

REGIONE VENETO
COMUNE DI: VO' (PD)
COMMITTENTE: Comune di Vo'

Miglioramento sismico localizzato
mediante rinforzo di alcuni pilastri esistenti
Polo Scolastico G. Negri
CUP dell'opera: D96J16001580006

PROGETTO ESECUTIVO
OPERE EDILI

dott. ing. Michele Schiavo
n° 2879 Albo Ingegneri - Padova

Relazione dei materiali							
Prog. Ing. M. Schiavo	Resp. Prog. Ing. M. Schiavo	Coll. Prog. Ing. P. Lotti	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 50%;">Rif. 17030</td><td style="width: 50%;">N° pag. totali 71</td></tr><tr><td colspan="2">File 17030-RM_OE</td></tr></table>	Rif. 17030	N° pag. totali 71	File 17030-RM_OE	
Rif. 17030	N° pag. totali 71						
File 17030-RM_OE							
Elaborazioni Ing. P. Lotti	Scala -	N° elaborato 17030_RM_OE					
0	Ottobre '17	EMISSIONE					
Rev.	Data	DESCRIZIONE	APPROVAZIONE				

STUDIO SCHIAVO

Sede: Via Roma, 91 – 35010 Limena (PD) – Tel. (+39) 049 8842217 Fax (+39) 049 7662070
E-mail: info@studioschiavo.it

**REGIONE VENETO
COMUNE DI VO'**

**Miglioramento sismico localizzato
mediante rinforzo di alcuni pilastri esistenti
del Polo Scolastico di Vo'
CUP dell'opera : D96J16001580006**

**Polo scolastico "G. NEGRI"
Via Giuseppe Mazzini, 16 – Vo' (PD)**

**PROGETTO ESECUTIVO
OPERE EDILI**

Relazione dei Materiali

**Il Progettista
Ing. Michele Schiavo**

INDICE

1 PREMESSA.....	9
2 Normativa di riferimento	11
2.1 Carichi e sovraccarichi	12
2.2 Norme particolari e di consultazione	12
2.3 Norme relative alle zone sismiche.....	12
2.4 Norme relative ai terreni.....	13
3 Scopo e campo di applicazione	15
4 Oneri e prescrizioni generali	17
5 Compiti e responsabilità.....	19
5.1 Generalità	19
5.1.1 Generalità sul calcestruzzo.....	19
5.1.2 Generalità sugli acciai.....	20
5.1.2.1 Generalità sugli acciai da calcestruzzo.....	20
5.2 Il progettista	20
5.3 L'appaltatore	21
5.4 Il direttore dei lavori.....	21
6 Calcestruzzo	23
6.1 Classi di resistenza.....	23
6.2 Classi di esposizione ambientale	25
6.3 Caratteristiche dei costituenti il calcestruzzo.....	32
6.3.1 Cemento	32
6.3.2 Acqua d'impasto	34
6.3.3 Aggregati	34
6.3.4 Additivi	34
6.3.5 Aggiunte	35
6.3.6 Ceneri volanti	35
6.3.7 Fumi di silice.....	35
6.4 Caratteristiche delle miscele.....	36

6.4.1 Requisiti generali	36
6.4.1.1 Granulometria degli aggregati.....	36
6.4.1.2 Dimensione massima dell'aggregato.....	37
6.4.1.3 Rapporto acqua/cemento.....	37
6.4.1.4 Lavorabilità	38
6.4.1.5 Acqua essudata	39
6.5 Durabilità e resistenza dei calcestruzzi agli agenti esterni.....	40
6.5.1 Copriferro minimo e copriferro nominale	40
6.5.2 Calcestruzzi resistenti ai cicli gelo-disgelo	41
6.5.3 Reazioni alcali-aggregato	42
6.5.4 Calcestruzzi esposti ad attacco chimico	42
6.5.4.1 Attacco chimico da parte dei solfati.....	44
6.6 Produzione, trasporto, posa e stagionatura	44
6.6.1 Generalità	44
6.6.2 Produzione.....	44
6.6.2.1 Impianto	44
6.6.2.2 Cemento.....	44
6.6.2.3 Aggregati	44
6.6.2.4 Additivi e aggiunte	45
6.6.2.5 Qualifica delle ricette	45
6.6.2.6 Pesatura e mescolamento	45
6.6.3 Trasporto e consegna	46
6.6.4 Posa in opera.....	47
6.6.4.1 Operazioni di getto	47
6.6.4.2 Riprese di getto	49
6.6.4.3 Getti in clima freddo	50
6.6.4.4 Getti in clima caldo	50
6.7 Stagionatura protetta	51
6.7.1.1 Accelerazione dei tempi di stagionatura.....	53
6.7.1.2 Ripristini e stuccature.....	54
6.8 Casseforme e finitura del calcestruzzo.....	54
6.8.1 Generalità	54
6.8.2 Casseforme	54

6.8.2.1	Progetto e costruzione	54
6.8.2.2	Pulizia, trattamento, disarmanti	55
6.8.2.3	Giunti e riprese di getto.....	55
6.8.2.4	Sistemi di fissaggio e distanziatori delle armature	55
6.8.2.5	Predisposizione di fori, tracce, cavità.	56
6.8.2.6	Disarmo	56
6.8.3	Controllo del colore.....	57
6.9	Controlli	58
6.9.1	Generalità	58
6.9.2	Specifiche di controllo	58
6.9.3	Definizioni	59
6.9.4	Scadenza di prove a rottura	61
6.10	Tipologie strutturali dell'opera.....	61
6.10.1	Fondazioni.....	61
6.10.1.1	Classificazione del calcestruzzo	61
6.10.1.2	Caratteristiche dei costituenti il calcestruzzo.....	62
6.10.2	Cemento	62
6.10.2.1	Aggregati.....	62
6.10.2.2	Acqua.....	62
6.10.2.3	Additivi.....	62
6.10.2.4	Posa in opera e stagionatura	62
6.10.2.5	Riepilogo degli elementi di base delle prescrizioni	63
6.10.2.6	Classe d'esposizione – R_{ck} minima – Rapporto a/c max.....	63
6.10.2.7	Classificazione del calcestruzzo e requisiti.....	64
7	Acciaio da C.A.	65
7.1	Generalità	65
7.2	Specifiche.....	65
7.2.1	Copriferro	65
7.2.2	Interferro	66
7.2.3	Ancoraggio delle barre	66
7.2.4	Piegatura delle barre	66
7.2.5	Certificati	67
7.2.6	Prove di laboratorio	67

7.3 Materiali ferrosi vari	68
8 Ancoranti	69
8.1 Generalità	69
8.2 Requisiti	69
8.3 Tipologie	69
9 Prescrizioni finali	71
9.1 Controllo delle lavorazioni di cantiere	71
9.2 Nota di responsabilità	71

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di fornire le indicazioni che sono alla base delle scelte progettuali riguardo i principali materiali impiegati nella realizzazione dell'opera.

Prescrive le qualità e le tipologie da utilizzare per una corretta esecuzione, e durabilità dell'opera nel tempo.

