivestimento bituminoso.....	48
18.3.	Posa in opera.....	49
18.3.1.	Fornitura, trasporto e scarico.....	49
18.3.2.	Preparazione del piano di posa.....	49
18.3.3.	Montaggio.....	49
18.3.3.1.	Generalità.....	49
18.3.3.2.	Strutture a piastre multiple.....	50
18.3.3.3.	Strutture ad elementi incastrati.....	50
18.3.4.	Rinfianco e rinterro.....	51
18.4.	Controlli ed accettazione.....	51
18.4.1.	Generalità.....	51
18.4.2.	Documentazione.....	51
18.4.3.	Prove sui materiali.....	52
18.5.	Controlli in cantiere.....	52
18.5.1.	Pesi.....	52
18.5.2.	Serraggio dei bulloni.....	52
18.5.3.	Geometria e deformazioni.....	52
18.6.	Norme di misurazione.....	53
<b>19.</b>	<b>Gabbioni e materassi metallici.....</b>	<b>53</b>
19.1.	Campo di applicazione.....	53

19.2.	Materiali .....	54
19.2.1.	Filo metallico .....	54
19.2.2.	Rivestimento protettivo .....	54
19.2.3.	Rete .....	55
19.2.4.	Indicazioni sulla vita utile dei prodotti e delle opere .....	55
19.2.5.	Riempimento .....	56
19.2.6.	Graffe metalliche .....	57
19.3.	Posa in opera .....	57
19.4.	Controlli ed accettazione .....	58
19.4.1.	Generalità .....	58
19.4.2.	Documentazione .....	58
19.4.3.	Prove sul filo metallico .....	58
19.4.4.	Prove sul rivestimento in lega eutettica .....	58
19.4.5.	Prove sul rivestimento in PVC .....	59
19.4.6.	Prove sulla rete metallica .....	59
19.4.7.	Prove sul materiale di riempimento .....	59
19.5.	Norme di misurazione .....	59
<b>20.</b>	<b>Difese spondali .....</b>	<b>60</b>
20.1.	Campo di applicazione .....	60
20.2.	Materiali .....	60
20.2.1.	Elementi in conglomerato cementizio .....	60
20.2.2.	Scogliera di pietrame .....	60
20.3.	Posa in opera .....	60
20.3.1.	Generalità .....	60
20.3.2.	Elementi in conglomerato cementizio .....	61
20.3.3.	Scogliera di pietrame .....	61
20.4.	Controlli ed accettazione .....	61
20.4.1.	Elementi in conglomerato cementizio .....	61
20.4.2.	Materiale da scogliera .....	61
20.5.	Norme di misurazione .....	62
<b>21.</b>	<b>Drenaggi .....</b>	<b>62</b>
21.1.	Drenaggi tradizionali .....	62
21.2.	Drenaggi a tergo di murature .....	62
21.3.	Drenaggi con filtro in geotessile non tessuto .....	63
21.4.	Drenaggi longitudinali con riempimento in conglomerato cementizio poroso .....	63
21.5.	Drenaggi delle cunette in trincea .....	64
21.6.	Schermi drenanti discontinui modulari .....	64
21.6.1.	Definizione .....	64
21.6.2.	Modalità esecutive dei pozzi .....	64
21.6.2.1.	Generalità .....	64
21.6.2.2.	Pozzo drenante non ispezionabile .....	65
21.6.2.3.	Pozzo drenante ispezionabile .....	66
21.6.2.4.	Pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale .....	66
21.6.3.	Modalità esecutive della condotta di fondo .....	67
21.6.4.	Caratteristiche del materiale drenante .....	67
<b>22.</b>	<b>Conglomerati cementizi – Malte e boiacche cementizie .....</b>	<b>67</b>
22.1.	Generalità .....	67
22.2.	Materiali .....	72
22.2.1.	Aggregati .....	72
22.2.2.	Additivi .....	73
22.2.2.1.	Generalità .....	73
22.2.2.2.	Additivi fluidificanti e superfluidificanti .....	73
22.2.2.3.	Additivi aeranti .....	74
22.2.2.4.	Additivi ritardanti e acceleranti .....	74
22.2.3.	Aggiunte .....	74

22.2.3.1. Generalità .....	74
22.2.3.2. Ceneri volanti .....	74
22.2.3.3. Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice).....	77
22.2.3.4. <i>Filler</i> .....	77
22.3. Durabilità dei conglomerati cementizi.....	80
22.4. Tipi e classi dei conglomerati cementizi .....	80
22.5. Qualifica preliminare dei conglomerati cementizi.....	82
22.5.1. <i>Dossier</i> di prequalifica.....	82
22.5.2. Qualifica all’impianto.....	82
22.5.3. Autorizzazione ai getti .....	83
22.6. Controlli in corso d'opera.....	84
22.6.1. Generalità .....	84
22.6.2. Resistenza dei conglomerati cementizi .....	84
22.6.2.1. Generalità .....	84
22.6.2.2. Controlli di accettazione con metodo Tipo A .....	85
22.6.2.3. Controlli di accettazione con metodo Tipo B .....	85
22.6.3. Non conformità dei controlli di accettazione .....	86
22.7. Tecnologia esecutiva delle opere.....	86
22.7.1. Confezione dei conglomerati cementizi .....	86
22.7.2. Condizioni per la posa in opera .....	87
22.7.3. Getti in clima freddo .....	87
22.7.3.1. Generalità.....	87
22.7.3.2. Mantenimento della temperatura del calcestruzzo per evitare il congelamento .....	88
22.7.3.3. Coibentazione.....	89
22.7.3.4. Protezione .....	89
22.7.3.5. Requisito di resistenza.....	90
22.7.3.6. Misure di temperatura .....	90
22.7.4. Getti in clima caldo .....	90
22.7.4.1. Generalità.....	90
22.7.4.2. Controllo della temperatura del calcestruzzo fresco .....	91
22.7.4.3. Controllo della tendenza all’evaporazione superficiale .....	92
22.7.5. Getti massicci .....	93
22.7.6. Getti di lunghezza elevata.....	96
22.7.7. Trasporto e consegna .....	97
22.7.8. Prove sui materiali e sul conglomerato cementizio fresco .....	97
22.7.9. Casseforme e posa in opera.....	98
22.7.10. Compattazione.....	99
22.7.11. Riprese di getto.....	100
22.7.12. Prevenzione delle fessure da ritiro plastico.....	100
22.7.13. Disarmo e scasseratura.....	101
22.7.14. Protezione dopo la scasseratura.....	101
22.7.15. Maturazione accelerata a vapore .....	102
22.7.16. Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari .....	102
22.7.17. Predisposizione delle armature ordinarie del c.a. ....	103
22.7.18. Armatura di precompressione .....	103
22.8. Magroni e malte.....	104
22.8.1. Magroni.....	104
22.8.2. Malta di livellamento .....	104
22.8.3. Malte speciali per inghisaggi.....	105
22.9. Calcestruzzo reodinamico (o autocompattante) .....	105
22.9.1. Generalità .....	105
22.9.2. Caratteristiche .....	106
22.10. Calcestruzzi leggeri.....	106
22.10.1. Generalità .....	106
22.10.2. Calcestruzzo leggero strutturale.....	107
22.10.3. Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare .....	108
22.11. Calcestruzzo proiettato.....	108
22.11.1. Generalità .....	108

22.11.2. Tipi di calcestruzzo proiettato.....	109
22.11.3. Composizione del calcestruzzo proiettato.....	110
22.11.4. Qualifica e controlli.....	110
22.12. Calcestruzzo fibrorinforzato.....	111
22.13. Calcestruzzo ad alta resistenza.....	112
22.14. Elementi prefabbricati.....	113
22.14.1. Generalità.....	113
22.14.2. Prefabbricati prodotti in stabilimento.....	113
22.14.3. Produzione di prefabbricati a piè d'opera.....	113
22.15. Protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti.....	114
22.16. Allegato 1 - Classi di esposizione secondo UNI 11104.....	115
22.17. Allegato 2 – Guida alla scelta delle classi di esposizione per manufatti autostradali.....	117
<b>23. Iniezione nei cavi di precompressione.....</b>	<b>120</b>
23.1. Boiacche cementizie per le iniezioni nei cavi di strutture in c.a.p. nuove.....	120
23.1.1. Generalità.....	120
23.1.1. Caratteristiche della boiaccia.....	120
23.1.2. Operazioni di iniezione.....	121
23.1.3. Condotti (guaine).....	122
23.1.4. Ulteriori prescrizioni per le iniezioni.....	123
23.2. Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di strutture in c.a.p. esistenti.....	123
23.2.1. Generalità.....	123
23.2.2. Caratteristiche dei materiali.....	123
23.2.2.1. Iniezione con sistemi epossidici.....	123
23.2.2.2. Iniezione con boiacche cementizie.....	124
23.2.3. Modalità d'iniezione.....	124
23.2.3.1. Iniezioni tradizionali.....	124
23.2.3.2. Iniezioni sottovuoto.....	125
23.2.4. Prove.....	126
<b>24. Ripristino e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio.....</b>	<b>126</b>
24.1. Materiali per il ripristino di superfici degradate.....	126
24.1.1. Generalità.....	126
24.1.2. Indagini.....	130
24.1.3. Definizione dei materiali per il ripristino.....	131
24.1.4. Tecniche d'intervento e scelta dei materiali.....	133
24.1.4.1. Generalità.....	133
24.1.4.2. Degrado lieve – Ripristini di spessore da 1 a 8 mm.....	133
24.1.4.3. Degrado medio – Ripristini di spessore da 10 a 50 mm.....	134
24.1.4.4. Degrado profondo – Ripristini di spessore da 50 a 100 mm.....	135
24.1.4.5. Degrado molto profondo – Ripristini di spessore oltre 100 mm.....	135
24.1.4.6. Interventi con resine.....	136
24.2. Requisiti e metodi di prova dei materiali.....	136
24.2.1. Generalità.....	136
24.2.2. Scelta dei metodi di prova.....	137
24.3. Accettazione e specifiche prestazionali dei materiali.....	137
24.4. Trattamenti prima del ripristino o dell'adeguamento e fasi esecutive.....	144
24.4.1. Generalità.....	144
24.4.2. Asportazione del calcestruzzo degradato.....	144
24.4.3. Pulizia delle armature.....	144
24.4.4. Posizionamento di armature aggiuntive.....	145
24.4.5. Posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto.....	145
24.4.6. Pulizia e saturazione della superficie di supporto.....	146
24.4.7. Applicazione dei materiali di ripristino.....	146
24.4.8. Fratazzatura o staggiatura.....	147
24.4.9. Stagionatura.....	147
24.5. Prove e controlli.....	148
<b>25. Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio.....</b>	<b>149</b>

25.1.	Sistemi protettivi filmogeni.....	149
25.1.1.	Generalità .....	149
25.1.2.	Definizione e scelta dei sistemi protettivi.....	149
25.1.2.1.	Generalità .....	149
25.1.2.2.	Protezione di ponti, viadotti e cavalcavia.....	149
25.1.2.3.	Protezione di strutture idrauliche .....	150
25.2.	Requisiti e metodi di prova .....	151
25.3.	Accettazione e specifiche prestazionali dei sistemi protettivi .....	151
25.4.	Preparazione del supporto e modalità d'applicazione del sistema protettivo.....	153
25.5.	Prove, controllo delle prestazioni e degli spessori, penali.....	153
<b>26.</b>	<b>Acciaio per carpenteria .....</b>	<b>154</b>
26.1.	Norme di riferimento .....	154
26.2.	Generalità e classificazione dei tipi di acciaio (secondo UNI EN 10025).....	155
26.3.	Approvvigionamento materiali da costruzione. ....	157
26.3.1.	Generalità .....	157
26.3.2.	Disegni di fabbricazione .....	158
26.4.	Lavorazioni di officina .....	159
26.4.1.	Presentazione documentazione tecnica.....	159
26.4.2.	Collaudo tecnologico di stabilimento. ....	159
26.4.3.	Prefabbricazione .....	160
26.5.	Montaggio.....	160
26.6.	Verniciatura.....	163
26.6.1.	Generalità .....	163
26.6.2.	Norme di riferimento.....	163
26.6.3.	Ciclo A .....	164
26.6.4.	Ciclo B .....	165
26.6.5.	Ciclo C .....	166
26.6.6.	Preparazione del supporto .....	167
26.6.7.	Caratteristiche chimico-fisiche di resistenza del ciclo di verniciatura .....	167
26.6.8.	Prove di accettazione dei prodotti.....	168
26.6.9.	Requisiti particolari.....	170
26.6.10.	Ciclo di verniciatura con pittura ignifuga intumescente.....	171
<b>27.</b>	<b>Apparecchi d'appoggio e dispositivi antisismici.....</b>	<b>172</b>
27.1.	Generalità .....	172
27.2.	Riferimenti normativi principali .....	173
27.3.	Apparecchi d'appoggio .....	173
27.3.1.	Generalità .....	173
27.3.2.	Elementi di scorrimento .....	174
27.3.2.1.	Generalità.....	174
27.3.2.2.	Requisiti funzionali .....	174
27.3.2.3.	Proprietà dei materiali.....	174
27.3.2.4.	Requisiti di Progetto .....	175
27.3.2.5.	Fabbricazione, assemblaggio e tolleranze.....	177
27.3.2.6.	Valutazione di conformità .....	178
27.3.2.7.	Installazione.....	178
27.3.2.8.	Criteri per ispezioni in servizio .....	178
27.3.3.	Appoggi elastomerici .....	178
27.3.3.1.	Generalità .....	178
27.3.3.2.	Caratteristiche e requisiti funzionali .....	179
27.3.3.3.	Proprietà dei materiali.....	180
27.3.3.4.	Regole di Progetto.....	180
27.3.3.5.	Tolleranze di fabbricazione .....	180
27.3.3.6.	Valutazione di conformità .....	180
27.3.3.7.	Installazione.....	180
27.3.3.8.	Criteri per ispezioni di servizio .....	181
27.3.4.	Appoggi a rulli .....	181



27.3.4.1.	Generalità .....	181
27.3.4.2.	Caratteristiche e requisiti funzionali.....	181
27.3.4.3.	Materiali .....	181
27.3.4.4.	Regole di Progetto .....	181
27.3.4.5.	Tolleranze .....	181
27.3.4.6.	Valutazione di conformità .....	182
27.3.4.7.	Installazione.....	182
27.3.4.8.	Criteri per ispezioni in servizio.....	182
27.3.5.	Appoggi a disco elastomerico confinato .....	182
27.3.5.1.	Generalità .....	182
27.3.5.2.	Caratteristiche e requisiti funzionali.....	182
27.3.5.3.	Materiali .....	183
27.3.5.4.	Regole di Progetto .....	183
27.3.5.5.	Tolleranze .....	183
27.3.5.6.	Valutazione di conformità .....	183
27.3.5.7.	Installazione.....	183
27.3.5.8.	Criteri per ispezioni in servizio.....	183
27.3.6.	Appoggi a contatto lineare o puntuale .....	183
27.3.6.1.	Generalità .....	183
27.3.6.2.	Caratteristiche e requisiti funzionali.....	184
27.3.6.3.	Materiali .....	184
27.3.6.4.	Regole di Progetto .....	184
27.3.6.5.	Tolleranze .....	184
27.3.6.6.	Valutazione di conformità .....	185
27.3.6.7.	Installazione.....	185
27.3.6.8.	Criteri per ispezioni in servizio.....	185
27.3.7.	Appoggi sferici e cilindrici con PTFE .....	185
27.3.7.1.	Generalità .....	185
27.3.7.2.	Caratteristiche e requisiti funzionali.....	185
27.3.7.3.	Materiali .....	185
27.3.7.4.	Regole di Progetto .....	186
27.3.7.5.	Manifattura, assemblaggio e tolleranze.....	186
27.3.7.6.	Valutazione di conformità .....	186
27.4.	Dispositivi antisismici .....	186
27.4.1.	Generalità.....	186
27.4.2.	Strategie di protezione antisismica.....	187
27.4.3.	Dissipatori meccanici (dispositivi a comportamento non lineare).....	187
27.4.4.	Dissipatori fluidodinamici (dispositivi a comportamento viscoso) .....	188
27.4.5.	Dispositivi a vincolo rigido temporaneo.....	188
27.4.6.	Dispositivi ad isolamento .....	189
27.4.6.1.	Dispositivi isolatori elastomerici.....	189
27.4.6.2.	Dispositivi isolatori ad attrito.....	189
27.4.7.	Dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare .....	191
27.4.8.	Indicazioni progettuali .....	191
27.4.9.	Materiali.....	191
27.4.10.	Prove e criteri di accettazione.....	192
27.4.10.1.	Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio.....	192
27.4.10.2.	Dispositivi a comportamento non lineare e lineare .....	193
27.4.10.3.	Dispositivi a comportamento viscoso .....	194
27.5.	Protezione .....	195
27.5.1.	Generalità.....	195
27.5.2.	Requisiti.....	195
27.5.2.1.	Protezione contro gli effetti ambientali .....	195
27.5.2.2.	Corrosione elettrolitica.....	196
27.6.	Manutenzione .....	196
27.7.	Operazioni in cantiere .....	196
27.7.1.	Trasporto e immagazzinamento .....	196
27.7.2.	Operazioni preliminari all'installazione.....	197
27.7.3.	Installazione .....	197

27.7.3.1.	Generalità .....	197
27.7.3.2.	Montaggio della sovrastruttura .....	198
27.7.3.3.	Geometria.....	198
27.7.3.4.	Allettamento dei dispositivi.....	199
27.7.3.5.	Bloccaggio temporaneo dei dispositivi.....	200
27.7.3.6.	Rilascio della struttura sugli appoggi.....	200
27.7.3.7.	Registrazioni .....	201
27.8.	Certificazione di qualità .....	201
27.9.	Penali .....	201
27.10.	Sollevamento impalcati per sostituzione appoggi .....	201
<b>28.</b>	<b>Giunti di dilatazione su opere d'arte .....</b>	<b>202</b>
28.1.	Generalità e tipologie .....	202
28.2.	Riferimenti normativi.....	204
28.3.	Materiali.....	204
28.3.1.	Acciaio da costruzione .....	204
28.3.2.	Acciaio inossidabile.....	204
28.3.3.	Leghe di alluminio .....	205
28.3.4.	Gomma .....	205
28.3.5.	Malte, betoncini e resine .....	205
28.4.	Requisiti funzionali.....	206
28.4.1.	Generalità .....	206
28.4.2.	Impermeabilità.....	207
28.5.	Posa in opera .....	207
28.6.	Prove e controlli.....	208
28.6.1.	Generalità e controllo di qualità .....	208
28.6.2.	Prova funzionale del giunto .....	208
28.6.3.	Prove di carico .....	208
28.6.4.	Prova a fatica .....	209
28.6.5.	Prova di adesione al cls.....	209
28.6.6.	Prova di sfilamento tirafondi .....	209
28.6.7.	Prove di protezione anticorrosiva.....	209
28.6.8.	Controllo delle materie prime e componenti .....	210
28.6.9.	Controlli in corso di montaggio.....	210
28.6.10.	Controlli sui giunti montati .....	211
28.6.11.	Controllo dell'inquinamento acustico provocato dai giunti .....	212
28.6.12.	Manutenzione dei dispositivi.....	212
28.7.	Penali .....	212
28.8.	Specifiche tecniche particolari per giunti di dilatazione a tampone.....	213
28.8.1.	Generalità .....	213
28.8.2.	Materiali.....	213
28.8.3.	Giunto a tampone viscoelastico.....	214
28.8.3.1.	Generalità.....	214
28.8.3.2.	Modalità di esecuzione del giunto .....	215
28.8.4.	Giunti a tampone “anidro” (brev. Autostrade per l'Italia n. RM 9400038) .....	215
28.8.4.1.	Generalità.....	215
28.8.4.2.	Modalità di esecuzione del giunto .....	216
28.8.5.	Prove.....	217
<b>29.</b>	<b>Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi .....</b>	<b>217</b>
29.1.	Generalità .....	217
29.1.1.	Riferimenti normativi.....	218
29.1.2.	Materiali.....	219
29.1.3.	Rinforzo con tessuto in CFRP .....	219
29.1.3.1.	Generalità.....	219
29.1.3.2.	Modalità di esecuzione.....	220
29.1.3.3.	Caratteristiche prestazionali .....	221
29.1.4.	Rinforzo con barre in CFRP .....	222
29.1.4.1.	Descrizione .....	222

29.1.4.2. Modalità di esecuzione.....	222
29.1.4.3. Caratteristiche prestazionali.....	223
29.1.5. Rinforzo con lamelle.....	223
29.1.5.1. Descrizione .....	223
29.1.5.2. Modalità di esecuzione.....	224
29.1.5.3. Caratteristiche prestazionali.....	224
29.1.6. Rinforzo con lamelle pretese .....	225
29.1.6.1. Descrizione .....	225
29.1.6.2. Modalità di esecuzione.....	226
29.1.6.3. Caratteristiche prestazionali.....	226
29.1.7. Documenti di qualificazione.....	227
29.1.8. Prove di accettazione .....	227
29.1.9. Controlli in corso d'opera e sulle opere finite.....	227
<b>30. Strato di fondazione in misto granulare non legato.....</b>	<b>228</b>
30.1. Generalità.....	228
30.1.1. Caratteristiche dei materiali da impiegare.....	228
30.1.2. Studio preliminare.....	229
30.1.3. Modalità esecutive.....	229
30.1.4. Prove dinamiche di portanza .....	230
30.1.5. Dati prestazionali .....	233
<b>31. Strato di fondazione o di sottobase realizzato con miscele legate.....</b>	<b>234</b>
31.1. Realizzazione con misto cementato confezionato in centrale.....	234
31.1.1. Descrizione.....	234
31.1.2. Caratteristiche dei materiali da impiegare.....	234
31.1.2.1. Inerti .....	234
31.1.2.2. Legante .....	235
31.1.2.3. Acqua.....	235
31.1.3. Studio della miscela in laboratorio.....	235
31.1.4. Formazione e confezione delle miscele .....	236
31.1.5. Posa in opera e tempo di maturazione .....	236
31.1.6. Protezione superficiale.....	237
31.1.7. Norme di controllo delle lavorazioni, prestazioni e penali .....	237
31.2. Realizzazione con riciclaggio in sito del misto cementato o granulare, con aggiunta di cemento e acqua .....	238
31.2.1. Descrizione.....	238
31.2.2. Caratteristiche dei materiali.....	239
31.2.2.1. Inerti .....	239
31.2.2.2. Cemento .....	239
31.2.2.3. Acqua.....	239
31.2.3. Studio della miscela di laboratorio.....	239
31.2.4. Posa in opera.....	240
31.2.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni .....	241
31.3. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di bitume schiumato e cemento.....	241
31.3.1. Descrizione.....	241
31.3.2. Caratteristiche dei materiali.....	241
31.3.2.1. Inerti .....	241
31.3.2.2. Bitume schiumato.....	242
31.3.2.3. Cemento .....	242
31.3.2.4. Acqua.....	242
31.3.3. Prescrizioni progettuali .....	242
31.3.3.1. Studio della miscela in laboratorio .....	242
31.3.3.2. Prelievi in sito .....	243
31.3.3.3. Granulometria di progetto .....	243
31.3.3.4. Studio della miscela di progetto .....	243
31.3.4. Posa in opera.....	244
31.3.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni .....	244

31.4.	Realizzazione con fresato, bitume schiumato e cemento miscelati a freddo in impianto .....	245
31.4.1.	Descrizione.....	245
31.4.2.	Caratteristiche dei materiali .....	245
31.4.2.1.	Granulometria di progetto .....	245
31.4.2.2.	Bitume schiumato .....	246
31.4.2.3.	Cemento .....	246
31.4.2.4.	Acqua.....	246
31.4.3.	Prescrizioni progettuali.....	246
31.4.3.1.	Progetto della miscela in laboratorio .....	246
31.4.3.2.	Prelievi in sito .....	246
31.4.3.3.	Curva di progetto.....	246
31.4.3.4.	Studio della miscela di progetto.....	246
31.4.3.5.	Attivanti chimici funzionali (ACF) .....	247
31.4.4.	Posa in opera .....	247
31.4.5.	Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni.....	248
31.5.	Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di emulsione bituminosa modificata e cemento .....	248
31.5.1.	Generalità .....	248
31.5.2.	Caratteristiche dei materiali .....	248
31.5.2.1.	Granulometria di progetto .....	248
31.5.2.2.	Legante .....	249
31.5.2.3.	Cemento .....	249
31.5.2.4.	Acqua.....	249
31.5.3.	Prescrizioni progettuali.....	249
31.5.3.1.	Progetto della miscela di laboratorio .....	249
31.5.3.2.	Prelievi in sito .....	249
31.5.3.3.	Granulometria di progetto .....	249
31.5.3.4.	Studio della miscela di progetto.....	250
31.5.4.	Posa in opera .....	251
31.5.5.	Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni.....	251
31.6.	Realizzazione con misto cementato realizzato in sito, con impiego di prodotti stabilizzanti....	251
31.6.1.	Descrizione.....	251
31.6.2.	Materiali.....	251
31.6.3.	Studio della miscela .....	252
31.6.4.	Modalità esecutive .....	252
31.6.5.	Norme di controllo delle lavorazioni .....	252



Capitolato Speciale d'Appalto

---

**NORME TECNICHE - VOL. 2**



## **15. Monitoraggio**

### **15.1. Generalità sul monitoraggio**

Per monitoraggio s'intende l'insieme delle strumentazioni atte al controllo del comportamento tensionale e deformativo delle opere e delle aree adiacenti e/o interferenti.

Per le opere e le tecnologie geotecniche esso è stato reso obbligatorio dal D.M. 14.01.2008, che lo cita sistematicamente nei §§: 6.2 (articolazione del progetto), 6.2.4 (metodo osservazionale), 6.2.5 (complesso opera-terreno), 6.3.5 (stabilizzazione dei pendii), 6.3.6 (idem), 6.5.1 (opere di sostegno), 6.6.1 (progetto dei tiranti di ancoraggio), 6.7.6 (opere in sotterraneo), 6.8.5 (opere in terra e fronti di scavo), 6.9.2 (miglioramento e rinforzo del terreno e delle rocce), 6.10.4 (consolidamento opere esistenti), 6.11.1.5 (discariche), 6.11.2.2 (depositi di inerti).

In generale, ovvero per le operazioni di collaudo statico, lo stesso D.M. lo cita al § 9.1.

Nel seguito vengono riportate le prescrizioni relative alle caratteristiche tecniche degli strumenti da impiegare, alle modalità d'installazione ed alla documentazione relativa all'installazione degli stessi.

Il sistema di monitoraggio deve essere installato e gestito secondo le indicazioni dei progettisti e in accordo con le specifiche di seguito riportate, che devono intendersi integrative alle eventuali specifiche particolari riportate dal progetto.

La tipologia, l'ubicazione e la frequenza del monitoraggio geotecnico è specificatamente prevista negli elaborati tecnici allegati al progetto.

Tuttavia, nei casi in cui si riscontrino situazioni più gravose rispetto a quelle previste, o condizioni geologiche particolari o suscettibili di evoluzioni che comportino rischi per la struttura, o zone alterate, o comunque in tutti i casi in cui lo ritenga necessario, la Direzione Lavori può richiedere che l'Appaltatore integri il sistema con l'installazione di ulteriori sezioni strumentate e/o di strumentazione aggiuntiva. In questi casi la Direzione Lavori può anche chiedere che venga modificata la distribuzione o la composizione delle sezioni previste in progetto in modo da posizionarle nelle zone risultate di maggiore interesse senza aumentarne il loro numero.

Resta inteso che le prescrizioni di cui al presente articolo sono da intendersi efficaci nei confronti dell'Appaltatore unicamente nei casi in cui le attività di monitoraggio siano poste contrattualmente in capo ad esso e non eseguite direttamente dalla Stazione Appaltante, per tramite di personale della Direzione Lavori e/o di ditte appositamente incaricate. In questo secondo caso l'Appaltatore è tenuto a favorire tali attività e, se opportunamente pianificate, ad incorporarle nella più generale pianificazione delle proprie attività.

### **15.2. Prescrizioni tecniche generali a cura dell'appaltatore**

Tutte le installazioni devono essere identificate topograficamente rispetto ad un unico sistema di coordinate progetto. La reale posizione degli strumenti installati dovrà essere comunicata alla Direzione Lavori con opportuni disegni.

Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione devono essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.

E' necessario provvedere a quanto necessario ad evitare manomissioni della rete di strumenti. Nel caso in cui, per esigenze di lavoro o in conseguenza di avvenimenti di qualsiasi natura, gli strumenti risultassero manomessi, si dovrà provvedere ai necessari ripristini.

La correttezza della installazione rimane responsabilità dell'Appaltatore che deve, comunque, dimostrarne la correttezza su richiesta della Direzione Lavori.

Prima dell'installazione degli strumenti, dovrà essere redatta dall'Appaltatore apposita "Procedura di lavoro" (prevista all'articolo del presente Capitolato riguardante la pianificazione dei lavori) da sottoporre alla Direzione Lavori. Tale procedura, oltre alla descrizione delle tecniche di messa in opera, dovrà riportare la tipologia degli strumenti o apparecchiature corredate da appositi certificati ufficiali ed indicare la specializzazione ed esperienza degli operatori che intende utilizzare. All'arrivo in cantiere, ogni strumento dovrà essere munito di certificato di origine e, se necessario, di certificato di taratura presso un laboratorio ufficiale.

Al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione, è richiesto che gli strumenti da approvvigionare siano prodotti da ditte con comprovata esperienza pluriennale nel settore e per i quali esistano applicazioni documentate attraverso



pubblicazioni nella letteratura tecnica e/o certificati/documentazione in cui si attesti la soddisfazione dei clienti. Nel caso la strumentazione proposta non soddisfi tali requisiti, la Direzione Lavori sarà autorizzata a richiederne la sostituzione.

La fornitura della strumentazione è soggetta all'approvazione della Direzione Lavori. A questo proposito, dovrà essere fornita alla Direzione Lavori, mediante comunicazione scritta non meno di 15 giorni lavorativi prima dell'installazione, documentazione tecnica dettagliata degli strumenti rilasciata dal produttore. Tale documentazione dovrà contenere una descrizione dello strumento e le relative specifiche tecniche, dimostrando il soddisfacimento dei requisiti indicati nel presente documento. Su richiesta della Direzione Lavori dovrà essere inoltre fornita documentazione che attesti l'applicazione ed il buon funzionamento di tali strumenti in altri casi pratici, a prova dell'affidabilità dello strumento.

L'installazione della strumentazione deve avvenire in contraddittorio con la Direzione Lavori, salvo diversa indicazione di quest'ultima. A questo fine, una volta ottenuta l'approvazione da parte della Direzione Lavori relativamente al tipo di strumento approvvigionato, l'appaltatore dovrà far pervenire il programma d'installazione alla Direzione Lavori mediante comunicazione scritta almeno 72 ore prima dell'inizio dell'installazione.

La restituzione dei dati relativi a letture eseguite sugli strumenti, deve avvenire sia su formato cartaceo, sia tramite supporto informatico editabile (tipo formato excel e formato testo).

### **15.3. Monitoraggio di aree e opere all'aperto**

#### **15.3.1. Generalità**

Durante la realizzazione di opere geotecniche all'aperto, qualora la stessa possa comportare significative alterazioni della geometria delle aree (pianeggianti o su versante) su cui esse insistono o di quelle adiacenti, o possa determinare perdite di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti a manufatti e opere d'arte o edilizie su di esse ubicate, adiacenti o comunque interferite, e tali effetti, così come la stabilità delle opere stesse, non possano essere sufficientemente garantiti attraverso le sole previsioni calcolative e la corretta esecuzione delle lavorazioni, in corso d'opera e successivamente, nella fase di esercizio dell'opera, deve essere eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- tenere sotto controllo eventuali movimenti delle aree adiacenti all'operae, dove il caso si presenti, la possibile riattivazione di frane interferenti con l'opera, che possano mettere a rischio l'integrità delle cose o la sicurezza delle persone;
- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno dell'opera;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o necessità di interventi di manutenzione straordinari;
- verificare che lo stato di sollecitazione della struttura rimanga entro i limiti fissati dal progetto anche nella fase di esercizio;
- assicurare che le opere esistenti nelle adiacenze o staticamente interferite non abbiano a subire perdite significative di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti.

Durante la realizzazione di scavi in sotterraneo, qualora la stessa possa produrre significative alterazioni della geometria delle aree (pianeggianti o su versante) all'aperto, sovrastanti od adiacenti alle zone di scavo, o possa determinare perdite di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti a manufatti e opere d'arte o edilizie in esse ubicate o comunque interferite e tali effetti non possano essere sufficientemente garantiti attraverso le sole previsioni calcolative e la corretta esecuzione delle lavorazioni, in corso d'opera e successivamente (ove previsto dal progetto o stabilito dal contratto o dalle autorità competenti), nella fase di esercizio dell'opera, deve essere eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- tenere sotto controllo eventuali movimenti delle aree sovrastanti ed adiacenti all'opera e, dove il caso si presenti, la possibile riattivazione di frane interferenti con l'opera, che possano mettere a rischio l'integrità delle cose o la sicurezza delle persone;
- verificare la validità delle previsioni progettuali relative, sia alle suddette aree, sia agli scavi in sotterraneo, attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno e delle preesistenze, nelle zone sovrastanti e adiacenti agli scavi;

- assicurare che le opere esistenti nelle adiacenze o staticamente interferite non abbiano a subire perdite significative di sicurezza, stabilità, funzionalità, durabilità od altri possibili danneggiamenti.

In questo contesto, per opere geotecniche si intendono quelle nelle quali il terreno o la terra risultano tra i principali materiali costitutivi o collaboranti alla stabilità delle stesse (es. importanti muri di contenimento, consolidamenti di versanti, importanti rilevati, ecc.), mentre per scavi in sotterraneo quelli trattati negli specifici paragrafi del presente Capitolato.

### **15.3.2. Monitoraggio topografico**

#### **15.3.2.1. Monitoraggio topografico dei movimenti del terreno e delle strutture**

Consiste nel controllare, attraverso misure, l'evoluzione nel tempo di un fenomeno deformativo, attraverso punti di riferimento che si trovano all'interno o in prossimità di un'area. E' basato sullo studio e l'analisi nel tempo delle variazioni angolari e spaziali dei punti di interesse delle opere strutturali o delle aree, materializzati da capisaldi, talora significativo soltanto per le deformazioni planimetriche o per quelle altimetriche.

E' possibile l'impiego di strumentazione avanzata, eventualmente automatizzata, che consente la trasmissione dei dati via web per la consultazione remota da parte dei soggetti abilitati.

Sistemi più tradizionali sono i rilievi topografici di precisione, mediante utilizzo di stazioni totali, livelli e strumentazione GPS, con installazione di capisaldi di misura e postazioni fisse per la messa in stazione dell'apparecchiatura topografica. I ricevitori satellitari, in particolare, consentono ormai di ottenere la posizione dei punti con notevole precisione ed hanno il vantaggio di un'elevata precisione, con la possibilità di operare in un punto qualsiasi del territorio, in qualunque momento e, con le dovute precauzioni, con tutte le condizioni meteorologiche.

Sistemi più innovativi sono invece quelli basati sulla fotogrammetria (terrestre o aerea) e su sensori remoti (*remote sensing*), come i seguenti:

- SAR (*Synthetic Aperture Radar*) satellitare (DInSAR) o terrestre (GB-InSAR);
- TLS (*Terrestrial Laser Scanner*), o più in generale LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*).

Il sistema SAR, la cui strumentazione viene posizionata in zona non soggetta a movimenti, acquisisce i dati in continuo, permettendo così di ottenere un'immagine radar ogni 4-5 minuti e di ottenere quindi un andamento in tempo reale del dissesto. Infatti, dall'analisi degli interferogrammi, cioè delle differenze esistenti tra due immagini radar della stessa zona, è possibile stimare gli spostamenti delle superfici e degli oggetti in esse rappresentati.

Il sistema a scansione laser (*laser scanning*), detto anche "laser 3D", consente il rilevamento di modelli tridimensionali degli oggetti, con differenti scale e risoluzioni. Rispetto ad altre tecniche di rilievo, non vengono scelti solo alcuni punti caratteristici dell'oggetto da rilevare, ma i punti rilevati sono tutti quelli presenti nel campo d'azione del segnale inviato dallo strumento. Infatti questo sistema, che opera misurando in automatico le posizioni (posizione angolare nello spazio rispetto ad un sistema di riferimento prefissato, distanza) di moltissimi punti (anche migliaia) in tempi brevissimi, formando così le cosiddette "nuvole di punti, che descrivono gli oggetti rilevati con notevole livello di accuratezza e dettaglio. Per queste sue caratteristiche si rivela particolarmente adatto per il rilievo e la rappresentazione spaziale di manufatti complessi o situazioni altrimenti difficilmente documentabili, a causa della loro irregolarità.

Un'applicazione particolare di quest'ultima tecnologia di rilievo è costituita dall'impiego del *laser scanner* da postazione fissa, per il monitoraggio delle frane in situazioni critiche. Infatti il rilievo geostrutturale tradizionale di pareti rocciose e frane di crollo è eseguito con attrezzatura alpinistica da personale specializzato che, oltre ad essere generalmente molto costoso, a volte risulta addirittura impossibile da realizzare, a causa dell'elevata pericolosità dell'accesso ai luoghi di misura.

Dopo l'installazione dei sistemi di monitoraggio, tecnici specializzati provvedono alla gestione dei sistemi di trasmissione dati e realizzano sopralluoghi (periodici o saltuari) per effettuare le eventuali misurazioni necessarie e per effettuare la manutenzione delle apparecchiature.

Utilizzando i dati ottenuti dalle reti di monitoraggio è possibile produrre, a seconda delle necessità:

- elaborazioni statistiche;
- planimetrie, in cui vengono riportati gli spostamenti planimetrici misurati sui capisaldi;
- individuazione delle possibili superfici di scorrimento e dei volumi interessati dal movimento;

- individuazione del tipo di movimento e sua evoluzione nel tempo;
- installazione di sistemi di pre-allarme *Early Warning*, con l'invio di segnali di allarme ai destinatari previsti, in grado di attivare le procedure di emergenza, soprattutto se pianificate attraverso il Piano delle Emergenze.

È importante rilevare che il controllo effettuato per mezzo di reti topografiche, risulta a volte problematico a causa della precisione strumentale; infatti non sempre si è in grado di evidenziare gli spostamenti, quando la loro entità è relativamente piccola. Occorrono pertanto in questi casi tecniche di analisi statistica, che evidenzino la significatività dei movimenti (utile può essere un approccio di tipo "bayesiano" che è in grado di segnalare deformazioni della rete in anticipo e anche la presenza di errori grossolani). Inoltre è sempre opportuno, prima di installare i sensori o i punti di controllo in una determinata posizione, eseguire una simulazione della rete per vedere se gli errori intrinseci della rete sono paragonabili, o meglio ancora inferiori, ai movimenti da monitorare.

Il monitoraggio di ammassi rocciosi, dotati di parti rigide e di sistemi di fessure, si può assimilare a quello delle strutture, di cui si parla più avanti.

### 15.3.2.2. Topografia convenzionale

I controlli di questo tipo sono frequentemente utilizzati in quanto presentano limitati costi d'installazione e consentono il monitoraggio in breve tempo di aree notevolmente estese. Gli strumenti impiegati sono generalmente teodoliti e distanziometri di alta precisione. Le misure sono effettuate installando riferimenti fissi in posizioni significative ed eseguendo le misure da capisaldi non interessati dal movimento (stazioni MASTER).

La misura degli spostamenti verticali è di semplice e rapida effettuazione mediante la tecnica della livellazione. L'errore medio su una livellazione di lunghezza pari a 1000 m è stata stimata dell'ordine di 2.5 mm con l'utilizzo di strumentazione di precisione. Questa tecnica di misura si presta, in particolare, per il controllo di opere ad andamento lineare come strade o opere idrauliche che attraversano pendii interessati da movimenti franosi.

Per la determinazione dello spostamento di un punto nello spazio, come nel caso specifico di capisaldi installati su versanti instabili, sono richiesti strumenti di maggior precisione e le misure risultano più impegnative. I metodi più comuni, con progressivo grado di accuratezza, sono quelli delle triangolazioni, trilaterazioni e triangolaterazioni: quest'ultimo metodo, per distanze non elevate, fornisce i migliori risultati.

Per le misure angolari vengono utilizzati teodoliti con sensibilità di lettura che può arrivare sino a 0.1" e precisione di lettura nominale sino a 0.5". Per le misure di distanza sono generalmente utilizzati elettrodistanziometri all'infrarosso che possono coprire distanze sino ad oltre 10 km con precisione di lettura nominale fino a  $1 \text{ mm} + (1 \times 10^{-6})D$ , ove  $D$  = distanza misurata in metri.

Queste tecniche topografiche presentano notevoli vantaggi, legati soprattutto all'accuratezza delle misure ed alla loro economicità, ma evidenziano alcuni limiti di non secondaria importanza. La possibilità di eseguire misure topografiche è infatti condizionata dalla distanza di riferimento, dalla stabilità dei capisaldi fissi e dalle condizioni meteorologiche.

La distanza tra riferimenti e capisaldi ha un limite che varia secondo gli strumenti utilizzati, sia come valore assoluto, sia in funzione della precisione richiesta per la misura (che risulta inversamente proporzionale alla distanza stessa). Il problema della distanza può diventare critico se, come spesso accade, non esistono posizioni vicine, adatte per installare il caposaldo di riferimento. Spesso nelle grandi frane si deve fare riferimento al versante opposto a quello da monitorare.

Il problema della stabilità delle posizioni di caposaldo è legato al fatto che, dovendo collocare il punto di riferimento nelle vicinanze della frana, non è infrequente il caso che anch'esso sia interessato da fenomeni di instabilità. Per questo motivo l'installazione dei capisaldi fissi deve essere preceduta da indagini accurate per verificare la stabilità delle postazioni.

Le condizioni meteorologiche, infine, possono impedire lo svolgersi delle misure e, per alcune categorie di strumenti, influenzarne l'accuratezza, come nel caso degli effetti indotti dalle variazioni termiche sullo strato superficiale del terreno e sulle strutture di supporto dei capisaldi.

La strumentazione classica utilizzata per le misure topografiche è di tipo manuale e quindi non adatta per il monitoraggio di fenomeni che possono evolvere rapidamente e poco pratica quando il numero di punti da mantenere sotto osservazione sia elevato.

### 15.3.2.3. GPS (*Global Positioning System*)

Il sistema GPS di posizionamento di un punto a terra si basa sulla misura delle tre distanze del punto da almeno tre satelliti della costellazione statunitense NAVSTAR, dei quali siano note le coordinate; esse sono calcolate in un sistema di riferimento globale, geocentrico, rispetto al quale sono note le coordinate di alcune stazioni di osservazione dei satelliti sparse per il mondo.

Il sistema si compone di tre parti:

- sezione spaziale;
- sezione di controllo;
- sezione utente.

La sezione spaziale è costituita dai satelliti. Si tratta di 24 satelliti, distribuiti su 6 orbite inclinate di 55° rispetto al piano equatoriale, che ruotano ad una distanza di circa 20200 km dalla terra, con periodo di rotazione di poco inferiore alle 12 ore. Questa configurazione consente la visibilità contemporanea di almeno quattro satelliti da ogni luogo della terra a qualsiasi ora del giorno e della notte. Queste considerazioni valgono ovviamente per situazioni di pianura, mentre in zone di montagna la visibilità satellitare è limitata dalle caratteristiche morfologiche delle aree in cui sono eseguite le misure. L'attuale configurazione consente di lavorare anche in zone di montagna per buona parte della giornata senza grosse difficoltà.

La sezione di controllo rappresenta il sistema attraverso il quale sono determinate continuamente le posizioni dei satelliti rispetto ad un certo numero di stazioni fisse distribuite sulla superficie terrestre. La sezione di controllo è composta da 5 *monitor stations*, che determinano la posizione dei satelliti, 3 *upload stations*, che hanno il compito di trasmettere ai satelliti i dati relativi alla loro posizione attuale e futura, e, infine, da una *master control station*, che coordina il funzionamento dell'intero sistema. La sezione di controllo consente infine la sincronizzazione degli orologi di bordo dei satelliti, requisito fondamentale dal quale dipende l'accuratezza delle determinazioni di posizione dei punti a terra. Tutte queste informazioni, come già detto, sono trasmesse ai satelliti, e costituiscono parte integrante del messaggio che questi ultimi trasmettono alle stazioni a terra.

La sezione utente è costituita dai ricevitori, dalle antenne e da tutta la strumentazione accessoria che è utilizzata per l'alimentazione delle attrezzature, la misura dei parametri meteorologici e l'elaborazione dei dati.

Le applicazioni del GPS sono essenzialmente di due tipi, corrispondenti alle diverse tecniche di misura enunciate nel seguito:

- **Pseudorange**: è basata sulla determinazione delle distanze tra il punto a terra e ciascuno dei satelliti osservati (note appunto come *pseudorange*) e consente la determinazione delle coordinate assolute di un punto in modo istantaneo, con precisione massima ottenibile dei 20 m, normalmente dei 100 m a causa della degradazione del segnale, nota come *Selective Availability*, intenzionalmente operata dalla Difesa Americana al fine di consentire ai soli militari il posizionamento preciso. Vi sono varie tecniche di elaborazione differenziale della misura che consentono di ottenere precisioni più elevate, da metriche a submetriche. Questa metodologia è utilizzata in navigazione, trasporti e per tutte le applicazioni che non richiedano una precisione più che metrica, ma non può essere presa in considerazione per applicazioni topografiche.
- **Interferenziale** (misura di fase): questa tecnica può essere utilizzata per misure sia statiche sia cinematiche. La precisione nel caso di misure cinematiche è di alcuni centimetri mentre per misure statiche è migliore del centimetro. Tale precisione, sulla base della nostra esperienza, può essere ottenuta su distanze fino a 10 km. Questa tecnica di misura consente di eseguire quindi controlli topografici, geodetici e tracciamento preciso di traiettorie di veicoli.

Il principali vantaggi del GPS sono:

- non richiede intervisibilità tra i punti di misura;
- i vertici possono essere ubicati direttamente dove servono e non necessariamente in posizioni visibili da lontano, di difficile raggiungimento;
- le misure sono eseguibili con ogni condizione meteorologica;
- le operazioni di campagna sono estremamente semplici ed automatiche.

Quindi l'impiego del GPS si traduce in una minor perdita di tempo e in una maggior resa delle operazioni di campagna.

Gli svantaggi del GPS sono i seguenti:

- è richiesta visibilità verso il cielo;
- i satelliti in vista devono essere almeno tre (questa condizione in realtà allo stato attuale è pressoché sempre rispettata, dato che la costellazione è completa ormai da alcuni anni);
- le registrazioni possono essere affette da disturbi di varia natura, che vanno pertanto riconosciuti e rimossi.

Gli errori nelle misure GPS sono essenzialmente legati a:

- differenze tra valori effettivi di alcuni parametri e valori ad essi assegnati dai modelli di calcolo;
- rumori legati a riflessioni multiple, fluttuazioni di velocità, influenza delle condizioni ionosferiche e troposferiche.

In realtà la maggior parte di questi errori viene annullata attraverso una serie di differenziazioni successive, eseguendo misure di distanza e dislivello rispetto ad uno o più punti ritenuti stabili, ubicati in aree esterne a quella controllata.

#### 15.3.2.4. Teodolite a puntamento automatico

Un teodolite a puntamento automatico (o "stazione totale robotizzata") è un teodolite elettronico abbinato ad un elettrodistanziometro (EDM) ad infrarossi, dotato di motore per il movimento sul piano orizzontale e verticale e munito di un sistema di puntamento automatico che consente di traguardare un certo numero di riferimenti secondo una sequenza preordinata, ad intervalli di tempo programmati. Di tali riferimenti sono misurati la distanza, l'angolo orizzontale rispetto ad un orientamento di riferimento e l'angolo verticale, al fine di calcolare le coordinate planoaltimetriche di ogni punto e seguirne l'evoluzione nel tempo. Il sistema generalmente è governato da un *personal computer*, che consente anche l'archiviazione dei dati.

I teodoliti a puntamento automatico sono stati ideati per consentire l'esecuzione di rilievi celerimetrici da parte di un solo operatore. Poiché sono in grado di inseguire un riferimento in movimento, purché dotato di opportuni accessori (prisma riflettente, emettitore radio, o altro), tali strumenti possono essere utilizzati nel controllo continuo di versanti instabili.

I sistemi attualmente in commercio sono generalmente realizzati con i teodoliti di classe più elevata tra quelli disponibili nel catalogo delle diverse case produttrici. Essi differiscono sostanzialmente per il principio di ricerca e puntamento dei punti, che può essere basato su diversi criteri. I più frequentemente usati sono elencati nel seguito:

- Segnale ad infrarosso inviato dal distanziometro elettronico abbinato al teodolite: in tal caso viene individuata come direzione di collimazione quella corrispondente alla massima intensità dell'impulso riflesso dal prisma installato sul caposaldo controllato. Lo strumento esegue una ricerca nell'intorno del punto, partendo da una posizione presunta corrispondente all'ultima posizione rilevata; l'intervallo di ricerca è generalmente definito da un angolo;
- Individuazione della direzione di provenienza di un segnale radio trasmesso da un riferimento opportunamente equipaggiato; il riferimento è poi dotato di prisma riflettente che consente la misura della distanza mediante distanziometro ad infrarossi. Con questo sistema la ricerca dell'obiettivo viene eseguita a 360°;
- Analisi di immagine: l'immagine dello spot infrarosso emesso dal collimatore coassiale dello strumento è riflessa dal prisma riflettente, installato sul punto collimato, e rilevata dalla videocamera CCD, incorporata nello strumento. Tale immagine è analizzata mediante apposito *software*, che ne rileva lo scostamento rispetto alla direzione di mira. Si tratta in pratica di una procedura di autocollimazione. Il distanziometro ed il suo raggio infrarosso sono, in tal caso, estranei al puntamento poiché servono unicamente per la misura della distanza.

Mentre il secondo sistema può essere in pratica utilizzato solo per l'esecuzione di rilievi topografici, il primo ed il terzo sono utilizzabili per il controllo degli spostamenti su versanti instabili. Va segnalato inoltre che il puntamento basato sull'analisi d'immagine è più preciso, ma vi sono poche informazioni in merito, poiché il sistema è disponibile sul mercato da non molto tempo.

I limiti d'impiego dei teodoliti a puntamento automatico sono gli stessi della strumentazione topografica tradizionale, ai quali va aggiunto l'elevato consumo, che richiede necessariamente il ricorso ad alimentazione da rete. Alla luce di tali considerazioni si può pertanto affermare che lo strumento in questione può essere applicato con successo nei seguenti casi:

- distanze tra caposaldo e punto di riferimento inferiori ad 1 km, in condizioni di intervisibilità;
- in caso di rifrattività atmosferica limitata (capisaldi posti sul medesimo versante);
- necessità di eseguire misure in continuo.

### 15.3.2.5. Interferometria terrestre SAR

GB-InSAR è l'acronimo di *Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar*, ovvero radar interferometrico ad apertura sintetica installato a terra. Nell'interferometria terrestre, l'apertura sintetica, o meglio la sintesi di apertura radar (SAR), che è la distanza coperta dalla piattaforma mentre l'antenna radar raccoglie informazioni, viene riprodotta attraverso un sensore radar costituito da due antenne che emettono e ricevono segnali con frequenze nel campo delle microonde, mentre vengono spostate lungo un binario rettilineo della lunghezza di qualche metro.

Tale tecnica consente di ottenere immagini radar con risoluzioni in *cross range*, migliori rispetto a quelle acquisite da sensori radar delle stesse dimensioni fisiche ma fissi, aumentando in tal modo la possibilità di localizzare il bersaglio in direzione di *cross range*, ma riducendo l'ampiezza dell'area monitorata.

Si ricorda che la parola RADAR è l'acronimo di *RADio Detection And Ranging*, ovvero radiorilevamento e determinazione della distanza tramite onde radio.

Il radar è un sensore attivo che invia impulsi a microonde verso lo scenario irradiato, registra in ampiezza e fase il segnale riflesso e ottiene l'informazione sulla distanza dei diversi elementi riflettenti presenti (quali rocce, manufatti, superfici metalliche, ecc.) mediante il calcolo del ritardo temporale tra il segnale inviato e l'eco ricevuto.

Il sistema radar GB-InSAR è costituito principalmente da:

- due antenne, una trasmittente e una ricevente;
- un binario metallico e un motore elettrico per la movimentazione orizzontale delle antenne;
- un motore elettrico con vite senza fine per la movimentazione verticale delle antenne;
- un cassone in legno contenente l'elettronica principale del sistema e un personal computer;
- un sistema di alimentazione (due batterie con caricabatteria e gruppo elettrogeno);
- un *inverter* e vari cavi di collegamento.

Dall'elaborazione delle immagini radar (SAR) acquisite è possibile ricavare delle mappe di spostamento dello scenario osservato, con precisioni millimetriche e spesso sub-millimetriche nella misura degli spostamenti lungo la linea di vista del radar e in funzione di specifiche condizioni locali e atmosferiche.

Le mappe di spostamento si ottengono grazie all'analisi interferometrica, la quale consiste sostanzialmente nella generazione di interferogrammi. Dato che ciascuna immagine SAR ha pixel di dimensioni variabili con la distanza, anche l'interferogramma generato avrà pixel con dimensioni che sono funzione della distanza. Da ciò risulta che le mappe di spostamento che si ottengono hanno pixel di area a terra variabile tra pochi metri quadrati (a qualche centinaio di metri di distanza tra sistema radar e oggetto monitorato) e la decina di metri quadrati (a 2-3 km di distanza).

Le mappe di spostamento vengono in genere create su modelli digitali (DEM) dello scenario osservato, in modo da eliminare le deformazioni che si avrebbero se esse fossero elaborate su un generico piano e per avere una corrispondenza con lo scenario reale.

Un modello digitale di elevazione DEM (*Digital Elevation Model*) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale.

Le tipologie di sistemi interferometrici SAR terrestri attualmente esistenti si differenziano per la lunghezza del binario su cui avviene la movimentazione delle antenne per la realizzazione della sintesi d'apertura (SAR); essa può variare da un paio di metri fino a 5÷6 metri.

La maggior parte di queste strumentazioni viene fissata tramite opportuni dispositivi metallici a basamenti in calcestruzzo appositamente realizzati oppure su manufatti stabili, quali muretti, coperture, ecc.. In alcuni casi, come quello riportato in figura 12, il dispositivo radar viene posizionato all'interno di un container provvisto di ruote per il trasporto con rimorchio per consentire una maggior manovrabilità.

Come esempio di questa tecnologia si cita il sistema LISA (*Linear Synthetic Aperture*) su rimorchio (l = 5m), primo prototipo di radar interferometrico portatile, sviluppato nel 1999 presso il *Joint Research Center* (JRC) della Comunità Europea presso Ispra (VA).

I principali aspetti positivi del GB-InSAR sono :

- elevata precisione di misura, grazie alla quale è possibile monitorare anche fenomeni franosi molto lenti, soggetti a spostamenti di alcuni millimetri l'anno, e spostamenti/cedimenti di manufatti in genere. Con tale tecnica è possibile monitorare aree poste fino a distanze di 3-4 km, senza richiedere l'accesso di operatori nella zona monitorata, riducendo di molto il rischio per essi nel caso ad esempio di zone instabili. Inoltre, le misure di spostamento possono essere eseguite in tempo quasi reale ovvero con un tempo minimo di acquisizione di un'immagine nell'ordine delle decine di minuti;
- possibilità di eseguire monitoraggi in maniera quasi indipendente dalle condizioni meteorologiche e di illuminazione solare: solo in condizioni di forte pioggia o di intensa nevicata si ha un deterioramento del dato radar, per cui è bene non acquisire. I dati ricavati sono interpretabili con facilità ed immediatezza, trattandosi di immagini in cui gli spostamenti sono identificabili con scale colorimetriche. È possibile avere una visione globale dello scenario osservato, consentendo così di quantificare e identificare con precisione l'estensione dei fenomeni che lo interessano e le aree di principale movimento;
- tale tecnica può essere applicata a controlli con cadenza periodica (es. alcuni mesi) e a monitoraggio in continuo, per cui si possono studiare praticamente tutti i fenomeni franosi, dai più lenti a quelli relativamente veloci (es. qualche centimetro l'ora). Tuttavia, per evitare problemi di ambiguità di fase, è bene che lo spostamento che si verifica tra due acquisizioni successive sia minore di un quarto della lunghezza d'onda media del segnale radar utilizzato.

I principali aspetti negativi sono :

- viene misurata la sola componente di spostamento parallela alla linea di vista del radar e quindi perpendicolarmente alla direzione di scansione delle antenne; eventuali spostamenti in altre direzioni non vengono di conseguenza rilevati. Quindi, per poter monitorare in modo adeguato il fenomeno, è bene installare lo strumento in una posizione che permetta di misurare la componente dello spostamento che interessa maggiormente;
- la risoluzione in direzione di *cross range*, ovvero in direzione parallela al binario dello strumento, delle immagini radar si degrada all'aumentare della distanza di misura. Come già spiegato in precedenza, con un binario di lunghezza 1.9 m e a parità di risoluzione in range (es 3,0 m), a una distanza di 500 m si hanno pixel di dimensioni 6,7 m × 3,0 m, mentre a 2 km di distanza si ottengono pixel di dimensioni 26,8 m × 3,0 m. Questo pone delle limitazioni nell'utilizzo della tecnica per lo studio dei movimenti di versante, infatti informazioni di spostamento mediate all'interno di pixel così grandi, sono rappresentative se riferite a fenomeni di instabilità di grandi volumetrie di terreno o per spostamenti differenziali nell'estensione del corpo di frana modesti. Tuttavia, a seconda della strumentazione utilizzata, delle frequenze di misura e dei tempi di acquisizione è possibile variare in un certo range la risoluzione dei pixel ottenibili, la quale risulta comunque dipendente dalla distanza di misura;
- la strumentazione presenta una massa elevata e abbastanza ingombrante, per cui risulta necessario il trasporto con fuoristrada o elicottero fino al punto di installazione. Inoltre, l'installazione deve essere effettuata su un basamento stabile, che nella maggior parte dei casi deve essere appositamente realizzato;
- per condurre l'analisi interferometrica, è necessario che gli operatori facciano delle assunzioni arbitrarie dei valori di soglia della coerenza a seconda dello scenario monitorato e ricordando che al variare di tali valori di soglia si ottengono mappe di spostamento non univoche, si potrebbero ottenere risultati poco affidabili;
- nello spazio compreso tra lo strumento e lo scenario, per una distanza di almeno 50 metri, non devono essere presenti oggetti metallici (pali, pannelli, autoveicoli, ecc.), infatti a causa della loro elevata riflettività, rischiano di compromettere l'immagine radar perché a distanze ridotte, la loro riflettività prevale nettamente su quella degli oggetti circostanti, saturando quindi l'immagine. Anche il passaggio di autoveicoli può creare problemi, interrompendo il monitoraggio e rendendolo quindi discontinuo;
- occorre inoltre prestare attenzione alla presenza di fitta vegetazione o specchi d'acqua nelle immediate vicinanze dello strumento, in quanto essi potrebbero creare problemi di decorrelazione del segnale.

Questa metodica può essere considerata complementari a quella TLS. Quest'ultima può essere infatti utilizzata per generare modelli 3D accurati dell'oggetto monitorato sui quali proiettare le immagini radar acquisite tramite GB-InSAR, mentre la tecnica interferometrica SAR terrestre risulta essere particolarmente efficace come supporto a reti di monitoraggio con strumentazione tradizionale, già installate ed operanti oppure in fase di installazione. Tale tecnica può infatti fornire informazioni complementari per ottimizzare la distribuzione di sensori tradizionali e contribuire all'individuazione di aree di spostamento più o meno significative.

### 15.3.2.6. Interferometria satellitare SAR

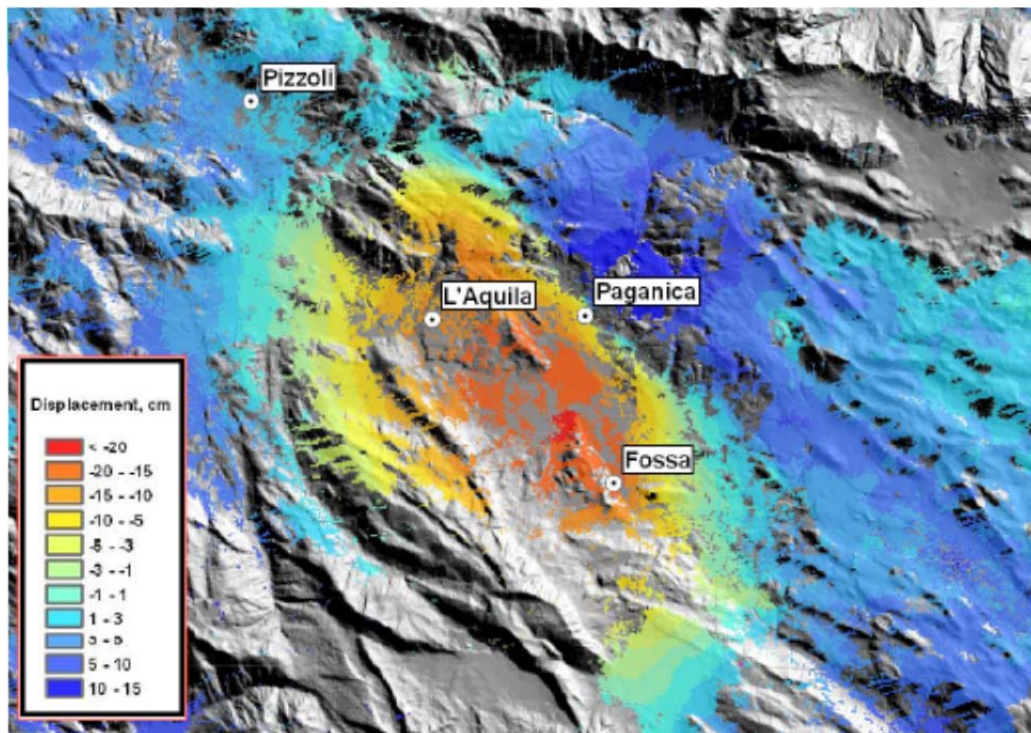
L'interferometria SAR Satellitare (DInSAR) è una tecnica per la misura degli spostamenti superficiali del territorio attraverso le immagini radar acquisite dai satelliti su una stessa area. Con essa è possibile misurare spostamenti millimetrici di terreni e strutture grazie ad algoritmi di ultima generazione e selezionati in funzione delle singole applicazioni richieste e della tipologia di dati disponibili.

Recenti tecniche di interferometria avanzata (A-DInSAR) sfruttano la naturale presenza sul territorio di elementi antropici (edifici, manufatti, infrastrutture) e naturali (rocce esposte, porzioni omogenee di terreno) per avere punti di misura affidabili dei quali restituire serie temporali di spostamento molto accurate.

Uno dei principali vantaggi delle tecniche A-DInSAR è la possibilità di eseguire analisi degli spostamenti storici (dal 1992 a oggi), fornendo quindi dati quantitativi anche per aree dove non è stata installata nessuna strumentazione di monitoraggio. La dimensione delle immagini satellitari, inoltre, consente l'analisi di vaste aree (centinaia di km<sup>2</sup>).

Gli archivi storici delle immagini, i satelliti attualmente in orbita e le missioni programmate per il prossimo futuro rendono le tecniche interferometriche da satellite una risorsa fondamentale per l'analisi degli spostamenti passati del terreno e per il telemonitoraggio di grandi aree.

In figura è rappresentata la mappa interferometrica del territorio de L'Aquila da immagini prima e dopo il terremoto del 2009, realizzata dal Laboratorio di Telerilevamento del Centro Nazionale Terremoti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma.



### 15.3.3. Il monitoraggio strutturale

Il monitoraggio strutturale, quando necessario o previsto dal progetto, deve tendere ad evitare possibili inconvenienti dovuti a:

- invecchiamento fisiologico dei manufatti;
- azioni conseguenti ad eventi naturali quali frane, sismi, fenomeni di subsidenza (progressivo abbassamento verticale del piano campagna);
- cattiva costruzione.



Anche questo tipo di monitoraggio può avvenire, sia in corso d'opera, sia in fase successiva alla messa in esercizio. La sua necessità, in termini di attivazione di metodiche di tipo avanzato, è legata principalmente ai seguenti casi:

- opere di particolare importanza ed elevato costo, per le quali diventa critica la prevenzione del degrado o del dissesto;
- opere per le quali il monitoraggio classico può risultare difficoltoso e/o molto oneroso;
- opere per le quali il livello di rischio è tale da essere influenzato da piccolissime variazioni dei parametri critici;
- situazioni di dissesto o degrado già rilevate, critiche per la sicurezza la cui diagnosi e/o la cui misurazione risultino problematiche con i mezzi tradizionali;
- attività di sperimentazione e ricerca.

Nell'ambito dell'appalto, il progetto o il contratto possono prescrivere l'installazione di uno o più sistemi di monitoraggio strutturale che, essendo in questo caso da escludere nella loro forma tradizionale, che spetta essenzialmente al gestore delle opere realizzate durante il loro esercizio nel tempo, non può che essere di tipo avanzato, ossia con adozione di dispositivi tecnologici.

Tuttavia, per completezza, si riportano le normative che anche oggi regolano l'attività di monitoraggio di tipo tradizionale, intesa come ispezione dei manufatti:

- Circolare M.LL. PP. n. 6736/61/A del 19.07.1967 "Controllo delle condizioni di stabilità delle opere d'arte stradali";
- Circolare M.LL.PP. n. 34233 del 25.02.1991 "Istruzioni relative alla normativa dei ponti stradali";
- B.U. CNR n. 165/1993 "Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale di ponti e viadotti";
- UNI EN 1337-10:2004 "Appoggi strutturali – Parte 10: Ispezione e manutenzione".

D'altro canto le attività di manutenzione formano anche oggetto del Piano di Manutenzione, che deve di norma essere allegato al progetto esecutivo delle opere in appalto.

I controlli delle strutture possono essere effettuati mediante:

- livellazione idrostatica;
- triangolazioni o trilaterazioni;
- linee di mira;
- pendoli ottici o meccanici;
- il controllo delle fessurazioni aperte.

Controllo con livellazione idrostatica: è utilizzata per controllare grandi strutture o dighe. Si utilizzano bicchieri posti stabilmente su strutture che devono essere controllate verticalmente; tali bicchieri vengono riempiti con acqua e sono comunicanti tra loro (secondo il principio dei vasi comunicanti) e con una centralina che può avere un controllo remoto. Le misure si effettuano leggendo, rispetto alla graduazione, il livello dei liquidi contenuto nei bicchieri arrivando ad una approssimazione di pochi decimi di mm. Per questa tipologia di controllo vi sono attualmente dei sensori elettronici che sono collegabili a filo oppure via onde radio convogliate.

Controllo per triangolazioni o trilaterazioni. Si effettua in genere per il monitoraggio di grandi strutture o di movimenti del terreno, posizionando su pilastri opportuni segnali (mire), che devono rimanere stabili per il periodo di tempo necessario al controllo. Sui pilastri si posizionano inoltre delle mire a centramento forzato (eventualmente retroilluminate). I punti in genere sono collegati mediante triangoli possibilmente regolari a due o più caposaldi, su cui si misurano angoli e distanze con teodoliti al secondo, o meglio con stazioni totali.

Controllo per linee di mira. Si effettua anch'esso in genere per grandi strutture. Prevede anch'esso segnali (mire) a centramento forzato e vengono poi istituite delle "linee di mira" tra due segnali in posizione stabile alle estremità del manufatto e i segnali che invece si possono spostare, a pattino su pilastri lungo il bordo della struttura. È anche possibile un monitoraggio remoto attraverso stazioni totali robotizzate, situate ad una estremità e mire costituite da mini-prismi retroriflettenti.

Controllo con pendoli ottici o meccanici. Trova largo impiego per la misura delle rotazioni (ad es. il pendolo rovescio è uno strumento che viene utilizzato per il controllo in fondazione delle dighe). Necessita della creazione di un foro verticale, che viene eseguito in fase di costruzione, entro cui scorrerà un filo di acciaio che viene teso verticalmente e collegato in sommità ad un galleggiante libero di muoversi su un liquido (olio). Il sistema è in genere automatizzato nelle

letture mediante l'impiego di telecoordinatometri. Alternativa al pendolo rovescio è il livello zenitale, che è in grado di deviare la linea di mira verso lo zenith.

Controllo delle fessurazioni aperte.

Tale controllo avviene posizionando strumenti provvisori o permanenti, detti "estensimetri", a cavallo della fessura, in modo di misurarne l'evolversi dell'ampiezza. Strumenti provvisori ed economici possono essere dei "fessurimetri a vetrini" (v. figura a sin.), che sono in grado di stimare aperture con approssimazioni di circa 0,5 mm, mentre i deformometri a comparatore e quelli digitali (v. figura al centro) sono in genere dotati di scala al centesimo di millimetro. In questo secondo caso (strumenti di alta precisione) sono molto importanti la taratura preliminare su asta invar fornita con gli strumenti e la misura della temperatura, effettuata con termometro convenzionale o con sonda termometrica.

Il sistema può essere reso molto più efficiente se realizzato con l'installazione, presso la struttura o l'edificio da monitorare, di una o più periferiche di acquisizione dei dati, alle quali vengono collegati uno o più fessurimetri elettronici e sonde per il rilievo delle temperature ambientali. Le periferiche devono preferibilmente essere autonome, ossia non devono essere collegate alle reti elettrica, telefonica o dati; ciò per avere la massima flessibilità di installazione in qualunque situazione. Le periferiche acquisiscono i dati dai fessurimetri e dalle sonde e li trasmettono, tramite GSM integrato a bordo delle periferiche stesse, al centro di controllo. Il centro di controllo riceve e analizza i dati e permette la creazione di report numerici o grafici relativi agli andamenti dei valori degli spostamenti dei lembi delle fessure.



Estensimetri a controllo remoto sono anche i cosiddetti *strain gages* (v. figura a destra), costruiti per fotoincisione di un filo sottile conduttore che costituisce una resistenza elettrica al passaggio di corrente su un supporto elettricamente isolante. L'estensimetro viene quindi utilizzato per la misurazione della deformazione, incollandolo alla superficie da campionare che, in questo caso, non deve necessariamente recare una fessura ed anzi il dispositivo si danneggerebbe se sottoposto a deformazioni anche dell'ordine del decimo di millimetro. La sua altissima precisione consente infatti di misurare anche le deformazioni del materiale base della struttura e quindi, indirettamente, ricavarne lo stato tensionale nella direzione dell'estensimetro stesso. Anche un'eccessiva temperatura può influenzare le letture, quindi l'impiego di questi strumenti deve essere attentamente e preventivamente valutato, in relazioni agli obiettivi del monitoraggio.

Una più recente categoria di estensimetri, del tipo a fibra ottica (FOS: *Fiber Optic Sensors*), per il monitoraggio delle deformazioni, è quella dei sensori "a reticolo di Bragg" (FBG: *Fiber Bragg Grating*). Questi sono costituiti da un corto segmento di fibra ottica che riflette particolari valori di lunghezza d'onda e trasmette tutti gli altri. Le deformazioni influenzano direttamente la risposta dei FBG, attraverso l'espansione e la compressione di una sezione di reticolo e l'effetto ottico dovuto alla forza, che induce la modificazione dell'indice di rifrazione. In modo analogo, la temperatura influenza invece la risposta delle FBG, principalmente modificando l'indice di rifrazione. Per questo, i sensori possono essere anche impiegati per la misura di temperatura, parametro fondamentale per poter analizzare la natura delle deformazioni misurate.

#### 15.3.4. Piezometro tipo Casagrande

##### 15.3.4.1. Generalità

Il piezometro tipo Casagrande, adatto a terreni poco permeabili, consente il rilievo, mediante apposita sondina elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro, costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie. Lo stesso può essere attrezzato successivamente con trasduttore di pressione per letture automatizzate.

##### 15.3.4.2. Specifiche tecniche

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno). Il tubicino in andata dovrà avere diametro non inferiore a 1.5", per permettere l'eventuale inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico, mentre il tubicino in ritorno dovrà avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm. I singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 µ

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.

Nel caso il piezometro sia attrezzato mediante trasduttore di pressione, quest'ultimo dovrà soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

##### 15.3.4.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installata la cella Casagrande dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in

proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

#### 15.3.4.4. Modalità d'installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi, avendo cura, per ogni singolo step, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ( $\varnothing = 1 \div 4$  mm);
- discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati;
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ( $\varnothing = 1 \div 4$  mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ( $\varnothing = 1 \div 2$  cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 3 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori.

Nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;

- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento;
- esecuzione della prima lettura significativa, da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro.

La misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua; in caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi; a questa fase di controllo dovrà presenziare la Direzione Lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

Nel caso si preveda l'automatizzazione del piezometro Casagrande, è richiesta l'installazione all'interno del piezometro di un trasduttore di pressione (inserito all'interno di una custodia appositamente sagomata con anello di tenuta) che sigilli il tubo a diametro maggiorato (1½") e di un tappo con tenuta tale da garantire la possibilità di realizzare la "chiusura" del secondo tubo (di diametro ½") e quindi della cella. Per l'installazione, si devono eseguire le seguenti operazioni:

- lavaggio del piezometro prima dell'installazione del trasduttore;
- controllo dell'integrità del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- saturazione della cella porosa in acqua disarmata;
- inserimento del traduttore con la punta conica e il contrappeso (es. tubo in acciaio inox appoggiato allo strumento) entro il tubo in PVC da 1½" reggendolo per il cavo elettrico, fino a che vada ad inserirsi nella sede sulla cella porosa; per accertarsi che la quota raggiunta coincida con la quota di posa del filtro, controllare la lunghezza del cavo introdotto;

- durante la posa del trasduttore, devono essere eseguite letture di controllo per verificare il corretto funzionamento del trasduttore in relazione al carico piezometrico nel foro.
- collegamento del sensore alla centralina di misura ed inserimento del sensore nel tubo di misura, fino a raggiungere la sede di esercizio, ponendo particolare cura per evitare sovrappressioni dannose per il trasduttore, e lettura del livello di falda mediante misuratore di livello nel tubo da 1/2";
- esecuzione di una misura mediante centralina;
- inserimento nel tubo da 1/2" dell'elemento di chiusura dopo il ripristino delle condizioni iniziali (livello di falda stabilizzato);
- esecuzione di una misura dopo alcune ore dall'ultimazione dell'installazione della strumentazione ripetute nei giorni successivi.

Ad installazione ultimata, deve essere protetto la parte fuoriuscente del piezometro da p.c. mediante un pozzetto in cls o tubo metallico PVC serie pesante.

#### 15.3.4.5. Documentazione d'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro della cella Casagrande;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

Nel caso d'installazione del trasduttore di pressione, è richiesta la seguente documentazione aggiuntiva:

- documentazione tecnica del trasduttore rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

#### 15.3.5. Piezometro elettrico

##### 15.3.5.1. Generalità

Il piezometro elettrico installato in un foro di sondaggio consente di misurare direttamente la pressione o sovrappressione interstiziale in un terreno fine limoso-argilloso. I piezometri saranno solitamente attrezzati con *datalogger* per consentire la misura in automatico.

##### 15.3.5.2. Specifiche tecniche

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire (su indicazione del Progettista/DL)
Massimo sovraccarico	30% del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C

Precisione	0.3% F.S.
Sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55 °C
Materiale	Acciaio inox

L'utilizzo di piezometri elettrici con caratteristiche tecniche differenti da quanto sopra riportato dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

#### 15.3.5.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il piezometro, contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

#### 15.3.5.4. Modalità d'installazione

L'installazione seguirà la seguente procedura, avendo cura, per ogni singola fase, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e cavi non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ( $\emptyset = 1 \div 2$  cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di  $2 \div 3$  cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della boccaforo con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento

- esecuzione della prima lettura significativa tramite centralina portatile.
- sistemazione dei cavi di segnale a boccaforo in scatola di centralizzazione per lettura con centralina portatile o cablaggio a Unità di Acquisizione dati.

#### 15.3.5.5. Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- diametro e stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- schema di installazione del piezometro nel foro;
- documentazione tecnica del piezometro rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al *datalogger* (opve previsto).

#### 15.3.6. Tubo inclinometrico

##### 15.3.6.1. Generalità

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

##### 15.3.6.2. Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 - 86 (1993) - *Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers*.

##### 15.3.6.3. Caratteristiche della strumentazione

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int tubo}} = 76 \text{ mm}$ ;
- $\varnothing_{\text{int guide}} = 82 \text{ mm}$ ;
- $\varnothing_{\text{est guide}} = 86 \text{ mm}$ .

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spiratura dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito:  $\varnothing_{\text{int guide manicotto}} < \varnothing_{\text{est guide tubo inclinometrico}} + \approx 1 \text{ mm}$ .

Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.

In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

#### 15.3.6.4. Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati infine il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

#### 15.3.6.5. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

Una volta installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo inclinometrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

#### 15.3.6.6. Installazione

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
  - inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
  - realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;



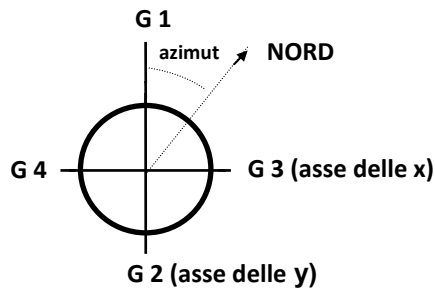
- con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
  - rimozione del manicotto;
  - applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
  - inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
  - attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
  - inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
  - bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
  - inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
  - allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
  - bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
  - prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
  - cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
  - accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
  - installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
  - controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita;
  - al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

#### **15.3.6.7. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica**

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spiralatura della tubazione alle specifiche di accettazione.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Appaltatore e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



Successivamente dovranno essere verificate anche la verticalità e la spiralatura del tubo, che verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spiralatura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

#### 15.3.6.8. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiralatura.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

#### 15.3.7. Estensimetro multibase ad aste

##### 15.3.7.1. Generalità

Le misure con estensimetri da foro consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra la testa di un foro di sondaggio comunque orientato ed un ancoraggio fissato in profondità all'interno dello stesso; in un singolo foro di sondaggio possono essere posizionati più estensimetri ad asta con ancoraggi a diverse profondità.

Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva,

trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato o tramite un trasduttori di spostamento elettrico installati alla testa delle astine di misura.

#### 15.3.7.2. Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4403 - 84 (94) - Standard Practice for Extensometers Used in Rock.

#### 15.3.7.3. Specifiche tecniche

Gli estensimetri ad asta a singola base (ancoraggio) o multibase saranno costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato ad una o più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i comparatori e/o trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo in plastica, dotata di coperchio di protezione a tenuta stagna;
- riscontri di lettura con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm riposizionabili;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;
- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;
- tubo di iniezione della malta cementizia.

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

##### ESTENSIMETRO A BARRE

Materiale aste	fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	$3,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Diametro astine	7 mm
Guaina protettiva	nylon
Numero basi	3 basi

##### TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO

Range di misura	50-100 mm
Tipo di sensore	Potenzimetro lineare
Linearità	0,02% FS
Accuratezza	0,01% FS
Grado di protezione	IP 56
Temperatura operativa	da -10 a 50°C

#### 15.3.7.4. Preparazione del foro

Il foro per l'installazione di basi estensimetriche ad asta dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm nel caso di estensimetri fino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm nel caso di estensimetri fino a 6 basi di misura e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm della lunghezza relativa alla base di ancoraggio più profonda.

Una volta installate le basi di misura, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e/o spostamenti delle basi di ancoraggio e delle astine in vetroresina. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, es-

sa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

#### 15.3.7.5. Installazione

Al termine dell'esecuzione del foro si provvederà ad installare nel foro gli estensimetri ad asta, avendo cura di posizionare gli ancoraggi esattamente alle profondità indicate dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- posizionare l'estensimetro svolto in prossimità del foro in cui sarà installato;
- inserire la dima di installazione sulla testa dell'estensimetro per bloccare lo scorrimento delle barre in vetroresina durante l'installazione;
- inserire la base più lunga nella cavità all'interno del foro fissando il tubo di iniezione con nastro adesivo ad intervalli regolari. Quando si arriva ad un ancoraggio, montare il centratore. Ripetere l'operazione per tutte le basi di misura;
- fissare e sigillare la testa dell'estensimetro a bocca foro con cemento a presa rapida o con l'utilizzo di un packer gonfiabile;
- quando la testa estensimetrica risulta fissata si passa alla cementazione per iniezione dello strumento (la composizione della miscela cementizia è normalmente la seguente: 100 kg di acqua, 30 kg di cemento, 5 kg di bentonite attivata) si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti;
- sigillare i tubi di iniezione e di sfiato;
- attendere il tempo necessario per consentire la completa maturazione della miscela cementizia (a tal scopo, durante la fase di iniezione dello strumento, è opportuno riempire di miscela una piccola cavità in roccia o un piccolo contenitore in polistirolo per sincerarsi direttamente della consistenza del prodotto);
- sbloccare le aste di misura interne rimuovendo la dima di installazione dalle connessioni;
- installare la piastra di riscontro delle astine di misura;
- A presa avvenuta procedere alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale o un trasduttore lineare di spostamento ed agendo sulla vite di regolazione della testa di misura, con esecuzione di almeno tre misure di riscontro;
- installare, se richiesti da Progetto o dalla Direzione Lavori, i trasduttori elettrici di spostamento:
- cablare le terminazioni elettriche utilizzando un cavo multipolare per ogni estensimetro;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla unità di acquisizione dati;
- proteggere la testa estensimetrica con il proprio coperchio;
- nel caso di installazioni verticali da piano campagna, installare a testa foro un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità della testa dello strumento, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

### 15.3.7.6. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- codifica dello strumento;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- certificati di taratura dei trasduttori di spostamento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi dalla data di posa;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

### 15.3.8. Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx e inclinometrica

#### 15.3.8.1. Generalità

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita.

Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli magnetici cementati alle pareti del foro.

La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali.

#### 15.3.8.2. Caratteristiche dell'attrezzatura e specifiche tecniche

I tubi estensimetrici dovranno essere di ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda estensimetrica.

Le dimensioni del tubo estensimetrico, per una perforazione di 127 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int tubo}} = 60 \text{ mm}$ ;
- $\varnothing_{\text{est tubo}} = 70 \text{ mm}$ ;
- $\varnothing_{\text{int guide}} = 63.5 \text{ mm}$ ;
- spessore = 5.0 mm;
- massa  $\geq 1600 \text{ g/m}$ .

All'esterno del tubo estensimetrico dovranno essere posizionati ad intervalli di lunghezza di 1 m appositi anelli metallici di massa non inferiore a 600 g.

Le caratteristiche generali della strumentazione estensimetrica dovranno essere le seguenti:

Materiale tubo	HPVC o ABS: $\varnothing$ 63/70 mm esterno
Manicotti	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	$\pm$ 50 mm
Precisione del sistema (sonda +centralina di acquisizione)	$\pm$ 0.3 mm/m
Campo di Temperatura	0°, +40° C

Dimensioni diverse del tubo estensimetrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

#### 15.3.8.3. Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro pari a 127 mm e dovrà avere l'orientazione indicata nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Appaltatore direttamente dalla Direzione Lavori.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

#### 15.3.8.4. Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

#### 15.3.8.5. Installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi estensimetrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. L'accoppiamento dei manicotti con gli spezzoni di tubo dovrà avvenire impiegando apposito collante secondo la seguente procedura:

- applicazione di un sottile strato di collante all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- inserimento del manicotto sul primo tubo per metà della sua lunghezza;
- inserimento di un secondo spezzone di tubo nel manicotto;
- attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- montaggio sul primo spezzone di tubo di un anello magnetico ogni metro di lunghezza, controllandone la posizione con apposito strumento spaziatore;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo su cui saranno stati posizionati ogni metro gli anelli magnetici; incollaggio e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico e dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della Direzione Lavori, in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. La tubazione verrà dichiarata idonea, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

#### **15.3.8.6. Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica**

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Appaltatore e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone, facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.

Successivamente si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.

La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di  $\pm 5.0$  mm rispetto alla distanza nominale di 1 m. Nel caso di utilizzo della tubazione come estenso-inclinometro inoltre la deviazione dalla verticale dovrà risultare inferiore al 2%.

### 15.3.8.7. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, codifica dello strumento, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento.

### 15.3.9. Clinometro di superficie

#### 15.3.9.1. Generalità

L'installazione di un clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione di una parete rocciosa o di singoli blocchi rocciosi o di strutture.

#### 15.3.9.2. Specifiche tecniche

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- clinometro di superficie biassiale fisso dotato di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

Tipologia di sensore	servoaccelerometrico
Campo di misura	$\pm 15^\circ$
Risoluzione	0.001% F.S.
Ripetibilità	0.01% F.S.
Sensibilità	$1/20.000 \text{ sen } \alpha$
Temperatura di esercizio	$-20 \div +70^\circ \text{C}$
Assetto azimutale	$< 0.5^\circ$



Segnale elettrico in uscita	4 ÷ 20 mA
-----------------------------	-----------

- staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione tridirezionale dello strumento;
- cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra il clinometro e il pannello di misura, conforme alle specifiche tecniche delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- pannello di centralizzazione e misura dotato di connettori per l'esecuzione delle misure con centralina di lettura e alimentazione portatile; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Direzione Lavori.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

### 15.3.9.3. Installazione

Nell'installazione del clinometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la parete rocciosa e/o struttura.

L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

### 15.3.9.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore, codifica dello strumento);
- codifica dello strumento;
- schema di installazione del clinometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (sensori);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura del clinometro, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

### 15.3.10. Celle di carico toroidali

#### 15.3.10.1. Generalità

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con *strain-gauges* di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri che variando il loro valore di resistenza generano un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

#### 15.3.10.2. Specifiche tecniche

Materiale	Acciaio inossidabile 17-4PH
Fondo scala (*)	Fino a 1200 kN

Carico ammissibile	150% FS
Sensibilità	0,001 mV
Accuratezza	< 0,5%FS
Temperatura operativa	-10 °C, +55°C

(\*) Nota: il fondo scala è funzione del carico massimo ammissibile del tirante.

### 15.3.10.3. Installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di cemento a presa rapida per garantire la planarità della superficie, qualora ce ne fosse la necessità;
- appoggiare la cella di carico sulla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;
- collegare la cella ad una centralina portatile e procedere alla fase di tesatura del tirante fino al valore di progetto, ricordandosi che successivamente alla tesatura si verifica un assestamento di tutto il sistema e quindi una diminuzione del valore di carico di circa un 10-15%;
- fissare i cavi delle celle di carico lungo il paramento della galleria o della paratia con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'unità di acquisizione dati.

### 15.3.10.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla Direzione Lavori in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, n.tirante strumentato, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- prospetto di progetto dell'opera con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto)
- risultati della tesatura iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della cella di carico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

### 15.3.11. Barrette estensimetriche per calcestruzzo

#### 15.3.11.1. Generalità

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in calcestruzzo, armato e non (rivestimenti definitivi, pali o diaframmi armati o plastici, ecc.) è prevista l'installazione di *strain meters* a corda vibrante.

Gli estensimetri a corda vibrante per cls sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, tensionato tra due estremità a due supporti ancorati alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

**15.3.11.2. Specifiche tecniche**

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 $\mu\epsilon$
range di temperatura	-20, +80 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 $\mu\text{m}$
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 $\mu\text{m} / ^\circ\text{C}$
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

**15.3.11.3. Installazione**

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione, ed affogati nei getti di cls.

Il fissaggio degli *strain meters* dovrà essere effettuato secondo l'orientazione di progetto e tramite legatura alle barre di armatura.

Si dovrà garantire che la distanza tra le basi di ancoraggio del sensore corrisponda alla posizione media del campo di misura strumentale.

Nel caso di installazione in rivestimenti definitivi (rivestimenti in galleria, solette di cls, ecc.) il fissaggio degli *strain meters* dovrà essere effettuato prima del getto avendo cura di fascettare i cavi di segnale alle armature fino a farli fuoriuscire dal getto in posizione protetta e accessibile per il successivo cablaggio. Nel caso di messa in opera su cls non armato l'installazione del sensore è prevista mediante fissaggio degli strumenti ad un telaio in acciaio annegato all'interno del calcestruzzo.

Nel caso di installazione di *strain meters* in pali o diaframmi armati, si dovrà procedere alla legatura degli strumenti, secondo le indicazioni sopraccitate e alle quote di progetto, sulle gabbie di armatura prima della calaggio della gabbia all'interno della perforazione. Durante il calaggio della gabbia si dovrà procedere alla fascettatura dei cavi di segnale alla gabbia di armatura fino a testa palo/diaframma. Nella zona di scapitozzatura i cavi dovranno essere protetti con un tubo metallico fuoriuscente dal getto.

Tutti i sensori ed i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti per evitare danneggiamenti accidentali durante la posa dell'armatura, durante l'esecuzione del getto e durante eventuali scapitozzature.

Per ogni tipo di installazione i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

Successivamente al getto si procederà alla lettura di funzionamento della strumentazione e al successivo cablaggio ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'unità di acquisizione dati.

**15.3.11.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione**

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);

- schema grafico di installazione degli *strain meters* all'interno del getto con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

### 15.3.12. Barrette estensimetriche per acciaio

#### 15.3.12.1. Generalità

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in acciaio (ad esempio le centinature nei pozzi di fondazione) è prevista l'installazione di *strain meters* a corda vibrante.

Gli estensimetri a corda vibrante per acciaio sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, teso tra due supporti (blocchi) resi solidali mediante saldatura o resinatura alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione (e quindi di frequenza di vibrazione) della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

#### 15.3.12.2. Specifiche tecniche

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
Campo di misura	3000 $\mu\epsilon$
Range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 $\mu\epsilon$
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 $\mu\epsilon$ /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

#### 15.3.12.3. Installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi ed all'orientazione di progetto, previa accurata pulizia del punto di installazione.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;

- inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a brugola;
- tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione desiderata in funzione del comportamento atteso del profilato (solitamente la posizione intermedia del campo di misura strumentale), avendo cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla unità di acquisizione dati fissandoli mediante legature di ferro alla coronella di micropali o alle centinaia superiori; i cavi dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

#### **15.3.12.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione**

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli *strain meters* sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o *datalogger* (ove previsto);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- Risultati delle letture effettuate in termini di frequenza e di deformazione.

### **15.4. Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali**

#### **15.4.1. Generalità**

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti dai trasduttori elettrici (di qualsiasi natura), fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagiate condizioni climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.

Unitamente all'acquisitore dovrà essere fornito il software di gestione dello stesso. Il file di output delle misure acquisite dovrà essere, in ogni caso, compatibile con il programma excel (es. formati .xls, .csv, .txt).

#### **15.4.2. Caratteristiche delle apparecchiature**

##### **15.4.2.1. Apparecchiatura a 2 canali**

Queste apparecchiature, alloggiare in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due segnali (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione  $\pm 20000$  punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
  - range di scansione;
  - range di acquisizione;
  - alimentazione dei sensori;
  - fondo scala elettrico;
  - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
- temperatura di funzionamento da  $-20^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$  °C;
- Acquisitore *Multisensor*: possibilità di misurare sensori in corrente ( $4 \div 20$  mA), in tensione, *strain gauge*, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

#### 15.4.2.2. Apparecchiature pluricanali

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- scheda di ingresso a *multiplexer* con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D *autorange* e autozero a doppia rampa con risoluzione  $\pm 20000$  punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;

- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
  - range di scansione;
  - range di acquisizione;
  - alimentazione dei sensori;
  - fondo scala elettrico;
  - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
  - soglie di valore di misura minimo e di massimo per eventuali segnali di allerta.
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-card;
- temperatura di funzionamento da  $-20^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$  C;
- Acquisitore *Multisensor*: possibilità di misurare sensori in corrente ( $4 \div 20$  mA), in tensione, *strain gauge*, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

#### **15.4.3. Installazione**

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo sia da condizioni climatiche particolarmente avverse. In questo ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.

Nel caso sia previsto un monitoraggio in automatico anche a lungo termine, e cioè dopo la fine della realizzazione dell'opera, è necessario che l'acquisitore sia ubicato in modo definitivo in zone protette, facilmente raggiungibili e non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione delle opere e con le fasi di esercizio della stesse.

Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso. Anche in questo caso si dovrà provvedere a cablaggi non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione dell'opera e con le fasi di esercizio della stessa.

Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

#### **15.4.4. Documentazione richiesta relativa all'installazione**

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- manuale d'uso;
- software di gestione e programmazione dell'acquisitore;
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;
- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);
- eventuali note e osservazioni.

## 15.5. Cavi elettrici di collegamento

### 15.5.1. Generalità

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

### 15.5.2. Caratteristiche tecniche

#### 15.5.2.1. Cavi a 6 conduttori

Tali cavi, di diametro non superiore a 9 mm, sono costituiti da 6 conduttori di sezione pari a  $0.22 \text{ mm}^2$ .

#### 15.5.2.2. Cavi multipolari

Tali cavi, di diametro non superiore a 15 mm, sono costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a  $0.22 \text{ mm}^2$ .

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;
- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- norme applicabili: CEI 20-11 CEI 20-29 CEI 46-6;
- isolamento guaina esterna:
  - tensione di prova: 300 V;
  - tensione di esercizio: 300 Vrms;
  - resistenza di isolamento  $> 200 \text{ M}\Omega/\text{Km}$ ;
- isolamento guaina di separazione conduttori:
  - tensione di prova: 300 V;
  - tensione di esercizio: 300 Vrms;
  - resistenza di isolamento  $> 200 \text{ M}\Omega/\text{Km}$ ;
- percentuale calza:
  - $> 90\%$  per cavi con schermo a calza;
  - $> 60\%$  per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
- caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

## 16. Dispositivi per lo smaltimento dell'acqua dagli impalcati

### 16.1. Generalità

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi per la captazione ed il convogliamento dell'acqua o di altri fluidi eventualmente sversati sugli impalcati, siano essi di origine meteorica o apportati artificialmente (in seguito denominati genericamente e per semplicità "acque" o "acque di piattaforma"). Tali dispositivi sono pertanto destinati a drenare la



pavimentazione dalle acque di piattaforma e ad allontanarle dall'opera senza percolazioni e/o stillicidi sulle strutture sottostanti. Saranno di norma costituiti da:

- dispositivi di captazione delle acque, generalmente costituite da caditoie, da “bocche di lupo” o da sistemi ibridi tra le due tipologie, il cui bordo a stramazzo destinato ad accogliere l'acqua deve essere posto a quota tale da poter captare per intero le acque meteoriche provenienti dalla pavimentazione;
- eventuali griglie a protezione dei suddetti dispositivi;
- bocchettoni per il collegamento tra i suddetti dispositivi e il collettore;
- collettore per il convogliamento delle acque.

Le loro geometrie e tipologie sono descritte nei disegni di progetto. In ogni caso, fatti salvi gli impalcati di limitate dimensioni per i quali l'acqua di piattaforma è convogliata lungo i cordoli laterali fino a manufatti posti al di fuori dell'impalcato stesso, i suddetti dispositivi devono essere comunque previsti.

Il caso di adozione di caditoie continue, tanto realizzate con canalette sormontate da griglia, quanto costituite da caditoie singole accostate fra loro, è meno frequente ed il suo utilizzo deve essere adeguatamente motivato.

I dispositivi adottati non dovranno pregiudicare il corretto funzionamento delle barriere di sicurezza, salvo casi di effettiva impossibilità, da giustificare adeguatamente, nei quali la barriera di sicurezza possa essere localmente e puntualmente modificata, senza diminuirne apprezzabilmente la funzionalità, ai sensi del D.M. 21.06.2004 e successivi aggiornamenti.

## 16.2. Componenti

### 16.2.1. Dispositivi di captazione delle acque

#### 16.2.1.1. Caditoie

Potranno essere posizionate:

- all'interno della piattaforma stradale (costituita dall'insieme di corsie di marcia, corsie specializzate, piazzole e banchine), generalmente coincidente con l'area occupata dalla pavimentazione stradale;
- all'esterno della piattaforma stradale;
- parte all'interno e parte all'esterno della piattaforma stradale.

#### Caditoie entro la piattaforma stradale

Saranno poste al compluvio (generalmente coincidente con il bordo esterno della pavimentazione stradale), avranno forma rettangolare, con lato lungo parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato e profondità commisurata allo spessore della pavimentazione stradale ed allo spessore della soletta d'impalcato. La quota del bordo a stramazzo dovrà essere posizionata:

- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato “chiuso”, che si presume impermeabile, a distanza 0 – 1 cm dal filo superiore dello stesso;
- nel caso di presenza di tappeto di usura “drenante”, a distanza 0 – 1 cm dal filo superiore del primo strato impermeabile.

Le caditoie saranno realizzate di norma con cassette in acciaio inossidabile di qualità X5CrNi18-10 UNI EN 10088, corrispondente ad AISI 304, o con altro materiale di adeguate caratteristiche di tenuta idraulica, resistenza alle sostanze aggressive e durabilità, ben aderenti al calcestruzzo della soletta e collegate a sormonto con la membrana impermeabilizzante dell'impalcato e con i suoi risvolti sul cordolo. Il sistema finito deve impedire in modo assoluto l'infiltrazione di acqua tra la cassetta e il calcestruzzo all'intorno. Inoltre, per evitare l'infiltrazione di acqua anche tra la cassetta e la pavimentazione stradale che la circonda, nel caso di presenza di interstizi e discontinuità, questi dovranno essere sigillati a posteriori con mastice bituminoso, bitume colato o con ripresa della pavimentazione.

In alternativa alla soluzione descritta, che comunque sarà adottata per strade di categoria A o B, le caditoie si potranno realizzare con semplici cavi nel getto della soletta, che tuttavia dovranno essere trattati al loro interno con un prodotto impermeabilizzante di provata efficacia, durabilità e resistenza all'abrasione, sul quale sarà sormontato lo strato impermeabilizzante, in modo da ottenere una perfetta tenuta idraulica.

Nel caso in cui le caditoie risultino posizionate su un impalcato a lastra ortotropa, le stesse saranno generalmente realizzate in lamiera, potranno sporgere al di sotto della lamiera superiore di impalcato e dovranno essere verificate agli opportuni carichi accidentali concentrati, in conformità con le norme relative ai carichi sui ponti, di cui al D.M. 14/01/2008.

Le caditoie dovranno essere protette con griglie, posizionate a filo della loro sommità, le cui specifiche sono riportate al punto seguente.

#### Caditoie esterne alla piattaforma stradale

Saranno generalmente ricavate all'interno di canalette realizzate nel cordolo o nel marciapiede, poste perpendicolarmente ad essi o con opportuna obliquità, destinate a convogliare l'acqua verso le caditoie stesse.

Saranno realizzate in analogia con il caso precedente, rispetto al quale dovranno garantire le stesse prestazioni di funzionalità e durabilità.

Le canalette di convogliamento, se ricavate entro un marciapiede, dovranno essere protette con griglia come da specifiche di cui al punto seguente. Il loro fondo dovrà avere una leggera pendenza verso la caditoia e quota iniziale posizionata:

- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato chiuso, più in basso del filo superiore dello stesso;
- nel caso di presenza di tappeto di usura "drenante", più in basso del filo superiore del primo strato impermeabile;
- nel caso di presenza di tappeto di usura in conglomerato chiuso, ma anche di una canaletta corrente lungo il cordolo, ottenuta distaccando da esso il tappeto di usura per una limitata larghezza, tale da non pregiudicare la sicurezza del traffico veicolare e/o pedonale ancorché ne sia interessata unicamente la banchina, più in basso del filo superiore dello strato o elemento strutturale sottostante al tappeto di usura.

In questo specifico caso, se idraulicamente se ne sia verificata la possibilità, le caditoie potranno essere addirittura omesse, ovvero la canaletta costituirà essa stessa una caditoia ed il bocchettone potrà iniziare direttamente dal piano inferiore della canaletta che, essendo un semplice cavo nel calcestruzzo, dovrà essere trattata con prodotto impermeabilizzante, in analogia al caso precedente e dovrà essere ben raccordata con la membrana impermeabilizzante dell'impalcato e con i relativi risvolti.

#### Caditoie in parte esterne e in parte interne alla piattaforma stradale

Per la parte posta internamente alla piattaforma varranno le specifiche sopra riportate per tale caso e così sarà anche per la parte posta all'esterno.

Qualora la larghezza della seconda sia contenuta entro i 10-15 cm, la griglia potrà essere omessa.

#### **16.2.1.2. Bocche di lupo**

Le bocche di lupo sono costituite da aperture praticate entro il bordo interno, in genere rialzato, del cordolo o del marciapiede, comunicanti con una caditoia coperta.

In questo caso la caditoia dovrà essere comunque resa ispezionabile per tramite di una apertura posta superiormente o lateralmente, protetta da chiusino. Per essa valgono per quanto applicabili le prescrizioni di cui al punto precedente.

il bordo a stramazzo della bocca di lupo sarà posto ad una quota più bassa del filo superiore del tappeto di usura, se in conglomerato chiuso, del filo superiore del primo strato impermeabile in presenza di tappeto di usura drenante o del filo superiore dello strato sottostante il tappeto di usura se in conglomerato chiuso ma in presenza di una canaletta di convogliamento posta lungo il cordolo.

In mancanza di canaletta di convogliamento è buona norma agevolare l'ingresso dell'acqua nella bocca di lupo sagomando opportunamente ad imbuto la pavimentazione nel suo immediato intorno, per una larghezza non eccedente i 10-15 cm a partire dal cordolo.

Qualora le dimensioni della bocca e il posizionamento del pozzetto di ispezioni siano tali da non garantire una agevole pulizia del bocchettone e dell'eventuale parafoglie di cui è dotato, è necessario proteggere la bocca di lupo con una opportuna griglia.

### 16.2.1.3. Sistemi ibridi bocca di lupo - caditoia

Si tratta di sistemi che abbinano una bocca di lupo ad una caditoia, posta lungo il cordolo e all'interno della piattaforma stradale. Per ciascuno dei due elementi valgono le rispettive prescrizioni di cui ai punti precedenti.

### 16.2.2. Griglie

Le griglie saranno conformi a quanto stabilito all'articolo riguardante il drenaggio del corpo autostradale.

Qualora disposte orizzontalmente, per la loro resistenza statica dovranno rispondere alle norme UNI EN 124. Inoltre, se eseguite in acciaio da carpenteria, dovranno essere sempre zincate a caldo con forte spessore di zinco, secondo le norme UNI EN ISO 1461.

### 16.2.3. Bocchettoni

I bocchettoni sono spezzoni di tubo usualmente dotati di una flangia o risvolto in sommità, che vengono collocati verticalmente all'interno di un foro preventivamente praticato nella soletta o nella lamiera costituente la caditoia (eventualmente in caso di applicazione su lastra ortotropa).

Qualora la caditoia sia realizzata tramite una scatola in acciaio inossidabile, il bocchettone sarà realizzato nello stesso materiale. Qualora invece ci si trovi in presenza di semplici cavi nelle strutture in calcestruzzo armato, opportunamente trattate con prodotto impermeabilizzante, il bocchettone potrà essere realizzato in materiale plastico, compatibile con il tipo di tubazione che ne costituirà la prosecuzione e di elevate durabilità e resistenza meccanica ed agli agenti aggressivi.

Mentre non è strettamente necessario che vi sia tenuta idraulica nel contatto tra il bocchettone e la parete verticale del foro in cui è alloggiato, è viceversa assolutamente necessario che vi sia tenuta idraulica tra il bocchettone (o il suo risvolto o flangia) e il fondo della caditoia, o della canaletta praticata nel cordolo o nel marciapiede o anche della membrana impermeabilizzante della soletta di impalcato. In ogni caso dovrà evitarsi nel modo più assoluto qualunque infiltrazione di acqua tra il bocchettone e le pareti del foro. Ciò sarà ottenuto con la tecnologia più appropriata (saldatura metallica, termosaldatura, incollaggio a freddo, ecc.), in funzione dei materiali costituenti bocchettone, caditoia e membrana impermeabilizzante dell'impalcato.

Qualora non sia prevista una protezione con griglia, rispetto alla possibilità di ingresso nel bocchettone di materie solide in grado di ostruire le tubazioni di scarico, occorre dotarlo di un opportuno "parafoglie", costituito generalmente da un elemento dotato in sommità di una griglia cupoliforme, da introdurre a pressione nel bocchettone. Tale elemento dovrà anch'esso essere realizzato con acciaio inossidabile o, nei casi di minore importanza, in materiale plastico delle caratteristiche più sopra indicate.

### 16.2.4. Collettori

I collettori, salvo diverse esplicite prescrizioni progettuali o della Direzione Lavori, saranno costituiti da tubazioni in uno dei seguenti materiali:

- acciaio inossidabile di qualità X5CrNi18-10 UNI EN 10088;
- polietilene ad alta densità (PEAD);
- PVC-U secondo norma UNI EN 1452;
- acciaio da carpenteria secondo UNI EN 10224, con verniciatura interna antiabrasiva ed anticorrosiva a base epossidica.

La loro resistenza statica e rigidità dovranno essere commisurate al passo degli elementi di supporto ed ai carichi cui sono soggetti, fra i quali il peso del fluido convogliato, ipotizzandone cautelativamente il totale riempimento. Dovranno altresì resistere alla pressione idrostatica che si potrebbe determinare al loro interno per effetto di una ostruzione in un punto qualunque del sistema di convogliamento dell'acqua di impalcato.

Gli elementi di supporto dovranno avere adeguata resistenza ed essere regolabili, in modo da garantire il rispetto delle pendenze previste dal progetto e comunque tali da consentire un agevole scorrimento dell'acqua convogliata.

Qualora i collettori (trasversali o longitudinali) siano collocati direttamente al di sopra di aree potenzialmente interessate da transito abituale di veicoli o persone, in special modo se trattasi di strade pubbliche, linee ferroviarie e aree pertinenziali di edifici, senza che siano state previste efficaci protezioni contro la caduta loro parti costitutive per effetto di impreviste rotture, gli stessi collettori dovranno essere oggetto di apposita calcolazione statica o, in mancanza di criteri di calcolo affidabili, di prove di resistenza, che ne assicurino la stabilità con un grado di sicurezza non inferiore a quello degli altri elementi strutturali.

I giunti e/o la modalità della posa in opera dei collettori dovranno essere compatibili con le deformazioni e gli spostamenti previsti per l'impalcato o per gli impalcati adiacenti, qualora essi attraversino un giunto di dilatazione ed anche, in ogni caso, con le deformazioni proprie indotte dalle dilatazioni termiche e dal peso del fluido convogliato. A tali fini dovranno se del caso essere adottati sistemi di supporto o pezzi speciali, che consentano i movimenti dei collettori, senza che ne risultino pregiudicate l'integrità, la durabilità e la tenuta idraulica.

In casi particolari, ferme restando tutte le altre prescrizioni ed avendo cura di garantire gli opportuni franchi di sicurezza nel calcolo della portata idrica, unicamente per il collettamento longitudinale potranno essere adottate canalette a cielo aperto, opportunamente sagomate. In tal caso le stesse dovranno necessariamente essere realizzate in acciaio inossidabile di qualità come precedentemente indicato o in acciaio da carpenteria, opportunamente trattato sul lato a contatto con l'acqua con verniciatura protettiva ad alto spessore, resistente all'abrasione ed agli agenti aggressivi, le cui caratteristiche dovranno preventivamente essere approvate dalla Direzione Lavori.

### **16.3. Accettazione e controlli**

I diversi componenti dei dispositivi dovranno recare la marcatura CE e la prescritta documentazione a corredo, in conformità alle disposizioni delle norme europee armonizzate ad essi relative.

La Direzione Lavori controllerà, prima della posa in opera, i diversi elementi per accertarne la corrispondenza alle caratteristiche dimensionali previste in Progetto.

Successivamente alla posa in opera la Direzione Lavori controllerà la corretta esecuzione degli allineamenti e dell'ubicazione, disponendo il rifacimento di quanto non conforme al Progetto.

## **17. Sistemi di drenaggio del corpo stradale**

### **17.1. Campo di applicazione**

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi di drenaggio del corpo stradale, con particolare riferimento alle autostrade, consistenti in:

- tubazioni;
- pozzetti e relativi dispositivi di chiusura e di coronamento;
- canali di drenaggio;
- canalette, mantellate, cordonate.

### **17.2. Tubazioni**

#### **17.2.1. Materiali**

##### **17.2.1.1. Generalità**

Per i sistemi di drenaggio e convogliamento delle acque superficiali interessanti il corpo autostradale è previsto l'impiego di:

- tubi in polivinilcloruro per fognature (PVC-U);
- tubi strutturati in PVC-U, polipropilene (PP) e polietilene (PE);
- tubi in calcestruzzo non armato;

- tubi in calcestruzzo armato con fibre di acciaio o con armature tradizionali.

#### **17.2.1.2. Tubi in PVC-U**

I tubi in PVC-U per fognature saranno conformi alla norma UNI EN 1401 per:

- caratteristiche dei materiali per i tubi e per i raccordi;
- dimensioni dei tubi (diametri, lunghezze, spessori della parete);
- dimensioni dei raccordi, dei bicchieri, dei codoli;
- caratteristiche fisiche dei tubi e dei raccordi;
- caratteristiche meccaniche dei tubi e dei raccordi;
- requisiti prestazionali (tenuta, resistenza a cicli termici);
- requisiti delle guarnizioni;
- requisiti degli adesivi per le giunzioni.

#### **17.2.1.3. Tubi strutturati in PVC-U, PP e PE**

I tubi strutturati in PVC-U, PP e PE saranno conformi alla norma UNI 10968 per:

- caratteristiche dei materiali per i tubi e per i raccordi;
- metodi di giunzione;
- dimensioni dei tubi (diametri, lunghezze, spessori della parete);
- dimensioni dei raccordi;
- profili di parete;
- caratteristiche fisiche dei tubi e dei raccordi;
- caratteristiche meccaniche dei tubi e dei raccordi;
- requisiti prestazionali (tenuta dei tubi e delle giunzioni, resistenza a cicli termici, trazione delle giunzioni);
- requisiti delle guarnizioni;
- requisiti degli adesivi per le giunzioni.

#### **17.2.1.4. Tubi in calcestruzzo con armature tradizionali o fibrorinforzato**

Sono adottabili tubi in calcestruzzo non armato o armato con una o più gabbie d'acciaio o con fibre in acciaio.

Il calcestruzzo, così come i diversi materiali componenti (aggregati, acqua d'impasto, additivi, aggiunte, nonché acciaio di armatura e fibre di acciaio) dovranno essere conformi a quanto stabilito nella norma UNI EN 1916.

I giunti devono consentire il regolare accoppiamento geometrico dei tubi ed il loro allineamento in modo che quando i tubi sono posti in opera la loro superficie interna venga a costituire una condotta regolare e priva di discontinuità nel diametro. Il disegno del giunto, tenuto conto del tipo di giunzione e delle tolleranze effettive, dovrà assicurare la tenuta idraulica della condotta nelle condizioni di esercizio.

Le guarnizioni di tenuta saranno conformi alla EN 681-1, atte a garantire la tenuta idraulica perfetta ad una pressione interna di esercizio di 0,5 atm e, per quanto riguarda la durabilità, ai requisiti della norma UNI EN 1916.

## **17.2.2. Posa in opera**

### **17.2.2.1. Scarico ed accatastamento**

Per il carico, il trasporto, lo scarico e l'accatastamento dovranno osservarsi le eventuali istruzioni del costruttore nonché i requisiti delle norme di prodotto pertinenti; dovranno comunque impiegarsi i mezzi e gli accorgimenti idonei ad evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.

Tutti i materiali dovranno essere immagazzinati in maniera tale da conservarli integri e da evitare contaminazioni o degradazioni; per esempio i componenti elastomerici delle giunzioni dovranno essere tenuti puliti e protetti dall'esposizione a fonti di ozono (per esempio apparecchiature elettriche), alla luce solare ed a fonti di calore, nonché al contatto con oli o grassi.

L'accatastamento dovrà essere effettuato su supporti atti a mantenere i tubi sollevati dal suolo per evitare danni ai rivestimenti ed ai giunti, provvedendo a fissare i tubi per evitare che rotolino ed evitando altezze di impilamento eccessive in modo che i tubi inferiori non risultino sovraccaricati.

Non si devono collocare pile di tubi in prossimità di trincee aperte.

### **17.2.2.2. Scavo**

Le trincee dovranno essere scavate in maniera tale da garantire un'installazione corretta delle tubazioni, nel rispetto degli accorgimenti e dei dispositivi previsti nel piano di sicurezza.

Se per la costruzione, è necessario accedere alle pareti esterne di strutture sotterranee, come nel caso di pozzetti, si dovrà prevedere uno spazio di lavoro minimo protetto largo 0,50 m.

Laddove due o più tubi vengano posati nella stessa trincea o sotto un terrapieno, si deve rispettare una distanza orizzontale minima fra le tubazioni: ove non altrimenti specificato, essa dovrà essere di: 0,35 m per tubi fino a DN 700 compreso e di 0,50 m per tubi maggiori di DN 700.

In presenza di altre tubazioni o costruzioni, si dovranno osservare misure di sicurezza adeguate al fine di proteggerle dal rischio di danneggiamenti.

La larghezza delle trincee non dovrà superare il valore massimo specificato in progetto; qualora, all'atto dello scavo, ciò non risultasse possibile, il problema dovrà essere sottoposto alla Direzione Lavori per le decisioni del caso.

La larghezza minima delle trincee dovrà essere quella stabilita nella norma UNI EN 1610.

Il materiale di risulta dello scavo, qualora dalla Direzione Lavori ritenuto idoneo ad essere reimpiegato per il rinfianco ed il rinterro, sarà depositato provvisoriamente; in caso contrario sarà conferito a deposito.

### **17.2.2.3. Letto di posa**

I tubi saranno adagiati su un letto di posa in sabbia o ghiaia fine, di spessore non inferiore a:

- 10 cm in presenza di terreno di normale consistenza;
- 15 cm in presenza di terreno duro o di roccia lapidea.

Il letto di posa dovrà essere spianato e livellato in modo da eliminare discontinuità dell'appoggio (salvo le nicchie per le giunzioni a bicchiere); in nessun caso sarà consentito di regolare la posizione dei tubi nella trincea ricorrendo a pietre, mattoni, legname o ad altri appoggi discontinui.

Qualora si rendessero necessari aggiustamenti nell'altimetria, questi saranno effettuati alzando o abbassando la quota dell'appoggio, garantendo sempre che, alla fine, i tubi siano supportati per tutta la loro lunghezza, senza ricorrere a riempimenti locali.

### **17.2.2.4. Installazione**

La posa dei tubi inizierà preferibilmente dall'estremità a valle con i bicchieri rivolti a monte.

In caso di lunghe interruzioni dei lavori, si provvederà a chiudere temporaneamente le estremità dei tubi; i tappi protettivi saranno rimossi solo immediatamente prima di eseguire le giunzioni; qualsiasi materiale rimasto nel tubo dovrà essere comunque rimosso.

Le parti della superficie del tubo che venissero a contatto con i materiali di giunzione dovranno essere prive di difetti, pulite e, se necessario, asciutte; i giunti scorrevoli dovranno essere lubrificati con i lubrificanti e secondo i metodi raccomandati dal fabbricante.

Nei casi in cui i tubi non possano essere giuntati manualmente, dovranno impiegarsi adeguate attrezzature idrauliche o manuali di tiro (*Tirfor*<sup>(1)</sup> o simili), essendo tassativamente vietato il ricorso alla spinta con macchinari (escavatori, pale, dozer, ecc.) non espressamente previsti a questo scopo.

Nell'esecuzione delle giunzioni a bicchiere dovrà essere rispettata la distanza fra l'estremità della parte imboccata e la battuta del tubo successivo specificata dal fabbricante.

Le giunzioni dovranno essere eseguite applicando progressivamente una forza assiale senza sollecitare eccessivamente i componenti; a giunzione eseguita, l'allineamento dovrà essere controllato e, se necessario, corretto.

Laddove necessario, si devono prevedere per i bicchieri nicchie di dimensioni sufficienti per l'esecuzione del corretto accoppiamento e per impedire che il tubo poggi sul giunto; la nicchia per il bicchiere dovrà avere le dimensioni minime compatibili con il corretto montaggio del giunto.

I tagli dovranno essere eseguiti con gli utensili idonei, secondo le raccomandazioni del fabbricante del tubo ed in modo tale da garantire prestazioni adeguate dei giunti.

Laddove esista il rischio di galleggiamento durante l'installazione, i tubi dovranno essere mantenuti in sito mediante carichi o ancoraggi adeguati.

#### **17.2.2.5. Rinfianco e rinterro**

Si definisce come rinfianco il materiale posto superiormente al letto di posa e sino a 30 cm sopra la sommità della tubazione; si definisce come rinterro il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).

Di norma il materiale per il rinfianco sarà quello di risulta degli scavi, opportunamente selezionato per eliminare eventuale materiale non idoneo (per dimensioni, forma, ecc.).

Il costipamento dovrà avvenire con attrezzature, numero di passaggi e spessore degli strati atti ad ottenere il grado di costipamento pari almeno al 95% della densità optimum di Proctor mod. (ove non altrimenti specificato in Progetto), tenendo conto delle caratteristiche del tubo da installare al fine di evitare di arrecare danni allo stesso.

Il costipamento previa saturazione di acqua del rinfianco è ammissibile – su autorizzazione della Direzione Lavori - soltanto in casi eccezionali ed in presenza di terreni incoerenti.

#### **17.2.3. Controlli ed accettazione**

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della marcatura CE e della relativa documentazione.

Tutti gli elementi di tubazione dovranno recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 1401, UNI 10968 e UNI EN 1916 rispettivamente per i tubi in PVC-U per fognature, per i tubi strutturati in PVC-U, PP e PE e per i tubi in c.a.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

---

<sup>(1)</sup> "Tirfor" è un marchio di proprietà del Gruppo Tractel.

#### **17.2.4. Controlli in cantiere**

##### **17.2.4.1. Livellette**

A tubazione posata, prima dell'esecuzione del rinfianco, verrà eseguito un controllo topografico mirato ad accertare il rispetto delle livellette di Progetto.

In caso di un risultato negativo della verifica, la Direzione Lavori disporrà i provvedimenti per la correzione dei difetti riscontrati, sino alla demolizione del già eseguito ed al rifacimento a carico dell'Appaltatore.

##### **17.2.4.2. Costipamento del rinfianco**

Il costipamento del rinfianco sarà controllato mediante prove di densità disposte dalla Direzione Lavori nella misura di una ogni 100 m di tracciato, prima dell'esecuzione del rinterro.

Nel caso che i valori prescritti non siano rispettati, si procederà ad un ulteriore controllo su altrettanti punti; in caso di risultati nuovamente insoddisfacenti, la Direzione Lavori disporrà l'asportazione del materiale ed il rifacimento del rinfianco nelle zone non accettate.

##### **17.2.4.3. Collaudo in opera**

Il collaudo in opera delle tubazioni sarà effettuato secondo le disposizioni della Direzione Lavori in base ai metodi indicati nella UNI EN 1610 (ad acqua o preferibilmente ad aria).

Condizione per l'accettazione sarà il riscontro di valori delle perdite inferiori a quelli ammissibili stabiliti dalla UNI EN 1401-3 per i per i tubi in PVC-U per fognature e della norma UNI EN 1610 per i tubi strutturati in PVC-U, PP e PE e per i tubi in c.a.

In caso di valori superiori, la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

#### **17.2.5. Norme di misurazione**

Le tubazioni saranno misurate secondo il loro sviluppo al lordo delle interruzioni in corrispondenza dei pozzetti di linea.

I relativi articoli di Elenco Prezzi comprendono: fornitura dei tubi (compresi i pezzi speciali), trasporto, scarico, deposito, sfilamento, posa comprensiva di ogni lavorazione per tappi provvisori, giunzioni, inserimento nei pozzetti, collaudi.

Lo scavo della trincea, valutato come scavo di fondazione, sarà misurato a volume considerando la sezione di scavo di progetto e lo stesso sviluppo indicato per le tubazioni.

Il relativo articolo di Elenco prezzi compensa anche il rinfianco ed il rinterro delle tubazioni eseguite con materiale di risulta degli scavi (comprese le lavorazioni per la selezione del materiale); nel caso che per questi non venga impiegato materiale da cava o calcestruzzo o venga prescritta la stabilizzazione con cemento, tali forniture e lavorazioni verranno compensate a parte.

Il letto di posa sarà misurato a volume considerando la sezione di posa di Progetto e lo stesso sviluppo indicato per le tubazioni.

### **17.3. Pozzetti**

#### **17.3.1. Materiali**

##### **17.3.1.1. Generalità**

I pozzetti di cui è previsto l'impiego per ispezione, incrocio e salto, possono essere:



- prefabbricati in c.a.v.;
- in PE strutturato.

#### **17.3.1.2. Pozzetti prefabbricati in c.a.v.**

Il calcestruzzo, così come i diversi materiali componenti (aggregati, acqua d'impasto, additivi, aggiunte, nonché acciaio di armatura e fibre di acciaio) dovranno essere conformi a quanto stabilito nella norma UNI EN 1917.

Il calcestruzzo, realizzato con cemento ad alta resistenza ai solfati, avrà  $R_{ck}$  non inferiore a 40 MPa.

Le guarnizioni di tenuta tra i diversi elementi del prefabbricato, incorporate nel giunto in fase di prefabbricazione ovvero fornite unitamente al manufatto da parte del fabbricante, saranno conformi alla UNI EN 681-1.

I pozzetti dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente (elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale).

Essi dovranno inoltre essere tali da garantire il rispetto delle prescrizioni relative alla tutela delle acque di cui al D.Lgs. 03/04/2006 n. 152, Norme in materia ambientale.

In caso di presenza di scale per l'accesso al fondo, i gradini saranno in tondino di acciaio rivestito in polipropilene anti-sdrucchiolo o verniciato antiruggine, opportunamente bloccati nella parete con malta espansiva.

#### **17.3.1.3. Pozzetti in PE strutturato**

I pozzetti in polietilene strutturato saranno certificati dal marchio IIP UNI rilasciato dall'Istituto Italiano dei (materiali) Plastici e saranno conformi alle norme UNI EN 13598-1 e UNI EN 13598-2 per quanto riguarda caratteristiche dei materiali costituenti e delle guarnizioni, caratteristiche generali, geometriche e meccaniche e requisiti prestazionali.

I pozzetti dovranno essere idonei a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente (elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale).

I pozzetti potranno essere costituiti da:

- elemento di base in PEMD stampato, predisposto per l'innesto delle tubazioni;
- elementi intermedi in PEAD strutturato;
- elemento terminale in PEMD, con eventuale riduzione.

ovvero ricavati da tubo in PEAD strutturato mediante saldatura.

La giunzione tra i diversi elementi dei pozzetti con elemento di base stampato sarà realizzata ancora per saldatura o tramite guarnizione in gomma EPDM; pure in in gomma EPDM saranno gli innesti delle tubazioni afferenti al pozzetto.

Le saldature del PE dovranno essere eseguite da personale specializzato secondo le specifiche norme UNI e raccomandazioni dell'IIP.

#### **17.3.2. Posa in opera**

La posa in opera dei pozzetti avverrà previa preparazione del piano di posa mediante regolarizzazione, costipamento e realizzazione di un allettamento in calcestruzzo magro.

Il riempimento laterale verrà eseguito per strati, compattando il materiale; si curerà di procedere uniformemente su tutti i lati, in modo da non provocare spinte asimmetriche.

#### **17.3.3. Controlli ed accettazione**

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della marcatura e della relativa documentazione.

Ogni elemento di pozzetto o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE e la prescritta documentazione a corredo, in conformità alle norme UNI EN 1917 per i pozzetti in c.a.v. e UNI EN 13598-1 e UNI EN 13598-2, rispettivamente per quelli in PE strutturato.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

#### **17.3.4. Controlli in cantiere**

I controlli in cantiere (compreso il collaudo idraulico in opera) saranno effettuati contestualmente a quelli delle tubazioni, secondo quanto indicato al relativo articolo.

#### **17.3.5. Norme di misurazione**

I pozzetti prefabbricati saranno misurati a numero secondo le dimensioni.

Gli articoli di Elenco Prezzi comprendono ogni onere per trasporto, scarico, movimentazione nell'ambito del cantiere, posa in opera, collegamento e sigillatura delle tubazioni, controllo idraulico ed ogni altra opera per ottenere un pozzetto perfettamente funzionante ed a tenuta, esclusi solo lo scavo e il calcestruzzo magro di sottofondazione.

### **17.4. Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti**

#### **17.4.1. Definizioni**

Si definiscono:

- dispositivo di chiusura: parte del pozzetto di ispezione costituita da un telaio e da un coperchio (denominato anche "chiusino") e/o una griglia;
- dispositivo di coronamento: parte del pozzetto di raccolta costituita da un telaio e da una griglia e/o un coperchio;
- telaio: elemento fisso di un dispositivo di coronamento o di chiusura, destinato all'alloggiamento ed al sostegno di una griglia o di un coperchio;
- griglia: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che consente il deflusso dell'acqua nel pozzetto di raccolta;
- coperchio (o chiusino): elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che copre l'apertura del pozzetto di raccolta o di ispezione.

#### **17.4.2. Materiali**

I dispositivi di chiusura e di coronamento possono essere fabbricati con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo;
- calcestruzzo armato (non per le griglie).

Le caratteristiche statiche e dimensionali (fessure e fori di aerazione, apertura di accesso, profondità di incastro, giochi tra le diverse parti, telaio), nonché i requisiti costitutivi (sedi, protezione degli spigoli, sistemi di fissaggio, di sbloccaggio e di rimozione, tenuta) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 124.

Le caratteristiche di spessore e protezione dalla corrosione per l'acciaio laminato saranno quelle stabilite nella norma UNI EN 124.

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 124.

#### **17.4.3. Posa in opera**

Per quanto non in contrasto con il presente Capitolato dovrà farsi riferimento alla norma UNI/TR 11256: Guida all'installazione di dispositivi di coronamento e di chiusura in zone di circolazione pedonale e/o veicolare (chiusini e caditoie). In ogni caso, per le operazioni in presenza di traffico, prevarranno le disposizioni impartite dal soggetto gestore della strada.

A pozzetto ultimato, il coronamento di questo sarà leggermente scarificato, in modo che la superficie ruvida così ottenuta favorisca l'adesione della malta cementizia che costituirà il letto di appoggio del telaio.

Prima della posa in opera la superficie di appoggio dovrà essere convenientemente pulita e bagnata.

Per la preparazione e la stesa della malta si osserveranno le istruzioni indicate dal fabbricante. Lo spessore di malta sarà compreso tra 2 e 3 cm.

Qualora occorressero spessori maggiori si dovrà ricorrere, secondo le disposizioni della Direzione Lavori, o all'esecuzione di un sottile getto di conglomerato cementizio con Rck 30 MPa opportunamente armato, oppure all'impiego di anelli di appoggio in conglomerato cementizio prefabbricato; in nessun caso potranno essere inseriti sotto il telaio, a secco o immersi nel letto di malta, pietre, schegge o frammenti di mattoni.

Il telaio sarà posizionato planimetricamente in modo che la sua luce coincida con quella del pozzetto, ed altimetricamente in modo che la superficie superiore del dispositivo si trovi, a lavoro ultimato, alla quota della pavimentazione finita (tenuto conto degli eventuali inviti per i pozzetti esterni alle corsie di traffico).

Il fissaggio nella malta sarà eseguito senza sbavature sulla superficie di appoggio del coperchio nel telaio, e lasciando liberi almeno gli ultimi 3 cm superiori del bordo del telaio, per permettere la rifinitura a livello del manto stradale.

Nel caso che, in conseguenza di assestamenti sotto carico o di altre cause, si dovesse provvedere al ricollocamento in quota del telaio, quest'ultimo dovrà essere rimosso ed i resti di malta indurita completamente asportati. Si procederà quindi al ricollocamento con le modalità precedentemente descritte.

L'elemento non sarà transitabile per il tempo necessario alla maturazione dei materiali impiegati, in funzione della temperatura e dell'umidità ambientali.

Per altri aspetti di dettaglio si farà riferimento alle specifiche del fabbricante.

Gli elementi di chiusura dovranno essere fissati al telaio in modo da non poter essere asportati dai pedoni o dai mezzi in transito al di sopra di essi e, nel caso dei coperchi metallici, questi dovranno essere dotati di un opportuno dispositivo di chiusura a chiave. Al contempo i coperchi dovranno recare un dispositivo atto ad agevolare il loro sollevamento.

#### **17.4.4. Controlli ed accettazione**

Ogni elemento o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 124.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

#### **17.4.5. Controlli in cantiere**

A posa effettuata e prima dell'esecuzione della pavimentazione verrà eseguito un controllo topografico mirato ad accertare il corretto posizionamento del dispositivo in relazione alle quote di Progetto della pavimentazione finita.

A pavimentazione completata verrà eseguito un ulteriore controllo.

In caso di un risultato negativo delle verifiche, la Direzione Lavori disporrà i provvedimenti per la correzione dei difetti riscontrati, sino alla demolizione del già eseguito ed al rifacimento a carico dell'Appaltatore.

#### **17.4.6. Norme di misurazione**

I dispositivi di coronamento saranno contabilizzati per m<sup>2</sup> di superficie, per kg di peso o a numero, secondo il tipo.

### **17.5. Canali di drenaggio**

#### **17.5.1. Definizioni**

Si definisce canale di drenaggio un'entità lineare, in genere composta da unità prefabbricate, che permette la raccolta e il trasporto di acqua superficiale per tutta la sua lunghezza.

#### **17.5.2. Materiali**

I canali di drenaggio, ad eccezione delle griglie e delle coperture, possono essere fabbricati con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- calcestruzzo armato o non armato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo o calcestruzzo con resina sintetica con fibra;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo rinforzato con fibre.

Le griglie e le coperture possono essere fabbricate con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- leghe a base di rame;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo rinforzato con fibre.

La protezione contro la corrosione dell'acciaio laminato sarà conforme alle norme richiamate nella UNI EN 1433.

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 1433.

Le caratteristiche dimensionali (sezioni, fessure ed altre aperture, profondità dell'inserimento di griglie e coperture) ed i requisiti costitutivi (sedi, protezione dei bordi, sistemi di fissaggio delle griglie e delle coperture, giunzioni, tenuta, trattamento superficiale, contenitori per i detriti) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 1433.

### **17.5.3. Posa in opera**

La posa in opera dovrà avvenire secondo le istruzioni allegate alla fornitura.

In particolare, per i canali di drenaggio richiedenti ulteriore supporto per sostenere i carichi di servizio (designate come "tipo M" nella UNI EN 1433) l'affiancamento dei diversi elementi, nonché le dimensioni, la classe di calcestruzzo e l'armatura del supporto dovranno essere conformi alle istruzioni del fabbricante.

### **17.5.4. Controlli ed accettazione**

Ogni elemento o, ove ciò non fosse possibile, ogni unità di imballaggio, dovrà recare la marcatura CE, conforme alle disposizioni delle norme UNI EN 1433.

Per ogni partita l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori la dichiarazione di conformità ed i relativi allegati ai sensi delle norme citate.

Su richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà altresì prestarsi all'esecuzione di prove supplementari del tipo stabilito dalla norma, nel numero massimo di quelle da effettuarsi come controllo periodico della produzione.

### **17.5.5. Controlli in cantiere**

Successivamente al montaggio degli elementi ed alla loro giunzione, verrà effettuato il collaudo in sito per tratti di canale secondo le disposizioni della Direzione Lavori, chiudendo le estremità aperte e riempiendo il tratto di canale sotto prova sino al massimo livello all'estremo di valle.

Il collaudo si riterrà positivo se in un intervallo di tempo di 30 minuti non si verificheranno perdite in corrispondenza delle giunzioni o attraverso il corpo delle canalette.

### **17.5.6. Norme di misurazione**

I canali di drenaggio saranno misurati secondo il loro sviluppo al lordo delle interruzioni in corrispondenza di eventuali pozzetti di linea.

I relativi articoli di Elenco Prezzi comprendono: fornitura (compresi i pezzi speciali), trasporto, scarico, deposito, sfilamento, scavo della sede d'imposta, posa comprensiva di ogni lavorazione per tappi provvisori, giunzioni, inserimento nei pozzetti, rinfianco e rifiniture, collaudi.

## **17.6. Canalette, mantellate, cordonate e simili**

### **17.6.1. Materiali**

Canalette, mantellate in lastre o a grigliato articolato, rivestimenti di fossi, cordonate, saranno costituiti da elementi prefabbricati in c.a.v., prodotti da aziende di provata esperienza ed affidabilità.

Gli elementi dovranno rispondere alle norme:

- UNI EN 1338 per le mantellate in masselli autobloccanti e grigliati articolati;
- UNI EN 1339 per le mantellate in lastre;
- UNI EN 1340 per i cordonati e simili.

Gli elementi dovranno essere in ogni caso costituiti da calcestruzzo avente Rck non inferiore a 25 MPa.

Le superfici in vista degli elementi dovranno essere perfettamente lisce e le loro caratteristiche dimensionali saranno conformi ai disegni di progetto.

#### **17.6.2. Posa in opera**

La posa in opera dovrà avvenire su piani opportunamente preparati, anche mediante costipamento, in modo da evitare successivi cedimenti.

Ove previsto si procederà alla stesa di malta di allettamento.

I giunti verranno accuratamente stuccati, previa abbondante bagnatura.

Per gli elementi di copertura di ampie superfici (mantellate in lastre) dovranno essere realizzati giunti di dilatazione (indicativamente ogni 4-5 m) da sigillare con mastice bituminoso, salvo diverse indicazioni del produttore.

Per gli elementi collocati lungo le scarpate (ad es. canalette ad embrice) dovrà provvedersi all'ancoraggio mediante tondini in ferro secondo i disegni di progetto o come disposto dalla Direzione Lavori. In ogni caso il fissaggio dovrà garantire che gli elementi non possano scorrere verso il basso per gravità, per effetto delle vibrazioni o del carico di esercizio.

Per le mantellate a grigliato articolato, dopo il montaggio degli elementi si procederà al riempimento delle cavità con terra vegetale ed alla semina con miscuglio di erbe da prato perenni secondo le previsioni di Progetto.

Verrà posta ogni cura nella realizzazione degli allineamenti, e per gli elementi interferenti con la piattaforma stradale (imbocchi ad embrice, cordonature, ecc.) la precisa ubicazione in quota, in ragione del raccordo con la pavimentazione e della garanzia di un regolare deflusso delle acque.

#### **17.6.3. Controlli ed accettazione**

Per ogni partita di fornitura l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori i documenti e le certificazioni relativi alla marcatura CE, ai sensi della pertinente norma armonizzata di riferimento.

#### **17.6.4. Controlli in cantiere**

La Direzione Lavori controllerà, prima della posa in opera, i diversi elementi per accertarne la corrispondenza alle caratteristiche dimensionali previste in Progetto e la regolarità delle forme e dei giunti.

Successivamente alla posa in opera degli elementi la Direzione Lavori controllerà la corretta esecuzione degli allineamenti planimetrici, dell'ubicazione altimetrica e della realizzazione dei giunti, disponendo il rifacimento di quanto non conforme al Progetto.

#### **17.6.5. Norme di misurazione**

I prezzi di elenco compensano ogni onere per: fornitura, trasporto, carico, scarico, preparazione del piano di posa ed allettamento, ancoraggi, riempimenti in terra vegetale (per le mantellate ad articolato grigliato), realizzazione dei giunti, sia per gli elementi correnti sia per quelli speciali (imbocchi di embrici, raccordi e curve, ...).

### **18. Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata**

#### **18.1. Campo di applicazione**

Le presenti specifiche riguardano manufatti per tombini e sottopassi aventi struttura portante in lamiera di acciaio ondulata, con onda normale alla generatrice, a piastre multiple o ad elementi incastrati.

I manufatti a piastre multiple saranno costituiti da più piastre curve da assemblare con bullonature.

Per i manufatti ad elementi incastrati l'elemento tipo sarà costituito da due mezze sezioni curvate ai raggi prescritti; dei due bordi longitudinali di ogni elemento uno sarà a dritto filo, l'altro ad intagli tali da formare quattro riseghe atte a ricevere ad incastro il bordo dritto dell'altro elemento.

Quando il manufatto sia di limitata importanza, come ad esempio nel caso di tombini tubolari di diametro non superiore ad 1.50 m, alcuni controlli e prove indicati nel seguito, fatta eccezione per quelli di cui agli articoli: 20.4.1 (quanto ai prelievi di elementi da sottoporre a prove), 20.4.2 (quanto alla lettera a) ed alle vernici), 20.5.1 e 20.5.2, potranno essere omessi a discrezione della Direzione Lavori.

## **18.2. Materiali**

### **18.2.1. Lamiera ondulata**

L'acciaio delle lamiere sarà al carbonio e conforme alle norme UNI EN 10025.

La geometria delle ondulazioni sarà conforme alle norme AASHO M167 e AASHO M36.

La struttura dovrà comunque presentare una rigidezza sufficiente ai fini della movimentazione e dell'installazione.

### **18.2.2. Bulloni**

Verranno utilizzati bulloni ad alta resistenza aventi caratteristiche meccaniche conformi alla norma UNI EN 20898.

Per i bulloni le associazioni dadi-viti sarà conforme alla CNR UNI 10011.

Le associazioni tra bulloni ed ondulazioni della lamiera saranno conformi alle indicazioni del produttore.

### **18.2.3. Giunti**

I requisiti meccanici e prestazionali dei giunti dovranno essere conformi a consolidati sistemi di standardizzazione, quali quelli sviluppati dal *Bridge Design Code Committee* dell'AASHTO, pubblicati nelle *AASHTO Bridge Specifications, Division II, Section 26.4.2*, o ad altri ritenuti equivalenti a giudizio della Direzione Lavori.

### **18.2.4. Rivestimenti protettivi**

#### **18.2.4.1. Zincatura**

La zincatura dei tubi sarà ottenuta in continuo in conformità alla norma UNI EN 10147. Quella delle lamiere sarà ottenuta per immersione a caldo in conformità alla norma UNI EN ISO 1461.

La qualità e lo spessore della zincatura sarà conforme alle norme citate, secondo il metodo di zincatura.

La zincatura dei bulloni sarà conforme alla UNI 3740-6.

#### **18.2.4.2. Rivestimento bituminoso**

Qualora previsto in Progetto in relazione ad una particolare aggressività dei terreni, ai manufatti verrà applicata un'ulteriore protezione contro la corrosione costituita da mastice asfaltico contenente *filler* minerale e stabilizzanti, conformi alle norme AASHTO M 243 o ASTM A849.

## **18.3. Posa in opera**

### **18.3.1. Fornitura, trasporto e scarico**

Gli elementi di lamiera saranno forniti in imballaggi completi di piastre e bulloneria, nonché degli attrezzi da impiegare per il montaggio, con le istruzioni complete e dettagliate per l'assemblaggio (relative alla sequenza di montaggio ed alla posizione dei singoli pezzi).

I singoli pezzi dovranno essere chiaramente contrassegnati, così da facilitarne l'identificazione, la movimentazione e la collocazione senza procedere a tentativi.

Lo scarico e la movimentazione delle lamiere in cantiere dovranno avvenire con idonee cautele atte a conservare puliti i vari pezzi e a non danneggiare il rivestimento, tanto di zinco quanto bituminoso.

E' pertanto prescritto l'impiego di sollevamento e tassativamente vietato l'impiego di mezzi ribaltanti.

La sistemazione a deposito dovrà avvenire in modo razionale in un'area pulita ed asciutta prossima al sito d'impiego.

### **18.3.2. Preparazione del piano di posa**

La fondazione del manufatto dovrà essere tale da evitare concentrazioni di carico e cedimenti differenziali. Pertanto occorrerà provvedere ad una bonifica del piano di fondazione nei seguenti casi:

- in presenza di un terreno di fondazione a debole o disuniforme capacità portante. In questo caso sarà necessario rimuoverlo e sostituirlo con materiale granulare opportunamente compattato, per una larghezza pari ad almeno il triplo di quella del manufatto;
- in presenza di trovanti lapidei, i quali dovranno essere rimossi e la fondazione ricostituita con l'apporto di materiale granulare compattato;
- in presenza di roccia lapidea. In questo caso occorrerà rimuoverla per uno spessore di almeno 30 cm e sostituirla con materiale granulare compattato.

Sul piano di fondazione verrà quindi posato un letto di posa in sabbia monogranulare, dello spessore minimo di 10 cm, esteso in larghezza per tutto il fondo del manufatto e sagomato trasversalmente come il profilo del fondo, al fine di realizzare una distribuzione dei carichi sul terreno di sottofondo (e quindi delle corrispondenti reazioni vincolari sulla struttura tubolare).

### **18.3.3. Montaggio**

#### **18.3.3.1. Generalità**

Il montaggio potrà procedere solo dopo l'avvenuta consegna alla Direzione Lavori di un piano di montaggio dettagliato, che precisi il verso di progressione del montaggio, le modalità di eventuali preassemblaggi ed il loro ordine.

In ragione della geometria della struttura in relazione al rilevato, occorrerà tener conto di una monta di costruzione atta a compensare gli assestamenti.

In funzione delle diverse condizioni operative, delle dimensioni e della forma del manufatto, per il montaggio potranno impiegarsi diverse tecniche; in ogni caso l'obiettivo fondamentale durante il montaggio sarà quello di mantenere la sagoma di Progetto.

Le tolleranze per la posa sono stabilite in:

- 3 cm in verticale;
- 5 cm in orizzontale.

Senza il permesso della Direzione Lavori non sarà consentito alcun taglio degli elementi approvvigionati a pie' d'opera; in caso di taglio, le superfici di taglio saranno opportunamente molate, e successivamente protette con vernice allo zinco.



### 18.3.3.2. Strutture a piastre multiple

Il montaggio potrà essere realizzato secondo le seguenti quattro tipologie; la loro adozione dovrà essere precisata nel piano di montaggio.

#### 1) Montaggio in sequenza

E' la tipologia adottata di norma e consiste nel realizzare direttamente il manufatto sul piano di posa precedentemente preparato, procedendo in sequenza al montaggio di singoli elementi successivi uno all'altro, iniziando dal fondo, proseguendo con i fianchi ed infine con la copertura.

Inizialmente i diversi elementi verranno assemblati con il minor numero possibile di bulloni, così da ottenere la massima flessibilità d'insieme finché tutti gli elementi non siano collocati in posto.

Dopo che una congrua porzione del manufatto sia stata assemblata nella forma voluta, si provvederà ad inserire i bulloni rimanenti ed a fissarli senza serrarli, procedendo sempre dal centro di un giunto verso i bordi.

Una volta inseriti tutti i bulloni, essi verranno serrati progressivamente ed uniformemente, partendo da un estremo della struttura, operando mediante chiave dinamometrica con una coppia compresa nel campo di valori indicato nelle istruzioni (v. Par. 15.4.2).

#### 2) Preassemblaggio di componenti longitudinali

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio di componenti longitudinali, soltanto previa approvazione della Direzione Lavori. Questo metodo, che permette la contemporaneità delle lavorazioni di preparazione della fondazione e quelle del preassemblaggio, eliminando la difficoltà di inserimento e serraggio dei bulloni degli elementi a contatto con la fondazione), comporta il preassemblaggio fuori opera di elementi longitudinali (fondo, fianchi e copertura), per l'intera lunghezza della struttura o per congrue porzioni di essa.

Secondo questo metodo è necessario procedere al completo serraggio dei bulloni degli elementi di fondo, fianchi e copertura prima della posa in opera; ciò comporta che non è possibile posticipare il serraggio come nel caso precedente, e che riveste grande importanza la cura nel rispettare esattamente la sagoma di Progetto durante la costruzione.

Per agevolare l'accoppiamento degli elementi longitudinali (il fondo con i fianchi e l'insieme del fondo e dei fianchi con la copertura) sarà consentito ricorrere a tiranti di collegamento degli opposti bordi longitudinali, da rilasciare a montaggio completato.

Durante la costruzione dovranno essere effettuati controlli mirati ad assicurarsi che la sagoma rispetti le tolleranze di Progetto; in caso negativo dovranno essere eseguite le necessarie correzioni prima di procedere con le fasi successive.

Nelle grandi strutture sarà previsto un serraggio progressivo dei bulloni, operando un primo serraggio con una coppia prossima al valore medio del campo riportato nelle istruzioni (v. articolo 20.4.2) e, una volta completata la struttura ed assicurato il corretto allineamento degli elementi, un secondo serraggio sino al valore massimo.

#### 3) Preassemblaggio per sezioni

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio per sezioni soltanto previa approvazione della Direzione Lavori: in questo caso le sezioni longitudinali complete vengono preassemblate fuori opera e quindi poste in opera per essere collegate tra loro.

#### 4) Preassemblaggio completo

Il preassemblaggio completo della struttura potrà essere effettuato sia in officina sia in cantiere.

Il preassemblaggio in officina può essere impiegato per piccoli manufatti, essendo limitato dalla sagoma massima trasportabile. Quello in cantiere, essendo adatto per strutture da varare intere, è indicato per installazioni su fondazioni sommerse, oppure nei casi nei quali si debba ripristinare l'esercizio di una infrastruttura nel minor tempo possibile.

In ogni caso dovrà essere stato ottenuto il benestare preventivo della Direzione Lavori.

### 18.3.3.3. Strutture ad elementi incastrati

Nel montaggio del manufatto le sovrapposizioni circolari dovranno essere sfalsate, così che ogni elemento superiore si innesti sulla metà circa dei due elementi inferiori corrispondenti; in senso longitudinale il collegamento avverrà per mezzo di appositi ganci in acciaio zincato.

#### **18.3.4. Rinfiacco e rinterro**

Il materiale di rinfiacco del manufatto dovrà essere eventualmente inumidito per facilitare la sua penetrazione sotto i quarti inferiori delle strutture circolari o sotto le piastre angolari di base nelle sezioni ribassate o policentriche.

Il materiale dovrà essere posato e compattato a strati orizzontali di spessore non superiore a 30 cm, disposti alternativamente sui due lati del manufatto, in modo da non generare spinte asimmetriche.

La compattazione di ogni strato dovrà dar luogo ad una densità del secco non inferiore al 90% di quella massima determinata con la prova AASHTO modificata.

Per la compattazione dovranno essere impiegati mezzi atti ad evitare di arrecare danni al manufatto, (in vicinanza del manufatto preferibilmente pestelli pneumatici).

Si dovrà inoltre evitare il passaggio dei mezzi di cantiere sulla condotta senza un adeguato ricoprimento della struttura che assicuri un'adeguata ripartizione del carico al fine di non generare nel manufatto sollecitazioni superiori a quelle previste dal calcolo.

Il rilevato intorno alla struttura dovrà estendersi per almeno tre volte la luce del manufatto e il terreno impiegato sarà normalmente costituito dallo stesso materiale adottato per la realizzazione dello corpo stradale.

### **18.4. Controlli ed accettazione**

#### **18.4.1. Generalità**

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della documentazione di cui al successivo punto e, a discrezione della Direzione Lavori, all'accertamento dei requisiti attraverso le prove di accettazione indicate più avanti, da eseguirsi su un elemento per ogni 10 t di materiale, con un minimo di un elemento per ogni manufatto.

Le prove dovranno essere eseguite e certificate da laboratori di cui all'art. 5 del D.P.R. 380/2001, ovvero sotto il loro diretto controllo.

La Direzione Lavori si riserva inoltre la facoltà di far assistere proprio personale alla fabbricazione degli elementi componenti i manufatti allo scopo di controllare la corretta esecuzione secondo le prescrizioni sopra indicate.

#### **18.4.2. Documentazione**

Per ogni singolo manufatto l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, secondo quanto stabilito dall'art. 9 della L. 5.11.1971 n. 1086, la seguente certificazione e documentazione:

- a) certificazioni attestanti le caratteristiche dei materiali, per quanto riguarda sia i diversi elementi della carpenteria metallica (piastre, giunti, bulloni, ecc.) sia i trattamenti di protezione (zincatura ed eventuale rivestimento bituminoso);
- b) il progetto costruttivo dell'opera, adattato alla situazione effettiva del luogo, con le caratteristiche geometriche e meccaniche, le modalità ed i particolari di montaggio, compresa l'indicazione del campo di valori raccomandato per la coppia di serraggio dei bulloni, nonché le schede tecniche dei materiali effettivamente impiegati, fornite dal produttore;
- c) una relazione di calcolo con le verifiche statiche della struttura, compresi gli eventuali irrigidimenti temporanei eventualmente previsti per la movimentazione e l'installazione.

La Direzione Lavori, dopo che avrà preso visione dei documenti di cui sopra e verificato la previsione di utilizzazione del manufatto prefabbricato e il suo organico inserimento nel progetto, autorizzerà l'Appaltatore ad eseguire i lavori.

Nel caso di adozione di trattamenti di protezione contro la corrosione con vernici polimerizzate, l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori una dettagliata documentazione tecnica contenente:

- metodo di preparazione della superficie;
- massimo intervallo tra preparazione della superficie ed applicazione del *primer*;

- tipo del prodotto e standard di riferimento;
- modalità di applicazione e condizioni (temperatura, umidità, ecc.);
- numero di mani ed intervallo di applicazione;
- spessore umido e secco di ciascuna mano;
- procedure di dettaglio per la ripresa di punti danneggiati o in corrispondenza di giunti e saldature.

#### **18.4.3. Prove sui materiali**

Le prove sugli elementi prelevati dovranno accertare:

- le caratteristiche chimiche e meccaniche dell'acciaio;
- lo spessore dell'elemento;
- lo spessore e le caratteristiche del rivestimento di zinco (secondo le norme UNI EN ISO 1461 e UNI EN 10147) e di quello (eventuale) bituminoso.

### **18.5. Controlli in cantiere**

#### **18.5.1. Pesi**

I pesi dei manufatti, in rapporto allo spessore dei vari tipi impiegati, dovranno risultare da tabelle fornite preventivamente da ogni fabbricante, con una tolleranza di  $\pm 4\%$ .

Il peso effettivo verrà misurato in contraddittorio tra Direzione Lavori ed Appaltatore; ai fini dell'accettazione esso dovrà risultare entro la tolleranza del  $\pm 4\%$  rispetto a quello teorico dichiarato nelle schede tecniche del fabbricante preventivamente consegnate (v. art. 20.4.2).

#### **18.5.2. Serraggio dei bulloni**

La Direzione Lavori indicherà i bulloni da sottoporre al controllo del serraggio, in ragione del 2% del totale, con un minimo di 50. Qualora la coppia di serraggio misurata su un bullone non rientrasse nel campo definito dai valori indicati (v. art. 20.4.2), la Direzione Lavori potrà disporre un nuovo controllo su un numero eguale di bulloni.

In caso di un risultato ulteriormente negativo, si dovrà procedere al controllo sistematico ed a un nuovo serraggio di tutti i bulloni.

#### **18.5.3. Geometria e deformazioni**

Una volta terminato il montaggio completo del manufatto, a cura dell'Appaltatore verranno marcati con pittura indelebile i punti di riferimento necessari in tre sezioni indicate dalla Direzione Lavori.

Il controllo delle deformazioni avverrà mediante misure del diametro verticale e dello scostamento orizzontale tra i punti di riferimento materializzanti gli assi dell'elemento in calotta e dell'arco rovescio della struttura; la Direzione Lavori potrà disporre l'esecuzione di ulteriori misure di dimensioni significative.

Le misure saranno effettuate nelle quattro configurazioni seguenti:

- 1) montaggio completo, in assenza di rinfiaccio;
- 2) rinfiaccio a metà altezza del manufatto;
- 3) rinfiaccio sino alla quota di chiave del manufatto;
- 4) rinterro ultimato.

Tra la configurazione 1 e la configurazione 3, per ciascuna sezione di misura dovrà essere rispettata la condizione:

$$\frac{H_1 - H_3}{H_1} (\%) \leq 0,015 \frac{H_1 s_{\min}}{a s_n}$$

dove è:

H : altezza della sezione,

$s_n$  : spessore della lamiera,

a : distanza tra fibra estrema ed asse neutro dell'ondulazione (pari alla semiampiezza per ondulazioni simmetriche)

$s_{\min}$ : spessore minimo di calcolo, risultante dall'espressione:

$$\frac{J}{a} (\text{cm}^3/\text{m}) = 6 k D^3 \left[ \left( \frac{H}{B} - 0,6 \right)^2 + 0,07 \right]$$

dove è:

J : momento d'inerzia dell'ondulazione;

k : coefficiente di spinta che, in funzione della luce B della sezione, vale (per materiale di buone caratteristiche sistemato secondo le prescrizioni):

$$k = 0,6 - 0,05 B \quad \text{per } 2 \text{ m} \leq B \leq 6 \text{ m},$$

$$k = 0,3 \quad \text{per } B > 6 \text{ m}.$$

Il difetto di verticalità definito come rapporto tra la distanza tra gli assi verticali passanti per i due punti di riferimento ed il diametro verticale non dovrà risultare superiore al 3%.

Nella configurazione 4 il valore dell'altezza H dovrà essere compreso tra quelli misurati nelle configurazioni 1 e 3.

Qualora i valori sopra definiti non siano rispettati, la Direzione Lavori potrà rifiutare l'opera e disporre lo smontaggio parziale o totale e la ricostruzione del rilevato a spese dell'Appaltatore.

L'esame visivo della parete del manufatto non dovrà rivelare discontinuità angolari, inversioni di curvatura, deformazioni localizzate.

## 18.6. Norme di misurazione

Il manufatto verrà computato a peso (elementi di lamiera e bulloneria).

L'articolo di Elenco Prezzi comprende: fornitura, trasporto, scarico, regolarizzazione livellazione e compattazione del piano di posa, montaggio, elementi provvisori (tiranti, puntoni, impalcature per il montaggio), lavorazioni per il taglio obliquo delle parti terminali, riprese della zincatura di protezione.

## 19. Gabbioni e materassi metallici

### 19.1. Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano gabbioni a scatola e materassi, da impiegare per difese idrauliche ed opere di sostegno a gravità, consistenti in strutture di forma parallelepipedo od a prisma trapezio, fabbricate in rete metallica a maglia esagonale a doppia torsione, con riempimento in pietrame.

Per tutti gli aspetti non specificatamente trattati si farà riferimento alle "Linee guida per la redazione di capitolati per l'impiego di rete metallica a doppia torsione" del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, del 12.05.2006.

## 19.2. Materiali

### 19.2.1. Filo metallico

Il filo metallico utilizzato per la costruzione della rete sia per le legature sarà a basso tenore di carbonio costituito da vergella utilizzata nei processi di trafilatura a freddo di cui alla UNI EN 10016-2.

La resistenza a trazione sarà conforme alla UNI EN 10223-3 (valori compresi tra 350 e 550 MPa, allungamento a rottura non inferiore al 10%).

Le tolleranze dimensionali saranno quelle stabilite dalla UNI EN 10218-2 classe T1; per i diametri standard esse risultano:

- diametri 2,2, 2,4 e 2,7 mm:  $\pm 0,06$  mm;
- diametri 3,0, 3,4 e 3,9 mm:  $\pm 0,07$  mm.

### 19.2.2. Rivestimento protettivo

Per gli impieghi descritti al Par. 39.0 sono previsti:

- a) rivestimento in lega eutettica zinco-alluminio (95%-5%) - cerio – lantanio;
- b) rivestimento polimerico estruso o sinterizzato in PVC, aggiuntivo rispetto a quello del p.to a).

Il rivestimento in lega eutettica sarà conforme alla UNI EN 10244-2 classe A.

Il ricoprimento minimo in funzione del diametro nominale del filo sarà definito come dal seguente prospetto:

Diametro (mm)	Ricoprimento minimo (g/m <sup>2</sup> )
2,0	215
2,2	230
2,4	230
2,7	245
3,0	255
3,4	265
3,9	275

Il rivestimento in PVC sarà conforme alla UNI EN 10245-2 ed avrà spessore nominale 0,5 mm (minimo 0,38 mm).

Saranno ammessi anche altri polimeri, purché ne siano accertate e certificate:

- la conformità ai requisiti generali stabiliti dalla UNI 10245, per quanto applicabili;
- una buona aderenza sul filo;
- una soddisfacente resistenza agli agenti atmosferici (raggi UV e temperatura).

Il materiale base del rivestimento in PVC avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico compreso tra 1300 e 1350 kg/m<sup>3</sup> ASTM D 792;
- durezza Shore (ISO 868) tra 50 e 60;
- resistenza a trazione superiore a 20,6 MPa ISO 1183 (ASTM D 412) per il PVC estruso ed a 15,7 MPa ISO 527 (ASTM D 638) per il PVC sinterizzato;

- modulo elastico al 100% di deformazione superiore a 18,6 MPa ISO 1183 (ASTM D 412) per il PVC estruso ed a 13,7 MPa ISO 527 (ASTM D 638) per il PVC sinterizzato;
- resistenza all'abrasione: perdita in peso inferiore al 12% al test ASTM D 1242, metodo B, a 200 cicli di abrasione con nastro CSI-A grana 80;
- temperatura di fragilità, Cold Bend Temperature (determinata secondo la norma BS 2782-metodo 104 A) inferiore a -30°C, e Cold Flex Temperature (determinata secondo la norma BS 2782-metodo 150 B) inferiore a +15°C,;
- perdita in peso per volatilità a 105°C: non superiore al 2% ed al 6% (rispettivamente a 24 ore ed a 240 ore), in accordo con la ASTM D 1203 (EN ISO 176) e la ASTM D 2287.

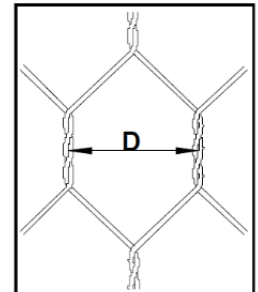
### 19.2.3. Rete

La rete presenterà caratteristiche dimensionali (apertura e tolleranze) conformi alla UNI EN 10223-3. Per le dimensioni standard delle maglie disponibili in commercio (6x8, 8x10 cm) le tolleranze risultano -4% / +16%.

Il diametro nominale D delle maglie (primo numero della coppia indicante le dimensioni) corrisponde all'interasse delle legature a doppia torsione tra i fili, come indicato in figura.

Per gli impieghi di cui al presente articolo le combinazioni tipiche tra le dimensioni della maglia ed il diametro del filo sono:

struttura	maglia tipo (cm)	diametro del filo (mm)
gabbioni	6x8	2,7
gabbioni	8x10	2,7 (con riv. polimerico) e 3,0
materassi	6x8	2,2 (con riv. polimerico)



Il diametro del filo di bordatura avrà un diametro maggiore di quello costituente la rete, secondo le seguenti combinazioni:

diametro filo rete (mm)	diametro filo bordatura (mm)
2,2	2,7
2,7	3,4
3,0	3,9

Per gli impieghi descritti al presente articolo i valori caratteristici di resistenza della rete metallica dovranno essere i seguenti:

Resistenza	U. di m.	GABBIONI	MATERASSI
A trazione, parallela alla torsione	(kN/m)	50	37
A trazione, perpendicolare alla torsione	(kN/m)	26	13
Legature di bordo	(kN/m)	20	10
A punzonamento	(kN)	27	18

### 19.2.4. Indicazioni sulla vita utile dei prodotti e delle opere

A ciascuna applicazione deve essere associato un tempo di vita utile, in accordo con la definizione data nel Cap. 4 del D.M. 14/01/2008, come il periodo di tempo durante il quale l'opera mantiene, con interventi di manutenzione programmata, prestazioni compatibili con i requisiti essenziali richiesti.

Alla vita utile così definita devono essere adattati i criteri di progetto con particolare riferimento a quelli della rete e dei sistemi di protezione dalla corrosione dei fili metallici.

In generale la vita utile di un'opera dovrà essere riferita anche alla possibilità che per essa siano consentiti o meno sostituzioni di componenti o ripristini con operazioni di manutenzione ordinaria, nonché alle condizioni di aggressività ambientali. Uno schema di riferimento per il rispetto della prima condizione può essere ricavato dal seguente prospetto:

	Tipo di opera	Vita utile minima (anni)
1	Opere caratterizzate da media difficoltà di manutenzione (es. reti paramassi)	25
2	Opere caratterizzate da componenti difficilmente sostituibili senza rifacimento totale	50
3	Elementi non ispezionabili né sostituibili (es. muri in terra rinforzata)	50

Per opere temporanee la durata di vita utile è indicativamente fissata in 10 anni.

La scelta del materiale da adottare e della sua protezione dovrà derivare dalla combinazione tra i requisiti di vita utile richiesti dal tipo di opera come indicato nel precedente prospetto e dalle condizioni di aggressività degli ambienti nella quale l'opera verrà inserita così come definiti nel Cap. 4 del D.M. 14/01/2008, secondo i criteri di seguito indicati:

Condizioni ambientali	Tipo di opera (v. tabella precedente)	Tipo di rivestimento
Ordinarie	1	Forte zincatura
Aggressive	1 e 2	Forte lega Zn – al 5%
Molto aggressive	1 e 2	Forte lega Zn – al 5% e rivestimento plastico
Qualsiasi	3	Forte lega Zn – al 5% e rivestimento plastico

Valutazioni diverse potranno eventualmente essere fatte in relazione alla specifica applicazione della rete, purché si ottengano prestazioni e durabilità equivalenti.

In ambienti dove è potenzialmente prevista la presenza di correnti vaganti, ad esempio in prossimità di impianti, linee ferroviarie e/o di campi di dispersione elettrica, è opportuno adottare un livello di protezione massima, anche mediante uso di rivestimento polimerico, a meno di specifiche verifiche di dettaglio della particolare situazione in esame.

Per la definizione della vita utile di opere di difesa idraulica si dovrà tener specificatamente conto del possibile danneggiamento della rete per abrasione da parte del trasporto solido e della maggiore o minore facilità di eseguire eventuali ripristini e quindi prevedere in fase di progetto accorgimenti tecnici opportuni.

#### 19.2.5. Riempimento

Il materiale lapideo da impiegarsi sarà di granulometria tale da non determinare la fuoriuscita degli elementi lapidei dalla maglia e da non ostacolare (per la presenza di elementi di dimensioni eccessive, superiori ai 2/3 dello spessore) un buon addensamento del materiale:

- gabbioni maglia 6x8: granulometria 90-200;
- gabbioni maglia 8x10: granulometria 120-220;
- materassi: granulometria 90-130.

In casi speciali (gabbioni rinverditi) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.

Per quanto riguarda la resistenza a rottura il materiale dovrà rientrare nella categoria CS80 della norma UNI EN 13383-1.

I requisiti di resistenza all'usura saranno:

- categoria MDE10 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido grossolano (torrenti);

- categoria MDE20 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa costiera;
- categoria MDE30 UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido fine (fiumi) o in opere di sostegno.

Per quanto riguarda la resistenza al gelo, il materiale dovrà soddisfare i requisiti della categoria FT<sub>A</sub> della norma UNI EN 13383-1.

#### **19.2.6. Graffe metalliche**

Per le legature, in alternativa al filo si potrà ricorrere a graffatura pneumatica con graffe metalliche 45x24x3 mm, aventi resistenza a trazione non inferiore a 17000 MPa.

### **19.3. Posa in opera**

Il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato.

Le operazioni di posa e riempimento non potranno aver luogo se la temperatura ambiente non sarà superiore di almeno 8 °C rispetto alla temperatura di fragilità (v. art. 21.2.2).

Le gabbie ripiegate saranno stese su una superficie piana e non cedevole, ed in seguito verranno aperte alzando:

- per i gabbioni: la faccia anteriore, i fianchi e quindi la faccia posteriore;
- per i materassi: le facce di estremità e quindi quelle longitudinali.

I bordi delle diverse facce saranno legati prima alle estremità e poi nel mezzo (lo stesso avverrà per i diaframmi intermedi) con filo metallico (v. art. 21.2.3) o con graffe metalliche (v. art. 21.2.5) applicate con dispositivo pneumatico.

Le gabbie potranno essere tagliate o sagomate in funzione della geometria dell'opera da realizzare; tutti i bordi e le facce ottenuti in questa maniera dovranno essere aggiustati in modo da presentare un aspetto rifinito.

Una volta terminato il montaggio di un certo numero di gabbie, queste verranno collocate sul piano di posa e legate tra loro; si curerà di rispettare gli allineamenti verticali ed orizzontali per mezzo di tondini di ferro sistemati provvisoriamente sugli spigoli superiori, o – preferibilmente - mediante modine di guida a cui far aderire le facce delle gabbie dal lato in vista.

Il riempimento sarà eseguito con pala meccanica con l'ausilio di manodopera per la sistemazione manuale del materiale al fine di ottenere una massa compatta con il minimo indice dei vuoti.

In corrispondenza del paramento in vista, per ottenere un aspetto più rifinito ed evitare sfiancamenti, il materiale di riempimento sarà sistemato a mano.

Si avrà cura di limitare l'altezza di caduta del materiale di riempimento (ad un massimo di 1 m) e comunque di evitare il danneggiamento delle gabbie e del loro rivestimento.

Eventuali deformazioni o sfiancamenti delle gabbie dovranno essere corretti prima di procedere ad un ulteriore riempimento.

In ogni caso si manterrà vuota l'ultima cella, al fine di facilitare la legatura della gabbia successiva.

Per i materassi in pendenza, il riempimento procederà dal basso verso l'alto.

Il riempimento avverrà a due strati per i gabbioni di altezza 0,50 m ed a tre strati per quelli di altezza 1,00 m, con l'interposizione di tiranti di collegamento (prefabbricati o realizzati a mano) tra le facce anteriore e posteriore, in ragione di 4 tiranti per m<sup>2</sup> di paramento.

Per i materassi il riempimento avverrà in un unico strato e non saranno necessari tiranti.

Si controllerà che le celle siano riempite uniformemente, particolarmente in corrispondenza degli spigoli e che il bordo superiore dei diaframmi sia accessibile per la legatura.

A riempimento ultimato si procederà alla posa dei coperchi, che verranno fissati alle facce, ai diaframmi e tra di loro; per realizzare una miglior resistenza potrà essere conveniente sfalsare i coperchi rispetto alle basi.



I capi dei fili di legatura eventualmente sporgenti verso l'esterno dovranno essere ripiegati verso l'interno delle gabbie, così da evitare il pericolo di ferimenti.

## **19.4. Controlli ed accettazione**

### **19.4.1. Generalità**

L'accettazione dei materiali sarà subordinata alla verifica della documentazione di cui al successivo art. 21.4.2 ed all'accertamento dei requisiti attraverso le prove di accettazione indicate nei seguenti art. 21.4.3 e 21.4.7.

Le prove dovranno essere eseguite e certificate da laboratori di cui all'art.5 del D.P.R. 380/2001, ovvero sotto il loro diretto controllo.

### **19.4.2. Documentazione**

Ciascuna fornitura di rete dovrà essere accompagnata da un certificato, in copia originale, riportante:

- azienda produttrice;
- ente certificatore;
- numero del certificato di controllo della produzione di fabbrica;
- condizioni e periodo di validità del certificato;
- destinatario del prodotto, con ubicazione del cantiere;
- quantità fornite;
- descrizione del prodotto: identificazione (con tipo e nome commerciale), impiego previsto e condizioni particolari per l'impiego, ecc.;
- caratteristiche dimensionali e tecniche (dimensioni, maglia tipo, diametro e caratteristiche meccaniche del filo, composizione e quantità del rivestimento, resistenza nominale della rete).

La fornitura dovrà chiaramente essere riconoscibile mediante idonea etichettatura dalla quale risultino azienda produttrice, stabilimento di produzione, lotto di produzione, caratteristiche tecniche.

### **19.4.3. Prove sul filo metallico**

Le prove di resistenza a trazione del filo metallico (prima della tessitura della rete) saranno eseguite secondo la norma UNI EN 10218-1.

### **19.4.4. Prove sul rivestimento in lega eutettica**

La quantità del ricoprimento sarà verificata secondo la UNI EN 10244-2.

L'uniformità del rivestimento sarà verificata secondo le norme UNI EN 10244-2 e UNI EN 10223-3.

La verifica dell'aderenza del rivestimento al filo avverrà conformemente alla UNI EN 10244-2; l'aderenza dovrà essere tale che, in seguito all'avvolgimento del filo per 6 volte attorno ad un mandrino di diametro 4 volte maggiore di quello del filo stesso, lo sfregamento con le dita non produca sfaldamento o fessurazione del rivestimento.

Il rivestimento dovrà superare un *test* d'invecchiamento accelerato in ambiente saturo di anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) secondo la norma UNI ISO EN 6988 (Kesternich *test*) per un minimo di 28 cicli.

#### **19.4.5. Prove sul rivestimento in PVC**

All'ispezione visiva il rivestimento delle maglie dovrà risultare privo di intaccature, tagli o abrasioni; imperfezioni secondarie dovute al processo di fabbricazione saranno ammesse in corrispondenza delle torsioni. Non sarà invece richiesto che il rivestimento copra le estremità del filo tagliate durante il processo di fabbricazione.

Quando assoggettato alla prova di aderenza secondo ASTM A-974 *Section 13.3* il rivestimento non dovrà separarsi dal filo (piuttosto potrà rompersi).

Alla prova di avvolgimento di 360° attorno ad un mandrino di diametro 10 volte superiore a quello del filo, nel rivestimento non dovranno verificarsi incrinature o strappi; la prova sarà condotta ad una temperatura ambiente di -18 °C.

Dopo le seguenti prove di invecchiamento accelerato:

- esposizione ai raggi U.V. per almeno 3000 ore con apparato tipo E a 63 °C (ASTM G 23);
- *test* in nebbia salina per almeno 3000 ore (ASTM B 117);

non dovranno manifestarsi incrinature, bolle, strappi, né sensibili variazioni di colore nel rivestimento, e neppure intrusioni di umidità tra rivestimento e filo. Dopo tali prove, inoltre, non dovranno risultare variazioni rispetto ai valori iniziali superiori al 6% per il peso specifico, al 25% per la resistenza a trazione ed al 10% per la durezza e per la resistenza all'abrasione.

La massima penetrazione della corrosione da una estremità del filo tagliato dovrà risultare inferiore a 25 mm quando il campione sia immerso per 2000 ore in una soluzione al 50% di acido cloridrico concentrato.

#### **19.4.6. Prove sulla rete metallica**

Per la determinazione della resistenza a trazione della rete metallica (secondo la norma ASTM A 975 *Section 13.1*) i campioni da assoggettare a prova avranno una larghezza minima pari a 8 volte la larghezza della maglia ed una lunghezza minima tra i dispositivi di immersione della rete pari ad una lunghezza di maglia intera (definendo come lunghezza di maglia intera una porzione di rete contenente due doppie torsioni successive complete).

#### **19.4.7. Prove sul materiale di riempimento**

Il campionamento del materiale di riempimento da assoggettare alle prove dovrà essere effettuato secondo le specifiche della norma UNI EN 13383-2, e sulla base di un piano di campionamento da effettuarsi preliminarmente, che tenga conto del tipo di granulometria, della natura e delle dimensioni del lotto, del tipo di prove e delle circostanze locali.

La granulometria verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

La resistenza a rottura verrà determinata secondo la UNI EN 1926.

La resistenza all'usura verrà determinata secondo la UNI EN 1097-1.

La resistenza al gelo e al disgelo verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

### **19.5. Norme di misurazione**

I gabbioni saranno computati per il loro peso effettivo (compresi i diaframmi, esclusi tiranti e legature); il loro riempimento sarà computato per l'effettivo volume; sarà compensata a parte, per superficie, la lavorazione a faccia vista.

I materassi saranno computati per la loro superficie effettiva, secondo lo spessore; il prezzo comprende anche il materiale di riempimento.

Gli articoli di Elenco Prezzi per gabbioni e materassi comprendono: la regolarizzazione, la livellazione e la compattazione del piano di posa (escluso solo l'eventuale calcestruzzo magro per la regolarizzazione di piani di posa in roccia, ove previsto nei documenti progettuali) nonché la fornitura del filo per legature e tiranti.

## **20. Difese spondali**

### **20.1. Campo di applicazione**

Le presenti specifiche riguardano difese spondali costituite da elementi prismatici in conglomerato cementizio o da scogliere in pietrame.

### **20.2. Materiali**

#### **20.2.1. Elementi in conglomerato cementizio**

Gli elementi saranno prefabbricati con calcestruzzo per classe di esposizione XF1.

Per le caratteristiche si rimanda all'art. del presente Capitolato relativo ai calcestruzzi per opere idrauliche.

Gli elementi saranno della forma e delle dimensioni previste in progetto, e presenteranno facce piane, aspetto compatto e regolarità di forma.

Per la prefabbricazione, prima della cassetta e del getto, si provvederà a regolarizzare la superficie di appoggio spianandola e compattandola in modo adeguato, al fine di assicurare la regolarità della faccia a diretto contatto con il terreno.

Il calcestruzzo sarà versato nelle casseforme a strati regolari ed ogni strato sarà accuratamente vibrato in modo da evitare la formazione di vuoti e rendere l'ammasso il più possibile omogeneo e compatto.

Dovranno essere inglobate nel getto idonee armature in acciaio costituenti i ganci per la movimentazione degli elementi.

Al fine di agevolare le operazioni di controllo da parte della Direzione Lavori, gli elementi dovranno essere costruiti in file rettilinee e parallele.

#### **20.2.2. Scogliera di pietrame**

Gli elementi lapidei dovranno essere privi di discontinuità significative quali fratture, venature, stiloliti, laminazioni, piani di foliazione, piani di sfaldabilità, cambiamenti di "facies" o altri difetti analoghi che potrebbero causare rottura durante il carico, lo scarico o la posa in opera.

I requisiti granulometrici saranno conformi ai prospetti 4 e 5 della norma UNI EN 13383-1 (classi HMA1000-3000 e HMA3000-6000).

Per quanto riguarda la forma, il materiale dovrà rientrare nella categoria LTA della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza a rottura il materiale dovrà rientrare nella categoria CS80 della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza all'usura il materiale dovrà rientrare nella categoria MDE10 della norma UNI EN 13383-1.

Per quanto riguarda la resistenza al gelo, il materiale dovrà soddisfare i requisiti della categoria FTA della norma UNI EN 13383-1.

### **20.3. Posa in opera**

#### **20.3.1. Generalità**

Prima di iniziare le operazioni di posa l'Appaltatore dovrà in contraddittorio con la Direzione Lavori, procedere al picchettamento della difesa riportando fedelmente sul terreno il tracciato indicato in Progetto.

Il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato, e le scarpate di appoggio dovranno essere convenientemente profilate secondo le sagome di Progetto.

Terminate le operazioni di tracciamento e di preparazione della fondazione l'Appaltatore potrà provvedere alla realizzazione della difesa procedendo nelle operazioni di posa degli elementi da monte verso valle.

### **20.3.2. Elementi in conglomerato cementizio**

La rimozione ed il trasporto dei prismi non potrà aver luogo prima che siano trascorsi trenta giorni dalla data del loro confezionamento ed in ogni caso solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.

Nel trasporto e nel collocamento in opera si dovrà usare la massima cautela per evitare che i prismi possano essere danneggiati.

La posa in opera dovrà avvenire nel rispetto delle sagome di Progetto mediante la collocazione di ogni singolo elemento sul piano di appoggio preventivamente regolarizzato.

Ciascun elemento dovrà essere disposto in modo da garantirne una giacitura stabile indipendentemente dalla posa in opera degli elementi adiacenti; i giunti dovranno risultare sfalsati in senso sia longitudinale sia trasversale e permettere uno stretto contatto tra gli elementi adiacenti.

### **20.3.3. Scogliera di pietrame**

I massi saranno messi in opera singolarmente, in modo tale da realizzare almeno tre punti di contatto e il massimo grado di incastro con quelli posizionati in precedenza; non saranno pertanto consentiti l'impiego di scaglie od elementi di piccole dimensioni per realizzare l'appoggio sugli strati sottostanti né la posa mediante scarico alla rinfusa dai mezzi di trasporto e movimentazione.

Gli elementi saranno disposti con il lato più lungo in direzione parallela alla direzione della corrente.

Successivamente al completamento della scogliera i vuoti tra i massi saranno riempiti con scaglie di materiale roccioso della stessa natura di quella dei massi in modo che non si formino vortici che possano dar luogo all'asportazione di materiale fine.

In casi speciali (scogliere rinverdite) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.

## **20.4. Controlli ed accettazione**

### **20.4.1. Elementi in conglomerato cementizio**

Per i controlli e l'accettazione degli elementi in conglomerato cementizio valgono le norme stabilite all'art. relativo alle opere in tale materiale.

### **20.4.2. Materiale da scogliera**

Ciascuna fornitura di materiale da scogliera dovrà essere accompagnata da una bolla numerata riportante:

- il riferimento alla norma UNI EN 13383;
- il fornitore, con nome ed ubicazione della cava, o stabilimento di produzione e, laddove appropriato, deposito;
- la designazione del materiale, con indicazione petrografica semplificata;
- la classe granulometrica;

nonché le informazioni sulle caratteristiche regolamentate dalla UNI EN 13383-1 (marcatura CE).

Il campionamento del materiale da scogliera da assoggettare alle prove dovrà essere effettuato secondo le specifiche della norma UNI EN 13383-2, e sulla base di un piano di campionamento da effettuarsi preliminarmente, che tenga conto del tipo di granulometria, della natura e delle dimensioni del lotto, del tipo di prove e delle circostanze locali.

La granulometria verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

La percentuale di pezzi di aggregati grossi con un rapporto lunghezza-spessore maggiore di 3 verrà determinata in conformità alla UNI EN 13383-2.

La resistenza a rottura verrà determinata secondo la UNI EN 1926.

L'integrità dei blocchi verrà determinata secondo la specifica di cui all'appendice B della norma UNI 13383-1.

La resistenza all'usura verrà determinata secondo la UNI EN 1097-1.

La resistenza al gelo e al disgelo verrà determinata conformemente alla norma UNI EN 13383-2.

## **20.5. Norme di misurazione**

Le difese spondali in elementi prefabbricati in conglomerato cementizio ed in scogliera di pietrame della classe HMA1000-3000 saranno computate per il loro volume effettivo, misurato vuoto per pieno, senza tenere conto di eventuali eccedenze rispetto alle sezioni teoriche di progetto.

Quelle in scogliera di pietrame della classe HMA3000-6000 saranno computate per il loro peso.

Gli articoli di Elenco Prezzi comprendono: la regolarizzazione, la livellazione e la compattazione del piano di posa e la profilatura delle scarpate (escluso solo l'eventuale calcestruzzo magro per la regolarizzazione di piani di posa in roccia, ove previsto nei documenti progettuali).

## **21. Drenaggi**

### **21.1. Drenaggi tradizionali**

I drenaggi dovranno essere formati con pietrame o ciottolame, con misto di fiume o di cava, con sabbia lavata o con materiale proveniente dagli scavi opportunamente frantumato, vagliato e lavato, posti in opera su platea di conglomerato cementizio di tipo III con classe di resistenza > 20/25 MPa.

Il cunicolo drenante di fondo sarà realizzato con tubi di cemento disposti a giunti aperti, con tubi perforati di acciaio zincato o con tubo corrugato e fessurato in PVC del diametro non inferiore a 180 mm.

Il pietrame e i ciottoli saranno posti in opera a mano con i necessari accorgimenti in modo da evitare successivi assestamenti, ponendo il materiale di maggiori dimensioni negli strati inferiori e quello fino negli strati superiori; si potrà intasare il drenaggio già costituito con sabbia lavata.

Il misto di fiume e la sabbia lavata da impiegare nella formazione dei drenaggi dovranno essere puliti ed esenti da materiali organici e coesivi, granulometricamente assortiti con esclusione dei materiali passanti al setaccio 0,4 della serie UNI.

La formazione e la configurazione finale dei drenaggi a tergo dei piedritti delle gallerie artificiali, saranno conformi a quanto previsto in Progetto o prescritto dalla Direzione Lavori.

### **21.2. Drenaggi a tergo di murature**

Il drenaggio verticale a tergo di murature sarà realizzato con una stuoia drenante dello spessore non inferiore a 22 mm, avente anche funzione di cassero a perdere; sarà costituita da una struttura centrale tridimensionale drenante, in monofilamento di nylon resistente ai raggi U.V. ed allo schiacciamento, intrecciato e termosaldato nei punti di contatto; sarà accoppiata solidamente sulle facce ad un telo filtrante in geotessile dello spessore di 0,7 mm e ad un telo impermeabile in PVC dello spessore di 1 mm.

La stuoia di peso complessivo non inferiore a 2,4 kg/m<sup>2</sup> dovrà avere una capacità drenante alla pressione di 0,05 MPa non inferiore a 1,4 l/s per metro di larghezza. Il dreno sarà posto in opera in aderenza alla superficie della muratura, dovrà essere ben curata la giunzione dei teli con sormonti aventi una sovrapposizione non inferiore a 10 cm; al piede del drenaggio dovrà essere posto in opera un tubo corrugato e fessurato in PVC del diametro non inferiore a 80 mm per consentire l'allontanamento e lo scarico delle acque drenate.

### 21.3. Drenaggi con filtro in geotessile non tessuto

In terreni particolarmente ricchi di materiale fino o sui drenaggi laterali della pavimentazione, gli stessi potranno essere realizzati con filtro laterale in geotessile non tessuto in polipropilene del peso non inferiore a 300 g/m<sup>2</sup>, avente le caratteristiche indicate nelle presenti Norme.

I teli dovranno essere congiunti fra loro per sovrapposizione di almeno 30 cm e successiva graffatura.

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m<sup>2</sup>.

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Il cavo così rivestito sarà riempito con materiale lapideo pulito e vagliato, trattenuto al crivello 10 mm UNI, avente pezzatura massima di 70 mm.

Il materiale dovrà riempire tutta la cavità così da fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Terminato il riempimento si sovrapporrà il geotessile fuoriuscente in sommità e su di esso sarà eseguita una copertura in terra pressata.

Quando previsto in Progetto, sul fondo del drenaggio dovrà essere fornita e posta in opera una tubazione in PVC od in acciaio zincato, microfessurata, per lo smaltimento delle acque.

### 21.4. Drenaggi longitudinali con riempimento in conglomerato cementizio poroso

I drenaggi laterali delle pavimentazioni, ubicati secondo Progetto, dovranno essere realizzati mediante uno scavo di larghezza non inferiore a 30 cm, eseguito con idonea fresatrice automatica.

Lo scavo dovrà raggiungere una profondità di almeno 30 cm, sotto il piano di posa dello strato di fondazione.

La profondità dello scavo dovrà essere variabile in modo da consentire lo scolo delle acque verso gli scarichi nel caso che la pendenza longitudinale della pavimentazione non sia sufficiente a garantire un rapido smaltimento delle acque (< 1,0%).

Sarà impiegato un filtro in geotessile non tessuto in polipropilene, del peso non inferiore a 300 g/m<sup>2</sup>, avente le stesse caratteristiche indicate nelle presenti Norme.

I teli dovranno essere congiunti fra loro per sovrapposizione di almeno 30 cm e successiva graffatura.

Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità del drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m<sup>2</sup>.

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Dopo la posa in opera e l'impermeabilizzazione del geotessile si porrà in opera il dispositivo drenante costituito da materassini in materiale sintetico non putrescibile rivestiti da geotessile non tessuto o da tubo corrugato microfessurato in PVC del diametro di 100 mm.

Sopra il dispositivo drenante sarà gettato conglomerato cementizio poroso, confezionato con cemento di tipo III o IV, avente le seguenti caratteristiche:

- resistenza cubica a compressione a 28 giorni di maturazione > 10 MPa;
- permeabilità > 2 cm/s;
- dimensione massima degli aggregati 4 cm.

Il conglomerato cementizio drenante dovrà riempire la cavità ed essere costipato mediante vibratore per fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Sul conglomerato cementizio si sovrapporranno i lembi del geotessile e su quest'ultimo sarà steso uno strato di conglomerato bituminoso di tipo chiuso (2% dei vuoti nella prova Marshall) dello spessore di 7 cm.

## **21.5. Drenaggi delle cunette in trincea**

I drenaggi sottostanti le cunette laterali nei tratti in trincea dovranno essere realizzati secondo le previsioni di Progetto.

Lo scavo sarà rivestito con un filtro in geotessile non tessuto, per il quale si richiamano le prescrizioni di cui al precedente punto 19.3, per quanto attiene a caratteristiche, impermeabilizzazione del fondo e metodo di posa in opera.

La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso tipo 180 ÷ 200 dato a caldo (o reso fluido con opportuni solventi che non abbiano effetto sul geotessile) in ragione di almeno 2,0 kg/m<sup>2</sup>.

Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo).

Sul fondo, dopo la posa del filtro in geotessile, dovrà essere fornito e posto in opera uno strato di sabbia lavata dello spessore di 5 cm per l'allettamento del tubo di drenaggio. Quest'ultimo, in relazione alle previsioni di Progetto, dovrà essere in acciaio zincato ondulato elicoidalmente e forato, o in PVC nervato e forato. La tipologia e il diametro del tubo saranno quelli indicati in Progetto; nella posa in opera le aperture saranno rivolte verso il basso in modo simmetrico rispetto alla generatrice inferiore del tubo.

Il riempimento finale del cavo sarà in misto di fiume o frantumato di cava. Tale materiale dovrà essere pulito ed esente da componenti organici e coesivi, granulometricamente assortito con esclusione dei materiali passanti al setaccio 0,4 della serie UNI.

Il riempimento potrà essere realizzato con calcestruzzo poroso vibrato, confezionato con cemento di tipo III o IV, avente le seguenti caratteristiche:

- resistenza cubica a compressione a 28 giorni di maturazione > 10 MPa;
- permeabilità > 2 cm/s;
- dimensione massima degli aggregati 4 cm.

Il conglomerato cementizio drenante dovrà riempire la cavità ed essere costipato mediante vibratore per fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo.

Effettuata la chiusura del cavo mediante il risvolto e la sovrapposizione dei due lembi del geotessile, il lembo superiore dovrà essere impregnato con legante bituminoso 180 ÷ 200 dato a caldo. Sopra il drenaggio sarà realizzata la cunetta avente profilo e finitura conforme ai disegni di progetto.

## **21.6. Schermi drenanti discontinui modulari**

### **21.6.1. Definizione**

Si definisce schermo drenante discontinuo modulare una cortina di pozzi drenanti realizzati con la tecnica dei pali trivellati e collegati tra loro da una condotta di fondo per lo scarico a gravità delle acque drenate.

### **21.6.2. Modalità esecutive dei pozzi**

#### **21.6.2.1. Generalità**

La perforazione dei pozzi sarà realizzata con attrezzature a percussione, a rotazione od a benna mordente, con impiego di speciali attrezzature anche fresanti per l'attraversamento di trovanti in roccia.

Dovrà essere eseguita a secco, o con impiego di tuboforma per il rivestimento del foro quando ciò sia reso necessario dalla particolare natura dei terreni, essendo assolutamente vietato l'impiego nella perforazione, dei fanghi bentonitici.

La condotta di fondo sarà realizzata calando sul fondo dei pozzi una speciale attrezzatura in grado di eseguire la perforazione dall'interno di un rivestimento metallico  $\varnothing=1.200$  mm, che potrà essere provvisorio o definitivo in relazione alla sottoelencata tipologia dei pozzi:

- a) pozzo drenante non ispezionabile, del diametro minimo di 1500 mm;
- b) pozzo drenante ispezionabile, del diametro minimo di 1500 mm;
- c) pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale, del diametro minimo di 2000 mm.