2 Normativa di riferimento

- D.M. 14.01.2008 – “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”.
- Circ. 02.02.2009 – Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14.01.2008.
- Linee Guida per il Calcestruzzo Preconfezionato.
- Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale.
- Linee Guida sui Calcestruzzi Strutturali ad Alta Resistenza D.P.R. 246/93 Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione.
- UNI EN 206-1 – “Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104 – “Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”.
- UNI EN 197-1:2006 – “Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”.
- UNI 9156 – “Cementi resistenti ai solfati”.
- ISO 9001:2000 – “Sistema di gestione per la qualità. Requisiti”.
- UNI EN 12620 – “Aggregati per calcestruzzo”.
- UNI 8520 Parte 1 e 2 – “Aggregati per calcestruzzo-Istruzioni complementari per l’applicazione in Italia della norma UNI-EN 12620 - Requisiti”.
- UNI EN 1008:2003 – “Acqua d’impasto per il calcestruzzo”.
- UNI EN 934-2 – “Additivi per calcestruzzo”.
- UNI EN 450 – “Ceneri volanti per calcestruzzo”.
- UNI-EN 13263 parte 1 e 2 – “Fumi di silice per calcestruzzo”.
- UNI EN 12350-2 – “Determinazione dell’ abbassamento al cono”.
- UNI EN 12350-5 – “Determinazione dello spandimento alla tavola a scosse”.
- UNI EN 12350-7 – “Misura del contenuto d’aria sul calcestruzzo fresco”.
- UNI 7122 – “Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità di acqua d’impasto essudata”.
- UNI EN 12390 Parte 1, 2, 3 e 4 – “Procedura per il confezionamento dei provini destinati alla valutazione della resistenza meccanica a compressione”.
- prEN 13791 – “Valutazione della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo (in situ) della struttura in opera”.

- UNI EN 12504-1 – “Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Carote: valutazione della resistenza a compressione”.
- EN 10080 Ed. maggio 2005 – “Acciaio per cemento armato”.
- UNI EN ISO 15630 -1/2 – “Acciai per cemento armato: Metodi di prova”.
- UNI ENV 13670-1 – “Execution of concrete structures”.
- UNI 8866 – “Disarmanti”.
- EN 1090-1: “Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 1:Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”.

Riferimenti normativi comunitari

- Eurocodice EC2 *“Progettazione delle strutture in calcestruzzo”*.
- Eurocodice EC3 *“Progettazione delle strutture in acciaio”*.

2.1 Carichi e sovraccarichi

- D.M. 14.01.2008 – “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”.

Riferimenti normativi comunitari

- Eurocodice EC1 *“Basi di calcolo ed azioni sulle strutture”*.

2.2 Norme particolari e di consultazione

- CNR 10011/85. *“Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”*.
- UNI 9502 – *“Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato normale e precompresso”*.

2.3 Norme relative alle zone sismiche

- D.M. 14.01.2008 – “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”.

Riferimenti normativi comunitari

- Eurocodice EC8 *“Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”*.

2.4 Norme relative ai terreni

- D.M. LL.PP. 11.3.1988. *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*.
- Circ. Min. LL.PP. 24.9.1988 n° 304-83, Legge 2.2.74 n° 64 art. 1. *“Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, di cui al D.M. LL.PP. 11.3.1988”*.
- D.M. 14.01.2008 – *“Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”*.

3 Scopo e campo di applicazione

Le presenti prescrizioni definiscono le condizioni operative per ottenere le specifiche prestazioni dei materiali da costruzione.

In particolare per il calcestruzzo esse si intendono integrative delle Nuove Norme Tecniche emanate (D.M. 14.01.2008) e delle disposizioni di legge vigenti in merito a leganti, aggregati, acqua d'impasto, additivi e aggiunte. Si intendono valide e recepite le indicazioni riportate nelle UNI EN 206-1 e UNI 11104 per quanto non in contrasto con le Norme Tecniche sopracitate. Le prescrizioni si applicano ai soli calcestruzzi confezionati con aggregati di peso normale, definiti dalla norma UNI EN 206-1 e UNI 11104 con "struttura chiusa", cioè tali da non contenere, allo stato compattato, una quantità d'aria maggiore di quella consentita ai successivi §6.4 e §6.5. Le prescrizioni si applicano ai calcestruzzi utilizzati per la realizzazione di strutture gettate in situ, strutture prefabbricate e componenti strutturali prefabbricati per edifici e strutture di ingegneria civile, confezionati in cantiere, preconfezionati o prodotti in un impianto per componenti di calcestruzzo prefabbricato.

4 Oneri e prescrizioni generali

Al fine di verificare la rispondenza delle caratteristiche dei materiali da costruzione (calcestruzzo, acciaio da calcestruzzo armato, acciaio da carpenteria metallica, ecc.) alle specifiche prefissate, l'Appaltatore dovrà eseguire o far eseguire le prove e i controlli previsti dalle presenti prescrizioni, così come quelli integrativi richiesti dal Direttore dei Lavori o dal Collaudatore in base a motivate esigenze tecniche. Le prove saranno normalmente eseguite in contraddittorio tra le parti interessate alla fornitura.

Per tutti i tipi di prova l'Appaltatore dovrà fornire la manodopera e le attrezzature e predisporre eventuali opere provvisorie in quantità e tipologie adeguate all'esecuzione delle prove medesime.

Tutti gli oneri diretti e indiretti derivanti dall'applicazione delle presenti prescrizioni, compresi quelli necessari per il prelievo, confezionamento e trasporto dei campioni di materiali da sottoporre a prove, nonché i costi di esecuzione di queste ultime si intendono compresi e compensati dai prezzi contrattuali.

Per consentire l'esecuzione delle prove di cui al §6.9 in tempi congruenti con le esigenze di avanzamento dei lavori, l'Appaltatore dovrà fare riferimento a uno o più laboratori. Le prove previste ai sensi normativi dovranno essere effettuate solo presso Laboratori Ufficiali o Autorizzati e Certificati.

5 Compiti e responsabilità

5.1 Generalità

5.1.1 Generalità sul calcestruzzo

Il calcestruzzo va di regola specificato come “miscela progettata” (mix-design) con riferimento alle proprietà richieste (calcestruzzo a prestazione).

Con “calcestruzzo a prestazione” secondo le Linee Guida sul calcestruzzo strutturale emanate nel dicembre 1996 dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici e la norma UNI 11104 si intende un calcestruzzo per il quale il Progettista ha la responsabilità di specificare le prestazioni richieste ed eventuali ulteriori caratteristiche e per il quale l'Appaltatore è responsabile della fornitura di una miscela conforme alle prestazioni richieste e alle eventuali ulteriori caratteristiche.

I dati fondamentali per i calcestruzzi a prestazione, specificati nel seguito, comprendono:

- a) classe di resistenza;
- b) dimensione massima nominale degli aggregati;
- c) classe di esposizione ambientale;
- d) classe di consistenza;
- e) tipologia strutturale (calcestruzzo non armato, armato o precompresso);

Potranno inoltre essere definite ulteriori caratteristiche quali:

- f) caratteristiche della miscela:
 - tipo, classe e contenuto minimo di cemento;
 - contenuto d'aria
 - contenuto di cloruri;
 - sviluppo di calore durante l'idratazione;
 - requisiti speciali per gli aggregati;
 - requisiti speciali per la temperatura del calcestruzzo fresco;
 - requisiti tecnici aggiuntivi;
- g) caratteristiche del calcestruzzo indurito:
 - resistenza alla penetrazione dell'acqua ai fini della permeabilità;
 - resistenza ai cicli di gelo e disgelo;
 - resistenza agli attacchi chimici;
 - requisiti tecnici aggiuntivi.

Per la corretta applicazione delle presenti prescrizioni si definisce la suddivisione dei compiti fra le diverse figure che concorrono al progetto e alla realizzazione dell'opera.

5.1.2 Generalità sugli acciai

Con riferimento alle prescrizioni contenute nel D.M. 14.01.2008 gli acciai devono obbligatoriamente essere controllati in triplice forma:

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

Tutti gli acciai oggetto delle presenti norme, siano essi destinati ad utilizzo come armature per cemento armato ordinario o precompresso o ad utilizzo diretto come carpenterie in strutture metalliche, devono essere prodotti con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione. Fatto salvo quanto disposto dalle norme europee armonizzate, ove applicabili, il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006. Ai fini della certificazione del sistema di gestione della qualità del processo produttivo il produttore e l'organismo di certificazione di processo potranno fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle relative norme disponibili UNI EN 10080:2005, della serie UNI EN 10025:2005, UNI EN 10210:2006 e UNI EN 10219:2006.