Di tutte le perforazioni eseguite dovrà essere fornito un rapportino indicante la data di inizio e di termine, la quota di testa e di fondo unitamente ad una descrizione stratigrafica dei terreni attraversati.

#### **21.6.2.2. Pozzo drenante non ispezionabile**

Il pozzo dovrà avere diametro minimo di 1500 mm.

Al termine della perforazione si dovrà provvedere all'impermeabilizzazioni di fondo con il seguente procedimento:

- posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con il tratto di colonna tubolare definitiva costituente il bicchiere di fondo;
- posa in opera del bicchiere di fondo costituito da semivirole con interposizione di nastro plasto-bituminoso nelle giunzioni bullonate;
- riempimento dello spazio anulare, esistente tra la perforazione e la colonna tubolare definitiva, con malta cementizia di adeguata fluidità, iniettata a pressione, mediante un foro posto sul fondello in lamiera, sino ad ottenere il rifluimento sui fori di sfogo predisposti alla sommità del bicchiere.

All'interno della colonna sarà calata sul fondo del pozzo l'attrezzatura per la perforazione della condotta di fondo, costituita da una sonda oleodinamica di ridotte dimensioni, montata all'interno di uno scudo metallico cilindrico, azionata da una centrale idraulica posta all'esterno del pozzo.

La perforazione della condotta di fondo, diam. 120-130 mm, dovrà essere eseguita adottando gli opportuni provvedimenti per garantire agli operatori condizioni di massima sicurezza.

A tale riguardo si precisa che dovranno essere installati, a cura e spese dell'Appaltatore e fatte salve le prescrizioni del Piano di Sicurezza e Coordinamento e quelle del Piano Operativo di Sicurezza (preventivamente approvato dal Coordinatore della Sicurezza in Fase di Esecuzione):

- un ascensore di servizio;
- un impianto citofonico tra l'operatore sul fondo e quelli di superficie;
- un impianto per l'aggottamento continuo dell'acqua;
- un impianto di aerazione e ventilazione all'interno del pozzo.

Ad avvenuto completamento della perforazione sarà introdotto nel foro un tubo in PVC ondulato o grecato, ad elevato allungamento e flessibilità, avente diametro di 85/75 mm. Detta tubazione deve essere continua ed attraversare anche il pozzo immersa nel materiale drenante; in questo tratto il tubo dovrà essere forato e rivestito con geotessile per la captazione delle acque drenate.

Si procederà quindi alla sigillatura, con cemento a presa rapida, dell'intercapedine esistente tra la perforazione e la tubazione della condotta di fondo in corrispondenza dell'entrata e dell'uscita della condotta stessa.

Sarà immesso quindi il materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm, provvedendo alla contemporanea estrazione della colonna provvisoria  $\varnothing$  1200 mm ed eventualmente del tuboforma  $\varnothing$  1500 mm. Nelle operazioni di estrazione delle colonne si dovrà avere cura che le stesse rimangano sempre immerse nel materiale drenante così da evitare la contaminazione di quest'ultimo.

L'impermeabilizzazione della testa dei pozzi, per un'altezza di circa 1.50 m, sarà costituita da un telo in geotessile, disposto sopra il materiale drenante, da un tappo in calcestruzzo dell'altezza di circa 50 cm e da circa 100 cm di terreno vegetale.



### 21.6.2.3. Pozzo drenante ispezionabile

Il pozzo avrà diametro minimo di 1500 mm.

Al termine della perforazione si dovrà provvedere all'impermeabilizzazioni di fondo con la posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con l'estremità inferiore della colonna di rivestimento definitivo.

Si porrà quindi in opera all'interno del foro un rivestimento definitivo costituito da una tubazione in lamiera zincata ondulata del diametro di 1200 mm.

Le semivirole del tratto inferiore del rivestimento definitivo per un'altezza di circa 2 m saranno unite interponendo nelle giunzioni bullonate un nastro plasto-bituminoso.

La corona anulare risultante tra le pareti del foro e la tubazione di rivestimento definitivo sarà riempita con materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm.

In presenza di tuboforma, questo sarà estratto contemporaneamente alla immissione del materiale drenante, curando che rimanga sempre immerso nello stesso per impedirne la contaminazione.

Il materiale arido sarà intasato, a partire da fondo pozzo fino a 20 cm circa al di sopra della quota della condotta di fondo, con malta cementizia di adeguata fluidità, iniettata a pressione mediante un foro posto sul fondello in lamiera, sino ad ottenere il refluisce dalle giunzioni non sigillate dal nastro plasto-bituminoso.

Si procederà quindi alla perforazione, posa e collegamento della condotta di fondo in tubo PVC del diametro di 85/75 mm, in analogia a quanto riportato al punto precedente.

Il pozzo sarà completato con l'impermeabilizzazione di testa mediante intasamento della corona anulare con conglomerato cementizio per l'altezza di 80 cm circa, previa posa di un telo in geotessile al di sopra del materiale drenante.

Si procederà infine alla copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. con inglobata una botola di accesso in ghisa, conforme a quanto indicato nel presente Capitolato Speciale.

Quando previsto in progetto, il pozzo sarà dotato di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

### 21.6.2.4. Pozzo drenante ispezionabile con funzione strutturale

Il pozzo avrà diametro minimo di 2000 mm; al termine della perforazione si dovrà provvedere alla impermeabilizzazioni di fondo con la posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con l'estremità inferiore della colonna di rivestimento definitivo; si porrà quindi in opera all'interno del foro un rivestimento definitivo costituito da una tubazione in lamiera zincata ondulata del diametro di 1800 mm.

La corona anulare risultante fra le pareti del foro e la tubazione di rivestimento definitivo  $\varnothing$  1800 mm sarà riempito con materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm.

In presenza di eventuale tuboforma, questo sarà estratto contemporaneamente alla immissione del materiale drenante, curando che rimanga sempre immerso nello stesso per impedirne la contaminazione.

All'interno della colonna  $\varnothing$  1800 mm sarà fornita e posta in opera una seconda colonna in lamiera zincata ondulata del diametro di  $\varnothing$  1200 mm.

La corona anulare risultante tra le due colonne metalliche sarà riempita per l'intera altezza con calcestruzzo di tipo III avente classe di resistenza  $> 20/25$  MPa, armato secondo le indicazioni di Progetto.

Si procederà quindi alla perforazione, posa e collegamento della condotta di fondo in tubo PVC del diametro di 85/75 mm, in analogia a quanto già riportato nelle presenti Norme.

La captazione delle acque drenate dal pozzo sarà ottenuta mediante apertura nella corona anulare lamiera-calcestruzzo-lamiera, al di sopra della condotta di fondo, di almeno quattro fori disposti a croce e passanti anche la corona drenante, attrezzati con tubi PVC della lunghezza di almeno 50 cm e diametro 55 mm, forati e rivestiti con calza in geotessile.

Il pozzo sarà completato con l'impermeabilizzazione di testa mediante intasamento della corona anulare con conglomerato cementizio per l'altezza di 80 cm circa, previa posa di un telo in geotessile al di sopra del materiale drenante.

Si procederà infine alla copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. con inglobata una botola di accesso in ghisa, conforme a quanto indicato nel presente Capitolato Speciale.

Il pozzo sarà dotato di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

### **21.6.3. Modalità esecutive della condotta di fondo**

Relativamente alle modalità esecutive della condotta di fondo, oltre a quanto già descritto precedentemente, si puntualizza quanto segue:

- le cautele per conseguire condizioni di massima sicurezza per gli operatori in fase di perforazione e posa del tubo sono automaticamente connesse alla particolare natura del lavoro. Le stesse vanno prioritariamente soggette alle prescrizioni contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento e nel Piano Operativo di Sicurezza (preventivamente approvato dal Coordinatore della Sicurezza in Fase di Esecuzione);
- la perforazione dovrà avere diametro minimo di 120 mm e dovrà essere eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza, compresi trovanti, strati lapidei ecc., anche in presenza di acqua in pressione, utilizzando carotieri, tricono od altri utensili adeguati alle necessità;
- la perforazione guidata di precisione, orizzontale o suborizzontale, del diametro di 150 mm eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza, anche in presenza di acqua in pressione, avrà punto di arrivo obbligato, avrà lunghezza come indicato in progetto e sarà eseguita con sonda operante dall'esterno del pozzo. In caso di mancato intercettamento del punto di arrivo obbligato, l'Appaltatore è tenuto alla riperforazione;
- la tubazione in PVC dovrà avere diametro esterno di 85/75 mm ed essere ondulata o grecata ad elevato allungamento e flessibilità; dovrà essere forata e rivestita con geotessile nel tratto corrente all'interno dei pozzi drenanti; con giunzioni ad anello asimmetrico in gomma, compreso il bloccaggio mediante cementazione in corrispondenza dei punti di sbocco nei pozzi.

### **21.6.4. Caratteristiche del materiale drenante**

Il materiale drenante dovrà avere fuso granulometrico compreso fra 3 e 25 mm, con passante al vaglio 200 ASTM non superiore al 5%; dovrà essere lavato ed esente da materiali organici e coesivi.

Il controllo della granulometria sarà effettuato mediante analisi granulometriche con frequenza di almeno una analisi ogni 100 m<sup>3</sup>, salvo diverse disposizioni della Direzione Lavori.

## **22. Conglomerati cementizi – Malte e boiacche cementizie**

### **22.1. Generalità**

Tutto il calcestruzzo utilizzato, sia prodotto in cantiere, sia in uno stabilimento esterno al cantiere, dovrà essere idoneo all'impiego in ogni singola opera d'arte, in conformità al progetto ed alle normative più avanti riportate e dovrà essere confezionato con processo industrializzato, mediante impianti idonei ad una produzione costante, con personale e attrezzature capaci di valutare e correggere la qualità del prodotto.

Gli impianti devono essere dotati di un sistema di controllo della produzione e di un sistema di gestione della qualità secondo UNI EN 9001, certificato da un organismo terzo indipendente. In mancanza di tale certificazione l'impianto dovrà comunque dimostrare di avere implementato un efficace sistema di gestione, in grado di garantire il controllo di ogni fase dell'approvvigionamento e della produzione.

Quando l'importanza e/o la quantità delle opere da realizzare in calcestruzzo lo richiede (esemplificativamente: lotti autostradali o simili, ponti e viadotti con campate di luce superiore a 50 m, dighe, importanti opere di sistemazione marittima o fluviale, edifici multipiano o con travature di luce superiore a 15 m), per gli aspetti attinenti alla tecnolo-

gia del conglomerato cementizio l'Appaltatore dovrà, a richiesta dalla Direzione Lavori, avvalersi della collaborazione di un tecnologo qualificato, il cui curriculum dovrà essere sottoposto all'approvazione del Direttore dei Lavori.

Per il calcestruzzo fornito da un confezionatore esterno l'Appaltatore dovrà garantire il rispetto delle specifiche del presente Capitolato.

Le norme di riferimento sono talore riportate nei vari punti del presente articolo, soprattutto con riferimento a particolari tipologie o casi di impiego del calcestruzzo; tuttavia si riportano qui in modo più organico e completo, relativamente alle tipologie e casi correnti.

Quanto riportato nel presente articolo per il calcestruzzo vale, in quanto applicabile ed in mancanza di prescrizioni specifiche, anche per le malte e per le boiacche a base cementizia. Si deve inoltre fare riferimento all'articolo generale sui materiali e sistemi da impiegarsi.

Le principali norme relative al calcestruzzo semplice o armato (ordinario o precompresso), alle malte ed alle boiacche, sono le seguenti:

Norma	Titolo
D.M. 14/01/2008	Nuove norme tecniche per le costruzioni – Punto 11.2: calcestruzzo e punto 11.3.2: acciaio per cemento armato
Circ. M.I.T. n. 617/2009	Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 – Punto C11.2: calcestruzzo e punto C.11.3.2: acciaio per cemento armato
UNI EN 206	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI EN 445	Boiaccia per cavi di precompressione - Metodi di prova
UNI EN 446	Boiaccia per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiaccia
UNI EN 447	Boiaccia per cavi di precompressione - Requisiti di base
UNI EN 523	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità
UNI EN 524-1	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della forma e delle dimensioni
UNI EN 524-2	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione del comportamento a flessione
UNI EN 524-3	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Prova di flessione nei due sensi
UNI EN 524-4	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza ai carichi laterali
UNI EN 524-5	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a trazione
UNI EN 524-6	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della tenuta (Determinazione delle perdite d acqua)
UNI 7044	Determinazione della consistenza delle malte cementizie mediante l' impiego di tavola a scosse.
UNI EN 998-1	Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni
UNI EN 998-2	Specifiche per malte per opere murarie - Parte 2: Malte da muratura
UNI EN 1015-1	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica (mediante stacciatura)

Norma	Titolo
UNI EN 1015-2	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 2: Campionamento globale delle malte e preparazione delle malte di prova
UNI EN 1015-3	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 3: Determinazione della consistenza della malta fresca (mediante tavola a scosse)
UNI EN 1015-4	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione della consistenza della malta fresca (mediante penetrazione della sonda)
UNI EN 1015-6	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 6: Determinazione della massa volumica apparente della malta fresca
UNI EN 1015-7	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione del contenuto d'aria della malta fresca
UNI EN 1015-9	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 9: Determinazione del tempo di lavorabilità e del tempo di correzione della malta fresca
UNI EN 1015-10	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 10: Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata
UNI EN 1015-11	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita
UNI EN 1015-12	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno
UNI EN 1015-17	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 17: Determinazione del contenuto di cloruro solubile in acqua delle malte fresche
UNI EN 1015-18	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita
UNI EN 1015-19	Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 19: Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua delle malte da intonaco indurite
UNI EN 1015-21	Metodi di prova per malte per opere murarie - Determinazione della compatibilità delle malte monostrato per esterni con il supporto
UNI EN 1992-1-1	Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici – Sez. 3: Materiali
UNI EN 10080	Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile - Generalità
UNI EN 12350-1	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento
UNI EN 12350-2	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 2: Prova di abbassamento al cono
UNI EN 12350-3	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 3: Prova Vébé
UNI EN 12350-4	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 4: Indice di compattabilità
UNI EN 12350-5	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 5: Prova di spandimento alla tavola a scosse
UNI EN 12350-6	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 6: Massa volumica
UNI EN 12350-7	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 7: Contenuto d'aria - Metodo per pressione
UNI EN 12390-1	Prove sul calcestruzzo indurito - Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
UNI EN 12390-2	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di

Norma	Titolo
	resistenza
UNI EN 12390-3	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini
UNI EN 12390-4	Prove sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione - Specifiche per macchine di prova
UNI EN 12390-5	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 5: Resistenza a flessione dei provini
UNI EN 12390-6	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini
UNI EN 12390-7	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito
UNI EN 12390-8	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione
UNI CEN/TS 12390-9	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo - Scagliatura
UNI CEN/TS 12390-10	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 10: Determinazione della resistenza relativa alla carbonazione del calcestruzzo
UNI CEN/TS 12390-11	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 11: Determinazione della resistenza ai cloruri del calcestruzzo, diffusione unidirezionale
UNI EN 12504-1	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione
UNI EN 12504-2	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico
UNI EN 12504-3	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione
UNI EN 12504-4	Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici
UNI EN 12649	Compattatori di calcestruzzo e macchine lisciatrici - Sicurezza
UNI EN 13391	Prove meccaniche per dispositivi di precompressione a cavi post-tesi
UNI EN 13791	Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo
UNI CEN/TR 15225	Linee guida per il controllo di produzione in fabbrica ai fini della marcatura CE (sistema di attestazione di conformità 2+) delle malte destinate alle opere murarie
UNI EN ISO 15630-1	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato
UNI EN ISO 15630-2	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 2: Reti saldate
UNI EN ISO 15630-3	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
UNI 6556	Prove sui calcestruzzi. Determinazione del modulo elastico secante a compressione.
UNI 7087	Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo
UNI 7122	Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
UNI 7123	Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione.

Norma	Titolo
UNI 7699	Prova sul calcestruzzo indurito - Determinazione dell'assorbimento di acqua alla pressione atmosferica
UNI 7675	Fili per calcestruzzo armato precompresso
UNI 7676	Trecce a 2-3 fili e trefoli a 7 fili per calcestruzzo armato precompresso
UNI 9944	Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo
UNI 10157	Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inserti ad espansione geometrica e forzata
UNI 10322	Corrosione delle armature delle strutture di calcestruzzo. Metodo per la determinazione del grado di protezione del calcestruzzo nei confronti dell'armatura
UNI 10766	Calcestruzzo indurito - Prove di compressione su provini ricavati da microcarote per la stima delle resistenze cubiche locali del calcestruzzo in situ
UNI 11307	Prova sul calcestruzzo indurito - Determinazione del ritiro
UNI 11201	Prove sul calcestruzzo fresco - Determinazione del contenuto di acqua
UNI 11104	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della UNI EN 206
UNI 11164	Calcestruzzo - Determinazione della permeabilità all'ossigeno

Utili riferimenti sono anche le linee guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e le norme sul calcestruzzo della serie ACI (*American Concrete Institute*), delle quali si riportano le seguenti:

Norma	Titolo
CSLP-STC (Dic. 1996)	Linee guida sul calcestruzzo strutturale
CSLP-STC (Feb. 2008)	Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive
ACI 301-10	<i>Specifications for Structural Concrete</i>
ACI 117-10	<i>Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary</i>
ACI 224.1R-07	<i>Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures</i>
ACI 302.1R-04	<i>Guide for Concrete Floor and Slab Construction</i>
ACI 304R-00	<i>Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete</i>
ACI 305R-10	<i>Guide to Hot Weather Concreting</i>
ACI 306R-10	<i>Guide to Cold Weather Concreting</i>
ACI 308R-01	<i>Guide to Curing Concrete</i>
ACI 309R-05	<i>Guide for Consolidation of Concrete</i>
ACI 347-04	<i>Guide to Formwork for Concrete</i>

## 22.2. Materiali

### 22.2.1. Aggregati

Saranno impiegati esclusivamente aggregati muniti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

Le norme da osservare sono indicate allo specifico punto dell'articolo sui materiali e sistemi da impiegarsi.

Dovranno essere costituiti da elementi resistenti e poco porosi, non gelivi privi di quantità eccedenti i limiti ammessi di parti friabili, polverulente, scistose, piatte o allungate, conchiglie, cloruri, solfati solubili, argilla e sostanze organiche; non dovranno contenere i minerali pericolosi: pirite, marcasite, pirrotina, gesso e quantità nocive di materiali reattivi agli alcali.

Per ciascuna delle cave di provenienza dei materiali dovrà essere accertata, mediante esame mineralogico (UNI EN 932-3) presso un Laboratorio Ufficiale, l'assenza dei minerali indesiderati suddetti e di forme di silice reattiva verso gli alcali contenuti nel calcestruzzo (in particolare: opale, calcedonio, tridimite, cristobalite, quarzo ad estinzione ondulata, selce, vetri vulcanici, ossidiane).

Tale esame verrà ripetuto con la frequenza indicata nella Tabella A riportata più avanti, e comunque almeno una volta all'anno.

Qualora si riscontri la presenza di forme di silice reattiva, si dovrà valutare ed attuare il livello di prevenzione appropriato, in base alla classe di esposizione e alla categoria delle opere, con riferimento alla UNI 8981-2.

Nella Tabella A sono riepilogati i principali requisiti degli aggregati e le prove cui devono essere sottoposti, con l'indicazione delle norme di riferimento, delle tolleranze di accettabilità e della frequenza.

È consentito l'impiego di aggregato di recupero dall'acqua di lavaggio in misura non superiore al 5% dell'aggregato totale.

La curva granulometrica delle miscele di aggregato per conglomerato cementizio dovrà essere tale da ottenere la minima richiesta d'acqua a parità di dosaggio di cemento e di lavorabilità dell'impasto e dovrà permettere di ottenere i requisiti voluti sia nell'impasto fresco (consistenza, omogeneità, lavorabilità, aria inglobata, ecc.) che nell'impasto indurito (resistenza, permeabilità, modulo elastico, ritiro, viscosità, durabilità, ecc.).

Le singole frazioni necessarie a comporre la curva granulometrica non dovranno sovrapporsi per più del 15% e il diametro inferiore ( $d$ ) della frazione ( $i+1$ -esima) dovrà risultare minore o uguale al diametro superiore ( $D$ ) della frazione  $i$ -esima.

Nella composizione della curva granulometrica nessuna frazione potrà essere dosata in percentuale maggiore del 45%, salvo preventiva autorizzazione del Direttore dei Lavori.

La curva granulometrica dovrà risultare costantemente compresa nel fuso granulometrico dichiarato dal produttore (con tolleranza di  $\pm 10\%$  rispetto alla curva di riferimento) ed approvato dalla Direzione dei Lavori e dovrà essere verificata ogni 8000 m<sup>3</sup> di aggregati impiegati.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla granulometria della sabbia e al suo contenuto di fini allo scopo di ridurre al minimo il fenomeno dell'essudazione (*bleeding*) nel conglomerato cementizio.

All'impianto di betonaggio dovranno essere impiegate almeno tre dimensioni dell'aggregato delle categorie Gc85/20 per  $D_{max}$  fino a 11,2 mm, Gc90/15 per  $D_{max}$  maggiore di 11,2 mm e Gf85 per le sabbie (UNI EN 12620).

Rispetto alla dimensione massima dichiarata ( $D_{max}$ ) dell'aggregato combinato, deve essere presente una sovraclasse da 2 a 5 %.

La dimensione massima ( $D_{max}$ ) dell'aggregato deve essere tale da permettere che il conglomerato possa riempire ogni parte del manufatto; dovrà pertanto risultare:

- minore di 1/5 della dimensione minima delle strutture;
- minore della spaziatura minima tra le barre di armatura, diminuita di 5 mm;
- minore di 1,3 volte lo spessore del copriferro tranne che per interni di edifici (in tal caso dovrà risultare non maggiore del copriferro).

Per calcestruzzo pompato il modulo di finezza della sabbia dovrà essere compreso tra 2.4 e 3.0, la percentuale di passante al vaglio da 0.25 mm dovrà essere compresa tra il 10 e il 20% in peso, la percentuale di passante allo 0.125 dovrà essere compresa tra il 5 e il 10% in peso.

## **22.2.2. Additivi**

### **22.2.2.1. Generalità**

Gli additivi dovranno rispondere alle norme indicate allo specifico punto dell'articolo sui materiali e sistemi da impiegarsi.

L'Appaltatore dovrà impiegare esclusivamente additivi muniti di marcatura CE e della prescritta documentazione a corredo.

Nel caso di uso contemporaneo di più additivi (che dovranno provenire esclusivamente dallo stesso produttore) l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione della loro mutua compatibilità.

Ad ogni carico di additivo giunto in cantiere, l'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori, copia fotostatica del documento di trasporto e l'Attestato di Conformità CE.

La quantità di additivo liquido che superi 3 l/m<sup>3</sup> di calcestruzzo deve essere presa in conto nel calcolo del rapporto A/C.

Gli additivi dovranno essere aggiunti al conglomerato cementizio nel premiscelatore o nell'autobetoniera contemporaneamente all'acqua d'impasto con un sistema meccanico che consenta di aggiungere l'additivo con una tolleranza sulla quantità prescritta non superiore al 5% ed inoltre che assicuri la sua uniforme distribuzione nella massa del conglomerato cementizio durante il periodo di miscelazione.

### **22.2.2.2. Additivi fluidificanti e superfluidificanti**

Allo scopo di realizzare conglomerati cementizi impermeabili e durevoli a basso rapporto A/C ed elevata lavorabilità (v. Tab. H), si farà costantemente uso di additivi riduttori d'acqua fluidificanti e superfluidificanti approvati dalla Direzione Lavori.

A seconda delle condizioni ambientali e dei tempi di trasporto e lavorazione, potranno essere impiegati anche additivi multifunzionali ad azione fluidificante-aerante, fluidificante-ritardante e fluidificante-accelerante. Non dovranno essere impiegati additivi contenenti cloruro in misura maggiore dello 0,10% in massa.

Il loro dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi sulla base delle indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore.

La scelta degli additivi fluidificanti dovrà essere basata, tenendo conto della stagione d'impiego:

- sull'effettività capacità di riduzione d'acqua a consistenza S4-S5 per confronto con calcestruzzo privo di additivo. Tale capacità dovrà essere verificata con prove di laboratorio eseguite impiegando aggregati asciutti di cui sia noto l'assorbimento, ad una temperatura ambiente simile a quella prevedibile della stagione di impiego per ciascuna miscela,
- sul mantenimento della lavorabilità che deve essere appropriato alle lavorazioni ed alle stagioni previste, assicurando una perdita di slump non superiore a 20-40 mm tra la centrale di betonaggio e il punto di getto, anche per tempi fino a 90 minuti.

Per ottimizzare i risultati si dovrà usare un additivo superfluidificante a rilascio progressivo a base carbossilato etere, avente le seguenti caratteristiche con un dosaggio di 1.0 - 1.4 l/100 kg di cemento:

- riduzione d'acqua non minore del 20 %,
- mantenimento della consistenza S4 per almeno 60 minuti.



### 22.2.2.3. Additivi aeranti

Per conglomerati cementizi soggetti durante l'esercizio a cicli di gelo-disgelo, si farà costantemente uso degli additivi aeranti normalizzati nella UNI EN 934-2.

Ricadono in questa prescrizione:

- tutte le cunette, i muretti, i pulvini, le solette esposte anche solo parzialmente alla pioggia;
- tutti gli elementi strutturali situati a quote maggiori di 400 m slm, esclusi i precompressi; al di sotto di detta quota, qualora non vi siano specifiche indicazioni in progetto, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, stabilirà se utilizzare calcestruzzi aerati in funzione delle condizioni climatiche prevalenti e dell'impiego di sale nelle operazioni invernali;

La percentuale di aria aggiunta varierà, secondo quanto riportato nella Tabella B, in rapporto alla dimensione massima degli aggregati ( $D_{max}$ ) e sarà misurata sul conglomerato cementizio fresco prelevato all'atto della posa in opera secondo la relativa Norma UNI EN 12350-7.

L'Appaltatore dovrà adottare le opportune cautele affinché, per effetto dei procedimenti di posa in opera e compattazione attuati, non si abbia una riduzione del tenore d'aria effettivamente aggiunta al di sotto dei limiti della tabella. A tale scopo per la qualifica delle miscele aerate si dovrà procedere alla misura della differenza del contenuto d'aria del calcestruzzo fresco alla centrale di betonaggio e del calcestruzzo fresco dopo il trasporto, la posa in opera e la compattazione nel manufatto.

Il contenuto d'aria aggiunta nel conglomerato cementizio indurito potrà essere verificato con il procedimento descritto nella UNI EN 480-11. Qualora si riscontri una carenza d'aria rispetto ai quantitativi minimi prescritti, si opererà un deprezzamento del 10% del conglomerato per ogni percento di aria in meno, fino al 30%.

Per gli elementi strutturali precompressi non si userà calcestruzzo aerato. Se si prevede l'esposizione a cicli gelo-disgelo, il calcestruzzo deve essere resistente al gelo e la verifica deve effettuarsi con un metodo di prova adatto per un calcestruzzo aerato (UNI 7087). In climi severi e dove si faccia uso di sale, per tali elementi si ricorrerà alla protezione superficiale mediante sistemi protettivi pellicolari.

Sui pulvini di opere situate in località in cui si prevedano le operazioni invernali, dovranno sempre essere applicati sistemi protettivi pellicolari.

### 22.2.2.4. Additivi ritardanti e acceleranti

Gli additivi ritardanti riducono la velocità iniziale delle reazioni tra il legante e l'acqua aumentando il tempo necessario ai conglomerati cementizi per passare dallo stato plastico a quello rigido, senza influenzare lo sviluppo successivo delle resistenze meccaniche, dopo la maturazione a 28 gg.

Gli additivi acceleranti di presa o di indurimento aumentano la velocità delle reazioni tra il legante e l'acqua e conseguentemente la perdita di lavorabilità e lo sviluppo delle resistenze dei conglomerati cementizi senza pregiudicare la resistenza finale degli impasti.

Preferibilmente verranno impiegati additivi multifunzionali ad azione fluidificante-ritardante o fluidificante-accelerante.

I tipi ed i dosaggi impiegati rispondenti alla normativa UNI EN 934-2, o UNI EN 10765 dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.

### 22.2.3. Aggiunte

#### 22.2.3.1. Generalità

È ammesso l'impiego di aggiunte sia idrauliche che inerti in conformità alla UNI EN 206.

#### 22.2.3.2. Ceneri volanti

Le ceneri volanti, dovranno provenire da centrali termoelettriche in grado di fornire un prodotto di qualità costante nel tempo e documentabile, che dovrà essere costantemente controllata.

Le caratteristiche delle ceneri volanti devono essere conformi alla UNI EN 450-1 e in particolare ai requisiti riportati nella Tabella C.

Se si utilizzano cementi di tipo I 42.5 e II A/L 42.5, la quantità di ceneri potrà essere elevata fino al 33% del peso del cemento e potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto A/C sostituendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K \* cenere)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K \* cenere".

K assume i valori seguenti:

- CEM I 42.5 N, R            K = 0.4,
- CEM II A/L 42.5 N, R    K = 0.2.

Il dosaggio minimo di cemento in funzione della classe di esposizione (si veda la Tabella H) può essere diminuito della quantità massima di  $K \times (\text{dosaggio minimo di cemento} - 200) \text{ kg/m}^3$ . Per gli altri tipi di cemento, il dosaggio delle ceneri volanti non deve superare il 25% del peso del cemento. In questo caso l'aggiunta non sarà computata in alcun modo nel dosaggio di cemento e nel calcolo del rapporto A/C.

Ove sia richiesto l'uso dei cementi resistenti ai solfati con basso tenore di  $C_3A$  (alluminato tricalcico) l'aggiunta non è consentita. L'eventuale maggior richiesta d'acqua potrà essere compensata con un maggior dosaggio di additivo.

Nella progettazione della miscela e nelle verifiche periodiche da eseguire, andrà comunque verificato che l'aggiunta di ceneri praticata non comporti un incremento della richiesta di additivo, per ottenere la stessa fluidità dell'impasto privo di ceneri maggiore dello 0,2% sul cemento.

Qualora si debbano impiegare calcestruzzi aerati, si dovrà determinare mediante apposite prove l'eventuale maggior dosaggio di aerante necessario.

Tabella A - Caratteristiche degli aggregati

CARATTERISTICHE	PROVE	NORME	LIMITI DI ACCETTABILITÀ
Gelività degli aggregati	Gelività	UNI EN 1367-1	Perdita di massa < 4% dopo 20 cicli (categoria F4 UNI EN 12620). Cat. F2 per classe di esposizione XF1 e XF2; cat. F1 per cl. di esp. XF3 e XF4
Assorbimento dell'aggregato grosso per classi di esposizione XF	Assorbimento	UNI EN 1097-7	< 1%
Resistenza alla abrasione	Los Angeles	CNR 34 e UNI EN 1097-2	Perdita di massa L.A. 30% cat. LA <sub>30</sub> . Per classi di resistenza C60 o superiori si impiegherà la categoria LA <sub>20</sub>
Compattezza degli aggregati	Degradabilità al solfato di magnesio	UNI EN 1367-2	Perdita di massa dopo 5 cicli ≤ 10%
Presenza di gesso e solfati solubili	Analisi chimica degli aggregati	UNI EN 1744-1	SO <sub>3</sub> ≤ 0,1%
Contenuto di polveri	Aggregato grosso non frantumato o frantumato da depositi alluvionali	Passante a 0,063 mm, UNI EN 933-2	≤ f <sub>1,5</sub>
	Aggregato grosso frantumato da roccia		≤ f <sub>4,0</sub>
	Sabbia non frantumata		≤ f <sub>3,0</sub>
	Sabbia frantumata		≤ f <sub>10</sub>
Equivalente in sabbia e valore di blù		UNI EN 933-8-9	ES ≥ 80 MB ≤ 1 g/kg di sabbia
Presenza di pirite, marcasite, pirrotina	Analisi petrografica	UNI EN 932-3	assenti
Presenza di sostanze organiche	Determinazione colorimetrica	UNI EN 1744-1	Per aggregato fine: colore della soluzione più chiaro dello standard di riferimento
Presenza di forme di silice reattiva, incluso quarzo ad estinzione ondulata	Prova accelerata su provini di malta	UNI 8520-22	Espansione < 0,1%
	Metodo del prisma di malta (se è superato il limite per la prova accelerata)		Espansione < 0,05% a 3 mesi oppure < 0,1% a 6 mesi
Presenza di cloruri solubili	Analisi chimica	UNI EN 1744-1	Cl <sup>-</sup> < 0,1 % rispetto al peso di cemento per c.a.p. e < 0,2 % per c.a. normale
Coefficiente di forma e di appiattimento	Determinazione dei coefficienti di forma SI e di appiattimento FI	UNI EN 933-3	FI e SI ≥ 0,15 (D <sub>max</sub> = 32 mm)
		UNI EN 933-4	FI e SI ≥ 0,12 (D <sub>max</sub> = 64 mm)
Dimensioni per il <i>filler</i>	Passante ai vagli	UNI EN 933-10	Vaglio 2mm= 100 0,125 mm 85-100 0,063 m 75-100
Frequenza delle prove	La frequenza sarà definita dalla Direzione Lavori. Dovranno comunque essere eseguite prove: in sede di prequalifica, per ogni cambiamento di cava o materiali nel corpo di cava; ogni 8000 m <sup>3</sup> di aggregati impiegati.		

### 22.2.3.3. Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice)

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polvere costituite da silice amorfa ad elevatissima superficie specifica (fumo di silice), anche additivate con superfluidificanti di cui costituiscano un supporto. Ciò per ottenere conglomerati cementizi ad elevata lavorabilità, resistenza e durabilità, in particolare in presenza di cicli gelo-disgelo e di sali disgelanti.

I fumi di silice provenienti dalle industrie che producono il silicio metallico e le leghe ferro-silicio, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 13263 parte 1 e 2.

Il fumo di silice può essere utilizzato allo stato naturale (in polvere così come ottenuto all'arco elettrico), come sospensione liquida (*slurry*) di particelle con contenuto secco del 50% in massa oppure in sacchi di premiscelato contenenti fumo di silice e additivo superfluidificante. Se impiegato in forma di *slurry* il quantitativo di acqua apportato dalla sospensione contenente fumo di silice dovrà essere tenuto in conto nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente.

La quantità di fumo di silice aggiunta all'impasto, limitata all'intervallo 5-10% sul peso del cemento, dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale.

In via preliminare dovrà essere eseguita una verifica del campione mediante immersione di provini in soluzione al 30% di  $\text{CaCl}_2$  a 5 °C per venti giorni senza che sui provini stessi si manifesti formazione di fessure o scaglie.

Le caratteristiche tecniche previste secondo la UNI EN 13263 dovranno essere quelle della Tabella D.

In deroga a quanto riportato al punto 5.2.5.2.3 della norma UNI EN 206, la quantità massima di fumo di silice che può essere considerata agli effetti del rapporto acqua/cemento equivalente e del contenuto di cemento, deve soddisfare il requisito: fumo di silice  $\leq$  7% rispetto alla massa di cemento.

Ai fini del calcolo del rapporto A/C equivalente, il coefficiente K verrà desunto dal prospetto seguente, che deve intendersi generalmente riferito a fumi di silice utilizzati nel confezionamento di calcestruzzi impiegando esclusivamente con cementi tipo I e CEM II-A di classe 42.5 e 42.5R, conformi alla UNI EN 197-1:

- per  $A/C \leq 0,45$      $K = 2,0$ ,
- per  $A/C > 0,45$      $K = 2,0$ ,     $K = 1,0$  (classi di esposizione XC e XF).

La quantità (cemento + K \* quantità fumo di silice) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui la struttura ricade.

L'impiego di fumo di silice con cementi diversi da quelli sopramenzionati è subordinato all'approvazione preliminare della D.L.

Per l'ottenimento delle resistenze fino a 7 gg l'apporto della silice non dovrà essere preso in considerazione.

### 22.2.3.4. Filler

Per migliorare la reologia delle miscele e ridurre il *bleeding*, è ammesso l'impiego di *filler* calcareo o di ceneri volanti. Questi materiali devono rispondere alle rispettive norme: UNI EN 450 per le ceneri volanti, UNI 8520-2 per il *filler*.

Le caratteristiche del *filler* devono risultare conformi ai requisiti della Tabella E.

Tabella B - Dosaggio richiesto di aria aggiunta

D <sub>max</sub> Aggregati (mm)	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
10,0	4.5	8.5
12,5	4.0	8
20,0	3.5	7.5
25,0	3,0	7

D <sub>max</sub> Aggregati (mm)	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
40,0	2,5	6.5
50,0	2,0	5
75,0	1,5	3

Tabella C - Caratteristiche delle ceneri volanti

Caratteristica	U. di m.	Limiti di accettazione	Tolleranze	Frequenza prove
Perdita al fuoco (p.p.c.) (1 ora) UNI ENV 196/2	%	≤ 5,0	+ 2,0	1/ciascuna fornitura
Cl (cloruri) - UNI EN 196/21	%	≤ 0,1	+ 0,01	trimestrale o 1/1000 t
SO <sub>3</sub> (anidride solforica) – UNI ENV 196/2	%	≤ 3,0	+ 0,5	trimestrale o 1/1000 t
Ossido di calcio libero – UNI EN 451/1	%	≤ 1,0	+ 0,1	mensile
Stabilità volumetrica (se l'ossido di calcio libero è compreso tra 1 e 2,5%) Prova le Chatelier UNI ENV 196-3	mm	≤ 10	+ 1,0	mensile o 1/200 t
Contenuto totale di alcali EN 196-21 come sodio equivalente	%	< 4	+ 1	mensile
Ossido di magnesio secondo EN 196-2	%	<3	+1	mensile
Fosfato solubile (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	mg/kg	<100		mensile
Trattenuto al vaglio da 45 µm UNI EN 451/2	%	≤ 40	± 10	mensile
Massa Volumica Reale UNI ENV 196/6	t/m <sup>3</sup>	val. medio dichiarato	± 150	trimestrale o 1/1000 t
Indice di attività pozzolanica a 28 gg.		≥ 75	- 5	
Indice di attività pozzolanica a 90 gg. (UNI EN 196/1 – cemento di rif. CEM I)	%	≥ 85	- 5	mensile o 1/500 t

Tabella D - Limiti di composizione per il fumo di silice

Parametri	Limiti
SiO <sub>2</sub>	> 85%
CaO	< 1,2%
SO <sub>3</sub>	< 2,5%
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	< 4,0%
Cl <sup>-</sup>	< 0,2%
Area specifica B.E.T.	20-35 m <sup>2</sup> /g
Silicio elementare, Si	< 0,5 %

Tabella E - Caratteristiche e limiti ammissibili per i *filler*

Caratteristica	Limiti ammissibili	Metodo di prova
Granulometria	Devono essere rispettati i limiti del prospetto 7 della norma UNI EN 12620	UNI EN 933-10
Massa volumica dei granuli	La massa volumica deve essere espressa in termini di massa volumica dopo essiccazione in stufa e deve essere >2000	UNI EN 1097-6
Contenuto di cloruri solubili in acqua	Il contenuto di cloruri deve essere ≤ 0,03 %	UNI EN 1744-1, punto 7
Contenuto di solfati solubili in acido	Contenuto di solfati solubili in acido < 0,8%	UNI EN 1744-1, punto 12
Contenuto di zolfo totale	contenuto di zolfo totale 1, 0%	UNI EN 1744-1, punto 11
Qualità dei fini per (Pulizia)	Il valore del blu di metilene MB <sub>f</sub> ≤ 12 g/kg	UNI EN 933-9, appendice A
Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo	Il contenuto di tali materiali deve soddisfare i requisiti del.6.4.1 della norma UNI EN 12620	UNI EN 1744-1, punto 15.1; 15.2; 15.3

### 22.3. Durabilità dei conglomerati cementizi

La durabilità delle opere in conglomerato cementizio è definita dalla capacità di mantenere nel tempo, entro limiti accettabili per le esigenze di esercizio, i valori delle caratteristiche funzionali in presenza di cause di degrado.

Le cause di degrado più frequenti sono i fenomeni di corrosione delle armature, i cicli di gelo-disgelo, l'attacco di acque aggressive di varia natura per la presenza di solfati, cloruri, anidride carbonica aggressiva.

Il degrado va prevenuto applicando nelle fasi di progettazione e di esecuzione le norme generali UNI EN 206 e UNI 11104 e quelle specifiche seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 11417-1	Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo - Parte 1: Istruzioni per ottenere la resistenza alle azioni aggressive
UNI EN 11417-2	Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo - Parte 2: Istruzioni per prevenire la reazione alcali-silice

La Direzione Lavori, eventualmente d'intesa con il Progettista e con l'Appaltatore, verificherà in fase di qualifica dei materiali e degli impasti l'efficacia dei provvedimenti da adottare in base alle suddette norme UNI.

La durabilità si ottiene mediante l'impiego di conglomerato cementizio poco permeabile, eventualmente aerato, a basso rapporto A/C, di elevata lavorabilità, con adeguato dosaggio di cemento del tipo idoneo, mediante compattazione adeguata, rispettando i limiti del tenore di ione cloruro totale nel conglomerato cementizio e curando scrupolosamente la stagionatura.

Oltre all'impiego di tale conglomerato cementizio riveste fondamentale importanza anche lo spessore del copriferro e la eventuale presenza di fessurazioni dei manufatti.

In presenza di concentrazioni sensibili di solfati, di anidride carbonica aggressiva e altri aggressivi nelle acque e nei terreni a contatto dei manufatti, dovranno essere osservate le istruzioni di cui alle suddette normative, impiegando i tipi di cemento corrispondenti alle classi di resistenza chimica moderata, alta ed altissima, secondo le prescrizioni delle Norme UNI 9156 e 9606; inoltre, per i conglomerati dei tipi II e III, il rapporto acqua cemento dovrà essere inferiore di 0,05 rispetto a quelli della Tabella 20 H.

In alternativa ad una prova globale di durabilità, la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, farà eseguire, sempre in fase di qualifica, prove di permeabilità, prove di resistenza ai cicli di gelo disgelo, d'assorbimento d'acqua, di scagliamento in presenza di cloruro, di resistenza all'azione di soluzioni aggressive.

La prova di resistenza al gelo sarà svolta sottoponendo i campioni a 300 cicli di gelo e disgelo, secondo UNI 7087; la conseguente variazione delle proprietà caratteristiche dovrà essere contenuta entro i limiti riportati nella Tabella F.

Tabella F - Prova di resistenza al gelo - Variazioni ammesse

Riduzione del modulo d'elasticità:	20%
Perdita di massa:	2%
Espansione lineare:	0.2%

La prova di permeabilità all'acqua sarà eseguita secondo la Norma ISO 7031. Si richiede una penetrazione media non superiore a 50 mm.

La prova di permeabilità all'ossigeno sarà eseguita secondo UNI 11164. Per calcestruzzo impermeabile si richiede un coefficiente di permeabilità non superiore a  $1.5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ .

### 22.4. Tipi e classi dei conglomerati cementizi

Ai fini del presente Capitolato, vengono presi in considerazione tipi e classi di conglomerato cementizio come segue:

- i "tipi" sono definiti nella Tabella G, nella quale sono indicate alcune caratteristiche dei conglomerati cementizi e sono esemplificati i relativi campi di impiego;
- le "classi" indicano la resistenza caratteristica cubica del conglomerato cementizio a ventotto giorni di maturazione, espressa in MPa.

Ai fini dell'utilizzo della Tabella G, dovranno essere osservate le prescrizioni di progetto o, in mancanza, quelle del Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista. Tali prescrizioni devono di regola assegnare a ciascun elemento strutturale l'opportuna classe di esposizione conformemente alle prescrizioni contenute nel prospetto 1 della norma UNI 11104 (allegato 20.1), tenendo anche in considerazione la tabella dell'allegato 20.2.

Per tutte le strutture immerse o contro terra deve essere accertata la composizione dell'acqua e/o del terreno, allo scopo di assegnare la corretta classe di esposizione.

Qualora per un determinato elemento strutturale sussista l'appartenenza a diverse classi di esposizione, si adotteranno i valori di rapporto acqua/cemento, dosaggio di cemento e resistenza a compressione che soddisfano i requisiti di tutte le classi individuate.

Le prescrizioni della Tabella G sono vincolanti, salvo casi particolari (quali le ristrutturazioni di opere esistenti) nei quali si dovrà motivare adeguatamente la scelta di classi di resistenza diverse.

Tabella G - Tipi di impiego e classi dei conglomerati cementizi

Tipo di Cls	Classi di esposizione	Cementi ammessi a)	Massimo Rapporto A/C	Minimo dosaggio di cemento	Classi di resistenza minime $R_{ck}$	Consistenza al cono UNI EN 12350-2
I	XC4, XS1, XF1	CEM I CEM II CEM III CEM IV	0.50	340	40 MPa	S4, S5
II	XA2	CEM III CEM IV	0,50	340	40 MPa	S4, S5
	XA3		0,45	360	45 MPa	S4, S5
III	XF2	CEM III CEM IV	0,50	340	30 MPa	S4, S5
	XF4	Con aria aggiunta (vedi Tabella B) ad esclusione del precompresso	0,45	360	35 MPa	
IV	XC3, XA1	CEM III CEM IV	0,55	320	35 MPa	S4, S5
V	XC2	CEM III CEM IV	0.60	300	30 MPa	S4, S5
	XA2		0,50	340	40 MPa	
	XA3		0,45	360	45 MPa	
VI	X0	Tutti			15 MPa	



## 22.5. Qualifica preliminare dei conglomerati cementizi

L'Appaltatore, sulla scorta delle prescrizioni contenute nei progetti esecutivi delle opere in conglomerato cementizio semplice e armato (normale e precompresso) e del presente Capitolato, per la scelta dei materiali e la definizione delle miscele dovrà fare riferimento ai seguenti parametri, le cui norme di riferimento sono indicate tra parentesi e/o nella tabella più sotto riportata:

- classe di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (UNI EN 206);
- resistenza caratteristica a compressione  $R_{ck}$ ;
- durabilità delle opere (UNI 8981, parti 1 e 2);
- lavorabilità (abbassamento al cono UNI EN 12350-2 o altre prove se previsto);
- tipi di cemento e dosaggi minimi ammessi;
- tipi di additivi e di eventuali aggiunte minerali e relativi dosaggi ottimali da utilizzarsi;
- resistenza a trazione per flessione (UNI EN 12390-5);
- modulo elastico secante a compressione (UNI 6556);
- contenuto d'aria del conglomerato cementizio fresco (UNI EN 12350-7);
- resistenza ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087);
- impermeabilità (UNI EN 12390-8);
- accorgimenti da adottare in caso di lavorazioni da eseguirsi in presenza di temperature rigide (al di sotto di 5 °C) o in clima caldo (al di sopra di 30 °C);
- sviluppo di calore e innalzamento di temperatura nei getti;

In caso di maturazione accelerata a vapore dei getti l'Appaltatore dovrà fornire le descrizioni del relativo ciclo termico e dell'impianto che intenderà utilizzare.

### 22.5.1. Dossier di prequalifica

L'Appaltatore, a richiesta della Direzione lavori, dovrà prequalificare i materiali e gli impasti in tempo utile prima della qualifica all'impianto, sottoponendo all'esame della stessa un "dossier di prequalifica" contenente:

- a) lo studio dei conglomerati cementizi ai fini della durabilità, eseguito secondo quanto precisato successivamente;
- b) la caratterizzazione granulometrica degli aggregati e i dati di assorbimento delle varie dimensioni dell'aggregato;
- c) il tipo e il dosaggio del cemento, il rapporto acqua/cemento, lo studio della composizione granulometrica degli aggregati, il tipo e il dosaggio degli additivi che intende usare, il contenuto di aria aggiunta, il valore previsto della consistenza al cono (o altro metodo se richiesto), per ogni tipo e classe di conglomerato cementizio;
- d) le caratteristiche dell'impianto di confezionamento, i sistemi di trasporto, di getto e di maturazione;
- e) la documentazione che attesta una produzione con processo industrializzato del calcestruzzo;
- f) i risultati delle prove di prequalifica all'impianto;
- g) i progetti delle opere provvisorie e provvisionali (centine, armature di sostegno e attrezzature di costruzione).
- h) elaborati e relazioni di calcolo.

### 22.5.2. Qualifica all'impianto

La qualifica all'impianto ha lo scopo di verificare sia l'efficienza dell'impianto sia le caratteristiche delle miscele che si devono produrre. I laboratori, saranno sia un Laboratorio Ufficiale o autorizzato indicato dalla Direzione Lavori sia, in parallelo, il laboratorio di cantiere.

Si dovranno effettuare, su almeno tre impasti consecutivi, le seguenti verifiche:

1. il valore medio della resistenza a compressione a 28 giorni ( $R_m$ ), misurato su almeno 4 prelievi (ciascuno di due provini) deve essere:
  - per  $R_{ck} < 30 \text{ N/mm}^2$   $R_m \geq 1,25 R_{ck}$ ;
  - per  $30 \text{ N/mm}^2 \leq R_{ck} \leq 40 \text{ N/mm}^2$   $R_m \geq 1,20 R_{ck}$ ;
  - per  $R_{ck} > 40 \text{ N/mm}^2$   $R_m \geq 1,15 R_{ck}$ ;
 con valore minimo di ogni singolo provino  $R_i \geq R_{ck}$ .  
 Dovrà anche essere misurata la resistenza a compressione a 2 e 7 giorni;
2. il valore dell'abbassamento al cono deve essere conforme alla classe di consistenza dichiarata  $\pm 20$  mm. Salvo requisiti diversi definiti in progetto o individuati dalla Direzione dei Lavori in funzione delle condizioni di impiego, la consistenza deve mantenersi:
  - per almeno 60 minuti per temperature fino a 20 °C;
  - per almeno 45 minuti per temperature fino a 30 °C;
3. deve essere verificata l'omogeneità del calcestruzzo all'atto del getto su due campioni, prelevati rispettivamente a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera. Deve risultare:
  - una differenza dell'abbassamento al cono non superiore a 30 mm;
  - una differenza tra le percentuali in peso di passante al vaglio a maglia quadrata da 4 mm dei due campioni non superiore al 4%;
4. il rapporto acqua/cemento determinato secondo le modalità previste nella norma UNI 6393, non deve differire di + 0.03 da quello dichiarato nella prequalifica;
5. il valore della massa volumica del calcestruzzo fresco dev'essere superiore al 98% del teorico;
6. il *bleeding* (secondo UNI 7122) deve essere minore dello 0,1% dell'acqua di impasto.

Le resistenze medie a compressione per ciascun tipo di calcestruzzo, misurate a 2 e 7 giorni sui provini prelevati dall'impasto di prova all'impianto, non devono discostarsi di  $\pm 15\%$  dalle resistenze indicate nella relazione di prequalifica.

Tutti gli oneri e gli eventuali ritardi causati dalle ripetizioni delle prove all'impianto di confezionamento saranno a totale carico dell'Appaltatore.

### **22.5.3. Autorizzazione ai getti**

La Direzione Lavori autorizzerà l'inizio dei getti di conglomerato cementizio solo dopo aver esaminato ed approvato, qualora sia stato preventivamente richiesto, il "dossier di prequalifica" dei materiali e degli impasti di conglomerato cementizio, avendo comunque effettuato le prove di qualifica all'impianto di betonaggio, in contraddittorio con l'Appaltatore.

L'approvazione delle proporzioni delle miscele da parte del Direttore dei Lavori non libera in alcun modo l'Appaltatore dalle sue responsabilità in base alle norme vigenti.

Caratteristiche dei materiali e composizione degli impasti, definite in sede di qualifica, non possono essere modificati in corso d'opera salvo autorizzazione scritta della Direzione Lavori.

Qualora si rendesse necessaria una variazione dei materiali, la procedura di qualifica dovrà essere ripetuta.

Qualora l'Appaltatore impieghi conglomerato cementizio preconfezionato pronto all'uso - prodotto da operatori esterni alla sua struttura, per il quale si richiama, oltre alle Linee Guida del Ministero dei Lavori Pubblici, la norma UNI EN 206, dovranno essere comunque:

- rispettate le prescrizioni sulla qualificazione dei materiali,
- definite e qualificate le composizioni degli impasti,
- eseguite le prove di qualifica all'impianto,
- dovrà essere documentata la produzione con processo industrializzato.

Si puntualizza che per la realizzazione delle opere in conglomerato cementizio dovrà essere impiegato esclusivamente "conglomerato cementizio a prestazione garantita" secondo la norma UNI EN 206. In nessun caso verrà ammesso l'impiego di "conglomerato cementizio a composizione richiesta" secondo la stessa norma; tutto ciò dicasi anche per il calcestruzzo non strutturale utilizzato per spianamenti, sottofondazioni, riempimenti, ecc., che dovrà essere confezionato con materiali idonei ed avere classe di resistenza  $\geq 15$  MPa.

## **22.6. Controlli in corso d'opera**

### **22.6.1. Generalità**

La Direzione Lavori eseguirà controlli periodici in corso d'opera per verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei materiali e degli impasti impiegati e quelle definite in sede di qualifica e l'utilizzo delle miscele previste per le varie parti delle opere.

L'Appaltatore dovrà disporre di almeno un laboratorio (in cantiere, all'impianto di confezionamento o nelle immediate vicinanze) idoneo all'esecuzione di tutte le prove di qualifica e conformità del calcestruzzo fresco ed indurito e dei materiali costituenti, ad eccezione delle determinazioni chimiche e delle prove di permeabilità (profilo di penetrazione dell'acqua in pressione o coefficiente di diffusione).

Presso il laboratorio responsabile delle prove di qualifica dovranno essere disponibili le seguenti apparecchiature:

- Forno per essiccare;
- Setacci;
- Bilancia di portata fino a 20 kg e sensibilità 1 g;
- Termometro a immersione per calcestruzzo;
- Porosimetro;
- Picnometro;
- Contenitore tarato per prove di massa volumica su calcestruzzo;
- Cono o tavola a scosse;
- Casseforme di acciaio o PVC per il prelievo di almeno 32 cubetti;
- Impastatrice da laboratorio;
- Piastra o ago vibrante;
- Sclerometro;
- Termometro a max-min;
- Contenitore ermetico ed alcool per il controllo del calcestruzzo fresco;
- Camera termostatica con umidificatore a nebbia o vasca termostatica di stagionatura dei provini di calcestruzzo.
- Pressa da laboratorio con carico massimo pari ad almeno 2000 kN
- Attrezzatura per la registrazione delle temperature del calcestruzzo durante la presa e l'indurimento, dotata di almeno sei termocoppie;
- Carotatrice idonea al prelievo di carote con diametro fino a 120 mm.

### **22.6.2. Resistenza dei conglomerati cementizi**

#### **22.6.2.1. Generalità**

La resistenza cubica dei conglomerati cementizi verrà controllata mediante i controlli di accettazione, che dovranno essere effettuati, per ciascuna opera o parte di opera, su tutte le miscele qualificate impiegate.

Il prelevamento dei campioni deve essere eseguito in modo tale che non sia possibile un cambiamento sostanziale delle proprietà significative e della composizione del calcestruzzo tra il momento del campionamento e quello della posa in opera.

Con il calcestruzzo di ciascun prelievo verranno confezionate, secondo le UNI EN 12390, parti 1 e 2, impiegando casseforme cubiche calibrate, almeno due coppie di provini per il cemento armato e almeno tre coppie di provini per il cemento armato precompresso.

Il Direttore dei Lavori o un tecnico di sua fiducia provvederanno ad identificare ciascun provino mediante scritte indelebili su fascette di plastica inserite nella superficie del provino fresco e non rimovibili o con altro tipo di marcatura indelebile che non alteri significativamente i provini. I provini verranno poi lasciati nelle casseforme, protetti con pellicola di politene e riposti in ambienti chiusi a temperatura tra 15 e 25 °C. Dopo 16 ore ma non più di 3 giorni verranno trasferiti in laboratorio, sformati e posti in cella di maturazione a temperatura di  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidità relativa  $\geq 95\%$  oppure in acqua a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Per il cemento armato la prima coppia verrà provata a 7 giorni e la seconda a 28 giorni. Per il cemento armato precompresso si eseguiranno le prove a 3, 7 e 28 giorni. Il valore medio delle resistenze di ciascuna coppia verrà designato "resistenza di prelievo".

I valori delle resistenze di prelievo a 3 oppure a 3 e 7 giorni, verranno determinati presso il Laboratorio della Direzione dei Lavori e impiegati per confronto con i dati corrispondenti ottenuti in fase di qualifica all'impianto, per una contabilizzazione provvisoria in attesa dei dati a 28 giorni.

Nel caso che la resistenza ricavata dalle prove a 3 o 7 giorni risultasse inferiore a quella prevista, la Direzione Lavori, nell'attesa dei risultati ufficiali, potrà a suo insindacabile giudizio ordinare la sospensione dei getti dell'opera interessata senza che l'Appaltatore possa accampare per questo alcun diritto.

Le resistenze di prelievo a 28 giorni verranno determinate dal Laboratorio Ufficiale secondo le UNI EN 12390-3 e 4, e verranno utilizzate per verifica della conformità della resistenza del calcestruzzo impiegato a quella di Progetto. La verifica verrà eseguita con il metodo statistico (tipo B) mentre solo per volumi di miscela omogenea minori di  $1500 \text{ m}^3$  potrà essere utilizzato il metodo tipo A.

#### **22.6.2.2. Controlli di accettazione con metodo Tipo A**

Un controllo di accettazione di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di  $300 \text{ m}^3$  ed è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di  $100 \text{ m}^3$  di getto. Per ogni giorno di getto va eseguito almeno un prelievo. Dovrà risultare per ogni gruppo di tre prelievi:

- $R_m \geq R_{ck} + 3.5$ ,
- $R_1 \geq R_{ck} - 3.5$ ,

dove  $R_m$  è la resistenza media e  $R_1$  la minima dei tre prelievi, mentre  $R_{ck}$  è la resistenza caratteristica di progetto. Per quantità minori di  $100 \text{ m}^3$  di miscela omogenea, si può derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

#### **22.6.2.3. Controlli di accettazione con metodo Tipo B**

Il controllo di tipo B, riferito a una definita miscela omogenea, va eseguito con una frequenza non minore di un controllo ogni  $1500 \text{ m}^3$  di calcestruzzo. Per ogni getto di miscela va eseguito almeno un prelievo e complessivamente almeno 15 prelievi sui  $1500 \text{ m}^3$ .

Devono essere verificate le disuguaglianze:

- $R_1 \geq R_{ck} - 3.5$ ,
- $R_m \geq R_{ck} + 1.48 s$ ,

dove  $s$  è lo scarto quadratico medio.

In entrambi i casi (controllo Tipo A o B), nulla sarà dovuto all'Appaltatore se la resistenza  $R_{ck}$  risulterà maggiore di quella indicata negli elaborati progettuali.

### **22.6.3. Non conformità dei controlli di accettazione**

Se dalle prove eseguite presso il Laboratorio Ufficiale, risultassero Non Conformità nei controlli di accettazione, la Direzione Lavori aprirà corrispondentemente delle Non Conformità che dovranno essere risolte, se possibile d'intesa con il Progettista, come stabilito nel seguito. Tutte le relative prove saranno a totale carico dell'Appaltatore.

Verrà determinata la resistenza in sito del conglomerato, mediante carotaggio secondo UNI EN 12504, su carote del diametro di 10 cm o maggiore (almeno 3 volte il diametro massimo dell'aggregato). Per ogni 100 m<sup>3</sup> di calcestruzzo non conforme si preleverà una serie di almeno 6 carote che verranno conservate fino alla prova in ambiente interno asciutto (non in acqua).

L'altezza delle carote sarà uguale al diametro (con tolleranza di  $\pm 2$  mm) e si scarteranno le carote contenenti barre di armatura, fratturate o con evidenti difetti. Le carote dovranno essere rettificare; non è ammessa cappatura con gesso. La planarità e parallelismo delle facce, conformi alla UNI EN citata, devono essere verificate con strumenti di appropriata sensibilità. Per carotaggio orizzontale il valore di resistenza verrà incrementato del 5%.

Se il valore medio di una serie di determinazioni di resistenza in sito non è inferiore all'85% di  $R_m$  (valore medio della resistenza) richiesto in Progetto, il calcestruzzo è giudicato direttamente accettabile; se invece detto valore medio è inferiore all' 85% di  $R_m$ , il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, deve procedere al controllo della sicurezza della struttura in base alla resistenza in sito:

- se tale controllo è soddisfacente il calcestruzzo può essere accettato e non sono richieste ulteriori azioni, salvo l'applicazione di una penale proporzionale al 15% (sul valore della lavorazione, per tutte le superfici ed i volumi per ogni 5 MPa del valore medio in meno rispetto alla resistenza caratteristica. Il Direttore dei Lavori potrà adottare ulteriori provvedimenti a seguito di una valutazione dell'effetto della resistenza ridotta sulla durabilità, in base alle prescrizioni della norma UNI 11104;
- se le verifiche della sicurezza non sono soddisfacenti l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla demolizione e rifacimento dell'opera oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

## **22.7. Tecnologia esecutiva delle opere**

### **22.7.1. Confezione dei conglomerati cementizi**

La confezione dei conglomerati cementizi dovrà essere eseguita con gli impianti preventivamente approvati dalla Direzione Lavori in fase di qualifica delle miscele.

Alla fine di ogni turno di lavoro l'Appaltatore dovrà trasmettere al Responsabile del Controllo Qualità dei Materiali, incaricato dal Direttore dei Lavori, copia dei tabulati riportanti i dati di carico d'ogni impasto eseguito durante il turno stesso.

La mancata consegna dei tabulati comporterà la non conformità del conglomerato cementizio prodotto durante l'intera giornata lavorativa.

È obbligatorio l'impiego di premescolatori fissi per i calcestruzzi aventi resistenza a compressione di 40 MPa o maggiore o aventi rapporto A/C di 0,45 o minore e per i calcestruzzi aerati.

Gli impianti di betonaggio saranno del tipo automatico o semiautomatico, con dosatura a peso degli aggregati, dell'acqua, delle aggiunte minerali e del cemento e a volume per gli additivi; la precisione delle apparecchiature per il dosaggio saranno quelli della norma UNI EN 206; dovrà essere controllato il contenuto d'umidità degli aggregati in funzione del quale dovrà essere corretto il dosaggio d'acqua di impasto.

Per l'acqua è ammessa anche la dosatura a volume. La dosatura effettiva dell'acqua dovrà essere realizzata con precisione del 3% ed i relativi dispositivi dovranno essere tarati almeno una volta ogni due mesi o comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.

La dosatura effettiva degli aggregati e del cemento dovrà essere realizzata con precisione del 3%.

Le bilance dovranno essere revisionate almeno una volta ogni due mesi e tarate all'inizio del lavoro e successivamente almeno una volta l'anno e comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.

I dispositivi di misura del cemento, dell'acqua degli additivi e delle aggiunte dovranno essere del tipo individuale. Le bilance per la pesatura degli aggregati possono essere di tipo cumulativo (peso delle varie pezzature con successione addizionale).

I silos del cemento e delle aggiunte minerali debbono garantire la tenuta nei riguardi dell'umidità atmosferica.

Il tempo e la velocità di mescolamento dovranno essere tali da produrre un conglomerato rispondente ai requisiti d'omogeneità di cui ai successivi paragrafi.

L'impasto dovrà risultare di consistenza uniforme ed omogeneo, uniformemente coesivo (tale cioè da essere trasportato e manipolato senza che si verifichi la separazione dei singoli elementi); lavorabile (in maniera che non rimangano vuoti nella massa o sulla superficie dei manufatti dopo eseguita la vibrazione in opera).

### **22.7.2. Condizioni per la posa in opera**

E' auspicabile che la temperatura ambientale, nel periodo dal getto alla fine della maturazione, sia compresa tra 10 e 25 °C.

Tra 5 e 10 °C è ancora possibile evitare l'adozione di particolari cautele, ma occorrerà prestare attenzione alle previsioni meteorologiche ed al controllo della temperatura dell'aria, dell'umidità e delle condizioni di vento, per evitare di essere sorpresi da una rapida caduta della prima o da condizioni ambientali che possano comunque richiedere particolari precauzioni.

Tra 25 e 30 °C è ancora possibile evitare l'adozione di particolari cautele, ma occorrerà prestare attenzione alle previsioni meteorologiche ed al controllo della temperatura dell'aria, dell'umidità e delle condizioni di vento, per evitare di essere sorpresi da un rapido innalzamento della prima o da condizioni ambientali che possano comunque richiedere particolari precauzioni.

Non è ammissibile eseguire la posa in opera del calcestruzzo con temperature ambientali inferiori a 10 °C o superiori a 40 °C.

### **22.7.3. Getti in clima freddo**

#### **22.7.3.1. Generalità**

Ai fini del getto del calcestruzzo, il clima si definisce "freddo" quando la temperatura dell'aria è minore di 5 °C.

In clima freddo la temperatura del calcestruzzo nel tempo è funzione di diversi fattori, tra cui la temperatura iniziale all'atto dello scarico dalla betoniera, la temperatura ed umidità dell'aria esterna, le condizioni di vento, lo spessore del getto, l'eventuale impiego di sistemi protettivi; influiscono ovviamente anche il tipo di cemento, il dosaggio di cemento e il tipo di additivazione.

Durante il periodo con tale clima oppure se, anche con temperature comprese tra 5 e 10 °C, vi siano condizioni di particolare ventosità e/o di scarsa umidità dell'aria, dovranno essere adottate opportune precauzioni, se non altro per il secondo e terzo dei punti di cui seguente capoverso.

In caso di clima freddo occorre:

- assicurare il calcestruzzo giovane contro il rischio del congelamento; ciò si ottiene mantenendo la temperatura al di sopra dei valori di sicurezza successivamente indicati in tabella 1;
- realizzare la protezione dei manufatti impedendo un rapido essiccamento, che ostacolerebbe l'idratazione del cemento alla superficie del calcestruzzo;
- favorire la maturazione e controllare lo sviluppo di resistenza del calcestruzzo fino a raggiungere il livello necessario per la rimozione dei sostegni e delle casseforme.

Il periodo di tempo durante il quale si debbono mantenere in atto gli accorgimenti relativi ai tre punti precedenti viene designato come "post-trattamento" o "periodo di maturazione protetta".

Precauzioni nella produzione del calcestruzzo (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Aumento del contenuto di cemento e/o impiego di cemento con maggiore capacità di sviluppare calore nella presa a parità di altri componenti;

- Abbassamento del rapporto acqua/cemento mediante impiego di un fluidificante (FM);
- Accelerazione dell'evoluzione della resistenza meccanica mediante impiego di un acceleratore di presa non contenente cloruri, ad es. un prodotto antigelo (HBE);
- Prolungamento dei tempi di disarmo e della durata del post-trattamento;
- Impiego di materiali con caratteristiche di isolamento termico superiori per le casseforme (ad es. legno) e per il post-trattamento (ad es. stuoie termiche);
- Aumento della temperatura del calcestruzzo fresco mediante riscaldamento mirato dell'acqua di impasto e/o riscaldamento degli inerti;
- Protezione dell'elemento costruttivo o dell'intero edificio da perdite di calore e correnti d'aria;
- Il calcestruzzo giovane va protetto dal gelo. La resistenza al gelo del calcestruzzo giovane è garantita quando esso ha raggiunto una resistenza a compressione di almeno 5 MPa.

Precauzioni nella posa in opera e compattazione (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Il calcestruzzo non va mai gettato su terreno gelato e preferibilmente nemmeno su elementi costruttivi gelati;
- Le superfici delle casseforme e le armature vanno mantenute libere da ghiaccio e neve, ma non impiegando acqua, bensì con procedura meccanica e/o trattamenti termici;
- Il calcestruzzo preriscaldato va gettato velocemente nella cassaforma precedentemente liberata da neve e ghiaccio e quindi va subito costipato;
- Il calcestruzzo giovane va possibilmente protetto dall'asporto di calore da parte di mezzi di trasporto verso e sul cantiere. Se possibile, non vanno impiegati nastri trasportatori;
- Nel calcestruzzo gettato in opera vanno adottati idonei provvedimenti per consentire di misurare costantemente la temperatura del calcestruzzo;
- Qualora all'interno dei manufatti siano contenuti oggetti metallici di dimensioni notevoli (ed eventualmente anche di calcestruzzo indurito) dovranno essere prese delle precauzioni per evitare che a bassa temperatura questi oggetti possano raffreddare il calcestruzzo adiacente;
- Durante la posa in opera e durante la lavorazione il calcestruzzo fresco, se non si adottano misure particolari, non deve avere una temperatura inferiore a + 5° C. In caso di superfici di calcestruzzo con requisiti speciali potrà essere necessario aumentare tale temperatura fino a + 10° C; in tal caso potrebbe essere necessario preriscaldare l'acqua di impasto e gli inerti.

### 22.7.3.2. Mantenimento della temperatura del calcestruzzo per evitare il congelamento

Allo scopo di impedire il congelamento del calcestruzzo, che potrebbe danneggiare severamente il materiale, la temperatura minima del getto (indicata nella Tabella I in funzione dello spessore minimo del manufatto e della temperatura dell'aria) deve essere assicurata per il periodo necessario (periodo di maturazione protetta) affinché la resistenza del calcestruzzo raggiunga un valore di almeno 5 MPa. A questa resistenza corrisponde la capacità del calcestruzzo di poter sopportare un ciclo di congelamento senza subire danni; successivamente, al termine della maturazione protetta, la cassaforma e l'eventuale coibentazione possono essere rimosse.

Nella Tabella H vengono altresì riportate le temperature minime del calcestruzzo raccomandate in centrale per durate del trasporto inferiori ai 30 minuti.

Per trasporti di maggiore durata si può usare l'equazione seguente, che dà la perdita di temperatura  $\Delta T$  durante il trasporto:

$$\Delta T = 0.25 (T_r - T_a) * t$$

in cui  $T_r$  è la temperatura richiesta in centrale,  $T_a$  è la temperatura dell'aria e  $t$  la durata del trasporto in ore;  $\Delta T$  è quindi il valore da aggiungere ai valori raccomandati in centrale.

Nella stessa Tabella H vengono altresì riportati i massimi valori ammissibili di abbassamento della temperatura nelle prime 24 ore dopo la fine della protezione ovvero dopo la rimozione dei sistemi coibenti per evitare *shock* termico.

### 22.7.3.3. Coibentazione

Per la durata della maturazione protetta, allo scopo di mantenere la temperatura del calcestruzzo nelle casseforme al di sopra dei limiti assegnati in Tabella I, si deve far uso di appositi sistemi di coibentazione fino a quando la resistenza a compressione del calcestruzzo abbia raggiunto 5 MPa.

La coibentazione dei manufatti deve essere realizzata con le modalità seguenti:

- per i getti con ampie superfici orizzontali (solette) si deve ricorrere a materassini isolanti di lana di vetro o di roccia da applicare subito dopo la rifinitura delle superfici;
- per i getti in cassero (plinti, pile e pulvini) si devono usare cassaforme coibentate.

In funzione del tipo di manufatto e della temperatura minima prevedibile, la Tabella I indica la resistenza termica minima ( $R = \text{°C m}^2/\text{W}$ ) della cassaforma coibentata o del materassino da utilizzare.

Tabella H - Temperature del calcestruzzo

Temperatura dell'aria	Minima dimensione della sezione [mm]			
	300 (solette)	300-900 (muri)	900-1800	> 1800 (pile e plinti)
Minima temperatura ammessa del calcestr. dopo il getto, fino alla fine della maturazione protetta [°C]				
Da 5 a -15 °C	13	10	7	5
Minima temperatura richiesta del calcestruzzo alla centrale, per durata del trasporto < di 0.5 ore [°C]				
> -1 °C	16	13	10	7
Da -15 a -1 °C	18	16	13	10
Massimo ammissibile abbassamento superficiale di temperatura nelle prime 24 ore dopo la fine della protezione [°C]				
	25	22	17	11

Tabella I – Resistenza termica ( $\text{°C m}^2/\text{W}$ ) della coibentazione per manufatti tipo

Spessore minimo, mm	Temp. minima prevista [°C]	Solette	Pile, muri	Pulvini
< 300	Fino a -5	0.8		
	Fino a -15	1.41		
500-1200	Fino a -5		0.5	
	Fino a -15		0.7	
> 1800	Fino a -15			0.35

### 22.7.3.4. Protezione

Dopo la posa in opera e lo scassero, le parti esposte all'aria dei manufatti andranno protette contro l'essiccamento prematuro, come specificato più avanti al punto riguardante le protezioni dopo la scasseratura.



### 22.7.3.5. Requisito di resistenza

Qualora esista un requisito di resistenza minima all'atto dello scasso o della rimozione dei sostegni, si dovrà utilizzare il metodo della determinazione della maturazione del calcestruzzo mediante sonde termometriche a registrazione inserite nel calcestruzzo e curve di taratura maturazione/resistenza. A tale scopo si dovrà fare riferimento alla norma ASTM C 1074 per la procedura appropriata.

In alternativa si potranno utilizzare matuometri come il COMA-Meter della ditta *Germann Instruments A/S* (Danimarca)<sup>(1)</sup> o altri equivalenti.

### 22.7.3.6. Misure di temperatura

Ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, all'interno dei manufatti che saranno indicati, dovranno essere disposte termocoppie allo scopo di verificare, ogni 2 ore, la temperatura del calcestruzzo. Sono da preferire sistemi automatici muniti di *data-logger*.

La posizione delle termocoppie dovrà trovarsi nei punti più critici, in particolare in corrispondenza di vertici e spigoli.

## 22.7.4. Getti in clima caldo

### 22.7.4.1. Generalità

Il clima è definito "caldo" quando la temperatura ambiente supera i 30 °C oppure se, anche con temperature comprese tra 25 e 30 °C, vi siano condizioni di bassa umidità relativa, forte ventilazione, forte irraggiamento solare, temperatura elevata del calcestruzzo. In tali condizioni dovranno essere adottate opportune precauzioni, per evitare:

- durante il trasporto: eccessiva perdita di lavorabilità con possibilità di inizio della presa in questa fase;
- durante la presa: aumento del fabbisogno d'acqua; veloce perdita di lavorabilità e conseguente tendenza a raprendere nel corso della messa in opera; riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, compattazione, finitura, rischio di formazione di giunti freddi, ricadute sul successivo periodo di maturazione; eccessiva tendenza alla successiva formazione di fessure per ritiro plastico; difficoltà nel controllo dell'aria inglobata;
- dopo la presa: eccessiva e rapida disidratazione della superficie libera dei manufatti, con formazione di fessure e caduta delle prestazioni dello strato superficiale del calcestruzzo, destinato fra l'altro a proteggere adeguatamente le sottostanti armature; eccessiva fessurazione da ritiro igrometrico; eccessivi aumenti della temperatura all'interno dei manufatti, specialmente se la classe di resistenza è elevata e lo spessore minimo supera 0,5 m (si veda anche il paragrafo sui getti massicci);
- a maturazione avvenuta: riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, sia per la maggior richiesta di acqua, sia per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo; ulteriore tendenza al ritiro igrometrico; probabili fessure per effetto dei gradienti termici (picco di temperatura interno e gradiente termico verso l'esterno); ridotta durabilità per effetto della diffusa micro-fessurazione; forte variabilità nella qualità della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione; maggiore permeabilità.

A tale scopo le miscele utilizzate dovranno essere state preventivamente progettate e qualificate sulla base delle condizioni climatiche operative osservate o previste.

Una formula (da *Cement and Concrete Association*, UK, 1980) utile per la valutazione approssimativa della temperatura del calcestruzzo fresco, a partire da quella dei suoi componenti, è la seguente:

$$T = \frac{T_c + 6WC * T_w + AC * T_a}{1 + AC + 5WC}$$

dove: T = temperatura del calcestruzzo fresco;

T<sub>c</sub> = temperatura del cemento;

T<sub>w</sub> = temperatura dell'acqua;

<sup>(1)</sup> Si tratta di dispositivi assai semplici, da inserire nel calcestruzzo ancora fresco, che misurano la temperatura del getto a 8 cm sotto la superficie in giorni di maturazione a 20 °C equivalenti e, attraverso opportune correlazioni, possono fornire una valutazione della relativa resistenza a compressione.

$T_a$  = temperatura dell'aggregato;

AC = rapporto aggregato/cemento;

WC = rapporto acqua/cemento.

Precauzioni nella produzione del calcestruzzo (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Possibile utilizzo di cementi V/B, III/C, III/B, IV/A, II/B, di classe 32.5 N/R;
- Possibile utilizzo di additivi (UNI EN 934-2), quali: ritardanti di presa, superfluidificanti ritardanti a base di naftalensolfonato, superfluidificanti ritardanti di tipo acrilico;
- Le quantità di calcestruzzo fresco devono essere adeguate agli intervalli di fornitura ed ai tempi di posa in opera, nel senso che non si devono creare eccessivi sfasamenti di tempo tra produzione, trasporto e posa in opera;

Precauzioni nella posa in opera e compattazione (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Per eseguire il getto del calcestruzzo devono essere utilizzati i periodi più freschi e i luoghi di posa devono essere possibilmente protetti dal sole;
- Bisogna sempre prevedere un numero di lavoratori adeguato;
- Prima di iniziare i lavori bisogna sempre controllare che le apparecchiature e i materiali per il getto e il trattamento successivo siano in regola e pronti per l'impiego;
- Prima di gettare il calcestruzzo le armature, le casseforme o il sottofondo devono essere bagnati. Le eventuali pozze d'acqua vanno comunque eliminate;
- Vanno evitati tempi di trasporto e di giacenza del calcestruzzo eccessivamente lunghi. Il criterio generale deve essere quello di scaricare, lavorare e costipare il calcestruzzo nel tempo più rapido possibile;
- In caso di ritardi e di fermi prolungati è necessario avvisare immediatamente il fornitore;
- Se il calcestruzzo ha già visibilmente iniziato la presa, non può più essere utilizzato;

Precauzioni durante il periodo di post-trattamento (da adottare a seconda dei casi e in accordo con la Direzione Lavori):

- Il calcestruzzo fresco deve assolutamente essere mantenuto umido e per quanto possibile in condizioni di saturazione. Per proteggerlo, in ordine di desiderabilità crescente possono essere adottati i seguenti provvedimenti:
  - irrorazione con idonei prodotti filmogeni antievaporanti (ex UNI 8656, ASTM C309-11 – ad es.: “Mackcure C” della BASF, “Mapecure S” della MAPEI);
  - protezione con membrane impermeabili, teli o stuoie umide, ecc.;
  - bagnatura continua con acqua liquida o nebulizzata (ciò può essere comunque imposto dalla Direzione Lavori quando il caso lo richieda);
- Non disarmare il calcestruzzo troppo presto;
- Proteggere i getti con pannellature o rivestimenti coibenti, per evitare eccessi di temperatura assoluta o differenziale.

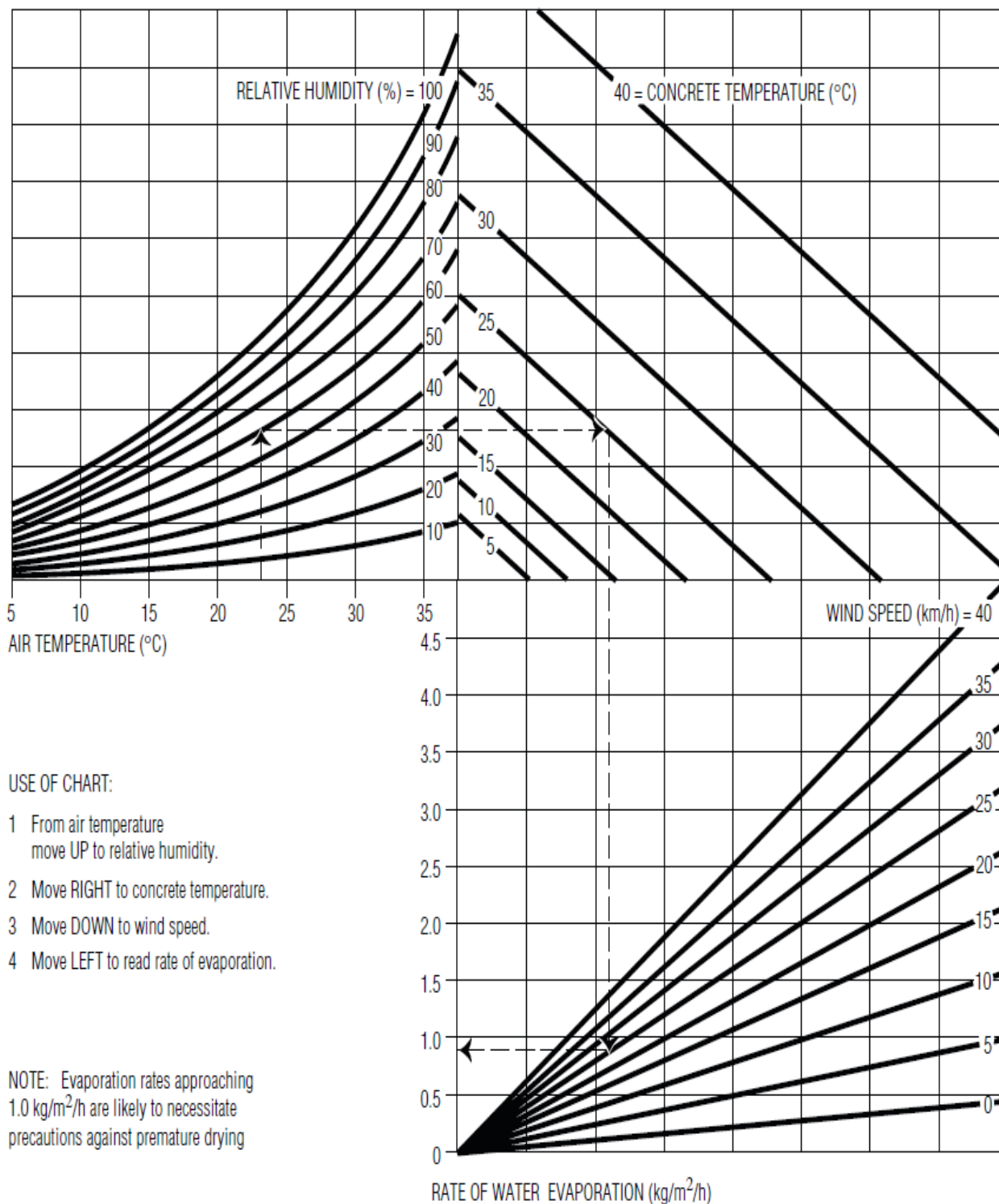
#### **22.7.4.2. Controllo della temperatura del calcestruzzo fresco**

La temperatura del calcestruzzo fresco, all'atto del getto, non dovrà essere superiore di norma a 35 °C, con la tolleranza di 2 °C (tale temperatura dovrà essere convenientemente ridotta nel caso di getti particolarmente massicci). Per l'ottenimento di questo risultato potranno essere eventualmente adottati opportuni accorgimenti, quali il raffreddamento dell'acqua, l'introduzione di parte dell'acqua di impasto sotto forma di ghiaccio tritato, ecc..

È ammesso il raffreddamento degli aggregati mediante innaffiamento con acqua fredda; in questo caso il sistema per la misura del contenuto d'acqua dell'aggregato all'impianto di confezionamento del calcestruzzo dovrà essere verificato quotidianamente, mediante la misura del rapporto acqua/cemento secondo UNI EN 11201.

La Direzione Lavori procederà a misure della temperatura del calcestruzzo fresco che verrà rifiutato qualora questa risulti superiore al limite suddetto.

NOMOGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI EVAPORAZIONE SUPERFICIALE  
DEI GETTI DI CALCESTRUZZO (ACI 305)<sup>(1)</sup>



**22.7.4.3. Controllo della tendenza all'evaporazione superficiale**

Per una corretta stagionatura dei getti di calcestruzzo ed anche nel periodo iniziale della presa, in presenza di essudazione dell'acqua di impasto (*bleeding*), è di fondamentale importanza che non si verifichi un eccessivamente rapido

<sup>(1)</sup> Questo nomogramma (vedi anche più avanti) è ricavato dalla norma ACI 305R-99 (oggi sostituita dalla ACI 305R-10) ed è estratto da un *data sheet* dell'organismo australiano CCAA (*Cement Concrete & Aggregates Australia*), del novembre 2004. È stata riportata questa versione del nomogramma per la sua chiarezza ed in quanto tradotto nel sistema metrico internazionale.

essiccamento delle superfici esposte e soprattutto non deve accadere che la velocità di essiccamento superi quella di essudazione. Ciò in quanto anche l'acqua di impasto dello strato superficiale deve partecipare alle reazioni di idratazione che si verificano in tali periodi. Occorre quindi contrastare efficacemente l'evaporazione superficiale dei getti <sup>(1)</sup>.

A titolo esemplificativo, per un calcestruzzo normale, con un contenuto di cemento di 300 kg/m<sup>3</sup> e un rapporto acqua/cemento di 0,55, una velocità di essiccamento di 0,8 kg/(m<sup>2</sup>h) significa che, dopo un'ora, l'acqua contenuta nello strato più esterno del calcestruzzo è evaporata completamente all'incirca nei primi 5 mm di spessore.

A sua volta poi, la velocità di essiccamento superficiale dipende ordinariamente dalle condizioni di umidità relativa e temperatura ambientali e dalla velocità del vento. Essa può essere individuata approssimativamente, in funzione di tali parametri, con il nomogramma riportato in precedenza, combinazione di tre diversi diagrammi, oppure con la seguente formula <sup>(2)</sup>:

$$ER = 5 \left[ (CT + 18)^{2.5} - \frac{RH}{100} (AT + 18)^{2.5} \right] * (WS + 4) * 10^{-6}$$

ER = coefficiente di evaporazione superficiale (kg/m<sup>2</sup>/h);

WS = velocità del vento (m/s) alla distanza di 50 cm dalla superficie evaporante;

CT = temperatura del calcestruzzo (°C);

AT = temperatura dell'aria (°C);

RH = umidità relativa dell'aria (%).

L'impiego del nomogramma è molto semplice ed è descritto nel riquadro in basso a sinistra.

Una volta determinato il coefficiente di evaporazione, se esso risulta  $\geq 1$  kg/m<sup>2</sup>/h è opportuno prendere una o più delle precauzioni indicate più avanti, al paragrafo inerente la prevenzione della fessurazione da ritiro plastico. Non è possibile suggerire un valore critico della velocità di evaporazione dell'acqua perché, a volte, la perdita di acqua da una lastra soggetta a velocità di evaporazione anche di 0.5 kg/m<sup>2</sup>/h può risultare superiore alla velocità alla quale affiora l'acqua di essudazione.

Occorrerà comunque valutare attentamente le condizioni di getto, per evitare che un eccessivo essiccamento superficiale sia determinato semplicemente dall'assorbimento di acqua da parte degli elementi a contatto con il getto. In tal caso dovranno essere presi gli opportuni provvedimenti (v. più avanti).

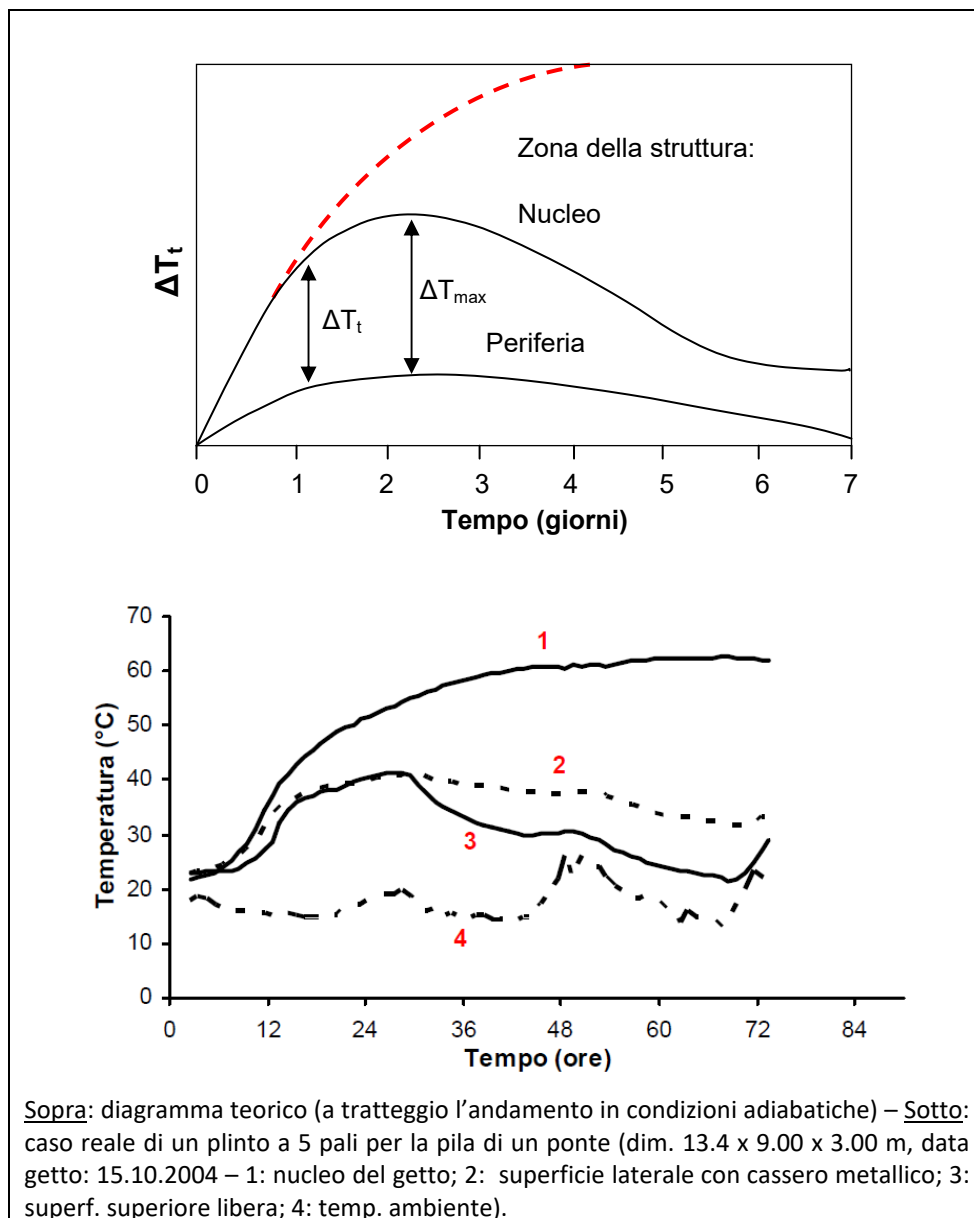
#### 22.7.5. Getti massicci

Ai fini del presente Capitolato si definisce "massiccio", in accordo con le norme ACI 116R-00 (*Cement and Concrete Terminology*) qualunque volume (o getto) di calcestruzzo con dimensioni sufficientemente ampie da richiedere misure atte a ridurre il calore di idratazione del cemento per minimizzarne i possibili effetti negativi. Occorre quindi valutare caso per caso le varie strutture in calcestruzzo (semplice o armato) di progetto e le miscele impiegate, per inquadrare i casi nei quali la suddetta condizione si verifica. Arbitro insindacabile di tale inquadramento è il Progettista e/o il Direttore dei Lavori.

Volendo dare delle indicazioni geometriche, occorre quindi avere riguardo, sia alle dimensioni in sezione del getto, sia alla sua classe di esposizione, sia al suo impegno statico, sia alla sua miscela. In base a ciò possono venire considerati massicci i getti di strutture di fondazione poco sollecitate (plinti, pali di grande diametro) e/o in classi di esposizione non severe, qualora la loro dimensione minima in sezione sia superiore a 1.50 m, mentre per le altre strutture tale valore minimo si aggira nell'intorno della metà di tale valore. Per tutte le strutture inoltre, si realizza la suddetta condizione quando il dosaggio del cemento supera i 360 kg/m<sup>3</sup> o quando vengano impiegati cementi a rapido indurimento e ad alto calore di idratazione, quali i cementi alluminosi (UNI EN 14647) ed i cementi sovrasolfatati (UNI EN 14216).

<sup>(1)</sup> Sia l'essudazione, sia la tendenza all'evaporazione sono tanto più marcate quanto maggiore è la superficie specifica esposta all'aria. Ciò si verifica particolarmente per getti di solette, muri e simili.

<sup>(2)</sup> Il nomogramma è stato concepito da Menzel per la PCA (*Portland Cement Association*, USA) nel 1954, pubblicato poi nella forma attuale da Bloem per NRMCA/NSGA (*National Ready Mixed Concrete Association/National Sand and Gravel Association*, USA) e ripreso infine dalla norma ACI 305. La formula è uno sviluppo della formula di Menzel dovuto a vari autori, in ultimo da P. J. Uno per ACI (*Acı Materials Journal*, USA, 1998).



Nel caso di getti di questo tipo dovranno essere attuati gli opportuni accorgimenti per evitare il raggiungimento di temperature e gradienti eccessivi al loro interno, dovuti a loro volta allo sviluppo del calore di idratazione del cemento. Ciò per due motivi principali:

- evitare il rischio di formazione differita di ettringite<sup>(1)</sup>, che comporterebbe una fessurazione diffusa ed a "ragnatela" dei getti;
- evitare le tensioni di trazione e le conseguenti fessurazioni derivanti dal gradiente termico che si instaurerebbe tra il nucleo del getto e le sue parti periferiche, ove si dissipa maggiormente il calore. Tale fenomeno è ben evidenziato, sia nel diagramma indicativo<sup>(1)</sup>, sia in quello esemplificativo<sup>(2)</sup> sotto riportati.