Quando non sia applicabile la marcatura CE, ai sensi del DPR n.246/93 di recepimento della direttiva 89/106/CEE, la valutazione della conformità del controllo di produzione in stabilimento e del prodotto finito è effettuata attraverso la procedura di qualificazione indicata nel D.M. 14.01.2008.

5.1.2.1 Generalità sugli acciai da calcestruzzo

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 5.1.2 e controllati con le modalità riportate nel D.M. 14.01.2008 al §11.3.2.11.

5.2 Il progettista

Il Progettista dovrà:

scegliere i valori di riferimento per le caratteristiche elencate in precedenza;
stabilire le grandezze oggetto di prova, i relativi metodi di prova e la frequenza delle prove stesse nell'ambito di quanto previsto nelle presenti Prescrizioni e prescrivere ciò che non sia stabilito per legge.

5.3 L'appaltatore

L'Appaltatore dovrà garantire che:

le caratteristiche delle miscele del calcestruzzo saranno in grado di soddisfare le indicazioni fornite dal Progettista;

le caratteristiche degli acciai da calcestruzzo armato e da carpenteria metallica siano di qualità almeno pari a quella prescritta in fase di progetto e di soddisfare le indicazioni fornite dal Progettista.

Le caratteristiche di tutti gli altri materiali da costruzione utilizzati nell'opera siano conformi a quelli previsti in fase di progettazione.

Qualunque proposta di variazione di tali indicazioni dovrà essere comunicata per iscritto al direttore dei lavori ed al progettista ed approvata sia dal progettista che dal direttore dei lavori.

5.4 Il direttore dei lavori

Il Direttore dei Lavori, anche avvalendosi del supporto di specifiche strutture di controllo, dovrà:

esaminare la documentazione fornita dal Progettista e dall'Appaltatore relativa alla pre-qualifica degli impasti di calcestruzzo;

controllare, ove prevista, l'esecuzione delle prove sui costituenti del calcestruzzo e delle prove di qualifica delle miscele e valutarne i risultati;

controllare l'esecuzione, in contraddittorio con l'eventuale fornitore, delle prove sul calcestruzzo fresco e indurito stabilite dal Progettista e/o previste nelle prescrizioni esecutive;

soprintendere all'esecuzione delle prove per il "controllo di accettazione" descritto nelle Norme Tecniche (D.M. 14.01.2008);

controllare la validità dei risultati ottenuti nelle prove del comma precedente;

predisporre l'esecuzione di eventuali prove integrative, nel caso di riscontrate non conformità;

trasferire le informazioni di ritorno al Progettista per eventuali adeguamenti e/o modifiche del progetto.

6 Calcestruzzo

6.1 Classi di resistenza

La resistenza a compressione del calcestruzzo è espressa in termini di resistenza caratteristica, definita come quel valore di resistenza al di sotto del quale si può attendere di trovare il 5% della popolazione di tutte le misure di resistenza.

La resistenza caratteristica cubica R_{ck} viene dedotta sulla base dei valori ottenuti da prove a compressione a 28 giorni effettuate su cubi di 150mm di lato, per aggregati con diametro massimo fino a 32mm, o di 200mm di lato per aggregati con diametro massimo maggiore.

La resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} viene dedotta sulla base dei valori ottenuti da prove a compressione a 28 giorni effettuate su cilindri di 150mm di diametro e 300mm di altezza.

Per indicare la classe di resistenza si utilizza la simbologia Cxx/yy ove xx individua il valore della resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} e yy il valore della resistenza caratteristica cubica R_{ck} , entrambi espressi in N/mm^2 ($1 N/mm^2 = 10 Kg/cm^2$).

In sede di progetto è possibile passare dalla resistenza cubica (rapporto base-altezza = 1) a quella cilindrica (rapporto diametro-altezza = 2) mediante l'espressione:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$$

Tabella 6-1 - Classi di resistenza del calcestruzzo

(Secondo UNI EN 206-1)

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cil}$ [N/mm^2]	Resistenza caratteristica cubica minima $R_{ck,cube}$ [N/mm^2]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55

C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C79/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

6.2 Classi di esposizione ambientale

Ai fini di una corretta prescrizione del calcestruzzo, occorre classificare l'ambiente nel quale ciascun elemento strutturale risulterà inserito.

Per “ambiente”, in questo contesto, si intende l'insieme delle azioni chimico-fisiche alle quali si presume potrà essere esposto il calcestruzzo durante il periodo di vita delle opere e che causa effetti che non possono essere classificati come dovuti a carichi o ad azioni indirette quali deformazioni impresse, cedimenti e variazioni termiche.

Si riporta nelle successive *Tabella 6-2* e *Tabella 6-3* un riassunto delle classi di esposizione e dettagli.

Tabella 6-2 – Classi di esposizione secondo UNI 206-1

UNI206-1:2001					
CLASSE DI ESPOSIZIONE	AMBIENTE	SOTTOCLASSI	DETTAGLIO SOTTOCLASSI		Le strutture sono A CONTATTO CON
X0	nessun rischio di corrosione (calcestruzzo di parti interne di edifici)	X0	ambiente secco	edifici con interni ad umidità relativa molto bassa (inferiore al 45%)	\
XC	corrosione delle armature promossa dalla carbonatazione	XC1	ambiente asciutto	interni di edifici a bassa umidità relativa	ARIA
		XC2	ambiente bagnato raramente asciutto	parti di struttura di contenimento liquidi; fondazioni	
		XC3	ambiente con umidità moderata	edifici con interni ad umidità relativa da moderata ad alta; calcestruzzo esterno riparato dalla pioggia	
		XC4	ambiente ciclicamente asciutto e bagnato	calcestruzzo a contatto con acqua non comprese nelle classi XC2	
XD	corrosione delle armature promossa dai cloruri esclusi quelli contenuti nell'acqua di mare	XD1	calcestruzzo moderatamente umido	superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri	LIQUIDI (NO ACQUA DI MARE)
		XD2	calcestruzzo bagnato raramente asciutto	piscine: calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri	
		XD3	calcestruzzo ciclicamente bagnato e asciutto	parti di ponti, pavimentazioni, parcheggi per auto	
XS	corrosione delle armature promossa dai cloruri contenuti nell'acqua di mare	XS1	esposizione ad atmosfera salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	strutture sulla costa o in prossimità di essa	ACQUA DI MARE
		XS2	calcestruzzo sommerso	parti di strutture marine	
		XS3	calcestruzzo nelle zone delle maree, nelle zone soggette a spruzzi	parti di strutture marine	
XF	degrado del calcestruzzo per cicli di gelo e disgelo	XF1	grado moderato di saturazione in assenza di sali disgelanti	superfici verticali esposte alla pioggia ed al gelo	ARIA / LIQUIDI
		XF2	grado moderato di saturazione in presenza di sali disgelanti	superfici verticali di strutture stradali esposte a nebbie contenenti agenti disgelanti	
		XF3	grado elevato di saturazione in assenza di sali disgelanti	superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo	
		XF4	grado elevato di saturazione in presenza di sali disgelanti	superfici verticali e orizzontali esposte a struzzi d'acqua contenente sali disgelanti	
XA	attacco chimico del calcestruzzo	XA1	aggressività debole (tabella 9 - Linee Guida)	contenitori di fanghi e vasche di decantazione; contenitori e vasche per acque reflue	TERRENO
		XA2	aggressività moderata (tabella 9 - Linee Guida)	elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	
		XA3	aggressività forte (tabella 9 - Linee Guida)	elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive	