<sup>(1)</sup> L'ettringite, detta anche "sale di Candlot", è un minerale (tri-solfo-alluminato di calcio idrato) che si forma nel calcestruzzo a seguito dei processi di idratazione del cemento (soprattutto di tipo *Portland*), in particolare per reazione tra l'alluminato tricalcico e i solfati di calcio. La sua formula è la seguente:  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ . Ha proprietà espandenti, dovute all'aumento di volume del minerale rispetto all'insieme dei reagenti. Una piccola quantità di ettringite (detta "primaria") è desiderabile, in quanto evita una presa troppo rapida del calcestruzzo e la sua espansione è facilmente assorbita dalla plasticità del getto; una quantità supplementare o il contatto con solfati ("attacco solfatico") durante o dopo la maturazione (formazione differita) provoca invece un effetto disgregante (ettringite "secondaria" o DEF: *Delayed Ettringite Formation*), altamente indesiderabile.

In particolare, salvo autorizzazione da parte della Direzione Lavori ed accurate valutazioni sugli effetti che ne conseguirebbero in termini di alterazione delle caratteristiche prestazionali e con la verifica le queste ultime rimangano compatibili con quelle attese, non dovrà essere superata all'interno dei getti la temperatura di 70 °C e, nell'intervallo 65 ÷ 70 °C dovranno essere posti in essere adeguati controlli della temperatura per evitare detto superamento.

Inoltre la massima differenza di temperatura in ciascuna sezione del manufatto, dopo la rimozione delle casseforme e sempre fatto salvo quanto indicato per la temperatura massima assoluta, non dovrà essere superiore a: 20 °C per getti di forma regolare, 15 °C in presenza di forti discontinuità di forma, indentature e simili.

Dovranno pertanto evitarsi metodi di stagionatura che favoriscano un rapido raffreddamento della superficie esterna dei manufatti mentre, al contrario, sarà utile il mantenimento prolungato dei casseri, se isolanti.

L'Appaltatore dovrà assicurarsi che, con la miscela di calcestruzzo prevista, la quantità di calore sviluppato non risulti eccessiva e la temperatura iniziale del calcestruzzo sia sufficientemente bassa per rispettare le prescrizioni precedenti. Qualora necessario, dovranno essere raffreddati con mezzi adeguati i componenti della miscela, calcolando preventivamente l'effetto sulla temperatura del calcestruzzo fresco.

La temperatura massima che si raggiunge nel getto è di norma la somma di tre contributi:

- la temperatura della miscela al momento del getto;
- l'incremento "quasi-adiabatico" di temperatura atteso durante la presa, tipico della specifica miscela;
- la dissipazione termica attesa nei primi 3-4 giorni attraverso i casseri e sulla superficie libera stimabile, per casseri non coibentati, nell'intorno di 5 °C.

E' quindi evidente che un ruolo fondamentale è giocato dall'incremento adiabatico della temperatura tipico delle diverse miscele, misurabile con prove relativamente semplici.

In pratica, la temperatura massima ammissibile del calcestruzzo al momento del getto, a partire dal limite massimo di 70 °C suddetto, può essere valutata, per ogni miscela, con la seguente formula empirica:

$$T_{max} = 70 - \Delta T_{adiab} + 5 \quad [^{\circ}C]$$

dove:

$$\Delta T_{adiab} = \frac{q_t * c}{m * \rho}$$

in cui:  $q_t$  = calore d'idratazione unitario del cemento (kJ/kg) al tempo t ( $\approx 3$  gg);

c = dosaggio del cemento (kg/m<sup>3</sup>);

m = massa volumica unitaria del calcestruzzo  $\approx 2350 \div 2450$  kg/m<sup>3</sup>;

$\rho$  = calore specifico del calcestruzzo  $\approx 0.9 \div 1.1$  kJ/(kg°C).

Il calore specifico di idratazione del cemento  $q_t$  è indicativamente riportato (in kJ/kg o in J/g), per alcuni tipi di cemento, nella seguente tabella (da Linee-guida CSLP-STC 2008), nella quale il valore a 7 gg è quello di riferimento per la classificazione dei cementi, mentre il valore a 3 gg è quello più significativo per la valutazione della  $T_{max}$ :

Cemento: tipo e classe di resistenza							
Tempo (giorni)	CEM VLH 22.5	CEM IV/B 32.5	CEM II/BS 32.5R	CEM III/A-LL 32.5R	CEM IV/A 42.5R	CEM III/A-LL 42.5R	CEM I 52.5R
3		200	225	255	275	285	315
<b>7</b>	<b>210</b>	<b>240</b>	<b>270</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>330</b>	<b>355</b>
28	240	275	310	335	315	355	380
90		295	365	360	340	380	400

La seconda formula può essere impiegata utilmente anche per la valutazione approssimativa degli accorgimenti da adottare per non superare il massimo gradiente termico, esplicitando rispetto al calore di idratazione totale:

<sup>(1)</sup> da M. Collepari, ENCO-Journal;

<sup>(2)</sup> da L. Coppola, Univ. di Bergamo.

$$Q_t = q_t * c = \frac{\Delta T_{adiab}}{m * \rho}$$

In questo modo, dato il tipo di cemento (e quindi dato  $q_t$  a 3 gg), imponendo  $\Delta T_{adiab} = 20$  °C, è possibile valutare il suo quantitativo massimo o, viceversa, dato quest'ultimo, determinare il tipo di cemento da impiegare.

È consentito il raffreddamento della miscela, come già detto, mediante uso di ghiaccio tritato, purché il Direttore dei Lavori possa verificare il controllo e la costanza del rapporto acqua/cemento e sia accertata l'assenza di pezzi di ghiaccio alla fine della vibrazione.

Eventualmente si potrà anche ricorrere al raffreddamento del manufatto mediante circolazione di acqua in appositi tubi metallici preinseriti a perdere nel getto.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione dei Lavori un bilancio termico e le precauzioni adottate, che dimostrino l'assenza di condizioni che possano portare a fenomeni fessurativi o altri inconvenienti che pregiudichino le prestazioni attese del calcestruzzo indurito.

La riduzione della quantità di calore sviluppato si ottiene principalmente scegliendo un cemento a basso calore di idratazione ovvero, secondo la norma UNI EN 197-1, un cemento di altoforno (CEM III) a basso tenore di silicato e alluminio tricalcico, pozzolanico (CEM IV) o composito (CEM V). In alternativa si può ricorrere ad un opportuno dosaggio di ceneri volanti in sostituzione di parte del cemento, quale si verifica ad esempio nei calcestruzzi cosiddetti HVFA (*High Volume Fly-Ash*).

Tali cementi "a basso sviluppo di calore" devono sviluppare a 7 gg un calore di idratazione, determinato statisticamente "per soluzione", in accordo alla norma UNI EN 196-8, non superiore a 270 J/g<sup>(1)</sup> e sono contraddistinti dalla notazione LH (*Low Heat*)<sup>(2)</sup>.

Vi sono poi particolari cementi, denominati VLH (*Very Low Heat* – UNI EN 14216), impiegati di norma in getti di grandissime proporzioni (dighe, sbarramenti, centrali nucleari, centrali idroelettriche, grandi blocchi di ancoraggio o di fondazione) nei quali, anche a bassissimi dosaggi di cemento, si possono sviluppare alte temperature.

Altri provvedimenti sono: la riduzione dell'acqua mediante additivi; l'adozione di aggregato di grossa pezzatura; la riduzione artificiale di temperatura del calcestruzzo fresco (uso di acqua fredda o ghiaccio tritato).

Allorché per le necessità operative i casseri debbano essere rimossi in tempi brevi (1 o 2 giorni), si può prendere in considerazione l'impiego di falsi casseri coibentati, che devono rimpiazzare in tempi molto brevi (poche ore) i casseri veri.

#### **22.7.6. Getti di lunghezza elevata**

Getti di lunghezza elevata, come elementi di rivestimento delle gallerie, muri di sostegno, cunette e simili, in particolare modo se il loro spessore supera i 50 cm, sono prevedibilmente soggetti a fenomeni fessurativi, con formazione di cavillature o fessure parallele al lato corto, con spaziatura da qualche metro in su. Tale fessurazione, se a breve termine (uno o pochi giorni), è dovuta principalmente al ritiro termico; successivamente si può verificare un contributo da parte del ritiro igrometrico.

I fenomeni suddetti si possono controllare minimizzando lo sviluppo di calore di idratazione del calcestruzzo, riducendone la temperatura iniziale, mantenendo a lungo le casseforme (se coibenti) o mantenendo sempre satura d'acqua la superficie dei getti; tuttavia, posto che l'adozione di tali provvedimenti non sia sempre opportuna o agevole, si dovrà di norma prevedere un congruo numero di giunti di dilatazione (in questo caso di segno negativo ovvero contrazione), allo scopo di evitare la formazione di fessure casuali.

Soltanto qualora ciò sia espressamente previsto in Progetto, si potranno adottare metodi di localizzazione controllata delle fessure (ad es. con specifiche indentature eventualmente riempite con prodotti sigillanti elastici), sempre che sia stato verificato che con tali metodi non si pregiudica in modo significativo o incontrollato la durabilità della struttura.

Anche per manufatti di questo tipo, qualora sia decisivo il controllo del calore di idratazione, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione dei Lavori un bilancio termico che dimostri l'assenza di condizioni che possono portare a fenomeni fessurativi o altri inconvenienti che pregiudichino le prestazioni attese del calcestruzzo indurito.

<sup>(1)</sup> In ogni caso tale valore non deve eccedere, per ciascuna misurazione "singola", i 300 J/g.

<sup>(2)</sup> Es.: CEM III/B 32.5 N-LH.

### **22.7.7. Trasporto e consegna**

Il trasporto dei conglomerati cementizi dall'impianto di betonaggio al luogo d'impiego dovrà essere effettuato con mezzi idonei al fine di evitare la possibilità di segregazione dei singoli componenti e comunque tali da evitare ogni possibilità di deterioramento del conglomerato cementizio medesimo.

Saranno accettate, in funzione della durata e della distanza di trasporto, le autobetoniere e le benne a scarico di fondo, ed eccezionalmente i nastri trasportatori.

Il DdT (Documento di Trasporto) di ciascuna consegna di calcestruzzo dovrà riportare la designazione di qualifica della miscela, la sua ricetta, la registrazione delle pesate e i valori di umidità dell'aggregato.

L'uso delle pompe sarà consentito a condizione che l'Appaltatore adotti, a sua cura e spese, provvedimenti idonei a mantenere il valore prestabilito del rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio alla bocca d'uscita della pompa.

Non saranno ammessi gli autocarri a cassone o gli scivoli eccedenti quelli in dotazione delle autobetoniere.

La miscela qualificata di calcestruzzo dovrà avere un mantenimento della lavorabilità idoneo per la durata massima prevista del trasporto, anche in funzione delle condizioni atmosferiche; all'atto dello scarico dovrà essere controllata l'omogeneità dell'impasto con la prova indicata nei seguenti paragrafi.

È facoltà della Direzione Lavori di rifiutare carichi di conglomerato cementizio non rispondenti ai requisiti prescritti; i quantitativi rifiutati, non potranno essere oggetto di successive "correzioni" ma dovranno essere definitivamente ed insindacabilmente riposti nell'apposito sito predisposto dall'Appaltatore.

In particolare, se al momento della posa in opera la consistenza del conglomerato cementizio non è quella prescritta, lo stesso non dovrà essere impiegato per l'opera ma scaricato in luogo appositamente destinato dall'Appaltatore e reso noto alla Direzione Lavori in sede di prequalifica dei conglomerati cementizi.

Tuttavia se la consistenza è minore di quella prescritta (minore *slump*) e il conglomerato cementizio è ancora nell'autobetoniera, la consistenza può essere portata fino al valore prescritto mediante aggiunta d'additivi fluidificanti, e l'aggiunta sarà registrata sulla bolla di consegna.

Si pone assoluto divieto all'aggiunta d'acqua durante le operazioni di getto, a meno che ciò non risponda a precise esigenze di progetto o sia espressamente autorizzato dalla Direzione Lavori. In tal caso ne sarà comunque tenuta debita nota nel verbale di getto o in altro documento da questa sottoscritto.

### **22.7.8. Prove sui materiali e sul conglomerato cementizio fresco**

Fermo restando quanto stabilito ai precedenti punti, riguardo ai controlli in corso d'opera dei conglomerati cementizi, la Direzione Lavori si riserva la facoltà di prelevare quando lo ritenga opportuno, ulteriori campioni di materiali o di conglomerato cementizio da sottoporre ad esami o prove di laboratorio.

In particolare in corso di lavorazione sarà controllata la consistenza, l'omogeneità, il contenuto d'aria, il rapporto acqua/cemento e l'acqua essudata (*bleeding* secondo UNI 7122).

La prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (*slump*), come disposto dalla specifica norma della serie UNI EN 12350. Detta prova sarà effettuata ad ogni autobetoniera, nei pressi del getto.

Quando la consistenza prevista progettualmente è definita come S1, S2, S3, S4 e S5, l'effettivo abbassamento in centimetri cui fare riferimento per la valutazione della prova sarà quello riportato nel *mix-design* di prequalifica.

Ad ogni controllo sarà redatto un apposito rapporto di prova strutturato secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Qualora l'abbassamento, con tolleranza di  $\pm 2$  cm, non fosse quello progettualmente previsto l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere; sarà premura della Direzione Lavori accertare che il conglomerato in essa contenuto non sia oggetto di successive manipolazioni, ma sia definitivamente scartato in quanto non idoneo.

Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm.

Per abbassamenti inferiori a 2 cm si dovrà eseguire la prova con la tavola a scosse secondo la Norma UNI EN 12350-5 o con l'apparecchio VEBÉ secondo la norma UNI EN 12350-3.

La prova d'omogeneità sarà eseguita vagliando ad umido due campioni di conglomerato, prelevati a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera, attraverso il vaglio a maglia quadra da 4 mm.



La percentuale in peso di aggregato grosso nei due campioni non dovrà differire più del 6%.

Inoltre lo *slump* dei due campioni prima della vagliatura non dovrà differire più di 3 cm.

La prova del contenuto d'aria secondo la norma UNI EN 12350-7 è richiesta per tutti i calcestruzzi aerati e dovrà essere effettuata sul contenuto d'ogni betoniera. Quando il contenuto percentuale d'aria aggiunta non sarà quello preliminarmente stabilito, l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere.

Sarà premura della Direzione Lavori accertare che il conglomerato in essa contenuto non sia oggetto di successive manipolazioni, ma sia definitivamente scartato in quanto non idoneo.

Il rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio fresco dovrà essere controllato in cantiere, secondo la specifica norma, almeno una volta per ogni giorno di getto.

In fase d'indurimento potrà essere prescritto il controllo della resistenza a diverse epoche di maturazione, su campioni appositamente confezionati.

Sul conglomerato cementizio indurito la Direzione Lavori potrà disporre l'effettuazione di prove e controlli mediante prelievo di carote e/o altri sistemi anche non distruttivi quali ultrasuoni, misure di resistività, misure di *pull-out* con tasselli tipo Fischer, contenuto d'aria da aerante, ecc..

### **22.7.9. Casseforme e posa in opera**

I getti dovranno essere iniziati solo dopo la verifica degli scavi, delle casseforme e delle armature metalliche da parte della Direzione Lavori. La posa in opera sarà eseguita con ogni cura ed a regola d'arte, dopo aver preparato accuratamente e rettificati i piani di posa, le casseforme, i cavi da riempire e dopo aver posto le armature metalliche.

La temperatura del conglomerato cementizio, all'atto del getto dovrà essere compresa tra 5 e 30 °C, fatto salvo quanto riportato ai paragrafi precedenti.

Nel caso di getti contro terra, roccia, ecc., si deve controllare che la pulizia del sottofondo, il posizionamento d'eventuali drenaggi, la stesura di materiale isolante o di collegamento, siano eseguiti in conformità alle disposizioni di progetto e delle presenti Norme. I getti dovranno risultare perfettamente conformi ai particolari costruttivi di progetto ed alle prescrizioni della Direzione Lavori. Si avrà cura che in nessun caso si verifichino cedimenti dei piani d'appoggio e delle pareti di contenimento.

Le casseforme dovranno essere atte a garantire superfici di getto regolari ed a perfetta regola d'arte; in tal senso l'Appaltatore provvederà, a sua cura e spese, alla posa d'opportuni ponteggi ed impalcature, previa presentazione ed approvazione da parte della Direzione Lavori dei relativi progetti.

L'Appaltatore dovrà progettare le cassaforme e le relative strutture di contrasto, in particolare per manufatti di altezza rilevante gettati velocemente e con conglomerato di consistenza S5 o autocompattante (SCC), in modo tale da evitare rischi connessi alla pressione del calcestruzzo fresco.

Le norme di riferimento per le casseforme, oltre al D.M. 14/01/2008 e relativa citata circolare applicativa, sono le seguenti: UNI EN 13377 (Travi prefabbricate di legno per casseforme - Requisiti, classificazione e verifica), UNI EN 1065 (Puntelli telescopici regolabili di acciaio - Specifiche di prodotto, progettazione e verifica attraverso calcoli e prove), DIN 18218 (*Pressure of fresh concrete on vertical formwork*). Un utile riferimento può essere costituito dal progetto di Norma UNI U50.00.206.0 (Casseforme - Requisiti generali per la progettazione, la costruzione e l'uso) del 31.01.1999, successivamente non più portato avanti dall'UNI.

Dovranno essere impiegati prodotti disarmanti aventi i requisiti di cui alle specifiche della Norma UNI 8866; le modalità d'applicazione dovranno essere quelle indicate dal produttore evitando accuratamente aggiunte eccessive e ristagni di prodotto sul fondo delle casseforme.

La Direzione Lavori eseguirà un controllo della quantità di disarmante impiegato in relazione allo sviluppo della superficie di casseforme trattate.

Dovrà essere controllato inoltre che il disarmante impiegato non macchi o danneggi la superficie del conglomerato.

A tale scopo saranno usati prodotti efficaci per la loro azione specifica escludendo i lubrificanti di varia natura. Dal giornale lavori del cantiere dovrà risultare la data d'inizio e di fine dei getti e del disarmo.

Se il getto dovesse essere effettuato durante la stagione invernale, l'Appaltatore dovrà tenere registrati giornalmente i minimi di temperatura desunti da un apposito termometro esposto nello stesso cantiere di lavoro.

Si dovranno rimuovere dall'interno dei casseri e della superficie dei ferri d'armatura eventuali residui di ghiaccio o di brina eventualmente venutasi a formare durante le ore notturne.

Il conglomerato cementizio sarà posto in opera e assestato con ogni cura in modo che le superfici esterne si presentino lisce e compatte, omogenee e perfettamente regolari ed esenti anche da macchie o chiazze.

Per la finitura superficiale delle solette è prescritto l'uso di stagge vibranti o attrezzature equivalenti; la regolarità dei getti dovrà essere verificata con un'asta rettilinea della lunghezza di 2,00 m, che in ogni punto dovrà aderirvi uniformemente nelle due direzioni longitudinale e trasversale; saranno tollerati soltanto scostamenti inferiori a 10 mm.

Eventuali irregolarità o sbavature dovranno essere asportate mediante bocciardatura e i punti incidentalmente difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo; ciò qualora tali difetti o irregolarità siano contenuti nei limiti che la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, riterrà tollerabili fermo restando in ogni caso che le suddette operazioni ricadranno esclusivamente e totalmente a carico dell'Appaltatore.

Quando le irregolarità siano mediamente superiori a 10 mm, la Direzione Lavori ne imporrà la regolarizzazione a totale cura e spese dell'Appaltatore mediante uno strato di materiali idonei che, secondo i casi e ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori potrà essere costituito da:

- malte o betoncini reoplastici a base cementizia a ritiro compensato;
- conglomerato bituminoso del tipo usura fine, per spessori non inferiori a 15 mm.

Eventuali ferri (filo, chiodi, reggette) che con funzione di legatura di collegamento casseri od altro, dovessero sporgere da getti finiti, dovranno essere tagliati almeno 1,5 cm sotto la superficie finita e le cavità risultanti saranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento espansivo.

Dovunque sia possibile, gli elementi dei casseri saranno fissati nell'esatta posizione prevista utilizzando fili metallici liberi di scorrere entro tubetti di materiale PVC o simile, di colore grigio, destinati a rimanere incorporati nel getto di conglomerato cementizio, armato o non armato.

Lo scarico del conglomerato dal mezzo di trasporto dovrà avvenire con tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione. A questo scopo il conglomerato dovrà scendere verticalmente al centro della cassaforma e sarà steso, mediante rastrelli o stagge, in strati orizzontali di spessore limitato e comunque non superiore a 50 cm misurati dopo la vibrazione.

Nel caso di getti di notevole estensione i punti di getto non dovranno distare più di cinque metri uno dall'altro (salvo l'impiego di calcestruzzo autocompattante).

È vietato scaricare il conglomerato in un unico cumulo e distenderlo con l'impiego del vibratore; è altresì vietato lasciar cadere dall'alto il conglomerato cementizio per un'altezza superiore ad un metro; se necessario si farà uso di tubi getto o si getterà mediante pompaggio.

#### **22.7.10. Compattazione**

Dopo la posa in opera tutto il calcestruzzo dovrà essere compattato mediante vibrazione allo scopo di minimizzare il contenuto d'aria intrappolata (non aria aggiunta) fino al contenuto fisiologico in relazione al diametro massimo (si veda la Tabella J). Si impiegheranno vibratorii interni di ampiezza e frequenza adeguata per il calcestruzzo in lavorazione. I vibratorii si dovranno inserire verticalmente ed estrarre lentamente dal conglomerato.

È vietato l'impiego dei vibratorii per distribuire l'eventuale calcestruzzo a bassa consistenza scaricato sulle casseforme. Durante l'uso, si dovrà inserire ed estrarre lentamente il vibratore nel calcestruzzo fresco allo scopo di evitare difetti localizzati.

La Direzione Lavori potrà disporre la verifica dell'efficacia della compattazione sia mediante prelievo di calcestruzzo fresco dopo la posa in opera e vibrazione e misura del contenuto d'aria secondo UNI EN 12350-7 sia sul conglomerato indurito, ad esempio mediante confronto con le foto della BS 1881 o mediante la determinazione della massa volumica delle carote. Qualora il contenuto di aria risultasse eccessivo, la Direzione Lavori potrà ricorrere a misure adeguate, fino alla sospensione dei lavori.

Informazioni estese per la compattazione del calcestruzzo sono contenute nella già citata specifica ACI 309 "Guide for Consolidation of Concrete".

Tabella J – Contenuto massimo di aria inglobata nei getti

Diametro massimo dell'aggregato [mm]	Tenore limite dell'aria inglobata [%]
12	2.5
20	2
25	1.5
31.5	1.5

### 22.7.11. Riprese di getto

L'Appaltatore dovrà porre particolare cura nella realizzazione dei giunti di dilatazione o contrazione di tipo impermeabile (*waterstop*), o giunti speciali aperti, a cunei, secondo le indicazioni di Progetto.

Tra le successive riprese di getto non dovranno aversi distacchi o discontinuità o differenze d'aspetto.

La Direzione Lavori avrà la facoltà di prescrivere, ove e quando lo ritenga necessario, che i getti siano eseguiti senza soluzione di continuità così da evitare ogni ripresa, anche se ciò comporta che il lavoro debba essere condotto a turni, durante le ore notturne ed anche in giornate festive, senza che all'Appaltatore non spetti nulla di più di quanto previsto contrattualmente.

In alternativa la Direzione Lavori potrà prescrivere l'adozione di riprese di getto di tipo monolitico.

Queste saranno realizzate mediante spruzzatura d'additivo ritardante sulla superficie del conglomerato cementizio fresco subito prima della sospensione del getto; dopo che la massa del conglomerato sarà indurita si provvederà (entro 24 ore) all'eliminazione della malta superficiale non ancora rappresa, mediante getto d'acqua, ottenendo una superficie di ripresa scabra, sulla quale si potrà disporre all'atto della ripresa di getto una malta priva di ritiro immediatamente prima del nuovo getto di conglomerato cementizio; la ripresa potrà effettuarsi solo dopo che la superficie del getto precedente sia stata accuratamente pulita, lavata e spazzolata.

Se l'interruzione dei getti si protrae per tempi non superiori a 20 ore, è ammessa la realizzazione di manufatti monolitici mediante posa in opera di un ultimo strato contenente additivo ritardante, dosato in modo tale da prolungare la presa per il periodo necessario. Su questo, ancora capace di accogliere un vibratore, potrà essere gettato lo strato successivo e i due strati potranno essere vibrati simultaneamente.

Impiegando questa tecnologia, si dovrà impedire l'essiccamento del calcestruzzo dello strato di attesa, mediante coperture impermeabili o teli mantenuti bagnati.

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori la miscela ritardata, eseguendo anche prove di presa in calcestruzzo secondo UNI 7123.

Quando il conglomerato cementizio deve essere gettato in presenza d'acqua, si dovranno adottare gli accorgimenti approvati dalla Direzione Lavori, necessari per impedire che l'acqua lo dilavi. Si farà uso a tale scopo di tubo getto, adottando gli accorgimenti necessari affinché venga realizzata una separazione all'interno del tubo tra l'acqua e il calcestruzzo in fase di getto iniziale. A regime il tubo getto dovrà essere pieno di calcestruzzo ed inserito per almeno 50 cm nel calcestruzzo già gettato. La Direzione Lavori dovrà vietare che il tubo getto venga sollevato ed abbassato per facilitare il flusso del conglomerato.

### 22.7.12. Prevenzione delle fessure da ritiro plastico

A getto ultimato dovrà essere curata la stagionatura dei conglomerati cementizi in modo da evitare un rapido prosciugamento delle superfici esposte all'aria dei medesimi (favorito da tempo secco e ventilato) e la conseguente formazione di fessure da ritiro plastico, usando tutte le cautele ed impiegando i mezzi più idonei allo scopo, fermo restando che il sistema proposto dall'Appaltatore dovrà essere approvato dalla Direzione Lavori.

A questo fine le superfici del conglomerato cementizio non protette dalle casseforme dovranno essere mantenute umide il più a lungo possibile (*curing*) e comunque per almeno 7 giorni, sia per mezzo di prodotti antievaporanti da

applicare a spruzzo immediatamente dopo il getto, sia mediante continua bagnatura con acqua nebulizzata (evitando ruscellamento d'acqua), sia con applicazione di teli di tessuto da mantenere bagnati, sia infine con teli di plastica.

I prodotti antievaporanti dovranno essere conformi a quanto indicato nelle norme ex UNI 8656 e ASTM C309-11 (ad es.: "Mackcure C" della BASF, "Mapecure S" della MAPEI) e, unitamente al loro dosaggio, dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

La costanza della composizione dei prodotti antievaporanti dovrà essere verificata al momento del loro approvvigionamento.

In particolare per le solette, che sono soggette all'essiccamento prematuro ed alla fessurazione da ritiro plastico che ne deriva, è fatto obbligo di applicare sistematicamente i provvedimenti di cui sopra.

È ammesso in alternativa l'impiego, anche limitatamente ad uno strato superficiale di spessore non minore di 20 cm, di conglomerato cementizio rinforzato da fibre di resina sintetica di lunghezza da 20 a 35 mm, di diametro d'alcuni millesimi di millimetro aggiunti nella betoniera e dispersi uniformemente nel conglomerato cementizio, in misura di  $0,5 \div 1,5 \text{ kg/m}^3$ .

Qualora sulla superficie di manufatti, in particolare delle solette di impalcato si rilevi la formazione diffusa di cavillature (apertura minore di 0,3 mm) in misura giudicata eccessiva dalla Direzione Lavori, sarà a carico dell'Appaltatore l'applicazione sull'intera superficie di manufatti una rasatura (spessore di 1-2 mm) di prodotto impermeabile polimero cementizio.

Nel caso che sui manufatti si rilevino manifestazioni di ritiro plastico con formazione di fessure d'apertura superiore a 0,3 mm, in misura complessivamente minore di un metro lineare per  $250 \text{ m}^2$ , l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla sigillatura mediante iniezione di dette fessure con resina epossidica extra fluida.

Se il fenomeno fessurativo risultasse ancora più intenso, l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla demolizione ed al rifacimento delle strutture danneggiate.

#### **22.7.13. Disarmo e scasseratura**

Durante il periodo della stagionatura, i getti dovranno essere riparati da urti, vibrazioni e sollecitazioni d'ogni genere.

La rimozione delle armature di sostegno dei getti dovrà essere effettuata quando siano state sicuramente raggiunte le prescritte resistenze e comunque mai prima di 48 ore.

In assenza di specifici accertamenti, l'Appaltatore dovrà attenersi a quanto stabilito nella UNI EN 13670 (Tabella L).

#### **22.7.14. Protezione dopo la scasseratura**

Al fine di evitare un prematuro essiccamento dei manufatti dopo la rimozione delle casseforme, per effetto del quale l'indurimento è ridotto e il materiale risulta più poroso e permeabile, si dovrà procedere alla stagionatura protetta.

Per la stagionatura e la protezione sono utilizzabili, separatamente o in sequenza, i metodi seguenti:

- mantenere nella sua posizione la cassaforma;
- coprire la superficie del calcestruzzo con membrane impermeabili assicurate agli spigoli e ai giunti, per prevenire la formazione di correnti d'aria;
- porre teli bagnati sulla superficie e assicurarsi che restino bagnati;
- mantenere bagnata la superficie del calcestruzzo mediante irrigazione con acqua;
- applicazione di un idoneo prodotto stagionante.

La durata della stagionatura, intesa come giorni complessivi di permanenza nei casseri e di protezione dopo la rimozione degli stessi, va determinata in base alle indicazioni della norma UNI EN 13670. La Tabella K fornisce la durata richiesta della stagionatura.

### 22.7.15. Maturazione accelerata a vapore

La maturazione accelerata a vapore deve essere eseguita osservando le prescrizioni che seguono:

- la temperatura del conglomerato cementizio, durante le prime 3 h dall'impasto non deve superare 30 °C; dopo le prime 4 h dall'impasto non deve superare 40°C;
- la velocità di riscaldamento non deve superare 20 °C/h;
- la temperatura massima del calcestruzzo non deve in media superare 60 °C (i valori singoli devono essere minori di 65°C);
- il calcestruzzo deve essere lasciato raffreddare con una velocità di raffreddamento non maggiore di 10 °C/h;
- durante il raffreddamento e la stagionatura occorre ridurre al minimo la perdita d'umidità per evaporazione facendo uso di teli protettivi o applicando antievaporanti.

Tabella K - Periodo minimo di protezione in funzione della temperatura superficiale del calcestruzzo e della velocità di sviluppo della resistenza (da UNI EN 13670)

Temperatura superficiale del calcestruzzo t [°C]	Minimo periodo di stagionatura [giorni] <sup>1), 2)</sup>			
	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo <sup>4)</sup>			
	(R <sub>c</sub> medio 2 gg / R <sub>c</sub> medio 28 gg) = r			
	rapido r ≥ 0.50	medio r ≥ 0.30	lento r ≥ 0.15	molto lento r < 0.15
t ≤ 25	1.0	1.5	2.0	3.0
25 > t ≥ 15	1.0	2.0	3.0	5
15 > t ≥ 10	2.0	4.0	7	10
10 > t ≥ 5 <sup>3)</sup>	3.0	6.0	10	15

1) Più l'eventuale tempo di presa eccedente le 5 ore.

2) E' ammessa l'interpolazione lineare tra i valori delle righe.

3) Per t < 5 °C, la durata deve essere aumentata per un tempo uguale al periodo con tale temperatura.

4) Lo sviluppo di resistenza del calcestruzzo è il rapporto tra la resistenza media a 2 giorni e la resistenza media a 28 giorni, determinato dalle prove di prequalifica.

### 22.7.16. Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari

L'Appaltatore avrà a suo carico il preciso obbligo di predisporre in corso d'esecuzione quanto è previsto nei disegni costruttivi o sarà successivamente prescritto di volta in volta in tempo utile dalla Direzione Lavori, circa fori, tracce, cavità, incassature ecc. nelle solette, nervature, pilastri, murature, ecc., per la posa in opera d'apparecchi accessori quali giunti, appoggi, smorzatori sismici, pluviali, passi d'uomo, passerelle d'ispezione, sedi di tubi e di cavi, opere d'interdizione, sicurvità, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti.

Tutte le conseguenze per la mancata esecuzione delle predisposizioni così prescritte dalla Direzione Lavori, saranno a totale carico dell'Appaltatore, sia per quanto riguarda le rotture, i rifacimenti, le demolizioni d'opere di spettanza dell'Appaltatore stesso, sia per quanto riguarda le eventuali opere d'adattamento d'infissi o impianti, i ritardi, le forniture aggiuntive di materiali e la maggiore mano d'opera occorrente da parte dei fornitori.

Quando previsto in Progetto, le murature in conglomerato cementizio saranno rivestite sulla superficie esterna con paramenti speciali in pietra, laterizi od altri materiali da costruzione; in tal caso i getti dovranno procedere contemporaneamente al rivestimento ed essere eseguiti in modo da consentire l'adattamento e l'ammorsamento.

Qualora la Società dovesse affidare i lavori di protezione superficiale dei conglomerati cementizi a ditte specializzate, nulla è dovuto all'Appaltatore per gli eventuali oneri che dovessero derivarle dalla necessità di coordinare le rispettive attività.

#### **22.7.17. Predisposizione delle armature ordinarie del c.a.**

Per i tipi e le caratteristiche degli acciai costituenti le armature ordinarie si faccia riferimento all'articolo inerente i materiali e sistemi.

Nella posa in opera delle armature metalliche entro i casseri è prescritto tassativamente l'impiego di opportuni distanziatori del tipo approvato dalla Direzione Lavori. Al fondo delle cassaforme si useranno elementi prefabbricati in fibrocemento di sezione quadrata o triangolare, scegliendo prodotti di resistenza prossima a quella del conglomerato. Lungo le pareti verticali si dovranno impiegare distanziatori ad anello in materiale plastico;

L'uso dei distanziatori dovrà essere esteso anche alle strutture di fondazione armate. In assenza di tali distanziatori la Direzione Lavori non darà il proprio assenso all'inizio delle operazioni di getto.

Copriferro ed interferro dovranno essere dimensionati nel rispetto delle indicazioni contenute negli Eurocodici.

Le gabbie d'armatura dovranno essere, per quanto possibile, composte fuori opera; in ogni caso in corrispondenza di tutti i nodi dovranno essere eseguite legature doppie incrociate in filo di ferro ricotto di diametro non inferiore a 0,6 mm, in modo da garantire l'invariabilità della geometria della gabbia durante il getto.

In presenza di ferri d'armatura zincati od in acciaio inox, il filo utilizzato per le legature dovrà avere le stesse caratteristiche dell'acciaio da sottoporre a legatura.

L'Appaltatore, con riferimento alla UNI EN 13670, dovrà adottare inoltre tutti gli accorgimenti necessari affinché le gabbie mantengano la posizione di Progetto all'interno delle casseforme durante le operazioni di getto.

È a carico dell'Appaltatore l'onere della posa in opera delle armature metalliche, anche in presenza d'acqua o fanghi bentonitici, nonché i collegamenti equipotenziali.

Le connessioni fra le barre di armatura dovranno essere realizzate con le seguenti modalità:

- per sovrapposizione (di lunghezza adeguata alla sollecitazione ed al diametro effettivi), ponendo di norma le barre a contatto lungo tutto lo sviluppo della medesima oppure, soltanto qualora il progetto lo prescriva, lievemente distanziate tra loro (distanziamento massimo comunque pari al minore tra i diametri delle barre). Le caratteristiche geometriche della sovrapposizione devono essere garantite durante tutte le fasi di getto e costipazione del calcestruzzo, tramite legature con filo di ferro ricotto ed eventuali imbottiture. Qualora il caso o il progetto lo richiedano, le sovrapposizioni potranno essere rese più efficaci tramite idonea cerchiatura, da attuarsi con le modalità stabilite in progetto o dalla Direzione Lavori;
- saldature eseguite in conformità alle norme vigenti sulle saldature e previa verifica della compatibilità del metallo di apporto. Qualora il caso o il progetto lo richiedano, le saldature tra le barre potranno essere mediate da copri-giunti realizzati con spezzoni di barra o altri idonei elementi in acciaio da carpenteria;
- manicotti filettati (dovranno in ogni caso essere utilizzati prodotti omologati e dotati delle opportune certificazioni);
- elementi speciali di connessione (dovranno in ogni caso essere utilizzati prodotti omologati e dotati delle opportune certificazioni).

#### **22.7.18. Armatura di precompressione**

Per i tipi e le caratteristiche degli acciai costituenti le armature di precompressione si faccia riferimento all'articolo inerente i materiali e sistemi.

L'Appaltatore dovrà attenersi rigorosamente alle prescrizioni contenute nei calcoli statici e nei disegni esecutivi per tutte le disposizioni costruttive, ed in particolare per quanto riguarda:

- il tipo, il tracciato, la sezione dei singoli cavi;
- le fasi d'applicazione della precompressione;

- la messa in tensione da uno o da entrambi gli estremi;
- le eventuali operazioni di ritaratura delle tensioni;
- i dispositivi speciali come ancoraggi fissi, mobili, intermedi, manicotti di ripresa, ecc.

Oltre a quanto prescritto dalle vigenti norme di legge si precisa che, nella posa in opera delle armature di precompressione, l'Appaltatore dovrà assicurarne l'esatto posizionamento mediante l'impiego di appositi supporti, realizzati per esempio con pettini in tondini d'acciaio. Per quanto riguarda l'iniezione nei cavi di precompressione, si rimanda all'articolo specifico del presente Capitolato.

Nel caso di utilizzo di cavi inguainati monotrefolo (a trefoli "viplati"), questi dovranno essere preferibilmente di tipo compatto e costituiti da trefoli in fili di acciaio a sezione poligonale e comunque dotati di bassa resistenza allo scorrimento durante la tesatura, controllati in stabilimento, rivestiti con guaina tubolare in polietilene ad alta densità, intasata internamente con grasso anticorrosivo ad alta viscosità, stabile nel tempo ed idoneo all'uso specifico.

Le caratteristiche dell'acciaio, i controlli, lo spessore della guaina dovranno essere conformi a quanto previsto nel presente Capitolato e a quanto riportato negli elaborati di progetto.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori il sistema proposto per l'ingrassaggio, l'infilaggio e l'eventuale sostituzione dei trefoli.

Per gli ancoraggi è ammesso solo l'utilizzo di prodotti omologati.

Gli ancoraggi terminali dell'armatura di precompressione dovranno essere prefabbricati ed omologati, nonché conformi ai disegni di progetto. Il loro impiego dovrà avvenire ad opera di personale specializzato e secondo le istruzioni del produttore.

Per i cavi inguainati monotrefolo le piastre di ripartizione dovranno essere in acciaio zincato, a tenuta stagna; i cappellotti di protezione terminali dovranno essere zincati e provvisti di guarnizione in gomma antiolio, da calzare sui cilindretti e fissare con viti zincate ai terminali riempiti con grasso dopo la tesatura dei trefoli.

Non si potrà procedere al getto del calcestruzzo prima che la Direzione Lavori abbia controllato accuratamente la geometria, il corretto impiego, la stabilità del posizionamento e l'integrità delle armature di precompressione, dei loro ancoraggi e delle guaine.

## **22.8. Magroni e malte**

### **22.8.1. Magroni**

Prima di effettuare qualsiasi getto di calcestruzzo di fondazione, dovrà essere predisposto sul fondo dello scavo, dopo aver eseguito la pulizia ed il costipamento dello stesso secondo le modalità previste dal presente Capitolato, uno strato di calcestruzzo magro avente la funzione di piano di appoggio livellato e di cuscinetto isolante contro l'azione aggressiva del terreno. Lo spessore dello strato sarà desunto dai documenti di progetto.

In corso d'opera si eseguiranno, a richiesta della Direzione Lavori, prove di controllo a compressione su due cubetti, aventi lato 15 cm, per la determinazione, presso un laboratorio qualificato, della resistenza media a compressione ( $R_m$ ) a 28 giorni. La frequenza delle prove sarà di norma pari a una ogni 500 m<sup>3</sup> di magrone prodotto da ciascun impianto di betonaggio.

### **22.8.2. Malta di livellamento**

Sono malte confezionate con sabbia, acqua e cemento nelle dovute proporzioni, utilizzate per la formazione di piani di appoggio, con le tolleranze richieste dal progetto.

Le dimensioni degli inerti (sabbia) saranno di norma comprese tra 0.8 e 2.0 mm. La composizione della malta, in assenza di diversa indicazione, sarà di 1 m<sup>3</sup> di inerte per 500 kg/m<sup>3</sup> di cemento Portland normale. La quantità di acqua sarà quella necessaria per ottenere una malta plastica, idonea a riempire perfettamente le eventuali tasche per bulloni e/o altri inserti e gli spazi tra il calcestruzzo e le piastre di appoggio delle strutture soprastanti.

Prima di effettuare la posa in opera della malta di livellamento, le superfici dovranno essere accuratamente pulite.

### 22.8.3. **Malte speciali per inghisaggi**

Le malte di livellamento speciali sono di norma ottenute miscelando acqua ad opportuni miscugli premiscelati, in modo da ottenere malte a ritiro compensato ed elevato grado di fluidità, da utilizzare per inghisaggi di strutture, o altri elementi da congiungere, evitando fessure da ritiro e l'eventuale microdistacco dalle parti da fissare.

Il prodotto premiscelato, le cui schede tecniche dovranno essere sottoposte a preventiva approvazione da parte della Direzione Lavori, avrà granulometria adeguata agli spessori di posa in opera delle malte e sarà addizionato con acqua nelle proporzioni indicate dal fornitore.

Qualora previsto nelle prescrizioni del progetto o richiesto dalla Direzione Lavori, le malte saranno sottoposte al controllo della resistenza meccanica, da eseguirsi in conformità alle norme vigenti ed alle opportune stagionature.

Nel caso che nel progetto non siano prescritti valori diversi, la malta deve avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza a compressione  $\geq 80 \text{ N/mm}^2$ ;
- resistenza flessione  $\geq 10 \text{ N/mm}^2$ ;
- coefficiente di permeabilità  $\leq 1 \times 10^{-12}$ ;
- resistenza allo sfilamento, dopo 28 giorni  $\geq 20 \text{ N/mm}^2$ .

## 22.9. Calcestruzzo reodinamico (o autocompattante)

### 22.9.1. **Generalità**

Il calcestruzzo reodinamico, denominato anche “autocompattante” o *Self Compacting Concrete* (SCC), ha la caratteristica di scorrere molto facilmente ed espellere l'aria senza richiedere vibrazione, riempiendo per gravità tutto il volume del getto.

Risulta pertanto particolarmente indicato:

- per ottenere una elevata compattezza (massa volumica) e assenza di vespai, con un'ottima facciavista,
- per casseforme sottili e di forma complessa,
- per manufatti molto armati,
- per eseguire da una sola estremità getti di lunghezza elevata difficilmente accessibili.
- per ridurre i tempi di scarico e lavorazione.

L'adozione di calcestruzzo autocompattante richiede l'impiego di casseri dimensionati in modo da resistere alla spinta idrostatica di un battente di calcestruzzo fluido pari alla parete della cassaforma.

Le principali norme specifiche di riferimento per questa tipologia di calcestruzzo sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 206	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI EN 12350-8	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 8: Calcestruzzo autocompattante - Prova di spandimento e del tempo di spandimento
UNI EN 12350-9	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 9: Calcestruzzo autocompattante - Prova del tempo di efflusso
UNI EN 12350-10	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 10: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante scatola ad L
UNI EN 12350-11	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 11: Calcestruzzo autocompattante - Prova di segregazione mediante setaccio



Norma	Titolo
UNI EN 12350-12	Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 12: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante anello a J
UNI 11040	Calcestruzzo autocompattante - Specifiche, caratteristiche e controlli
UNI 11044	Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco - Determinazione dello scorrimento confinato mediante scatola ad U

### 22.9.2. Caratteristiche

Le caratteristiche del calcestruzzo reodinamico saranno di norma le seguenti:

- dosaggio minimo di cemento non inferiore al valore previsto dalla UNI 11104,
- rapporto A/C non superiore a quello previsto dalla UNI 11104,
- *filler* calcareo o cenere volante, dosaggio  $\geq 120 \text{ kg/m}^3$ ,
- contenuto di fini  $\geq 520 \text{ kg/m}^3$  (parti fini = cemento + componenti  $< 100 \mu\text{m}$ ),
- rapporto in volume acqua/parti fini =  $0.95 \div 1.03$ ,
- aggregati aventi  $D_{\text{max}} \leq 20 \text{ mm}$ ;
- superfluidificante specifico per calcestruzzo reodinamico a base di polycarbossilati eteri capace di una riduzione d'acqua del 20 - 25% rispetto al calcestruzzo tal quale non additivato di pari lavorabilità, dosato al  $0.8 \div 1.5$  litri per 100 kg delle parti fini,
- agente viscosizzante specifico, costituito tassativamente da una soluzione acquosa di macropolimeri a base di cellulosa modificata, dosaggio  $0.8 \div 1.5$  litri per 100 kg delle parti fini,
- mantenimento della lavorabilità del calcestruzzo per almeno 60 minuti anche a  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  con riduzione massima di 5 cm del valore ottenuto con lo *slump-flow test*,
- *slump-flow test* secondo UNI 11041, tra 600 e 700 mm,
- *V-funnel test*, UNI 11042, tra 8 e 12 s,
- $U_{\text{box}} \leq 30 \text{ mm}$  (prova da eseguire secondo UNI 11044 almeno in fase di qualifica della miscela).

## 22.10. Calcestruzzi leggeri

### 22.10.1. Generalità

Possono essere utilizzati calcestruzzi leggeri (o anche "alleggeriti") "strutturali" per parti di strutture in conglomerato cementizio armato o non armato aventi funzioni statiche significative, e calcestruzzi leggeri "non strutturali" negli altri casi (tipicamente per riempimenti di cavità facilmente rimovibili, formazione di massetti per coibentazione, ecc.).

Le norme principali e specifiche che devono essere osservate, per getti in opera e prodotti prefabbricati, sono le seguenti (si veda anche l'articolo specifico su materiali e sistemi):

Norma	Titolo
UNI EN 771-3	Specifiche per elementi di muratura - Parte 3: Elementi per muratura di calcestruzzo vibrocompreso (aggregati pesanti e leggeri)
UNI EN 991	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC). Determinazione delle dimensioni di componenti prefabbricati armati
UNI EN 992	Calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC). Determinazione della massa volumica a sec-

Norma	Titolo
	co.
UNI EN 1352	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione del modulo di elasticità statico a compressione
UNI EN 1354	Determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo alleggerito con struttura aperta
UNI EN 1355	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione dello scorrimento viscoso a compressione
UNI EN 1356	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Prova di carico trasversale su componenti prefabbricati armati
UNI EN 1520	Componenti prefabbricati armati di calcestruzzo alleggerito con struttura aperta con armatura strutturale o non- strutturale
UNI EN 1521	Calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a flessione
UNI EN 1737	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio di giunti saldati per reti o gabbie di armatura per elementi prefabbricati
UNI EN 1740	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza di elementi prefabbricati armati sottoposti a carico longitudinale predominante (elementi verticali)
UNI EN 1741	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio dei giunti tra elementi prefabbricati in presenza di forze agenti fuori dal piano degli elementi
UNI EN 1742	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) o calcestruzzo alleggerito con struttura aperta (LAC) - Determinazione della resistenza a taglio tra strati di elementi multistrato
UNI EN 13055-1	Aggregati leggeri - Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione
UNI EN 15435	Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito - Proprietà e prestazioni dei prodotti
UNI 7548-1	Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi. Definizione e classificazione
UNI 7548-2	Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi. Determinazione della massa volumica

### **22.10.2. Calcestruzzo leggero strutturale**

Ove richiesto in progetto, si farà uso di conglomerato cementizio leggero a struttura chiusa ottenuto sostituendo tutto o in parte l'inerte ordinario con aggregato leggero artificiale, costituito da argilla o scisti espansi. Questo calcestruzzo sarà caratterizzato da una classe di massa volumica a 28 gg secondo la Tabella L.

La resistenza caratteristica a compressione a 28 gg deve risultare non inferiore a  $15 \text{ N/mm}^2$  e minore di  $25 \text{ N/mm}^2$  (tipo designato LC2) ovvero uguale o maggiore di  $25 \text{ N/mm}^2$  (tipo designato LC3). La resistenza verrà controllata con la stessa procedura prevista per il calcestruzzo di massa volumica normale.

Anche per questo conglomerato devono essere soddisfatte le prescrizioni relative alla durabilità, in particolare per quanto concerne il rapporto acqua/cemento ed il dosaggio di cemento.

In caso di pompaggio è necessario prevedere una presaturazione dell'aggregato allo scopo di prevenire assorbimento sotto pressione dell'acqua di impasto.

L'additivo fluidificante impiegato e la composizione della miscela permetteranno di ottenere un calcestruzzo di consistenza S4 esente da fenomeni di galleggiamento dell'aggregato leggero. Questa caratteristica verrà controllata prepa-

rando provini alti almeno 20 cm, da rompere alla brasiliana, in modo da poter verificare l'omogeneità dell'aggregato alle varie altezze.

Tabella L - Classi di massa volumica del calcestruzzo leggero strutturale

Classe di massa volumica	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Intervallo di massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]	>1200 e ≤ 1400	> 1400 e ≤ 1600	> 1600 e ≤ 1800	> 1800 e ≤ 2000

### 22.10.3. Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare

Questi tipi di conglomerato cementizio, da utilizzare per riempimenti di scavi facilmente rimovibili, strati di coibentazione, ecc., aventi massa volumica a secco da 300 a 1000 kg/m<sup>3</sup>, resistenza a compressione da 1 a 10 N/mm<sup>2</sup> e conducibilità termica massima da 0.085 a 0.15 kcal/mh°C, verranno ottenuti mediante agenti schiumogeni e dosaggi di cemento di almeno 330 kg/m<sup>3</sup>, di cemento tipo 32.5 o 42.5. Il materiale dovrà avere una resistenza minima di 1 N/mm<sup>2</sup>, e una stabilità ed omogeneità del contenuto d'aria, dal punto di miscelazione fino alla posa in opera.

In funzione dei requisiti fissati dal progetto, si dovranno eseguire prove di qualifica della miscela.

Il calcestruzzo dovrà essere prodotto con attrezzatura automatica dotata di sistema computerizzato per la regolazione della miscelazione e della produzione.

In alternativa il calcestruzzo leggero non strutturale si otterrà impiegando come aggregato sferette di polistirolo espanso.

### 22.11. Calcestruzzo proiettato

#### 22.11.1. Generalità

Il rivestimento di pareti di scavo, pendici o pozzi di fondazione, paratie, rivestimenti di prima fase in galleria, ecc., potrà essere eseguito con conglomerato cementizio proiettato, denominato anche "sprit beton", "sprayed concrete" o, nel caso di utilizzo di malta cementizia, anche "gunite". Nel seguito sarà anche indicato con la sigla "CP".

Le principali norme specifiche da osservare, oltre quelle generali sul calcestruzzo semplice o armato, sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 934-5	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 5: Additivi per calcestruzzo proiettato - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura
UNI EN 14487-1	Calcestruzzo proiettato - Parte 1: Definizioni, specificazioni e conformità
UNI EN 14487-2	Calcestruzzo proiettato - Parte 2: Esecuzione
UNI EN 14488-1	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 1: Campionamento sul calcestruzzo fresco e sul calcestruzzo indurito
UNI EN 14488-2	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 2: Resistenza alla compressione del calcestruzzo spruzzato giovane
UNI EN 14488-3	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 3: Resistenze alla flessione (di primo picco, ultima e residua) di provini prismatici di calcestruzzo rinforzato con fibre
UNI EN 14488-4	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 4: Aderenza per trazione diretta sulle carote
UNI EN 14488-5	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 5: Determinazione della capacità di assorbimento di energia di piastre di prova rinforzate con fibre

Norma	Titolo
UNI EN 14488-6	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 6: Spessore del calcestruzzo su un supporto
UNI EN 14488-7	Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 7: Contenuto di fibre nel calcestruzzo rinforzato con fibre

### 22.11.2. Tipi di calcestruzzo proiettato

La consistenza delle miscele di calcestruzzo proiettato per via umida verrà qualificata nelle classi della norma UNI EN 206: S4 ed S5.

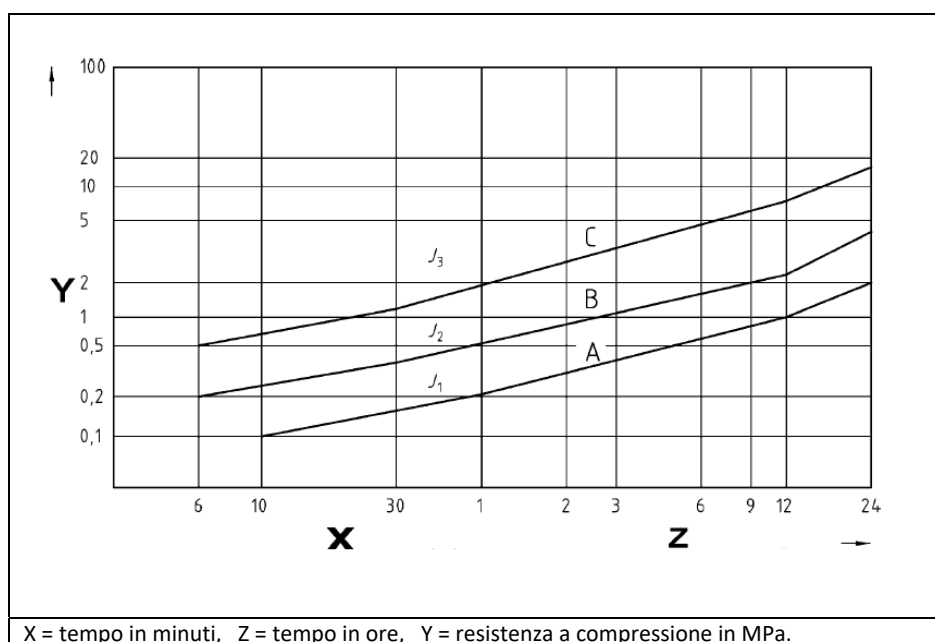


Figura 1 – Classi di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane

Per il CP dovranno essere rispettate le prescrizioni per la durabilità (in termini di rapporto acqua/cemento, dosaggio minimo di cemento, resistenza minima, e tipo di cemento) in funzione della classe di esposizione secondo UNI 11104.

La resistenza a compressione del CP dovrà essere specificata in classi di resistenza in funzione dell'impiego previsto, in accordo alla UNI EN 206. La classe di resistenza di un calcestruzzo proiettato si indica con la sigla CP seguita dal valore di resistenza cubica che lo caratterizza (es. CP16).

Le resistenze di riferimento dei calcestruzzi proiettati non sono valutate su provini confezionati, bensì su provini estratti per carotaggio, in opera o da pannelli di prova, e sono espresse in termini di resistenza caratteristica cilindrica ed indicate come  $f_{ck-cp}$ . Le carote devono avere altezza pari al diametro; questo deve essere sempre maggiore ad almeno 3 volte la massima dimensione degli inerti di pezzatura maggiore con un minimo di 8 cm. Per la misura e la valutazione dei risultati si procederà come indicato dalle norme indicate.

Inoltre il calcestruzzo proiettato potrà essere classificato in funzione della velocità di indurimento, nelle classi di resistenza del calcestruzzo giovane: J1, J2 o J3 in accordo con la Figura 1. L'assegnazione alla classe J1 si richiede che almeno 3 valori di resistenza cadano tra le curve A e B, per la classe J2 tra le curve B e C e al di sopra della curva C per il calcestruzzo proiettato classe J3.

Le prove di resistenza sul calcestruzzo proiettato giovane si eseguiranno con le modalità nel seguito specificate.

### 22.11.3. Composizione del calcestruzzo proiettato

Il CP verrà confezionato con aggregati d'appropriata granulometria continua, ottenuto con almeno due classi granulometriche e di dimensioni non superiori a 12,5 mm, tali da poter essere proiettati ad umido o a secco con le normali attrezzature da "spritzi", salvo diverse prescrizioni progettuali. Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,5, il dosaggio di cemento non inferiore a 450 kg/m<sup>3</sup>. Per ottenere questo risultato si dovrà impiegare un additivo riduttore d'acqua a rilascio progressivo a base di carbossilato etere conforme alle UNI EN 934-2, UNI EN 480 (1-2) e UNI EN 10765, capace di una riduzione d'acqua a pari consistenza di almeno il 20%.

La miscela dovrà avere una consistenza S4 o S5 con un mantenimento della lavorabilità di almeno 60'. Se la temperatura esterna è maggiore di 25 °C è ammessa, dopo un'ora dalla miscelazione, una riduzione dello *slump* non superiore al 15%.

Il calcestruzzo verrà additivato con acceleranti alcali-free in misura mediamente dell'8% ma sempre minore del 12% in peso del cemento.

Detti acceleranti dovranno essere costituiti da una soluzione acquosa (perciò non contenere prodotto solido sospeso) e dovranno avere:

- un contenuto di alcali (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) < 0,1% in peso,
- un tenore di cloruro (Cl) < 0,1%,
- una densità di ~ 1,36 kg/l,
- non dovranno essere caustici e dovranno avere un pH di 3 ± 1.

Ai fini della coesione del calcestruzzo, della durabilità dei manufatti e per evitare eventuali fenomeni di dilavamento, tutto il CP verrà additivato con fumo di silice in misura da 5 a 8% in peso sul cemento.

### 22.11.4. Qualifica e controlli

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione dei Lavori:

- una documentazione in merito alla qualifica e all'esperienza del lancista;
- la descrizione dell'equipaggiamento che intende impiegare per miscelare ed applicare il CP, includendo istruzioni, raccomandazioni e prestazioni attese fornite dal costruttore;
- una descrizione dei metodi che intende attuare per porre in opera il calcestruzzo e per controllarne lo spessore, garantendo le volute posizioni e allineamenti.

La qualifica preliminare del conglomerato cementizio, le prove sui materiali e sul conglomerato fresco, dovranno essere effettuati conformemente alle presenti Norme. La composizione del conglomerato dovrà essere sottoposta dall'Appaltatore alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.

I prelievi di controllo della miscela base (conglomerato non accelerato) andranno eseguiti con frequenza giornaliera per ogni singola opera o fase di lavorazione sottoposta alla lavorazione, il valore di resistenza sarà determinato sulla media di due provini cubici, di lato 15 cm.

Il controllo del prodotto finito, incluso lo spessore, sarà eseguito in opera mediante carotaggi; la resistenza a compressione sarà determinata sulla media di due prelievi (carote) per ogni giorno di getto d'ogni opera interessata alla lavorazione, prelevati secondo UNI 6131 e provati secondo UNI 6132.

Per normalizzare i risultati ottenuti su carote aventi rapporti h/d diversi da 1 si prenderà in considerazione la snellezza  $l = h/d$ . La stima della resistenza cubica  $R_c$  (MPa) del CP a partire dalla resistenza compressione sui cilindri  $f_{car}$  (MPa) dovrà essere calcolata secondo la seguente formula:

$$R_c = f_{car} \frac{2,5}{1,5 + l/\lambda}$$

Al fine di tenere nella dovuta considerazione l'effetto di disturbo indotto nel calcestruzzo, il valore di  $R_c$  dovrà essere incrementato del 20%.

In base ai risultati ottenuti, la resistenza cubica caratteristica a compressione ( $R_{ck}$ ) è stimata secondo quanto indicato nella normativa UNI EN 206.

Ove sia richiesta la valutazione delle resistenze del calcestruzzo giovane si dovrà adottare il metodo dello sparo ed estrazione di chiodi tramite l'utilizzo di:

- Pistola di sicurezza spara chiodi tipo HILTI DX 450 L o equivalente, con pistone 45 M6-8L, preselezionata in posizione 1, dotata di cartucce esplosive (propulsori tipo HILTI 6,8/11 M di colore verde o equivalenti) d'intensità nota, codice di potenza 02, in grado di fornire al chiodo un'energia che conferisca al chiodo stesso una velocità iniziale compresa tra i 50 ed i 70 m/s (che deve essere dichiarata dal costruttore);
- Chiodi (prigionieri) (tipo HILTI M6-8-52 D12 e tipo HILTI M6-8-72 D12 o equivalenti) filettati (M6-8) in acciaio al carbonio HRC 55.5 ± 1, diametro 37 mm e con rivestimento in zinco di 5÷13 m, la lunghezza del gambo dei chiodi è prefissata ed è pari a 52 o 72 mm;
- Apparecchio estrattore (tipo HILTI tester 4 o equivalente) in grado di misurare la forza d'estrazione con la tolleranza di ± 100 N; tale apparecchiatura dovrà essere corredata della curva di taratura che mette in relazione il valore letto del carico col valore corretto del carico medesimo.

Le modalità d'esecuzione della prova e le tabelle di correlazione per l'estrapolazione dei dati saranno indicate dalla Direzione Lavori e saranno comunque conformi a quanto riportato nella UNI 10834, "Calcestruzzo proiettato".

Le resistenze dovranno essere quelle di Progetto e comunque non inferiori a quelle della classe di resistenza J1, 2 o 3 con la tolleranza di - 1 MPa.

I controlli andranno eseguiti con frequenza giornaliera ed il valore di resistenza sarà determinato sulla media d'otto chiodi o di due provini (carotaggi) per ogni controllo.

Per resistenze minori di 2 MPa si farà uso del penetrometro descritto in UNI 7123.

Subito prima della proiezione del conglomerato, dovranno essere confezionati per ogni giorno di getto, n. 2 provini di calcestruzzo privo d'accelerante (miscela base) al fine di accertare l'effettivo abbattimento delle resistenze causato dall'aggiunta dello stesso; i provini saranno sottoposti a controllo così come previsto dal presente Capitolato.

Il controllo, ai fini della contabilizzazione, della resistenza caratteristica sarà eseguito esclusivamente sulla scorta dei risultati della rottura a compressione dei carotaggi eseguiti in opera. Qualora le resistenze alle diverse maturazioni fossero inferiori a quanto previsto saranno applicate delle penalità, conformemente al punto precedente riguardante le non-conformità.

Le prove per la determinazione della resistenza stimata  $R_{stim}$  saranno eseguite dal personale tecnico della Direzione Lavori in contraddittorio con il personale tecnico dell'Appaltatore.

Le prove di rottura a compressione andranno eseguite presso Laboratori indicati dalla Direzione Lavori.

Quando gli spessori rilevati dalla misurazione dei prelievi eseguiti in opera, fossero inferiori a quelli minimi previsti, la Direzione Lavori non contabilizzerà la lavorazione fino a che non siano stati ripristinati gli spessori minimi progettualmente richiesti.

## 22.12. Calcestruzzo fibrorinforzato

Il rivestimento in conglomerato cementizio proiettato o il calcestruzzo utilizzato in particolari casi nei quali necessiti una maggiore duttilità e/o resistenza a trazione diffusa, in relazione alle previsioni di progetto potrà essere armato con rete in barre d'acciaio a maglie elettrosaldate o, in alternativa, con fibre d'acciaio.

Per quanto riguarda le fibre si veda anche lo specifico punto dell'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi. Le principali norme specifiche da osservare sono comunque le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 14650	Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Regole generali per il controllo di produzione in fabbrica del calcestruzzo con fibre di acciaio
UNI EN 14651	Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]
UNI EN 14721	Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione del contenuto di fibre nel calcestruzzo fresco e nel calcestruzzo indurito

Norma	Titolo
UNI EN 14889-1	Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità
UNI 11037	Fibre di acciaio da impiegare nel confezionamento di conglomerato cementizio rinforzato
UNI 11039-1	Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio - Definizioni, classificazione e designazione
UNI 11039-2	Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio - Metodo di prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità
CNR-DT 204/2006	Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato
Progetto di norma UNI U73041440	Progettazione, esecuzione e controllo degli elementi strutturali in calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio

Le fibre d'acciaio per la confezione del conglomerato armato con fibre dovranno essere realizzate con filo ottenuto per trafilatura d'acciaio a basso contenuto di carbonio, del diametro di 0,5 mm circa, avente tensione di rottura per trazione  $f > 1200$  MPa, tensione di scostamento dalla proporzionalità  $f_{p0,2} > 900$  MPa ed allungamento minimo  $< 2,0\%$ . Le fibre dovranno essere lunghe 30 mm, rapporto d'aspetto  $(L/D) = 60$  ed avere le estremità sagomate per un loro migliore ancoraggio ed intreccio nella massa del calcestruzzo.

Le fibre verranno aggiunte all'impianto con adatti dispositivi di distribuzione.

Per agevolare l'uniforme distribuzione delle fibre nell'impasto, le stesse dovranno essere preferibilmente confezionate in pacchetti di più fibre affiancate, tra loro unite con speciale collante rapidamente solubile nell'acqua d'impasto e verificando la dispersione omogenea nel calcestruzzo. Ove si riscontrasse l'espulsione delle fibre dall'impasto con la formazione di "palle di fibre", si sospenderà la lavorazione finché l'inconveniente non sia stato eliminato.

La quantità di fibre d'acciaio da impiegare dovrà essere quella prevista in progetto. Le stesse dovranno essere incorporate nel conglomerato già impastato avendo cura che la loro immissione e l'ulteriore miscelazione dell'impasto avvengano immediatamente prima della posa in opera.

Qualora il conglomerato fosse prescritto in progetto come fibrorinforzato, il *dossier* di qualifica della miscela dovrà riportare i valori della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità D0 e D1, misurati con il metodo descritto dalla UNI 11039-2. La direzione dei lavori potrà richiedere la verifica di queste caratteristiche in corso d'opera.

L'eventuale rete d'armatura, posta in opera preliminarmente ed inglobata nel conglomerato in fase di proiezione, dovrà essere conforme alle prescrizioni delle presenti Norme. L'operatore dovrà dirigere il getto in modo da evitare la formazione di "ombre", ovvero vuoti tra l'armatura e il substrato.

Qualora la classe di resistenza a 28 gg risulti non conforme, sarà applicata una penalità pari al 20% del prezzo unitario al metro cubo sull'intera produzione giornaliera desunta dal giornale dei lavori e/o dai tabulati di stampa prodotti dall'impianto di betonaggio.

Quando gli spessori rilevati dalla misurazione dei prelievi eseguiti in opera, fossero inferiori a quelli minimi previsti, la Direzione Lavori non contabilizzerà la lavorazione fino a che non siano stati ripristinati gli spessori minimi progettualmente richiesti.

### 22.13. Calcestruzzo ad alta resistenza

Ove il progetto preveda l'impiego di conglomerato avente un'elevata classe di resistenza ( $55 < R_{ck} \leq 85$  MPa), si dovrà fare riferimento alle Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sia per il calcestruzzo strutturale (fino a 75 MPa), sia per il calcestruzzo strutturale ad alta resistenza (da 75 a 85 MPa).

Oltre alla documentazione di prequalifica l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione dei Lavori uno studio preliminare nel quale venga dettagliatamente descritta la metodologia di *mix-design* utilizzata e i criteri di scelta dei vari materiali.

La produzione dovrà effettuarsi solo dopo che la resistenza caratteristica e tutte le caratteristiche chimiche, meccaniche e fisiche che influiscono sulla resistenza e durabilità del calcestruzzo siano state accertate.

La produzione dovrà in questo caso seguire specifiche e rigorose procedure per il controllo di qualità.

## **22.14. Elementi prefabbricati**

### **22.14.1. Generalità**

L'impiego di manufatti totalmente o parzialmente prefabbricati richiede la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori, che potrà essere rilasciata solo dopo aver esaminato la documentazione prevista dall'art. 9 della Legge 1086 (predisposta dall'Appaltatore) e verificato la previsione d'utilizzo del manufatto prefabbricato e del suo organico inserimento nel progetto.

Per le normative da osservare, si vedano le elencazioni già inserite in precedenza e l'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi. In ogni caso, poiché le citazioni di norme riportate nel presente Capitolato non esauriscono la casistica dei prodotti prefabbricati, dovrà farsi riferimento, per i casi non contemplati, al catalogo ufficiale dell'UNI.

### **22.14.2. Prefabbricati prodotti in stabilimento**

Gli elementi costruttivi prefabbricati devono essere prodotti attraverso un processo industrializzato, avvalendosi di tecnologie, maestranze, attrezzature ed impianti idonei e perfettamente organizzati.

In particolare deve essere presente ed operante un sistema permanente di controllo della produzione in stabilimento, che deve assicurare il mantenimento di un adeguato livello di affidabilità nella produzione del conglomerato cementizio, nell'impiego dei singoli materiali costituenti e nella conformità del prodotto finito.

Il produttore dovrà preferibilmente operare secondo un sistema di gestione della qualità ai sensi della norma ISO 9001, certificato da parte di un organismo terzo indipendente. In alternativa dovrà dimostrare di avere implementato nello stabilimento un efficace sistema di gestione della qualità.

È ammesso l'impiego di prefabbricati realizzati con calcestruzzo fibrorinforzato.

Il produttore dovrà sottoporre all'approvazione del direttore dei lavori un *dossier* di qualifica in cui venga descritto il processo produttivo e dettagliate le caratteristiche del calcestruzzo e dei materiali impiegati. Dovrà inoltre consegnare una campionatura che costituirà il riferimento per la qualità della facciavista dei manufatti.

Il Direttore dei Lavori dovrà provvedere, con la frequenza che riterrà opportuna, ad eseguire controlli sui prodotti consegnati, in particolare in merito alla documentazione di stabilimento e al rispetto del copriferro e della facciavista.

Sarà facoltà del Direttore dei lavori provvedere direttamente all'esecuzione di controlli sulla resistenza del calcestruzzo usato in produzione, con le stesse modalità previste per i controlli di accettazione. Inoltre potranno essere eseguite a campione prove di resistenza del calcestruzzo nel manufatto, mediante carotaggio, come anche previsto in precedenza.

### **22.14.3. Produzione di prefabbricati a piè d'opera**

Anche in questo caso gli elementi costruttivi prefabbricati devono essere prodotti attraverso un processo industrializzato, avvalendosi di tecnologie, maestranze, attrezzature ed impianti idonei e perfettamente organizzati.

In particolare e fatto salvo il caso di produzione di manufatti singoli o in piccolissima serie, deve essere presente ed operante un sistema permanente di controllo della produzione in cantiere, che deve assicurare il mantenimento di un adeguato livello di affidabilità nella produzione del conglomerato cementizio, nell'impiego dei singoli materiali costituenti e nella conformità del prodotto finito.

Il produttore dovrà preferibilmente operare secondo un sistema di gestione della qualità ai sensi della norma ISO 9001, certificato da parte di un organismo terzo indipendente. In alternativa dovrà dimostrare di avere implementato nello stabilimento un efficace sistema di gestione della qualità.

Il Direttore dei lavori dovrà verificare l'applicazione delle prescrizioni precedenti.

Dovrà essere controllata la conformità delle casseforme alle specifiche di progetto ed alle relative tolleranze.



Nel caso di produzione di manufatti prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso ad armatura post-tesa, si dovranno effettuare controlli nella conformità alle specifiche di progetto relativamente a:

- tipo tracciato e sezione di ogni cavo di precompressione,
- dispositivi speciali come: ancoraggi, manicotti di ripresa e altri,
- posizione numero dei tubi di sfiato per le guaine,
- identificazione e certificazione del lotto e provenienza dei cavi.

La messa in tensione delle armature dovrà avvenire mediante apparecchiature qualificate, seguendo una procedura approvata dalla Direzione dei Lavori. Si dovranno registrare i tassi di precompressione e gli allungamenti totali o parziali di ogni cavo e, più in generale, saranno valide in quanto applicabili tutte le prescrizioni del presente Capitolato in ordine alle opere in calcestruzzo armato precompresso.

### **22.15. Protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti**

Di norma la Stazione Appaltante provvede direttamente, tramite Appaltatore specializzato, alla fornitura e posa in opera degli impianti per la protezione catodica delle strutture di ponti e viadotti.

Qualunque sia la tipologia dell'impianto l'Appaltatore dovrà tenere conto, nei propri programmi di lavoro, dei tempi occorrenti per la loro fornitura e posa in opera e dovrà coordinarsi in tal senso con l'Appaltatore specializzato. L'Appaltatore inoltre, se espressamente previsto, resta obbligato a prestare assistenza alla posa in opera degli impianti.

Per il caso in cui tali impianti siano compresi tra le opere appaltate, l'Appaltatore è tenuto ad uniformarsi alle prescrizioni di progetto ed a realizzarli con materiali e tecnologie di prima qualità.

## 22.16. Allegato 1 - Classi di esposizione secondo UNI 11104

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b> Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2.
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
<b>5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti<sup>1)</sup></b>		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
6 Attacco chimico <sup>*)</sup>		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali.
<sup>*)</sup> Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione; - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.		
<sup>**)</sup> Da parte di acque del terreno e acque fluenti.		

## 22.17. Allegato 2 – Guida alla scelta delle classi di esposizione per manufatti autostradali

IMPIEGO DEI CONGLOMERATI	NOTE	CLASSE DI ESPOSIZIONE			CLASSE DI RESISTENZA
		DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE AMBIENTE	ESEMPI DI SITUAZIONI	
Impalcati e pulvini di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia e ponticelli	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo.	35 MPa con aerante
Pile e spalle di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia e ponticelli	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Barriere e parapetti	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante

(segue)

IMPIEGO DEI CONGLOMERATI	NOTE	CLASSE DI ESPOSIZIONE			CLASSE DI RESISTENZA
		DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE AMBIENTE	ESEMPI DI SITUAZIONI	
Muri di sostegno, sottoscarpa e controripa	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	40 MPa
	Strutture costiere	XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante
Tombini scatolari	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo	40 MPa
Cunette, cordoli, pavimentazioni	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo.	35 MPa con aerante
Imbocchi di gallerie naturali e artificiali (primi 50 ml dall'imbocco)	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	40 MPa
	q. s.l.m. ≤ 400 ml senza cicli gelo/disgelo	XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2	40 MPa
	q. s.l.m. > 400 ml o in presenza di cicli gelo/disgelo	XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte a gelo e nebbia di agenti antigelo	30 MPa con aerante

(segue)

IMPIEGO DEI CONGLOMERATI	NOTE	CLASSE DI ESPOSIZIONE			CLASSE DI RESISTENZA
		DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE AMBIENTE	ESEMPI DI SITUAZIONI	
Rivestimenti di gallerie naturali e artificiali (con guaina) esclusi i 50 ml dagli imbocchi	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente umido	XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.	35 MPa
CP e rivestimenti di gallerie naturali e artificiali (senza guaina) esclusi i 50 ml dagli imbocchi	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
Arco rovescio di gallerie	Ambiente aggressivo	XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
	Ambiente umido	XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.	35 MPa
Fondazioni armate e non armate (plinti, pali, diaframmi, ecc.)	Ambiente bagnato	<b>XC2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Molte fondazioni	30 MPa
	Ambiente aggressivo	<b>XA1</b>	Ambiente chimico debolmente aggressivo	-	35 MPa
	Ambiente aggressivo	<b>XA2</b>	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	-	40 MPa
	Ambiente aggressivo	<b>XA3</b>	Ambiente chimico fortemente aggressivo	-	45 MPa
Magroni di pulizia, riempimento, livellamento	-	<b>X0</b>	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa	15 MPa

## 23. Iniezione nei cavi di precompressione

### 23.1. Boiacche cementizie per le iniezioni nei cavi di strutture in c.a.p. nuove

#### 23.1.1. Generalità

Nelle strutture in conglomerato cementizio armato precompresso con cavi scorrevoli, allo scopo di assicurare l'aderenza e soprattutto proteggere i cavi dalla corrosione, è necessario che le guaine siano iniettate con boiaccia di cemento fluida pompabile ed a ritiro compensato (è richiesto un leggero effetto espansivo).

Tale boiaccia, preferibilmente già pronta all'uso (aggiunta di sola acqua alla miscelazione) oppure ottenuta da una miscela di cemento, additivo specifico in polvere dosato in ragione del 5÷6% sul peso del cemento ed acqua, non dovrà contenere cloruri né polvere d'alluminio, né coke, né altri agenti che provocano espansione mediante formazione di gas capaci di innescare fenomeni di corrosione. In particolare, l'additivo specifico contenuto sia nel prodotto pronto all'uso che in quello usato nella preparazione della boiaccia in cantiere dovrà conferire caratteristiche di elevata fluidità, espansione di origine chimica (per es. espansivo a base di ossido di calcio) e assenza di *bleeding*.

Le principali norme specifiche da osservare sono le seguenti, già in precedenza riportate:

Norma	Titolo
UNI EN 445	Boiaccia per cavi di precompressione - Metodi di prova
UNI EN 446	Boiaccia per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiaccia
UNI EN 447	Boiaccia per cavi di precompressione - Requisiti di base

#### 23.1.1. Caratteristiche della boiaccia

Con riferimento alle vigenti norme, si prescrive quanto segue:

- 1 - La fluidità della boiaccia d'iniezione dovrà essere misurata per ogni impasto all'entrata delle guaine e per ogni guaina all'uscita; l'iniezione continuerà finché la fluidità della boiaccia in uscita sarà paragonabile a quella in entrata ( $\pm 3$  secondi sul tempo di scolo del cono, purché non si scenda al di sotto dei 15 secondi).

Si dovrà provvedere con appositi contenitori affinché la boiaccia di sfrido non sia scaricata senza alcun controllo sull'opera o attorno ad essa. Una più accurata pulizia delle guaine ridurrà l'entità di questi sfridi;

- 2 - È richiesto l'uso d'acqua potabile per l'impasto in ragione del 32÷36% in peso rispetto al peso del cemento;
- 3 - L'impastatrice dovrà essere del tipo ad alta velocità, almeno 1500÷2000 giri/min.

È proibito l'impasto a mano.

Il tempo di mescolamento sarà fissato di volta in volta in base ai valori del cono di Marsh modificato (l'apparecchio dovrà essere costruito in acciaio inossidabile e avere la forma e le dimensioni che seguono: cono con diametro di base 15,5 cm, altezza 29 cm; ugello cilindrico diametro interno 1,0 cm, altezza 6 cm, riempimento fino a 1 cm dal bordo superiore).

La fluidità della boiaccia sarà determinata misurando il tempo totale di scolo del contenuto del cono, diviso per 1.77, e sarà ritenuta idonea quando detto tempo sarà compreso tra 15 e 25 s subito dopo l'impasto e tra 25 e 35 s a 30 min dall'impasto, operando alla temperatura di 20 °C);

- 4 - La ritenzione d'acqua a cinque minuti dall'impasto dovrà essere superiore al 90% (prova secondo la Norma ASTM C 91 dopo 5 minuti);
- 5 - L'essudazione non dovrà essere superiore allo 0,2% del volume (prova secondo la norma UNI 8998);
- 6 - Il ritiro dovrà essere assente e l'espansione dovrà essere almeno di 400  $\mu\text{m}$  di lunghezza a due giorni (prova secondo la norma UNI 8147) indipendentemente da tipo e classe di cemento impiegato;
- 7 - Il tempo d'inizio presa non dovrà essere inferiore a tre ore (a 30 °C);
- 8 - L'aderenza della boiaccia all'acciaio dovrà risultare di almeno 15 MPa a 7 gg e di almeno 17 MPa a 28 gg (prova secondo Rilem-CEB-FIP RC6-78);

- 9 - È tassativamente prescritta la disposizione di tubi di sfiato in corrispondenza di tutti i punti più elevati di ciascun cavo, comprese le trombette ed i cavi terminali. Ugualmente dovranno esserci tubi di sfiato nei punti più bassi dei cavi lunghi e con forte dislivello. All'entrata d'ogni guaina dovrà essere posto un rubinetto, valvola o altro dispositivo, atti a mantenere, al termine dell'iniezione, la pressione entro la guaina stessa per un tempo di almeno 5 h;
- 10 - L'iniezione dovrà avere carattere di continuità e non potrà essere assolutamente interrotta. In caso d'interruzioni dovute a causa di forza maggiore e superiori a 5 min, il cavo sarà lavato e l'iniezione andrà ripresa dall'inizio;
- 11 - La boiacca dovrà presentare le seguenti caratteristiche di resistenza:

Confezionamento in cantiere con additivo specifico come sopra indicato		
resistenza a compressione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 20 MPa
	7 gg	> 40 MPa
	28 gg	> 50 MPa
resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 3,5 MPa
	7 gg	> 4,5 MPa
	28 gg	> 5,5 MPa
Confezionamento con miscela già pronta all'uso		
resistenza a compressione (secondo UNI EN 12190)	1 g	> 20 MPa
	7 gg	> 55 MPa
	28 gg	> 65 MPa
resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	> 4 MPa
	7 gg	> 7 MPa
	28 gg	> 8,5 MPa

Nel caso di boiacche confezionate in cantiere, sarà preferibile l'impiego di cemento tipo II A-L o tipo IV di classe 42,5 o 42,5R. L'utilizzo di tale classe di cementi dovrà comunque essere adottato in caso di temperature comprese tra 5 e 10 °C e in generale quando siano previste resistenze meccaniche alte sia alle brevi che alle lunghe stagionature. La scelta del tipo e classe di cemento sarà concordata con la Direzione Lavori

La scelta del tipo di boiacca (confezionamento in cantiere o miscela già pronta all'uso) sarà concordata con la Direzione Lavori in funzione delle specifiche esigenze tecnico-operative. In generale, si raccomanda l'uso di miscele già pronte all'uso (miscelazione con sola acqua).

Il produttore del prodotto già pronto all'uso o dell'additivo specifico dovrà operare in conformità alle UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un efficace sistema di gestione della qualità.

L'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori uno studio preliminare della miscela da utilizzare, comprovante la rispondenza della stessa a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale. La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

### 23.1.2. Operazioni di iniezione

Con riferimento alla normativa in vigore, si individuano le operazioni di iniezione seguenti:

- dopo l'impasto, la malta deve essere mantenuta in movimento continuo. È essenziale che l'impasto sia esente da grumi;
- immediatamente prima della iniezione di malta, i cavi saranno puliti;



- c) l'iniezione deve avvenire con continuità e senza interruzioni. La pompa deve avere capacità sufficiente perché in cavi di diametro  $\varnothing < 10$  cm la velocità della malta sia compresa fra 6 e 12 m/min, senza che la pressione superi 10 bar;
- d) la pompa deve avere un efficace dispositivo per evitare le sovrappressioni;
- e) non è ammessa l'iniezione con aria compressa;
- f) quando possibile l'iniezione si deve effettuare dal più basso ancoraggio o dal più basso foro del condotto;
- g) per condotti di grande diametro può essere necessario ripetere l'iniezione dopo circa due ore;
- h) la malta che esce dagli sfiati deve essere analoga a quella alla bocca d'immissione e non contenere bolle d'aria; una volta chiusi gli sfiati si manterrà una pressione di 5 bar fintanto che la pressione permane senza pompare per almeno 1 min;
- i) la connessione fra ugello del tubo d'iniezione ed il condotto deve essere realizzata con dispositivo meccanico e tale che non possa aversi entrata d'aria;
- j) appena terminata l'iniezione, bisogna avere cura di evitare perdite di malta dal cavo. I tubi d'iniezione devono essere di conseguenza colmati di malta se necessario.

### 23.1.3. Condotti (guaine)

Con riferimento alla normativa in vigore, saranno seguite le seguenti prescrizioni:

- a) i punti di fissaggio dei condotti debbono essere frequenti ed evitare un andamento serpeggiante;
- b) ad evitare sacche d'aria dovranno essere disposti sfiati nei punti più alti del cavo;
- c) i condotti debbono avere forma regolare, preferibilmente circolare. La loro sezione deve risultare maggiore di:

$$A_0 = 2 * \sum_{i=1}^{i=n} * a_i$$

(per cavi a fili, trecce o trefoli)

$$A_0 = 1,5 * a$$

(per sistemi a barra isolata)

dove "a<sub>i</sub>" è l'area del singolo filo, treccia o trefolo, "n" il numero di fili, trecce o trefoli costituenti il cavo ed "a" l'area della barra isolata. In ogni caso l'area libera del condotto dovrà risultare non minore a 4 cm<sup>2</sup>;

- d) si devono evitare per quanto possibile brusche deviazioni o cambiamenti di sezione.

Nel caso dei condotti realizzati in lamierino corrugato, le principali norme specifiche da osservare (già in precedenza riportate) sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 523	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità
UNI EN 524-1	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della forma e delle dimensioni
UNI EN 524-2	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione del comportamento a flessione
UNI EN 524-3	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Prova di flessione nei due sensi

Norma	Titolo
UNI EN 524-4	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza ai carichi laterali
UNI EN 524-5	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a trazione
UNI EN 524-6	Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Metodi di prova - Determinazione della tenuta (Determinazione delle perdite d acqua)

#### **23.1.4. Ulteriori prescrizioni per le iniezioni**

Con riferimento alla normativa in vigore, saranno seguite le seguenti ulteriori prescrizioni:

- a) fino al momento della iniezione nei cavi occorre proteggere l'armatura dall'ossidazione. Le iniezioni dovranno essere eseguite entro quindici giorni a partire dalla messa in tensione, salvo casi eccezionali di ritardatura nei quali debbono essere adottati accorgimenti speciali al fine di evitare che possano iniziare fenomeni di corrosione;
- b) con tempo gelido è bene rinviare le iniezioni a meno che non siano prese precauzioni speciali;
- c) se si è sicuri che la temperatura della struttura non scenderà al di sotto dei 5 °C nelle 48 h seguenti alla iniezione, si può continuare l'iniezione stessa con una malta antigelo di cui sia accertata la non aggressività, contenente dal 6 al 10% d'aria occlusa.

Nota: l'aria occlusa negli impasti cementizi serve durante la vita di esercizio per contrastare gli effetti del gelo di-sgelo e non nella fase di prima maturazione. Da tenere presente che l'aria occlusa (impiego di un aerante nella fase di miscelazione) diminuisce le resistenze meccaniche, peraltro invece necessarie quando le temperature sono basse;

- d) nel caso si prevedesse gelo, sia nella fase esecutiva, sia nelle 48 h seguenti all'iniezione, occorre adottare opportuni accorgimenti per portare preventivamente a temperatura idonea ( $\geq 10$  °C) la struttura, per es. insufflando vapore dopo copertura della stessa con teli di polietilene. Si inietterà la malta che dovrà avere una temperatura non inferiore a 5 °C (preferibilmente  $\geq 10$  °C) al momento della iniezione (i materiali utilizzati verranno mantenuti a  $T \geq 20$  °C). Si manterrà il riscaldamento della struttura almeno per altre 48 h dal completamento dell'iniezione o comunque per tutto il tempo ritenuto necessario, in accordo con la Direzione Lavori, affinché siano scongiurati gli effetti del gelo sulla pasta di iniezione (raggiungimento di resistenze di almeno 6 MPa);
- e) dopo il periodo di gelo bisogna assicurarsi che i condotti siano completamente liberi da ghiaccio o brina. È vietato il lavaggio a vapore.

### **23.2. Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di strutture in c.a.p. esistenti**

#### **23.2.1. Generalità**

Il presente paragrafo regola l'esecuzione d'iniezioni con miscele a bassa viscosità delle guaine di cavi di precompressione di strutture in c.a.p. esistenti, con grado di riempimento variabile. A seconda del tipo di guaine da riempire, del loro numero e del loro grado di riempimento, dovrà essere deciso il tipo di materiale da usare (resine epossidiche pure o caricate o boiacche di cemento pronte all'uso) e le modalità d'iniezione (iniezione tradizionale, da più fori oppure iniezioni sotto vuoto). Nel caso di riempimento di guaine completamente vuote saranno sempre usati materiali di tipo cementizio.

#### **23.2.2. Caratteristiche dei materiali**

##### **23.2.2.1. Iniezione con sistemi epossidici**

- Tipo di resina: sistema epossidico costituito unicamente da resina bicomponente (A+B), pigmentato solo su richiesta della Direzione Lavori. La Direzione Lavori, a seconda delle presumibili dimensioni dei vuoti all'interno delle

guaine ed in relazione alle circostanze emerse durante il lavoro d'iniezione, potrà ordinare l'uso di cariche (per esempio cemento) che comunque dovranno essere di natura basica o neutra.

- **Tempo di presa:** riferito al sistema epossidico puro. Dovrà essere compatibile con le esigenze del lavoro e comunque non inferiore a 2 h. Per particolari condizioni operative la Direzione Lavori potrà richiedere tempi di presa superiori. Il 'POT-LIFE' è misurato (secondo SECAM) alla temperatura  $293 \pm 1$  K e umidità relativa del  $65\% \pm 5\%$  in bicchiere di vetro della capacità di  $100 \text{ cm}^3$  su quantità di  $50 \text{ cm}^3$  di miscela (media su 5 prove).
- **Viscosità:** riferita al sistema epossidico puro, non dovrà essere superiore a 180 cps a  $293 \pm 1$  K ed umidità relativa di  $65\% \pm 5\%$ . La sua determinazione potrà essere fatta mediante misura diretta o con tazza FORD 4 termostata (media su 5 prove).
- **Ritiro:** dovrà risultare minore dello 0,1% misurato secondo norma UNI-PLAST 4285 (media su 5 prove). Comportamento in presenza d'acqua: l'eventuale presenza d'acqua nelle guaine non dovrà costituire impedimento alla policondensazione della miscela.
- **Protezione chimica dei ferri d'armatura:** la miscela dovrà avere pH basico, compreso tra 10,5 e 12,5; tale valore sarà misurato sulla resina miscelata (A + B), nel rapporto di catalisi di fornitura, diluita con acqua distillata, per avere la necessaria bagnabilità del rilevatore.

### 23.2.2.2. Iniezione con boiacche cementizie

- **Tipo di boiaccia cementizia:** boiaccia cementizia preconfezionata, pronta all'uso con la semplice aggiunta d'acqua, esente da aggregati metallici, di viscosità molto bassa pur con rapporti acqua/solido non superiori a 0,34.
- **Fluidità:** la fluidità sarà valutata con cono di Marsh, ugello da 10 mm, secondo le modalità indicate in precedenza; il tempo di scolo dovrà essere compreso tra 15 e 25 sec nella boiaccia appena confezionata e tra 25 e 35 sec dopo 30 minuti.
- **Ritiro:** la boiaccia dovrà essere priva di ritiro che sarà compensato con l'espansivo contenuto nel prodotto (espansione contrasta  $> 0,03\%$  a 24 ore secondo UNI 8147.)
- **Essudazione (Bleeding):** il materiale dovrà essere esente da *bleeding* secondo la prova UNI 8998.
- **Ritenzione d'acqua:** dopo 5 minuti dalla miscelazione secondo ASTM C-91:  $> 90\%$ .
- **Valori di resistenza:**

Come da tabella seguente:

	1 g	$> 20 \text{ Mpa}$
Resistenza a compressione (secondo UNI EN 12190)	7 gg	$> 55 \text{ MPa}$
	28 gg	$> 65 \text{ Mpa}$
Resistenza a trazione per flessione (secondo UNI EN 196/1)	1 g	$> 4,0 \text{ MPa}$
	7 gg	$> 7,0 \text{ MPa}$
	28 gg	$> 8,5 \text{ MPa}$
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio secondo RILEM-CEB-FIP RC6-78	7 g	$> 15 \text{ Mpa}$
	28 gg	$> 17 \text{ MPa}$

### 23.2.3. Modalità d'iniezione

#### 23.2.3.1. Iniezioni tradizionali

Preliminarmente, sulle travi nelle quali è stato già individuato il presumibile tracciato dei cavi di precompressione mediante misure geometriche effettuate con riferimento ai disegni di progetto e con l'ausilio di sondaggi eseguiti con apposita apparecchiatura elettromagnetica e/o ad ultrasuoni, si dovrà procedere alla localizzazione delle guaine mediante tasselli effettuati con microdemolitori (normalmente con un passo di  $3 \div 4$  m su ogni cavo partendo dal centro della trave).

Non tutti i tasselli serviti per localizzare e valutare lo stato delle guaine saranno attrezzati per l'iniezione, ma soltanto quelli più idonei; su di essi si applicheranno i tubetti d'iniezione provvisti d'apposita cuffia, da sigillare con paste collanti epossidiche, previa accurata pulizia del supporto; qualora la profondità del tassello sia rilevante, la pasta collante sarà stesa in più strati successivi.

Le stuccature dovranno essere impermeabili al tipo di materiale usato nell'iniezione e, nel caso d'iniezioni sottovuoto, dovranno permettere la formazione di quest'ultimo.

Tubetti d'iniezione saranno introdotti anche nei fori degli ancoraggi dei cavi, preliminarmente scoperti e puliti, eventualmente riproforati con trapano, quindi stuccati con la pasta di cui sopra.

I tasselli non utilizzati per l'iniezione delle guaine saranno chiusi mediante malta reoplastica fluida non segregabile, tixotropica, a basso calore d'idratazione, priva di ritiro, ad elevata resistenza meccanica ed elevato potere adesivo all'acciaio ed al conglomerato cementizio.

La stuccatura sarà rinforzata e supportata con una rete elettrosaldata debitamente ancorata, mediante saldature o legature alle armature esistenti.

Si procederà, inoltre, a stuccature e riparazioni di zone di conglomerato cementizio poroso, vespai ecc. in modo da chiudere possibili vie d'uscita dei materiali d'iniezione.

Tali stuccature saranno effettuate con paste cementizie reoplastiche a ritiro compensato o polimeriche o a base epossidica e, quando previsto dal Progetto, anche rinforzate con reti metalliche. La scelta del materiale sarà subordinata alle condizioni specifiche di ogni singolo caso e sarà concordata con la Direzione Lavori

Dopo almeno 48 h dall'ultimazione della stuccatura, si procederà alla soffiatura all'interno delle guaine per eliminare eventuali sacche d'acqua e per valutare la consistenza dei vuoti nei vari tratti. Si procederà quindi alla iniezione della miscela scegliendo il punto iniziale in base alle risultanze della soffiatura.

In linea di massima sarà conveniente partire dai fori d'iniezione in mezzera della trave dove gran parte delle guaine sono ravvicinate e procedere sino alla fuoriuscita (se possibile) della miscela dai primi tubetti posti ai lati del punto d'iniezione.

Si inietteranno poi questi ultimi e, via via, quelli adiacenti, in successione, fino ad ottenere la fuoriuscita della miscela dalle testate dei cavi. Naturalmente i tubi già iniettati dovranno essere man mano sigillati.

La pressione d'iniezione dovrà essere la più bassa possibile, compatibilmente con l'esigenza di ottenere un buon riempimento dei cavi e comunque in nessun caso si dovranno superare i 5 bar.

### 23.2.3.2. Iniezioni sottovuoto

Adottando particolari cautele, potranno essere usate tecniche d'iniezione sottovuoto, cioè provocando con apposita attrezzatura aspirante un vuoto dell'ordine di 1 bar nelle cavità da iniettare e immettendo poi il materiale di riempimento.

Le modalità di preparazione di fori d'iniezione e la loro ubicazione sono analoghe a quelle descritte al punto precedente, con la variante che sarà necessario, una volta decisi i punti in cui applicare gli iniettori, effettuare una prima valutazione della possibilità di creare il vuoto e dell'entità del volume delle cavità presenti.

La prima valutazione tende ad individuare la necessità o meno di effettuare gli interventi di tenuta e le zone dove dovranno essere eseguite tali stuccature; la seconda a stimare i consumi e, principalmente, a controllare, ad iniezione terminata, che tutti i vuoti valutati siano stati riempiti.

A seconda dell'attrezzatura disponibile la valutazione si effettuerà tramite misura (con contaltri) del volume d'aria immesso nella cavità, dopo aver effettuato il vuoto oppure, in base alla legge di Mariotte, operando nel modo seguente: in un serbatoio, collegato con un manometro (eventualmente il serbatoio destinato a contenere il materiale da iniettare), si valuterà il volume libero (volume dell'aria  $V_0$ ) e si misurerà la pressione  $p_0$  a cui si troverà quest'aria; si aprirà la comunicazione con la cavità già sottovuoto di volume incognito  $V_1$ .

Quando il passaggio dell'aria sarà terminato, si misurerà la pressione  $p$  d'equilibrio.

Il volume  $V_1$  sarà allora con buona approssimazione pari a:

$$V_1 = \frac{V_0 (p_0 - p)}{p}$$

A questo punto si procederà alle iniezioni vere e proprie con il materiale di riempimento prescelto; il materiale introdotto nella cavità per azione del vuoto dovrà, a passaggio terminato, essere posto sotto una pressione di 2 - 3 bar prima del bloccaggio del tubo d'iniezione.

Occorrerà anche valutare il volume del materiale entrato in genere misurando il consumo in chilogrammi e passando al volume ( $V_m$ ) per tramite del peso specifico del materiale stesso, oppure valutando direttamente il volume del materiale iniettato.

Il rapporto  $(V_m / V_1) * 100$  (grado di riempimento) sarà indicato per ogni singola iniezione.

#### 23.2.4. Prove

Per accertare la rispondenza ai requisiti, i materiali dovranno essere sottoposti a prove presso un Laboratorio Ufficiale con la frequenza indicata dalla Direzione Lavori.

### 24. Ripristino e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio

#### 24.1. Materiali per il ripristino di superfici degradate

##### 24.1.1. Generalità

Si terrà presente, in linea generale, che scopo prioritario del ripristino delle strutture in conglomerato cementizio è ricreare la sagoma di Progetto del manufatto in corrispondenza dei punti degradati garantendo:

- monoliticità tra il vecchio calcestruzzo ed il materiale con cui viene eseguito il ripristino;
- resistenza agli agenti aggressivi dell'ambiente d'esercizio.

Per prolungare la vita utile della struttura sarà indispensabile garantire agli interventi di ripristino la massima durabilità, per questo si farà costante riferimento alla UNI EN 1504-9 ed in particolare sarà necessario:

- eseguire indagini per il riconoscimento delle cause dei fenomeni di degrado, per individuare le aree su cui intervenire e gli spessori di calcestruzzo incoerente o contaminato da asportare;
- scegliere le tecniche d'intervento in funzione del tipo di elemento strutturale (orizzontale o verticale), degli spessori e dell'estensione dell'intervento;
- definire i requisiti che devono garantire i materiali utilizzati per il ripristino;
- scegliere i materiali verificando che le prestazioni fornite soddisfino i requisiti richiesti;
- definire nel Progetto in modo accurato ed inequivocabile le fasi esecutive;
- verificare, prima dell'inizio dei lavori, che i materiali proposti dall'Appaltatore rispettino le specifiche prestazionali richieste;
- eseguire controlli sia in fase preliminare, che in corso d'opera, che sulle opere finite.

Le principali norme specifiche da osservare sono le seguenti:

Norma	Titolo
UNI EN 1504-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 1: Definizioni
UNI EN 1504-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
UNI EN 1504-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 3: Riparazione strutturale e non strutturale
UNI EN 1504-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni,

Norma	Titolo
	requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 4: Incollaggio strutturale
UNI EN 1504-5	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 5: Iniezione del calcestruzzo
UNI EN 1504-6	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 6: Ancoraggio dell'armatura di acciaio
UNI EN 1504-7	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 7: Protezione contro la corrosione delle armature
UNI EN 1504-8	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 8: Controllo di qualità e valutazione della conformità
UNI EN 1504-9	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 9: Principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi
UNI EN 1504-10	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 10: Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori
UNI EN 1542	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione dell'aderenza per trazione diretta
UNI EN 1543	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dello sviluppo della resistenza a trazione dei polimeri
UNI EN 1544	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dello scorrimento viscoso sotto carico a trazione mantenuto, per prodotti a base di resina sintetica (PC) destinati all'ancoraggio delle barre di armatura.
UNI EN 1766	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Calcestruzzi di riferimento per prove
UNI EN 1767	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Analisi all'infrarosso
UNI EN 1770	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del coefficiente di dilatazione termica
UNI EN 1771	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'iniettabilità e della resistenza a trazione indiretta
UNI EN 1799	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prove per misurare l'idoneità degli agenti adesivi strutturali per l'applicazione sulle superfici di calcestruzzo
UNI EN 1877-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Funzioni reattive delle resine epossidiche - Determinazione dell'equivalente epossidico
UNI EN 1877-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Funzioni reattive delle resine epossidiche - Determinazione delle funzioni ammine mediante l'indice di basicità totale.
UNI EN 1881	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prova dei prodotti di ancoraggio con il metodo di estrazione
UNI EN 12188	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'aderenza acciaio su acciaio per la caratterizzazione degli agenti

Norma	Titolo
	adesivi strutturali
UNI EN 12189	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del tempo aperto
UNI EN 12190	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a compressione delle malte da riparazione
UNI EN 12192-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Analisi granulometrica - Metodo di prova per costituenti secchi della malta premiscelata
UNI EN 12192-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Analisi granulometrica - Metodo di prova per filler per agenti adesivi a base di polimeri
UNI EN 12614	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione delle temperature di transizione vetrosa dei polimeri
UNI EN 12615	Prodotti e sistemi per la protezione e riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza al taglio
UNI EN 12617-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 1: Determinazione del ritiro lineare per polimeri e sistemi di protezione di superficie (SPS)
UNI EN 12617-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 2: Ritiro dei prodotti per iniezione di fessure a base di legante polimerico: ritiro volumetrico
UNI EN 12617-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del ritiro lineare a breve stagionatura per gli agenti adesivi strutturali
UNI EN 12617-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del ritiro e dell'espansione
UNI EN 12618-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodo di prova - Parte 1: Capacità di aderenza e di allungamento dei prodotti per iniezione con limitata duttilità
UNI EN 12618-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 2: Determinazione dell'aderenza dei prodotti per iniezione, con o senza cicli termici - Aderenza per trazione
UNI EN 12618-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Parte 3: Determinazione dell'aderenza dei prodotti per iniezione, con o senza cicli termici - Metodo a taglio inclinato
UNI EN 12636	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'aderenza calcestruzzo su calcestruzzo
UNI EN 12637-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità dei prodotti per iniezione - Parte 1: Compatibilità con il calcestruzzo
UNI EN 12637-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità dei prodotti per iniezione - Parte 3: Effetti dei prodotti di iniezione sugli elastomeri
UNI EN 13057	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dell'assorbimento capillare
UNI EN 13062	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodo di prova - Determinazione della tixotropia dei prodotti di protezione delle armature
UNI EN 13294	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di

Norma	Titolo
	prova - Determinazione del tempo di irrigidimento
UNI EN 13295	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza alla carbonatazione
UNI EN 13395-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di spandimento delle malte tixotropiche
UNI EN 13395-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di scorrimento della malta o della malta da iniezione
UNI EN 13395-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Prova di scorrimento del calcestruzzo per riparazione
UNI EN 13395-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della lavorabilità - Applicazione della malta per la riparazione dell'intradosso (overhead)
UNI EN 13396	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione della penetrazione degli ioni cloruro
UNI EN 13412	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del modulo elastico in compressione
UNI EN 13529	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Resistenza agli attacchi chimici severi
UNI EN 13578	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Compatibilità col calcestruzzo umido
UNI EN 13579	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prova di essiccazione per impregnazione idrofobica
UNI EN 13580	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Assorbimento di acqua e resistenza agli alcali per impregnazioni idrofobiche
UNI EN 13581	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della perdita di massa del calcestruzzo idrofobico impregnato dopo cicli di gelo-disgelo in presenza di sale
UNI EN 13584	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione dello scorrimento viscoso sotto compressione dei prodotti per riparazione
UNI EN 13687-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli di gelo-disgelo con immersione in sali disgelanti
UNI EN 13687-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli temporaleschi (shock termico)
UNI EN 13687-3	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli termici senza immersione in sali disgelanti
UNI EN 13687-4	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Cicli termici a secco
UNI EN 13687-5	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della compatibilità termica - Resistenza allo shock termico
UNI EN 13733	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di



Norma	Titolo
	prova - Determinazione della durabilità degli agenti adesivi strutturali
UNI EN 13894-1	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della fatica sotto carico dinamico - Parte 1: Durante l'indurimento
UNI EN 13894-2	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della fatica sotto carico dinamico - Dopo l'indurimento
UNI EN 14068	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della tenuta all'acqua delle fessure iniettate senza movimento nel calcestruzzo
UNI EN 14117	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del tempo di efflusso dei prodotti per iniezione a base cementizia
UNI EN 14406	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del rapporto di espansione e della sua evoluzione nel tempo
UNI EN 14497	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della stabilità alla filtrazione
UNI EN 14498	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Variazioni di volume e di peso dei prodotti per iniezione dopo cicli di essiccazione all'aria e condizionamento in acqua
UNI EN 14629	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del contenuto di cloruri nel calcestruzzo indurito
UNI EN 14630	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina
UNI EN 15183	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Prova di valutazione della protezione contro la corrosione
UNI EN 15184	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Aderenza per taglio del calcestruzzo di rivestimento dell'armatura (prova di estrazione)
UNI EN 15274	Adesivi per impieghi generali negli assemblaggi strutturali - Requisiti e metodi di prova
ASTM D695-10	<i>Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics</i>
ASTM D638-10	<i>Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics</i>
ASTM D696-08	<i>Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C With a Vitreous Silica Dilatometer</i>
ASTM D790-10	<i>Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials</i>
ASTM D1018-97	<i>Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) (Withdrawn 2006)</i>
ASTM D4541-09e1	<i>Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers</i>
ASTM D2196-10	<i>Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer</i>

#### 24.1.2. Indagini

Lo scopo delle indagini è quello di:

- identificare le cause dei difetti;
- stabilire l'estensione e la profondità dei difetti stessi;
- verificare se i difetti siano destinati ad estendersi a parti della struttura attualmente non danneggiate;
- valutare la resistenza del calcestruzzo in sito;
- stabilire l'effetto dei difetti sulla sicurezza strutturale;
- identificare tutte le posizioni in cui possono essere necessarie riparazioni o protezione.

A tale scopo si dovrà predisporre ed attuare un opportuno piano di prelievi e prove.

A conclusione delle indagini dovrà essere redatto un documento in cui vengano raccolte le informazioni ottenute, il rilievo dei diversi tipi di difetti riscontrati, la loro estensione così da definire le condizioni della struttura da utilizzare ai fini della progettazione ed ai fini della valutazione degli importi da prevedere per l'intervento.

Le indagini che vengono eseguite più di frequente si riferiscono alla possibilità che si siano verificati fenomeni di carattere:

- chimico (fenomeni di corrosione, attacco solfatico, azione di acque aggressive);
- fisico (cicli gelo/disgelo, azione del fuoco);
- meccanico (azione del sisma, urti, ecc.).

La corrosione dell'armatura è la causa più frequente dei fenomeni di degrado delle opere d'arte stradali, tale corrosione può innescarsi in tempi più o meno lunghi conseguentemente alla carbonatazione del calcestruzzo e alla penetrazione di cloruri.

#### **24.1.3. Definizione dei materiali per il ripristino**

I materiali per il ripristino/adeguamento sono suddivisi nelle seguenti categorie:

##### Leganti, malte, betoncini e calcestruzzi a base cementizia aventi caratteristiche espansive

Questi prodotti, che meglio sarebbe definire "a ritiro compensato", sono certamente i più diffusi negli interventi di restauro. Il loro requisito fondamentale è l'espansione contrastata<sup>(1)</sup> in aria che è caratteristica essenziale per garantire monoliticità tra vecchia struttura e materiale di ripristino; la loro scelta deriva inoltre dall'omogeneità di caratteristiche rispetto al calcestruzzo di supporto, dall'elevatissima durabilità (resistenza agli aggressivi ambientali ed alla carbonatazione), dalle prestazioni meccaniche e dalla facilità di applicazione.

##### Malte cementizie polimero-modificate

Queste malte garantiscono monoliticità con il supporto grazie alla capacità di adesione del polimero. Vengono generalmente utilizzate quando sia necessario eseguire rasature (spess. 1-8 mm) ed interventi di ripristino centimetrici (spess. 10-50 mm) di tipo localizzato (aree di ridotta estensione) o di difficile accesso.

##### Malte "rapide" a base di speciale legante pozzolanico

Questi materiali basano la loro prestazione su una particolare reazione di idratazione del legante, che consente di ottenere in brevissimo tempo, anche a temperature basse (-5 °C) elevate prestazioni meccaniche.

##### Formulati a base di resina

Si tratta principalmente di resine di tipo epossidico o vinil-estere. Vengono impiegati nel settore del ripristino per interventi speciali di iniezione entro fessure, incollaggi strutturali, inghisaggi di barre di armature, ecc., che non potrebbero essere eseguiti con successo con i materiali cementizi. La loro principale caratteristica è legata alle elevate prestazioni meccaniche (conseguente alla solidità dei legami di polimerizzazione che s'innescano quando la base si unisce all'indurente) e all'elevata adesione a calcestruzzo, acciaio ed ai diversi materiali da costruzione.

I vari tipi di materiale sono così definiti:

#### **MALTE PER RASATURE**

<sup>(1)</sup> Si intendono ad espansione contrastata malte, betoncini e calcestruzzi che compensano il ritiro igrometrico con una opportuna reazione espansiva nella fase iniziale dell'indurimento.

- di tipo MR1: malta cementizia, per rasature fini (1-3 mm), polimero-modificata, premiscelata, tixotropica, mono-componente, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MR2: malta cementizia, per rasature grosse (4-8 mm), polimero-modificata, premiscelata, tixotropica, bi-componente, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili.

#### MALTE TIXOTROPICHE

- di tipo MT1: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata<sup>(1)</sup> con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa;
- di tipo MT2: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, con fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MT3: malta cementizia premiscelata, tixotropica, bicomponente, polimero modificata, contenente fibre poliacrilonitrili.

#### MALTE COLABILI

- di tipo MC1: malta cementizia, premiscelata, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa;
- di tipo MC2: malta cementizia, premiscelata, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, reodinamica<sup>(2)</sup>, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili;
- di tipo MC3: malta cementizia, premiscelata, reoplastica<sup>(3)</sup>, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,6 mm, forma "a catino"; resistenza a trazione > 1200 MPa;
- di tipo MC4: malta a base di uno speciale legante pozzolanico, premiscelata, a rapido indurimento anche a basse temperature, fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,38 mm, resistenza a trazione > 2300 MPa, ad elevatissima duttilità.

#### BETONCINI COLABILI

- di tipo B1: betoncino cementizio, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzato con fibre inorganiche flessibili caratterizzate da lunghezza 12 mm, diametro 14 µm, resistenza a trazione 1700 MPa, modulo elastico 72000 MPa, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC1 aggregati selezionati<sup>(4)</sup>;
- di tipo B2: betoncino cementizio, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, reodinamico, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC2 aggregati selezionati;
- di tipo B3: betoncino cementizio, reoplastico, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili e fibrorinforzato con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,6 mm, forma a "catino"; resistenza a trazione > 1200 MPa, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC3 aggregati selezionati;
- di tipo B4: betoncino a base di uno speciale legante pozzolanico, a rapido indurimento anche a basse temperature, fibrorinforzato con fibre metalliche rigide (di acciaio) caratterizzate da lunghezza 30 mm, diametro 0,38 mm, resistenza a trazione > 2.300 MPa ad elevatissima duttilità, ottenuto, aggiungendo alla malta di cui al precedente punto MC4 aggregati selezionati;

<sup>(1)</sup> Si definiscono fibrorinforzati quei conglomerati (malte o betoncini) provvisti di fibre metalliche o sintetiche che garantiscano il contrasto all'espansione del materiale e/o forniscano elevate prestazioni di duttilità.

<sup>(2)</sup> Si definiscono reodinamici malte, betoncini e calcestruzzi superfluidi, autocompattanti, ad elevatissima coesione, capaci di scorrere con elevata energia di movimento e deformabilità allo stato fresco.

<sup>(3)</sup> Si definiscono reoplastici malte, betoncini e calcestruzzi che pur essendo autolivellanti sono molto coesivi cioè privi di segregazione e bleeding.

<sup>(4)</sup> Gli aggregati selezionati devono essere nella misura del 35% sul peso totale della miscela secca malta più aggregato, non gelivi, non soggetti a reazione alcali aggregato, lavati, di idonea curva granulometrica, di diametro minimo pari a 5 mm, di diametro massimo in funzione dello spessore del getto.

- **di tipo B5:** betoncino cementizio, premiscelato, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido, reodinamico, colabile, contenente fibre sintetiche poliacrilonitrili.

**LEGANTE ESPANSIVO**

- **di tipo LE:** legante espansivo che consente di ottenere calcestruzzi o boiacche estremamente fluide, prive di *bleeding*, a basso rapporto acqua/cemento, caratterizzate da elevate resistenze meccaniche.

**CALCESTRUZZO ESPANSIVO (o "a ritiro compensato")**

- **di tipo CE:** calcestruzzo di cemento, reoplastico a stabilità volumetrica, avente  $R_{ck} \geq 50$  MPa, consistenza S4-S5, assenza di *bleeding* ed elevata pompabilità, ottenuto utilizzando come legante uno speciale cemento espansivo tipo LE in luogo dei normali cementi, e miscelando ad esso acqua ed aggregati.

**FORMULATI DI RESINA**

- **di tipo RC:** malta epossidica bicomponente, colabile, priva di solventi;
- **di tipo RT:** malta epossidica bicomponente, tixotropica, priva di solventi;
- **di tipo RI:** resina epossidica bicomponente, a bassissima viscosità, priva di solventi, colabile;
- **di tipo RA:** tassello chimico rapido in cartuccia bicompartimentale coassiale, a consistenza tixotropica a base di resina vinilestere priva di stirene.

**24.1.4. Tecniche d'intervento e scelta dei materiali**

**24.1.4.1. Generalità**

La tabella seguente definisce le tecniche d'intervento ed il tipo di materiale in funzione degli spessori da ripristinare e del degrado delle strutture:

		DEGRADO [mm]														
		Lieve			Medio				Profondo				Molto profondo			
		0	3	8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		>100
<b>TECNICHE</b>	Rasatura	MR1	MR2													
	Spruzzo o rinzaffo				MT1											
					MT2			MT2*								
					MT3											
	Colaggio				MC1				B1							
					MC2			MC2*	B2							
					MC3				B3							
					MC4				B4							
									B5							
														CE		
																RC
	Spatola															RT
	Iniezione															RI
Tassello															RA	
		Malte														
		MATERIALI						Betoncini				Calcestruzzi		Formulati di resina		

\* applicazione di rete elettrosaldata

**24.1.4.2. Degrado lieve – Ripristini di spessore da 1 a 8 mm**

La tecnica utilizzata, per eliminare difetti costruttivi quali vespai, vaiolature, sbeccature, assenza di copriferro, assenza di planarità, è quella della rasatura.

La preparazione del supporto deve essere realizzata mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

La malta può essere applicata sia a mano che con macchina intonacatrice, previa miscelazione.

Si utilizza la malta:

- Tipo MR1 per rasature fini, interventi di spessore da 1 a 3 mm;
- Tipo MR2 per rasature grosse, interventi di spessore maggiori di 3, fino a 8 mm.

#### **24.1.4.3. Degrado medio – Ripristini di spessore da 10 a 50 mm**

##### TECNICHE DI INTERVENTO

Sono:

- l'applicazione con macchina intonacatrice (superfici estese) o manuale a cazzuola (superfici ridotte) utilizzando malte tixotropiche;
- l'applicazione per colaggio utilizzando malte fluide.

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o mediante macchine idrodemolitrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

Nel caso di interventi molto localizzati o quando si devono ripristinare elementi strutturali di difficile accesso per i quali una idonea asportazione del calcestruzzo non è possibile, si preparerà la superficie di supporto mediante sabbatura e l'intervento sarà eseguito con malte polimero modificate di tipo MT3.

##### RIPRISTINI REALIZZATI CON MACCHINA INTONACATRICE O MANUALMENTE CON CAZZUOLA

Tale tecnica è utilizzata sia per ripristinare elementi strutturali verticali che l'intradosso di elementi orizzontali. L'applicazione manuale con cazzuola è consentita per superfici limitate (poche decine di metri quadrati).

Si utilizza la malta:

- Tipo MT1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrorinforzata (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldada. E' utilizzata con semplicità anche per ripristini localizzati;
- Tipo MT2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 20 mm. Può essere utilizzata anche per interventi di spessore da 40 a 50 mm previa applicazione di rete elettrosaldada;
- Tipo MT3 per ripristinare elementi strutturali che presentino degradi molto localizzati e spessori da 10 a 50 mm. Poiché sono malte che possono essere applicate anche su supporti solamente sabbati sono utilizzati per interventi su elementi strutturali di difficile accesso sui quali non è possibile l'asportazione del calcestruzzo degradato per spessori centimetrici, inoltre non richiede l'applicazione di rete elettrosaldada.

##### RIPRISTINI REALIZZATI PER COLAGGIO

Tale tecnica è utilizzata per ripristinare l'estradosso di elementi strutturali orizzontali.

Il colaggio entro cassero è possibile per spessori compresi tra 40 e 50 mm facendo uso di materiali di tipo MC2.

Si utilizza la malta:

- Tipo MC1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrorinforzata (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldada;
- Tipo MC2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 20 mm. Per interventi di spessore da 40 a 50 mm la malta deve essere armata con rete elettrosaldada in assenza di armatura pre-esistente. Tale malta essendo reodinamica (autocompattante e molto scorrevole) può essere messa in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero per spessori compresi tra 40 e 50 mm;
- Tipo MC3 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta, essendo fibrorinforzata (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldada. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità;
- Tipo MC4 per ripristinare in tempi brevissimi anche a basse temperature elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 50 mm anche in modo non omogeneo. Tale malta è in grado di sviluppare resistenze

meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo fibrorinforzata (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità.

#### **24.1.4.4. Degrado profondo – Ripristini di spessore da 50 a 100 mm**

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 50 mm non si devono più utilizzare malte, ma si deve far uso di betoncini.

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali di betoncini ad espansione contrastata in aria;
- colaggio entro cassero (incamiciatura) di betoncini ad espansione contrastata in aria.

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante macchine idrodemoltrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

Si utilizza il betoncino:

- Tipo B1 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino, essendo fibrorinforzato (fibre inorganiche flessibili), non richiede applicazione di rete elettrosaldata;
- Tipo B2 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm. Il betoncino deve essere sempre armato con rete elettrosaldata in assenza di altre armature. Tale betoncino, essendo reodinamico (autocompattante e molto scorrevole), può essere messo in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero, senza richiedere vibrazione;
- Tipo B3 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino, essendo fibrorinforzato (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità;
- Tipo B4 per ripristinare in tempi brevissimi, anche a basse temperature, elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm anche in modo non omogeneo. Tale betoncino è in grado di sviluppare resistenze meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo fibrorinforzato (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità;
- Tipo B5 per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 50 a 100 mm. Il betoncino deve essere sempre armato con rete elettrosaldata in assenza di altre armature. Tale betoncino, essendo reodinamico (autocompattante e molto scorrevole), può essere messo in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero, senza richiedere vibrazione.

I betoncini B1, B2, B3 e B4 sono ottenuti aggiungendo in cantiere rispettivamente alle malte tipo MC1, MC2, MC3 ed MC4 degli aggregati di opportuna curva granulometrica; per ottenere buoni risultati è necessario porre particolare attenzione alla scelta degli aggregati, verificando che siano di diametro minimo pari a 5 mm e diametro massimo di 10 mm, ben puliti e privi di impurità limo argillose.

#### **24.1.4.5. Degrado molto profondo – Ripristini di spessore oltre 100 mm**

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 100 mm si deve far uso di calcestruzzi aventi inerti di diametro massimo crescente al crescere dello spessore d'intervento.

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali;
- colaggio entro cassero (incamiciatura).

L'asportazione del calcestruzzo contaminato (per esempio carbonatato e/o contenete cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante mac-

chine idrodemoltrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm.

#### 24.1.4.6. Interventi con resine

Spesso nei lavori di manutenzione delle strutture è necessario eseguire interventi speciali, con resine:

- Tipo RC per ripristinare in spessore centimetrico elementi che richiedono elevate prestazioni meccaniche; applicata per colaggio;
- Tipo RT per incollaggio di elementi in calcestruzzo, acciaio, PVC e altri materiali, in quanto garantisce elevata adesione tra i materiali; applicata con spatola;
- Tipo RA per inghisaggio rapido di barre di armatura utilizzando formulati in cartuccia; il diametro del foro per l'inghisaggio per barre ad aderenza migliorata dal diametro fino a 16 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 4 mm, mentre per barre ad aderenza migliorata dal diametro compreso tra 17 e 34 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 6 mm;
- Tipo RI per intasamento di cavi di precompressione, o saldatura di fessurazioni; applicata con iniezione a pressione.

## 24.2. Requisiti e metodi di prova dei materiali

### 24.2.1. Generalità

Un materiale per il ripristino di strutture in calcestruzzo deve possedere i seguenti requisiti fondamentali:

#### Elevata compatibilità con il calcestruzzo di supporto

- Espansione contrastata a 24 ore con maturazione in aria: la perfetta compatibilità con il calcestruzzo di supporto si ha utilizzando malte e betoncini ad espansione contrastata con maturazione in aria, la cui espansione iniziale consentirà di compensare il ritiro che i materiali cementizi svilupperanno inevitabilmente all'evaporazione di parte dell'acqua d'impasto. Per garantire in opera la monoliticità tra vecchia struttura e materiale utilizzato per il ripristino è necessario che quest'ultimo sia in grado di fornire buoni valori di espansione contrastata a 24 ore e con maturazione all'aria;
- Aderenza al calcestruzzo indurito: l'adesione tra vecchia struttura e materiale di ripristino deve essere elevata e risultare almeno uguale alla resistenza a trazione del calcestruzzo indurito;
- Resistenza meccanica: la resistenza meccanica alla compressione, trazione e flessione deve risultare simile a quella del calcestruzzo di supporto e maggiore quando si eseguono interventi di adeguamento strutturale;
- Modulo elastico: per interventi di spessore centimetrico il modulo elastico del materiale di ripristino deve essere simile a quello del calcestruzzo di supporto. Per interventi millimetrici, specialmente per le zone inflesse, il modulo elastico deve essere  $\leq 16000$  MPa.

#### Elevata compatibilità con l'ambiente d'esercizio

- I materiali utilizzati per ripristinare strutture degradate devono possedere una resistenza agli agenti esterni superiore a quella del calcestruzzo di cui l'opera è costituita. La capacità del materiale, da ripristino, di resistere agli agenti aggressivi presenti nell'ambiente, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni Cl<sup>-</sup>, all'anidride carbonica, ed all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione; nei riguardi di queste sostanze lo spessore del materiale da ripristino applicato deve naturalmente risultare il più possibile impermeabile. Per concentrazioni di CO<sub>2</sub> molto elevate (> 1000 ppm) o quando si fa uso di sali decongelanti sarà necessario proteggere la struttura con uno specifico sistema protettivo filmogeno. I materiali utilizzati per il ripristino devono garantire anche la massima continuità della superficie esterna in modo da non favorire l'ingresso delle sostanze aggressive.

- Resistenza alla fessurazione da ritiro plastico: il materiale per il ripristino deve contenere fibre sintetiche poliacrilonitrili nella misura e del tipo adatto a contrastare il verificarsi delle fessure durante le prime ore dopo l'applicazione<sup>(1)</sup>.
- Resistenza alla fessurazione da ritiro igrometrico: per garantire la curabilità del ripristino il materiale di apporto deve avere una elevata resistenza alla fessurazione a lungo termine; la causa di tali stati fessurativi è il ritiro igrometrico, per questo motivo è fondamentale utilizzare materiali ad espansione contrastata in aria che garantiscano, nelle condizioni di esercizio, la compensazione del ritiro igrometrico.
- Resistenza alla carbonatazione: requisito indispensabile per evitare il degrado per corrosione delle armature dovuta alla carbonatazione, la conseguenza di questo processo è l'abbassamento del pH della pasta cementizia che diventa incapace di passivare le armature.
- Impermeabilità ai cloruri: i cloruri sono l'altro fattore che causa la corrosione delle armature, gli ioni Cl<sup>-</sup>, penetrando nel calcestruzzo, arrivati all'armatura bucano lo strato di ossido esistente e corrodono localmente le armature.
- Resistenza a cicli di gelo-disgelo: requisito fondamentale per le strutture in zone montane dove la temperatura oscilla sopra e sotto lo zero e quando vi sono condizioni ambientali che rendono il calcestruzzo umido.
- Impermeabilità all'acqua: la presenza d'acqua favorisce tutti i processi di degrado, una elevata impermeabilità è sinonimo di ridotta porosità del conglomerato.

#### **24.2.2. Scelta dei metodi di prova**

Nelle prime due delle successive tabelle sono riportati i requisiti ed i corrispondenti metodi di prova per i conglomerati ad espansione contrastata in aria, per le malte cementizie polimero-modificate e per i materiali a base di resina.

### **24.3. Accettazione e specifiche prestazionali dei materiali**

Prima che i materiali proposti dall'Appaltatore siano impiegati, la Direzione Lavori dovrà di norma verificare che siano tra quelli omologati all'uso da parte del Committente, in base a prove dirette od a seguito dell'esame di prove eseguite presso Laboratori Ufficiali.

L'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori, dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione tecnica per la qualifica dei materiali che intende impiegare, dimostrando la piena rispondenza ai requisiti ed alle prestazioni richieste (dichiarazione rilasciata dal produttore).

La Direzione Lavori in tempo utile rispetto al programma lavori esprimerà il suo parere, potendo comunque prescrivere l'esecuzione di prove su campioni di materiali prelevati in contraddittorio. Saranno altresì richieste, con le stesse modalità, verifiche su campioni di materiale di normale fornitura e dichiarazioni che attestino le prestazioni specifiche delle partite di materiale, che sono consegnate di volta in volta dalle Società Produttrici.

I Produttori devono possedere la certificazione di qualità ai sensi della normativa UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un sistema di gestione della qualità avente analoghe caratteristiche.

La Direzione Lavori, su indicazione del Committente, potrà richiedere che il produttore fornisca, congiuntamente al materiale, una dichiarazione che attesti le prestazioni specifiche della partita di materiale che è consegnata di volta in volta.

Nelle successive tabelle, dalla terza in poi, sono indicate le prestazioni minime richieste per i singoli tipi di materiale, salvo eventuali migliori caratteristiche prescritte in progetto.

<sup>(1)</sup> Il ritiro plastico è compensato solo parzialmente dalle reazioni espansive idonee a compensare il ritiro igrometrico; è pertanto necessario prendere misure preventive quali: utilizzare materiali provvisti di fibre sintetiche, saturare il sottofondo, fratazzare e/o stagionare le parti esposte all'aria.



**1 - Requisiti e metodi di prova per i conglomerati ad espansione contrastata in aria e per le malte cementizie polimero-modificate**

REQUISITI	METODI DI PROVA				
	Malte polimero-modificate di tipo MR1, MR2, MT3	Malte e betoncini espansivi in aria di tipo MT1, MT2, MC1, MC3, B1, B3	Malte e betoncini rapidi di tipo MC4, B4	Malte e betoncini espansivi in aria di tipo MC2, B2, B5	Calcestr. di tipo CE
Lavorabilità	Spandimento: UNI EN 13395/1			Slump flow: UNI 11041	UNI EN 12350/2 (slump test)
Espansione contrastata in aria	-----	all'aria: UNI 8147 (malte) UNI 8148 (betoncino)  Test di Inarc./Imb.	-----	all'aria: UNI 8147 (malte) UNI 8148 (betoncino)  Test di Inarc./Imb.	-----
Resistenza alla fessurazione	O Ring test (non applicabile per la MR1 e MR2)				
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542 (metodo di prova/trazione diretta)				
Resistenza alla carbonatazione	UNI EN 13295 (metodo di prova) pr EN 1504-3 (limiti di accettazione)				
Impermeabilità all'acqua	UNI EN 12390/8 (in pressione) UNI EN 13057 (assorbimento capillare)				
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687/1 (metodo di prova)				
Resistenza a compressione	UNI EN 12190			UNI EN 12390/3	
Resistenza a trazione per flessione	UNI EN 196/1			UNI EN 12390/5	
Modulo elastico	UNI EN 13412	UNI EN 13412 (malte) UNI 6556 (betoncini)			UNI 6556
Caratteristiche di tenacità	-----	ASTM C1018 (solo per i tipi MC3, MC4, B3, B4)		-----	
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	RILEM-CEB-FIP RC6-78				

**2 - Requisiti e metodi di prova per materiali a base di resina**

REQUISITI	METODI DI PROVA		
	Resine di tipo RC e RT	Resine di tipo RI	Resine di tipo RA
Viscosità cinematica	-----	ASTM D2196	-----
Caratteristiche di adesione: - resina-calcestruzzo - resina-acciaio - carico di sfilamento su barre di armatura	UNI EN 1542 ASTM D4541 -----		Pull out test
Caratteristiche a compressione (resistenza e modulo elastico)	ASTM D695		----
Resistenza a trazione per flessione	ASTM D790		----
Caratteristiche a trazione diretta (resistenza e modulo elastico)	ASTM D638		----
Coefficiente di dilatazione termica lineare	ASTM D696		----

**3 - Prestazioni richieste per i materiali cementizi ad espansione contrastata in aria**

REQUISITI	MATERIALI CEMENTIZI AD ESPANSIONE CONTRASTATA ALL'ARIA DI TIPO					
	MT1	MT2	MC1	MC2	MC3	B5
Lavorabilità	170-180 mm	170-180 mm	230-250 mm	800-900 mm	190-200 mm	800-900 mm
Espansione contrastata all'aria	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩	1 g > 0,04 % inarc. ∩
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa	> 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3	Secondo pr EN 1504/3
Impermeabilità all'acqua - in pressione - assorbimento capillare	< 5 mm < 0,25 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 5 mm < 0,15 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 5 mm < 0,25 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 5 mm < 0,08 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 5 mm < 0,30 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 5 mm < 0,1 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compress. a - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 20 MPa > 50 MPa > 60 MPa	> 20 MPa > 50 MPa > 60 MPa	> 25 MPa > 55 MPa > 65 MPa	> 25 MPa > 55 MPa > 70 MPa	> 30 MPa > 50 MPa > 70 MPa	> 30 MPa > 55 MPa > 70 MPa
Resistenza a trazione per flessione a - 1 giorno - 7 giorni - 28 giorni	> 7 MPa > 9 MPa > 10 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 8 MPa	> 7 MPa > 9 MPa > 10 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 7 MPa	> 10 MPa > 13 MPa > 16 MPa	> 4 MPa > 6 MPa > 7 MPa
Modulo elastico	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	28000 (± 2000) MPa	27000 (± 2000) MPa	30000 (± 2000) MPa
Caratteristiche di tenacità - carico di prima fessuraz. - indice di tenacità	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	> 20 kN I <sub>20</sub> > 20	----- -----
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa	> 25 MPa
Resistenza ai solfati	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli	Nessun degrado dopo 15 cicli

N.B.: Per il betoncino di tipo B1 le prestazioni di riferimento sono quelle della malta tipo MC1 da cui si ottiene il betoncino, aggiungendo il 35% di ghiaietto. Nello stesso modo per i betoncini di tipo B2 e B3 si fa riferimento, rispettivamente, alle prestazioni delle malte di tipo MC2 e MC3.

**4 - Prestazioni richieste per i materiali rapidi**

REQUISITI	MATERIALI RAPIDI DI TIPO MC4		
Lavorabilità	210-220 mm		
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg		
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa		
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3		
Impermeabilità all'acqua			
- in pressione	< 5 mm		
- assorbimento capillare	< 0,35 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>		
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1		
Resistenza a compressione a	- 5 °C	0 °C	20 °C
- 2 ore	>10 MPa	>14 MPa	>23 MPa
- 4 ore	>15 MPa	>18 MPa	>30 MPa
- 8 ore	>18 MPa	>23 MPa	>40 MPa
- 24 ore	>27 MPa	>32 MPa	>50 MPa
- 7 giorni	>57 MPa	>60 MPa	>65 MPa
- 28 giorni	>70 MPa	>70 MPa	>70 MPa
Resistenza a trazione per flessione (20°C)	1g > 15 MPa	7 gg > 18 MPa	28 gg > 20 MPa
Modulo elastico	30000 (± 2000) MPa		
Caratteristiche di tenacità			
- carico di prima fessurazione	> 20 kN		
- indice di tenacità	I <sub>20</sub> > 20		
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 25 MPa		

N.B.: Per il betoncino di tipo B4 le prestazioni di riferimento sono quelle della malta tipo MC4 da cui si ottiene il betoncino, aggiungendo il 35% di ghiaietto.

**5 - Prestazioni richieste per i materiali le malte cementizie polimero-modificate**

REQUISITI	MALTE CEMENTIZIE POLIMERO MODIFICATE DI TIPO		
	MR1	MR2	MT3
Lavorabilità	180-190 mm	180-190 mm	170-180 mm
Resistenza alla fessurazione	----	----	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 2 MPa	> 2MPa	> 2 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504-3	Secondo pr EN 1504-3	Secondo pr EN 1504-3
Impermeabilità all'acqua			
- in pressione	< 15 mm	< 15 mm	< 15 mm
- assorbimento capillare	< 0,5 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 0,5 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>	< 0,5 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compressione			
- 1 giorno	> 12 MPa	> 20 MPa	> 25 MPa
- 7 giorni	> 28 MPa	> 27 MPa	> 45 MPa
- 28 giorni	> 40 MPa	> 38 MPa	> 55 MPa
Resistenza a trazione per flessione			
- 1 giorno	> 4 MPa	> 2 MPa	> 6 MPa
- 7 giorni	> 7 MPa	> 5 MPa	> 8 MPa
- 28 giorni	> 8 MPa	> 7 MPa	> 10 MPa
Modulo elastico [MPa]	16.000 (± 2.000)	16.000 (± 2.000)	25.000 (± 2.000)
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio [MPa]	----	-----	> 20

6 - Prestazioni richieste per calcestruzzo espansivo (o a ritiro compensato) di tipo CE

REQUISITI	CALCESTRUZZI ESPANSIVI DI TIPO CE
Lavorabilità	S5
Espansione contrastata	1 g > 0,03 %
Resistenza alla fessurazione	Nessuna fessura dopo 180 gg
Adesione al calcestruzzo	> 1,5 MPa
Resistenza alla carbonatazione	Secondo pr EN 1504/3
Impermeabilità all'acqua	
- in pressione	< 20 mm
- assorbimento capillare	< 0,5 kg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-0,5</sup>
Resistenza al gelo- disgelo con sali disgelanti	Secondo UNI EN 13687/1
Resistenza a compressione	
- 1 giorno	> 20 MPa
- 7 giorni	> 35 MPa
- 28 giorni	> 50 MPa
Resistenza a trazione per flessione	
- 1 giorno	> 2 MPa
- 7 giorni	> 3 MPa
- 28 giorni	> 4 MPa
Modulo elastico	30000 (± 2000) MPa
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	> 15 MPa

## 7 - Prestazioni richieste per malte di resina

REQUISITI	MALTE DI RESINA DI TIPO																															
	RC	RT	RI	RA																												
Viscosità cinematica	-----	-----	500-700 mPa·s	-----																												
Caratteristiche di adesione a 7 gg:																																
- resina-cls [MPa]	> 3,5	> 3,5	> 3,5	-----																												
- resina-acciaio[MPa]	> 12	> 7	> 10	-----																												
- carico di sfilamento su barre di armatura ad ader. miglior.	-----	-----	-----																													
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diam. barra [mm]</th> <th>Diam. foro [mm]</th> <th>Lunghezza ancoraggio barra [mm]</th> <th>Carico [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>12</td> <td>175</td> <td>10,6</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>16</td> <td>215</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>18</td> <td>255</td> <td>20,1</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>20</td> <td>275</td> <td>28,8</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>26</td> <td>355</td> <td>43,2</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>32</td> <td>435</td> <td>65,0</td> </tr> </tbody> </table>	Diam. barra [mm]	Diam. foro [mm]	Lunghezza ancoraggio barra [mm]	Carico [kN]	10	12	175	10,6	12	16	215	15,0	14	18	255	20,1	16	20	275	28,8	20	26	355	43,2	26	32	435	65,0
Diam. barra [mm]	Diam. foro [mm]	Lunghezza ancoraggio barra [mm]	Carico [kN]																													
10	12	175	10,6																													
12	16	215	15,0																													
14	18	255	20,1																													
16	20	275	28,8																													
20	26	355	43,2																													
26	32	435	65,0																													
Caratteristiche a compressione a 7 gg:																																
- Resistenza [MPa]	> 55	> 70	> 70	-----																												
- Modulo elastico [MPa]	7000	7000	3100	-----																												
Resist. a traz. per fless. a 7 gg [MPa]	> 30	> 25	> 40	-----																												
Caratteristiche a trazione diretta a 7 gg:																																
- Resistenza [MPa]	> 6	> 8	> 35	-----																												
- Modulo elastico [MPa]	6300	9500	2400	-----																												
Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg [°C <sup>-1</sup> ]	2,46·10 <sup>-5</sup>	2,04·10 <sup>-5</sup>	5,11·10 <sup>-5</sup>	-----																												

## 24.4. Trattamenti prima del ripristino o dell'adeguamento e fasi esecutive

### 24.4.1. Generalità

Le modalità esecutive variano in funzione dello spessore del calcestruzzo da asportare, da quello del ripristino e del tipo di materiale che sarà utilizzato, possono comunque essere sintetizzate nelle seguenti fasi:

- asportazione del calcestruzzo degradato, sia il calcestruzzo incoerente che quello contaminato da cloruri o carbonato che non è più in grado di passivare le armature;
- pulizia delle armature eventualmente scoperte, qualora il degrado sia causato dalla corrosione dei ferri d'armatura è fondamentale creare condizioni elettrochimiche che evitino il proseguire della corrosione;
- posizionamento delle eventuali armature aggiuntive;
- posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto;
- pulizia e saturazione della superficie di supporto<sup>(1)</sup>;
- applicazione del materiale di ripristino;
- frattazzatura o staggiatura;
- stagionatura.

Le fasi esecutive in funzione del tipo di materiale utilizzato sono indicate nella tabella riportata più avanti e sono descritte ai punti seguenti.

### 24.4.2. Asportazione del calcestruzzo degradato

Il progetto o la Direzione Lavori stabiliranno lo spessore di calcestruzzo da asportare sulla base dei risultati di un'apposita indagine preliminare. La Direzione Lavori segnalerà quindi alla Committente eventuali difformità di degrado rispetto a quanto indicato in progetto.

L'asportazione del calcestruzzo incoerente o degradato avverrà mediante idrodemolizione o scalpellatura meccanica eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa, adottando tutte le precauzioni necessarie ad evitare il danneggiamento delle strutture superstiti.

Le macchine idrodemolitrici dovranno avere pressione del getto d'acqua > 150 MPa e portata compresa tra 100 e 300 l/min in funzione del tipo della struttura e del calcestruzzo da asportare. Tali macchine dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori ed essere corredate di sistemi di prerogolazione con comando a distanza e di sistemi di sicurezza e di protezione, che consentano il corretto funzionamento anche in presenza di traffico, nonché il controllo delle acque di scarico, la qualità delle quali dovrà essere conforme ai limiti delle tabelle contenute nell'allegato 5 del D.Lgs. 152/2006.

La superficie del calcestruzzo di supporto dovrà risultare macroscopicamente ruvida (asperità di circa 5 mm di profondità) allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo ed il vecchio materiale. Tale macro ruvidità è indispensabile per i materiali ad espansione contrastata in aria (MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, MC4, B1, B2, B3, B4, B5, CE).

Per le malte cementizie polimero modificate (MR1, MR2, MT3) e per i materiali a base di resina (RC, RT, RI, RA) la preparazione del supporto potrà essere effettuata anche mediante sabbiatura; non essendo necessaria la macroruvidità del supporto in quanto l'aderenza tra vecchio e nuovo si garantisce mediante l'azione collante della resina o del polimero e non mediante il meccanismo dell'espansione contrastata; ma se lo spessore del calcestruzzo degradato è centimetrico la sabbiatura non è in grado di rimuovere tali spessori e quindi è necessario verificare se la semplice sabbiatura e l'applicazione dei materiali con essa compatibili siano in grado di arrestare i fenomeni di degrado.

### 24.4.3. Pulizia delle armature

I ferri di armatura del cemento armato messi a nudo in fase d'asportazione del conglomerato cementizio ammalorato dovranno essere puliti dalle scaglie di ossido mediante sabbiatura.

---

<sup>(1)</sup> Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione è consigliabile effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione del sottofondo sono state ultimate.

		MATERIALI				
		Malte e betoncini espansivi in aria non fibrorinforz. di tipo MT2, MC2, B2, B5	Malte e betoncini espansivi in aria fibrorinforz. di tipo MT1, MC1, MC3, MC4, B1, B3, B4	Malte polimero modificate di tipo MR1, MR2, MT3		Materiali a base di resina di tipo RC, RT, RI, RA
FASI ESECUTIVE	Asportazione del calcestruzzo degradato(*)	Idrodemolizione o scalpellatura meccanica	Idrodemolizione o scalpellatura meccanica	Sabb. o idrosabb. (per sp. millimetr.)	Idrodem. o scalp. mecc. (per sp. centim.)	Sabbiatura
	Pulizia delle armature	Sabbiatura	Sabbiatura	Sabbiatura		Sabbiatura
	Posizionamento di armature aggiuntive	Se richiesto	Se richiesto	Se richiesto		Se richiesto
	Posizionamento di rete di contrasto	per spessori > 40 mm per MT2 e MC2	N.R.	N.R.		N.R.
	Pulizia della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	Acqua a caduta o soffio d'aria compressa		Soffio d'aria compressa
	Saturazione della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	Acqua in press. per MR1	N.R. per MR2 e MT3	N.R.
	Applicazione del materiale di ripristino	Spruzzo o rinzaffo o colaggio	Spruzzo o rinzaffo o colaggio	Spruzzo o rinzaffo		Spatolatura o colaggio o iniezione
	Fratazzatura (superf. verticali) o staggiatura (superf. orizzontali.)	Richiesta	Richiesta	Richiesta		N.R.
	Stagionatura <sup>(1)</sup>	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica	Prodotti antievaporanti o acqua nebulizzata o teli in plastica		N.R.

N.R. = Fase esecutiva non richiesta.

(\*) Per i materiali ad espansione contrastata dovrà garantirsi una macro ruvidità (asperità di circa 5 mm di profondità).

#### 24.4.4. Posizionamento di armature aggiuntive

Qualora sia necessario aggiungere delle armature, queste saranno poste in opera prima della pulizia della superficie di supporto e del posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto.

Dovrà essere garantito un copriferro di almeno 20 mm.

#### 24.4.5. Posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto

E' richiesta l'applicazione di una rete elettrosaldata di contrasto solo per le malte di tipo MT2 e MC2 quando lo spessore d'intervento è maggiore di 20 mm.

Quando si richiede l'utilizzo di rete di contrasto, questa dovrà essere ben ancorata al supporto, lo spessore minimo d'intervento non potrà essere inferiore a 40 mm, infatti la rete dovrà avere un copriferro di almeno 20 mm e dovrà

<sup>(1)</sup> Quando si devono applicare rivestimenti protettivi o trattamenti d'impermeabilizzazione si devono utilizzare prodotti antievaporanti che, dopo pochi giorni dall'applicazione, si polverizzano e siano di facile asportazione mediante lavaggio con acqua in pressione. L'adozione dei teli di plastica è limitata ai casi di protezione dei getti in climi particolarmente rigidi.



essere distaccata dal supporto di almeno 10 mm, mediante l'uso di distanziatori (altrimenti si hanno minori aderenze all'interfaccia vecchio/nuovo materiale e fessurazioni in superficie per assenza di contrasto nello spessore più esterno del materiale utilizzato per il ripristino).

Nel caso sia previsto nel Progetto l'utilizzo di rete elettrosaldata in barre d'acciaio inossidabile, questa dovrà avere le caratteristiche precisate in Progetto.

#### **24.4.6. Pulizia e saturazione della superficie di supporto**

Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione occorre effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione siano state ultimate.

Si dovranno pertanto asportare con i mezzi più opportuni le polveri e le parti incoerenti in fase di distacco eventualmente ancora presenti dopo l'asportazione meccanica del calcestruzzo, l'ossido eventualmente presente sui ferri d'armatura, le impurità, le tracce di grassi, oli e sali aggressivi, ottenendo così una superficie composta da un conglomerato cementizio sano, pulito e compatto.

Per l'applicazione di materiali cementizi, la pulizia della superficie di supporto, salvo le malte di tipo MR1, MR2 ed MT3 per le quali la pulizia va eseguita con aria compressa o con lavaggio con acqua a caduta, dovrà essere effettuata mediante lavaggio con acqua in pressione (80-100 MPa e acqua calda nel periodo invernale), per asportare polvere e parti incoerenti, eventualmente ancora presenti dopo la scarifica meccanica del calcestruzzo.

L'operazione di pulizia con acqua in pressione, se eseguita immediatamente prima dell'applicazione del materiale, consente anche la saturazione del calcestruzzo, comunque necessaria per una corretta applicazione dei materiali ad espansione contrastata in aria (MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, MC4, B1, B2, B3, B4, B5, CE). Per l'applicazione dei materiali a base di resina (RC, RT, RI, RA) la pulizia della superficie di supporto dovrà essere effettuata mediante getto di aria compressa per asportare la polvere eventualmente presente dopo aver preparato il supporto mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

#### **24.4.7. Applicazione dei materiali di ripristino**

Le modalità applicative variano in relazione alla tecnologia d'intervento utilizzata ed al tipo di materiale prescelto, possono comunque essere sintetizzate come segue:

I materiali cementizi sono forniti già premiscelati a secco, devono essere miscelati con acqua, escluse le malte di tipo MR2 ed MT3 che vanno impastate con il proprio polimero, nel quantitativo indicato dalle Ditte Produttrici (sarà importante non superare mai il quantitativo massimo indicato per evitare sia fenomeni di *bleeding* e separazione che il decadimento di tutte le prestazioni), per almeno 4-5 minuti con betoniera o con il miscelatore dell'intonacatrice secondo la seguente metodologia:

- introdurre nella betoniera o nel miscelatore il minimo quantitativo d'acqua indicato dal produttore, aggiungere il materiale contenuto nei sacchi e quindi per i materiali di tipo MT1, MT2, MC1, MC2, MC3, B1, B2, B3, B5 il ritentore di umidità liquido;
- proseguire la miscelazione per 4-5 minuti fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di grumi;
- se necessario, aggiungere altra acqua (senza mai superare il quantitativo massimo indicato dal produttore) fino ad arrivare alla consistenza voluta e mescolare per altri 2 minuti.

Non è consentita la miscelazione a mano poiché questa generalmente comporta un eccesso d'acqua nell'impasto. Per miscelare piccoli quantitativi dovrà essere impiegato un normale trapano con mescolatore a frusta.

Le malte tixotropiche vanno applicate con macchina intonacatrice o manualmente con la cazzuola.

Le malte ed i betoncini colabili vanno applicati a consistenza fluida o superfluida per colaggio, nel caso di applicazione entro cassero si dovranno utilizzare casseforme che non assorbano acqua dall'impasto e che garantiscano una perfetta tenuta per evitare perdite di bocca, tali casseforme dovranno essere opportunamente fissate in modo da resistere alla spinta dei materiali a consistenza superfluida.

E' accettata l'applicazione con temperature comprese tra 5 e 40 °C, al di fuori di tale intervallo l'applicazione potrà essere eseguita soltanto previa autorizzazione della Direzione Lavori.

Solo i materiali per ripristini rapidi di tipo (MC4, B4) possono essere utilizzati fino a temperature di – 5 °C.

Quando le temperature sono tra 5 e 10 °C lo sviluppo delle resistenze meccaniche è più lento, pertanto è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in ambiente riparato dal freddo;
- impiegare acqua calda per l'impasto;
- iniziare le applicazioni nella mattinata;
- proteggere dall'ambiente freddo il getto coprendolo con teli impermeabili.

Per applicazioni a temperature prossime a 40 °C è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in luogo fresco;
- impiegare acqua fresca;
- applicare i materiali nelle ore meno calde della giornata;
- nei climi asciutti e ventilati si raccomanda di porre particolare attenzione alla stagionatura.

I materiali a base di resina devono essere miscelati ed applicati seguendo scrupolosamente le indicazioni fornite dal produttore sulle schede tecniche dei singoli prodotti.

#### **24.4.8. Fratzzatura o staggiatura**

Dopo l'applicazione dei materiali cementizi tixotropici, la superficie dovrà essere lisciata mediante frattazzatura. Tale operazione dovrà essere eseguita con molta cura nel caso delle malte che sono miscelate con acqua, infatti, una corretta frattazzatura è indispensabile per contrastare efficacemente la formazione di microfessure, derivanti dal ritiro plastico.

Per diminuire questo rischio tutte le malte tixotropiche, che sono applicate a spruzzo od a rinzaffo, devono essere provviste di fibre sintetiche poliacrilinitrili.

La frattazzatura dovrà eseguirsi dopo un certo tempo dall'applicazione in funzione delle condizioni climatiche.

L'intervallo di tempo tra l'applicazione a spruzzo e la finitura con frattazzo è stabilito in funzione del primo irrigidimento della malta che si determina quando, appoggiando una mano sulla superficie, le dita non affondano ma lasciano una leggera impronta sull'intonaco.

Le superfici esposte all'aria (vale a dire non a contatto con casseforme) dei materiali cementizi colabili possibilmente dovrebbero essere stagiate se l'operazione non è possibile, o considerata troppo onerosa, appena messe in opera devono essere stagionate con materiali specifici, che non pregiudichino l'aderenza di successivi sistemi protettivi o impermeabilizzanti, e/o protetti con teli di plastica nel periodo invernale o stagionati con acqua nebulizzata nel periodo estivo.

#### **24.4.9. Stagionatura**

Una corretta stagionatura è fondamentale per garantire una giusta maturazione e per evitare la formazione di fessure da ritiro plastico, dovute all'immediata evaporazione di parte dell'acqua d'impasto sotto l'azione del sole e del vento. Nelle opere di nuova costruzione, diventa fondamentale per la curabilità degli interventi di manutenzione.

La stagionatura potrà essere realizzata utilizzando:

- prodotti stagionanti specifici, che non diminuiscono l'aderenza di sistemi protettivi o impermeabilizzanti;
- teli;
- acqua nebulizzata.

La copertura con il *curing* sarà tanto più rapida quanto più caldo e secco è il clima (il *curing* potrà essere evitato se si usano malte con microfibre poliacrilinitrili).

La stagionatura può essere realizzata in modo semplice ed affidabile utilizzando materiali a base di resine che abbinano alla funzione di stagionante anche quella di *primer* per eventuali sistemi protettivi da applicare sopra il materiale di ripristino.

L'eventuale protezione delle strutture ripristinate dovrà essere eseguita secondo quanto indicato sulle schede tecniche del sistema protettivo utilizzato.

## 24.5. Prove e controlli

La Direzione Lavori prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per l'asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato, per eventuali sabbiature, per la pulizia e/o la saturazione del supporto e per l'applicazione a spruzzo dei prodotti tixotropici siano idonei ad ottenere quanto richiesto dal presente Capitolato e dal progetto. Tali verifiche dovranno essere reiterate anche in corso d'opera, per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come descritto nei precedenti paragrafi e nel progetto.

La Direzione Lavori, per l'accettazione dei materiali, dovrà attenersi a quanto indicato ai precedenti paragrafi ed in particolare, per i materiali cementizi ad espansione contrastata in aria, la stessa Direzione Lavori dovrà eseguire, ad inizio cantiere ed in corso d'opera, quando lo ritenga opportuno, la verifica qualitativa (*test d'inarcamento/imbarcamento*) o quantitativa (secondo UNI 8147 con maturazione dei provini in aria) della capacità espansiva del prodotto.

Nel caso in cui il prodotto esaminato non dovesse rispettare i requisiti richiesti lo stesso dovrà essere sostituito.

In corso d'opera le prove dovranno comunque essere ripetute, con la frequenza ritenuta necessaria dalla Direzione Lavori.

Qualora dalle prove risultassero valori inferiori di non più del 10%, rispetto a quelli indicati nelle tabelle relative alle malte cementizie ad espansione contrastata, alle malte cementizie polimero-modificate e ai formulati a base di resine, o rispetto a quelli previsti in progetto, la Direzione Lavori, ferma restando la verifica della sicurezza strutturale, accetterà il materiale ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato.

Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti, e nel caso in cui sussistano contemporaneamente più difetti, qualunque siano i valori di scostamento riscontrati rispetto alle previsioni progettuali, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla rimozione dei materiali già posti in opera ed al loro ripristino.

Le superfici ripristinate dovranno essere controllate a campione<sup>(1)</sup> (almeno il 5% per superfici estese e almeno il 10% per superfici limitate) mediante bagnatura, per ogni elemento strutturale, per verificare l'eventuale presenza di microfessure.

In caso si evidenziassero microfessure occorrerà estendere il controllo all'intera superficie riparata per la quale, se l'incidenza dell'area fessurata risulterà inferiore al 20% dell'area totale d'intervento, sarà applicata una penale; se superiore, l'Appaltatore dovrà procedere, a sua cura e spese, alla rasatura e alla protezione con filmogeni, di tipologia da concordare con la Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista. Tale intervento avrà in genere uno spessore medio di 3 mm, sarà realizzato utilizzando una malta cementizia polimero modificata premiscelata, tixotropica, del tipo MR1, previa preparazione del supporto mediante sabbiatura o idrosabbiatura e la malta dovrà essere applicata preferibilmente a spruzzo con intonacatrice, mentre l'applicazione con spatola è consentita per interventi d'estensione limitata.

La verifica di ottenimento dell'adesione in opera si otterrà con il controllo al martello, con campionamento secondo il criterio indicato per le microfessure.

Le superfici risonanti a vuoto saranno verificate in contraddittorio e su di esse sarà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi e sovrapprezzi spesi per il lavoro risultato non idoneo, salvo richiesta della Committente di far effettuare, le asportazioni ed il rifacimento del ripristino delle superfici risonanti.

Qualora sussistano contemporaneamente due o più difetti potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori la rimozione delle riparazioni mal eseguite, oppure sarà applicata una detrazione a tutti i prezzi e superfici controllate pari alla somma delle penalità indicate.

---

<sup>(1)</sup> Per singolo elemento strutturale.

## **25. Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio**

### **25.1. Sistemi protettivi filmogeni**

#### **25.1.1. Generalità**

L'applicazione di sistemi filmogeni è la tecnica che si utilizza per proteggere l'elemento strutturale dall'aggressione di agenti aggressivi esterni quando attraverso le indagini si è accertata una delle seguenti situazioni:

- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, ancorché le indagini abbiano rivelato la presenza di uno spessore di calcestruzzo carbonatato, purché inferiore al copriferro;
- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, anche se le indagini hanno rilevato che sono iniziati fenomeni di corrosione nelle armature.

L'applicazione di sistemi protettivi filmogeni viene utilizzata anche quando si realizzano interventi di ripristino localizzati sia per equilibrare i potenziali elettrochimici delle armature, che per migliorare l'aspetto estetico. Si deve infatti evitare che parti di armatura avvolte da conglomerato di qualità diversa da punto a punto, vengano nuovamente a trovarsi in condizioni tali da generare nuove pile e reinnescare il processo di corrosione.

L'applicazione di sistemi protettivi ha scopo di impedire o ritardare l'insorgere dei fenomeni che possono portare alla fessurazione, allo sgretolamento, al dilavamento, al rigonfiamento, alla delaminazione od al distacco di parti di calcestruzzo.

Il sistema protettivo deve essere capace di costituire uno schermo verso l'ambiente impedendo da un lato la penetrazione degli aggressivi, dall'altro quella dell'acqua e dell'ossigeno, che contribuiscono alle reazioni che causano il degrado delle strutture.

Per le norme specifiche da osservare si veda l'articolo precedente.

#### **25.1.2. Definizione e scelta dei sistemi protettivi**

##### **25.1.2.1. Generalità**

La scelta dei sistemi protettivi filmogeni deve essere effettuata in funzione del tipo di struttura, dell'elemento da proteggere ed in funzione del grado di aggressione a cui è sottoposto. Il progetto indicherà il sistema da adottare, in accordo con le specifiche di cui al presente Capitolato.

Nei paragrafi seguenti sono individuati i requisiti, le caratteristiche e le prestazioni, con le relative fasi esecutive e di controllo del sistema protettivo prescelto.

##### **25.1.2.2. Protezione di ponti, viadotti e cavalcavia**

###### Di tipo PP

Sistema protettivo elastico a base poliuretanic (ciclo alifatico) applicabile a rullo o con *airless* su qualsiasi tipo di elemento strutturale dove sia richiesto un elevatissimo grado di protezione. Costituito da un *primer* epossipoliamicidico con spessore di 50 µm e da una finitura a base di elastomeri poliuretanic alifatic applicata in due differenti spessori in funzione del grado di protezione desiderata:

Con 200 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO<sub>2</sub>, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti.

Con 300 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO<sub>2</sub>, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti;
- una *Crack bridging ability* (capacità del *film* di rimanere integro attraverso fessure) relativa a cavillature già presenti sul supporto di apertura < 300 µm;

### Di tipo PA

Sistema protettivo elastico a base acrilica in acqua, applicabile a rullo o con *airless* su qualsiasi tipo di elemento strutturale dove sia richiesto un elevato grado di protezione (ma non indicato su elementi strutturali a contatto permanente con acqua), è particolarmente utilizzato per la protezione di superfici in ambiente chiuso in quanto non contiene solventi, mentre è sconsigliata l'applicazione in periodo invernale in quanto le basse temperature ne rallentano l'indurimento. Costituito da un *primer* acrilico in acqua con spessore di 50 µm e finitura acrilica in acqua applicata in due differenti spessori in funzione del grado di protezione desiderata:

Con 200 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO<sub>2</sub>, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti.

Con 300 µm di spessore si ottiene:

- la protezione contro l'ingresso di CO<sub>2</sub>, acqua liquida, cloruri;
- la resistenza ai raggi UV, ai cicli di gelo e disgelo anche in presenza di sali disgelanti;
- una *Crack bridging ability* relativa a cavillature già presenti sul supporto di apertura < 300 µm.

### Di tipo PM

Protettivo rigido monocomponente a base di metacrilati, applicabile a rullo o con metodologia *airless*, utilizzabile ove sia richiesto un buon grado di protezione senza alcuna *performance* di *Crack bridging ability*. Costituito da un *primer* a base di metacrilati, con spessore di 50 µm e finitura a base di metacrilati applicata con spessore di 100 µm.

## 25.1.2.3. Protezione di strutture idrauliche

### Sistemi protettivi

Tipo	Per ponti, viadotti e cavalcavia				Per strutture idrauliche		
	PP		PA		PE		
Protez.	Elevatissima		Elevata		Elevata	Media	
Spessore	<i>primer</i> 50 µm + finitura 300 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 200 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 300 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 200 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 100 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 600 µm	<i>primer</i> 50 µm + finitura 400 µm
Destinazione d'uso indicativa	elementi snelli e/o flessibili		elementi non a contatto permanente con l'acqua		elementi tozzi e/o rigidi	canali, tombini ed opere in alveo	
	pile snelle travi cordoli intradosso sbalzi		interno cassoni		pile tozze pulvini(*) spalle strutture ad arco	su corsi d'acqua caratter. da p > 5% d <sub>TS</sub> > 10mm	su corsi d'acqua caratter. da p ≤ 5% d <sub>TS</sub> ≤ 10mm

d<sub>TS</sub> = diametro del trasporto solido.

(\*) Se l'intervento coinvolge pile e pulvini, verrà utilizzato il medesimo rivestimento delle pile.

### Di tipo PE

Sistema protettivo rigido epossipoliamicidico applicabile a rullo o con sistema *airless*. Costituito da primer epossipoliamicidico con spessore di 50 µm e finitura epossipoliamicidica, può essere applicato in funzione del grado di protezione richiesto:

- protezione media per canali, tombini ed opere in alveo (pile, fondazioni, muri di sponda, briglie, ecc.), su corsi d'acqua caratterizzati da pendenza  $\leq 5\%$  e con trasporto solido di inerti di diametro  $\leq 10$  mm. E' richiesto uno spessore della finitura pari a 400 µm;
- protezione elevata per canali, tombini ed opere in alveo (pile, fondazioni, muri di sponda, briglie, ecc.), su corsi d'acqua caratterizzati da pendenza  $> 5\%$  e con trasporto solido di inerti di diametro  $> 10$  mm. E' richiesto uno spessore della finitura pari a 600 µm.

## 25.2. Requisiti e metodi di prova

Come viene riportato nella norma UNI EN 1504/2, la protezione pellicolare filmogena di strutture in c.a. consente di:

- proteggere dall'ingresso dell'aggressivo;
- incrementare la resistività elettrica mediante limitazione del tenore di umidità.

Affinché il sistema protettivo possa assolvere a tali funzioni deve essere caratterizzato dai seguenti requisiti:

- Capacità di barriera: è la capacità del sistema protettivo di isolare il calcestruzzo dagli aggressivi presenti nell'ambiente, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni cloruro, all'anidride carbonica, ed all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione; nei riguardi di queste sostanze la pellicola di protettivo deve naturalmente risultare il più possibile resistente;
- Resistenza ai raggi ultravioletti: indica la capacità del protettivo a non virare di colore ed ad invecchiare all'esposizione dei raggi UV;
- Permeabilità al vapore d'acqua: la pellicola, sulle strutture aeree (fuori terra) dovrà risultare il più permeabile possibile al vapor d'acqua proveniente dall'interno della struttura; in caso contrario con il variare della temperatura possono generarsi pressioni di vapore all'interfaccia pellicola/calcestruzzo, capaci di causarne il distacco;
- Aderenza: è la capacità del sistema protettivo di aderire nel tempo al supporto, ruolo fondamentale in tal senso svolge il *primer* quale promotore di adesione tra il supporto cementizio ed il rivestimento protettivo. Tali *primer* sono formulati di resina in forma liquida, monocomponenti oppure bicomponenti (base + induritore) e si applicano a rullo oppure mediante apparecchiatura a spruzzo di tipo *airless* per spessori di circa 50 µm;
- Crack bridging ability: è la capacità di mantenere integra la pellicola attraverso cavillature ( $< 300$  µm) già esistenti nel conglomerato, che normalmente variano di apertura con le variazioni termiche e con il ritiro;
- Resistenza all'abrasione: indica la capacità di resistere all'usura sotto l'azione di azioni abrasive quali pedonabilità, traffico, contatto con acqua in movimento contenete solidi più o meno grossi.

Nella tabella riportata più avanti sono indicati i principali requisiti ed i corrispondenti metodi di prova mediante i quali è possibile la caratterizzazione prestazionale dei sistemi protettivi filmogeni.

## 25.3. Accettazione e specifiche prestazionali dei sistemi protettivi

Prima che i sistemi protettivi proposti dall'Appaltatore siano impiegati, la Direzione Lavori dovrà verificare che siano tra quelli omologati all'uso da parte del Committente, in base a prove dirette od a seguito dell'esame di prove eseguite presso Laboratori Ufficiali.

L'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori, dovrà fornire alla Direzione Lavori la documentazione tecnica per la qualifica dei materiali che intende impiegare, dimostrando la piena rispondenza ai requisiti ed alle prestazioni richieste (dichiarazione rilasciata dal produttore).

La Direzione Lavori in tempo utile rispetto al programma lavori esprimerà il suo parere, potendo comunque prescrivere l'esecuzione di prove su campioni di materiali prelevati in contraddittorio. Saranno altresì richieste, con le stesse modalità, verifiche su campioni di materiale di normale fornitura e dichiarazioni che attestino le prestazioni specifiche delle partite di materiale, che sono consegnate di volta in volta dalle Società Produttrici.

I Produttori devono possedere la certificazione di qualità ai sensi della normativa UNI EN ISO 9001 o dimostrare di avere implementato un sistema di gestione della qualità di analoghe caratteristiche.

La Direzione Lavori su indicazione del Committente, potrà richiedere che il produttore fornisca, congiuntamente al materiale, una dichiarazione che attesti le prestazioni specifiche della partita di materiale che viene consegnato di volta in volta.

#### Requisiti e metodi di prova

REQUISITI E METODI DI PROVA	PROTETTIVI DI TIPO			
	PP	PA	PM	PE
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542			
Permeabilità al vapor d'acqua	UNI EN ISO 7783/1 UNI EN ISO 7783/2			
Permeabilità alla CO <sub>2</sub>	UNI EN 1062/6			
<i>Crack bridging ability</i>	EN 1062/7		-----	
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687/1			
Permeabilità all'acqua (assorbimento capillare)	UNI EN 1062/3			
Invecchiamento artificiale (2000 ore sotto raggi UV e umidità relativa)	UNI EN 1062/11			
Resistenza all'abrasione	-----		UNI EN ISO 5470/1	

#### Prestazioni dei sistemi protettivi

REQUISITI	PROTETTIVI DI TIPO			
	PM	PA	PP	PE
Adesione al calcestruzzo	> 3 MPa	> 2 MPa	> 3 MPa	> 3 MPa
Permeabilità al vapor d'acqua: - coefficiente di diffusione al vapore - spessore di aria equivalente	$\mu < 32000$ Sd < 3,2 m (spess. 100 $\mu\text{m}$ )	$\mu < 1000$ Sd < 0,3 m (spess. 300 $\mu\text{m}$ )	$\mu < 6000$ Sd < 1,8 m (spess. 300 $\mu\text{m}$ )	$\mu < 60000$ Sd < 36 m (spess. 600 $\mu\text{m}$ )
Permeabilità alla CO <sub>2</sub> - coefficiente di diffusione alla CO <sub>2</sub> - spessore di aria equivalente	$\mu > 1000000$ Sd > 100 m (spess. 100 $\mu\text{m}$ )	$\mu > 700000$ Sd > 140 m (spess. 200 $\mu\text{m}$ )	$\mu > 1300000$ Sd > 260 m (spess. 200 $\mu\text{m}$ )	$\mu > 1500000$ Sd > 600 m (spess. 400 $\mu\text{m}$ )
<i>Crack bridging ability</i> <sup>(1)</sup>	-----	100 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	-----
Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti - aderenza al calcestruzzo per trazione diretta dopo i cicli	> 3 MPa	> 2 MPa	> 3 MPa	> 3 MPa
Permeabilità all'acqua <sup>(2)</sup> (assorbimento capillare)	< 0,08 $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$	< 0,1 $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$	< 0,005 $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$	< 0,005 $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$
Invecchiamento artificiale	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado	Schiarimento colore
Resistenza all'abrasione	Perdita in peso < 500 mg	-----		Perdita in peso < 500 mg

<sup>(1)</sup> Spessore del protettivo 300  $\mu\text{m}$ .

<sup>(2)</sup> Si ritiene che se l'assorbimento capillare risulta essere < 0,01  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-0,5}$  non vi sia alcuna diffusione dello ione Cloro.

## 25.4. Preparazione del supporto e modalità d'applicazione del sistema protettivo

La preparazione del calcestruzzo di supporto dovrà essere eseguita mediante sabbiatura sia per eliminare dalla superficie eventuali contaminanti, disarmanti e/o particelle in fase di distacco, che per aumentare l'aderenza del protettivo grazie ad una microruvidità superficiale, seguita da pulizia con aria compressa immediatamente prima della applicazione.

Qualora il supporto presenti vespai od altre imperfezioni superficiali si dovrà provvedere al risanamento mediante rasatura con malte di tipo MR1 come descritto nell'art. 26.

Quando il supporto presenta veri e propri degradi, ammaloramenti profondi, si dovrà asportare il calcestruzzo degradato e/o contaminato e provvedere al risanamento con malte o betoncini cementizi premiscelati ad espansione contrastata in aria come descritto nell'art. 26. Quando il sistema protettivo viene applicato sul materiale di ripristino la superficie può non essere sabbiata.

### Pulizia della superficie

Tutte le superfici su cui verrà applicato il protettivo dovranno essere pulite mediante aria compressa o lavaggio a caduta.

La Direzione Lavori si riserva comunque di approvare i risultati ottenuti dalla preparazione del supporto. Tale approvazione non ridurrà comunque la responsabilità dell'Appaltatore relativa al raggiungimento dei requisiti finali del rivestimento protettivo in opera.

### Applicazione del sistema protettivo (primer + finitura)

La temperatura di applicazione sia per i *primers* che per le finiture dovranno essere quelle riportate sulle schede tecniche dei prodotti prescelti.

E' comunque vietata l'applicazione a temperatura inferiore a + 5°C.

Al momento dell'applicazione del *primer* la superficie del supporto dovrà essere asciutta.

I *primer* e le finiture potranno essere applicate sia con metodo *airless*, sia con rullo.

Il tempo intercorrente tra l'applicazione di strati successivi dovrà essere conforme a quanto riportato sulle schede tecniche del prodotto.

L'applicazione della finitura dovrà avvenire preferibilmente a spruzzo mediante metodo *airless*; è consentita l'applicazione a pennello od a rullo solo nel caso di protezione di superfici d'estensione limitata.

Lo spessore del sistema protettivo indicato nel progetto si intende sempre come spessore di *film* secco, ossia a rivestimento indurito.

Il prodotto non deve provocare inconvenienti d'alcun genere agli applicatori, che comunque durante la miscelazione e l'applicazione dovranno indossare guanti, occhiali ed idonei indumenti di lavoro.

In particolare il prodotto non deve contenere idrocarburi clorurati, metanolo, benzene ed altre sostanze d'analogia o maggiore tossicità.

## 25.5. Prove, controllo delle prestazioni e degli spessori, penali

La Direzione Lavori, prima dell'inizio delle lavorazioni, dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per la sabbiatura del calcestruzzo, per la pulizia del supporto e per l'applicazione dei sistemi protettivi, siano idonei ad ottenere quanto richiesto dal presente Capitolato e dal progetto.

Tali verifiche dovranno essere reiterate anche in corso d'opera, per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come descritto in precedenza, nel progetto e come riportato sulle schede tecniche dei prodotti utilizzati.

In corso d'opera le prove potranno essere ripetute con la frequenza richiesta dalla Direzione Lavori, su indicazione del Committente, ed inoltre la stessa Direzione Lavori effettuerà controlli dello spessore sul film umido<sup>(1)</sup> della singola mano applicata con le seguenti modalità:

---

<sup>(1)</sup> Lo spessore di *film* umido, corrispondente allo spessore di film secco previsto in progetto, si ottiene moltiplicando lo spessore di *film* secco per 100 e dividendo per il valore dei solidi in volume del prodotto da applicare (derivato dalla scheda tecnica del prodotto); il valore ottenuto verrà arrotondato alla decina.



- misura dello spessore mediante "pettine" d'ideale graduazione, secondo le specifiche della ASTM D 4414 (o ASTM D 1212);
- per superfici globali da proteggere inferiori a 2000 m<sup>2</sup>, almeno una serie di 20 misure;
- per superfici globali da proteggere superiori a 2000 m<sup>2</sup>, almeno una serie di 40 misure.

la serie di misure sarà, se possibile, omogeneamente distribuita sulla superficie da verificare ed il suo valore medio non dovrà essere minore di quello di progetto.

Nel caso risulti un valore medio inferiore allo spessore di progetto, l'Appaltatore, a sua cura e spese, provvederà ad integrare lo spessore mancante mettendo in atto tutti gli accorgimenti necessari per la buona riuscita dell'integrazione.

Qualora dalle prove eseguite, anche su materiali posti in opera, risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti al presente articolo, il materiale verrà accettato ma il suo prezzo unitario verrà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato. Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla sostituzione e/o alla rimozione dei materiali già posti in opera.

## 26. Acciaio per carpenteria

### 26.1. Norme di riferimento

L'Appaltatore sarà tenuto all'osservanza delle norme vigenti, con particolare riferimento alle seguenti (v. anche l'articolo relativo ai materiali e sistemi da impiegarsi):

- L. 05.11.1971 n.1086;
- D.M. 14/01/2008 e relativa circolare ministeriale esplicativa;
- Eurocodice 3 (UNI EN 1993) "Progettazione delle strutture in acciaio";
- Eurocodice 4 (UNI EN 1994) "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo";
- "Manuale di progettazione dei ponti" di RFI;
- Istruzione tecnica RFI n. 44/M "Specifiche tecniche relative al collaudo dei materiali ed alla costruzione delle travate metalliche e miste acciaio-calcestruzzo per ponti ferroviari e cavalferrovia";
- Norme UNI EN seguenti:

UNI EN 10021:2007	12/04/2007	Condizioni tecniche generali di fornitura dei prodotti di acciaio
UNI EN 10024:1996	31/07/1996	Travi ad I ad ali inclinate laminate a caldo. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10025-1:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura
UNI EN 10025-2:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali
UNI EN 10025-3:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato
UNI EN 10025-4:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termo meccanica
UNI EN 10025-5:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica
UNI EN 10025-6:2005	01/04/2005	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 6: Condizioni tecniche di fornitura per prodotti piani di acciaio per impieghi strutturali ad alto limite di snervamento, bonificati
UNI EN 10027-1:2006	12/01/2006	Sistemi di designazione degli acciai - Parte 1: Designazione simbolica
UNI EN 10029:1992	02/06/1992	Lamiere di acciaio laminate a caldo, di spessore $\geq 3$ mm. Tolleranze dimensionali, di forma e sulla massa.
UNI EN 10034:1995	30/09/1995	Travi ad I e ad H di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.

UNI EN 10055:1998	30/04/1998	Profilati a T ad ali uguali e a spigoli arrotondati di acciaio, laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze dimensionali e di forma
UNI EN 10056-1:2000	31/07/2000	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali - Dimensioni
UNI EN 10056-2:1995	30/11/1995	Angolari ad ali uguali e disuguali di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10163-1:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 1: Requisiti generali
UNI EN 10163-2:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 2: Lamiere e larghi piatti
UNI EN 10163-3:2005	01/06/2005	Condizioni di fornitura relative alla finitura superficiale di lamiere, larghi piatti e profilati di acciaio laminati a caldo - Parte 3: Profilati
UNI EN 10210-1:2006	16/11/2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
UNI EN 10210-2:2006	16/11/2006	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo
UNI EN 10216-1:2005	01/06/2005	Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 1: Tubi di acciaio non legato per impieghi a temperatura ambiente
UNI EN 10216-2:2005	01/06/2005	Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 2: Tubi di acciaio non legato e legato per impieghi a temperatura elevata
UNI EN 10216-3:2005	01/06/2005	Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 3: Tubi di acciaio legato a grano fine
UNI EN 10216-4:2005	01/06/2005	Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 4: Tubi di acciaio non legato e legato per impieghi a bassa temperatura
UNI EN 10216-5:2005	01/01/2005	Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 5: Tubi di acciaio inossidabile
UNI EN 10217-1:2005	01/06/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 1: Tubi di acciaio non legato per impiego a temperatura ambiente
UNI EN 10217-2:2005	01/06/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 2: Tubi saldati elettricamente di acciaio non legato e legato per impieghi a temperatura elevata
UNI EN 10217-3:2005	01/06/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 3: Tubi di acciaio legato a grano fine
UNI EN 10217-4:2005	01/07/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 4: Tubi saldati elettricamente di acciaio non legato per impieghi a bassa temperatura
UNI EN 10217-5:2005	01/07/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 5: Tubi saldati ad arco sommerso di acciaio non legato e legato per impieghi a temperatura elevata
UNI EN 10217-6:2005	01/06/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 6: Tubi saldati ad arco sommerso di acciaio non legato per impieghi a bassa temperatura
UNI EN 10217-7:2005	17/11/2005	Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 7: Tubi di acciaio inossidabile
UNI EN 10219-1:2006	16/11/2006	Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
UNI EN 10219-2:2006	16/11/2006	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 10220:2003	01/08/2003	Tubi di acciaio, saldati e senza saldatura - Dimensioni e masse lineiche
UNI EN 10238:1998	30/06/1998	Prodotti di acciaio per impieghi strutturali sabbiati in automatico e preverniciati con una mano di fondo applicata in automatico.
UNI EN 10248-1:1997	30/06/1997	Palancole laminate a caldo di acciai non legati - Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 10248-2:1997	30/06/1997	Palancole laminate a caldo di acciai non legati. Tolleranze dimensionali e di forma
UNI EN 10249-1:1997	31/07/1997	Palancole profilate a freddo di acciai non legati. Condizioni tecniche di fornitura.
UNI EN 10249-2:1997	31/07/1997	Palancole profilate a freddo di acciai non legati. Tolleranze dimensionali e di forma.
UNI EN 10255:2005	01/01/2005	Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura - Condizioni tecniche di fornitura

## 26.2. Generalità e classificazione dei tipi di acciaio (secondo UNI EN 10025)

Si riepiloga lo schema sintetico di designazione:

- S                      simbolo dell'acciaio per impiego strutturale;
- nnn (es. 355)      indicazione del carico unitario di snervamento minimo prescritto per spessori  $\leq 16$  mm, espresso in  $N/mm^2$ ;
- J0, J2, K2          designazione della qualità, relativamente alla saldatura ed ai valori di resilienza prescritti;
- W                     indicazione dell'acciaio "autopassivante" (Cor-ten o similare);

- Gx, Gy stato di fornitura a discrezione del produttore.

L'impiego di un particolare tipo di acciaio per una particolare opera è stabilito dal progetto. Previa approvazione preventiva del Direttore dei Lavori e senza che ciò possa dar luogo a richieste di maggiori compensi, al solo fine di ottenere una maggiore uniformità nelle forniture di acciaio, potranno essere previste modifiche agli acciai da impiegare, rispetto alle previsioni di progetto, purché ciò non determini minori prestazioni di resistenza, duttilità, funzionalità, durabilità e manutenibilità delle opere interessate.

I valori nominali delle principali caratteristiche degli acciai da carpenteria sono i seguenti:

- modulo elastico:  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ;
- coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,3$ ;
- modulo di elasticità trasversale:  $G = E / [2 * (1 + \nu)]$ ;
- coefficiente di espansione termica lineare:  $\alpha = 1,2 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- densità:  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ .

Le caratteristiche dei principali tipi di acciaio da carpenteria sono indicate nelle tabelle che seguono, riportate al punto 11.3.4.1 del D.M. 14/01/2008 dove  $f_{yk}$  e  $f_{tk}$  sono, rispettivamente, le tensioni caratteristiche di snervamento e di rottura:

#### Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

#### Laminati a caldo con profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

UNI EN 10219-1				
S 235 H	235		360	
S 275 H	275		430	
S 355 H	355		510	
S 275 NH/NLH	275		370	
S 355 NH/NLH	355		470	
S 275 MH/MLH	275		360	
S 355 MH/MLH	355		470	
S 420 MH/MLH	420		500	
S460 MH/MLH	460		530	

A puro titolo indicativo si riportano alcune condizioni di impiego dell'acciaio, con i relativi principali parametri prestazionali:

Acciaio in lamiere e profili laminati a caldo

- acciaio per spessori  $\leq 40$  mm: S355J2+N (ex Fe 510);
- tensione caratteristica di snervamento per sp.  $\leq 40$  mm:  $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$ ;
- tensione caratteristica di rottura per sp.  $\leq 40$  mm:  $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$ ;
- resistenza di calcolo a trazione sp.  $\leq 40$  mm:  $f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$ ;
- acciaio per spessori  $> 40$  mm: S355K2+N (ex Fe 510);
- tensione caratteristica di snervamento sp.  $> 40$  mm:  $f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2$ ;
- tensione caratteristica di rottura sp.  $> 40$  mm:  $f_{tk} = 470 \text{ N/mm}^2$ ;
- resistenza di calcolo a trazione sp.  $> 40$  mm:  $f_{yd} = 319 \text{ N/mm}^2$ .

Acciaio per connettori (pioli tipo Nelson):

- S235 J2G3+C450 o equivalente, avente le seguenti caratteristiche minime:

Yield point	$(R_e)$ min. $350 \text{ N/mm}^2$
Tensile strengths	$(R_m)$ min. $450 \text{ N/mm}^2$
Elongation	$(A_5)$ min. 15%

Acciaio per opere provvisionali

- acciaio per palancole: S 355 GP;
- acciaio per altra carpenteria metallica: S 355 JR.

## 26.3. Approvvigionamento materiali da costruzione.

### 26.3.1. Generalità

Tutti i materiali impiegati dovranno essere qualificati e marcati CE ai sensi delle vigenti norme.

Per le strutture principali sarà ammesso di norma solo l'uso di acciai con caratteristiche meccaniche non inferiori a quelle dell'acciaio S355, mentre è generalmente ammesso l'uso di acciai autopassivanti.

La marcatura dovrà risultare leggibile ed il produttore dovrà accompagnare la fornitura con l'attestato di controllo e la dichiarazione che il prodotto è qualificato.

L'Appaltatore dovrà esibire gli ordini effettuati per i materiali da impiegare, contenenti le specifiche tecniche richieste in progetto, i controlli e le certificazioni cui i materiali stessi dovranno essere sottoposti. In particolare, se non diversamente indicato in progetto, le lamiere dovranno essere approvvigionate con tolleranza sullo spessore "classe A" UNI EN 10029.

Insieme con gli ordini emessi l'Appaltatore dovrà esibire le relative conferme d'ordine da parte del produttore, con esplicita accettazione delle specifiche tecniche richieste e indicazione dei tempi di consegna.

Qualora l'Appaltatore impieghi materiale giacente a magazzino ne dovrà fornire la documentazione d'origine del produttore.

### **26.3.2. Disegni di fabbricazione**

Prima dell'approvvigionamento dei materiali l'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, in copia riproducibile, i disegni di fabbricazione (detti anche "di officina") controfirmati, redatti dall'Appaltatore in conformità al progetto ed alle specifiche tecnologie utilizzate dall'officina che realizzerà i componenti delle opere e contenenti tutti i dettagli costruttivi che saranno realizzati.

L'Appaltatore dovrà inoltre consegnare una relazione di calcolo contenente la verifica dell'idoneità degli eventuali dettagli modificati proposti, le modalità di montaggio e varo con indicazione di schemi statici transitori e con le verifiche complete della struttura durante le operazioni di montaggio.

I disegni di fabbricazione consegnati dall'Appaltatore dovranno in particolare contenere le seguenti indicazioni:

- diametri e classi dei bulloni impiegati; di regola si dovranno impiegare bulloni sia normali che ad alta resistenza dei seguenti diametri: D = 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27 mm. E' ammesso solo l'uso di bulloni neri; i bulloni zincati sono ammessi solo previa esplicita previsione progettuale o accettazione da parte della Direzione Lavori ed in questo caso i bulloni devono essere ordinati specificamente "per zincatura" (ossia il bullone deve essere realizzato con acciaio compatibile con la zincatura a caldo);
- tipologia dei collegamenti bullonati (se ad attrito o a taglio); in particolare per i collegamenti ad attrito saranno impiegati bulloni precaricati a serraggio controllato. E' ammesso l'uso di bulloni HRC a serraggio controllato meccanicamente (con rottura del codolo) secondo quanto previsto dalle norme armonizzate EN 14399-10 e, per quanto non in contrasto con la suddetta norma, le norme NF E 25-812;
- diametri dei fori in funzione dei bulloni e della tipologia del collegamento;
- coppie di serraggio dei bulloni;
- elementi di posizionamento dei pioli di collegamento tra membrature metalliche ed elementi in c.a. con esse destinati a collaborare, con particolare attenzione ad evitare interferenze non risolubili con le armature del c.a. e del c.a.p. e con i tralicci delle coppelle, soprattutto per gli impalcati in curva. E' ammesso (salvo specifiche diverse prescrizioni del progetto) solo l'utilizzo di pioli elettrosaldati tipo Nelson secondo norme UNI EN ISO 13918 in acciaio ex ST 37-3K (S235 J2G3 + C450) con caratteristiche meccaniche a rottura, snervamento e duttilità non inferiori alle seguenti (vedi anche specifiche più sopra indicate):
  - $f_y > 350$  MPa;
  - $f_t > 450$  MPa;
  - allungamento  $\geq 15\%$ ;
  - strizione  $\geq 50\%$ ;
- principi di esecuzione delle coppelle e distribuzione dei relativi tralicci di armatura;
- classi delle saldature con indicazione delle dimensioni dei cordoni;
- indicazione dei giunti d'officina e dei giunti in opera;
- controfrecce d'officina;
- schemi e fasi di montaggio con indicazione completa delle eventuali opere provvisorie necessarie.

In particolare, per quanto riguarda le saldature, i disegni di fabbricazione dovranno riportare tutti i parametri tecnologici significativi, ovvero:

- procedimenti di saldatura;
- preparazioni dei lembi;
- materiali d'apporto;
- specifiche tecniche di fabbricazione, controllo e collaudo.

Il progetto così completato potrà essere sottoposto, a discrezione della Direzione Lavori, all'approvazione dell'Istituto Italiano della Saldatura (I.I.S.) o di altro soggetto terzo, dalla stessa espressamente autorizzato.

I disegni di fabbricazione dovranno essere corredati da distinta materiali contenente, numero, qualità, dimensioni, provenienza e peso teorico di ciascun elemento costituente la struttura. Dovranno inoltre far riferimento a disegni di montaggio che indichino la collocazione del singolo elemento e che consentano alla Direzione Lavori il controllo di rispondenza rispetto al progetto esecutivo.

Gli ordini per gli approvvigionamenti dei materiali dovranno essere emessi dopo l'approvazione da parte della Direzione Lavori dei disegni di fabbricazione presentati dall'Appaltatore.

## **26.4. Lavorazioni di officina**

### **26.4.1. Presentazione documentazione tecnica**

Una volta emesso l'ordine di approvvigionamento del materiale, le lavorazioni di officina, intese come prefabbricazione delle carpenterie metalliche in parti o conci di opportune complessità, dimensioni e peso, verranno comunque precedute da due ulteriori fasi di controllo, una documentale ed una di collaudo dei materiali.

Per la prima di esse l'Appaltatore, prima di dar corso alle lavorazioni, dovrà sottoporre alla Direzione Lavori la seguente documentazione:

- “piano di fabbricazione e controlli” che riassumerà tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati dall'officina per garantire la qualità attesa;
- “piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali approvvigionati”, con riferimento a:
  - posizioni e marche di officina;
  - marcatura di qualificazione del prodotto di cui al paragrafo 11.3.1 “Prescrizioni comuni a tutte le tipologie di acciaio” del D.M. 14/01/2008;
  - estremi di identificazione dei relativi documenti di collaudo.

### **26.4.2. Collaudo tecnologico di stabilimento.**

Tutti i materiali destinati alla costruzione di strutture in acciaio dovranno essere collaudati prima dell'inizio delle rispettive lavorazioni, con riferimento al piano di fabbricazione.

Particolare attenzione verrà posta nei controlli di assenza di sfogliature ed inclusioni con riferimento a dettagli costruttivi che contemplino azioni ortogonali al piano di laminazione.

E' fatto obbligo all'Appaltatore di avvertire la Direzione Lavori dell'arrivo nella sua officina dei materiali che saranno impiegati nella costruzione e di concordare con la Direzione Lavori la data di ciascuna operazione di collaudo.

Le prove sui materiali si svolgeranno presso i Laboratori Ufficiali indicati dalla Direzione Lavori.

La Direzione Lavori potrà, a suo insindacabile giudizio, autorizzare l'effettuazione delle prove presso i laboratori degli stabilimenti di produzione, purché questi siano forniti dei mezzi e delle attrezzature necessarie, tarate e controllate da un Laboratorio Ufficiale, ai sensi dell'art. 20 della L. 05.11.1971 n. 1086.

L'entità dei lotti da sottoporre a collaudo, il numero e le modalità di prelievo dei campioni, saranno di regola conformi alle norme UN EN ISO377, UNI 552, UNI EN 1002-1, UNI EN 10045-1. La Direzione Lavori ha comunque la facoltà di prelevare in qualunque momento della lavorazione campioni di materiali da sottoporre a prova presso laboratori di sua scelta per verificarne la rispondenza alle Norme di accettazione ed ai requisiti di Progetto.