Tabella 6-3 – *Caratteristiche delle miscele*

Caratteristiche dell'ambiente			Caratteristiche delle miscele							
			Linee Guida				UNI 11104 - marzo 2004			
			Consiglio Superiore dei LL.PP. - Servizio Tecnico centrale							
Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco chimico			Classi di espos.	Max rapp. a/c	Minima classe di resistenza N/mm ²	Contenuto minimo di cemento (Kg/mc)	Classi di espos.	Max rapp. a/c	Minima classe di resistenza N/mm ²	Contenuto minimo di cemento (Kg/mc)
XO	Molto secco	Edifici con interni a umidità relativa molto bassa (< 45%)	XO	-	-	-	XO	-	15	-
Corrosione delle armature indotta da carbonatazione del calcestruzzo										
XC	Secco	Interni di edifici a bassa umidità relativa	XC1	0,60	30	280	XC1	0,60	30	300
	Bagnato, raramente secco	Parti di struttura di contenimento liquidi; fondazioni	XC2	0,60	30	280	XC2	0,60	30	300
	Umidità moderata	Edifici con interni a umidità relativa da moderata ad alta; calcestruzzo esterno riparato dalla pioggia	XC3	0,55	37	300	XC3	0,55	35	320
	Ciclicamente secco e bagnato	Superfici a contatto con acqua non comprese nelle classi XC2	XC4	0,50	37-40	320	XC4	0,50	40	340
Corrosione delle armature indotta dai cloruri										
XD	Umidità moderata	Superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri	XD1	0,55	37	300	XD1	0,55	35	320
	Bagnato, raramente secco	Piscine; calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri	XD2	0,50	37-40	320	XD2	0,50	40	340
	Ciclicamente secco e bagnato	Parti di ponti, pavimentazioni, parcheggi per auto	XD3	0,45	45	350	XD3	0,45	45	360
Corrosione delle armature indotta dai cloruri dell'acqua di mare										
XS	Esposizione ad atmosfera salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità di essa	XS1	0,50	37-40	320	XS1	0,50	40	340
	Sommerso	Parti di strutture marine	XS2	0,45	45	350	XS2	0,45	45	360
	Nelle zone delle maree, nelle zone soggette a spruzzi	Parti di strutture marine	XS3	0,45**	45	350**	XS3	0,45	45	360
Attacco chimico										
XA	Aggressività debole (vedi Tab.9 Linee Guida)	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione; contenitori e vasche per acque reflue	XA1	0,55	37	300*	XA1	0,55	35	320
	Aggressività moderata (vedi Tab.9 Linee Guida)	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	XA2	0,50	37-40	320*	XA2	0,50	40	340*
	Aggressività forte (vedi Tab.9 Linee Guida)	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive	XA3	0,45***	45	350*/**	XA3	0,45	45	360*
Attacco dei cicli gelo/disgelo										
XF	Grado moderato di saturazione in assenza di sali disgelanti	Superfici verticali esposte alla pioggia ed al gelo	XF1	0,55	37	300	XF1	0,50	40	320
	Grado moderato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali di strutture stradali esposte a nebbie contenenti agenti disgelanti	XF2	0,50	37-40	320	XF2	0,50	30	340
	Grado elevato di saturazione in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo	XF3	0,50	37-40	320	XF3	0,50	30	340
	Grado elevato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali e orizzontali esposte a spruzzi d'acqua contenenti sali disgelanti	XF4	0,45	45	350	XF4	0,45	35	360
* In presenza di solfati impiegare cemento resistente ai solfati; ** Le Linee Guida raccomandano rapp. A/C 0,40 e un contenuto minimo di cemento kg/mc 370;										

A seconda di tali azioni, sono individuate le classi e sottoclassi di esposizione ambientale del calcestruzzo elencate nella *Tabella 6-4*.

Tabella 6-4 - Classi di esposizione ambientale del calcestruzzo

Secondo UNI 11104 (Prospetto 1)

Denominazione Classe	Descrizione dell'Ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi d'esposizione
1 – Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/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 soggetti a ciclo di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
2 - Corrosione indotta da carbonatazione <i>Le condizioni d'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 esser il caso se c'è una barriera tra il calcestruzzo e il suo ambiente.</i>		
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 ad alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa classe XC2.
3 - Corrosione indotta dai cloruri, esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenente 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

		<p>disgelanti.</p> <p>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria.</p> <p>Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.</p>
4 - Corrosione indotta dai cloruri dell'acqua di mare		
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto diretto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
5 - Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza Sali disgelanti		
<p><i>Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:</i></p> <p><i>Moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione</i></p> <p><i>Elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione</i></p>		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo

	agente antigelo	
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposte agli agenti antigelo. Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo
<p>6 - Attacco chimico</p> <p>Qualora il calcestruzzo sia esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno avente caratteristiche definite dal prospetto 2, l'esposizione verrà classificata come è indicato di seguito. La classificazione dell'acqua di mare dipende dalla località geografica; perciò si dovrà applicare la classificazione valida nel luogo di impiego del calcestruzzo.</p> <p>Nota</p> <p><i>Può essere necessario uno studio speciale per stabilire le condizioni di esposizione da applicare quando si è:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>al di fuori dei limiti del Prospetto 2</i> ○ <i>in presenza di altri aggressivi chimici</i> ○ <i>in presenza di terreni o acque inquinati da sostanze chimiche</i> ○ <i>in presenza della combinazione di elevata velocità dell'acqua e delle sostanze chimiche del</i> <p style="text-align: center;"><i>Prospetto 2</i></p>		
XA1	Ambiente chimico debolmente	

	aggressivo secondo il Prospetto 2	
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il Prospetto 2	
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il Prospetto 2	

In funzione della Classe d'esposizione calcolata, è stato determinato il massimo rapporto a/c e la R_{ck} minima, secondo la seguente *Tabella 6-5*.

Tabella 6-5 – Caratteristiche del calcestruzzo ($a/c - R_{ck\ min}$)

(Secondo UNI 11104)

Classe di esposizione ambientale	Massimo Rapporto a/c	R_{ck} minima [N/mm²]
XF4	0.45	35
XS2 - XS3 - XA3	0.45	45
XD3	0.45	45
XF2 - XF3	0.50	30
XC4 - XS1 - XA2	0.50	40
XD2 - XF1	0.50	40
XC3 - XA1	0.55	35
XD1	0.55	35
XC1 - XC2	0.60	30

In funzione della Classe d'esposizione calcolata, è stato determinato il contenuto di cemento minimo, secondo la seguente *Tabella 6-6*.

Tabella 6-6 – Caratteristiche del calcestruzzo (contenuto di cemento)
(Secondo UNI 206-1)

prospetto		F.1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																
Classi di esposizione																		
Rapporto massimo a/c	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione				Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
						Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	-	-	-
Altri requisiti												Aggregati conformi al prEN 12620:2000 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati ^{b)}		
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																	
b)	Qualora la presenza di SO ₄ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																	

Le resistenze caratteristiche R_{ck} di tabella *Tabella 6-5* sono da considerarsi quelle minime in relazione agli usi indicati nella *Tabella 6-4*. Le miscele non dovranno presentare un contenuto di cemento minore di 280 kg/m³ (vedasi Tabella 6-6). La definizione di una soglia minima per il dosaggio di cemento risponde all'esigenza di garantire in ogni caso una sufficiente quantità di pasta di cemento, condizione essenziale per ottenere un calcestruzzo indurito a struttura chiusa e poco permeabile. Nelle normali condizioni operative il rispetto dei valori di R_{ck} e a/c di *Tabella 6-5* possono comportare dosaggi di cemento anche sensibilmente più elevati del valore minimo indicato.