Si precisa che tutti gli acciai dei gradi JR, JO, J2, K2 da impiegare nelle costruzioni dovranno essere sottoposti, in sede di collaudo tecnologico, al controllo della resilienza. Per ogni operazione di collaudo sarà redatto apposito verbale, che sarà firmato dalla Direzione Lavori e dall'Appaltatore.

Di questo verbale sarà consegnato l'originale alla Direzione Lavori.

Un'altra copia sarà conservata dall'Appaltatore che avrà l'obbligo di esibirla a richiesta della Direzione Lavori, come specificato al successivo paragrafo.

### 26.4.3. Prefabbricazione

Le lavorazioni di officina saranno effettuate secondo quanto previsto nell'apposito piano di fabbricazione.

Per quanto riguarda le tolleranze esecutive, si fa riferimento alla norma UNI EN 1090, se non diversamente indicato in progetto. Eventuali deroghe, adeguatamente motivate, dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori. Deroghe non esplicitamente autorizzate, ancorchè contenute nel piano di fabbricazione, non saranno accettate.

Per ciascuna opera singola o per prototipi di ciascuna serie di opere, è prescritto il premontaggio in officina. Eventuali deroghe dovranno essere esplicitamente autorizzate dalla Direzione Lavori.

Alla Direzione Lavori è riservata comunque la facoltà di eseguire in ogni momento della lavorazione tutti i controlli che riterrà opportuni per accertare che i materiali impiegati siano quelli collaudati, che le strutture siano conformi ai disegni di Progetto e che le stesse siano eseguite a perfetta regola d'arte.

In particolare l'Appaltatore dovrà attenersi alle seguenti disposizioni:

- il raddrizzamento e lo spianamento, quando necessari, devono essere fatti preferibilmente con dispositivi agenti per pressione;
- possono essere usati i riscaldamenti locali (caldo), purché programmati in modo da evitare eccessive concentrazioni di tensioni residue e di deformazioni permanenti. In particolare, per acciai termomeccanici, eventuali trattamenti termici dovranno essere autorizzati dal produttore con riferimento al ciclo produttivo.
- è ammesso il taglio a ossigeno, purché regolare;
- i tagli irregolari devono essere ripassati con la smerigliatrice;
- i fori per i bulloni devono essere eseguiti di norma col trapano, con assoluto divieto dell'uso della fiamma, e devono presentare superficie interna cilindrica liscia e priva di screpolature e cricche; le eventuali sbavature sul loro perimetro devono essere asportate mediante molatura locale;
- l'uso di punzonatrici per l'esecuzione dei fori, quando non esplicitamente indicato nel progetto, deve essere preventivamente autorizzato dal Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista. In ogni caso deve essere prestata particolare attenzione, adottando se del caso provvedimenti atti a ridurre gli effetti dell'incrudimento al contorno dei fori (ad es. punzonando con diametro ridotto e poi trapanando o alesando il foro) nei seguenti casi:
  - lamiere di spessore superiore a 10 mm;
  - materiale di base di non adeguata duttilità;
  - presenza di sensibile fatica strutturale nella parte interessata;
  - elementi prevalentemente tesi;
- i bulloni ad alta resistenza, nel caso di collegamenti a taglio, non dovranno avere il gambo filettato per l'intera lunghezza; la lunghezza del tratto non filettato dovrà essere di norma maggiore o uguale di quella della somma degli spessori delle parti da serrare e si dovrà sempre far uso di rosette, sia sotto la testa, sia sotto il dado; è tollerato tuttavia che non più di mezza spira del filetto rimanga compresa nel foro.

Non sono ammesse unioni a taglio per gli elementi soggetti a vibrazioni e/o inversione di sforzo. Per gli elementi di controvento e di diaframma soggetti ad inversione di carico i collegamenti bullonati dovranno comunque essere verificati ad attrito, almeno per la quota parte di carico alternato dovuta alle azioni variabili da traffico. Nelle unioni ad attrito le superfici dovranno presentarsi pulite, prive cioè di olio, grasso, calamina, vernice.

Per coefficienti di attrito superiori a 0,3 si dovranno presentare adeguati test a comprova del coefficiente proposto, ed in ogni caso per superfici a contatto verniciate. Al riguardo si faccia riferimento agli Eurocodici ed in particolare alle norme UNI EN 1993-1-1, 1993-1-8 ed UNI EN 1090-1.

### 26.5. Montaggio

L'Appaltatore sottoporrà al preventivo benestare della Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare ("progetto del montaggio"), ferma restando la piena responsabilità dell'Appaltatore stesso per quanto riguarda l'esecuzione delle operazioni di montaggio, la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle.

Il sistema prescelto potrà essere in alternativa a quello previsto in progetto, purchè ne rispetti i livelli di sicurezza e sia idoneo a consentire la realizzazione della struttura in conformità alle disposizioni contenute nel progetto stesso ed in accordo con i tempi contrattuali.

Il progetto del montaggio, fatte salve le prescrizioni contenute nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e nel Piano Operativo di Sicurezza (POS), senza l'ottemperanza alle quali è in ogni caso vietato procedere, deve contenere una descrizione esauriente del metodo e una dichiarazione dei livelli di sicurezza ottenuti. Dovrà dare evidenza, fra l'altro, dei seguenti aspetti:

- posizione e tipologia dei giunti di cantiere;
- massima dimensione e peso dei singoli pezzi;
- portata e raggio d'azione delle gru previste, con verifica dei relativi scarichi a terra;
- identificazione di eventuali azioni orizzontali derivanti dal sistema di montaggio e di azioni verticali eccedenti i valori di progetto;
- accessori per garantire accessi e operazioni sicure;
- sequenza di montaggio e descrizione delle varie fasi;
- verifiche di stabilità nelle fasi transitorie;
- requisiti di controventature e/o pile provvisorie
- condizioni per la rimozione delle strutture provvisorie;
- evidenza delle condizioni di particolare rischio;
- controfrecce, compreso i valori da controllare in via transitoria;
- fasi di getto delle solette per strutture miste acciaio-calcestruzzo.

Prima di dar corso alla posa in opera degli impalcati dovrà essere consegnato alla Direzione Lavori un verbale di verifica del piano o delle quote di posa degli stessi, firmato dall'Appaltatore e dall'eventuale Subappaltatore in segno di manifesta accettazione. In particolare si fa riferimento alle tolleranze di posa previste dalle norme UNI EN 1090-1 e 1090-2.

Prima del posizionamento in opera degli impalcati, indipendentemente dal metodo di varo, si dovranno controllare:

- geometria di assemblaggio di ogni singolo concio;
- regolare accoppiamento tra conci contigui;
- geometria di controventi e diaframmi, con eventuale verifica delle tolleranze foro/bullone;
- controllo a campione degli spessori impiegati;
- acquisizione dei certificati di approvazione, da parte dell'Ente terzo a ciò autorizzato, di eventuali giunti saldati di cantiere;
- controlli di serraggio e relative superfici di accoppiamento per eventuali giunti bullonati eseguiti a piè d'opera.

Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di progetto. In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la controfrecce ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di progetto, rispettando le tolleranze previste, con particolare riferimento alle norme UNI EN 1090-1 e 1090-2.

A fine posa in opera degli impalcati e prima di dar corso alle fasi di getto delle solette in c.a., si dovrà controllare quanto segue:

- geometria degli impalcati, che dovrà rimanere entro le prestabilite tolleranze di costruzione, con particolare riferimento alla corrispondenza tra assi appoggi e corrispondenti elementi irrigidenti d'impalcato;
- contromonte residue;
- nei casi in cui si abbia ragione di dubitare dell'entità delle reazioni agli appoggi, verifica delle medesime con martinetti idraulici.

Relativamente alle modalità di montaggio ed al controllo dei bulloni si farà riferimento alle norme UNI EN 1090-2.



Nell'impiego delle attrezzature di montaggio, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente fossero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata ed in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, e tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprassuolo e di sottosuolo.

Durante il carico, il trasporto, lo scarico, il deposito e il montaggio delle strutture, si dovrà porre la massima cura per evitare che le stesse risultino deformate o soprasollecitate.

Le parti a contatto con funi, catene ed altri organi di sollevamento dovranno essere opportunamente protette, tenuto conto tra l'altro che tutte le strutture, prima di essere trasferite a piè d'opera, devono essere trattate in officina con sabbiatura e, per le strutture con acciaio non autoprotetto, con una mano di *primer*.

La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.

Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura dei fori che non risultino centrati e nei quali i bulloni previsti in progetto non entrino con sufficiente facilità.

Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dalle norme in vigore, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore (per sostituzione di bulloni M27 è ammesso l'uso di bulloni M30).

Le superfici di contatto al montaggio, nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza devono presentarsi pulite, prive di olio, scaglie di laminazione, macchie di grasso. Eventuali vernici saranno ammesse soltanto se previste a Progetto ed in conformità ai relativi *test* per la verifica del coefficiente di attrito.

È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave idraulica purché questo sia poi controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio Ufficiale in data non anteriore a tre mesi.

Per ogni unione con bulloni l'Appaltatore effettuerà, alla presenza della Direzione Lavori, un controllo di serraggio sul numero di bulloni indicato dalla Direzione Lavori, e comunque non inferiore al 10% del totale con un minimo di quattro; se anche un solo bullone non rispondesse alle prescrizioni di serraggio, il controllo dovrà essere esteso a tutti i bulloni. Soltanto in caso di bulloni a precarico garantito meccanicamente il serraggio sarà controllato visivamente.

Per i cavalcavia ed i cavalcaferrovia l'assemblaggio ed il montaggio in opera delle strutture dovranno essere effettuati riducendo al minimo le soggezioni per il traffico stradale o ferroviario, di norma provvedendo al premontaggio delle strutture a piè d'opera ed alla loro posa in opera in poche operazioni, durante le quali le interruzioni del traffico saranno state preventivamente concordate con la Direzione Lavori e con i soggetti gestori delle infrastrutture interferite.

Per le strutture in sistema misto acciaio-calcestruzzo, nel caso in cui le solette in c.a. siano realizzate mediante l'impiego di coppelle prefabbricate, queste dovranno di norma essere costituite da calcestruzzo della stessa classe della soletta gettata in opera o superiore. Dovranno inoltre essere sottoposte a prova di carico, nello stabilimento di produzione, con un carico corrispondente al getto in opera incrementato del 50 %. Le frecce di prova dovranno essere inferiori alle corrispondenti teoriche ed i residui inferiori al 10 % delle frecce reali massime, con incrementi nulli per successive ripetizioni di carico.

Prima di dar corso al getto in opera delle parti in c.a., si dovranno controllare:

- numero e diametro dei ferri;
- materiale costituente i ferri di armatura (vedere articolo relativo alle armature del c.a.);
- entità dei copriferri reali.

Il getto della soletta dovrà essere effettuato secondo le fasi di getto previste in progetto. Eventuali modifiche dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

## 26.6. Verniciatura

### 26.6.1. Generalità

La durabilità dell'acciaio è garantita attraverso la verniciatura, che dovrà avvenire in modo accurato, secondo uno dei cicli più avanti indicati, privi di sostanze cancerogene. Tali cicli sono formati da un minimo di due mani di prodotti vernicianti, mono o bi-componente, indurenti per filmazione chimica o filmazione fisica.

L'adozione di cicli diversi da quelli indicati nel presente Capitolato dovrà essere preventivamente autorizzata dal Direttore dei Lavori, previo esame di una idonea documentazione che il proponente il ciclo dovrà a sua cura presentare.

Sarà ammesso lasciare superfici non verniciate di elementi strutturali in acciaio unicamente nei seguenti casi:

- superfici a contatto di giunti bullonati ad attrito;
- cavità perfettamente sigillate con cordoni continui di saldatura;
- superfici a permanente contatto con il calcestruzzo;
- superfici zincate a caldo o a freddo o galvanizzate;
- elementi in acciaio autopassivante ("cor-ten" o similare) o in acciaio inossidabile.

I cicli di verniciatura sono di norma riportati negli elaborati progettuali cui si riferiscono..

I prodotti prefabbricati, salvo motivate eccezioni, devono essere forniti in cantiere già dotati almeno di una prima mano di verniciatura.

### 26.6.2. Norme di riferimento

Le principali norme europee di riferimento sono le seguenti:

- UNI EN ISO 2810 Pitture e vernici - Invecchiamento naturale dei rivestimenti - Esposizione e valutazione;
- UNI EN ISO 4618 Pitture e vernici - Termini e definizioni;
- UNI EN ISO 8503 Preparazione di supporti di acciaio prima dell'applicazione di prodotti vernicianti e prodotti simili - Caratteristiche di rugosità superficiale di supporti di acciaio puliti mediante sabbatura - Parte 1: Requisiti e definizioni relative a campioni di comparazione visottatile ISO per la valutazione delle superfici sabbiate dopo il trattamento abrasivo , 12944 (parti da 1 a 8), 29601;
- UNI EN ISO 12944-1 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 1: Introduzione generale;
- UNI EN ISO 12944-2 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 2: Classificazione degli ambienti;
- UNI EN ISO 12944-3 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 3: Considerazioni sulla progettazione;
- UNI EN ISO 12944-4 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 4: Tipi di superficie e loro preparazione;
- UNI EN ISO 12944-5 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 5: Sistemi di verniciatura protettiva;
- UNI EN ISO 12944-6 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 6: Prove di laboratorio per le prestazioni;
- UNI EN ISO 12944-7 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 7: Esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura;
- UNI EN ISO 12944-8 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 8: Stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione;
- UNI EN ISO 29601 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione mediante sistemi di verniciatura - Valutazione della porosità dei film essiccati;

- UNI EN 10238 Prodotti di acciaio per impieghi strutturali sabbiati in automatico e preverniciati con una mano di fondo applicata in automatico;
- UNI ENV 12837 Pitture e vernici - Qualificazione degli ispettori per la protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante sistemi di verniciatura protettivi;
- UNI EN 13438 Pitture e vernici - Rivestimenti con polveri organiche di prodotti di acciaio galvanizzati o sheardizzati (cementazione allo zinco) utilizzati nelle costruzioni.

Altre norme internazionali relative alle caratteristiche delle vernici ed alle modalità per il loro controllo, sono le seguenti:

- Valutazione delle superfici verniciate: ISO 2808, SSPC-PA2, ASTM G62, ISO 4628;
- Controllo delle proprietà anticorrosive: ISO 6270, 7253; DIN 50017, 53167; ASTM D2247, D1735, B117, G85, G53, G8, G42; BS 3900-F12, 3900-F6, 3900-F11;
- Valutazione del degrado della verniciatura: ISO 4628 (parti da 2 a 6); ASTM D714, D610, D661; DIN 53209, 53210; DIN ISO 4628; BS 3900-H2, 3900-H3, 3900-H4, 3900-H5;
- Proprietà meccaniche delle vernici: ISO 1520, 1522, 2409, 2815, 4624, 6860; ISO/TR 6272-79E; DIN 53251, 55669; BS 3900-E3, 3900-E6, 3900-E10, 3900-E11; ASTM 3359, 4541, D1002, D522, D2794-84;
- Proprietà fisiche delle vernici: ISO 1515, 1517, 1523, 1524, 2431, 2808, 2811, 2813, 2814, 3679; ASTM D1640, D2697, D4752-87;
- Trattamento preventivo delle superfici da verniciare: ISO 8501, 8502, 8503, 8504.

Nel caso particolare delle vernici intumescenti (protettive al fuoco), le norme sono riportate più avanti nello specifico paragrafo.

### 26.6.3. Ciclo A

Il rivestimento dovrà essere formato da almeno due strati di prodotti vernicianti, applicabili in una o più mani per strato.

Preparazione delle superfici<sup>(1)</sup>:

- acciaio nuovo: sabbiatura grado SA 2½;
- manutenzione di opere esistenti: idrolavaggio ad alta pressione, idrosabbiatura, ecc..

Le caratteristiche di composizione degli strati dovranno essere le seguenti:

#### 1° strato

Mano di fondo *surface tolerant* di tipo epossidico bi-componente, pigmentata con fosfati di zinco, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

Caratteristiche della mano di fondo:

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- residuo solido in volume<sup>(2)</sup>: ≥ 60 %;
- PVC<sup>(3)</sup>: ≥ 30 %;
- tipi di pigmento e cariche: assenza di carbonati, pigmentazione attiva a base di fosfati di zinco;
- legante secco: ≥ 25 %;
- spessore del film secco: 60 ÷ 80 µm per la 1<sup>a</sup> mano, 80 µm per la 2<sup>a</sup> mano;
- metodo di applicazione: pennello o spruzzo *airless*.

#### 2° strato

<sup>(1)</sup> Da definire con la Direzione Lavori.

<sup>(2)</sup> Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

<sup>(3)</sup> *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

Mano di finitura acrilica pigmentata con biossido di titanio ed altri pigmenti, avente una ottima resistenza agli agenti atmosferici e chimici.

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: resina acrilica;
- residuo solido in volume:  $\geq 50\%$  se a base solvente,  $\geq 50\%$  se a base acqua;
- PVC:  $\geq 20\%$ ;
- pigmento sul prodotto finito:  $\geq 26\%$ ;
- tipo di pigmento: biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>) ed altri;
- legante secco:  $> 30\%$ ;
- spessore del film secco:  $> 40\ \mu\text{m}$ ;
- metodo di applicazione: pennello, rullo o spruzzo *airless*.

#### 26.6.4. Ciclo B

Il rivestimento dovrà essere formato come minimo da 2 strati di prodotti vernicianti. Il primo strato potrà essere applicato in uno o due mani in funzione della tipologia di pittura adottata.

Preparazione delle superfici<sup>(1)</sup>:

- acciaio nuovo: sabbiatura grado SA 2½;
- manutenzione di opere esistenti: idrolavaggio ad alta pressione, idrosabbiatura, ecc..

Le caratteristiche di composizione degli strati dovranno essere le seguenti:

##### 1° strato

Mano di fondo *surface tolerant* di tipo epossidico bi-componente, pigmentata con fosfati di zinco, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

Caratteristiche della mano di fondo:

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- residuo solido in volume<sup>(2)</sup>:  $\geq 80\%$ ;
- PVC<sup>(3)</sup>:  $\geq 30\%$ ;
- tipi di pigmento e cariche: assenza di carbonati, pigmentazione attiva a base di fosfati di zinco;
- legante secco:  $\geq 25\%$ ;
- spessore del film secco<sup>(4)</sup>:  $80 \div 100\ \mu\text{m}$  per la 1<sup>a</sup> mano,  $100\ \mu\text{m}$  per la 2<sup>a</sup> mano;
- metodo di applicazione: pennello o spruzzo *airless*.

##### 2° strato

Mano di finitura poliuretanica di tipo non ingiallente e non sfarinante. Il tipo di polisocianato impiegato dovrà essere alifatico (né aromatico, né cicloalifatico), con un contenuto di monomeri volatili non superiore allo 0,1% (ASTMD 2615/67T).

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: poliuretanico;
- residuo solido in volume:  $\geq 60\%$ ;
- PVC:  $\geq 20\%$ ;

<sup>(1)</sup> Da definire con la Direzione Lavori.

<sup>(2)</sup> Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

<sup>(3)</sup> *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

<sup>(4)</sup> Lo spessore totale può essere ottenuto anche con applicazione *airless* in una sola mano.

- pigmento sul prodotto finito:  $\geq 26 \%$ ;
- tipo di pigmento: biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) ed altri;
- legante secco:  $> 30 \%$ ;
- spessore del film secco:  $> 40 \mu\text{m}$ ;
- metodo di applicazione: pennello, rullo o spruzzo *airless*.

### 26.6.5. Ciclo C

Il rivestimento dovrà essere formato come minimo da 3 strati di prodotti vernicianti. Lo strato intermedio potrà essere applicato in 1 o 2 mani, in funzione delle condizioni di cantiere e secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Essendo il ciclo orientato principalmente verso opere nuove da realizzarsi in officina, la preparazione della superficie prevederà una sabbiatura la grado SA 2½ con spigoli preventivamente arrotondati, saldature molate, secondo le Linee Generali di Protezione dell'Acciaio e dei metalli in generale di prossima pubblicazione

Le caratteristiche di composizione degli strati di pittura dovranno essere le seguenti:

#### 1° strato

Mano di *primer* bi-componente a pigmentazione attiva, costituita da polvere di zinco metallico privo di ossidi di zinco, in modo da conferire la migliore resistenza alla corrosione.

Caratteristiche della mano di *primer*:

- tipo di legante: epossidico bi-componente;
- zinco sul totale:  $\geq 80 \%$ ;
- legante secco (resina):  $< 5 \%$ ;
- spessore del film secco:  $50 \div 80 \mu\text{m}$ ;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, localmente a rullo o a pennello.

#### 2° strato

Mano di fondo di tipo epossidico poliammidico bi componente contenente ossidi di ferro micaceo, avente un ottimo potere bagnante sul supporto.

Caratteristiche della mano di fondo:

- tipo di legante: epossidico bi componente;
- residuo solido in volume<sup>(1)</sup>:  $\geq 80 \%$ ;
- PVC % <sup>(2)</sup>:  $\geq 30 \%$ ;
- tipi di pigmento e cariche: ossido di ferro micaceo e altre cariche lamellari;
- legante secco:  $\geq 25 \%$ ;
- spessore del film secco<sup>(3)</sup>:  $80 \div 100 \mu\text{m}$  per la 1ª mano,  $60 \div 100 \mu\text{m}$  per la 2ª mano;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, talvolta pennello.

#### 3° strato

Mano di finitura poliuretana fluorurata ad alto residuo solido in volume, avente contenuto minimo di fluoro del 12%, determinato via microsonda ai raggi X. Il tipo di polisocianato dovrà essere alifatico.

Caratteristiche della mano di finitura:

- tipo di legante: poliuretano fluorurato, avente fluoro  $\geq 26\%$  e cloro  $\geq 15\%$ ;

<sup>(1)</sup> Sostanze Organiche Volatili (SOV), secondo DPR 161/2006.

<sup>(2)</sup> *Pigment Volume Concentration* (ovvero concentrazione volumetrica del pigmento).

<sup>(3)</sup> Lo spessore totale può essere ottenuto applicando la prima mano in officina e la seconda mano dopo montaggi e saldature in cantiere oppure applicando una sola mano in officina.

- residuo solido in volume: > 60 %;
- PVC: ≥ 20 %;
- pigmento sul prodotto finito ≥ 26 %;
- tipo di pigmento: biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>) ed altri;
- legante secco: > 35 %;
- spessore del film secco: > 40 µm;
- metodo di applicazione: spruzzo *airless*, pennello o rullo.

#### 26.6.6. Preparazione del supporto

La preparazione del supporto metallico dovrà essere eseguita dall'Appaltatore mediante spazzolatura meccanica o sabbiatura, fino ad eliminazione di tutte le parti ossidate che presentino scarsa coesione e/o aderenza con il supporto.

Il tipo di pulizia (spazzolatura meccanica o la sabbiatura) dovrà essere tale da permettere un ottimo attacco della mano di fondo del ciclo di verniciatura e dovrà essere approvato dalla Direzione dei Lavori. Tale approvazione non ridurrà comunque la responsabilità dell'Appaltatore relativa al raggiungimento dei requisiti prestazionali finali del ciclo di verniciatura anticorrosiva in opera.

In particolare, per le strutture che non possono essere smontate, il trattamento raccomandato è la sabbiatura, capace di rimuovere sia l'eventuale vecchio rivestimento sia gli ossidi.

Per il grado di finitura superficiale finale si può far riferimento alle norme SIS-Standards 055900, che prevedono tre diversi livelli di finitura superficiale, denominate SA 2, SA 2½ e SA 3. Le finiture di grado SA 2 e SA 2½ prevedono rispettivamente il 20% ed il 5% di ossidi residui, mentre la SA 3 ha come risultato finale il 100% di metallo vergine.

#### 26.6.7. Caratteristiche chimico-fisiche di resistenza del ciclo di verniciatura

Le caratteristiche di resistenza (chimico-fisiche) si intendono per cicli di verniciatura anticorrosiva applicata su supporti in acciaio tipo UNI 3351 sottoposti ad invecchiamento artificiale.

Per l'invecchiamento artificiale è previsto un ciclo così composto:

Agente aggressivo	Durata	Temperatura
Radiazione ultravioletta	6 h	60 °C
Corrosione in nebbia salina (UNI 5687-73)	12 h	35 °C
Radiazione ultravioletta	6 h	60 °C
Immersione in soluzione satura di CaCl <sub>2</sub>	12 h	35 °C

Il ciclo di invecchiamento dovrà essere ripetuto per:

- ciclo A: almeno 30 volte, per un totale di 1080 ore;
- ciclo B: almeno 40 volte, per un totale di 1440 ore;
- ciclo C: almeno 50 volte, per un totale di 1800 ore.

Dopo i cicli di invecchiamento artificiale, verranno eseguiti i controlli riportati di seguito.

- Ingiallimento (secondo norma DIN 53230)

Il prodotto di finitura deve essere non ingiallente (prova su prodotto non pigmentato).

- Ruggine e blistering (secondo norme ASTM D 714/56 e DIN 53210)

Ciclo	Tipo di controllo	Strato	Grado richiesto
-------	-------------------	--------	-----------------

Ciclo	Tipo di controllo	Strato	Grado richiesto
A	Blistering	1°	9F
		2°	9M
		3°	9F
	Ruggine	---	RO
B	Blistering	1°	9M
		2°	9M
		3°	9F
	Ruggine	---	RO
C	Blistering	1°	9F
		2°	9F
		3°	9M
		4°	9F
	Ruggine	---	RO

– Adesione (DIN 53151)

Ciclo	Valore	Entità distacco
A	$G_{t0} \div G_{t1}$	distacco 0 ÷ 5%
B	$G_{t0}$	distacco nullo
C	$G_{t0} \div G_{t1}$	distacco 0 ÷ 5%

– Spessore film secchi

Vedi tabelle.

– Resistenza all'abrasione

Si determina solo sul prodotto di finitura mediante *Taber Abraser*, con mola tipo CS 10, dopo 1000 giri con carico di 1 kg.

Il valore, espresso come perdita in peso, deve essere inferiore a 150 milligrammi.

– Brillantezza

Controllata mediante *Gardner Glossmeter*, con angolo di 60°, deve avere un valore iniziale superiore al 90% e finale non inferiore all'80%.

– Prova di piegatura a 180°

Su lamierino d'acciaio UNI 3351, con mandrino  $\varnothing$  4 mm. Al termine non dovranno presentarsi screpolature o distacchi.

**26.6.8. Prove di accettazione dei prodotti**

A richiesta della Direzione lavori l'Appaltatore dovrà preventivamente inviare al Centro Sperimentale Stradale ANAS di Cesano (Roma), o ad altro laboratorio ufficialmente riconosciuto, quanto segue:

- campioni dei prodotti componenti il ciclo, con relativi diluenti, in contenitori sigillati del peso di 0,500 kg ciascuno e nel numero di tre per ogni prodotto (uno di questi campioni non deve essere pigmentato);
- schede tecniche complete dei prodotti vernicianti, comprensive di caratteristiche di composizione e di applicazione.

Il colore di finitura sarà indicato dalla Direzione Lavori, mentre i pigmenti necessari per il raggiungimento del tono di colore richiesto dovranno essere riportati nella scheda delle caratteristiche di composizione, sottratti alla quantità percentuale del solvente.

Controllata la rispondenza del rivestimento con le caratteristiche di resistenza richieste, i prodotti componenti il ciclo saranno identificati mediante analisi spettrometrica all'infrarosso. La Direzione Lavori potrà far accertare in ogni momento sui prodotti presenti in cantiere la corrispondenza delle caratteristiche di resistenza, di composizione e di applicazione accertate in fase di gara e/o riprodurre gli spettri IR su detti materiali.

Tali spettri dovranno essere uguali a quelli ricavati dai campioni.

Si riepilogano nelle tabelle seguenti i principali valori di accettazione per i prodotti vernicianti impiegati:



Prove caratteristiche di resistenza (chimico-fisiche)

Ciclo	Prova	Mano di fondo	Mano di finitura
A	Blistering	gF	gF
	Ruggine	---	RO
	Adesione	---	$G_{t0} \div G_{t1}$
	Spessore films secchi.	90 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$
	Abrasione	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	$\geq 50\%$

Ciclo	Prova	Mano di fondo	Mano di finitura
B	Blistering	gM	gF
	Ruggine	---	RO
	Adesione	---	$G_{t0}$
	Spessore films secchi	30 $\mu\text{m}$	35 $\mu\text{m}$
	Abrasione	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	$\geq 50\%$

Ciclo	Prova	Fondo	Intermedia	Finitura
C	Blistering	gF	gF	gF
	Ruggine	---	---	RO
	Adesione	$G_{t0} \div G_{t1}$	$G_{t0} \div G_{t1}$	$G_{t0} \div G_{t1}$
	Spessore films secchi	50 $\mu\text{m}$	150 - 200 $\mu\text{m}$	40 $\mu\text{m}$
	Abrasione	---	---	< 10 mg
	Brillantezza iniziale	---	---	$\geq 90\%$
	Brillantezza finale	---	---	$\geq 50\%$

**26.6.9. Requisiti particolari**

Ai sensi di quanto previsto dalla UNI EN 1090 andranno previsti i seguenti particolari trattamenti per:

– Superfici in contatto con il cls

Le superfici che verranno a contatto con calcestruzzo non devono essere verniciate, tranne che ciò non sia richiesto esplicitamente in progetto. Le stesse devono comunque essere pulite ad aria compressa o a spazzola per rimuovere scorie di laminazione, polvere, olio e grassi. Se le superfici verniciate terminano su superfici che devono invece essere a contatto con calcestruzzo, il sistema di trattamento deve estendersi per almeno 30 mm oltre la linea di confine.

– Superfici ad attrito

Per le superfici di acciaio destinate ad essere i lembi a contatto di collegamenti ad attrito, qualsiasi contaminazione con olio o grassi delle stesse deve essere rimossa usando pulitori chimici, con divieto tassativo di pulitura a fiamma.

Le superfici ad attrito devono essere protette dopo la preparazione, fino all'assemblaggio ed alla bullonatura, con coperture resistenti agli agenti atmosferici.

Sono consentite, per le superfici di cui sopra, la sabbiatura e la verniciatura con zincante inorganico di spessore consono al coefficiente di attrito richiesto dal progetto, purchè quest'ultimo venga adeguatamente certificato con prove di scorrimento.

Le aree non trattate intorno al perimetro dei collegamenti serrati non devono essere trattate, finché non siano state completate tutte le ispezioni del collegamento.

– Superfici delle saldature e per saldature

Se un componente deve essere successivamente saldato, i lembi delle superfici da saldare devono essere protetti per almeno 150 mm con uno strato di 15–20 µm di vernice saldabile, certificata, a base di etilsilicato di zinco.

Le saldature ed i materiali base adiacenti non devono essere verniciati prima che siano state tolte le scorie.

Un rivestimento addizionale a filetto deve essere applicato alle superfici saldate là dove la mano di fondo è stata applicata sotto la saldatura, se così è stabilito dal progetto.

– Trattamento dei dispositivi di giunzione

Il trattamento dei dispositivi di giunzione deve essere in accordo:

- con la classificazione della protezione alla corrosione precisata in progetto;
- con il materiale costituente il dispositivo di giunzione;
- con i materiali adiacenti in contatto con il dispositivo di giunzione, quando in posizione, e con le verniciature applicate su questi materiali;
- con il metodo di serraggio del dispositivo di giunzione;
- con qualunque eventuale necessità di riparare il trattamento del dispositivo di giunzione dopo il serraggio.

I bulloni di fondazione non devono essere trattati, a meno che ciò non sia prescritto in progetto.

I dispositivi di giunzione con un pre-trattamento, in accordo con la classificazione della protezione alla corrosione precisata in progetto, non devono essere ulteriormente rivestiti dopo l'installazione, tranne che ciò non sia prescritto in progetto.

Qualsiasi trattamento dei dispositivi di giunzione che si renda necessario dopo l'installazione, non deve essere eseguito finché non sia stata completata l'ispezione dei dispositivi di giunzione.

**26.6.10. Ciclo di verniciatura con pittura ignifuga intumescente**

Qualora un elemento metallico debba essere isolato dal fuoco per tramite della verniciatura, questa deve essere costituita da pittura ignifuga, intumescente e ritardante la propagazione della fiamma mediante reazione ad effetto schiumogeno.

Il trattamento protettivo della carpenteria metallica a base di tale vernice dovrà essere il seguente:

– in officina:

- sabbiatura grado SA 2½ delle norme SIS;
- applicazione di uno strato di *primer* zincante inorganico con spessore del film secco pari ad 80 µm;

– in opera:

- operazioni di pulizia e di eliminazione di polvere e parti incoerenti previo lavaggio, sgrassaggio, accurata spazzolatura meccanica e/o manuale delle zone eventualmente deteriorate;
- ritocchi, ove necessario, con *primer* epossipoliammidico del tipo *surface tolerant*, dato a pennello, per uno spessore di film secco pari a 100 µm;
- applicazione di uno strato epossipoliammidico al fosfato di zinco, con spessore di 70 µm;

- applicazione di uno strato generale di collegamento fra lo zincante inorganico ed il rivestimento intumescente;
- applicazione del rivestimento intumescente, idoneo a conferire ad ogni singolo elemento (lamiere, profilati, ecc.), in base alla propria resistività, la resistenza al fuoco di classe R 30 (30 minuti) e in grado di sopportare l'esposizione agli agenti atmosferici per almeno 6 mesi senza degradarsi, in assenza dello strato di protezione superficiale. Al fine di raggiungere la classe di resistenza al fuoco prescritta, lo spessore del film secco dovrà essere almeno pari a 250 µm, applicato in una sola mano con spruzzo *airless*;
- applicazione dello strato finale, a spruzzo *airless* e con funzioni estetico-protettive, a base di resine poliuretatiche alifatiche, dato in almeno 2 strati, per uno spessore complessivo non inferiore a 130 µm.

Il prodotto costituente il rivestimento intumescente dovrà essere certificato in base alla curva temperatura/tempo ISO 834 (*Fire-resistance tests -- Elements of building construction*), secondo BS 476 (*Fire tests on building materials and structures*), mentre per gli aspetti progettuali dovranno primariamente essere osservati il D.M. 14/01/2008 (con particolare riferimento al punto 3.6.1: Incendio) e le vigenti norme italiane antincendio.

Inoltre, per la progettazione, potrà farsi riferimento all'Eurocodice 1 (UNI EN 1991-1-2 Azioni sulle strutture esposte al fuoco).

Per le vernici in questione dovranno comunque essere osservate anche le seguenti ulteriori norme: UNI 9503 (Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio), 10898-1 (Sistemi protettivi antincendio - Modalità di controllo dell'applicazione - Parte 1: Sistemi intumescenti), 10898-3 (Sistemi protettivi antincendio - Modalità di controllo dell'applicazione - Parte 3: Sistemi isolanti spruzzati), UNI ENV 13381-4 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata ad elementi di acciaio), 13381-5 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo/lastre profilate di acciaio), 13381-6 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Protezione applicata a colonne cave di acciaio riempite con calcestruzzo), UNI EN 13381-8 (Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 8: Protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio) rni n. 91 e nella norma UNI 9503.

Circa le temperature, i tempi ed il grado di umidità per le operazioni di sovraverniciatura si farà riferimento a quanto indicato dalla Direzione Lavori.

## **27. Apparecchi d'appoggio e dispositivi antisismici**

### **27.1. Generalità**

Il presente Capitolato definisce le caratteristiche degli apparecchi d'appoggio (nel seguito denominati anche semplicemente con il termine "appoggi") e dei dispositivi antisismici per opere d'arte stradali e autostradali.

Per quanto riguarda gli apparecchi d'appoggio, sono oggetto del presente Capitolato i seguenti apparecchi:

- a) elementi di scorrimento (*sliding elements*);
- b) apparecchi d'appoggio elastomerici (*elastomeric bearings*);
- c) apparecchi d'appoggio a rullo (*roller bearings*);
- d) apparecchi d'appoggio a disco elastomerico confinato o "a tazza" (*pot bearings*);
- e) apparecchi d'appoggio a contatto lineare o puntuale (*rocker bearings*);
- f) apparecchi d'appoggio sferici e cilindrici aventi superfici di scorrimento in PTFE (politetrafluoroetilene) (*spherical and cylindrical PTFE bearings*).

Gli apparecchi elencati con le lettere da b) ad f) (con la parziale eccezione degli apparecchi elastomerici), sono da intendere come appoggi fissi, che consentono rotazioni attorno ad un unico asse (apparecchi a cerniera cilindrica) o a un qualsiasi asse (apparecchi a cerniera sferica) del piano orizzontale. Tali apparecchi, accoppiati con gli elementi scorrevoli definiti alla lettera a), realizzano apparecchi d'appoggio mobili, in grado di permettere, oltre alle rotazioni viste, il movimento in una direzione (apparecchi monodirezionali) o in più direzioni (apparecchi multidirezionali) del piano orizzontale.

Per quanto riguarda i dispositivi antisismici, sono oggetto delle presenti norme di Capitolato i seguenti dispositivi:

- a) dispositivi dissipatori (*dissipating devices*);

- b) dispositivi isolatori (*insulating devices, damping devices*);
- c) dispositivi di vincolo ausiliario (*shock transmission devices*).

Tutti i dispositivi impiegati dovranno essere dotati di marcatura CE e quindi della prescritta documentazione a corredo.

## 27.2. Riferimenti normativi principali

Norme europee armonizzate:

- UNI EN 1337-1 Appoggi strutturali – Regole generali di Progetto;
- UNI EN 1337-2 Appoggi strutturali – Elementi di scorrimento;
- UNI EN 1337-3 Appoggi strutturali – Appoggi elastomerici;
- UNI EN 1337-4 Appoggi strutturali – Appoggi a rullo;
- UNI EN 1337-5 Appoggi strutturali – Appoggi a disco elastomerico;
- UNI EN 1337-6 Appoggi strutturali – Appoggi a contatto lineare;
- UNI EN 1337-7 Appoggi strutturali – Appoggi sferici e cilindrici di PTFE;
- UNI EN 1337-8 Appoggi strutturali – Guide e ritegni;
- UNI EN 1337-9 Appoggi strutturali – Protezione;
- UNI EN 1337-10 Appoggi strutturali – Ispezione e manutenzione;
- UNI EN 1337-11 Appoggi strutturali – Trasporto, immagazzinamento e installazione;
- UNI EN 15129 Dispositivi antisismici.

Ulteriori norme:

- L. 05.11.1971 n.1086;
- D.M. 14/01/2008 e relativa circolare ministeriale esplicativa;
- Eurocodice 3 (UNI EN 1993) “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- RFI/DIN/IC/PO-002-A Istruzione tecnica per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti negli impalcati ferroviari e nei cavalcavia;
- Circ. Min. Lavori Pubbl. n. 2357 del 16.05.1996: Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza stradale.

## 27.3. Apparecchi d'appoggio

### 27.3.1. Generalità

Gli appoggi, accoppiati o meno con elementi scorrevoli, sono dispositivi che consentono la rotazione tra due membri di una struttura, impedendo gli spostamenti e di conseguenza trasmettendo le forze nelle tre direzioni (appoggi fissi), consentendo lo spostamento in una direzione del piano orizzontale (appoggi unidirezionali) o in ogni direzione del piano orizzontale (appoggi multidirezionali). Caso particolare è costituito dagli apparecchi elastomerici che permettono limitati spostamenti in ogni direzione del piano orizzontale, generando forze proporzionali alle corrispondenti traslazioni.

Gli appoggi devono essere disposti in modo che sia possibile, in caso di necessità, effettuare ispezioni, operazioni di manutenzione e sostituzione degli stessi o di parti di questi, allo scopo di garantirne la funzionalità per l'intera durata prevista della struttura.

Gli appoggi devono essere realizzati in modo da permettere il movimento specificato con la minor forza di reazione possibile.

Se possibile, si deve evitare la preregolazione. Se necessaria, la preregolazione richiesta deve essere eseguita presso l'impianto di fabbricazione. Se non è possibile evitare una nuova regolazione in sito, questa deve essere eseguita solo dal fabbricante dell'appoggio o sotto la sua supervisione.

Tutti gli appoggi devono essere marcati con il nome del fabbricante, il luogo e l'anno di fabbricazione e un numero di serie che deve essere in corrispondenza biunivoca con ogni singolo dispositivo. Inoltre tutti gli appoggi diversi dagli appoggi elastomerici devono essere marcati con le informazioni seguenti:

- tipo di appoggio;
- carichi nominali massimi per forze verticali e orizzontali;
- spostamenti nominali massimi;
- posizione nella struttura;
- direzione di installazione.

Con l'eccezione delle ultime due voci, queste marcature devono essere visibili e comprensibili per tutta la vita utile dell'appoggio.

### **27.3.2. Elementi di scorrimento**

#### **27.3.2.1. Generalità**

Gli elementi di scorrimento e le guide sono dispositivi composti da piastre di supporto con finitura curva o piana e superfici di scorrimento a bassissimo coefficiente di attrito che, in combinazione con gli appoggi strutturali fissi descritti nel presente articolo, consentono e regolano i movimenti nel piano orizzontale.

La deformazione dei materiali di scorrimento non va presa in conto per ottenere rotazioni.

#### **27.3.2.2. Requisiti funzionali**

I requisiti funzionali, espressi in termini di massimi coefficienti di attrito a breve e lungo termine delle superfici di contatto, in funzione della composizione delle superfici stesse, sono riportati nelle Tabelle 1, 2, 3, 4, della norma UNI EN 1337-2.

#### **27.3.2.3. Proprietà dei materiali**

In assenza di standard specifici, le prove sui materiali saranno conformi alle procedure indicate nelle Appendici D, E, F, G, H, della norma UNI EN 1337-2.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali che compongono gli appoggi.

##### Superfici di scorrimento di PTFE

Il politetrafluoroetilene è un materiale termoplastico che presenta, a contatto con una superficie metallica lucidata, un coefficiente d'attrito molto basso, tendente a diminuire con l'aumento della pressione di contatto e con la diminuzione della velocità di scorrimento. Il materiale grezzo dei fogli di PTFE costituenti le superfici di scorrimento, su cui si esercitano reazioni di lunga durata, è politetrafluoroetilene vergine, senza aggiunta di materiali rigeneranti o di cariche, in conformità alle caratteristiche meccaniche, fisiche e geometriche del paragrafo 5.2 della norma UNI EN 1337-2. I fogli di PTFE per superfici di scorrimento piane o curve, su cui si esercitano reazioni di lunga durata (sono escluse le superfici delle guide), saranno dotati di tasche di lubrificazione ("PTFE alveolato").

##### Materiali compositi (CM1 e CM2)

Per le superfici di scorrimento impegnate da reazioni di breve durata, come ad esempio le superfici delle guide, è ammesso l'impiego di materiali compositi di due tipi: il primo (CM1) formato da una lastra di supporto e da uno strato intermedio di bronzo, con uno strato superficiale costituito da una miscela di PTFE e piombo; il secondo (CM2) formato da una matrice metallica flessibile sinterizzata in un composto di PTFE (PTFE + *filler*). Le caratteristiche meccaniche e fisiche dei materiali compositi costituenti le superfici di scorrimento sono riportate nelle Tabelle 6 e 7 della norma UNI EN 1337-2.

Superfici di scorrimento di acciaio austenitico

Lamiere di acciaio austenitico possono essere utilizzate per la realizzazione di superfici di scorrimento piane o curve. Le superfici a contatto con il PTFE saranno lucidate. Materiale e caratteristiche superficiali saranno conformi ai Par. 5.4.1 e 5.4.2 della norma UNI EN 1337-2.

Superfici rivestite in cromo

Per superfici di scorrimento curve possono essere usate superfici cromate. Il rivestimento dovrà interessare l'intera superficie curva della piastra di supporto; il processo di lavorazione, le specifiche dei materiali e le caratteristiche superficiali saranno conformi al Par. 5 della norma UNI EN 1337-2.

Materiali per piastre di supporto

I materiali previsti per la realizzazione delle piastre di supporto sono metalli a base ferrosa, in particolare ghisa, acciaio fuso e acciaio inossidabile. L'elemento convesso di superfici sferiche o cilindriche può essere costituito da lega d'alluminio. Materiali e trattamenti superficiali saranno conformi ai Par. 5.5.6 e 5.5.7 della norma UNI EN 1337-2.

Lubrificanti

Le superfici di scorrimento dovranno essere lubrificate per ridurre la resistenza d'attrito e l'usura delle superfici di PTFE. Il lubrificante, in conformità alle caratteristiche fisico-chimiche della Tabella 8 della norma UNI EN 1337-2, dovrà mantenere le sue proprietà nel *range* di temperatura specificato e non dovrà resinificare, né risultare aggressivo per i materiali a contatto.

**27.3.2.4. Requisiti di Progetto**

Combinazioni di materiali per superfici di scorrimento

I materiali per le superfici di scorrimento saranno accoppiati come definito nella Tabella 1. Solo una combinazione potrà essere usata per la stessa superficie di scorrimento.

Tabella 1 – Combinazioni materiali per superfici di scorrimento

Superfici piane		Superfici curve		Guide	
PTFE alveolato	Acciaio austenitico	PTFE alveolato	Acciaio austenitico	PTFE semplice	Acciaio austenitico
			cromo	CM1	
			alluminio	CM2	

Fogli di PTFE

I fogli di PTFE saranno disposti in uno specifico alloggiamento, ricavato nella piastra di supporto. Dopo l'installazione, il foglio di PTFE dovrà sporgere dall'estradosso dell'alloggiamento di una quantità h, per facilitare le misurazioni di controllo.

Lo spessore dei fogli di PTFE  $t_p$  e della sporgenza h, in assenza di carico e in presenza della protezione anticorrosiva, dovranno rispettare i seguenti limiti:

$$h = 1.75 + L/1200 \text{ (mm) e comunque } h > 2.2 \text{ mm;}$$

$$2.2 h < t_p < 8.0 \text{ mm;}$$

dove L. è il diametro del foglio circolare o la lunghezza del foglio rettangolare di PTFE, come definiti nelle figure 3, 4, 5, della norma UNI EN 1337-2.

I fogli di PTFE piani per superfici di scorrimento piane saranno circolari o rettangolari, e potranno essere suddivisi in un massimo di quattro parti uguali, la cui dimensione minima non potrà essere inferiore a 50 mm e la cui distanza reciproca non potrà superare il doppio del minor valore tra lo spessore della piastra di supporto e del foglio di PTFE.

I fogli di PTFE curvi per superfici di scorrimento cilindriche saranno rettangolari e potranno essere suddivisi in un massimo di due parti uguali.

I fogli di PTFE curvi per superfici di scorrimento sferiche saranno circolari e potranno essere suddivisi in un disco interno e un anello esterno concentrici, suddivisi da un anello della piastra di supporto, la cui larghezza non dovrà superare 10 mm.

I fogli di PTFE per le guide avranno uno spessore minimo di 5.5 mm e una sporgenza di  $2.3 \pm 0.2$  mm.

#### Materiali compositi

I materiali compositi saranno usati solo quando è possibile un auto-allineamento tra le parti accoppiate dell'appoggio. La dimensione minima della lamina deve essere  $\geq 10$  mm.

#### Guide

Le guide possono essere usate per sopportare azioni laterali dovute a carichi permanenti e variabili e possono essere disposte centralmente o esternamente alla superficie di scorrimento. I materiali di scorrimento saranno disposti sulle pareti contigue delle guide; il gioco  $c$  tra i componenti scorrevoli in condizioni di riposo deve rispettare la condizione:

$$c < 1.0 + L / 1000 \text{ (mm)}$$

con  $L$  come definito in precedenza.

#### Lamiere di acciaio austenitico

Le lamiere di acciaio austenitico devono essere dimensionate in modo tale da ricoprire completamente i fogli di PTFE o di materiale composito sotto il massimo spostamento di progetto. Il loro spessore, in funzione del metodo di collegamento alla piastra di supporto, sarà in accordo alla Tabella 13 della norma UNI EN 1337-2.

#### Resistenze caratteristiche dei materiali di scorrimento

Le resistenze caratteristiche a compressione dei materiali di scorrimento sono riportate nella Tabella 2. I valori dati sono validi per temperature effettive inferiori a  $30^\circ$ . Per temperature comprese tra i  $30^\circ$  e i  $48^\circ$ , i valori riportati saranno ridotti del 2% per grado al di sopra dei  $30^\circ$ , allo scopo di ridurre gli effetti viscosi del PTFE.

Tabella 2 – Resistenze caratteristiche a compressione dei materiali di scorrimento

Materiali	Azione	$f_k$ (MPa)
PTFE (superf. principali)	Carichi permanenti e variabili	90
	Carichi variabili	90
PTFE (guide)	Temperatura, ritiro e viscosità	30
	Carichi permanenti	10
CM1	Carichi permanenti e variabili orizzontali	200
CM2	Carichi permanenti e variabili orizzontali	120

#### Coefficienti di attrito

I coefficienti di attrito da utilizzare per verificare l'apparecchio di appoggio e la struttura a cui esso è collegata sono riportati nella Tabella 3. Tali valori non saranno applicati in presenza di consistenti azioni dinamiche, come sono ad esempio le azioni sismiche. I valori riportati sono validi solo per PTFE alveolato e lubrificato.

Tabella 3 – Coefficienti di attrito  $\mu_{max}$

Pressione di contatto $\sigma_p$ (MPa)	$\leq 5$	10	20	$\geq 30$
PTFE – acciaio austenitico o cromo	0.08	0.06	0.04	0.030 (0.025) (*)
PTFE - alluminio	0.12	0.09	0.06	0.045 (0.038) (*)

(\*) Valori tra parentesi per superfici di scorrimento curve

Per le guide, i valori del coefficiente di attrito, considerati indipendenti dalla pressione di contatto, sono i seguenti:

- PTFE:  $\mu_{max} = 0.08$ ;

- Materiali compositi:  $\mu_{\max} = 0.20$ .

#### Verifiche locali delle superfici di scorrimento

Le superfici di scorrimento saranno dimensionate e verificate tenendo conto di tutte le azioni attive trasmesse dalla struttura e di quelle antagoniste generate in corrispondenza delle libertà consentite.

La separazione delle superfici di scorrimento può condurre alla perdita di lubrificante, all'usura da contaminazione e all'incremento di deformazione dovuto alla mancanza di confinamento del PTFE. Per questo motivo si richiede che la tensione normale minima di contatto  $\sigma_p$  sia al più nulla, condizione considerata come stato limite di servizio.

Pressioni eccessive possono causare perdita di efficienza dello scorrimento; si richiede pertanto la verifica a compressione allo stato limite ultimo delle superfici a contatto, in conformità al Par. 6.8.3 della norma UNI EN 1337-2.

#### Verifiche locali delle piastre di supporto

Il PTFE e i materiali di scorrimento ad esso accoppiati devono essere sostenuti da piastre metalliche (piastrine di supporto) con superfici piane o curve. Il progetto di queste deve tener conto del controllo delle deformazioni, della esatta valutazione delle sezioni resistenti, della adeguata rigidità per il trasporto e l'installazione secondo il Par. 6.9.3 della norma UNI EN 1337-2 e della distribuzione dei carichi alle strutture adiacenti secondo il Par. 6.9.4 della norma UNI EN 1337-2.

Una deformazione eccessiva delle piastre di supporto comporterebbe usura elevata del PTFE e decadimento a lungo termine delle caratteristiche del dispositivo di scorrimento; si richiede pertanto la verifica della deformazione secondo il Par. 6.9.2 della norma UNI EN 1337-2.

### **27.3.2.5. Fabbricazione, assemblaggio e tolleranze**

#### Piastra di supporto

I bordi dell'incasso destinato a contenere i fogli di PTFE devono essere a spigolo vivo e retto, per limitare il rifluimento del PTFE. Il raggio alla base dell'incasso non deve superare 1 mm.

In linea teorica, il PTFE deve aderire all'incasso senza giochi. Tolleranze discontinue saranno ammesse in conformità alla Tabella 12 della norma UNI EN 1337-2.

I requisiti di planarità delle superfici saranno in accordo ai Par. 7.1.2 e 7.1.3 della norma UNI EN 1337-2.

#### Collegamento dei materiali di scorrimento

Lamiere di acciaio austenitico: devono essere collegate alle relative piastre di supporto mediante una delle modalità riportate dalla Tabella 13 della norma UNI EN 1337-2.

Fogli di PTFE: nel caso di piastre di supporto piane i fogli vanno confinati negli appositi alloggiamenti secondo le prescrizioni viste al punto precedente. I fogli di PTFE usati per le guide saranno incollati allo scopo di facilitare le operazioni di assemblaggio.

Materiali compositi: saranno collegati mediante incollaggio, accompagnato da un collegamento meccanico da realizzare al di fuori della superficie di scorrimento.

#### Protezione contro la contaminazione e la corrosione

Prima delle operazioni di assemblaggio, tutte le superfici di scorrimento devono essere pulite. Durante l'assemblaggio, saranno prese precauzioni per impedire la contaminazione delle superfici lubrificate. Devono essere previsti dispositivi specifici per prevenire la contaminazione degli elementi di scorrimento; tali dispositivi devono essere rimovibili per facilitare l'ispezione.

I requisiti generali relativi alla protezione contro la corrosione sono dati nella EN 1337-9. Ulteriori requisiti relativi al caso particolare delle superfici di scorrimento sono forniti nel Par. 7.3 della norma UNI EN 1337-2.

#### Lubrificazione

Dopo la pulitura e prima dell'assemblaggio, i fogli di PTFE dotati di tasche di lubrificazione (alveolati) devono essere lubrificati in modo che tutte le tasche risultino colme. Le superfici di scorrimento delle guide saranno trattate stendendo un sottile strato di lubrificante sulla superficie e rimuovendo le eccedenze.

#### Superfici di riferimento per l'installazione



Allo scopo di assicurare l'allineamento dell'appoggio, in accordo con la UNI EN 1337–11, deve essere prevista sull'elemento scorrevole una superficie di riferimento o un opportuno dispositivo avente la stessa funzione.

#### **27.3.2.6. Valutazione di conformità**

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337–2. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice K della medesima norma.

Il controllo delle materie prime e dei componenti degli elementi di scorrimento sarà conforme alla Tabella 16 della norma UNI EN 1337–2.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 15 della norma UNI EN 1337–2.

#### **27.3.2.7. Installazione**

Dopo l'installazione e il completamento della sovrastruttura, la deviazione dell'elemento di scorrimento dalla configurazione specificata non dovrà eccedere lo 0.3%.

#### **27.3.2.8. Criteri per ispezioni in servizio**

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337–10, sarà controllato in particolare il valore della sporgenza  $h$ , come definita in precedenza, verificando che risulti:  $h \geq 1$  mm.

Se risulta  $0 < h < 1$  mm, l'elemento di scorrimento può essere considerato ancora idoneo, ma sono richieste ispezioni più frequenti. Se risulta  $h \approx 0$  l'elemento di scorrimento non sarà più considerato idoneo.

### **27.3.3. Appoggi elastomerici**

#### **27.3.3.1. Generalità**

Gli appoggi elastomerici (armati) sono elementi di forma rettangolare o circolare, costituiti da strati di gomma naturale o artificiale combinati con lamierini d'acciaio vulcanizzati all'interno di essa. La vulcanizzazione ha il duplice scopo di proteggere l'acciaio dalla corrosione e di trasmettere le azioni tangenziali dalla gomma al lamierino. Tali appoggi devono essere ottenuti mediante lavorazione in appositi stampi a pianta circolare o rettangolare, mentre non sono ammessi appoggi ricavati per taglio da elementi di dimensioni superiori.

Non sono ammessi appoggi elastomerici non armati, salvo casi molto particolari (strutture temporanee e provvisorie di scarsa importanza statica, strutture definitive di scarsa importanza statica) nei quali il progetto li preveda espressamente. In tali casi l'elemento, che ha il compito principale di ripartire i carichi, deve avere spessore assai limitato, di norma non maggiore di 30 mm e deve essere soggetto a pressioni di esercizio assai inferiori a quelle limite della gomma impiegata.

Non sono ammessi appoggi elastomerici con elementi di PTFE vulcanizzati direttamente alla gomma, disposti superiormente od inferiormente

Gli appoggi elastomerici possono essere combinati con dispositivi che possono estenderne il campo di utilizzo, come dispositivi di scorrimento in accordo alla UNI EN 1337–2, sia temporanei che permanenti, o sistemi di vincolo in qualsiasi direzione.

Il presente Capitolato, in riferimento alla UNI EN 1337–3, tratta appoggi elastomerici con dimensioni massime in pianta pari a 1200x1200 mm, destinati all'utilizzo con temperature operative comprese tra - 25° e + 50° (+ 70° per brevi periodi). In caso di temperature operative molto basse sono richiesti requisiti particolari del modulo di taglio della gomma.

### 27.3.3.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi elastomerici consentono traslazioni in una qualsiasi direzione e rotazioni attorno a un qualsiasi asse, per mezzo di deformazioni elastiche dell'elemento in gomma. In tal modo è possibile, sia trasmettere le sollecitazioni, sia consentire gli spostamenti, in accordo con le risultanze progettuali.

Benché gli appoggi elastomerici siano progettati per assorbire anche azioni di taglio, essi non saranno impiegati per opporre resistenza a tali azioni, se applicate permanentemente.

Nei punti successivi sono definite le caratteristiche quantificabili degli appoggi elastomerici, riferite al prodotto finito, determinabili attraverso specifiche prove.

#### Modulo di elasticità tangenziale $G_g$

Il modulo di elasticità tangenziale  $G_g$  è determinato sulla base di prove a diverse temperature o dopo invecchiamento, in accordo con le procedure specificate dall'Appendice F della norma UNI EN 1337-3.

Alla temperatura nominale ( $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) dell'appoggio, dovrà essere conforme ai valori seguenti:

$$G_g = 0.90\text{ MPa};$$

$$G_g = 0.70\text{ MPa (*)};$$

$$G_g = 1.15\text{ MPa (*)}.$$

I valori ottenuti dai *test* dovranno essere conformi alle tolleranze seguenti:

$$G_g = 0.90\text{ MPa} + 0.15\text{ MPa};$$

$$G_g = 0.70\text{ MPa} + 0.10\text{ MPa (*)};$$

$$G_g = 1.15\text{ MPa} + 0.20\text{ MPa (*)}.$$

(\*) Valori ammissibili solo se espressamente richiesti dal progetto.

Modulo di elasticità tangenziale a basse e bassissime temperature: il modulo di taglio dovrà essere conforme ai Par. 4.3.1.2 e 4.3.1.3 della norma UNI EN 1337-3.

Modulo di elasticità tangenziale dopo invecchiamento: il modulo di taglio ad invecchiamento indotto (3 giorni a  $70^\circ$ ) dovrà essere conforme al Par. 4.3.1.4 della norma UNI EN 1337-3.

#### Resistenza di adesione

Scopo del *test* è il controllo dell'adesione tra la gomma e i lamierini d'acciaio interposti. La resistenza di adesione tra gomma e lamiera d'acciaio è determinata in accordo col Par. 4.3.2 e con le procedure specificate dall'Appendice G della norma UNI EN 1337-3.

#### Modulo di elasticità a compressione

Il modulo di elasticità a compressione è determinato in accordo col Par. 4.3.3 e con le procedure specificate dall'Appendice H della norma UNI EN 1337-3.

#### Resistenza a carico ripetuto di compressione

La resistenza a carico ripetuto di compressione è determinata in accordo col Par. 4.3.4 e con le procedure specificate dall'Appendice I della norma UNI EN 1337-3.

#### Capacità di rotazione statica

Scopo del *test* è la determinazione del comportamento dell'appoggio in condizioni di rotazione da carico statico, nei casi in cui la prestazione richiesta in termini di rotazione sia critica. Si possono determinare due grandezze relative alla capacità rotazionale dell'appoggio: il massimo angolo di rotazione e il momento antagonista trasmesso dall'appoggio alla struttura. La capacità di rotazione statica è determinata in accordo col Par. 4.3.5 e con le procedure specificate dalle Appendici J e K della norma UNI EN 1337-3.

#### Resistenza all'ozono

La resistenza all'ozono è determinata in accordo col Par. 4.3.6 e con le procedure specificate dall'Appendice L della norma UNI EN 1337-3.

### 27.3.3.3. Proprietà dei materiali

#### Elastomero

L'elastomero utilizzato come materiale grezzo negli apparecchi d'appoggio elastomerici è costituito da gomma naturale o sintetica (policloroprene). Si ammette la miscelazione con altro polimero come coadiuvante di processo fino a percentuali pari al 5%.

Le proprietà fisiche e meccaniche dell'elastomero saranno conformi alla Tabella 1 della norma UNI EN 1337-3.

#### Lamierini d'acciaio

I lamierini interni ed esterni saranno in acciaio di grado S235 secondo la norma UNI EN 10025 o in acciaio con equivalente allungamento a rottura. Gli spessori minimi saranno in accordo al Par. 4.4.3 della norma UNI EN 1337-3.

#### Superfici di scorrimento

Elementi di scorrimento in PTFE, accoppiati a lamine in acciaio austenitico, possono essere inseriti in una piastra metallica vulcanizzata all'elastomero, secondo quanto specificato al Par. 4.4.3 della norma UNI EN 1337-3.

### 27.3.3.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 5 della norma UNI EN 1337-3.

### 27.3.3.5. Tolleranze di fabbricazione

Le tolleranze relative alle dimensioni in pianta e agli spessori degli strati di elastomero interni ed esterni, dei lamierini d'acciaio e degli spessori totali dell'appoggio saranno in accordo col Par. 6 della norma UNI EN 1337-3.

### 27.3.3.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-3. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice N della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi elastomerici sarà conforme alla Tabella 8 della norma UNI EN 1337-3.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test di routine* ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alle Tabelle 6, 7, 8, della norma UNI EN 1337-3.

### 27.3.3.7. Installazione

Gli appoggi elastomerici andranno alloggiati preferibilmente su baggioli, le cui superfici di posa devono essere asciutte, pulite ed integre. Tali superfici saranno inoltre piane e orizzontali, ammettendo una tolleranza massima di planarità pari a:

- 0.3% per appoggi di strutture in c.a. prefabbricate, o metalliche;
- 1% per appoggi di strutture in c.a. gettate in opera.

Se l'impalcato è costruito in opera direttamente sugli apparecchi d'appoggio, è opportuno interporre tra appoggio e struttura delle coppelle prefabbricate in c.a., immerse nel getto della sovrastruttura.

È inoltre conveniente posizionare gli eventuali appoggi rettangolari con il lato minore parallelo all'asse della trave, in modo da facilitare la rotazione attorno ad un asse trasversale.

Non è consentito l'incollaggio degli appoggi elastomerici alle strutture.

### **27.3.3.8. Criteri per ispezioni di servizio**

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337–10, sarà controllato in particolare quanto segue:

- che le superfici superiore ed inferiore dell'appoggio siano in contatto integrale con le parti strutturali collegate;
- che, con ispezione visiva delle facce accessibili dell'appoggio, non si individuino fessure, distacchi, rigonfiamenti o altre irregolarità dello stesso;
- che, con ispezione visiva delle parti strutturali a contatto dell'appoggio, non si individuino scostamenti dello stesso dalla sua posizione originale.

### **27.3.4. Appoggi a rulli**

#### **27.3.4.1. Generalità**

Gli appoggi a rulli hanno un funzionamento basato sullo spostamento relativo di due piastre metalliche, una superiore ed una inferiore, per il tramite del rotolamento di uno o più componenti, dotati di superfici cilindriche ed interposti tra le piastre stesse. Allo scopo di consentire spostamenti paralleli all'asse di rotazione, gli apparecchi a rullo possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337–2.

#### **27.3.4.2. Caratteristiche e requisiti funzionali**

Gli appoggi a rulli trasmettono forze normali al piano di appoggio, consentendo traslazioni ortogonali all'asse di rotolamento e rotazioni attorno ad un asse ad esso parallelo (gli apparecchi a rullo singolo permettono rotazioni attorno alla linea di contatto, gli apparecchi a rullo multiplo necessitano di un elemento addizionale a bilanciere per consentire la rotazione). La capacità di rotazione dell'appoggio a rullo è una caratteristica intrinseca del sistema, basata sulla sua geometria, e deve essere dichiarata dal produttore. Il valore massimo di tale rotazione è fissato in 0.05 rad.

Le superfici a contatto avranno la stessa resistenza e durezza; le superfici curve dell'apparecchio saranno di forma cilindrica.

Il rullo avrà una lunghezza compresa tra il doppio e sei volte il suo diametro.

Sarà previsto un sistema di guida per impedire disassamenti del rullo in esercizio.

I componenti dell'appoggio saranno dimensionati in modo da distribuire correttamente il carico agli elementi contigui.

L'angolo massimo di diffusione del carico sarà assunto pari a 45° (angoli maggiori potranno essere giustificati soltanto da un calcolo specifico); in nessun caso sarà assunto un angolo di diffusione, misurato a partire dall'asse verticale, superiore a 60°.

#### **27.3.4.3. Materiali**

Gli appoggi a rullo saranno realizzati in materiali ferrosi, in conformità a quanto specificato al Par. 5 e nell'Appendice A della norma UNI EN 1337–4.

I componenti degli appoggi (rulli e piastre di contatto) saranno sottoposti a prove (rilievo di eventuali cricche, determinazione di durezza e resilienza) secondo i metodi esposti al Par. 5.1 della norma UNI EN 1337–4.

#### **27.3.4.4. Regole di Progetto**

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337–4.

#### **27.3.4.5. Tolleranze**

Le tolleranze relative a planarità delle piastre, profilo e parallelismo delle superfici, rugosità superficiale, diametro dei rulli multipli, saranno in accordo al Par. 7 della norma UNI EN 1337–4.

#### 27.3.4.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-4. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice B della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a rullo sarà conforme alla Tabella 5 della norma UNI EN 1337-4.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 4 della norma UNI EN 1337-4.

#### 27.3.4.7. Installazione

Gli appoggi a rullo saranno installati con una tolleranza massima di  $\pm 0.003$  rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

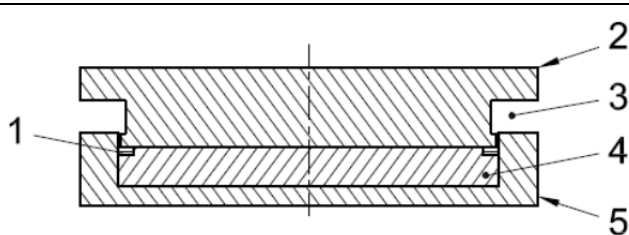
#### 27.3.4.8. Criteri per ispezioni in servizio

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337-10, saranno verificati in particolare l'assenza di cricche nei componenti dell'appoggio, il corretto allineamento dei rulli, la presenza di contatto continuo tra piastra e rullo.

### 27.3.5. Appoggi a disco elastomerico confinato

#### 27.3.5.1. Generalità

Gli appoggi a disco elastomerico confinato (vedi figura) sono costituiti da un disco di gomma non armata, racchiuso entro un contenitore cilindrico metallico (detto anche "tazza") che ne impedisce l'espansione laterale e soggetto al carico di un pistone, pure metallico, che vi scorre all'interno. L'apparecchio è completato da una guarnizione interna disposta sul bordo superiore della superficie di gomma per impedire la fuoriuscita di materiale elastomerico e da una guarnizione esterna disposta tra basamento e pistone, per proteggere il corpo interno da umidità e detriti.



Appoggio a disco elastomerico confinato. Elementi principali: 1 – guarnizione; 2 – pistone; 3 – alloggiamento della protezione; 4 – cuscinetto elastomerico; 5 – basamento cilindrico.

Per ridurre l'attrito tra cuscinetto in gomma e componenti metallici, e di conseguenza limitare l'usura e l'entità del momento parassita che si oppone alla rotazione, è previsto l'uso di un lubrificante.

Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a disco elastomerico possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo alla UNI EN 1337-2.

#### 27.3.5.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi a disco elastomerico trasmettono forze verticali e orizzontali, consentendo, grazie alla deformazione del cuscinetto in gomma, rotazioni attorno a un asse qualsiasi (cerniera sferica).

### **27.3.5.3. Materiali**

Il basamento e il pistone saranno realizzati in materiali ferrosi; il materiale elastomerico usato per il cuscinetto deve essere gomma naturale o policloroprene.

Il lubrificante non deve essere dannoso per l'elastomero e gli altri componenti dell'appoggio e non deve causare rigonfiamenti eccessivi dell'elastomero (variazioni di peso > 8%). Tutti i materiali saranno conformi a quanto specificato al Par. 5 e nell'Appendice A (guarnizioni interne) della norma UNI EN 1337-5.

Lo scorrimento accumulato normalizzato della guarnizione interna, come definito nell'Appendice E della norma UNI EN 1337-5, dovrà essere conforme alla classe C (2000 m).

### **27.3.5.4. Regole di Progetto**

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337-5.

### **27.3.5.5. Tolleranze**

Le tolleranze relative a spessore del cuscinetto, parallelismo delle superfici esterne, accoppiamento dei componenti e rugosità superficiale, saranno in accordo con il Par. 7 della norma UNI EN 1337-5.

### **27.3.5.6. Valutazione di conformità**

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-5. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice C della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a disco elastomerico sarà conforme al Prospetto 1 della norma UNI EN 1337-5.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme al Prospetto 2 della norma UNI EN 1337-5.

### **27.3.5.7. Installazione**

Gli appoggi a disco elastomerico saranno installati con una tolleranza massima di  $\pm 0.003$  rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

### **27.3.5.8. Criteri per ispezioni in servizio**

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337-10, saranno verificati in particolare aspetti quali l'eventuale estrusione dell'elastomero, la presenza di detriti da usura, la posizione anomala del pistone di chiusura.

## **27.3.6. Appoggi a contatto lineare o puntuale**

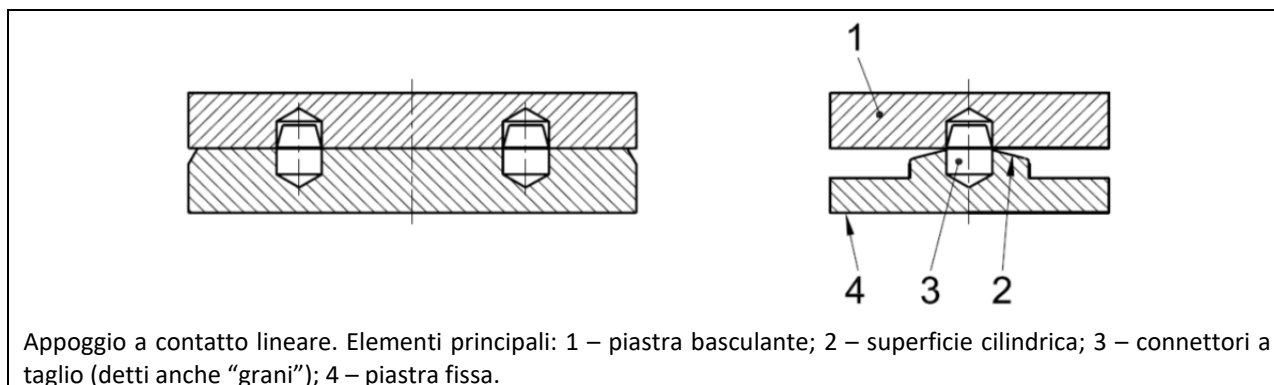
### **27.3.6.1. Generalità**

Gli appoggi a contatto lineare o puntuale sono costituiti da due piastre metalliche variamente sagomate, a contatto e libere di ruotare reciprocamente. Se una delle piastre è sagomata a calotta cilindrica e l'altra è piana, il contatto e la rotazione avvengono lungo una generatrice del cilindro (contatto lineare); se una delle superfici è sagomata a calotta sferica (concava) o è piana e l'altra è sagomata a calotta sferica (convessa) di raggio inferiore alla prima, il contatto e

la rotazione avvengono in un punto (contatto puntuale). Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a contatto possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337-2.

### 27.3.6.2. Caratteristiche e requisiti funzionali

Gli appoggi a contatto lineare permettono rotazioni attorno alla linea di contatto, realizzando una cerniera cilindrica, quelli a contatto puntuale rotazioni attorno a un asse qualsiasi, realizzando una cerniera sferica. Gli appoggi a contatto trasmettono forze verticali e orizzontali; per la trasmissione delle seconde gli apparecchi a contatto lineare sono dotati di perni sollecitati a taglio, opportunamente sagomati e calettati su una delle due piastre (detti anche “grani” – v. figura) mentre, nel caso di apparecchi a contatto puntuale, le azioni orizzontali sono trasmesse generalmente per contatto tra le due piastre.



La capacità di rotazione dell’appoggio a contatto è una caratteristica intrinseca del sistema, basata sulla sua geometria, e deve essere dichiarata dal produttore. Il valore massimo di tale rotazione è fissato in 0.05 rad.

Le superfici a contatto avranno la stessa resistenza e durezza; le superfici curve dell’apparecchio saranno di forma cilindrica (contatto lineare) o sferica (contatto puntuale).

Saranno previsti dispositivi meccanici per impedire spostamenti relativi indesiderati delle superfici a contatto.

I componenti dell’appoggio saranno dimensionati in modo da distribuire correttamente il carico agli elementi contigui. L’angolo massimo di diffusione del carico sarà assunto pari a 45° (angoli maggiori potranno essere giustificati soltanto da un calcolo specifico). In nessun caso sarà assunto un angolo di diffusione, misurato a partire dall’asse verticale, superiore a 60°.

### 27.3.6.3. Materiali

Gli appoggi a contatto saranno realizzati in materiali ferrosi, in conformità a quanto specificato al Par. 5 e nell’Appendice A della norma UNI EN 1337-6.

I componenti degli appoggi (piastre di contatto) saranno sottoposti a prove (rilievo di eventuali cricche, determinazione di durezza e resilienza) secondo i metodi esposti al Par. 5.1 della norma UNI EN 1337-6.

### 27.3.6.4. Regole di Progetto

Per le regole di progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337-6.

### 27.3.6.5. Tolleranze

Le tolleranze relative a planarità delle piastre, profilo e parallelismo delle superfici, rugosità superficiale, saranno in accordo col Par. 7 della norma UNI EN 1337-6.

#### **27.3.6.6. Valutazione di conformità**

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-4. Le procedure di controllo di produzione saranno conformi all'Appendice B della medesima norma.

Il controllo delle materie prime degli appoggi a contatto lineare o puntuale sarà conforme alla Tabella 5 della norma UNI EN 1337-6.

Il controllo del prodotto finito, comprendente *test* iniziali di tipo, *test* di routine ed eventuali *audit testing*, sarà conforme alla Tabella 4 della norma UNI EN 1337-6.

#### **27.3.6.7. Installazione**

Gli appoggi a contatto saranno installati con una tolleranza massima di  $\pm 0.003$  rad rispetto alla inclinazione di progetto delle superfici di contatto.

#### **27.3.6.8. Criteri per ispezioni in servizio**

Durante le ispezioni di servizio, da condurre in accordo con la norma UNI EN 1337-10, saranno verificati in particolare l'assenza di cricche nei componenti dell'appoggio, il corretto allineamento delle piastre a contatto, la verifica del contatto previsto tra le piastre.

#### **27.3.7. Appoggi sferici e cilindrici con PTFE**

##### **27.3.7.1. Generalità**

Gli apparecchi d'appoggio sferici e cilindrici aventi superfici di scorrimento in politetrafluoroetilene (PTFE), hanno un funzionamento basato sullo strisciamento di una superficie di PTFE ed una di metallo, l'una concava e l'altra convessa, disposte su opportune piastre di supporto. Le superfici di scorrimento possono essere cilindriche o sferiche.

Allo scopo di consentire traslazioni nel piano orizzontale, gli appoggi a contatto possono essere accoppiati con elementi di scorrimento in accordo con la norma UNI EN 1337-2.

##### **27.3.7.2. Caratteristiche e requisiti funzionali**

Gli apparecchi d'appoggio con superfici di scorrimento in PTFE cilindrici permettono rotazioni attorno a un asse, realizzando una cerniera cilindrica, mentre quelli sferici rotazioni attorno a un asse qualsiasi, realizzando una cerniera sferica. Tali appoggi trasmettono forze verticali e orizzontali: quelle orizzontali sono trasmesse per contatto tra le superfici di scorrimento, dimensionandone adeguatamente la curvatura, oppure prevedendo opportuni dispositivi meccanici resistenti al taglio.

La superficie metallica a contatto con il PTFE deve essere dimensionata in modo tale da coprire completamente, anche sotto carico, il foglio di PTFE. Non deve inoltre risultare alcun contatto tra gli elementi metallici di supporto superiori ed inferiori.

##### **27.3.7.3. Materiali**

I materiali e gli accoppiamenti di materiali relativi alle superfici di scorrimento, essendo gli stessi i principi di funzionamento, sono quelli specificati nel Par.5 della norma UNI EN 1337-2 (superfici di scorrimento).



#### 27.3.7.4. Regole di Progetto

Per le regole di Progetto si rimanda integralmente al Par. 6 della norma UNI EN 1337-7.

#### 27.3.7.5. Manifattura, assemblaggio e tolleranze

Valgono le considerazioni svolte al Par. 7 della norma UNI EN 1337-7.

#### 27.3.7.6. Valutazione di conformità

La valutazione di conformità del prodotto e della sua manifattura alle norme europee, comprendente il controllo di materiali e lavorazioni nonché l'esecuzione di prove e ispezioni con eventuali *audit testing* effettuati da organismi notificati e la predisposizione e preventiva consegna alla Direzione Lavori della prescritta documentazione, saranno in accordo con il Par. 8 della norma UNI EN 1337-7.

### 27.4. Dispositivi antisismici

#### 27.4.1. Generalità

I dispositivi antisismici sono elementi aventi la funzione di adeguare la risposta della struttura alla sollecitazione sismica, secondo specifiche strategie progettuali di protezione.

Al sistema di protezione strutturale individuato dai dispositivi antisismici, considerandone il ruolo critico, è richiesta un'affidabilità particolare. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema è progettato e verificato in accordo con il Par. 7.10 del D.M. 14/01/2008.

In particolare, i dispositivi antisismici e le loro connessioni alla struttura dovranno essere verificati per i seguenti stati limite:

##### Stato limite di danno (SLD) <sup>(1)</sup>

I dispositivi si ritengono verificati rispetto a questo stato limite qualora siano soddisfatte le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) <sup>(2)</sup>. Pertanto i dispositivi antisismici non debbono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. In particolare, anche nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti del dispositivo non espressamente destinate a funzioni dissipative, devono rimanere in campo elastico con coefficiente di sicurezza, nel rispetto dei legami costitutivi dei singoli materiali, pari almeno a 1.5.

In caso di sistemi a comportamento non lineare, eventuali spostamenti residui al termine dell'azione sismica allo SLD devono risultare compatibili con la funzionalità della struttura.

Le eventuali connessioni fra le diverse parti devono assorbire gli spostamenti relativi massimi ottenuti dal calcolo, senza subire danni o condurre a restrizioni d'uso.

##### Stato limite di prevenzione del collasso (SLC) <sup>(3)</sup>

I dispositivi dovranno essere progettati, realizzati e messi in opera per sopportare l'azione sismica di progetto, senza pervenire a collassi locali o globali, mantenendo, dopo l'evento sismico, integrità funzionale e una residua resistenza meccanica.

---

<sup>(1)</sup> Dicesi "stato limite di danno" (o SLD) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura nel suo complesso (inclusi elementi secondari, impiantistici, di arredo, ecc.) subisce danni tali da non mettere a repentaglio la sicurezza delle persone e da non comprometterne significativamente la resistenza e rigidità alle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi quindi sempre utilizzabile nelle sue funzioni principali, anche se dovessero risultare interrotte alcune delle sue funzionalità secondarie o accessorie.

<sup>(2)</sup> Dicesi "stato limite di salvaguardia della vita" (o SLV) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura subisce rotture di elementi secondari o impiantistici e danni significativi a quelli principali, si da perdere buona parte della sua rigidità alle azioni orizzontali ma conservando tuttavia un certo margine rispetto al collasso per tali azioni e conservando altresì una sufficiente resistenza e rigidità alle azioni verticali.

<sup>(3)</sup> Dicesi "stato limite di prevenzione del collasso" (o SLC) la condizione per cui, a seguito del terremoto di progetto, la struttura subisce gravi rotture degli elementi secondari ed impiantistici e danni molto gravi a quelli principali; conserva tuttavia un margine di sicurezza alle azioni verticali ed un esiguo margine rispetto al collasso per azioni orizzontali.

In particolare, anche nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti del dispositivo non espressamente destinate a funzioni dissipative, devono rimanere in campo elastico.

#### **27.4.2. Strategie di protezione antisismica**

Specifiche strategie progettuali di protezione antisismica possono essere attuate con l'inserimento di particolari dispositivi all'interno della struttura, generalmente tra impalcato e sottostruttura. Tali strategie, da sole od opportunamente combinate tra loro, possono essere suddivise in alcune classi fondamentali, rispetto alle quali sono individuate le seguenti tipologie di dispositivi.

##### Dispositivi a dissipazione (meccanici e fluidodinamici)

L'energia trasferita alla struttura con l'azione sismica viene parzialmente dispersa attraverso un dispositivo dissipatore (a comportamento elasto-plastico, viscoso, visco-elastico, ecc.); la curva caratteristica F-d (forza-spostamento) propria del dispositivo, impone inoltre un limite superiore alle azioni trasmesse agli elementi strutturali.

##### Dispositivi ad isolamento

Attraverso l'inserimento di dispositivi isolatori si incrementa il periodo fondamentale delle oscillazioni proprie del sistema strutturale, spostandolo nel campo delle accelerazioni di risposta minori e riducendo in tal modo l'energia sismica trasmessa dal terreno alla struttura.

##### Dispositivi a collegamento rigido temporaneo (vincoli ausiliari)

In punti opportuni, tra impalcato e sottostrutture, sono inseriti dispositivi fluidodinamici (*shock transmitters*) che trasmettono le forze orizzontali solo in caso di sollecitazioni dinamiche impulsive (sisma, frenatura, raffiche di vento, ecc.), consentendo invece il libero movimento della struttura in condizioni di esercizio sotto l'effetto di azioni applicate lentamente (variazioni termiche, viscosità, ritiro, ecc.). In tal modo l'azione sismica, altrimenti concentrata in uno o in un numero limitato di punti fissi, viene ripartita in diversi punti.

Ai fini della ottimizzazione della risposta sismica della struttura, è possibile prevedere una combinazione di impiego dei vari dispositivi sopra descritti.

E' inoltre possibile combinare, in un unico dispositivo, appoggi scorrevoli tradizionali in acciaio-PTFE, che svolgono la funzione di trasmettere i carichi verticali e consentire gli spostamenti orizzontali e le rotazioni, con una serie di elementi che controllano le forze orizzontali e possono svolgere la funzione di dissipare energia. Tali elementi sono solitamente dissipatori isteretici in acciaio, dissipatori viscosi o *shock transmitters*.

#### **27.4.3. Dissipatori meccanici (dispositivi a comportamento non lineare)**

I dissipatori meccanici sono dispositivi a comportamento elastoplastico, il cui funzionamento è basato sulla deformazione di elementi metallici ad alta duttilità che assicurano, sotto le azioni alternate e ripetute del sisma, una elevata ripetitività dei cicli isteretici utili e un'alta capacità dissipativa. Inoltre, le caratteristiche elastoplastiche degli elementi impegnati consentono la trasmissione alla struttura, una volta superata la soglia plastica, di una sollecitazione limitata al crescere della deformazione.

Le curve caratteristiche F-d (forza-spostamento) di tali dispositivi, sostanzialmente indipendenti dalla velocità di applicazione della forza, possono generalmente essere schematizzate con una bilatera che ne definisce il comportamento non lineare attraverso le coordinate corrispondenti al limite teorico del comportamento elastico lineare ( $F_1-d_1$ ) e le coordinate corrispondenti al valore limite di progetto dello spostamento allo SLU ( $F_2-d_2$ ).

Alla categoria dei dissipatori meccanici possono essere riferiti anche i dissipatori con elementi in lega a memoria di forma, che sfruttano la capacità di particolari leghe metalliche di subire grandi deformazioni (circa dieci volte superiori a quelle di un metallo comune), limitando le forze trasmesse e, nel contempo, recuperando la forma originaria ad impegno esaurito. Il loro impiego, qualora non espressamente previsti in progetto, sarà consentito soltanto previa approvazione della Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista, che ne dovrà valutare attentamente le specifiche tecniche ed eventualmente provvedere a *test* su dispositivi-campione.

#### 27.4.4. Dissipatori fluidodinamici (dispositivi a comportamento viscoso)

I dissipatori fluidodinamici hanno un funzionamento basato sui principi del moto di un fluido in un circuito idraulico. Sono costituiti essenzialmente da un cilindro riempito di fluido silconico e da un pistone, libero di muoversi nelle due direzioni, che crea due camere comunicanti entro cui avviene il movimento del fluido.

In presenza di azioni dinamiche impulsive e della conseguente richiesta di movimenti rapidi, derivanti ad esempio dalla sollecitazione sismica, all'interno del circuito idraulico dell'apparecchio si verifica la laminazione del fluido, fenomeno che conduce a una risposta del dispositivo secondo curve forza-spostamento che possono essere assimilate a curve lineari (tipo elastico) o bilineari (tipo elastoplastico o rigidoplastico), in funzione delle caratteristiche del circuito idraulico e del fluido impiegato.

In presenza di movimenti lenti, derivanti ad esempio dalle escursioni termiche dell'impalcato, è invece consentito il movimento del pistone e il regolare travaso del fluido da una camera all'altra con reazione trascurabile (in alcuni casi, in funzione di particolari richieste progettuali, il travaso può essere impedito, ottenendo, in fase di esercizio, un comportamento rigido del dispositivo). Anche in questo caso si ottiene una riduzione delle azioni trasmesse alla struttura in fase sismica, grazie alla elevata capacità dissipativa del sistema.

I dissipatori viscosi presentano un legame forza-velocità del tipo:

$$F = C * V^\alpha$$

Con C ed  $\alpha$  costanti numeriche identificabili sperimentalmente mediante prove a diverse velocità.

Il comportamento dei dissipatori è caratterizzato sostanzialmente da due parametri: la massima forza sviluppata  $F_{max}$  e l'energia dissipata in un ciclo  $E_d$ , per una prefissata ampiezza e frequenza, ossia dalle costanti C e  $\alpha$ . Essendo poi  $\alpha$  un valore prossimo allo zero, i dispositivi reagiscono con una forza praticamente costante in un ampio intervallo di velocità.

L'identificazione di tali parametri ai fini della definizione meccanica del dispositivo dovrà essere fatta con riferimento ai valori di forza massima e energia dissipata durante il terzo ciclo di carico, dovendo risultare non superiore al 10% la differenza tra valore teorico e valore sperimentale delle grandezze dette.

Nella famiglia dei dissipatori viscosi rientrano i "dissipatori viscosi ricentranti", che presentano una legge costitutiva visco-elastica del tipo:

$$F = F_0 + K_x + C * V^\alpha$$

Dove  $F_0$  rappresenta una eventuale forza minima di soglia, o precarica, e gli altri due termini rispettivamente il contributo elastico e quello viscoso.

Il funzionamento di tali dispositivi consente, oltre alla dissipazione energetica legata ai fenomeni viscosi, una modifica della rigidità della struttura, grazie all'introduzione di un elemento elastico, che porta la risposta dinamica del sistema in un campo di frequenze più favorevoli. Inoltre le caratteristiche elastiche dell'apparecchio consentono il ricentraggio del sistema dopo la sollecitazione dinamica.

#### 27.4.5. Dispositivi a vincolo rigido temporaneo

I dispositivi a vincolo rigido temporaneo (*shock transmission devices*) sono dispositivi fluidodinamici simili a quelli descritti in precedenza. In questo caso però, in virtù di differenti meccanismi di controllo nel circuito idraulico dell'apparecchio, il dispositivo, sotto sollecitazioni impulsive derivanti da sisma o da altre azioni dinamiche, si blocca, consentendo la trasmissione delle forze alla struttura con spostamenti limitati. Nel caso di movimenti lenti, come nel caso precedente, è consentito il movimento del dispositivo, senza trasmissione di azioni significative.

Per garantire che tutti i dispositivi installati siano sollecitati simultaneamente e in modo omogeneo, i dispositivi a vincolo rigido temporaneo possono essere dotati di un limitatore di forza, che limita l'azione trasmessa ad un determinato valore (in genere di poco superiore al valore di soglia trasmesso in caso di azione dinamica).

## 27.4.6. Dispositivi ad isolamento

### 27.4.6.1. Dispositivi isolatori elastomerici

I dispositivi isolatori elastomerici sono dispositivi d'appoggio costituiti da strati alterni di elastomero e di acciaio, collegati mediante vulcanizzazione, in modo del tutto simile agli apparecchi d'appoggio elastomerici tradizionali. L'inserimento degli isolatori tra impalcato e sottostruttura consente, come visto, di introdurre nel sistema resistente un elemento di disaccoppiamento del moto e di conseguenza di ottenere un abbattimento delle accelerazioni sismiche trasmesse dal terreno alla struttura.

A differenza degli apparecchi d'appoggio tradizionali, i dispositivi isolatori elastomerici devono essere sempre collegati all'impalcato ed alla sottostruttura con collegamenti di tipo meccanico.

I dispositivi isolatori sono caratterizzati da una ridotta rigidità orizzontale, per garantire il disaccoppiamento del moto orizzontale della struttura da quello del terreno, da una elevata rigidità verticale, per sostenere i carichi verticali senza cedimenti apprezzabili e, in diversa misura in funzione delle caratteristiche della miscela elastomerica (isolatori a basso o alto smorzamento), da opportune capacità dissipative.

La ridotta capacità dissipativa circoscrive, nel caso generale, il campo d'azione degli isolatori descritti a zone di bassa e media sismicità. Il loro impiego in zone ad alta sismicità è possibile se combinato con quello di altri tipi di apparecchi, generalmente dispositivi a dissipazione, che riducono ulteriormente le sollecitazioni trasmesse alla struttura, contenendone al contempo gli spostamenti.

Inoltre la bassa rigidità orizzontale del dispositivo, che potrebbe causare spostamenti inaccettabili anche in condizioni di esercizio (vento, azioni di frenatura, ecc.), limita l'applicazione degli isolatori elastomerici a strutture medio-piccole, a meno che essi non vengano abbinati ad altri dispositivi, come per esempio ad elementi di scorrimento, come definiti al precedente specifico punto.

Per incrementarne la capacità dissipativa, gli isolatori elastomerici possono essere dotati di un nucleo centrale in piombo, che può plasticizzarsi sotto rilevanti azioni orizzontali. Altra prerogativa degli isolatori con nucleo in piombo è quella di essere caratterizzati da una curva forza-spostamento di tipo bilineare con il tratto iniziale molto rigido, aspetto che permette di limitare gli spostamenti anche sotto l'azione di non trascurabili azioni orizzontali d'esercizio.

### 27.4.6.2. Dispositivi isolatori ad attrito

In tempi relativamente recenti sono stati sviluppati ulteriori dispositivi di appoggio ad isolamento, assai efficaci per la protezione sismica, denominati "isolatori ad attrito" o anche "isolatori a pendolo scorrevole" (*friction isolation pendulum devices*), così detti perché sfruttano fra l'altro la legge fisica del moto del pendolo per allungare il periodo naturale della struttura isolata (qui detta "sovrastuttura").

Tali dispositivi devono sostanzialmente essere progettati, costruiti e verificati in accordo alla UNI EN 1337-2 e alla UNI EN 1337-7 con particolare attenzione alle condizioni di esercizio in cui l'attrito quasi-statico è normalmente inferiore a quello dinamico.

Possono essere a singola o doppia superficie (curva) di scorrimento:

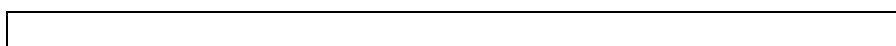
– Isolatori ad attrito a singola superficie di scorrimento (*single sliding pendulum devices*)

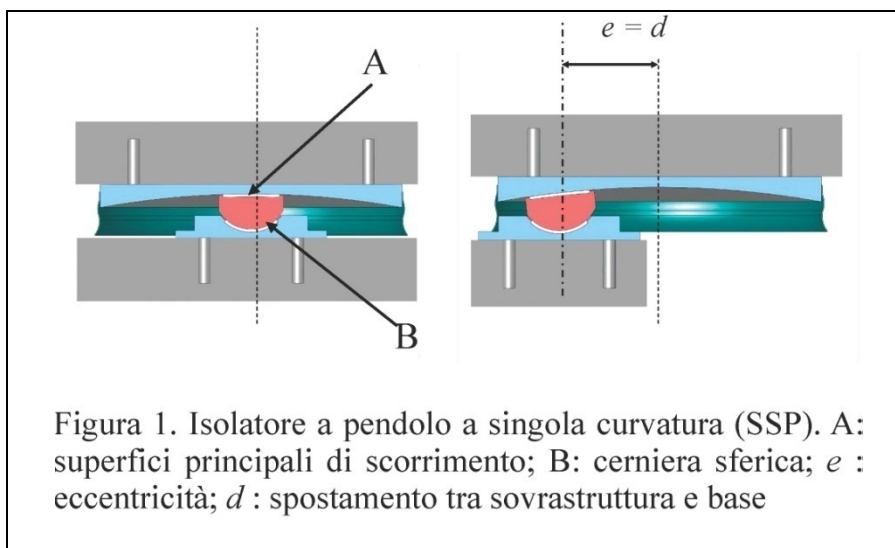
Il loro schema è riportato in Fig. 1. L'elemento principale (indicato come elemento A) è costituito da una coppia di superfici curve che scorrono l'una sull'altra, ed ha la duplice funzione di dissipare energia attraverso l'attrito tra le superfici e di generare la forza di richiamo per il ricentraggio della sovrastuttura attraverso l'azione della gravità.

Le rotazioni relative tra la sovrastuttura e la base, indotte dallo scorrimento tra queste due superfici, sono consentite dall'articolazione a cerniera sferica costituita da una seconda coppia di superfici (elemento B). Il movimento tra le due superfici principali corrisponde al movimento di un pendolo con periodo così calcolato:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

dove R è il raggio di curvatura delle superfici.



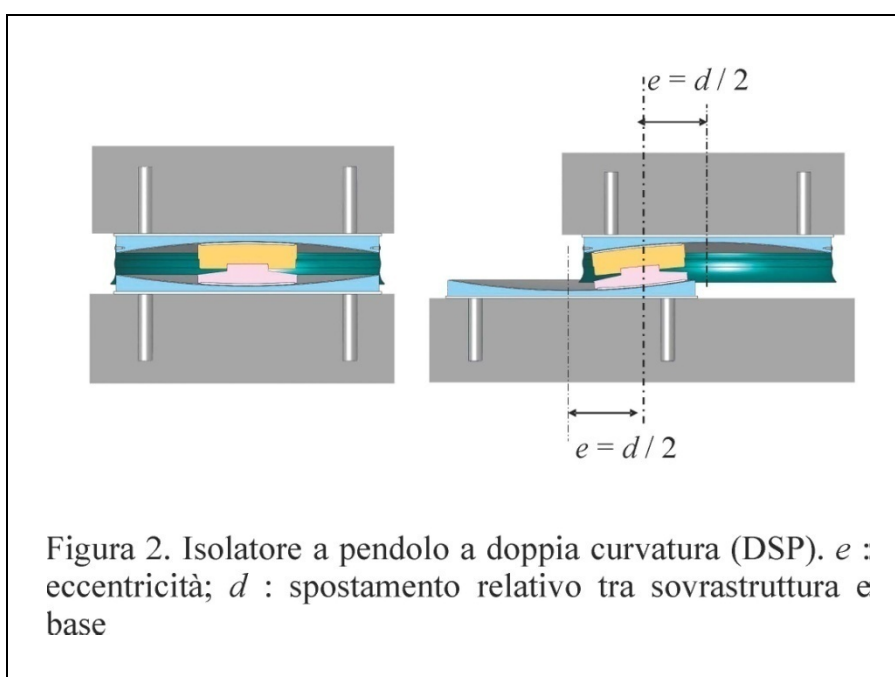


Il periodo è pertanto indipendente dalla massa della struttura isolata, con notevole vantaggio nel caso di isolamento di sovrastrutture leggere.

Un dispositivo a pendolo può normalmente produrre periodi di oscillazione compresi tra 2 e 5 secondi e consentire spostamenti orizzontali anche superiori a 1 m.

– Isolatori ad attrito a doppia superficie di scorrimento (double sliding pendulum devices)

Un'evoluzione della precedente tipologia è rappresentata dagli isolatori a pendolo a doppia curvatura, costituiti da due coppie di superfici curve, tra le quali è posta l'articolazione sferica (Fig. 2).



Questa soluzione consente di dimezzare lo spostamento della risultante del carico verticale, sia per la sovrastruttura, sia per la base (si confrontino le due figure) e riduce le dimensioni globali del dispositivo a parità di spostamento totale.

Allo stato attuale della tecnica, le superfici di scorrimento negli isolatori a pendolo sono realizzate di norma accoppiando una superficie metallica in acciaio inossidabile o cromato ad un opportuno materiale plastico, principalmente PTFE non lubrificato o suoi composti. Tuttavia l'impiego del PTFE non risulta ottimale in queste applicazioni in quanto:

- il coefficiente di attrito dinamico è estremamente basso, non adatto a produrre elevate dissipazioni di energia durante eventi sismici di fortissima intensità;
- si ha un'ulteriore riduzione del coefficiente di attrito, a causa del calore che si sviluppa per effetto della dissipazione di energia sismica;
- si può avere un rammollimento, con riduzione della capacità portante del PTFE, ancora a causa delle temperature che si possono raggiungere all'interfaccia.

Pertanto possono essere impiegati altri materiali, in luogo del PTFE, purché le loro caratteristiche siano state adeguatamente studiate e risultino da una documentazione tecnica sufficientemente completa, comprensiva di prove e misurazioni di laboratorio su prototipi.

#### **27.4.7. Dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare**

I dispositivi a comportamento lineare o quasi lineare comprendono una serie di apparecchi di varia concezione (dischi in elastomero disposti tra piastre metalliche di supporto, dispositivi elastici in acciaio, sistemi combinati di barre in acciaio accoppiate ad elementi in gomma, ecc.). La loro caratteristica comune è quella di trasmettere soltanto azioni orizzontali, introducendo nel sistema resistente, come nel caso degli isolatori, un elemento di disaccoppiamento del moto (costituito essenzialmente da una molla orizzontale) e limitando in tal modo le accelerazioni trasmesse alla struttura.

L'utilizzo di tali dispositivi dovrà essere stato esplicitamente previsto in progetto ed oggetto di accurata calcolo.

#### **27.4.8. Indicazioni progettuali**

Le possibilità di spostamento relativo tra le parti mobili dei dispositivi e più in generale la loro funzionalità dovranno essere verificate e garantite agli stessi stati limite previsti per le strutture di cui fanno parte.

La corsa minima dei dispositivi da ponte sarà comunque pari a  $\pm 50$  mm.

La corsa disponibile dei dispositivi fluidodinamici dovrà tener conto dei movimenti di origine termica e di tutti gli effetti a lungo termine, con gli opportuni margini di sicurezza richiesti dal progetto.

I giunti strutturali e i varchi tra parti contigue dovranno essere dimensionati in modo da consentire il corretto funzionamento dei dispositivi di appoggio ed antisismici, senza ostacolare gli spostamenti previsti delle parti da essi collegate.

La definizione del comportamento meccanico del dispositivo (da documentare con chiarezza da parte del fornitore), sia ai fini del calcolo strutturale generale, sia ai fini del dimensionamento del dispositivo stesso, sarà basata su un modello realistico e su prove di laboratorio accertate, controllando in particolare che non siano introdotte sfavorevoli sovrarigidità e sovrarigidità rispetto alle esigenze progettuali.

I dispositivi isolatori soggetti a forze di trazione o sollevamento durante l'azione sismica, dovranno essere in grado di sopportare tali azioni senza perdere la loro funzionalità strutturale. Tali effetti andranno presi in conto nel progetto del dispositivo e controllati attraverso verifiche sperimentali.

L'alloggiamento dei dispositivi ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo tale da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. E' necessario anche prevedere adeguati sistemi di contrasto idonei a consentire il loro eventuale ricentraggio (se queste caratteristiche non sono proprie del dispositivo) qualora, a seguito di un sisma, si possano avere spostamenti residui incompatibili con la funzionalità del ponte e con il corretto funzionamento del sistema di protezione antisismico.

#### **27.4.9. Materiali**

I materiali impiegati per la realizzazione dei dispositivi, la cui qualità dovrà essere comprovata mediante idonea certificazione, saranno quelli previsti in progetto. Ove in progetto la qualità dei materiali non sia stata indicata o indicata in modo insufficiente, questa dovrà comunque risultare ottima, aderente alle norme di riferimento ed opportunamente documentata, prima che i dispositivi stessi siano autorizzati all'installazione da parte della Direzione Lavori. In particolare, i materiali saranno compatibili con le temperature di esercizio, interne ed esterne, dei dispositivi.

Gli acciai, i metalli a base ferrosa, i materiali a contatto delle superfici di scorrimento, le gomme degli isolatori elastomerici ordinari e, in generale, tutti i materiali comuni a quelli previsti per i dispositivi di appoggio strutturale, saranno conformi alle caratteristiche indicate nella UNI EN 1337.

Per tutti gli altri materiali previsti in progetto, dovranno essere indicate le normative di riferimento. Qualora non esistano normative di riferimento, il fornitore dovrà comunque produrre idonea documentazione sperimentale comprovante le caratteristiche del materiale utilizzato.

Le superfici attive degli elementi mobili dei dispositivi fluidodinamici saranno in acciaio inossidabile o rivestite in altro metallo (cromo, nichel), a protezione dalla corrosione e dall'usura.

I fluidi viscosi utilizzati nei dissipatori fluidodinamici, preferibilmente a base siliconica, dovranno risultare non tossici, ininfiammabili, chimicamente inerti e privi di additivi soggetti a deposito.

Per tirafondi, bulloneria di ancoraggio e collegamento, ecc., sarà impiegato acciaio ad alta resistenza. Le malte, i betoncini e le resine per l'alloggiamento dei dispositivi avranno le caratteristiche indicate nello specifico paragrafo del presente Capitolato.

#### **27.4.10. Prove e criteri di accettazione**

##### **27.4.10.1. Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio**

###### Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle norme sugli apparecchi di appoggio, con le seguenti variazioni ed aggiunte (salvo deroga esplicitamente concessa dalla Direzione Lavori):

- le prove di invecchiamento vanno effettuate per 21 giorni a 70 °C; la variazione del modulo G deve essere contenuta entro il 20% del valore iniziale;
- Il modulo G deve essere determinato anche per una deformazione tangenziale pari a  $\pm 100\%$ .

###### Prove di qualificazione sui dispositivi

Le seguenti prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori, possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati:

- determinazione statica della rigidità a compressione secondo UNI EN 1337;
- determinazione statica, sotto compressione costante, del modulo statico di taglio G secondo UNI EN 1337;
- determinazione dinamica, sotto compressione costante, del modulo dinamico di taglio  $G_{din}$  e dello smorzamento  $\xi$  (mediante prove cicliche sinusoidali), con l'obbligo per  $G_{din}$  di ricadere nell'intervallo  $0,35 \div 1,40$  MPa;
- determinazione delle curve G- $\gamma$  e  $\xi$ - $\gamma$  ( $\gamma$  = deformazione di taglio) mediante le prove dinamiche cicliche precedentemente descritte;
- determinazione delle caratteristiche di *creep* mediante prove di compressione a pressione costante e almeno pari al massimo valore della tensione di compressione di progetto per le sole azioni di servizio, della durata di almeno 7 giorni; la deformazione verticale per *creep* deve essere inferiore al 20% della deformazione statica sotto il carico V (azione normale massima di progetto sull'isolatore); il valore di riferimento della deformazione statica sarà assunto pari a quello misurato dopo 10 minuti dall'inizio dell'applicazione del carico;
- valutazione della stabilità del dispositivo sotto compressione e taglio;
- valutazione della capacità di sostenere, sotto compressione costante e almeno pari al valore massimo della tensione di compressione di progetto, almeno 10 cicli con spostamento massimo impresso almeno pari a  $1,2 d_2$  ( $d_2$  = spostamento massimo di progetto allo SLU del dispositivo);
- valutazione di efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, effettuata sottoponendo l'isolatore, sotto compressione costante almeno pari al valore massimo della tensione di compressione di progetto, a una deformazione  $\gamma \geq 2,5$  senza che si verifichino danni.

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 4 dispositivi, due per le prove senza invecchiamento e due per le prove dopo invecchiamento artificiale, ottenuto mantenendo i dispositivi di prova per 21 giorni a 70 °C.

L'invecchiamento dovrà comunque essere preceduto dalla determinazione statica della rigidità a compressione e del modulo statico di taglio G, secondo le modalità definite, per valutare le caratteristiche dei dispositivi sottoposti a invecchiamento prima dell'invecchiamento stesso. I valori di G dopo l'invecchiamento non devono superare di 1,15 volte i valori di G prima dell'invecchiamento.

La validità delle prove di invecchiamento potrà essere estesa a tutti i dispositivi realizzati con la stessa miscela, indipendentemente dai rapporti di forma. Per qualificare lo stesso dispositivo per diversi valori della tensione di compressione le prove possono essere ripetute in sequenza sugli stessi dispositivi da qualificare, verificando che tra una prova e la successiva non si siano verificati danni ai dispositivi.

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione non potranno essere utilizzati nella costruzione.

#### Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, con le modalità viste per le prove di qualificazione, si riterranno superate se i risultati ottenuti soddisfano i limiti sotto specificati e se il modulo statico di taglio G non differisce da quello delle prove di qualificazione di oltre il  $\pm 10\%$ :

- misura della geometria esterna che dovrà rispettare le tolleranze prescritte dalle norme sugli apparecchi di appoggio, con l'unica deroga dei dispositivi di altezza superiore a 100 mm per i quali la tolleranza sulle altezze è compresa tra 0 e 6 mm;
- determinazione statica della rigidità verticale tra il 30% e il 100% del carico V secondo UNI EN 1337;
- determinazione statica del modulo statico di taglio G con le modalità specificate per le prove di qualificazione;
- valutazione di efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, con le modalità specificate per le prove di qualificazione, ma adottando per la deformazione  $\gamma$  il valore corrispondente allo spostamento  $d_2$ .

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con minimo di 4.

### **27.4.10.2. Dispositivi a comportamento non lineare e lineare**

#### Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle vigenti norme e finalizzate ad accertare la tensione e l'allungamento al limite elastico, la tensione e l'allungamento a rottura del materiale costituente gli elementi base del dispositivo. Esse sono finalizzate ad individuare i valori medi e quelli caratteristici delle quantità suddette e la prevedibile costanza di comportamento del materiale considerato e debbono permettere di estrapolare il comportamento del materiale da quello del dispositivo e di verificare la sostanziale invariabilità del comportamento del dispositivo rispetto alle variazioni ambientali, la temperatura interna, l'invecchiamento.

Il tipo e le modalità di prova verranno stabiliti di volta in volta dal produttore, in relazione al tipo di materiale, e verranno giustificati con una relazione, di cui il produttore si assumerà piena e completa responsabilità, che chiarisca in ogni dettaglio il rapporto tra comportamento del materiale e comportamento del dispositivo.

#### Prove di qualificazione sui dispositivi

Le prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori e che possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati, sono le seguenti:

- prova "preliminare", condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima non inferiore a  $\pm 0,1 d_2$ ,  $\pm 0,2 d_2$ ,  $\pm 0,3 d_2$ ,  $\pm 0,5 d_2$ ,  $\pm d_2$  ( $d_2$  = spostamento massimo di progetto allo SLU del dispositivo);
- prova "quasi statica", condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a  $\pm 1,2 d_2$ ;
- prova "dinamica", condotta imponendo al prototipo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a  $\pm 1,2 d_2$ , applicando le deformazioni imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite ultimo ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo;
- La "prova dinamica" può essere sostituita da una replica della prova statica, qualora il materiale degli elementi base sia acciaio o altro materiale il cui comportamento ciclico non dipenda dalla velocità di deformazione, in un ran-



ge pari a  $\pm 30\%$  intorno al valore di progetto. Tale proprietà dovrà, eventualmente, essere verificata attraverso appropriate prove sui materiali o sugli elementi base.

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 2 dispositivi. I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione potranno essere utilizzati nella costruzione solo se gli elementi sollecitati in campo non lineare vengono sostituiti o se la loro resistenza alla fatica oligociclica è di un ordine di grandezza superiore al numero dei cicli delle prove.

#### Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, saranno effettuate con le modalità già viste per le prove di qualificazione e si riterranno superate se i risultati ottenuti non differiranno da quelli delle prove di qualificazione di oltre il  $\pm 10\%$ :

- misura della geometria esterna, con tolleranza di  $\pm 10\%$  sugli spessori e  $\pm 5\%$  sulle lunghezze;
- prova ciclica condotta imponendo al prototipo almeno 4 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima non inferiore a  $\pm d_2/20$ , volte a determinare il valore della rigidezza teorica iniziale  $K_1$ .

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con un minimo di 4. Su almeno un dispositivo verrà anche condotta una prova “quasi statica”, imponendo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima pari a  $\pm 1,2 d_2$ . Il dispositivo non potrà essere utilizzato nella costruzione, a meno che il suo perfetto funzionamento non sia ripristinabile con la sostituzione degli elementi base.

### **27.4.10.3. Dispositivi a comportamento viscoso**

#### Prove di accettazione sui materiali

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle vigenti norme. Esse debbono permettere di estrapolare il comportamento dal materiale a quello del dispositivo e di verificare la sostanziale invariabilità del comportamento del dispositivo rispetto alle variazioni ambientali, alla temperatura interna, all'invecchiamento.

Il tipo e le modalità di prova verranno stabiliti di volta in volta dal produttore, in relazione al tipo di materiale, e verranno giustificati con una relazione, di cui il produttore si assumerà piena e completa responsabilità, che chiarisca in ogni dettaglio il rapporto tra comportamento del materiale e comportamento del dispositivo.

#### Prove di qualificazione sui dispositivi

Le prove di qualificazione sui dispositivi, da eseguire preventivamente al loro impiego, salvo esplicita deroga da parte della Direzione Lavori e che possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati, sono le seguenti:

- prova “preliminare”, finalizzata alla verifica dei parametri caratterizzanti il comportamento del dispositivo, condotta imponendo al prototipo almeno 4 cicli completi di deformazioni alternate, con rampe a velocità costante e ampiezza massima riferita al prototipo reale non inferiore a  $\pm 0,5 d_2$ , per almeno 5 diversi valori della velocità di spostamento, pari al 25%, 50%, 75%, 100%, 125% del valore di progetto.
- prova “dinamica”, condotta imponendo al prototipo almeno 10 cicli completi di deformazioni alternate, eventualmente effettuati in due serie di 5 cicli consecutivi, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a  $\pm 1,2 d_2$ , applicando le deformazioni imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite ultimo ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo di ampiezza massima  $\pm d_2$ .

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 2 dispositivi. I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione potranno essere utilizzati nella costruzione, previa verifica della loro perfetta integrità a seguito delle prove.

#### Prove di accettazione sui dispositivi

Le seguenti prove di accettazione sui dispositivi, che saranno effettuate a richiesta della Direzione Lavori, saranno effettuate con le modalità già viste per le prove di qualificazione e si riterranno superate se i risultati ottenuti non differiranno da quelli delle prove di qualificazione di oltre il  $\pm 10\%$ :

- misura della geometria esterna, con tolleranza di  $\pm 10\%$  sugli spessori e  $\pm 5\%$  sulle lunghezze;
- prova “dinamica”, condotta imponendo al prototipo almeno 10 cicli completi di deformazioni alternate, eventualmente effettuati in due serie di 5 cicli consecutivi, con ampiezza massima pari a  $\pm d_2$ , applicando le deformazioni

imposte con una velocità mediamente pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite di danno ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, a quella corrispondente ad una frequenza di 0,5 Hz per ogni ciclo completo di ampiezza massima  $\pm d_2$ .

Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, con minimo di 4.

## **27.5. Protezione**

### **27.5.1. Generalità**

Devono essere adottate misure di protezione degli apparecchi d'appoggio e dei dispositivi antisismici (congiuntamente denominati "dispositivi") dagli effetti degli agenti aggressivi dell'ambiente e di altre cause esterne che potrebbero ridurre la vita utile prevista. I riferimenti normativi in merito sono contenuti nel Par. 2 della norma UNI EN 1337-9.

Andranno raccolte informazioni sulle caratteristiche dell'ambiente di destinazione, in particolar modo se atteso più aggressivo dell'ambiente marino, per poter attuare interventi protettivi adeguati. In linea generale, le misure di protezione contro la corrosione si attuano, o selezionando materiali per i quali l'ambiente a cui sono destinati non risulti aggressivo, o dotando le parti esposte dell'apparecchio di un rivestimento protettivo, o mediante altre soluzioni (es. bagno d'olio) per isolare l'appoggio dall'ambiente circostante.

Misure protettive speciali possono essere richieste in particolari circostanze (ad es. dove siano previste infiltrazioni di polvere e sabbia, nidificazioni di animali, ecc.).

La struttura e i dispositivi devono essere progettati in modo tale da permetterne agevolmente ispezione e manutenzione. Qualora si rendessero necessarie misure protettive speciali, queste devono essere rimovibili o comunque non costituire ostacolo alle operazioni di ispezione e manutenzione.

### **27.5.2. Requisiti**

#### **27.5.2.1. Protezione contro gli effetti ambientali**

Le parti metalliche dei dispositivi devono essere protette contro la corrosione. Sono escluse le superfici soggette a scorrimento, rotazione, aderenza per attrito o carico concentrato.

Il sistema di protezione anticorrosiva, qualificato secondo la norma UNI EN 1337-9, deve garantire che, per un periodo di dieci anni dopo la consegna, gli appoggi siano conformi ai requisiti dettagliati di seguito:

- densità di bolle non superiore al grado 1 della norma ISO 4628-2;
- ossidazione non superiore al grado  $R_i = 1$  della norma ISO 4628-3;
- distacco del rivestimento non superiore alla classe 1 della norma ISO 4628-4;
- desquamazione non superiore alla classe 1 della norma ISO 4628-5.

Se l'apparecchio deve essere installato in un ambiente più aggressivo di quello marino, si devono concordare requisiti particolari per la protezione anticorrosiva.

Per definire il sistema di protezione anticorrosiva, deve essere fornita la documentazione seguente:

- procedura seguita per la protezione anticorrosiva dei dispositivi;
- specifiche dei fornitori del materiale;
- prove eseguite.

Quanto sopra deve includere come minimo quanto segue:

- grado di preparazione della superficie (per esempio SA 2½ secondo la norma ISO 8501);
- tipo di rivestimento protettivo;
- numero degli strati.

Per i sistemi di verniciatura:

- numero dell'articolo e colore;

- marchio di fabbrica e numero di riferimento del produttore;
- numero della scheda tecnica;
- luogo di applicazione;
- modo di applicazione;
- spessore minimo della pellicola secca.
- spessore locale massimo della pellicola secca;
- procedure per il trattamento di danni locali ai rivestimenti protettivi;
- risultati delle prove come da prospetto seguente:

PROVA	NORMA	CRITERI DI ACCETTABILITÀ
Nebbia salina	UNI EN ISO 9227	Assenza di bolle sec. ISO 4628-2 Assenza di ruggine sec. ISO 4628-3 Assenza di distacco Ri = 1 sec. ISO 4628-4 Assenza di sfaldatura sec. ISO 4628-5
Spessore minimo del film secco	ISO 2808	Come specificato dal produttore della vernice
Adesione	ISO 2409	0 o 1
Urto	UNI EN ISO 6272	Nessun danno visibile con una massa di 1 kg e un'altezza di caduta di 100 mm

Queste prove devono essere ripetute ogni cinque anni o quando sia apportato un cambiamento al sistema di protezione anticorrosiva.

#### 27.5.2.2. Corrosione elettrolitica

Qualora nello stesso apparecchio siano usati metalli diversi, occorre prevedere misure atte ad evitare la corrosione elettrolitica per formazione di coppie bimetalliche.

### 27.6. Manutenzione

E' necessario effettuare controlli e garantire una costante manutenzione dei dispositivi durante la fase di esercizio.

Le operazioni di ispezione, controllo e manutenzione, che non sono oggetto specifico del presente Capitolato, andranno condotte in accordo alla norma UNI EN 1337–10.

Ogni dispositivo o famiglia di dispositivi, dovrà essere dotato di un manuale di manutenzione, controfirmato dal fornitore, in cui il costruttore indicherà modalità, tempistica e frequenza degli interventi di controllo e manutenzione da eseguire (ordinaria e straordinaria). Tale documentazione dovrà essere allegata a partire dalla fase di presentazione del dispositivo per l'impiego.

### 27.7. Operazioni in cantiere

#### 27.7.1. Trasporto e immagazzinamento

Le operazioni di trasporto, immagazzinamento e installazione dei dispositivi saranno in accordo con la norma UNI EN 1337–11.

L'imballaggio deve essere accurato, in modo da evitare qualsiasi danno durante il trasporto. La movimentazione e l'installazione dei dispositivi devono essere eseguite solo da personale qualificato, le cui competenze e qualifiche devono essere opportunamente documentate.

I dispositivi devono essere movimentati con cura e protetti da danni e contaminazioni. Se non è possibile movimentarli a mano, si provvederanno attacchi permanenti o temporanei che facilitino il sollevamento con mezzi meccanici.

Se i dispositivi non sono installati nella struttura subito dopo la consegna, devono essere conservati dall'utilizzatore al riparo dagli agenti meteorici e da altre contaminazioni ed interferenze negative dovute all'attività del cantiere ed inoltre in modo che ne sia garantita la ventilazione ed impediti ristagni di umidità. All'impiego i dispositivi si dovranno quindi presentare perfettamente integri e privi di degrado dovuto allo stoccaggio temporaneo.

### **27.7.2. Operazioni preliminari all'installazione**

La posa in opera dei dispositivi deve essere effettuata sulla base di disegni di installazione redatti dall'Appaltatore. Tali elaborati, da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto alla posa prevista, dovranno riportare tutti i dati richiesti per l'installazione (dimensioni, quote, inclinazioni, posizionamento planimetrico, tolleranze, qualità del materiale di sigillatura, eventuale prerogolazione in funzione della temperatura ambiente e della struttura).

Gli elaborati dovranno anche riportare le tolleranze di fabbricazione e di montaggio che dovranno, quando congruenti con la tipologia in esame, comprendere almeno le informazioni seguenti:

- planarità dei piani di posa;
- parallelismo dei piani di interfaccia;
- dimensioni delle sedi e predisposizioni;
- posizione degli ancoraggi.

In cantiere, dopo la consegna e prima della posa, occorre controllare e registrare la condizione dei dispositivi. Particolare attenzione deve essere data ai punti seguenti:

- danni visibili, con particolare riferimento alla protezione anticorrosiva;
- pulizia;
- sicurezza dei dispositivi di bloccaggio temporanei;
- conformità ai disegni costruttivi e di installazione;
- marcature sulla superficie dei dispositivi, marcatura degli assi x e y e, se necessario, marcatura della prerogolazione sui lati delle piastre di supporto, identificazione dei punti di misurazione della rotazione e dello scorrimento;
- posizione di tutti i dispositivi che servono ad assicurare l'esatto posizionamento ed installazione degli appoggi, se previsti;
- indicatori di spostamento per gli appoggi mobili in direzione longitudinale, se previsti;
- entità e direzione della prerogolazione, se prevista;
- possibilità di aggiustamento della prerogolazione, se prevista.

### **27.7.3. Installazione**

#### **27.7.3.1. Generalità**

I dispositivi devono essere installati in conformità a tutti i dettagli riportati sui disegni d'installazione e in accordo con le marcature sulla loro superficie (tipo, assi e direzioni dei movimenti consentiti, ecc.).

Non è consentito l'uso degli appoggi definitivi per operazioni (movimenti, trasmissione di forze, ecc.) anche se transitorie, legate alla tecnologia di realizzazione dell'opera, salvo specifica procedura prevista in progetto o approvata dalla Direzione Lavori, da eseguire sotto la supervisione del fornitore.

I dispositivi devono essere di regola posti in opera tra due superfici orizzontali, anche in presenza di impalcati in pendenza. È consentita la ripresa di tale pendenza mediante inserimento di piastre a contatto con l'impalcato.

I dispositivi devono avere punti di riferimento per consentire la misurazione dei movimenti orizzontali (appoggi mobili) e della rotazione. Gli indicatori di movimento devono avere i limiti estremi di movimento marcati.

All'atto della posa in opera, la corsa disponibile degli appoggi mobili deve essere preregolata rispetto alla temperatura media di posa in opera, in modo che l'asse di appoggio risulti, a deformazioni lente esaurite, centrato in condizione di temperatura media. La temperatura approssimativa prevalente nella struttura e, in casi particolari, le variazioni di temperatura in punti diversi nella struttura stessa, saranno valutate in accordo alla Appendice A della norma UNI EN 1337-11.

Di regola i dispositivi sono installati su uno strato intermedio di malta di sigillatura. Solo gli appoggi di gomma senza piastre d'acciaio esterne possono essere posati direttamente sulla superficie di appoggio, che deve tuttavia essere pulita, asciutta, liscia e piana.

In zona sismica, l'ancoraggio deve essere affidato, superiormente e inferiormente, a dispositivi di tipo meccanico, da dimensionare in funzione della totalità delle forze orizzontali da trasmettere (si assume che l'attrito, in questo caso, non eserciti resistenza nei confronti delle forze orizzontali).

Se specificato, devono essere usate viti di regolazione per regolare il posizionamento dell'apparecchio. In alternativa possono essere usati cunei o altri strumenti adatti.

In nessun caso si inseriranno elementi rigidi sotto gli appoggi. Ciò può essere evitato togliendo i supporti temporanei, quando la malta ha raggiunto la resistenza richiesta.

I dispositivi possono essere posati in uno dei seguenti modi:

- su uno strato bombato di malta plastica consistente, in modo tale che l'eccesso di malta possa essere premuto fuori da tutti i lati;
- sigillati mediante colata o iniezione di malta fluida, assicurando un'adeguata ventilazione. Gli appoggi ancorati con pioli sono generalmente installati con tecniche di colata o iniezione;
- costipando la malta al di sotto di essi. Questo metodo è raccomandato solo quando la lunghezza del lato più corto è minore di 500 mm.

Per i tirafondi e la bulloneria di ancoraggio sarà impiegato di regola acciaio ad alta resistenza.

Indipendentemente dal metodo usato, i dispositivi devono poggiare su tutta la superficie di contatto prevista.

I dispositivi, una volta installati, non devono essere ostacolati nel loro funzionamento da qualsiasi operazione di rifinitura, ad esempio da effettuarsi in relazione alla protezione anticorrosiva. Esempi da evitare includono la sabbatura delle superfici scorrevoli esposte e l'inceppamento delle parti mobili per eccesso di vernice.

### **27.7.3.2. Montaggio della sovrastruttura**

I componenti strutturali gettati in opera sono generalmente gettati direttamente sugli appoggi successivamente alla installazione di questi ultimi. Si deve fare attenzione che l'appoggio sia pulito, che siano evitati danni provocati dal calcestruzzo umido e che l'appoggio possa essere sostituito senza difficoltà.

Nel caso di elementi di calcestruzzo prefabbricato o di acciaio si prenderanno opportune misure per assicurarne il contatto uniforme con l'appoggio.

Le dimensioni in pianta delle eventuali contropiastre devono essere maggiori o uguali a quelle dell'elemento a contatto. Nel caso di strutture in c.a. ordinario, realizzate in opera dopo il posizionamento dei dispositivi, è ammesso omettere le contropiastre predisponendo opportuni tirafondi e garantendo, comunque, la sostituibilità degli appoggi.

La solidarizzazione alle strutture metalliche deve avvenire di regola esclusivamente mediante unioni di tipo meccanico.

Il fissaggio mediante saldatura è permesso solo in casi eccezionali e deve essere eseguito solo da personale qualificato. Devono essere prese misure per evitare danni provocati dal calore alle parti ad esso sensibili, come quelle di plastica.

Il sistema di protezione anticorrosiva deve essere ripristinato dopo la saldatura, se necessario.

### **27.7.3.3. Geometria**

Nel caso in cui occorra correggere la quota, l'operazione deve essere effettuata tramite colata o riempimento con malta fine o materiale simile.

La correzione di quota con l'aiuto di piastre metalliche aggiuntive è permessa solo se le superfici metalliche a contatto sono lavorate meccanicamente e se c'è garanzia che esse rimangano piane fino al completamento dell'installazione. La protezione anticorrosiva va estesa a tali piastre.

La correzione della quota deve essere eseguita solamente da personale qualificato.

Se una qualsiasi tolleranza d'installazione data nelle varie parti della norma UNI EN 1337 non è rispettata, occorre valutarne le implicazioni strutturali e concordare adeguati provvedimenti.

#### 27.7.3.4. Allettamento dei dispositivi

Lo spessore della malta di sigillatura non armata, disposta tra l'appoggio e le strutture a contatto, non deve di regola superare il minore dei seguenti valori:

- 50 mm
- $A / P + 1.5$  [mm]

dove A e P sono rispettivamente l'area ed il perimetro delle superfici di contatto.

Inoltre lo spessore non deve essere minore di tre volte la dimensione massima dell'inerte impiegato nella confezione della malta.

L'idoneità della malta usata e il metodo di posa devono essere verificati con prove secondo le norme di riferimento.

Nel caso di malta cementizia, la superficie di calcestruzzo dell'infrastruttura deve essere saturata con acqua prima dell'installazione per prevenire la disidratazione. Immediatamente prima di colare la malta, qualsiasi residuo di acqua sulla superficie deve essere eliminato.

Quando si usa la malta di resina, le caratteristiche chimiche della resina e il rapporto resina/inerti, oltre che garantire la compatibilità chimica con le superfici da essa unite, dovranno assicurare una consistenza soddisfacente e un tempo di lavorabilità sufficiente a consentire una corretta installazione nella situazione di cantiere. Deve essere tenuta in considerazione la durabilità del prodotto in termini di resistenza, indurimento finale e forma.

I materiali di allettamento comunemente utilizzati, con le loro rispettive caratteristiche sono i seguenti:

- Malta cementizia, premiscelata, colabile, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche per ridurre gli effetti negativi del ritiro plastico e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (acciaio) per conferire duttilità, con le caratteristiche indicate nelle malte per ripristini di tipo MC3 (v. apposito punto del presente Capitolato), salvo migliori prescrizioni progettuali;
- Betoncino cementizio, colabile, ad elevatissima duttilità, ottenuto aggiungendo aggregati selezionati alla malta descritta in precedenza, con le caratteristiche indicate nei betoncini per ripristini di tipo B3 (v. apposito punto del presente Capitolato), salvo migliori prescrizioni progettuali;
- Malta di resina per spessoramenti con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:
  - Resistenza a compressione (ASTM D695): > 55 MPa a 7 gg di stagionatura;
  - Modulo elastico (ASTM D695): 7000 MPa a 7 gg di stagionatura;
  - Resistenza a trazione per flessione (ASTM D790): > 25 MPa a 7 gg di stagionatura;
  - Resistenza a trazione diretta (ASTM D638): > 8 MPa a 7 gg di stagionatura;
  - Modulo elastico a trazione diretta (ASTM D638): 9500 MPa a 7 gg di stagionatura;
- Sigillante di natura polisolfurica con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:
  - Resistenza a trazione (UNI EN 12311): 0,5 MPa;
  - Allungamento a rottura (UNI EN 12311): 250%;
  - Permeabilità all'acqua (UNI EN 1928): nulla;
  - Resistenza in nebbia salina (ASTM R 117): 650 h;
  - Durezza: 25 ShA;
- Pasta di resina con funzione di adesivo con le seguenti caratteristiche, salvo migliori prescrizioni progettuali:

- Resistenza a compressione: 90 MPa;
- Resistenza a flessotrazione: 50 MPa;
- Adesione al metallo (ASTM D1002): 10 MPa;
- Adesione al calcestruzzo (UNI 8298-1): 3 MPa (rottura del supporto in cls);
- Ritiro lineare (ASTM D2556): inferiore a 0,0013;
- Modulo elastico secante a compressione (UNI 6556): 6 GPa;
- Gel time (ASTM D2471): a 5 °C, 150 min; a 20 °C, 45 min.

Quando per l'allettamento debbano essere utilizzati dei casseri, questi non devono essere rimossi fino a che la malta non si sia sufficientemente indurita, ma devono essere rimossi completamente prima che l'appoggio diventi operativo. Non ne è permessa la rimozione tramite combustione.

#### **27.7.3.5. Bloccaggio temporaneo dei dispositivi**

Deve essere assicurato che al momento del collegamento alle strutture, gli apparecchi abbiano la configurazione geometrica prevista in Progetto; pertanto ogni apparecchio che non sia intrinsecamente idoneo a mantenere la configurazione prevista, deve essere dotato di un adeguato sistema di bloccaggio temporaneo.

Di norma questi sistemi devono essere distinti dall'apparecchio in sé e progettati in base ai dati indicati in progetto. Nel caso essi debbano essere montati sull'apparecchio, solo al momento della rimozione di detti accessori lo stesso acquisterà la sua piena funzionalità. Gli stessi devono quindi essere posizionati in modo che sia possibile identificarli e rimuoverli facilmente al termine della loro funzione; a tali fini tutti gli elementi che li compongono devono essere chiaramente identificabili e distinguibili dall'appoggio e devono essere di regola colorati in modo diverso.

Tali sistemi non possono essere utilizzati per la trasmissione di sollecitazioni legate alla tecnologia utilizzata per la realizzazione dell'opera.

I bloccaggi temporanei devono inoltre garantire il mantenimento della eventuale preregolazione del dispositivo.

Quando sia richiesto dal progetto, possono essere utilizzati sistemi di bloccaggio provvisorio "di forza" allo scopo di assicurare un collegamento di tipo rigido durante la fase di costruzione dell'opera stessa.

In considerazione del previsto comportamento globale dell'opera durante il periodo di utilizzazione dei bloccaggi provvisori di forza, possono essere richiesti a quest'ultimo requisiti prestazionali particolari, quali per esempio:

- possibilità di essere disattivati sotto carico;
- possibilità di essere installati in stato di presollecitazione.

#### **27.7.3.6. Rilascio della struttura sugli appoggi**

Il rilascio della struttura sugli appoggi, ove risulti una operazione a se stante, nel senso che non si tratti di realizzare in opera la struttura su di essi poggiante, ad appoggi già posizionati e quindi con una introduzione dei carichi sugli stessi di per se graduale, deve essere eseguito adottando accorgimenti atti ad evitare che, volontariamente o involontariamente, i carichi introdotti e le modalità della loro introduzione siano tali da danneggiare i dispositivi o da impedire qualcuna delle operazioni specificate ai punti precedenti.

Ad esempio, quando si tratti di posa in opera di travi prefabbricate o di travate preassemblate, queste dovranno essere movimentate con la massima lentezza e, se del caso, appoggiate provvisoriamente su idonei "calaggi", atti a consentirne il successivo graduale abbassamento fino alla posizione definitiva. Durante l'ultima fase della movimentazione dovrà essere possibile controllare con la dovuta accuratezza la geometria di posizionamento delle strutture, in modo da evitare riprese successive alla loro prima posa.

Qualsiasi vite di regolazione rimarrà in opera fino a che la malta di qualsiasi strato intermedio sia sufficientemente indurita. Successivamente, tutti i sostegni provvisori rigidi e i dispositivi di regolazione e di bloccaggio devono essere rimossi, prima che l'apparecchio diventi pienamente operativo e a meno che le viti di livellamento siano progettate per risultare inattive quando il carico finale viene applicato.

### **27.7.3.7. Registrazioni**

Devono essere fatte le registrazioni delle ispezioni eseguite in accordo con il Par. 7 della norma UNI EN 1337–11 e dei risultati delle stesse sulla traccia del modulo campione riportato nell'Appendice B della norma UNI EN 1337–11. Deve essere redatta documentazione specifica sugli esiti delle ispezioni effettuate.

Se non concordato altrimenti, per ogni dispositivo si deve tenere una registrazione di:

- a) data e ora dell'installazione;
- b) temperatura della struttura;
- c) regolazione del dispositivo;
- d) posizione del dispositivo relativa alla sovrastruttura, alla base ed agli assi;
- e) condizioni del dispositivo, inclusa la protezione anticorrosiva;
- f) qualsiasi modifica fatta alla regolazione;
- g) stato dei dispositivi di bloccaggio provvisori;
- h) condizione del piano di appoggio;
- i) prova di idoneità della malta di sigillatura;
- j) data e ora del rilascio della struttura sul dispositivo;
- k) conferma che le viti dei dispositivi di bloccaggio provvisorio siano state allentate o rimosse o che i dispositivi medesimi siano stati rimossi;
- l) conferma che i valori dei franchi di scorrimento e di rotazione siano quelli previsti.

Se appoggi mobili sono stati installati inizialmente come appoggi fissi (punti fissi provvisori), devono essere fatte e registrate ulteriori misure, dopo che i dispositivi di fissaggio siano stati rimossi.

### **27.8. Certificazione di qualità**

Il fornitore dei dispositivi dovrà operare ed essere in possesso di valida certificazione, ai sensi della norma UNI EN ISO 9001.

A richiesta della Direzione Lavori dovrà preventivamente produrre la descrizione del processo di produzione e di installazione dei dispositivi (Piano di Assicurazione della Qualità) e l'indicazione di tutti i controlli che dovranno essere eseguiti per assicurare in modo soddisfacente la loro rispondenza alle norme vigenti ed al presente Capitolato.

Durante le varie fasi di lavorazione, il PAQ sarà aggiornato con tutta la documentazione relativa alle prove ed ai controlli di produzione effettuati

### **27.9. Penali**

Sono previste penalità per il non raggiungimento delle prestazioni dei dispositivi previste in progetto.

Qualora dalle prove eseguite su un dispositivo, secondo il presente Capitolato, risultassero valori prestazionali inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, il Direttore dei Lavori potrà far eseguire ulteriori verifiche atte a valutare l'ammissibilità delle prestazioni ridotte. Ove tali verifiche dessero esito positivo, il dispositivo sarà accettato ma il suo prezzo sarà decurtato del 20%; qualora invece i valori prestazionali riscontrati fossero inferiori a quelli prescritti di oltre il 10% o le precedenti verifiche avessero dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a suo totale onere, alla sostituzione della fornitura in oggetto con una nuova fornitura di caratteristiche adeguate alle prescrizioni richieste.

### **27.10. Sollevamento impalcati per sostituzione appoggi**

Devono essere previsti accorgimenti atti a consentire una facile sostituzione dei dispositivi o di parti di questi mediante sollevamento dell'impalcato, la misura e le modalità del quale devono comunque essere decise sulla base delle ca-



ratteristiche statico-deformative delle strutture da essi collegate, valutate sulla base del progetto o di specifiche prove.

Nel caso di sollevamento di impalcati operando in due o più punti lungo la stessa linea di appoggi, l'apparecchiatura idraulica impiegata dovrà essere comandata da una centrale operante a pressioni differenziate e rapporto volumetrico costante, per assicurare un sollevamento rigido di ogni testata di impalcato, senza indurre nella struttura sollecitazioni torsionali.

Il controllo delle operazioni di sollevamento dovrà essere effettuato a distanza mediante idonea strumentazione.

Dopo che ogni testata sarà stata sollevata e prima di intervenire sui dispositivi, l'Appaltatore dovrà bloccare la struttura nella posizione raggiunta mediante appoggi provvisori o attrezzature equivalenti, che siano in grado di assicurare la stabilità dell'insieme e garantire la massima sicurezza agli operatori.

Di norma non si dovrà sollevare più di una campata per volta. Eventuali deroghe dovranno essere concordate con la Direzione Lavori e in questi casi dovranno essere rinforzate le strutture provvisorie di blocco e si dovranno adottare adeguati sistemi di controventatura per contrastare possibili sollecitazioni indesiderate longitudinali e trasversali. A tale riguardo dovranno essere adottate adeguate cautele, nei casi in cui la pendenza longitudinale dell'opera possa far prevedere fenomeni di scorrimento.

Successivamente, l'Appaltatore procederà alla rimozione, alla raccolta e al trasporto alla destinazione richiesta dei dispositivi esistenti.

Prima della posa in opera dei nuovi dispositivi, si provvederà alla rinvivatura e rettifica dei baggioli e dell'intradosso degli impalcati, in corrispondenza delle zone di contatto con i dispositivi stessi. La rettifica sarà effettuata mediante malta di resina epossidica (o altro efficace e durevole accorgimento), nelle quantità necessarie per ottenere il parallelismo fra i piani di appoggio dei baggioli e l'intradosso degli impalcati, tenendo conto della eventuale presenza di piastre interposte.

Ad avvenuto completamento degli interventi sotto gli impalcati, si dovrà procedere al loro abbassamento, con estrema lentezza ed adottando le stesse cautele della fase precedente.

## **28. Giunti di dilatazione su opere d'arte**

### **28.1. Generalità e tipologie**

Nel prosieguo il termine “giunto” (o “giunto di dilatazione”), che significa propriamente la discontinuità presente in una struttura per consentirne la libera dilatazione (termica o dovuta alle sue proprietà deformative), verrà impiegato in luogo del più appropriato ma meno frequentemente usato nel linguaggio tecnico corrente “coprigiunto”. D'altro canto ciò corrisponde perfettamente all'uso del termine normativo inglese *expansion joint*.

Il presente Capitolato considera soltanto i giunti di dilatazione “di superficie”, utilizzabili per impalcati di opere d'arte stradali ed autostradali. I giunti in oggetto possono essere destinati sia ad opere di nuova costruzione, sia alla sostituzione di giunti preesistenti.

I giunti di impiego ordinario e di produzione corrente si distinguono in:

– Giunti in acciaio

generalmente costituiti da profilati in acciaio contrapposti, ancorati alla struttura con zanche e getti integrativi di malte o betoncini. Sono di regola completati da un profilo flessibile in elastomero (incollato o vulcanizzato agli elementi metallici) inserito nel varco del giunto, per garantirne l'impermeabilizzazione. Tale tipologia, adatta a piccolissime o piccole escursioni, è anche comunemente utilizzata, con qualche ulteriore accorgimento, per realizzare giunti cosiddetti “sottopavimentazione” (quando la pavimentazione ricopre totalmente il giunto ed è continua sopra di esso);

– Giunti in elastomero armato

costituiti da elementi deformabili in gomma, vulcanizzati a profili metallici di armatura e di ancoraggio conglobati nella gomma. Il giunto è poi completato da masselli di raccordo con la pavimentazione in malta speciale. Gli elementi costituenti il giunto hanno sagomatura e dimensioni variabili a seconda della escursioni richieste, che vanno dalle piccole alle grandi. Grazie alla deformabilità degli elementi in gomma il giunto si adatta anche all'assorbimento di limitati scorrimenti trasversali e verticali (sbalzi di impalcati, giunti obliqui, ecc.);

– Giunti a pettine

ottenuti mediante la contrapposizione di due elementi metallici (in genere acciaio o lega di alluminio) aventi configurazione a pettine, tra loro complementare. Tali elementi garantiscono, grazie alla reciproca compenetrazione, la continuità del piano viabile in presenza di escursioni longitudinali. Lo schema statico può essere di doppio appoggio, quando l'elemento a pettine poggia su entrambe le testate o a mensola, quando esso è fissato a sbalzo su di una sola testata. A meno di accorgimenti particolari questo tipo di giunto, impiegabile per escursioni da piccole a medie, consente scorrimenti longitudinali consistenti ma laterali limitatissimi; occorre pertanto una particolare attenzione nell'accoppiamento con gli apparecchi d'appoggio, per i quali si raccomanda la tipologia mobile unidirezionale, con guide parallele ai denti del pettine;

– Giunti a piastre metalliche

composti da due o più piastre in acciaio, opportunamente sagomate, che scorrono le une sulle altre garantendo l'escursione richiesta e la continuità del piano viabile. E' una tipologia di giunto adatta a medie e grandi escursioni;

– Giunti modulari

costituiti da una serie di profili metallici disposti modularmente a più file nel senso trasversale dell'impalcato, collegati da idonei profili in gomma. Tali profili, di solito scorrevoli su elementi di supporto disposti longitudinalmente, per addizione di contributi assicurano lo sviluppo delle escursioni richieste. La continuità del piano viabile è assicurata direttamente da tali elementi metallici o da una piastra ponte metallica collegata rigidamente a una testata ed opportunamente contrastata sul lato opposto da elementi deformabili. Sono impiegati di norma per medie e grandi escursioni longitudinali e, con opportuni accorgimenti, anche per consistenti escursioni trasversali;

– Giunti tampone

sono costituiti da un getto in opera di un composto bituminoso flessibile, che assicura anche la continuità del piano stradale. Il sostegno del tampone è garantito da una sottile lamina di acciaio posta a cavallo del varco strutturale.

Tutte le suddette tipologie di giunto devono garantire la perfetta impermeabilità, ossia impedire che le acque superficiali (meteoriche o di altro tipo) ed anche quelle che si possono infiltrare nella pavimentazione, spesso cariche di sostanze aggressive (cloruri ed altre), infiltrandosi nei vuoti e nelle fessure, possano percolare liberamente causando un degrado accelerato delle parti con cui vengono a contatto. Pertanto le stesse, qualora di per se non possano garantire l'impermeabilità per tutta la loro prevista vita utile, o anche per effetto di cause accidentali ma statisticamente prevedibili, dipendenti dall'esercizio dell'infrastruttura, devono essere dotate di un adeguato sistema di impermeabilizzazione e di allontanamento delle acque.

I sistemi di impermeabilizzazione più comuni sono costituiti da una scossalina con profilo ad U, posta immediatamente al di sotto del giunto, saldata ai lembi del varco e realizzata in gomma o in lamierino, convenientemente prolungata sui due lati in modo da allontanare le acque dalla zona di possibile contatto con le parti strutturali.

Nell'indicazione delle caratteristiche geometriche di un giunto, senza particolari specificazioni, si intende che esse siano riferite alla temperatura media annua delle parti strutturali affacciate (intesa come temperatura delle masse strutturali e non come temperatura superficiale), che deve comunque essere dichiarata.

I giunti devono essere previsti per i parametri deformativi nominali indicati in progetto:

- massime escursioni longitudinale e trasversale o, in alternativa, massima escursione dell'intensità del vettore spostamento risultante e sua direzione;
- massime rotazioni relative rispetto all'asse trasversale ed a quello longitudinale o, in alternativa, massima escursione dell'intensità del vettore rotazione risultante e sua direzione.

Deve inoltre essere indicata l'angolazione del giunto rispetto all'asse (o agli assi significativi) dell'impalcato.

Quando una qualunque escursione (l'escursione equivale allo spostamento od alla rotazione relativa tra i lembi) massima sia ad esempio denominata  $\pm \Delta$ , detto  $\Delta_{\min}$  il valore minimo che tale parametro geometrico ( $\delta$ ) deve assumere (secondo le indicazioni di progetto), il valore del parametro stesso varierà nel seguente modo:

$$\Delta_{\min} \leq \delta \leq \Delta_{\min} + 2\Delta$$

essendo il valor medio (da ottenere quando le parti strutturali sono alla temperatura media annua):  $\delta_m = \Delta_{\min} + \Delta$ ,

ed il parametro nominale del giunto da installare generalmente indicato come:

$$\delta_N = \Delta_{\min} + 2\Delta + 2K,$$

essendo K un valore incrementativo in arrotondamento imposto dal progetto o concordato con la Direzione Lavori.

Deve essere tassativamente:  $\Delta_{\min} \geq 20 \text{ mm}$ .

## 28.2. Riferimenti normativi

Non vi sono normative specifiche di dettaglio cogenti, ad eccezione di quelle per applicazioni ferroviarie (ponti ferroviarie cavalca ferrovia). Al di fuori di queste ultime (che comunque possono essere prese a valido riferimento) valgono quindi le norme relative ai materiali impiegati per la realizzazione dei giunti ed i richiami inseriti nelle normative a carattere generale.

Norme ferroviarie:

- RFI/DIN/IC/PO-002-A Istruzione tecnica per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti negli impalcati ferroviari e nei cavalcavia (Sez. 3 – Coprigiunti).

Tra le generali possiamo citare le seguenti:

- UNI EN 1337-1: Appoggi strutturali – Regole generali di Progetto;
- UNI EN 1337-3: Appoggi strutturali – Appoggi elastomerici;
- D.M. 14/01/2008, con particolare riferimento al punto 5.1.7;
- Circ. Min. Lavori Pubbl. n. 2357 del 16.05.1996: Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza stradale.

Come utile e specifico riferimento si può citare la norma britannica:

- *Design Manual for Road and Bridges, vol. 2, Sect. 3, Part 6: BD 33/94 – Expansion joints for use in highway bridge decks.*

## 28.3. Materiali

### 28.3.1. Acciaio da costruzione

Le caratteristiche degli acciai da costruzione impiegati per la realizzazione dei giunti dovranno essere in accordo alla UNI EN 10025.

Gli acciai impiegati in elementi soggetti a verifica strutturale dovranno avere i seguenti requisiti minimi di resilienza:

- prova di resilienza secondo UNI EN 10045 : a -20 °C,  $\geq 27 \text{ J}$ .

Gli elementi in acciaio vulcanizzati a elementi in gomma e che non presentino saldature sono esclusi dalla suddetta prescrizione.

Tutte le superfici in acciaio non a contatto con il calcestruzzo devono essere protette dalla corrosione, compresa una striscia di 30 mm della parte a contatto col calcestruzzo.

Non necessitano protezioni anticorrosive gli elementi d'acciaio interamente ricoperti da gomma per uno spessore non inferiore a 2 mm, quelli inossidabili e quelli auto passivanti ("cor-ten" o similari).

Per la definizione del sistema di protezione anticorrosiva, l'Appaltatore dovrà documentare:

- la preparazione della superficie;
- il tipo di rivestimento della superficie;
- la procedura per il trattamento di danneggiamenti locali nella protezione anticorrosiva.

La documentazione deve essere controfirmata dal produttore delle materie prime e dei componenti del giunto.

### 28.3.2. Acciaio inossidabile

Le caratteristiche degli acciai inossidabili impiegati per la realizzazione dei giunti dovranno essere in accordo alla UNI EN 10088.

Per le superfici di scorrimento, in accoppiamento con elementi in PTFE, è prescritto l'impiego di acciaio inossidabile tipo X5 Cr NiMo 1712 (UNI EN 10088-2).

La scossalina principale di tenuta trasversale sarà preferibilmente realizzata in gomma (vedi paragrafi successivi), materiale che garantisce una maggiore impermeabilizzazione e una migliore lavorabilità rispetto all'acciaio. Se realizzata in lamiera di acciaio inossidabile, dovrà essere in X5 Cr Ni 1810 (UNI EN 10088-2), di almeno 0,6 mm di spessore o valori superiori per giunti di grande escursione.

Per i tirafondi e la bulloneria in genere sarà impiegato acciaio inossidabile tipo X5 CrNiMo 1712 secondo UNI EN 10088-2.

### **28.3.3. Leghe di alluminio**

Per tutte le leghe di alluminio dovranno essere indicate le normative di riferimento.

Per la lega di alluminio impiegata nella realizzazione di elementi esposti al traffico dovrà essere prodotta una lista di referenze in impieghi analoghi, che ne attesti l'idoneità e la validità nel tempo.

Le caratteristiche minime, salvo migliori prestazioni richieste dal progetto, dovranno risultare le seguenti (UNI EN 10002):

- carico unitario di rottura a trazione: > 215 MPa;
- carico unitario di scostamento dalla proporzionalità: > 175 MPa;
- allungamento: 1,5%;
- durezza Brinell: 70.

### **28.3.4. Gomma**

Le caratteristiche della gomma dovranno essere conformi a quelle riportate nelle norme UNI EN 1337 relative agli apparecchi di appoggio.

La scossalina principale di tenuta trasversale, se realizzata in gomma, dovrà essere in uno dei seguenti materiali e spessori minimi, salvo migliori caratteristiche richieste dal progetto:

- guaina in gomma policloroprenica di almeno 2 mm di spessore;
- guaina in Hypalon<sup>(1)</sup> (polietilene clorosulfonato) di almeno 1,2 mm di spessore;
- guaine in doppio strato di Hypalon e gomma policloroprenica, rispettivamente di spessori minimi 1 e 2 mm, per almeno complessivi 3 mm.

### **28.3.5. Malte, betoncini e resine**

#### – Malta cementizia premiscelata

colabile, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche per ridurre gli effetti negativi del ritiro plastico e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (acciaio) per conferire duttilità, con le caratteristiche indicate nelle malte per ripristini di tipo MC3 (v. specifico paragrafo), salvo migliori caratteristiche prescritte in progetto;

#### – Betoncino cementizio

colabile, ad elevatissima duttilità, ottenuto aggiungendo aggregati selezionati alla malta descritta in precedenza, con le caratteristiche indicate nei betoncini per ripristini di tipo B3 (v. specifico paragrafo), salvo migliori caratteristiche prescritte in progetto;

#### – Malta di resina per spessoramenti

con le seguenti caratteristiche a 7 gg di stagionatura, salvo migliori indicazioni di progetto:

- resistenza a compressione ASTM D695: ≥ 55 MPa;
- modulo elastico ASTM D695: ≥ 7000 MPa;

<sup>(1)</sup> Hypalon è un marchio di proprietà della società Du Pont de Nemours.

- resistenza a trazione per flessione ASTM D790:  $\geq 25$  MPa;
  - resistenza a trazione diretta ASTM D638:  $\geq 8$  MPa;
  - modulo elastico a trazione diretta ASTM D638: circa 9500 MPa;
- Sigillante di natura polisolfurica  
con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:
- resistenza a trazione UNI EN 12311:  $\geq 0,5$  MPa;
  - allungamento a rottura UNI EN 12311:  $\geq 250\%$ ;
  - permeabilità all'acqua UNI EN 1928: nulla;
  - resistenza in nebbia salina ASTM R 117:  $\geq 650$  h;
  - durezza:  $\geq 25$  ShA.
- Pasta di resina con funzione di adesivo  
con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:
- resistenza a compressione:  $\geq 90$  MPa;
  - resistenza a flessotrazione:  $\geq 50$  MPa;
  - adesione al metallo ASTM D 1002:  $\geq 10$  MPa;
  - adesione al calcestruzzo UNI 8298-1:  $\geq 3$  MPa (rottura del supporto in cls);
  - ritiro lineare ASTM D 2556:  $\leq 0,0013$ ;
  - modulo elastico secante a compressione UNI 6556: circa 6 GPa.
  - *gel time* ASTM D 2471: a 5°C, 150 min; a 20 °C, 45 min;
- Malta di resina con funzione impermeabilizzante-sigillante  
con le seguenti caratteristiche, salvo migliori indicazioni di progetto:
- resistenza a trazione UNI EN 12311:  $\geq 3$  MPa;
  - durezza:  $\geq 80$  ShA;
  - deformazione residua a trazione UNI EN 12311:  $\leq 15\%$ ;
  - permeabilità all'acqua UNI EN 1928: nulla;
  - adesione al calcestruzzo UNI 8298-1:  $\geq 3$  MPa (rottura del supporto in cls).

## 28.4. Requisiti funzionali

### 28.4.1. Generalità

Il giunto deve sopportare con la dovuta sicurezza il carico veicolare con i suoi effetti dinamici e consentire gli spostamenti longitudinali e le rotazioni delle parti contrapposte senza opporre significativa resistenza. Eventuali spostamenti trasversali (ponti in curva, ponti obliqui, ecc.) dovranno essere esplicitamente tenuti in conto secondo le indicazioni di progetto.

In corrispondenza del giunto devono essere impediti spostamenti verticali relativi tra i lembi, a livello del piano viabile, che possano pregiudicare la sicurezza del traffico e la durabilità del giunto stesso.

Il giunto deve assolvere la funzione di proteggere adeguatamente il bordo della pavimentazione, garantire adeguate caratteristiche di regolarità e di aderenza e non costituire rischio per qualsiasi categoria di utenza stradale.

Il giunto, sotto l'effetto del traffico, non dovrà generare elevati livelli di rumorosità né di vibrazioni.

### 28.4.2. Impermeabilità

L'impermeabilizzazione del giunto è di fondamentale importanza, tenendo conto che la perdita di impermeabilità è la causa più comune di deterioramento del giunto e di danni alle strutture sottostanti, con i costi diretti e indiretti che ne conseguono. Il giunto, inteso nel suo complesso deve quindi essere perfettamente impermeabile. Se è previsto il passaggio di acqua attraverso gli elementi superiori del giunto, questa deve essere raccolta nel varco strutturale al di sotto di esso da opportuni dispositivi (scossaline, gronde, canalette, etc.), allontanata dalle strutture adiacenti e scaricata nel sistema di drenaggio dell'impalcato.

Dovrà anche essere previsto un sistema di raccolta delle acque di infiltrazione nella pavimentazione, sia che queste siano esplicitamente previste dal progetto (strati di pavimentazione drenanti), sia che siano involontariamente dovute alla porosità dei materiali costituenti la pavimentazione. Tali acque, se accumulate in prossimità del giunto, possono esercitare, sotto l'azione della pressione veicolare, sollecitazioni anomale sul giunto e sulle sue parti (ad es. le sigillature).

Il sistema di impermeabilizzazione del giunto dovrà essere collegato, senza soluzione di continuità, a quello della soletta o della lamiera di impalcato.

I dispositivi previsti non devono interferire con le strutture principali dell'opera e devono consentire agevolmente le operazioni di ispezione e manutenzione.

### 28.5. **Posa in opera**

L'Appaltatore dovrà presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo prima di iniziare le lavorazioni, i disegni dei giunti e delle relative procedure di montaggio in opera, riferiti di norma alla posizione di apertura media.

Su tali elaborati dovranno essere riportate le tolleranze di fabbricazione secondo la norma UNI EN 22768 e le altre specificazioni geometriche necessarie a definire con esattezza le predisposizioni per la posa dei giunti.

Tali elaborati saranno preventivamente approvati dalla Direzione Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

Nel caso di installazione di giunti su opere nuove, la posa in opera (da effettuare generalmente dopo la stesa della pavimentazione), sarà realizzata secondo le seguenti fasi esecutive, salvo diverse specificazioni di progetto o dell'Appaltatore (previa approvazione della Direzione Lavori):

- 1) taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore, lungo le linee delimitanti la fascia da asportare;
- 2) demolizione della pavimentazione e dell'eventuale strato di impermeabilizzazione;
- 3) asportazione dell'eventuale giunto provvisorio;
- 4) rinvivatura dell'estradosso della soletta mediante fresatura, sabbiatura o bocciardatura;
- 5) eventuale getto di malta e/o di betoncino, cementizi, reoplastici, a ritiro compensato, fibrorinforzati, predosati, opportunamente armati e collegati alla testata, per portare in quota il piano di appoggio del giunto;
- 6) posizionamento del giunto, da effettuare con appositi apparecchi di livellazione in funzione delle quote della pavimentazione adiacente. La differenza di quota tra il piano della pavimentazione ed il piano superiore del giunto non dovrà eccedere i 5 mm;
- 7) eventuale pre-regolazione, da eseguire a cura di tecnici qualificati e con specifiche attrezzature, secondo le caratteristiche del giunto, nonché della temperatura e delle caratteristiche dell'opera;
- 8) getto in opera del massetto di raccordo tra giunto e pavimentazione.

Nel caso di manutenzioni, ripristini e adeguamenti, alle operazioni precedentemente descritte sono da aggiungere le seguenti fasi (dopo la fase 2):

- eventuale asportazione del giunto esistente ammalorato;
- eventuale ripristino della testata della soletta con malta e/o betoncino, secondo il tipo di degrado riscontrato. Tale ripristino avverrà previa verifica di funzionalità delle armature esistenti e loro eventuale integrazione, con un unico getto sino alla quota del piano di appoggio del giunto.

La preregolazione del giunto sarà effettuata in accordo con i dati forniti dal progetto o dalla Direzione Lavori, di norma con comunicazione scritta da inviare prima dell'inizio dei lavori. La preregolazione dovrà tener conto dell'apertura

strutturale esistente, della funzionalità del giunto previamente approvato e della capacità di movimento degli apparecchi di appoggio.

Il raccordo del giunto con la pavimentazione, salvo diverse prescrizioni progettuali, sarà eseguito secondo le specifiche fornite dall'Appaltatore e previa approvazione della Direzione Lavori. Il massetto sarà per ciascun lato del giunto di larghezza minima pari a 100 mm se eseguito con betoncino e di 50 mm se eseguito con altro prodotto specifico (asfalto colato, resina a basso modulo elastico, ecc.).

I raccordi con i cordoli e le barriere saranno realizzati in funzione delle escursioni del giunto; esemplificativamente nel modo seguente:

- per i giunti di escursione totale < 50 mm ( $o < \pm 25$  mm): guarnizione elastica inserita nell'apertura strutturale, eseguita in gomma, di caratteristiche conformi a quanto specificato in precedenza;
- per giunti di escursione > di 50 mm ( $o > \pm 25$  mm): lamiera o lamierino di acciaio, fissati ad uno dei lati e scorrevoli sull'altro, realizzati con materiali conformi a quanto specificato in precedenza ed adeguatamente protetti dalla corrosione.

## **28.6. Prove e controlli**

### **28.6.1. Generalità e controllo di qualità**

Il fornitore dei giunti dovrà operare ed essere in possesso di valida certificazione, ai sensi della norma UNI EN ISO 9001.

A richiesta della Direzione Lavori dovrà preventivamente produrre la descrizione del processo di produzione e di installazione dei dispositivi (Piano di Assicurazione della Qualità) e l'indicazione di tutti i controlli che dovranno essere eseguiti per assicurare in modo soddisfacente la loro rispondenza alle norme vigenti ed al presente Capitolato.

Durante le varie fasi di lavorazione, il PAQ sarà aggiornato con tutta la documentazione relativa alle prove ed ai controlli di produzione effettuati.

Le seguenti prove ed i seguenti controlli saranno condotti a discrezione della Direzione Lavori, in funzione delle prescrizioni di progetto, dell'importanza dei dispositivi messi in opera e delle strutture cui gli stessi sono asserviti, ferma restando la necessità di una prova documentale comprovante la qualità dei giunti e della loro posa in opera.

Di norma per i casi ordinari, privi di complessità e di importanza limitata, le prove indicate, fatta eccezione per la prova di adesione al supporto eseguita al martello, potranno essere omesse, sostituendole con accurati controlli durante tutte le fasi di prequalifica, approvvigionamento e realizzazione dei giunti.

### **28.6.2. Prova funzionale del giunto**

La prova va eseguita su di un prototipo di giunto in scala reale per una larghezza:

- > 3,75 m per giunti con appoggi discontinui;
- > 1,0 m e comunque coinvolgente almeno n. 2 ancoraggi per parte, per giunti con appoggio continuo.

Le prove consisteranno in:

- n. 10 cicli sperimentali con rilevazione della caratteristica forza-spostamento alle massime escursioni di esercizio;
- n. 3 cicli sperimentali come sopra alle massime escursioni sismiche.

### **28.6.3. Prove di carico**

La prova statica va effettuata su di un elemento significativo del giunto, avente larghezza come sopra e consisterà in n. 1 prova statica con carico pari a  $100 * 1,4 * 1,3 = 182$  kN, applicato ad un'impronta di 0,30 x 0,30 m, disposto sull'elemento di giunto alla massima apertura e nella posizione più sfavorevole.

Durante la prova si misurerà la freccia del giunto, che dovrà risultare minore o uguale al valore teorico. Al termine della prova il giunto non dovrà presentare danneggiamenti.

**28.6.4. Prova a fatica**

È richiesta per quei tipi di giunto nei quali le parti soggette a verifica strutturale sono realizzate in elementi metallici.

La prova si effettua su di un elemento di giunto della larghezza come sopra.

Il carico applicato deve variare da zero al carico massimo come più sotto definito, con frequenza non superiore a 4 Hz per 2.000.000 di cicli.

Il carico massimo applicato deve essere pari a quello definito in progetto, incrementato del coefficiente dinamico (100 \* 1,4 kN) su di un'impronta di 0,30 x 0,30 m.

Al termine della prova il giunto non deve presentare danneggiamenti.

**28.6.5. Prova di adesione al cls**

– Eseguita in laboratorio

La prova di adesione si farà su travetti 70 \* 70 \* 280 mm a forma di cuneo, con una faccia inclinata di 20°, in calcestruzzo dosato in ragione di 450 kg di cemento per metro cubo d'impasto e stagionato per 28 giorni.

La faccia sarà spazzolata con spazzola d'acciaio all'atto della sformatura e trattata con la mano d'attacco che sarà utilizzata durante la messa in opera. Si procederà infine al completamento del travetto mediante colaggio della malta di ripristino.

Il carico sarà applicato assialmente sulle due facce minori.

La resistenza richiesta è quella di taglio sulla faccia inclinata di 20°.

– Eseguita in opera

La verifica di ottenimento dell'adesione in opera si otterrà con il controllo al martello, in contraddittorio con l'Appaltatore.

Qualora risultassero superfici risonanti a vuoto, l'Appaltatore dovrà intervenire, a sua cura e spese, nei modi ritenuti dalla Direzione Lavori più opportuni, per eliminare tali difetti.

Nel caso non fosse possibile ristabilire la continuità con la soletta sottostante, l'Appaltatore provvederà a sua cura e spese alla demolizione e al ripristino del giunto risultato non idoneo.

**28.6.6. Prova di sfilamento tirafondi**

La prova di sfilamento dei tirafondi deve essere eseguita con un tirafondo M16 realizzato in materiale analogo a quello utilizzato per il fissaggio dei giunti, ancorato per 110 mm in calcestruzzo Rck ≥ 50 MPa.

Il carico di sfilamento deve essere applicato assialmente al tirafondo con opportune attrezzature che annullino eventuali componenti deviate (snodi).

**28.6.7. Prove di protezione anticorrosiva**

Il sistema di protezione anticorrosiva definito, deve essere qualificato tramite le seguenti prove:

- prova in nebbia salina (720 h con 5% di cloruro di sodio) secondo UNI EN ISO 9227 e ISO 4628/2/3/4/5;
- misurazione dello spessore minimo del film secco secondo ISO 2808;
- prova di adesione secondo ISO 2409, prima e dopo la prova in nebbia salina;
- prova d'urto secondo UNI EN ISO 6272.

I criteri di accettabilità sono riportati nella tabella seguente:

Prova	Norma	Criteri di accettabilità
Nebbia salina	UNI EN ISO 9227	Assenza di bolle ISO 4628/2



		Assenza di ruggine ISO 4628/3 Assenza di distacco-Ri: 1 ISO 4628/4 Assenza di sfaldatura ISO 4628/5
Spessore minimo del film secco	ISO 2808	Come specificato dal produttore della vernice
Adesione	ISO 2409	0 o 1
Urto	UNI EN ISO 6272	Nessun danno visibile con una massa di 1 kg ed un'altezza di caduta di 100 mm

### 28.6.8. Controllo delle materie prime e componenti

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, secondo la tabella seguente:

Tipo di controllo	Materiale o componente	In accordo con	Frequenza
Controllo della DL	Acciaio strutturale	UNI EN ISO 377 UNI 552 UNI EN 10025	Ogni colata
	Acciaio inossidabile		Ogni colata
	Gomma	UNI EN 1337-3	Ogni 1,5 m <sup>3</sup> di miscela prodotta
	Lega di alluminio	UNI EN 10002	Ogni colata
	Prodotti componenti malte, betoncini e resine	UNI EN 12390-1 UNI EN 12390-3 UNI EN 12390-5 Scheda tecnica del produttore	Come previsto dal produttore
Rapporto di prova da parte di laboratorio terzo <sup>(1)</sup>	Acciaio strutturale	UNI EN ISO 377 UNI 552 UNI EN 10025	Ogni 12 mesi
	Acciaio inossidabile		Ogni 12 mesi
	Gomma	UNI EN 1337	Ogni 12 mesi
	Prodotti componenti malte, betoncini e resine	Tutti i controlli previsti dal presente Capitolato	Ogni 12 mesi

-----  
<sup>(1)</sup> Da eseguire solo nel caso in cui il materiale non provenga regolarmente da produttori operanti con sistema di controllo della qualità certificato.

### 28.6.9. Controlli in corso di montaggio

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore e il Fornitore, secondo la tabella seguente:

Oggetto del controllo	Caratteristiche da controllare	In accordo con	Frequenza
Fenditura strutturale	Apertura	Dati forniti da Direzione Lavori	Ogni giunto
Nicchie di alloggiamento	Dimensioni	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni giunto

Malte, betoncini e resine	Resistenza a compressione	UNI EN 12390-1 UNI EN 12390-3	Ogni lotto di fornitura non superiore a 100 m di giunto e per ogni tipo di malta, betoncino o resina
Tirafondi	Coppia di serraggio	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni tirafondo <sup>(1)</sup>
	Lunghezza di inghisaggio	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	Ogni giunto
Giunto	Preregolazione	Dati forniti dalla Direzione Lavori	Ogni giunto
	Temperatura alla posa	Dati di Progetto	Ogni giunto
	Tolleranza di posa in opera	presente Capitolato	Ogni giunto

<sup>(1)</sup> La frequenza di prova potrà essere ridotta al 10% dei tirafondi solo se sarà utilizzata sistematicamente un'ideale attrezzatura semiautomatica che ne assicuri costantemente il corretto serraggio (avvitatori elettrici o pneumatici regolabili o chiave dinamometrica). In tal caso, se anche un solo tirafondo non risulterà serrato in modo accettabile, la Direzione Lavori procederà al controllo di tutti i tirafondi.

#### 28.6.10. Controlli sui giunti montati

I controlli devono essere effettuati dalla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore e il Fornitore, secondo la tabella seguente:

Oggetto del controllo	Controllo in accordo con	Frequenza
Regolarità geometrica del piano viabile risultante	$IRI \leq 5,0 \text{ mm/m}$ <sup>(1)</sup>	Ogni giunto
Dimensioni	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	In accordo con quanto definito dal "Piano di Campionamento Doppio", con LQA al 1° campione = 4% <sup>(2)</sup>
Durezza (ove applicabile)	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore UNI 4916	
Protezione anticorrosiva (ove applicabile)	Disegni forniti dall'Appaltatore controfirmati dal Fornitore	

<sup>(1)</sup> L'indice IRI (*International Roughness Index*) deve essere calcolato a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione. Le misure di tale profilo longitudinale devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e devono essere eseguite in un periodo compreso tra il 15° e il 180° giorno dall'apertura al traffico, utilizzando preferibilmente l'apparecchiatura ARAN (*Automatic Road Analyzer*)<sup>(1)</sup> o altra idonea apparecchiatura. Tali misure dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm e i valori dell'indice IRI saranno calcolati a partire da tale profilo con un "passo" di 5 m. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale dei giunti di dilatazione si deve fare riferimento ai valori dell'indice IRI nel cui intervallo di calcolo (L = 5 m) si trovi ad essere posizionato almeno un giunto. Il valore IRI di non accettabilità assoluta del giunto è pari a 7,0 mm/m.

<sup>(2)</sup> Il Piano di Campionamento Doppio è una procedura prevista nell'ambito della gestione statistica della qualità di una fornitura di beni o servizi, basata su due campioni di misure, il secondo dei quali si attua qualora il primo non abbia dato i risultati attesi, ovvero non sia stato raggiunto il previsto Livello di Qualità Accettabile (LQA). Questa materia è disciplinata dalla serie di norme UNI ISO 2859. In questo caso, alla prima campionatura, il numero dei risultati non accettabili, per ciascun controllo, non deve superare il 4% del totale.

<sup>(1)</sup> L'apparecchiatura ARAN è un sofisticato laboratorio mobile che permette, a velocità continua, la raccolta automatica dei dati riguardanti la geometria, la regolarità e gli ammaloramenti superficiali della strada, provvedendo altresì all'acquisizione e alla schedatura delle immagini relative agli elementi accessori (segnaletica, barriere di sicurezza, ecc.). Grazie alla presenza di un ricevitore satellitare (DGPS) a correzione differenziale, abbinato ad una piattaforma inerziale, tutti i dati restituiti possono essere ubicati in maniera univoca e con elevata precisione sul territorio, in qualsiasi sistema geografico di riferimento (Gauss-Boaga, UTM, ecc.). Tale apparecchiatura è posseduta, a titolo indicativo, dalla soc. SINECO di Milano, del Gruppo SINA.

### 28.6.11. Controllo dell'inquinamento acustico provocato dai giunti

Per verificare le caratteristiche acustiche dei giunti (ove le circostanze lo richiedano) la Direzione Lavori potrà prescrivere l'esecuzione di una prova finalizzata a misurare l'incremento di rumore dovuto al passaggio del veicolo sul giunto.

In tal caso il rumore da considerare è, sia quello prodotto verso l'alto rispetto al piano viabile, sia quello prodotto verso il basso, nella zona sottostante l'impalcato.

La prova potrà essere effettuata ad uno dei seguenti fini:

- qualificare preventivamente i giunti;
- verificare la corrispondenza dei giunti installati rispetto a quanto originariamente previsto;
- verificare nel tempo il mantenimento delle proprietà acustiche.

La prova andrà effettuata su strada, sul giunto installato e anche, se necessario, al di sotto del viadotto.

La velocità del vento durante le misurazioni dovrà essere inferiore a 2 m/s.

La strumentazione di misura dovrà essere conforme a quanto prescritto per i fonometri di classe 1 della norma CEI EN 61672, parti 1 e 2 (CEI 29-46 e 29-47).

Se si utilizzano fonometri integratori si dovrà fare riferimento alle norme IEC 831; per i filtri in banda di ottava o terzi di ottava si farà riferimento alla IEC 225.

Le misure di rumore andranno effettuate utilizzando la ponderazione A e la costante di tempo *slow*.

La sorgente di rumore sarà costituita da un veicolo leggero (es. un'autovettura media) che transita sul giunto con velocità pari a 100 km/h. La prova andrà poi ripetuta utilizzando come sorgente di rumore un veicolo pesante definito dalla Direzione Lavori, alla velocità di 70 km/h.

Per tale prova un microfono ricevitore sarà posto in corrispondenza del giunto ad 1,5 m di altezza dal piano viabile ed un altro sarà posto a 50 m dopo il giunto, entrambi a 4 m di distanza dall'asse del veicolo.

Le rilevazioni microfoniche andranno effettuate con le stesse modalità, utilizzando tratti di strada adiacenti, in modo da avere una rilevazione anche in assenza di giunto ed ottenendo così, per differenza tra le misure, i valori dell'incremento di rumore dovuto allo stesso.

Ciascuna delle prove previste andrà ripetuta almeno 3 volte e il risultato sarà dato dal valore medio dei valori rilevati nei tre passaggi.

Il confronto tra il rumore misurato in presenza del giunto rispetto a quello misurato in sua assenza sarà effettuato valutando il parametro SEL (Sound Exposure Level), ovvero il valore  $L_{eq}$  in dB(A) compreso nell'intervallo di 1 s, dove è:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^t \frac{p^2}{p_0^2} dt \right)$$

essendo  $p$  e  $p_0$  i valori della pressione sonora e  $T$  il tempo.

### 28.6.12. Manutenzione dei dispositivi

Ogni giunto di dilatazione, o se sufficiente, ogni tipologia, dovrà essere dotato di un manuale di manutenzione fornito dall'Appaltatore e controfirmato dal Fornitore, in cui sono indicati modalità, tempistica e frequenza degli interventi di manutenzione ordinaria da eseguirsi sul dispositivo.

In tale manuale dovranno essere riportate anche le procedure da attuare nel caso che si rendessero necessari interventi di manutenzione straordinaria.

## 28.7. Penali

### Non raggiungimento delle prestazioni previste in progetto

Qualora dalle prove eseguite risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, secondo il presente Capitolato, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il Progettista, eseguirà una verifica della sicurezza. Se tale verifica desse esito positivo l'apparecchio sarà accettato, ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 20%.

Qualora i valori risultassero inferiori di oltre il 10% o la precedente verifica avesse dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla sostituzione della fornitura con giunti di caratteristiche adeguate alle prestazioni richieste.

#### Difetti di impermeabilizzazione

Se entro due anni dalla sua costruzione, a seguito di pioggia, si vedessero scolature di acqua al di sotto del giunto, in zone che avrebbero dovuto essere protette dall'impermeabilizzazione dello stesso, per un'estensione fino al 15% della sua lunghezza, sarà applicata una penale del 15% del prezzo pagato per tutte le lavorazioni e forniture necessarie alla sua costruzione.

In caso di scolature per un'estensione superiore a detto valore, il giunto dovrà essere ripristinato dall'Appaltatore a sue cura e spese.

#### Insufficiente adesione dei materiali di ripristino supporto ai giunti metallici

Nel caso di superfici risonanti a vuoto e per le quali non sia stato possibile eliminare il difetto, l'Appaltatore sarà tenuto, a sue cura e spese, alla rimozione completa dei materiali già posti in opera e alla loro sostituzione con materiali idonei.

#### Mancata regolarità geometrica

Qualora il parametro IRI ricada nel campo di valori  $5,0 \div 7,0$  mm/m, il giunto di dilatazione sarà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la lunghezza complessiva del giunto anche se le misure interessano una corsia). Oltre il valore di 7,0 mm/m l'Appaltatore dovrà procedere gratuitamente all'asportazione completa del giunto ed al suo rifacimento secondo i requisiti prescritti.

#### Eccessiva rumorosità

il limite di accettazione acustica del giunto sarà indicato in fase progettuale, in dipendenza dalle condizioni ambientali e tecnico-amministrative del sito. Il superamento di detto limite comporterà una riqualificazione gratuita del giunto stesso o, in caso di insuccesso, una sua completa sostituzione con un giunto di caratteristiche migliori.

## **28.8. Specifiche tecniche particolari per giunti di dilatazione a tampone**

### **28.8.1. Generalità**

Si tratta di giunti assai semplici e di rapida esecuzione, per la riuscita dei quali (funzionalità e durabilità) è però di fondamentale importanza il materiale di cui essi sono costituiti e la loro messa in opera. Di seguito vengono quindi descritti alcuni materiali e modalità realizzative, in parte coperti da brevetto industriale.

I giunti di dilatazione a tampone, definiti anche giunti a comportamento elastico-viscoso, sono attualmente distinti in:

– Giunti a tampone viscoelastico

ovvero giunti il cui dispositivo di continuità e di supporto (tampone) è costituito da una miscela di bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica, ed inerti di granulometria compresa tra 15 e 20 mm;

– Giunti a tampone "anidro" (brev. Autostrade per l'Italia S.p.A.)

ovvero giunti con tampone costituito da una miscela di bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica, inerti di granulometria compresa tra 15 e 20 mm e supporti di impermeabilità in malta cementizia fibrorinforzata.

### **28.8.2. Materiali**

Il tampone viscoelastico sarà costituito da:

– Legante

bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o termoplastici, con bitume di tipo E le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente.

**Caratteristiche del bitume *hard* come legante di tipo E (% di modificante > 8%) <sup>(1)</sup>**

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25 °C	0,1 mm	UNI EN 1426	100-150
Punto di rammollimento <sup>(2)</sup> /valore minimo P.A.	°C	UNI EN 1427	≥ 24/70
Punto di rottura (Fraass), max	°C	CNR 43/74	≤ -17
Viscosità dinamica a 160 °C, $\gamma=100 \text{ s}^{-1}$ , max	Pa * s	SN 67.1722a	≤ 0,8
Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min	%	DIN 52013 (CNR 44/74 modificata)	≥ 70
Stabilità allo stoccaggio 3 d, a 180 °C Punto di rammollimento, max	°C	Vedi norma riportata più avanti	≤ 3
Valori dopo RTFOT <sup>(3)</sup>			
Perdita per riscaldamento (volatilità) a 163 °C, max ±	%	CNR 54/77	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25 °C, max	%	UNI EN 1426	≤ 50
Incremento del punto di rammollimento, max	°C	UNI EN 1427	≤ 10

<sup>(1)</sup> Si intendono polimeri elastomerici e/o termoplastici tipo: SBS-r (*styrene-butadiene-styrene r-type*), SBS-l (*styrene-butadiene-styrene l-type*), SIS (*styrene-isoprene-styrene*), EVA (*ethylene-vinyl-acetate*), LDPE (*high density polyethylene*); la percentuale complessiva è indicativa; LDPE è presente solo per le pavimentazioni da viadotto.

<sup>(2)</sup> Incremento del P.A. rispetto al valore minimo di P.A. del bitume di base.

<sup>(3)</sup> *Rolling Thin Film Oven Test*.

#### – Inerti

L'aggregato dovrà essere costituito da materiale basaltico o anche da pietrischetti e graniglie di provenienza o natura petrografica diversa, con granulometria compresa tra 15 e 20 mm.

Tali inerti dovranno essere costituiti da elementi sani, duri, di forma poliedrica, puliti ed esenti da polvere e da materiali estranei secondo le norme CNR fasc. 4/1953, cap. 1 e 2 e rispondenti ai requisiti della prima categoria.

In ogni caso la qualità della roccia, da cui è ricavato per frantumazione l'inerte, dovrà avere alla prova "Los Angeles" (CNR B.U. n. 34 del 28/03/73 - Prova C) perdita di peso inferiore o uguale al 20%.

#### – Malte e betoncini

La posa in opera del giunto di dilatazione a tampone sarà preceduta dall'eventuale ricostruzione del profilo degli elementi strutturali in calcestruzzo (testate, solette), per la quale dovranno essere osservate le specifiche prescrizioni del presente Capitolato.

### 28.8.3. Giunto a tampone viscoelastico

#### 28.8.3.1. Generalità

Il giunto a tampone viscoelastico dovrà essere costituito dalle seguenti parti:

##### – Dispositivo di drenaggio delle acque di sottopavimentazione

Il convogliamento e lo smaltimento delle acque dovrà avvenire in zone che non insistono sulle strutture principali dell'opera; il dispositivo sarà pertanto costituito da un tubo microfessurato avvolto in un sottile foglio di tessuto non tessuto;

##### – Dispositivo di sostegno del tampone bituminoso in lamierino di acciaio di dimensioni 0,30x0,15x0,002 m;

Tale dispositivo deve consentire le dilatazioni termiche della soletta, mantenendo inalterata la sua funzionalità; esso deve inoltre conservare le proprie caratteristiche di tenuta alle temperature di getto del tampone viscoelastico;

##### – Tampone in conglomerato bituminoso chiuso;

Il giunto deve risultare impermeabile, pur consentendo i movimenti di tipo viscoso previsti. Il tampone deve quindi aderire perfettamente alle pareti verticali della pavimentazione e non presentare sconnessioni. Lo spessore minimo del tampone viscoelastico deve essere di 11 cm.

### 28.8.3.2. Modalità di esecuzione del giunto

Il giunto a tampone viscoelastico deve essere posto in opera a pavimentazione finita.

L'intera lavorazione comprende:

- asportazione della pavimentazione e dell'eventuale sottostante strato impermeabilizzante a cavallo dei giunti di dilatazione, da realizzare mediante taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore fino a raggiungere l'estradosso delle solette di impalcato, e trasporto a deposito di tutto il materiale di risulta;
- asportazione di eventuali materiali aventi funzione di giunto provvisorio;
- accurata pulizia del piano di posa del tampone o asportazione del calcestruzzo degradato o in fase di distacco;
- trattamento di sabbiatura dell'armatura eventualmente scoperta;
- eventuale ripristino delle testate delle solette con malta e/o betoncino reoplastici fibrorinforzati o con malte cementizio-epossidiche mantenendo la giusta distanza ed una forma il più possibile regolare tra le testate contrapposte;
- asciugatura della sede del giunto a mezzo di lancia termica;
- stesa di una membrana impermeabilizzante (dopo adeguata maturazione della malta) in BITUTHENE HD<sup>®</sup> o ELOTENE-LASCO<sup>®</sup> su tutta la sede del giunto, con l'accortezza che la membrana abbia gioco sufficiente ad assecondare i movimenti del giunto fino alla massima apertura, senza mai introdurre sollecitazioni di trazione su quest'ultima, posta in opera con la consueta forma "ad omega" tra le testate di soletta;
- introduzione a forza all'interno dello spazio tra le testate delle solette dell'impalcato di una treccia in poliuretano espanso, avente la funzione di contenere la prima colata di bitume modificato;
- posa del dispositivo di drenaggio microfessurato rivestito di geotessile non-tessuto;
- prima colata di bitume modificato su tutta la sede del giunto (pareti verticali e fondo) impregnando anche la treccia poliuretana in modo da impermeabilizzarla;
- posa dei dispositivi di sostegno in lamierino di adeguata larghezza e spessore e lunghezza pari a 0,30 m, collocati l'uno accanto all'altro;
- seconda colata di bitume modificato sull'intera superficie orizzontale;
- colata di finitura in bitume modificato per l'intasamento dei vuoti residui.

### 28.8.4. Giunti a tampone "anidro" (brev. Autostrade per l'Italia n. RM 940038)

#### 28.8.4.1. Generalità

Il giunto a tampone Anidro dovrà essere costituito dalle seguenti parti:

- Dispositivo di drenaggio delle acque di sottopavimentazione

Il convogliamento e lo smaltimento delle acque dovrà avvenire in zone che non insistono sulle strutture principali dell'opera. Il dispositivo sarà costituito da un tubo microfessurato, da fori sulla testata di soletta del diametro di 30 mm posti ad interasse di 1 m o maggiore, previo concordamento con la Direzione Lavori, completi di tubetto in PVC di adeguato spessore e diametro, sigillati con stucco, con tutti gli accorgimenti necessari ad impedirne l'otturazione, e da un getto di conglomerato bituminoso drenante;

- Dispositivo di sostegno del tampone bituminoso

E' realizzato con lamierino di acciaio inox sp. 2 mm, di dimensioni 30 x 15 cm. Tale dispositivo deve consentire le dilatazioni termiche della soletta mantenendo inalterata la sua funzionalità; esso deve inoltre conservare le proprie caratteristiche di tenuta alle temperature di getto del tampone viscoelastico;

- Tampone in conglomerato bituminoso chiuso

Deve risultare impermeabile, pur consentendo i movimenti di tipo viscoso previsti. Il tampone deve inoltre aderire perfettamente alle pareti verticali della pavimentazione e non presentare sconnessioni. Il suo spessore minimo deve essere pari a 10 cm.

#### 28.8.4.2. Modalità di esecuzione del giunto

Il giunto a tampone deve essere posto in opera a pavimentazione finita.

L'intera lavorazione comprende:

- asportazione della pavimentazione a cavallo dei giunti di dilatazione, da realizzare mediante taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore, fino a raggiungere l'estradosso delle solette di impalcato;
- demolizione della pavimentazione e dell'eventuale sottostante strato impermeabilizzante e trasporto a deposito di tutto il materiale di risulta;
- asportazione di eventuali materiali aventi funzione di giunto provvisorio;
- ravvivatura estradosso soletta e/o asportazione del calcestruzzo degradato o in fase di distacco;
- esecuzione di fori nelle testate delle solette del diametro di 30 mm posti ad un interasse di 1 m o maggiore e corredati di un'adeguata svasatura per rendere più agevole la captazione delle acque; nell'eventualità che in corrispondenza degli stessi si incontri il traverso di testata si procederà operando con una certa inclinazione tale da non interferire con il traverso stesso;
- trattamento di sabbiatura dell'armatura eventualmente scoperta;
- eventuale ripristino delle testate delle solette con malta e/o betoncino reoplastici fibrorinforzati o con malte cementizio-epossidiche mantenendo la giusta distanza tra le testate contrapposte;
- lavaggio con acqua in pressione o con vapore;
- getto di malta reoplastica premiscelata a ritiro compensato rinforzata con fibre di carbonio, avente una contropendenza longitudinale verso i fori precedentemente realizzati;
- stesa di una membrana impermeabilizzante (dopo adeguata maturazione della malta) in BITUTHENE HD<sup>(1)</sup> o ELOTENE HD<sup>(2)</sup> su tutta la sede del giunto, con l'accortezza che la membrana abbia gioco sufficiente ad assecondare i movimenti del giunto fino alla massima apertura, senza mai introdurre sollecitazioni di trazione su quest'ultima, posta in opera con la consueta forma ad omega tra le testate di soletta;
- introduzione a forza all'interno dello spazio tra le testate delle solette dell'impalcato di una treccia in poliuretano espanso;
- posa nei fori della soletta di tubi in PVC del diametro 25 mm aventi una lunghezza sufficiente e comunque mai inferiore allo spessore della soletta;
- posa del dispositivo di drenaggio microfessurato rivestito di tessuto non tessuto;
- inserimento nei fori di drenaggio di uno strato di geotessile non-tessuto con adeguate caratteristiche di resistenza al calore;
- getto di conguaglio in conglomerato bituminoso drenante fino al raggiungimento della quota dell'estradosso del getto necessario alla contropendenza;
- posa dei dispositivi di sostegno in lamierino di adeguata larghezza e spessore, con lunghezza pari a 30 cm, collocati l'uno accanto all'altro;
- colata di bitume modificato sull'intera superficie orizzontale e verticale, a temperatura tale da non intasare il sottostante conglomerato bituminoso drenante;
- realizzazione del tampone mediante stesa in unico strato e successivo costipamento del materiale fino a raggiungere una perfetta complanarità col piano viario;
- colata di finitura in bitume modificato per l'intasamento dei vuoti residui;

<sup>(1)</sup> BITUTHENE è un marchio di proprietà della soc. W.R. Grace & Co. (USA).

<sup>(2)</sup> ELOTENE è un marchio di proprietà della soc. Isoltema di Gambettola (FC).

- posa in opera nell'intradosso delle testate di soletta di un canale di raccolta in PVC delle acque provenienti dai fori di drenaggio.

### 28.8.5. Prove

La prova principale da eseguire è quella di verifica della stabilità allo stoccaggio a caldo di un bitume modificato. Questo metodo di prova serve a valutare la stabilità di un bitume modificato allo stoccaggio a caldo e si effettua mediante la determinazione della differenza fra il punto di rammollimento P.A. del terzo superiore e quello del terzo inferiore di un provino cilindrico del bitume in esame, dopo averlo mantenuto per tre giorni alla temperatura massima di stoccaggio.

Apparecchiatura di prova:

- tubetti cilindrici di circa 3 cm di diametro e 16 cm di altezza, di alluminio sottile, pieghevole, non verniciato;
- stufa con regolazione termostatica fino a  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con precisione di  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- freezer;
- apparecchiatura per la determinazione del punto di rammollimento del bitume.

Il procedimento è il seguente:

Dopo aver chiuso un tubetto ad un'estremità, stringendola e ripiegandola più volte per un totale di circa 3 cm, in modo da ottenere un fondo piatto, si versa 75 g circa del bitume riscaldato alla temperatura minima di colabilità, evitando inclusioni di aria e si lascia raffreddare completamente; la parte superiore del tubetto viene allora stretta e piegata ripetutamente in maniera tale che in esso non rimanga praticamente più aria. Il tubetto preparato viene sistemato verticalmente nella stufa e mantenuto per 3 d alla temperatura massima di stoccaggio, corrispondente a quella massima di impiego e tipica per il bitume modificato in esame; al termine, si toglie il tubetto dalla stufa e, dopo raffreddamento a temperatura ambiente, lo si raffredda ulteriormente in freezer in modo che il provino di bitume possa essere separato dall'involucro di alluminio.