Nel caso di calcestruzzi soggetti a cicli di gelo e disgelo (classi di esposizione ambientale XF) si dovranno applicare le prescrizioni integrative del §6.5.2.

Nel caso di calcestruzzi soggetti ad attacco chimico (classi di esposizione ambientale XA) si dovranno applicare le prescrizioni integrative del §6.5.3.

6.3 Caratteristiche dei costituenti il calcestruzzo

6.3.1 Cemento

Il cemento deve essere scelto, fra quelli considerati idonei, tenendo in considerazione:

l'esecuzione dell'opera;

l'uso finale del calcestruzzo;

le condizioni di maturazione;

le dimensioni della struttura;

le condizioni ambientali alle quali la struttura sarà esposta;

la potenziale reattività degli aggregati agli alcali provenienti dai componenti.

Potranno essere impiegati unicamente i cementi previsti nella Legge 26.5.65 n° 595 che soddisfino i requisiti di accettazione elencati nella norma UNI ENV 197/1, con esclusione del cemento alluminoso e dei cementi per sbarramenti di ritenuta.

UNI197-1:2001

Composizione e denominazione	
I 27 prodotti della famiglia dei cementi comuni conformi alla EN 197-1, e la loro denominazione, sono indicati nel prospetto in basso. Essi sono raggruppati in 5 tipi principali di cemento come segue:	
CEM I	cemento portland
CEM II	cemento portland composito
CEM III	cemento d'altoforno
CEM IV	cemento pozzolanico
CEM V	cemento composito

Tipi di cemento e composizione - percentuale in massa	
---	--

prospetto

17 prodotti della famiglia dei cementi comuni

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa) ^{a)}										Costituenti secondari
			Costituenti principali										
			Clinker	Loppa di atoforno	Fumi di silice	Pozzolana		Genere volante		Scisto calcinato	Calcare		
K	S	D ^{b)}	naturale P	naturale calcinata Q	silicea V	calcica W	T	L	LL				
CEM I	Cemento portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland alla loppa	CEM I/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland ai fumi di silice	CEM I/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland alla pozzolana	CEM I/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland alle ceneri volanti	CEM I/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM I/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cemento portland allo scisto calcinato	CEM I/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM I/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento portland al calcare	CEM I/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM I/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM I/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM I/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento portland composito ^{c)}	CEM I/A-M	80-94	6-20									0-5
CEM I/B-M		65-79	21-35									0-5	
CEM III	Cemento d'atoforno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento pozzolanico ^{c)}	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5
CEM V	Cemento composito ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5

a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.

b) La proporzione di fumi di silice è limitata al 10%.

c) Nei cementi portland composti CEM I/A-M e CEM I/B-M, nei cementi pozzolanici CEM IV/A e CEM IV/B e nei cementi composti CEM V/A e CEM V/B i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati nella denominazione del cemento (vedere esempio in 8).

I cementi utilizzati dovranno essere controllati e certificati come previsto per legge.

In caso di ambienti chimicamente aggressivi si dovrà far riferimento a quanto previsto nelle norme UNI 9606, UNI 9156 e UNI 10517 e al successivo §6.5.3.

6.3.2 Acqua d'impasto

L'acqua d'impasto, di provenienza nota, dovrà avere caratteristiche costanti nel tempo, conformi a quelle della norma UNI EN 1008:2003.

6.3.3 Aggregati

Gli aggregati impiegati per il confezionamento del calcestruzzo dovranno avere caratteristiche conformi a quelle previste nel UNI EN 12620 per gli aggregati normali e pesanti, ed al prEN 13055-1 per quelli leggeri.

L'aggregato lapideo, naturale o ricavato dalla frantumazione delle rocce, deve essere costituito da elementi non gelivi, non friabili e non provenienti da rocce gessose o eminentemente micacee. Frazioni limose o argillose, gesso etc. e/o sostanze organiche, devono essere assenti o presenti in proporzioni non nocive all'indurimento del conglomerato od alla conservazione delle armature nei confronti dei fenomeni di corrosione.

Gli aggregati di cava o di frantumazione devono essere costituiti da elementi non gelivi, privi di parti friabili, polverulente, terrose e di sostanze comunque nocive all'indurimento del calcestruzzo ed alla conservazione delle armature.

Per aggregati potenzialmente reattivi agli alcali presenti nella miscela si applicano le prescrizioni del §6.5.3.

6.3.4 Additivi

Gli additivi dovranno essere conformi a quanto prescritto nella norma UNI EN 934-2.

È ammesso l'uso di additivi fluidificanti per consentire un basso rapporto acqua-cemento, una maggiore lavorabilità, una diminuzione del calore di idratazione, un aumento della durabilità, delle resistenze finali e dell'impermeabilità.

Gli additivi eventualmente impiegati, siano essi fluidificanti, ritardanti o acceleranti, per il confezionamento del calcestruzzo, o di tipo particolare da usarsi nelle malte, dovranno essere esenti da cloruro di calcio od altre sostanze tossiche; tale uso dovrà essere subordinato all'accertamento dell'assenza di ogni pericolo di aggressività ed essere preventivamente approvato dall'Appaltante.

Le quantità saranno contenute al minimo indispensabile ad ottenere lo scopo richiesto ed in ogni caso corrisponderanno ai dosaggi previsti o consigliati dal Fabbrikante.

Nessun onere sarà riconosciuto per l'aggiunta di additivi in quanto gli stessi saranno, in genere, indispensabili per mantenere il rapporto acqua/cemento corrispondente alla classe di esposizione richiesta.

6.3.5 Aggiunte

Sono considerate idonee le aggiunte di tipo I (aggiunte inerti) costituite da filler conformi alla EN12620 e da pigmenti conformi alla EN 12878.

È ammesso l'utilizzo di aggiunte definite nella norma UNI EN 206-1 di tipo II (aggiunte pozzolaniche o ad attività idraulica latente) costituite da ceneri volanti e fumi di silice, purché non vengano modificate negativamente le caratteristiche prestazionali del calcestruzzo.

6.3.6 Ceneri volanti

Le ceneri volanti dovranno soddisfare i requisiti della norma UNI EN 450. Per ogni invio dovrà essere specificato il fornitore ed essere disponibile copia dei certificati delle prove eseguite.

6.3.7 Fumi di silice

I fumi di silice dovranno essere conformi al prEN13263 e costituiti da silice attiva amorfa presente in quantità maggiore o uguale all'85% del peso totale.

I fumi dovranno essere costituiti da particelle sferiche isolate con diametro compreso tra 0.01 e 0.5 micron, oppure da agglomerati o granuli secondari di diametro da 1 a 10 micron, avere aspetto di polvere asciutta o di sospensione acquosa. Per ogni invio dovrà essere specificato il fornitore ed essere disponibile copia dei certificati delle prove eseguite. Poiché i fumi di silice possiedono un elevato potere di ritenzione d'acqua, il loro impiego dovrà essere sempre associato a quello di additivi superfluidificanti. Nel caso di utilizzo dell'autobetoniera come mescolatore i fumi in polvere dovranno essere immessi contemporaneamente ad almeno il 50% dell'acqua totale, per formare una sospensione acquosa.

6.4 Caratteristiche delle miscele

6.4.1 Requisiti generali

La composizione del calcestruzzo (cemento, aggregati, acqua, additivi ed eventuali aggiunte) dovrà soddisfare le specifiche prestazionali, descritte nei §5 e nel presente capitolo, in merito a classe di resistenza, dimensione nominale massima dell'aggregato, classe di consistenza e classe di esposizione, con assenza di fenomeni di segregazione.