Si taglia quindi il provino cilindrico di bitume perpendicolarmente al suo asse in tre parti di uguale altezza e si scarta quella centrale; sulle parti inferiori e superiori si determina separatamente il punto di rammollimento P.A. con l'approssimazione della prima cifra decimale.

La stabilità allo stoccaggio a caldo è espressa dalla differenza fra i punti di rammollimento delle due parti estreme del provino.

Il bitume in esame si considera stabile allo stoccaggio a caldo se la suddetta differenza non supera i  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Qualora non sia rispettato tale limite, il materiale è da ritenersi non idoneo all'uso e pertanto deve essere sostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

## 29. Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi

### 29.1. Generalità

Il presente Capitolato definisce le caratteristiche dei materiali fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzare per rinforzi strutturali.

I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica o FRP (*Fiber Reinforced Polymer*<sup>(1)</sup>) sono costituiti da filamenti continui (comunemente vetro, aramide e carbonio) immersi in una matrice polimerica. Essi mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso e proprietà meccaniche anisotrope, ovvero variabili in funzione dell'angolo esistente tra la direzione di carico e quella di giacitura dei filamenti. All'atto della posa, pertanto, è particolarmente importante rispettare scrupolosamente le indicazioni di progetto riguardo al posizionamento e all'orientamento dei materiali.

Considerandone i vantaggi in termini di leggerezza, elevate proprietà meccaniche e caratteristiche anticorrosive, i materiali compositi risultano particolarmente adatti per il rinforzo strutturale. Per applicazioni di rinforzo e riparazione di elementi strutturali quali travi, pilastri, colonne, ecc., si preferiscono filamenti di carbonio (con matrici

---

(<sup>1</sup>) Lo stesso acronimo è stato già usato per la "vetroresina" (caso particolare di materiale fibrorinforzato), nel paragrafo riguardante le caratteristiche dei materiali (FRP: *Fiberglass-Reinforced Plastic*). Per tale materiale si rimanda quindi al citato paragrafo.



vinilestere e/o epossidiche), che forniscono migliori proprietà meccaniche e qualità superiori in termini di durabilità, stabilità di comportamento a lungo termine e resistenza a fenomeni di fatica e che sono stati maggiormente studiati.

Gli interventi con materiali fibrosi FRP trovano le loro applicazioni più frequenti nei seguenti campi:

- riparazione di travi danneggiate o aventi armature interne degradate e/o insufficienti;
- adeguamento di travi e pilastri a nuovi carichi flessionali o assiali;
- correzione in corso d'opera di errori di realizzazione: insufficienza di armature, posizionamenti non corretti, ecc.;
- adeguamento sismico.

I prodotti FRP con filati di carbonio o CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), utilizzati per la riparazione e il rinforzo di opere d'arte stradali, si suddividono in tre categorie principali:

- tessuti di fibre secche, cioè non impregnate con il polimero, da impregnare in situ con adesivi specifici epossidici che induriscono a temperatura ambiente;
- barre preformate di tipo pultruso che vengono inglobate nel ringrosso della sezione o inserite in opportune tasche ricavate nel copriferro;
- lamelle preformate di tipo pultruso aventi sezione rettangolare, che vengono incollate alla struttura da rinforzare con appositi adesivi epossidici; le lamelle possono essere pre-tese per la realizzazione di interventi di precompressione.

In funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale fibroso che li costituisce, si distinguono prodotti in fibra di carbonio ad alto modulo (HM) e prodotti in fibra di carbonio ad alta resistenza (HS).

Le barre e le lamelle in fibra di carbonio si ottengono attraverso il processo industriale di pultrusione, mediante il quale filamenti di carbonio vengono impregnati in stabilimento in continuo con resina e quindi sottoposti a polimerizzazione ad alta temperatura. Il processo produttivo di pultrusione deve essere certificato dal Fornitore e attestato sulla scheda tecnica del prodotto.

#### **29.1.1. Riferimenti normativi**

Come già riportato nel paragrafo generale sui materiali, a proposito della vetroresina, le principali norme che riguardano questi prodotti sono le seguenti (in grassetto le norme europee armonizzate):

- **UNI EN 40-7** (requisiti per pali per illuminazione pubblica di compositi polimerici fibrorinforzati);
- **UNI EN 15274** (adesivi per impieghi generali negli assemblaggi strutturali - requisiti e metodi di prova);
- UNI EN 1015-12 (metodi di prova per malte per opere murarie - determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno);
- UNI EN 1348 (adesivi per piastrelle - determinazione dell'adesione mediante trazione su adesivi cementizi);
- UNI EN 1542 (prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - metodi di prova - misurazione dell'aderenza per trazione diretta);
- CNR-DT 200 R1/2012 08/03/2012 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati);
- CNR-DT 205/2007 09/10/2008 (istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di strutture realizzate con profili pultrusi di materiale composito fibrorinforzato (FRP));
- *ACI Committee 440, 2008: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ISIS Canada Corporation, 2008: ISIS Design Manual No. 4: FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures;*
- *ASTM D695-10 (Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics);*
- *ASTM D638-10 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics);*
- *ASTM D696-08 (Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C With a Vitreous Silica Dilatometer);*
- *ASTM D790-10 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials);*

- ASTM D3039/D3039M-08 (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials);
- ASTM E1356-08 (Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperatures by Differential Scanning Calorimetry);
- ASTM E1640-09 (Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperature By Dynamic Mechanical Analysis).

### **29.1.2. Materiali**

Prodotti in CFRP: le caratteristiche dei materiali costituenti i prodotti in CFRP (barre, lamelle, tessuti) sono descritte nel successivo paragrafo 'Caratteristiche prestazionali'.

Malte cementizie: si veda il paragrafo specifico del presente Capitolato.

Adesivi epossidici:

- Adesione al calcestruzzo a 7 gg per trazione diretta (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del calcestruzzo);
- Resistenza a compressione (ASTM D695): a 24 ore > 45 MPa, a 7 gg > 50 MPa;
- Modulo elastico a compressione a 7 gg (ASTM D695): 6500 MPa;
- Resistenza a trazione per flessione a 7 gg (ASTM D790): > 25 MPa;
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 8 MPa;
- Modulo elastico a trazione a 7 gg (ASTM D638): 9500 MPa;
- Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg (ASTM D696):  $2,04 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Temperatura di transizione vetrosa:  $T_g > 60^\circ\text{C}$ .

Primer:

- Aderenza al calcestruzzo (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del supporto);
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 20 MPa;
- Resistenza a compressione a 7 gg (ASTM D695): > 40 MPa.

Rasatura:

- Aderenza al calcestruzzo (UNI EN 1542): > 3,5 MPa (rottura del supporto);
- Resistenza a trazione a 7 gg (ASTM D638): > 5 MPa;
- Resistenza a compressione a 7 gg (ASTM D695): > 40 MPa.

Protezione dai Raggi UV: verniciatura poliuretana elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici, in accordo con le specifiche del presente Capitolato o, in alternativa, rasatura polimerica cementizia e protezione anticarbonatazione acrilica modificata resistente all'azione degli agenti atmosferici.

### **29.1.3. Rinforzo con tessuto in CFRP**

#### **29.1.3.1. Generalità**

Il tessuto unidirezionale in fibra di carbonio si ottiene attraverso il procedimento industriale di tessitura utilizzando filamenti di carbonio disposti lungo una direzione preferenziale. Il tessuto unidirezionale viene quindi impregnato in sito con una specifica matrice polimerica che ha il compito di aderire all'elemento di supporto e di collegare le fibre tra di loro al fine di assorbire le sollecitazioni della struttura e di proteggere le fibre stesse.

I campi d'impiego più ricorrenti dei tessuti CFRP sono i seguenti:

- Interventi di rinforzo a flessione (travi e solette), mediante incollaggio in zona tesa di uno o più strati sovrapposti di tessuto (con un numero massimo di strati pari a 5);
- Interventi di rinforzo al taglio (travi), mediante incollaggio di fasce trasversali;
- Interventi mediante fasciatura per il rinforzo e l'aumento di duttilità di pile e pilastri.

In accordo alle indicazioni della normativa di riferimento, il tessuto ad alto modulo può risultare più indicato per i primi due casi, dove gioca un ruolo fondamentale la rigidità del materiale, mentre il tessuto ad alta resistenza può essere più efficace nel terzo, dove può interessare maggiormente l'allungamento a rottura del materiale.

L'intervento con tessuto CFRP impregnato in opera è definito come un sistema di rinforzo in quanto esso dovrà essere costituito dall'uso combinato di materiali le cui caratteristiche e prestazioni siano tra loro perfettamente compatibili; non è pertanto ammesso l'assemblaggio di prodotti singoli non costituenti un sistema appositamente studiato e certificato (ad es. l'utilizzo di prodotti generici, non specifici al campo del rinforzo strutturale o provenienti da differenti produttori). Il sistema di rinforzo dovrà pertanto essere definito e certificato come sistema di applicazione del tipo A (vedi norme CNR DT 200).

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici ed a quanto più sopra riportato, sono i seguenti:

- *Primer* epossidico, che assicura, grazie alla sua capacità di penetrare nelle porosità del substrato in calcestruzzo, l'aggancio tra il substrato stesso, il sistema adesivo e il rinforzo fibroso;
- Rasatura epossidica, che ha il compito di regolarizzare la superficie per garantire la perfetta planarità del substrato in calcestruzzo; è infatti necessario che le fibre siano perfettamente lineari per ottenere la trasmissione ottimale degli sforzi lungo le stesse;
- Adesivo epossidico, che, impregnando perfettamente le fibre, garantisce aderenza tra il substrato in calcestruzzo ed il rinforzo fibroso consentendo il trasferimento delle tensioni tangenziali;
- Rinforzo fibroso, costituito da tessuti a base di fibre continue unidirezionali di carbonio;
- Malta cementizia;
- Verniciatura poliuretanica, per la protezione dai raggi UV.

### **29.1.3.2. Modalità di esecuzione**

#### Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà alla rimozione dell'intero strato ammalorato mediante idrodemolizione o uso di martelletti ad aria compressa ed al successivo ripristino strutturale con opportune malte dotate di resistenza a taglio e a trazione superiore a quelle del materiale di supporto.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate. Dove necessario, gli spigoli vivi presenti nel calcestruzzo dovranno essere arrotondati (raggio di curvatura minimo 20 mm).

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura.

Dopo sabbiatura o levigatura o altre lavorazioni provocanti polveri, pulizia finale della superficie con aria compressa.

Iniezione di eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dello specifico paragrafo.

#### Applicazione del *primer* epossidico (bicomponente)

Mescolare meccanicamente il componente A prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto, per circa un minuto, fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

Il tempo utile di applicazione può variare in funzione della temperatura ambiente e della quantità di *primer* applicato, fattori di cui occorrerà tener conto secondo le prescrizioni del produttore.

Il *primer* verrà applicato in maniera regolare a pennello o a rullo.

#### Applicazione della rasatura epossidica (bicomponente)

Eventuali vaiolature delle superfici dovranno essere eliminate mediante applicazione di rasatura epossidica.

La rasatura dovrà essere applicata quando il *primer* non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo.

Mescolare meccanicamente il componente A prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto per circa un minuto fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

La rasatura può essere applicata a spatola.

#### Applicazione dell'adesivo (bicomponente) e del rinforzo con fibre

L'applicazione dell'adesivo epossidico avverrà mediante rullo a pelo corto, fresco su fresco sulla rasatura o, nel caso di assenza di rasatura, quando il *primer* non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo.

Mescolare meccanicamente il componente A dell'adesivo prima di aggiungere il componente B.

Miscelare con un trapano a frusta a bassa velocità il componente A con il componente B nel rapporto prescritto per circa un minuto fino ad ottenere un impasto di colorazione uniforme.

Dopo avere applicato il primo strato di adesivo, si stenderà il tessuto unidirezionale avendo cura di premerlo per due o tre volte nella direzione longitudinale della fibra per eliminare l'aria dallo strato di resina, usando un rullino a denti smussati e paralleli alla direzione delle fibre.

Per congiungere più strisce di ogni singolo strato nella direzione longitudinale della fibra è necessario sovrapporre le due strisce per una lunghezza di almeno 20 cm. In corrispondenza del punto di sovrapposizione si applicherà una ulteriore mano di adesivo sulla superficie esterna dello strato di foglio su cui aderirà il tratto sovrapposto. Non è necessaria alcuna sovrapposizione nella direzione laterale della fibra, con eccezione delle applicazioni a confinamento.

La seconda mano di adesivo deve essere stesa sulla superficie del foglio fino a completa saturazione della fibra.

Per l'applicazione di strati ulteriori, si applicherà lo strato di tessuto e quindi una ulteriore mano di adesivo seguendo le indicazioni precedenti.

#### Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

L'intervento dovrà essere lasciato maturare per un tempo non inferiore alle 24 ore (a 20 °C) prima di poter destinare al servizio l'elemento rinforzato. Per temperature inferiori a 20°C sarà necessario attendere un tempo superiore alle 24 ore, in accordo con le indicazioni del produttore.

#### Verniciatura di protezione dai raggi UV

Si dovranno proteggere le superfici rinforzate mediante verniciatura poliuretana elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici, oppure mediante rasatura polimerica cementizia e successiva protezione anticarbonatazione acrilica modificata resistente all'azione degli agenti atmosferici.

L'applicazione del sistema protettivo dovrà avvenire dopo l'indurimento dell'ultimo strato di adesivo.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive. Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5 °C, né applicare il sistema su un supporto bagnato.

### **29.1.3.3. Caratteristiche prestazionali**

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali del sistema di rinforzo con tessuti CFRP.

I parametri relativi sono riferiti al tessuto. Non devono essere presi in conto nella progettazione i valori riferiti alla singola fibra costituente il tessuto e non sono ammessi tessuti aventi una quantità di filato di carbonio maggiore di 600 g/mq al fine di garantire la corretta impregnazione manuale del polimero.

#### Tessuto unidirezionale CFRP ad altissimo modulo (HHM):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,190 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 640.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1700 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.3%.

Tessuto unidirezionale CFRP ad alto modulo(HM):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,165 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 390.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2400 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.8 %.

Tessuto unidirezionale CFRP ad alta resistenza(HS):

- Adesione al supporto di calcestruzzo previa impregnazione con adesivo (UNI EN 1542) > 3.5 MPa (rottura del supporto);
- Spessore equivalente di tessuto secco: 0,165 ÷ 0,235 mm;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 230.000 MPa;
- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2500 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.3 %.

Nel caso di utilizzo di tessuti ad altissimo modulo si raccomandano particolari cautele a causa della intrinseca fragilità del prodotto.

**29.1.4. Rinforzo con barre in CFRP**

**29.1.4.1. Descrizione**

Le barre CFRP sono comunemente impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pilastri o solette.

Si distinguono due tecniche di rinforzo:

- Senza aumento di sezione: le barre vengono inserite entro tasche preventivamente realizzate nel copriferro e riempite con opportuna malta cementizia o con resina epossidica;
- Con aumento di sezione: le barre vengono inserite nel ringrosso della sezione, realizzato mediante impiego di opportune malte cementizie.

Basandosi l'efficacia dell'intervento sull'adesione tra barra e supporto, per applicazioni di rinforzo in tasca si consiglia di limitare le dimensioni degli elementi di rinforzo in CFRP (ad esempio barre di diametro 8 o 10 mm, piattine rettangolari 24 ÷ 25 x 1,4 ÷ 2 mm o 24 ÷ 25 x 2,8 ÷ 4 mm).

Le armature in barre in CFRP non possono essere piegate né saldate.

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Malta cementizia;
- Resina epossidica (bicomponente);
- Barra di sezione circolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, avvolgimento elicoidale di filo di carbonio, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa;

oppure:

- Barra di sezione rettangolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa.

**29.1.4.2. Modalità di esecuzione**

Rinforzo senza aumento di sezione (barre entro tasche)

Realizzazione di intagli nel copriferro esistente (avendo cura di non danneggiare le armature esistenti).

Irruvidimento delle tasche mediante sabbiatura e successiva pulizia con aria compressa.

Riempimento della tasca con opportuna malta cementizia o con resina epossidica.

Posa in opera della barra in fibra di carbonio entro la tasca, garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm.

Stagionatura: protezione del manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

#### Rinforzo con aumento di sezione

Irruvidimento della sezione mediante idrodemolizione o martelletti alimentati ad aria compressa.

Pulizia delle superfici con aria o acqua in pressione.

Posa e fissaggio delle barre in fibra di carbonio, garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm, avendo cura di evitare il contatto diretto tra la barra in carbonio e le barre in acciaio mediante idonei distanziatori.

Applicazione della opportuna malta cementizia.

Stagionatura della malta mediante acqua nebulizzata o teli o idonei stagionanti.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive.

### **29.1.4.3. Caratteristiche prestazionali**

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle barre in CFRP.

#### Barra ad alto modulo (CFRP-B-HM):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1800 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 200.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.0 %;
- Temperatura di transizione vetrosa (ASTM E1356 o ASTM E1640) > 250 °C.

#### Barra ad alta resistenza (CFRP-B-HS):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 1800 MPa;
- Modulo Elastico medio a trazione (ASTM D3039): 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.2 %;
- Temperatura di transizione vetrosa (ASTM E1356 o ASTM E1640) > 250 °C.

### **29.1.5. Rinforzo con lamelle**

#### **29.1.5.1. Descrizione**

Le lamelle sono impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pilastri o solette, mediante incollaggio delle stesse sulla superficie tesa con resine.

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm. Non sono consentite sovrapposizioni, saldature e piegature della lamelle.

Lo spessore massimo della resina di supporto non deve essere superiore a 5 mm, (con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione).

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico (utilizzato per l'incollaggio delle lamelle);
- *Primer* epossidico (se previsto);

- Rasatura epossidica (se prevista);
- Lamelle in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato;
- Vernice di protezione dai raggi UV.

#### **29.1.5.2. Modalità di esecuzione**

##### Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. specifico del presente Capitolato.

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.

Pulizia finale della superficie mediante aria compressa.

Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità (v. paragrafo sul ripristino del calcestruzzo del presente Capitolato).

##### Applicazione del primer epossidico

Vedi sopra.

##### Applicazione della rasatura epossidica

Vedi sopra.

##### Applicazione delle lamelle

Tagliare a misura la lamella con flessibile.

Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico;

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.

Posizionare la lamella sulla struttura da rinforzare, premere la lamella contro il conglomerato con apposito rullo, facendo sì che l'adesivo epossidico rifluisca, eliminare infine eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

##### Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

##### Verniciatura di protezione dai raggi UV.

Vedi sopra.

#### **29.1.5.3. Caratteristiche prestazionali**

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle (i valori sono riferiti al prodotto finito). La larghezza viene misurata con calibro centesimale; lo spessore, data la presenza della sabbiatura superficiale, deve essere dichiarato dal produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella.

##### Lamina ad alto modulo (CFRP-L-HM):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2000 MPa;
- Modulo Elastico medio a Trazione (ASTM D3039): > 200.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.1 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

##### Lamina ad alta resistenza (CFRP-L-HS):

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): 2400 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.5 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

In alcuni casi e adottando attenzioni particolari vista la intrinseca fragilità del prodotto, potranno essere utilizzate lamine ad altissimo modulo, le cui caratteristiche sono di seguito riportate.

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): 1350 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): 290.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 0.45 %;
- Temperatura di transizione vetrosa > 120 °C.

### **29.1.6. Rinforzo con lamelle pretese**

#### **29.1.6.1. Descrizione**

Le lamelle pretese sono prodotte in modo analogo alle lamelle ordinarie e sono impiegate principalmente per il rinforzo a flessione di travi e impalcati mediante un procedimento che prevede le seguenti operazioni:

- Fissaggio di organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare;
- Preparazione del supporto su cui andrà incollata la lamella, perché sia perfettamente planare (con tolleranza pari a 5 mm su 2 m);
- Incollaggio delle lamelle al supporto;
- Serraggio delle lamelle negli organi di tiro;
- Applicazione del tiro alle estremità;
- Rimozione degli organi di tiro quando l'adesivo ha completato la sua stagionatura (24÷48 h).

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm.

Non sono ammesse sovrapposizioni della lamella né sue saldature e/o piegature.

Lo spessore massimo dell'adesivo di supporto non deve essere superiore a 5 mm, con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione.

Si dovrà limitare la tensione massima di tiro fino al 50% della resistenza a trazione della lamella.

Il sistema di pretensione delle lamelle è costituito da piastre in acciaio di spessore idoneo a resistere al carico di pretensione, che deve generalmente essere limitato (ad esempio nell'intorno dei 150 kN). Le piastre sono predisposte con fori e tasselli per il fissaggio, sabbiata SA 3 e trattate preventivamente contro la corrosione con specifico protettivo. Il sistema viene montato in opera sull'elemento da consolidare con l'ausilio di speciali adesivi epossidici approvati dal Produttore. Gli organi di tiro dovranno essere in grado di mantenere costante il tiro stesso per il tempo necessario all'indurimento dell'adesivo.

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico utilizzata per l'incollaggio delle lamelle.
- *Primer* epossidico (se previsto)
- Rasatura epossidica (se prevista)
- Lamella in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato;
- Vernice di protezione dai raggi UV.



### 29.1.6.2. Modalità di esecuzione

#### Preparazione del supporto

Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. specifico del presente Capitolato.

In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.

Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.

Pulizia finale della superficie mediante aria compressa.

Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (> 0.3 mm) con resina a bassa viscosità (v. paragrafo sul ripristino del calcestruzzo del presente Capitolato).

Montaggio degli organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare impiegando adeguati perni di ancoraggio al supporto stesso per garantire il corretto trasferimento tensionale.

#### Applicazione del primer epossidico

Vedi sopra.

#### Applicazione della Rasatura epossidica

Vedi sopra.

#### Applicazione delle lamelle

Tagliare a misura la lamella con flessibile.

Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.

Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.

Inserire le estremità della lamella negli afferraggi degli organi di tiro.

Applicare il tiro in modo graduale e lento e con apposito rullo schiacciare la lamella contro il conglomerato facendo sì che la rasatura epossidica rifluisca, eliminando quindi eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

#### Stagionatura

Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Rimozione del tiro dopo non meno di 24÷48 h in funzione della temperatura, scaricando lentamente il precarico e avendo cura di non danneggiare la lamella aderente al supporto.

#### Verniciatura di protezione dai raggi UV

Si dovranno proteggere le superfici rinforzate mediante verniciatura poliuretanica elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici.

L'applicazione del sistema protettivo dovrà avvenire dopo l'indurimento della rasatura epossidica.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive.

Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5 °C, né applicare il sistema su un supporto bagnato.

### 29.1.6.3. Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle pretese (i valori sono riferiti al prodotto finito). La larghezza viene misurata con calibro centesimale; lo spessore, data la presenza della sabbiatura superficiale deve essere dichiarato dal produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella.

#### Lamina pretesa in CFRP

- Resistenza a trazione caratteristica (ASTM D3039): > 2400 MPa;
- Modulo elastico medio a trazione (ASTM D3039): > 160.000 MPa;
- Allungamento a rottura medio (ASTM D3039): > 1.4 %
- Temperatura di transizione vetrosa > 120°.

Il sistema applicativo delle lamelle proposto deve possedere certificazione prestazionale, ottenuta sulla base di tests eseguiti presso laboratori ufficiali, istituti universitari europei e/o enti di certificazioni europei riconosciuti, la cui documentazione dovrà essere messa a disposizione della Direzione Lavori. In particolare, dovrà essere prodotta certificazione attestante le caratteristiche dei materiali e di resistenza a scorrimento all'interfaccia rinforzo-calcestruzzo, che permetta la classificazione del sistema come applicazione di tipo A secondo la CNR DT 200.

#### **29.1.7. Documenti di qualificazione**

Tutti i materiali da impiegarsi per la riparazione e/o il rinforzo, in accordo ai riferimenti normativi citati, devono essere dotati di certificati di conformità rilasciati dal produttore in termini di valore caratteristico del lotto di produzione di ogni singolo componente (il valore caratteristico si intende ottenuto sottraendo al valore medio, ricavato da almeno 5 risultati sperimentali, il triplo dello scarto quadratico medio).

In fase di gara l'Appaltatore dovrà indicare il materiale che intende utilizzare e presentare alla Direzione Lavori idonea documentazione e certificazioni rilasciate dal Produttore che attestino la rispondenza del materiale alle specifiche riportate nel presente documento. Il Produttore dovrà fornire alla Direzione Lavori tutti i dati sperimentali che dimostrino l'idoneità dei materiali all'uso previsto.

In caso di interventi con lamine pretese, si dovrà comprovare la qualificazione del sistema di tiro e ancoraggio sulla base di prove e di idonee certificazioni (v. più sopra).

L'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori un elenco di lavori simili a quello oggetto della gara, dove sono già stati utilizzati i sistemi e i materiali proposti.

#### **29.1.8. Prove di accettazione**

Prima dell'inizio dell'applicazione, l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori un prelievo di materiale (n. 5 campioni di adeguata lunghezza) per eseguire, presso un laboratorio autorizzato, le prove di caratterizzazione meccanica seguenti:

- Resistenza a trazione, modulo elastico ed allungamento a rottura su n. 5 spezzoni di barra, lamella o tessuto, con verifica che il valore caratteristico dichiarato dal Produttore sia minore o uguale al valore caratteristico ottenuto dalla prova di accettazione;
- Temperatura di transizione vetrosa > 250°C (barre in CFRP) secondo ASTM E1356 o ASTM E1640 su n. 3 spezzoni di barra in carbonio, con verifica che nessuno dei risultati sia minore del valore caratteristico dichiarato dal Produttore;
- Resistenza a trazione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D638;
- Resistenza a compressione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D695.

#### **29.1.9. Controlli in corso d'opera e sulle opere finite**

I controlli in corso d'opera dovranno riguardare sia i materiali utilizzati che le fasi applicative.

La Direzione Lavori dovrà far eseguire presso un laboratorio autorizzato le prove di caratterizzazione meccanica sui materiali prelevati in cantiere. Il numero dei prelievi sarà stabilito dalla Direzione Lavori in funzione della quantità di materiale FRP impiegato nel lavoro in corso di realizzazione, con un minimo di n. 1 prelievo (composto da n. 5 campioni di materiale di adeguata lunghezza).

L'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori le dichiarazioni di conformità relative ad ogni singola consegna effettuata; in tale dichiarazione il produttore attesterà che il materiale fornito è prestazionalmente conforme a quanto dichiarato nella documentazione tecnica relativa al prodotto. La Direzione Lavori dovrà assicurarsi che il supporto degli elementi strutturali da rinforzare sia preparato secondo quanto riportato nel presente documento.

In particolare, in caso di intervento con lamelle o con tessuti, si dovrà:

- Verificare l'aderenza tra sistema di rinforzo e struttura eseguendo una terna di prove distruttive di strappo secondo le modalità delle norme UNI EN 1542, UNI EN 1015-12, UNI EN 1348 (opportunamente modificate, essendo il supporto di riferimento quello del sito in esame e non la piastra standard di normativa) da eseguirsi dopo almeno 14 gg di stagionatura. Per eseguire tale verifica dovrà essere incollato uno spezzone di lamella o di tessuto di 30 cm di lunghezza in una zona della struttura non soggetta al rinforzo ma il cui supporto abbia caratteristiche meccaniche simili a quelle dell'elemento rinforzato. La prova consisterà nell'incollare successivamente tre piastrine metalliche (riquadri di acciaio di 40 mm di lato o dischi di alluminio di 50 mm di diametro) sulla lamella o sul tessuto e di sottoporli a strappo mediante martinetto di carico avente contrasto rigido ai bordi della piastrina metallica, previa esecuzione di incisione di idonea profondità (fino a raggiungere ed interessare il supporto) lungo il perimetro delle piastrine metalliche. La prova darà esito positivo se la rottura avviene nel supporto;
- Verificare che tutta la zona del rinforzo non presenti distacchi o bolle intrappolate nella matrice polimerica. Tale verifica può essere eseguita anche mediante leggera battitura con idoneo martello.

In funzione dell'importanza dell'intervento, potranno essere stabilite prove più approfondite.

### **30. Strato di fondazione in misto granulare non legato**

#### **30.1. Generalità**

Si tratta di uno strato composto da una miscela di terre stabilizzate granulometricamente da impiegarsi, previo opportuno compattamento, come strato basale della sovrastruttura stradale o in altri analoghi impieghi.

La frazione grossa di tale miscela (trattenuta al setaccio UNI EN da 2 mm) può essere costituita da ghiaie, frantumati, detriti di cava, scorie o anche altro materiale ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori.

Il materiale, generalmente di apporto, potrà essere pronto all'impiego oppure da correggersi con adeguata attrezzatura in impianto fisso o mobile di miscelazione.

Lo spessore della fondazione finita dovrà in ogni caso essere conforme agli elaborati di progetto.

Per le normative di riferimento vedansi paragrafi specifici su aggregati e rilevati.

#### **30.1.1. Caratteristiche dei materiali da impiegare**

Il materiale in opera, dopo l'eventuale correzione e miscelazione, risponderà alle caratteristiche seguenti:

- a) l'aggregato non deve avere né forma appiattita, allungata o lenticolare;
- b) granulometria compresa nel seguente fuso e avente andamento continuo ed uniforme praticamente concorde a quello delle curve limite:

Serie crivelli e setacci UNI	Passante % totale in peso
Setaccio 63	100
Setaccio 40	75-100
Setaccio 20	60-87
Setaccio 8	35-67
Setaccio 4	25-55
Setaccio 2	15-40
Setaccio 0.5	7-22
Setaccio 0.063	2-10

- c) rapporto tra il passante al setaccio UNI EN 0.063 mm ed il passante al setaccio UNI EN 0,5 mm inferiore a 2/3;
- d) perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature inferiore al 30% in peso (UNI EN 1097-2);

- e) equivalente in sabbia misurato sulla frazione passante al setaccio UNI EN 2 mm: compreso tra 25 e 65 (la prova va eseguita con dispositivo di scuotimento meccanico UNI EN 933-8). Tale controllo deve anche essere eseguito sul materiale prelevato dopo costipamento. Il limite superiore dell'equivalente in sabbia "65" potrà essere modificato dalla Direzione Lavori in funzione delle provenienze e delle caratteristiche del materiale. Per tutti i materiali aventi equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35 la Direzione Lavori richiederà in ogni caso (anche se la miscela contiene più del 60% in peso d'elementi frantumati) la verifica dell'indice di portanza C.B.R. di cui al punto successivo;
- f) Indice di portanza C.B.R. (UNI EN 13286-47) dopo quattro giorni d'imbibizione in acqua, eseguito sul materiale passante al crivello UNI EN 25 mm, non minore di 50. È inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di  $\pm 2\%$  rispetto all'umidità ottimale di costipamento. Se le miscele contengono oltre il 60% in peso d'elementi frantumati a spigoli vivi, l'accettazione avverrà sulla base delle sole caratteristiche indicate alle precedenti lettere a), b), d), e), salvo nel caso di lettera e) in cui la miscela abbia un equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35.

### **30.1.2. Studio preliminare**

Le caratteristiche suddette devono essere preliminarmente accertate dalla Direzione Lavori mediante prove di laboratorio.

Contemporaneamente l'Appaltatore deve indicare, per iscritto, le fonti d'approvvigionamento, il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che sarà impiegata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare potrà comportare, a discrezione della Direzione Lavori, la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori e potranno non essere accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive. I requisiti d'accettazione saranno inoltre di norma accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava, sia preliminarmente sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

Il materiale, qualora la Direzione Lavori ne accerti la non corrispondenza anche ad una sola delle caratteristiche richieste, non potrà essere impiegato nella lavorazione e se la stessa Direzione Lavori riterrà, a suo giudizio, che non possa essere reso idoneo mediante opportuni correttivi da effettuare a cura e spese dell'Appaltatore, dovrà essere allontanato dal cantiere.

### **30.1.3. Modalità esecutive**

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma e i requisiti di compattezza previsti ed accettati dalla Direzione Lavori e deve risultare esente da materiale estraneo.

Il materiale sarà steso in strati di spessore finito non superiore a 20 cm e non inferiore a 10 cm e dovrà presentarsi, dopo costipato, uniformemente miscelato in modo da non presentare segregazione dei suoi componenti.

L'eventuale aggiunta d'acqua, per raggiungere l'umidità prescritta in funzione della densità, è da effettuarsi mediante dispositivi spruzzatori che assicurino una sufficiente uniformità di umidificazione.

A questo proposito si precisa che tutte le operazioni anzidette non devono essere eseguite quando le condizioni ambientali (pioggia, neve, gelo) siano tali da danneggiare la qualità dello strato stabilizzato. Verificandosi comunque eccesso d'umidità o danni dovuti al gelo lo strato compromesso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

Il materiale pronto per il costipamento deve presentare in ogni punto la prescritta granulometria. Per il costipamento e la rifinitura saranno impiegati rulli statici, vibranti o vibranti-gommati, la cui idoneità e le cui modalità di costipamento verranno, per ogni cantiere, preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, eventualmente con prove sperimentali di costipamento, usando le miscele messe a punto per quel cantiere.

Il costipamento d'ogni strato deve essere eseguito sino ad ottenere una densità secca in sito non inferiore al 95% di quella massima fornita dalla prova AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) con esclusione della sostituzione degli elementi trattenuti al setaccio con apertura 0,18 mm (ISO 3310).

Se la misura in sito riguarda materiale contenente fino al 25% in peso d'elementi di dimensioni maggiori di 25 mm, la densità ottenuta sarà corretta in base alla formula:

$$d_r = \frac{P_c (100 - x)}{100P_c - x d_i}$$

dove:

$d_r$  = densità della miscela secca ridotta degli elementi di dimensione superiore a 25 mm, da paragonare a quella determinata in laboratorio tramite la prova AASHTO modificata;

$d_i$  = densità della miscela secca intera;

$P_c$  = peso specifico (reale) degli elementi di dimensione maggiore di 25 mm;

$x$  = percentuale in peso degli elementi di dimensione maggiore di 25 mm.

La suddetta formula di trasformazione potrà essere applicata anche nel caso di miscele contenenti una percentuale in peso d'elementi di dimensione superiore a 35 mm, compresa tra il 25 e il 40%. In tal caso nella stessa formula, al termine  $x$  deve essere sempre dato il valore 25 (indipendentemente dalla effettiva percentuale in peso trattenuto al setaccio ISO 3310 di apertura 20 mm).

#### 30.1.4. Prove dinamiche di portanza

Quanto riportato in questo paragrafo, non riferito specificamente allo strato in questione (fondazione in misto granulare non legato), vale in generale per il presente Capitolato.

I valori di portanza finali costituiscono il dato prestazionale. La loro misura consiste nella valutazione del “modulo elastico dinamico”<sup>(1)</sup> ( $E_{din}$ ) reale sulla superficie dello o degli strati di supporto sopra descritti, effettuata di norma con una macchina a massa battente, che può essere sia del tipo portatile LWD (o FLWD): *Light (Falling) Weight Deflectometer* (v. figura a sinistra), sia del tipo pesante FWD o HWD (o HFWD): *Falling Weight Deflectometer* o *Heavy Falling Weight Deflectometer* (v. figura a destra), trainata da automezzo. In entrambi i casi viene misurata la deflessione del piano di appoggio mediante geofoni e da questa valutato il suddetto modulo.



A sinistra: LWD; a destra: FWD/HWD.

La modalità di misurazione normale deve essere considerata quella con attrezzatura FWD. Ogni altra modalità dovrà essere correlata a questa con coefficienti di correlazione sufficientemente affidabili che, qualora non esplicitamente indicati nel presente Capitolato oppure qualora siano indicati attraverso un intervallo di variabilità, dovranno essere oggetto di una valutazione preventiva, eventualmente anche sperimentale, i cui risultati dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

Quanto sopra è particolarmente vero nel caso dell'impiego dell'attrezzatura LWD che, pur essendo di pratico utilizzo, conduce tuttavia ad una certa dispersione dei risultati e, per essere considerata affidabile, deve sempre essere

<sup>(1)</sup> Da non confondere con altri simili parametri, quali il “modulo di elasticità statico” ( $E_{st}$ ), il “modulo di deformazione” ( $M_d$ ) e il “modulo resiliente” ( $M_r$ ).

accompagnata da un certificato di calibrazione valido. Di conseguenza, anche il relativo coefficiente di correlazione è molto variabile e pertanto, come detto sopra, sarà necessario in questo caso calibrare l'LWD confrontandolo con misure eseguite con FWD, ove possibile sullo stesso strato ed in posizioni vicine.

A questo proposito le raccomandazioni inglesi IAN 73/06 Rev. 1 (2009) (*Design guidance for road pavement foundations*) suggeriscono di eseguire un confronto sullo stesso materiale e in posizioni di controllo adiacenti, esteso ad almeno 25 punti diversi. Se, dalla popolazione costituita dalle coppie di valori del modulo dinamico, misurate nei suddetti punti con le due strumentazioni, si verifica la seguente relazione, allora la correlazione è considerata sufficiente:

$$r^2 = \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^n E_{din,FWD,i}}{\sum_{i=1}^n E_{din,LWD,i}} \right) / n \right]^2 \geq 0.45$$

dove:

r = coefficiente di correlazione;

$E_{din,LWD}$ ,  $E_{din,FWD}$  = misure del modulo elastico dinamico effettuate con le due strumentazioni: LWD e FWD;

n = numero dei punti dove sono state effettuate le coppie di misure.

In seguito, ogni valore  $E_{din,LWD}$  misurato (a parità di condizioni e soprattutto di strato da controllare) potrà essere ragguagliato ad un equivalente valore  $E_{din,FWD}$  come segue:

$$(E_{din,FWD})_{eq} = r E_{din,LWD}$$

Nel prosieguo del presente Capitolato pertanto, a meno che non vi sia una diversa esplicita indicazione, saranno forniti parametri di controllo riferiti unicamente all'impiego di attrezzatura FWD.

Qualora si impieghi l'attrezzatura LWD, si dovranno rispettare le norme ASTM E2583-07(2011) (*Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD)*) e le prove andranno eseguite in condizioni ambientali normali (temperatura, umidità), applicando una sollecitazione pari a circa 70 KPa, mentre la durata dell'impulso di carico sarà pari a circa 30 ms.

Tale configurazione si ottiene utilizzando il carico da 10 kg, con una altezza di caduta (distanza tra terreno e base del carico) pari a 100 cm.

Le battute dell'LWD, secondo quanto indicato nella norma, dovranno essere ripetute fino ad ammettere uno scarto tra le deflessioni a centro piastra  $\leq 3\%$ . Pur nel rispetto del limite di modulo elastico richiesto, se non viene raggiunto il limite dello scarto tra due deflessioni consecutive dopo 4 ripetizioni per più di 5 punti di misura distanziati di almeno 5 metri tra loro, lo strato andrà riadensato.

Le prove eseguite, registrate su *file*, devono riportare almeno la pressione effettivamente applicata, il tempo di applicazione del carico, la deflessione al centro piastra ed il modulo elastico.

Il modulo elastico dinamico viene in questo caso calcolato con la seguente espressione (Boussinesq):

$$E_{din,LWD} = \frac{f (1 - \nu^2) \sigma_0 R}{d_0}$$

dove:

$E_{din,LWD}$  = modulo di elasticità dinamico (in MPa);

f = fattore di distribuzione delle sollecitazioni, dovuto alla rigidità della piastra ( $\approx 2$ );

$\nu$  = coefficiente di Poisson =  $(1 - \sin \varphi') / (2 - \sin \varphi')$ , con  $\varphi'$  = angolo di attrito interno efficace del terreno ( $\approx 0.35$ , v. tabella sotto riportata):

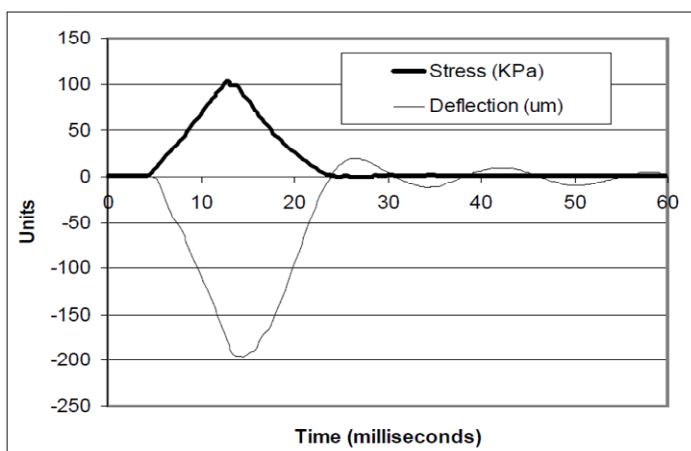
Terreno	v	
	valore massimo	valore minimo
Argilla satura	0.5	0.4
Argilla non satura	0.3	0.1
Argilla sabbiosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Sabbia	1.00	-0.1
Sabbia ghiaiosa comunemente usata	0.4	0.3
Loess	0.3	0.1
Ghiaccio	0.36	
Calcestruzzo	0.15	

$\sigma_0 = P_{eff} / (\pi R^2) =$  pressione (uniformemente distribuita) indotta dalla piastra circolare ( $\approx 70 \text{ kPa}$ )<sup>(1)</sup>;

R = raggio della piastra (di norma = 0.150 m);

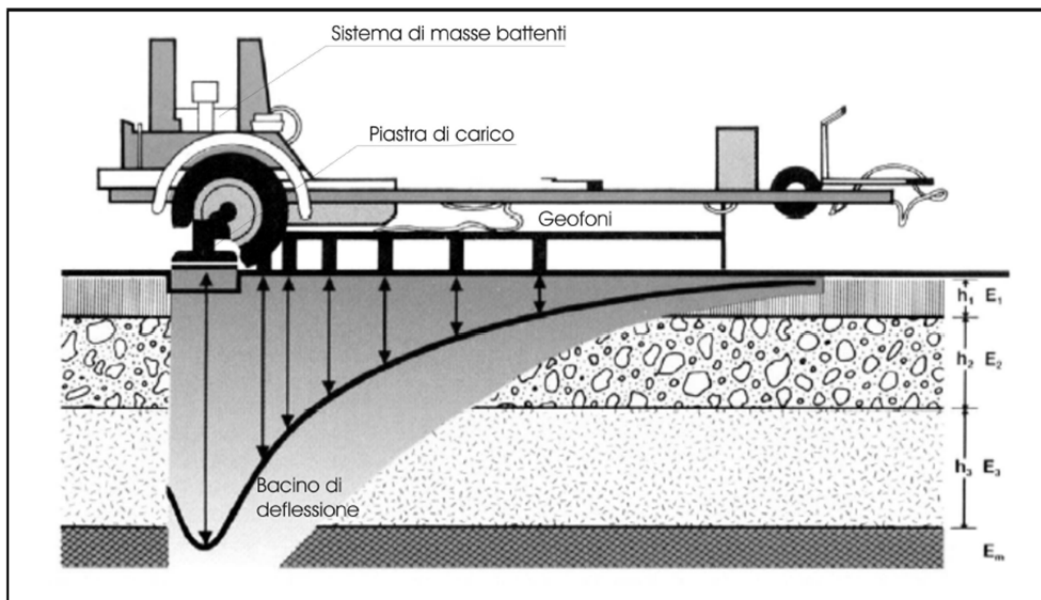
d<sub>0</sub> = deflessione misurata al centro della piastra (in mm).

Inserendo i valori sopraindicati risulterebbe all'incirca:  $E_{din,LWD} \approx 18.4/d_0$  [MPa].



Tipico diagramma risultante da una prova LWD su stabilizzato granulometrico di buone caratteristiche (la pressione è risultata in questo caso superiore a 70 kPa)

Qualora si impieghi l'attrezzatura FWD o HWD, si opererà come segue (v. figura):



<sup>(1)</sup> Il carico effettivo  $P_{eff}$  deriva dai vari parametri di elasticità, inerzia e smorzamento, che governano il fenomeno impulsivo alla base del funzionamento dello strumento. La sua calcolo teorica è di una certa complessità e comunque approssimativa, per cui si preferisce misurarlo direttamente attraverso lo stesso strumento (v. diagramma in figura), di norma corredato da un apposito software che fornisce direttamente tale valore, così come quelli della deflessione e del modulo risultante. Il valore risultante dalla pressione indicata sarebbe pari all'incirca a 5 kN.

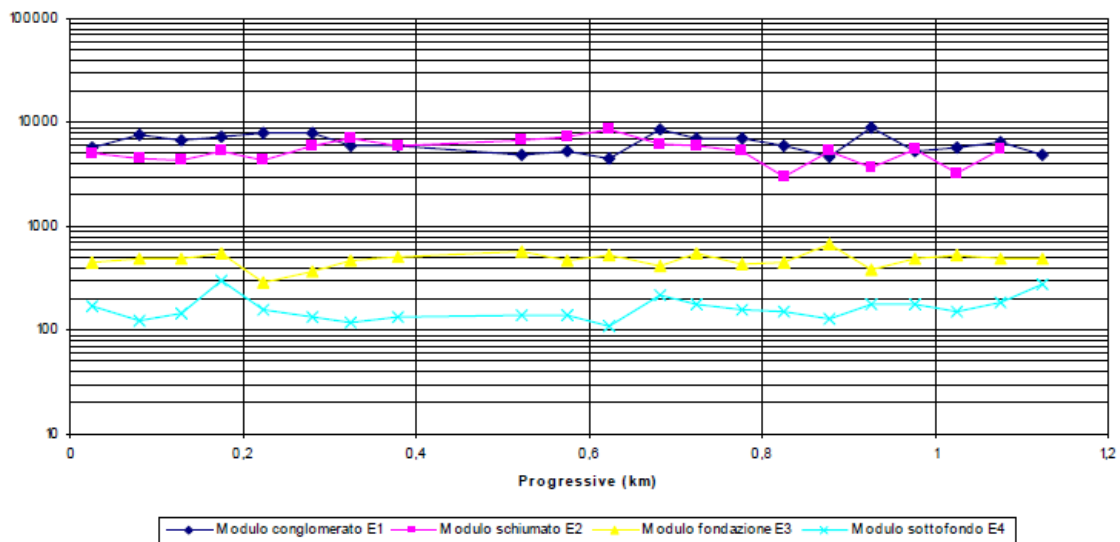
- la massa battente da usare e l'altezza di caduta verranno stabilite mediante prove da effettuare prima della misura, in modo da non lasciare deformazioni permanenti sotto la piastra; l'altezza di caduta o la massa battente, se ciò succede, dovranno essere ridotte fino ad avere una deformazione di tipo elastico;
- le successive misure verranno effettuate controllando che comunque, anche in altre zone di prova, non si abbia deformazione plastica;
- il modulo  $E_{din,FWD}^{(1)}$  verrà calcolato interpretando le misure con un opportuno *software* basato su un modello numerico costituito da un multistrato elastico con sottofondo di spessore indefinito;
- l'affidabilità del calcolo (*back-analysis*) dovrà essere valutata attraverso il confronto tra il bacino di deflessione (v. figura sotto) misurato e quello derivato dal calcolo stesso. Si dovrà pertanto individuare l'errore quadratico medio percentuale (RMS) attraverso la seguente equazione:

$$RMS(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \left( \frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2}$$

dove  $d_{mi}$  e  $d_{ci}$  sono rispettivamente la deflessione misurata e quella calcolata in corrispondenza dell'i-esimo geofono. Non saranno considerati accettabili valori di RMS superiori al 5%.

A seguire, a titolo esemplificativo, un tipico *report* in forma tabellare ed uno in forma di diagramma, di indagini deflettometriche con FWD:

DETERMINAZIONE	SPESSORI		MODULI ALLA TEMPERATURA DI PROVA				TEMPERATURA media dello strato in conglomerato bituminoso (°C)	MODULO
	Conglomerato bituminoso	Fondazione	Conglomerato bituminoso	Fondazione	Sottofondo	Semispaio equivalente		Conglomerato bituminoso (a 20°C)
Progressiva (km)	H1 (mm)	H2 (mm)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	Es (MPa)	Ee (MPa)		E1 (MPa)
0.161	181	231	346	42	28	107	32.3	775
0.250	246	214	477	29	21	139	32.3	1066
0.534	241	214	242	22	14	91	32.3	540



### 30.1.5. Dati prestazionali

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre superiore a 185 MPa.

<sup>(1)</sup> La correlazione tra  $E_{din,FWD}$  e  $M_d$  (modulo di deformazione da prova di carico statica su piastra) comunemente adottata è la seguente:  $E_{din,FWD} = A M_d$ , dove  $A = 1.9 \div 2.1$  (Giannattasio et al., 1989).



A discrezione del Direttore dei Lavori, per valori medi di portanza inferiori ai valori minimi ammessi potrà applicarsi alla lavorazione una penale variabile linearmente da zero al 20%, per valori compresi tra quelli minimi e gli stessi diminuiti del 20%, mentre per carenze superiori al 20% lo strato dovrà essere demolito e ricostruito oppure modificato con modalità da concordare con la Direzione Lavori in modo da rientrare nei requisiti di accettabilità.

La superficie finita non deve scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre 1 cm, controllata a mezzo di un regolo di 4 m. di lunghezza e disposto secondo due direzioni ortogonali. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza in più o in meno del 5%, purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione  $M_d$ , accertato secondo le modalità previste dal presente Capitolato nell'intervallo compreso fra 1,5 e 2,5 daN/cm<sup>2</sup>, deve risultare sempre non inferiore a 90 MPa.

## **31. Strato di fondazione o di sottobase realizzato con miscele legate**

### **31.1. Realizzazione con misto cementato confezionato in centrale**

#### **31.1.1. Descrizione**

Il misto cementato per fondazione deve essere costituito da una miscela di inerti lapidei, miscelata a sua volta con cemento ed acqua in impianto centralizzato, con dosatori a peso o a volume, da stendersi in un unico strato dello spessore indicato in Progetto.

#### **31.1.2. Caratteristiche dei materiali da impiegare**

##### **31.1.2.1. Inerti**

Saranno impiegate ghiaie e sabbie di cava e/o di fiume con percentuale di frantumato complessiva compresa tra il 30 ed il 60% in peso sul totale degli inerti.

A discrezione della Direzione Lavori potranno essere impiegate quantità di materiale frantumato superiori al limite stabilito; in questo caso la miscela finale dovrà essere tale da presentare le stesse resistenze a compressione e a trazione a 7 d prescritte nel seguito; questo risultato potrà ottenersi aumentando la percentuale delle sabbie presenti nella miscela e/o la quantità di passante al setaccio ISO 3310 con apertura 0,075 mm.

Per le granulometrie possibili, detti materiali potranno anche essere integrati con ceneri volanti.

Gli inerti avranno i seguenti requisiti:

- aggregato di dimensioni non superiori a 40 mm, né di forma appiattita, allungata o lenticolare;
- granulometria compresa nel seguente fuso ed avente andamento continuo ed uniforme (UNI EN 933-1):

Serie crivelli e setacci UNI		Passante % totale in peso
Setaccio	31,5	100
Setaccio	22,4	80-100
Setaccio	20	72-90
Setaccio	12,5	53-70
Setaccio	8	40-55
Setaccio	4	28-40
Setaccio	2	18-30
Setaccio	0,5	8-18
Setaccio	0,25	6-14

Serie crivelli e setacci UNI	Passante % totale in peso
Setaccio 0,063	5-10

- perdita in peso alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2) non superiore a 30% in peso;
- equivalente in sabbia (UNI EN 933-8) compreso fra 30 e 60;
- indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS 17892-12) uguale a zero (materiale non plastico).

### 31.1.2.2. Legante

Deve essere impiegato cemento normale 32,5 o 32,5R (di tipo I, II, III, IV, V).

A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 3,5% sul peso degli inerti asciutti. È possibile sostituire parzialmente questa percentuale con cenere di carbone del tipo leggero di recente produzione. Orientativamente le ceneri leggere possono sostituire fino al 40% del peso indicato di cemento. La quantità in peso di ceneri da aggiungere per ottenere pari caratteristiche meccaniche, scaturirà da apposite prove di Laboratorio. Indicativamente ogni punto percentuale di cemento potrà essere sostituito da 4-5 punti percentuali di ceneri.

### 31.1.2.3. Acqua

Deve essere esente da impurità dannose, oli, acidi, alcali, materia organica e qualsiasi altra sostanza nociva. La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro  $\pm 2\%$  del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze appresso indicate.

### 31.1.3. Studio della miscela in laboratorio

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori la composizione granulometrica da adottare e le caratteristiche della miscela.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

La percentuale di cemento e delle eventuali ceneri volanti, come la percentuale di acqua, saranno stabilite in relazione alle prove di resistenza eseguite sui provini cilindrici confezionati entro stampi C.B.R. (UNI EN 13286-47) impiegati senza disco spaziatore (altezza 17,78 cm, diametro 15,24 cm, volume 3242 cm<sup>3</sup>).

Per il confezionamento dei provini, gli stampi saranno muniti di collare di prolunga allo scopo di consentire il regolare costipamento dell'ultimo strato con la consueta eccedenza di circa 1 cm rispetto all'altezza dello stampo vero e proprio.

Tale eccedenza deve essere eliminata, previa rimozione del collare suddetto e rasatura dello stampo, affinché l'altezza del provino risulti definitivamente di 17,78 cm. La miscela di studio sarà preparata partendo da tutte le classi previste per gli inerti mescolandole tra loro, con il cemento, l'eventuale cenere e l'acqua nei quantitativi necessari ad ogni singolo provino.

Comunque prima di immettere la miscela negli stampi si opererà una vagliatura sul setaccio ISO 3310 con apertura 20 mm allontanando gli elementi trattenuti (di dimensione superiore a quella citata) con la sola pasta di cemento ad essi aderente.

I campioni da confezionare in Laboratorio devono essere protetti in sacchi di plastica per evitare l'evaporazione dell'acqua. Saranno confezionati almeno tre campioni ogni 250 m di lavorazione.

La miscela sarà costipata su 5 strati con il pestello, l'altezza di caduta di cui alla norma UNI EN 13286-2, 85 colpi per strato, in modo da ottenere un'energia di costipamento pari a quella della prova AASHTO modificata.

I provini devono essere estratti dallo stampo dopo 24 h e portati successivamente a stagionatura per altri 6 d in ambiente umido (umidità relativa non inferiore al 90% e temperatura di circa 20 °C); in caso di confezione in cantiere la stagionatura si farà in sabbia mantenuta umida.

Operando ripetutamente nel modo suddetto, con l'impiego di percentuali in peso d'acqua diverse (sempre riferite alla miscela intera, compreso quanto eliminato per vagliatura sul setaccio ISO 3310 con apertura 20 mm) potranno essere determinati i valori necessari al tracciamento dei diagrammi di studio. Lo stesso dicasi per le variazioni della percentuale di legante. I provini devono avere resistenze a compressione a 7 gg. non minori di 2,5 MPa e non superiori a 4,5 MPa, ed a trazione indiretta (o prova "brasiliiana" - UNI EN 13286-42), non inferiori a 0,25 MPa.

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7,5 MPa (questi valori per la compressione e la trazione devono essere ottenuti dalla media di 3 provini, se ciascuno dei singoli valori non si scosta dalla media stessa di  $\pm 15\%$ , altrimenti dalla media dei due restanti dopo aver scartato il valore anomalo).

Da questi dati di Laboratorio devono essere scelti la granulometria e la densità al fine di confrontare le resistenze ottenute con quelle di progetto da usarsi come riferimento nelle prove di controllo.

#### **31.1.4. Formazione e confezione delle miscele**

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto.

Le zone destinate allo stoccaggio ed alla lavorazione degli inerti dovranno essere preventivamente e convenientemente sistemate, per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possano compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere nettamente separati tra loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si farà uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori, in numero corrispondente alle classi impiegate.

#### **31.1.5. Posa in opera e tempo di maturazione**

La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accettata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e compattezza prescritti. La stesa sarà eseguita impiegando finitrici vibranti.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 * 102$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

La stesa della miscela non dovrà di norma essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 0 °C e superiori a 25 °C e comunque mai sotto la pioggia.

Tuttavia, a discrezione della Direzione Lavori, potrà essere consentita la stesa anche a temperature comprese tra 25 e 35 °C. In questo caso è necessario proteggere da evaporazione la miscela durante il trasporto dall'impianto di confezione al luogo di impiego (ad esempio con teloni); è inoltre necessario provvedere ad un'abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato. Infine, le operazioni di costipamento e di stesa del velo di protezione con emulsione bituminosa (v. più avanti), devono essere eseguite immediatamente dopo la stesa della miscela.

Le condizioni ideali di lavoro si hanno con temperature comprese tra 15 e 18 °C ed umidità relativa del 50% circa. Temperature superiori saranno ancora accettabili, con umidità relativa anch'essa crescente; comunque è opportuno, anche per temperature inferiori alla media, che l'umidità relativa dell'ambiente non scenda al di sotto del 15%, in quanto ciò potrebbe provocare ugualmente un'eccessiva evaporazione della miscela.

Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non dovrà superare di norma le due ore, per garantire una sufficiente continuità strutturale dello strato. Particolari accorgimenti dovranno poi adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali, che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare.

Il giunto di ripresa sarà ottenuto di norma terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola stessa al momento della ripresa della stesa; se non si fa uso della tavola è necessario, prima della ripresa della stesa,

provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete approssimativamente verticale.

Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte dal misto e comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

#### **31.1.6. Protezione superficiale**

Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dello strato, dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica al 55%, in ragione di 1-2 kg/m<sup>2</sup>, in relazione al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposta la fondazione e successivo spargimento di sabbia.

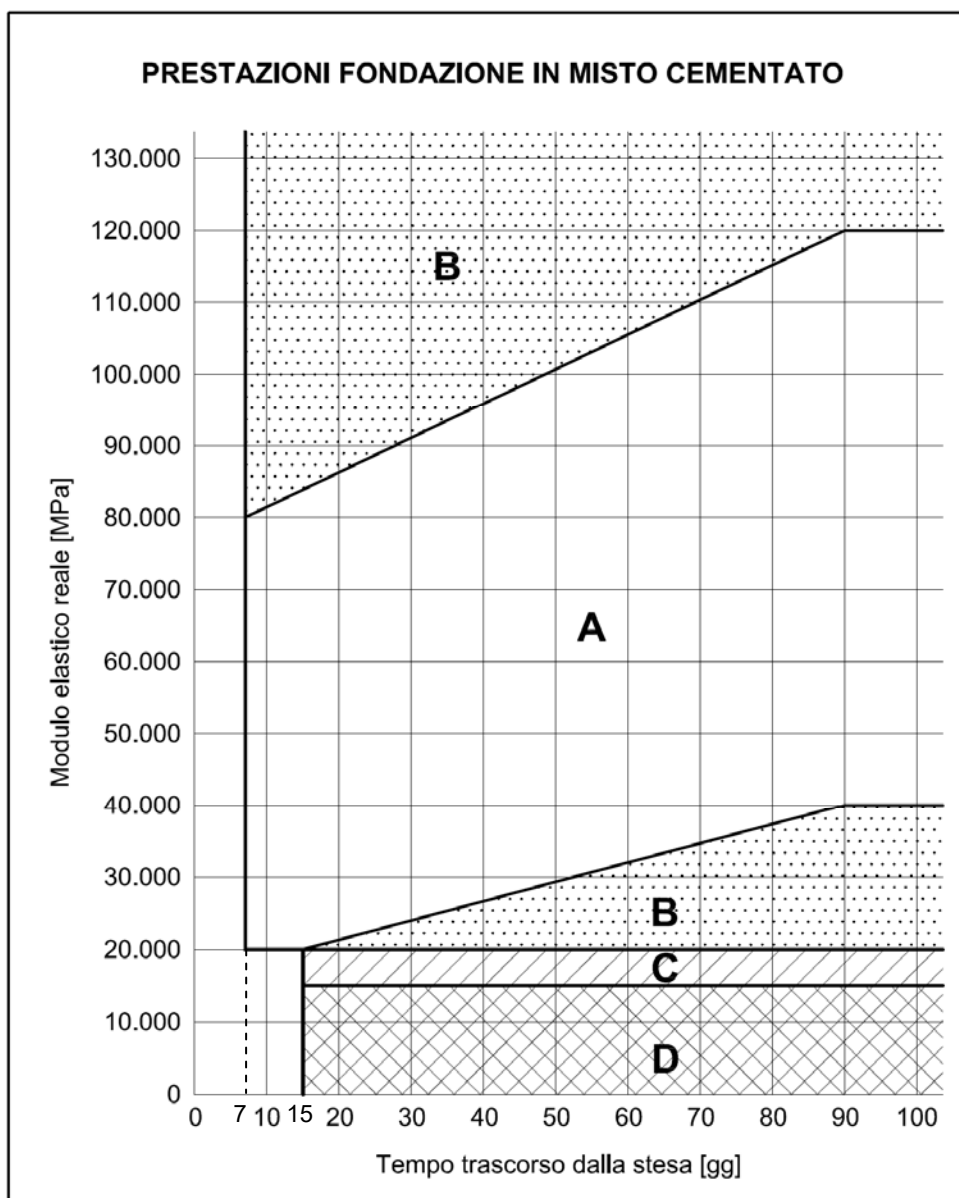
#### **31.1.7. Norme di controllo delle lavorazioni, prestazioni e penali**

Con esami giornalieri dovrà essere verificata la rispondenza delle caratteristiche granulometriche delle miscele. Sarà ammessa una tolleranza di  $\pm 5\%$  fino al passante al setaccio con apertura 4 mm ISO 3310 e di  $\pm 2\%$  per il passante al setaccio 2 mm ISO 3310 ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. A compattazione ultimata la densità secca in sito non deve risultare inferiore al 98% di quella determinata con prova AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) o al 94% di quella dei provini sottoposti a pressa giratoria a 180 giri.

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre non inferiore a 300 MPa.

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare come dal presente Capitolato, con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione  $M_d$  al 1° ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, rilevato in un tempo compreso fra 3 e 12 h dalla compattazione, deve sempre essere non inferiore a 150 MPa.

La media dei valori di modulo sui tronchi omogenei dovrà essere quella compresa nell'area A del diagramma che segue.



Se i valori ricadono nell'area B, lo strato (ed il pacchetto che la ricopre) potranno essere assoggettati, a discrezione della Direzione Lavori, ad una penale del 10% del prezzo, per tutto il tratto omogeneo a cui i valori si riferiscono.

I valori ricadenti nell'area C potranno comportare una penale del 20%, mentre quelli ricadenti nell'area D saranno rifiutati. In quest'ultimo caso il materiale dovrà essere rimosso e portato a discarica.

## 31.2. Realizzazione con riciclaggio in sito del misto cementato o granulare, con aggiunta di cemento e acqua

### 31.2.1. Descrizione

La rigenerazione in sito a freddo è realizzata mediante idonee attrezzature mobili (di norma *pulvimixer*<sup>(1)</sup>) che consentono di miscelare in sito, anche in cassonetti ricavati da pavimentazioni preesistenti, il misto cementato per fondazione o il misto granulare costituenti la preesistente fondazione, con cemento ed eventuali inerti di apporto ed acqua, omogeneizzare, stendere per tutta la larghezza e profondità previste e compattare la miscela ottenuta, per uno spessore massimo di 30 cm.

<sup>(1)</sup> Macchina semovente o trainata, dotata di rullo trasversale fresante e mescolatore.

In alternativa si potranno usare materiali risultanti dalla fresatura di pavimentazioni bituminose (il cosiddetto “fresato”); in questo caso si possono accettare resistenze minori di quelle indicate nel seguito, ma con conseguente aumento degli spessori legati, in modo da ottenere comunque i moduli di cui al precedente punto sulle norme di controllo.

### **31.2.2. Caratteristiche dei materiali**

#### **31.2.2.1. Inerti**

Nel caso di impiego della preesistente fondazione in misto granulare occorrerà verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille) e la rispondenza alle prescrizioni granulometriche (UNI EN 933-1) indicate nel fuso seguente:

Serie crivelli e setacci UNI		Passante % totale in peso
Setaccio	56	100
Setaccio	31,5	75 - 100
Setaccio	20	60 - 87
Setaccio	8	35 - 67
Setaccio	4	25 - 50
Setaccio	2	15 - 40
Setaccio	0,5	7 - 22
Setaccio	0,063	2 - 10

Qualora le caratteristiche del misto non rispondessero a tali indicazioni, la Direzione Lavori ne prescriverà la correzione mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto. Gli inerti di integrazione dovranno provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) ed essere conformi a quanto richiesto dal presente Capitolato.

#### **31.2.2.2. Cemento**

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

#### **31.2.2.3. Acqua**

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

### **31.2.3. Studio della miscela di laboratorio**

Le percentuali di cemento e di acqua ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle seguenti prove di laboratorio:

- eseguire sulla tratta interessata dai lavori prelievi di materiale sciolto fresato in sito e determinare in laboratorio la curva granulometrica di progetto del misto cementato o granulare da trattare (UNI EN 933-1). Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente, le determinazioni sopra riportate dovranno essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate;
- determinazione dell'umidità ottimale di costipamento e relativa densità massima secca della miscela di progetto, mediante prova Proctor (UNI EN 13286-2). La miscela granulometrica sottoposta a prova Proctor dovrà contenere una percentuale di cemento pari all'incirca alla metà di quella ottimale;
- la percentuale di cemento ottimale dovrà essere determinata compattando la miscela, privata del trattenuto al setaccio con apertura 25 mm (ISO 3310), entro stampi C.B.R. (UNI EN 13286-47) impiegati senza disco spaziatore all'umidità ottimale Proctor. La miscela dovrà essere compattata su 5 strati secondo la norma AASHTO modificata (UNI EN 13286-2) incrementando di volta la percentuale di cemento (indicativamente dell'1%) riferita al peso

secco della miscela degli inerti. Per ogni percentuale di cemento dovranno essere confezionati 18 provini. I provini così confezionati dovranno essere estratti dallo stampo dopo 24 h e portati successivamente a stagionatura per altri 2 e 6 d in ambiente umido (umidità relativa non inferiore al 90% e temperatura di circa 20 °C). Da ogni provino, appena confezionato, deve essere immediatamente determinata la densità secca espressa in g/cm<sup>3</sup> (CNR B.U. n. 29/72).

- le rotture dei provini devono avvenire secondo le seguenti modalità:

Stagionatura	Rottura a compressione	Rottura a trazione indiretta <sup>(1)</sup>
	N. provini	N. provini
24 h	3	3
3 g	3	3
7 g	3	3

Per l'esecuzione delle prove si farà riferimento alla UNI EN 13286-41 per la rottura a compressione e alla UNI EN 13286-42 per la rottura a trazione indiretta.

Da questi dati di laboratorio devono essere scelti la granulometria, la densità e le resistenze di progetto da usare come riferimento nelle prove di controllo.

La miscela ottimizzata dovrà possedere una resistenza a compressione a 7 gg non minore di 2,5 MPa e non superiore a 4,5 MPa, ed a trazione non inferiore a 0,25 MPa.

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7,5 MPa.

#### 31.2.4. Posa in opera

La posa in opera della miscela deve essere effettuata mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Di norma, salvo diverse procedure da sottoporre preventivamente alla Direzione Lavori, si procede in questo modo:

- Rimozione della parte di strato da trattare mediante scarifica, con idonea pala cingolata munita di *rippers*, per lo spessore necessario;
- Spandimento del cemento in modo uniforme su tutta la superficie rimossa mediante idonei spargitori. Se inizia a piovere durante questa operazione, si renderà necessario interrompere la distribuzione del cemento ed iniziare immediatamente la miscelazione;
- Miscelazione preceduta da umidificazione, il cui grado sarà definito in funzione della percentuale di umidità presente nel materiale da trattare e delle condizioni ambientali, realizzata con idonea attrezzatura in grado di rimuovere e mescolare uniformemente il materiale per lo spessore necessario. La miscelazione dovrà interessare tutta la superficie in modo uniforme, comprese le fasce adiacenti alle pareti verticali dello scavo; non dovrà mai essere eseguita in condizioni ambientali e atmosferiche avverse, quali pioggia o temperatura ambiente eccedente l'intervallo ammissibile. Le condizioni ambientali ottimali si verificano con temperature intorno a 18°C e con tasso di umidità di circa il 50%; con temperature superiori l'umidità dovrà risultare anch'essa crescente. Con temperature inferiori il tasso di umidità non dovrà essere inferiore al 15%;
- Ripristino dei piani di progetto, livellando il materiale con idonea attrezzatura.

<sup>(1)</sup> Detta anche prova "brasiliiana" o *splitting test*. E' contenuta nella norma UNI EN 12390-6 e si effettua sottoponendo a compressione un provino cilindrico secondo un asse diametrale. La resistenza a trazione si calcola con la formula:

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi LD}$$

dove: F = forza impressa verticalmente secondo due generatrici diametralmente opposte;

L = lunghezza del provino;

D = diametro del provino.

La resistenza a trazione di calcolo (assiale), secondo EC2, vale:  $f_{ct} = 0.9f_{ct,sp}$

La miscela appena stesa dovrà essere immediatamente compattata, previa eventuale ulteriore umidificazione a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 \cdot 10^2$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito dovrà avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella derivante dalla prova AASHTO modificata.

Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m<sup>2</sup> ed un successivo spargimento di sabbia.

Con temperatura dell'aria inferiore ai 5 °C e superiore a 35 °C, la lavorazione della miscela dovrà essere sospesa e comunque sospesa sempre in caso di pioggia.

Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico dipenderanno dalle resistenze raggiunte e saranno decise di volta in volta secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

#### **31.2.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni**

Vale quanto indicato più sopra per il caso del misto cementato confezionato in centrale.

### **31.3. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di bitume schiumato e cemento**

#### **31.3.1. Descrizione**

La rigenerazione in sito a freddo viene realizzata mediante idonee attrezzature mobili (con miscelatore a volume variabile) che consentano di:

- miscelare in sito la fondazione esistente, sia legata sia stabilizzata granulometricamente (o la medesima integrata con materiale bituminoso fresato), con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e se necessario inerti di apporto;
- omogeneizzare, stendere e compattare la miscela per uno spessore massimo di 30 cm e non inferiore a 20 cm, da intendersi come spessori finali dello strato compattato.

La schiuma di bitume è prodotta dalla reazione meccanica-fisico-chimica che avviene nel bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto del bitume di tipo BM, a circa 180 °C, con acqua ad alta pressione.

#### **31.3.2. Caratteristiche dei materiali**

##### **31.3.2.1. Inerti**

Nel caso di reimpiego della preesistente fondazione in misto granulare, occorre verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille), da eliminare se presenti. Saranno anche utilizzabili i materiali fresati ottenuti dagli strati superiori alla preesistente fondazione; in questo caso detti fresati verranno accumulati sul fianco del cavo e rimessi nel medesimo dopo asportazione della fondazione preesistente, non contenente materiali bituminosi.

Particolare cura verrà posta nel riposizionamento del fresato, onde evitare l'inquinamento delle miscele da materiale estraneo. In ambedue i casi si dovrà osservare la rispondenza alle prescrizioni granulometriche (UNI EN 933-1) indicate nel fuso seguente:



Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100
Setaccio 31,5	85-100
Setaccio 20	75-95
Setaccio 12,5	65-87
Setaccio 8	50-75
Setaccio 4	30-55
Setaccio 2	22-37
Setaccio 0,5	10-20
Setaccio 0,063	5-10

Qualora le caratteristiche del misto non rispondessero a tali indicazioni, si dovrà operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto; dette aggiunte possono anche essere operate con materiali provenienti dalla fondazione sottostante al fresato bituminoso.

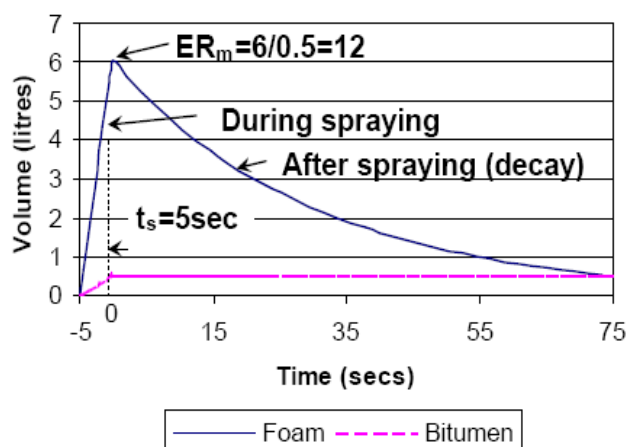
La fondazione esistente o gli strati ad essa superiori devono essere prelevati mediante fresatura per la determinazione della granulometria di riferimento. Gli inerti di integrazione devono provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) e devono essere conformi a quanto richiesto dal presente Capitolato.

### 31.3.2.2. Bitume schiumato

Il bitume da impiegare deve avere caratteristiche e prestazioni tali da garantire al prodotto finito i parametri di seguito indicati:

- rapporto di espansione<sup>(1)</sup> > 20;
- tempo di semitrasformazione del bitume<sup>(2)</sup> > 25 s.

Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuale di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.



### 31.3.2.3. Cemento

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

### 31.3.2.4. Acqua

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

## 31.3.3. Prescrizioni progettuali

### 31.3.3.1. Studio della miscela in laboratorio

Le percentuali di cemento, acqua e bitume schiumato ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

<sup>(1)</sup> Rapporto tra il massimo volume raggiunto allo stato schiumoso e il volume finale del legante, esaurito il processo di schiumatura ( $ER_m$  nel diagramma di figura).

<sup>(2)</sup> Tempo, in secondi, che intercorre tra il momento di massimo volume e quello in cui tale volume risulta dimezzato.

### 31.3.3.2. Prelievi in sito

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed intensificate in caso di accertata disomogeneità della miscela.

### 31.3.3.3. Granulometria di progetto

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).

### 31.3.3.4. Studio della miscela di progetto

Per la determinazione delle percentuali (in peso rispetto agli inerti) ottime di bitume schiumato, cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria, con le seguenti condizioni di prova:

- Angolo di rotazione :  $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$ ;
- Velocità di rotazione : 30 rotazioni al minuto;
- Pressione verticale: 600 kPa;
- Diametro provino: 150 mm;
- n° giri : 180;
- Peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume schiumato [%]	2			3			4		
Umidità complessiva [%]	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Provini [n.]	6			6			6		

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42/2006) dopo sosta per 4 ore in forno termostatico a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- resistenza a trazione diametrale  $R_t$  a 72 ore di maturazione, maggiore o uguale a 0,40 MPa;
- coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione, maggiore o uguale a 60 MPa;

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare:

- perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- la resistenza a trazione indiretta : deve risultare almeno il 70% di quella ottimale.
- densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri.
- determinazione del modulo (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Modulo complesso [MPa]	> 6000	> 6800	> 7000	> 2700	> 3500	> 3600	> 1700	> 2400	> 2600

### 31.3.4. Posa in opera

La lavorazione in opera della miscela deve essere effettuata possibilmente con una sola passata (con macchine a tutta larghezza) per evitare il giunto longitudinale e problemi di planarità della superficie, mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi; nel caso di uso di miscelatrici più strette della larghezza da trattare, si dovrà operare in due o più passate, curando una certa sovrapposizione (per qualche decina di centimetri) delle strisciate contigue; nel caso di uso di fresato accumulato sul fianco del cavo e risteso nel medesimo, dopo asportazione del materiale preesistente, si dovrà operare una sua regolarizzazione al grader e successiva leggera compattazione, prima di operare con la miscelatrice.

I tempi di stoccaggio della miscela dovranno essere definiti di volta in volta in funzione della quantità di cemento presente e delle condizioni ambientali.

La miscela appena miscelata deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 \cdot 102$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta mediante provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di adensamento è misurato di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n. 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari (v. in figura un modello della ditta americana *Troxler Electronics Laboratories Inc.*)<sup>(1)</sup>.

Al termine del costipamento e di rifinitura deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m<sup>2</sup>.

La lavorazione consente dopo compattazione un immediato traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per breve tempo, anche il traffico normale.



### 31.3.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni

La media dei valori del modulo elastico dinamico, ottenuti non prima di 12 h dalla stesa mediante attrezzatura FWD (o con attrezzatura LWD e debitamente correlati), espressi in MPa, elaborati su tronchi omogenei, ottenuti con misure effettuate circa ogni 50 metri per ogni corsia di marcia (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta oppure - a discrezione della Direzione Lavori - per i casi di eccessiva disuniformità di risultato) e considerando una popolazione di prove sufficiente ad una analisi statistica, deve risultare maggiore o uguale al valore di progetto e comunque sempre non inferiore ai valori di cui alla tabella seguente.

TEMPO DI MATURAZIONE	MODULO (MPa)
-------------------------	--------------

<sup>(1)</sup> I “densimetri nucleari” sono strumenti elettronici (ve ne sono in versione portatile) che misurano la densità di un materiale, fino ad una determinata profondità massima, attraverso l’emissione in esso di radiazione gamma. La radiazione si scontra con le particelle del materiale ed un rivelatore Geiger-Mueller ne misura la quantità che rimbalza verso il sensore (*backscattering*), oppure quella che arriva al sensore (*direct transmission*). Tale quantità viene poi convertita, tramite un microprocessore, in una misura di densità. Maggiore è la quantità di radiazione rimbalzata (o trasmessa direttamente), maggiore (o minore) è la densità del materiale. Le norme di riferimento sono le ASTM: D7759-12, D6938-10, C1040/C1040M-08.

TEMPO DI MATURAZIONE	MODULO (MPa)
da 12 a 24 ore	300
da 24 a 48 ore	500
dopo 90 giorni	3000

Qualora, per tratti stradali di limitata estensione, la Direzione Lavori opti per una valutazione della portanza mediante impiego di prove statiche su piastra, da effettuare come dal presente Capitolato, con cadenza non inferiore a quella prevista per le prove dinamiche e comunque più fitta ove il caso lo richieda, il modulo di deformazione  $M_d$  al 1° ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, misurato nei medesimi intervalli temporali, non deve mai essere inferiore, rispettivamente, ai valori: 150, 250, 1500 MPa.

In caso di risultati insoddisfacenti rispetto ai limiti indicati, i materiali potranno essere rifiutati.

### 31.4. Realizzazione con fresato, bitume schiumato e cemento miscelati a freddo in impianto

#### 31.4.1. Descrizione

Lo strato superiore della fondazione (o sottobase), o anche lo strato di base, possono essere realizzati a freddo mediante idonei impianti fissi (anche trasportati nel luogo di impiego), che consentono di omogeneizzare con predosatori e mescolatori il materiale fresato, con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e, se necessario, inerti di apporto.

La schiuma di bitume è prodotta dalle reazioni fisico-chimiche fisiche del bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione, mediante il contatto del bitume, a circa 180 °C, con acqua ad alta pressione.

#### 31.4.2. Caratteristiche dei materiali

##### 31.4.2.1. Granulometria di progetto

Per la costruzione di fondazioni con impiego di fresato, in funzione del raggiungimento delle portanze indicate nel seguito, è consentita l'integrazione di inerti di adeguata pezzatura, in quantità non superiore al 30% in peso.

La granulometria deve essere compresa nel seguente fuso e deve avere andamento continuo:

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100
Setaccio 31,5	90-100
Setaccio 20	75-100
Setaccio 12,5	55-88
Setaccio 8	45-75
Setaccio 4	30-60
Setaccio 2	20-40
Setaccio 0,5	8-20
Setaccio 0,25	6-14
Setaccio 0,063	4-8

Il fresato può essere omogeneizzato granulometricamente mediante granulazione e/o vagliatura; qualora la curva granulometrica del fresato non rientrasse nel fuso, si deve operare mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

Gli inerti devono rispondere ai requisiti richiesti per lo strato di base, fatta eccezione per il valore del coefficiente Los Angeles, che deve essere minore di 30.

Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.

#### **31.4.2.2. Bitume schiumato**

Il bitume da impiegare deve essere del tipo BM (o 80-100 ma con le stesse caratteristiche del BM), mediante polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto del bitume a circa 180 °C con acqua in alta pressione.

Le caratteristiche e prestazioni devono rispondere alle seguenti prescrizioni (v. anche quanto riportato in precedenza):

- rapporto di espansione: > 20;
- tempo di semitrasformazione (tempo necessario per dimezzare l'espansione del bitume) > 25 s.

Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuale di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.

#### **31.4.2.3. Cemento**

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

#### **31.4.2.4. Acqua**

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

### **31.4.3. Prescrizioni progettuali**

#### **31.4.3.1. Progetto della miscela in laboratorio**

Le percentuali di cemento, acqua e bitume schiumato ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

#### **31.4.3.2. Prelievi in sito**

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m ed in caso di disomogeneità della miscela, intensificate.

#### **31.4.3.3. Curva di progetto**

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).

#### **31.4.3.4. Studio della miscela di progetto**

Per la determinazione delle percentuali (in peso rispetto agli inerti) ottime di bitume schiumato, cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria, con le seguenti condizioni di prova:

- Angolo di rotazione :  $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$ ;
- Velocità di rotazione : 30 rotazioni al minuto;
- Pressione verticale: 600 kPa;

- Diametro provino: 150 mm;
- n° giri : 180;
- Peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume schiumato [%]	2			3			4		
Umidità complessiva [%]	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Provini [n.]	6			6			6		

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42) dopo sosta per 4 ore in forno termostatico a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione diametrale  $R_t$  a 72 ore di maturazione, maggiore di 0,35 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione, maggiore di 60 MPa.

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare :

- Perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 70% di quella ottimale;
- Densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri;
- Determinazione del modulo complesso (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Modulo complesso [MPa]	> 4300	> 5200	> 5500	> 2800	> 3600	> 4000	> 1800	> 2500	> 2700

#### 31.4.3.5. Attivanti chimici funzionali (ACF)

Devono essere impiegati nelle zone ad alto traffico prodotti rigeneranti il fresato, denominati ACF, in percentuali comprese tra il 3% e il 6% in peso sul bitume di aggiunta. Le percentuali di ACF devono essere stabilite in base alle caratteristiche meccaniche ( $R_t$  e CTI) dei provini confezionati con la pressa giratoria.

#### 31.4.4. Posa in opera

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma e i requisiti di compattezza previsti ed accettati dalla Direzione Lavori e deve risultare esente da materiale estraneo.

La miscela è messa in opera mediante macchine vibro-finitrici, preferibilmente cingolate, e compattata in strati di spessore non superiore a 20 cm e non inferiore a 15 cm al finito.

Il piano finale deve risultare perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi.

I tempi di stoccaggio della miscela sono definiti di volta in volta, in funzione del dosaggio del cemento e delle condizioni ambientali.

Particolare attenzione deve essere posta nella realizzazione dei giunti longitudinali e trasversali.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 * 102$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta con provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di addensamento è misurato di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n° 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari.

Al termine del costipamento e di rifinitura deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione acida al 55% in misura compresa tra 1 e 2 kg/m<sup>2</sup>.

La lavorazione consente dopo compattazione un immediato traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per breve tempo, anche il traffico normale.

#### **31.4.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni**

Come al paragrafo precedente.

### **31.5. Realizzazione con riciclaggio a freddo in sito, con aggiunta di emulsione bituminosa modificata e cemento**

#### **31.5.1. Generalità**

La rigenerazione in sito a freddo viene realizzata mediante idonee attrezzature, che consentano di:

- miscelare sul posto misti cementati, misti granulari o altri materiali anche bitumati preesistenti, con emulsione bituminosa modificata, cemento, acqua ed eventuali inerti freschi di apporto;
- omogeneizzare, stendere e compattare la miscela ottenuta per lo spessore di progetto. Spessori più alti saranno accettati purché sia presente una sufficiente capacità drenante dello strato di supporto (per lo smaltimento delle acque in eccesso) e siano usate macchine con mescolatori abbastanza capienti per consentire l'ottenimento di miscele omogenee ed uniformi, anche per strati di spessore > 15 cm.

#### **31.5.2. Caratteristiche dei materiali**

Per la realizzazione della miscela, in funzione del raggiungimento delle portanze indicate nel seguito, è consentita l'integrazione con inerti di adeguata pezzatura, non superiore al 30% in peso. Gli inerti di integrazione devono provenire esclusivamente da frantumati di cava (frantumazione 100%) e devono essere conformi alle specifiche tecniche della miscela di base, oppure da fresatura degli strati superiori a quello trattato. Nel caso di impiego della preesistente fondazione in misto granulare, occorrerà verificare l'assenza di sostanze plastiche (limi, argille).

##### **31.5.2.1. Granulometria di progetto**

La granulometria della miscela finale deve essere compresa nel seguente fuso e avere andamento continuo:

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 56	100

Serie UNI EN	Passante totale in peso %
Setaccio 31,5	80-100
Setaccio 20	65-90
Setaccio 12,5	52-78
Setaccio 8	40-68
Setaccio 4	30-55
Setaccio 2	18-40
Setaccio 0,5	8-22
Setaccio 0,063	3-10

Qualora la curva granulometrica del misto non consenta la realizzazione della curva di progetto, si deve operare mediante aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

Dopo la compattazione devono essere eseguiti controlli granulometrici per correggere eventuali variazioni.

#### **31.5.2.2. Legante**

Il bitume finale deve essere costituito da quello presente nel materiale fresato, integrato con quello proveniente dall'emulsione bituminosa formata con bitume modificato, con aggiunta di attivanti o ritardanti chimici.

La percentuale di bitume nell'emulsione deve essere compresa tra il 60% e il 70% in peso.

#### **31.5.2.3. Cemento**

Dovrà essere impiegato cemento 32,5 o 32,5R (tipo I, III o IV).

#### **31.5.2.4. Acqua**

Vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

### **31.5.3. Prescrizioni progettuali**

#### **31.5.3.1. Progetto della miscela di laboratorio**

Le percentuali di cemento, acqua ed emulsione ottimali e dell'eventuale integrazione di inerti, saranno stabilite in relazione alle prove di laboratorio di seguito elencate.

#### **31.5.3.2. Prelievi in sito**

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente, le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite sulla tratta interessata dai lavori almeno ogni 500 m, ed in caso di disomogeneità della miscela, opportunamente intensificate.

#### **31.5.3.3. Granulometria di progetto**

Dai prelievi devono essere eseguite analisi granulometriche per la determinazione della granulometria di progetto, apportando se necessario nella miscela opportune integrazioni di inerti (UNI EN 933-1).



### 31.5.3.4. Studio della miscela di progetto

Per la determinazione delle percentuali ottime di emulsione (da riferirsi in peso sugli inerti), cemento ed acqua, devono essere confezionati provini tramite pressa giratoria con le seguenti condizioni di prova:

- angolo di rotazione:  $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$ ;
- velocità di rotazione: 30 rotazioni al minuto;
- pressione verticale: 600 kPa;
- diametro provino: 150 mm;
- n° giri: 180;
- peso campione : 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per ogni periodo di maturazione (specificati di seguito) vanno confezionati le seguenti serie di provini:

Cemento [%]	1.5			2.0			2.5		
Bitume proveniente dall'emulsione [%]	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5
Umidità complessiva [%]	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Provini [n.]	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Ferme restando le percentuali di cemento, le altre percentuali possono variare in funzione della natura e delle caratteristiche granulometriche degli inerti da riciclare.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 24h, 48h e 72h e successivamente devono essere testati mediante prova di resistenza a trazione indiretta a 25 °C (UNI EN 13286-42) dopo sosta in forno termostatico per 4 ore a 25 °C.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali, la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione diametrale  $R_t$  a 72 ore di maturazione, maggiore di 0,40 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione maggiore di 60 MPa;

Dall'ottimale ottenuto su campioni maturati per 72 ore a 40 °C si devono ricavare :

- Perdita di resistenza per imbibizione a 25 °C per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio;
- La resistenza a trazione indiretta deve risultare almeno il 70% di quella ottimale.
- Densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri
- Determinazione del modulo complesso (valore assoluto) che deve risultare come dalla tabella seguente:

Temperatura [°C]	0			10			20		
Frequenza [Hz]	1	10	20	1	10	20	1	10	20
Modulo complesso [MPa]	> 6000	> 6800	> 7000	> 2700	> 3500	> 3600	> 1700	> 2400	> 2600

Per l'individuazione dei tempi di apertura al traffico, dalla miscela ottimale devono essere confezionati con le stesse modalità di cui sopra n. 3 provini da sottoporre a maturazione per 24 h a 20 °C, da sottoporre a prova di trazione indiretta (UNI EN 13286-42) a 25 °C, dopo sosta in forno termostatico per 4 ore, sempre a 25 °C.

I requisiti richiesti sono:

- Resistenza a trazione diametrale  $R_t$  a 24 ore di maturazione, maggiore di 0,18 MPa;
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 24 ore di maturazione, maggiore di 20 MPa.

#### **31.5.4. Posa in opera**

La messa in opera della miscela deve essere effettuata mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti a segregazione di elementi litoidi più grossi.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata, previa eventuale umidificazione, a discrezione della Direzione Lavori.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 \cdot 10^2$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

Al termine della compattazione lo strato finito deve avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% di quella ottenuta con provini costipati con pressa giratoria a 180 giri. Il grado di addensamento è misurato di norma mediante volumometro a sabbia (C.N.R. BU n° 22/1972), carotaggi o, previa approvazione della Direzione Lavori, densimetri nucleari.

Con temperatura dell'aria inferiore ai 5 °C la lavorazione della miscela deve essere sospesa e comunque sospesa sempre in caso di pioggia.

Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico dipenderanno dalle resistenze raggiunte e saranno decise di volta in volta secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

#### **31.5.5. Norme di controllo delle lavorazioni e prestazioni**

Come paragrafo precedente.

### **31.6. Realizzazione con misto cementato realizzato in sito, con impiego di prodotti stabilizzanti**

#### **31.6.1. Descrizione**

I materiali della fondazione esistente in misto granulare, anche se inquinati da sostanze argillose od altro, possono essere reimpiegati quando non è possibile o conveniente provvedere alla loro integrale sostituzione (tratti autostradali con grande volume di traffico, irreperibilità di materiali idonei, urgenza di riaprire al traffico i tratti bonificati ecc.), miscelandoli in sito con cemento ed opportune sostanze chimiche inorganiche chiamate "stabilizzanti".

Questi prodotti, forniti in polvere, sono costituiti da una miscela di sali alcalino-terrosi (sodio, potassio, alluminio, calcio, ferro, ecc.) da applicarsi diluiti in acqua nello strato da trattare e, unitamente al cemento, producono un'azione di coesione dei limi e delle argille presenti nel materiale in sito e permettono le normali reazioni di idratazione e presa per la miscela terra-cemento, contenendo anche gli effetti del ritiro durante la presa.

#### **31.6.2. Materiali**

Sono i seguenti:

- prodotto stabilizzante, in ragione di 1 kg per metro cubo di materiale da trattare, diluito in una quantità di acqua che è funzione dell'umidità presente nel misto;
- legante: cemento *portland*, pozzolanico o d'alto forno di classe 32,5;
- acqua: vedere paragrafo iniziale sulle caratteristiche dei principali materiali.

### **31.6.3. Studio della miscela**

Verificata preventivamente la presenza di sostanze limose o argillose nello strato di misto granulare da trattare, deve essere effettuato uno studio di laboratorio per definire le percentuali di aggiunta di cemento ed acqua, in funzione dei valori di resistenza da ottenere, tenendo conto della correzione con i prodotti stabilizzanti, che è assunta costante come detto in precedenza.

### **31.6.4. Modalità esecutive**

La rimozione della parte di strato da trattare deve essere effettuata per le profondità indicate dalla Direzione Lavori con idonee attrezzature e comunque non inferiori ai 25 cm.

Il legante cementizio, nelle quantità definite nella fase progettuale, deve essere distribuito in maniera uniforme mediante idonei spargitori su tutta la superficie rimossa e miscelato con macchina *pulvimixer*, in grado di rimuovere e mescolare uniformemente uno spessore minimo di 25 cm.

Al termine della miscelazione dovrà essere aggiunta la soluzione acquosa contenente il prodotto stabilizzante e l'opportuna quantità di acqua. Seguirà una seconda e più accurata miscelazione, effettuata in modo analogo.

Quando le argille sono presenti solo in zone circoscritte rispetto all'intera superficie interessata dai normali lavori di risanamento, questa lavorazione dovrà essere limitata solo a queste zone.

La miscelazione dovrà interessare tutta la superficie in modo uniforme, comprese le fasce adiacenti alle pareti verticali dello scavo. La miscelazione non dovrà mai essere eseguita in condizioni ambientali ed atmosferiche avverse, quali pioggia o temperatura ambiente non comprese tra 5 °C e 35 °C.

Le condizioni ambientali ottimali si verificano con temperature intorno a 18 °C e con tasso di umidità di circa il 50%; con temperature superiori l'umidità deve risultare anch'essa crescente. Con temperature inferiori il tasso di umidità non deve essere inferiore al 15%.

Completata l'operazione di miscelazione si dovrà provvedere al regolare ripristino dei piani livellando il materiale con idonea attrezzatura secondo le quote di progetto e le disposizioni della Direzione Lavori.

Il materiale dovrà presentare in ogni suo punto uniformità granulometrica e giusto dosaggio di cemento.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori, sia come metodologia, sia come tipologia di macchine operatrici. Potranno, a titolo indicativo, essere eseguite impiegando in successione:

- rullo tandem vibrante da almeno 100 kN per rullo o monorullo vibrante di peso non inferiore a 180 kN;
- rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a  $5,05 * 102$  KPa e carico sulle ruote di almeno 180 kN;

oppure impiegando altre tipologie di rulli (statici, combinati vibranti-gommati, trainati, ecc.) di opportune caratteristiche, in relazione alle caratteristiche dello strato.

### **31.6.5. Norme di controllo delle lavorazioni**

Valgono le stesse prescrizioni indicate in precedenza per fondazioni o sottobasi in misto cementato.

---

Segue: **Capitolato Speciale d'Appalto - Vol 3**