I calcestruzzi dovranno soddisfare le caratteristiche minime di resistenza e durabilità indicate nel progetto.

Nella scelta del tipo e della classe di cemento si dovrà tenere conto delle condizioni ambientali di esposizione delle opere, della velocità di sviluppo della resistenza, del calore di idratazione e della velocità alla quale esso si libera.

Il contenuto minimo di cemento, ove definito, dovrà tenere conto delle condizioni ambientali di esposizione e delle prestazioni richieste.

6.4.1.1 Granulometria degli aggregati

Per la realizzazione di calcestruzzi con classi di resistenza maggiori di C12/15 (*Tabella 6-1 - Classi di resistenza del calcestruzzo*) gli aggregati dovranno appartenere preferibilmente ad almeno tre classi granulometriche diverse. Nella composizione della curva granulometrica nessuna frazione potrà essere dosata in percentuale maggiore del 55%, salvo preventiva autorizzazione del Direttore dei Lavori.

Le classi granulometriche dovranno essere mescolate tra loro in percentuali tali da formare miscele rispondenti ai criteri di curve granulometriche di riferimento teoriche o sperimentali, scelte in modo che l'impasto fresco e indurito abbia i prescritti requisiti di resistenza, consistenza, omogeneità, aria inglobata, permeabilità, ritiro e acqua essudata. Si dovrà adottare una curva granulometrica che, in relazione al dosaggio di cemento, garantisca la massima compattezza e la migliore lavorabilità del calcestruzzo.

Il fuso granulometrico rispetterà le indicazioni riportate nelle tabelle di seguito riprodotte.

Fuso granulometrico per dimensione massima inerti = 15mm		
Dimensione inerti	% in peso	kN/m ³ di conglomerato
0 ÷ 1 mm	25 %	4.75
1 ÷ 3 mm	20 %	3.80
3 ÷ 7 mm	25 %	4.75

7 ÷ 15 mm	30 %	5.70
-----------	------	------

Fuso granulometrico per dimensione massima inerti = 20mm		
Dimensione inerti	% in peso	kN/m ³ di conglomerato
0 ÷ 1 mm	21 %	4.00
1 ÷ 3 mm	19 %	3.60
3 ÷ 7 mm	20 %	3.80
7 ÷ 15 mm	25 %	4.75
15 ÷ 20 mm	15 %	2.85
Fuso granulometrico per dimensione massima inerti = 15mm		
Dimensione inerti	% in peso	kN/m ³ di conglomerato
0 ÷ 1 mm	18 %	3.40
1 ÷ 3 mm	14 %	2.70
3 ÷ 7 mm	16 %	3.00
7 ÷ 15 mm	22 %	4.20
15 ÷ 20 mm	10 %	1.90

6.4.1.2 Dimensione massima dell'aggregato

La massima dimensione nominale dell'aggregato dovrà essere scelto in funzione dei valori di copriferro e interferro, delle dimensioni minime dei getti, delle modalità di getto e del tipo di mezzi d'opera utilizzati per la compattazione dei getti; la dimensione massima nominale dell'aggregato non dovrà essere maggiore:

di un quarto della dimensione minima dell'elemento strutturale;

della distanza tra le singole barre di armatura o tra gruppi di barre d'armatura (interferro)

diminuita di 5mm;

di 1.3 volte lo spessore del copriferro.

6.4.1.3 Rapporto acqua/cemento

La quantità d'acqua totale da impiegare per il confezionamento dell'impasto dovrà essere calcolata tenendo conto dell'acqua libera contenuta negli aggregati. Si dovrà fare riferimento alla

norma UNI EN 1097/6 per la condizione "satura a superficie asciutta", nella quale l'aggregato non assorbe né cede acqua all'impasto.

Il rapporto acqua/cemento di ciascuna miscela dovrà essere controllato, anche in cantiere, con le modalità previste nella norma UNI 6393 almeno una volta ogni tre mesi o ogni 2.000m³ di produzione: il rapporto a/c non dovrà discostarsi più di +0.02 dal valore verificato in fase di qualificazione della relativa miscela.

6.4.1.4 Lavorabilità

La lavorabilità, indice delle proprietà e del comportamento del calcestruzzo nell'intervallo di tempo tra la produzione e la compattazione dell'impasto nella cassaforma, viene comunemente valutata attraverso la misura della consistenza.

La consistenza, come la lavorabilità, è il risultato di più proprietà reologiche: di conseguenza può essere valutata sulla base del comportamento dell'impasto fresco con determinate modalità di prova.

Per la classificazione della consistenza del calcestruzzo si fa riferimento ai seguenti metodi:

UNI EN 12350/1: prova sul calcestruzzo fresco-campionamento

UNI EN 12350/2: prova di abbassamento al cono

UNI EN 12350/5: prova di spandimento alla tavola a scosse

I valori di riferimento per ciascun metodo di prova sono indicati nelle *Tabella 6-7* e *Tabella 6-8*.

Tabella 6-7 – Classi di abbassamento al cono (slump)

Classe di consistenza	Abbassamento al cono [mm]
S1	da 10 a 40
S2	da 50 a 90
S3	da 100 a 150
S4	da 160 a 210
S5	≥ 220

Tabella 6-8 – Classi di spandimento

Classe	Diametro Spandimento [mm]
F1	≤ 340
F2	da 350 a 410
F3	da 420 a 480
F4	da 490 a 550
F5	da 560 a 620
F6	≥ 630

Nella misura dell'abbassamento al cono possono verificarsi diverse condizioni di cedimento.

La prova è valida solo se dà luogo ad un abbassamento vero, il cui calcestruzzo rimane sostanzialmente intatto e simmetrico. Se il provino cede per taglio, deve essere preso un altro campione e ripetere la prova.

Se due prove consecutive mostrano cedimento per taglio di una porzione di calcestruzzo rispetto alla massa del campione di prova, il calcestruzzo manca della plasticità e coesione necessarie affinché possa essere ritenuta idonea la prova di cedimento al cono.

Per raggiungere la giusta compattazione del getto in opera, la classe di consistenza del calcestruzzo al momento della posa dovrà essere sempre pari o superiore alla classe di abbassamento al cono S3 o alla classe di spandimento F4 o F5.

Classi di consistenza inferiori saranno ammesse, per particolari categorie di opere, solo se esplicitamente prescritte dal Progettista. Per i calcestruzzi impiegati nella prefabbricazione, ferme le altre caratteristiche si potrà derogare a tale prescrizione previa approvazione da parte del Direttore dei Lavori.

6.4.1.5 Acqua essudata

Il calcestruzzo non dovrà presentarsi segregato; ove vengano fissati un limite di accettazione e una frequenza di prova, la quantità di acqua essudata verrà misurata secondo la norma UNI 7122 [22].

6.5 Durabilità e resistenza dei calcestruzzi agli agenti esterni

6.5.1 Copriferro minimo e copriferro nominale

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto “copriferro nominale”.

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$.

I valori di copriferro minimo in funzione delle classi di esposizione del calcestruzzo di *Tabella 6-4* sono indicati in *Tabella 6-9*. La tolleranza di posizionamento delle armature h , nel caso di strutture gettate in opera, dovrà essere assunta pari ad almeno 5 mm.

Il copriferro nominale deve essere specificato in tutte le tavole di progetto e nei documenti di calcolo.

Tabella 6-9 - Copriferro minimo e classi di esposizione

Ambiente	Classe di esposizione	c_{min} [mm]
Molto secco/ secco	X0	15
Umido senza gelo	XC1 XC2	20
Debolmente aggressivo	XC3 XA1 XD1	30
Umido con gelo	XF1	
Marino senza gelo Moderatamente aggressivo	XS1 XD2 XA2 XC4	
Umido con gelo e sali disgelanti Marino con gelo	XF3 XF2	
Fortemente aggressivo	XS2 XS3XA3 XD3 XF4	40

6.5.2 Calcestruzzi resistenti ai cicli gelo-disgelo

Per migliorare la resistenza dei calcestruzzi ai cicli gelo-disgelo l'impiego di additivi aeranti potrà essere autorizzato solamente se:

gli additivi sono conformi alla norma UNI EN 934/2;

l'immissione dell'aerante avviene contemporaneamente al caricamento di almeno il 50% dell'acqua aggiunta.

Si dovrà evitare ogni disomogenea distribuzione delle micro bolle d'aria nell'impasto, che possa comportare nella struttura volumi di calcestruzzo aventi caratteristiche variabili con conseguenti negative ripercussioni sulla resistenza e sulla durabilità dell'opera.

La quantità percentuale d'aria inglobata, determinata sul calcestruzzo fresco prelevato dal getto dopo la vibrazione secondo UNI 6395, dovrà essere conforme alle indicazioni della

Tabella 6-10.

Tabella 6-10 – Aria totale inglobata

	Attacco da cicli gelo/disgelo			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Massimo rapporto a/c	0.50	0.50		0.45
Minima classe di resistenza	32/40	25/30		28/35
Minimo contenuto di cemento (kg/mc)	320	340		360
Contenuto minimo in aria (%)		3.0		
Altri requisiti	Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo			

Qualora prescritto dal Progettista, i calcestruzzi esposti a cicli gelo-disgelo dovranno essere sottoposti alla prova di determinazione della resistenza a degradazione secondo norma UNI 7087:

la riduzione del modulo elastico non dovrà risultare superiore al 30% del valore iniziale del campione di riferimento.

Se l'importanza dell'opera o le condizioni di esposizione lo giustificano, il Progettista potrà richiedere prove di resistenza alla penetrazione dell'acqua sotto pressione, da eseguirsi in laboratorio con le modalità della norma UNI EN 12390/8 [25] su provini stagionati nelle stesse condizioni della struttura o su carote estratte dalla struttura al termine della stagionatura: la profondità media del profilo di penetrazione dell'acqua dovrà essere minore di 20 mm, ciascun valore dovrà essere minore di 50 mm.

6.5.3 Reazioni alcali-aggregato

Il Progettista, in base all'esperienza locale o all'identificazione delle caratteristiche mineralogiche degli aggregati secondo quanto previsto nella norma UNI 8520, dovrà valutare la possibilità che si manifesti con effetti dannosi nel calcestruzzo la reazione chimica tra gli alcali (ioni sodio Na- e potassio K+ presenti in tutti i costituenti delle miscele di calcestruzzo: cemento, aggregati, acqua, additivi e aggiunte) ed eventuali aggregati reattivi, e dovrà determinare il tipo di prevenzione da adottare per impedire il fenomeno.

Nel caso in cui si preveda che l'opera da realizzare possa risultare satura d'acqua, costantemente o frequentemente, le misure preventive adottabili sono:

- scelta di componenti della miscela a basso contenuto di alcali;
- sostituzione di una frazione o dell'intero aggregato reattivo con aggregato inerte;
- impermeabilizzazione della struttura;
- utilizzo di idonei quantitativi di aggiunte di tipo II o di idonei additivi a base di sali di litio.

6.5.4 Calcestruzzi esposti ad attacco chimico

Ai fini di valutare l'eventuale attacco chimico a cui potrebbero essere sottoposti i calcestruzzi, al Committente compete l'onere del preventivo accertamento della presenza e della concentrazione nei terreni e nelle acque di agenti aggressivi di cui alla norma ISO9690.

Sulla base della concentrazione di agenti aggressivi presenti, il Progettista dovrà individuare la classe di esposizione ambientale tra le classi XA1, XA2 e XA3 (*Tabella 6-11*).

Tabella 6-11 – Valori limite per le classi d'esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno (Secondo UNIEN 206-1- Prospetto 2)

	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno			
pH	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	4.5 – 4.0
ioni solfato SO_4^{--} [mg/l]	200 -600	600 - 3000	3000 - 6000
CO ₂ aggressiva [mg/l]	15 - 40	40 - 100	> 100 Fino a saturazione
ioni ammonio NH_4^+ [mg/l]	15 - 30	30 -60	60 - 100
ioni magnesio Mg^{++} [mg/l]	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000 Fino a saturazione
Terreno			
ioni solfato SO_4^{--} [mg/kg] totale	2000 - 3000	3000 - 12000	12000 - 24000
Acidità [ml/kg]	> 200 <i>Baumann</i> <i>Gully</i>	Non incontrato in pratica	

Come riportato nel Prospetto 2 della UNI EN 206-1, la condizione più gravosa per ognuna delle condizioni chimiche determina la classe d'esposizione. Se due o più caratteristiche di aggressività appartengono alla stessa classe, l'esposizione sarà classificata nella classe più elevata successiva, salvo il caso che uno studio specifico provi che ciò non è necessario.

Nei calcestruzzi esposti ad attacco chimico la profondità media del profilo di penetrazione dell'acqua sotto pressione, determinata con le modalità previste nella norma ISO 7031 su carote prelevate dalla struttura, dovrà essere minore di 20mm, ciascun valore dovrà essere minore di 50 mm.

6.5.4.1 Attacco chimico da parte dei solfati

I cementi dovranno avere la composizione specificata nella norma UNI 9156, nel caso di calcestruzzi in classe XA2 e/o XA3.

6.6 Produzione, trasporto, posa e stagionatura

6.6.1 Generalità

Le prescrizioni dei §6.6.2 e §6.6.3 non sono da ottemperare nel caso di impianto classificabile come “certificato”.

6.6.2 Produzione

6.6.2.1 Impianto

I calcestruzzi dovranno essere confezionati in impianto avente caratteristiche tali da soddisfare le prescrizioni di cui ai §6.6.2.2, §6.6.2.3, §6.6.2.4, §6.6.2.5.

La capacità dell'impianto dovrà essere commisurata alle produzioni previste dal programma dei lavori. L'impianto dovrà essere dotato di strumenti e attrezzature idonee a garantire il costante controllo dei dosaggi delle materie prime costituenti il calcestruzzo.

6.6.2.2 Cemento

Non é permesso mescolare fra loro cementi di diversa classe, tipo e provenienza; per ciascuna struttura dovrà essere impiegato cemento di un unico tipo e classe e provenienza.

Il cemento:

se sfuso, dovrà essere conservato in silos che garantiscano la perfetta tenuta nei confronti dell'umidità atmosferica; ciascun silos dovrà contenere un cemento di un unico tipo e unica classe e provenienza e sarà chiaramente identificato da appositi contrassegni;

se in sacchi, dovrà essere sistemato su pedane poste su un pavimento asciutto in ambiente chiuso; i sacchi di cemento di diverso tipo e/o classe verranno conservati separatamente e chiaramente identificati.

6.6.2.3 Aggregati

Gli aggregati dovranno essere disponibili in quantità sufficiente a completare qualsiasi struttura che debba essere gettata senza interruzioni.

Il luogo di deposito dovrà essere di capacità adeguata e consentire lo stoccaggio senza commistione delle diverse pezzature.

Gli aggregati verranno prelevati in modo da garantire la rotazione dei volumi stoccati.

6.6.2.4 Additivi e aggiunte

Non é permesso mescolare fra loro additivi di diverso tipo e provenienza; gli additivi dovranno essere depositati in contenitori a tenuta e chiaramente identificati.

Le ceneri volanti dovranno essere conservate in silos che garantiscano la perfetta tenuta nei confronti dell'umidità atmosferica; ciascun silos dovrà essere identificato da appositi contrassegni.

6.6.2.5 Qualifica delle ricette

Tutte le miscele di calcestruzzo impiegate nell'opera dovranno essere qualificate con le procedure di cui al successivo §6.9. La qualifica non potrà prescindere dalla valutazione delle metodologie di autocontrollo adottate in fase di produzione.

6.6.2.6 Pesatura e mescolamento

Il cemento, l'acqua e gli additivi dovranno essere dosati con dispositivi separati con precisione pari a 3% della quantità richiesta (5% per le aggiunte).

Il cemento dovrà essere pesato con una bilancia indipendente. Il cemento e le aggiunte in polvere dovranno essere dosati a peso; l'acqua, gli additivi e le aggiunte liquide potranno essere dosati a peso o a volume.

Gli aggregati dovranno essere dosati per pesate singole o cumulative, con precisione pari a 3% sulla quantità totale.

Le tramogge contenenti le sabbie dovranno essere dotate di strumenti idonei a misurarne l'umidità all'inizio di ciascuna pesata, in modo da regolare automaticamente il dosaggio dell'acqua aggiunta. Nel luogo di produzione e in cantiere dovranno essere installati termometri atti a misurare la minima e massima temperatura giornaliera dell'aria.

L'impianto dovrà essere periodicamente tarato per controllare l'accuratezza di ogni misura in tutto il campo di valori consentito da ogni strumento. Per la taratura delle apparecchiature di registrazione dell'umidità in automatico, il tenore di umidità media delle sabbie dovrà essere controllato almeno una volta alla settimana.

Dovrà essere predisposto un programma di controlli eseguito da personale qualificato: le bilance dovranno essere revisionate periodicamente e tarate almeno una volta all'anno.

L'impianto dovrà essere costruito in modo tale che i costituenti di un nuovo impasto non possano essere pesati finché non sia stata ultimata la pesata e lo scarico dei costituenti dell'impasto precedente.

L'operatore dell'impianto dovrà disporre di tabelle di carico riportanti le pesate cumulative dei singoli costituenti per tutte le miscele qualificate, e per le diverse quantità miscelate in funzione dell'umidità media delle sabbie. Gli impasti dovranno corrispondere, in quantità e qualità, a quanto riportato sulle tabelle di carico.

Le betoniere dovranno essere esaminate trimestralmente per verificare l'eventuale diminuzione dell'efficacia della mescolazione dovuta sia ad accumulo di calcestruzzo indurito o di legante che all'usura delle lame.

Il tempo di miscelazione, misurato da quando tutti gli ingredienti, ad eccezione dell'ultima frazione di acqua, saranno nella betoniera, non dovrà essere inferiore a 90 secondi per turbo-betoniere ed a 120 secondi per betoniere biconiche.

Non sarà ammesso, inoltre, un tempo eccessivo d'impasto tale da richiedere l'aggiunta di acqua, oltre quella stabilita, per mantenere la consistenza naturale del calcestruzzo.

Le betoniere mobili (autobetoniere), il cui impiego come impastatrici dovrà essere autorizzato dall'Appaltante, dovranno garantire un impasto uniforme del calcestruzzo ed evitare una perdita eccessiva d'acqua.

L'impasto eseguito con auto betoniere dovrà essere portato a termine con un numero di giri non inferiore a 30 e alla velocità di rotazione ottimale per l'impasto.

6.6.3 Trasporto e consegna

Il trasporto del calcestruzzo dal luogo del confezionamento a quello d'impiego dovrà avvenire utilizzando mezzi e attrezzature idonee a evitare la segregazione dei costituenti l'impasto o il deterioramento dell'impasto stesso.

Ogni carico di calcestruzzo dovrà essere accompagnato da un documento di trasporto sul quale saranno indicati:

- la data e le ore di partenza dall'impianto, di arrivo in cantiere e di inizio/fine scarico;
- la classe di esposizione ambientale;
- la classe di resistenza caratteristica;
- un codice che identifichi la ricetta utilizzata per il confezionamento;
- il tipo, la classe e, ove specificato nell'ordine di fornitura, il contenuto di cemento;
- il rapporto a/c teorico;
- la dimensione massima dell'aggregato;
- la classe di consistenza;

i metri cubi nominali trasportati.

A richiesta il personale dell'Appaltatore dovrà esibire detti documenti agli incaricati del Direttore dei Lavori.

L'Appaltatore dovrà tenere idonea documentazione in base alla quale sia possibile individuare la struttura cui ciascun carico è stato destinato.

La consistenza dell'impasto dovrà essere controllata contestualmente a ogni prelievo di materiale per le prove di resistenza, di massa volumica e del rapporto a/c. Tutte le prove dovranno essere eseguite sullo stesso materiale di prelievo, in contraddittorio tra le parti interessate alla fornitura. Nel caso di calcestruzzo pompato, la consistenza dovrà essere misurata prima dell'immissione del materiale nel getto.

6.6.4 Posa in opera

6.6.4.1 Operazioni di getto

L'Appaltatore è tenuto a comunicare con dovuto anticipo al Direttore dei Lavori il programma dei getti indicando:

- il luogo di getto;
- la struttura interessata dal getto;
- la classe di resistenza e la classe di consistenza del calcestruzzo;

I getti potranno avere inizio solo dopo che il Direttore dei Lavori avrà verificato:

- preparazione e rettifica dei piani di posa;
- pulizia delle casseforme;
- posizione e corrispondenza al progetto delle armature e dei copriferri;
- posizione delle eventuali guaine dei cavi di precompressione;
- posizione degli inserti (giunti, water stop, ecc.).

NOTA: Prima del getto di calcestruzzo, ogni superficie di posa dovrà essere libera da acqua, fango, olii, sostanze grasse, sostanze organiche o detriti di qualsiasi natura.

Nel caso di getti contro terra si dovrà controllare con particolare cura che siano stati eseguiti, in conformità alle disposizioni di progetto:

la pulizia del sottofondo;

la posizione di eventuali drenaggi;

la stesa di materiale isolante o di collegamento.

le superfici contro getto in terreni sciolti dovranno essere opportunamente compattate.

La geometria delle casseforme dovrà risultare conforme ai particolari costruttivi di progetto e alle eventuali prescrizioni aggiuntive.

In nessun caso si dovranno verificare cedimenti dei piani di appoggio e delle pareti di contenimento; in tale ultimo caso l'Appaltatore dovrà provvedere al loro immediato ripristino.

Prima del getto tutte le superfici di contenimento del calcestruzzo dovranno essere pulite e trattate con prodotti disarmanti preventivamente autorizzati dal Direttore dei Lavori; se porose, dovranno essere mantenute umide per almeno due ore prima dell'inizio dei getti. I ristagni d'acqua dovranno essere allontanati dal fondo.

E' esclusa la possibilità di qualunque aggiunta d'acqua al calcestruzzo al momento del getto.

Lo scarico del calcestruzzo dal mezzo di trasporto nelle casseforme dovrà avvenire con tutti gli accorgimenti atti a evitarne la segregazione. E' ammesso l'uso di scivoli soltanto se risulterà garantita l'omogeneità dell'impasto in opera. L'impiego di benne a scarico di fondo e di nastri trasportatori dovrà essere autorizzato dal Direttore dei Lavori in funzione della distanza di scarico. L'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, misurata dall'uscita dello scivolo o della bocca del tubo convogliatore, non dovrà essere mai maggiore di 100 cm.

Il calcestruzzo dovrà cadere verticalmente ed essere steso in strati orizzontali di spessore, misurato dopo la vibrazione, comunque non maggiore di 50 cm. E' vietato scaricare il conglomerato in un unico cumulo e distenderlo con l'impiego del vibratore.

L'esecuzione dei getti dovrà essere realizzata in modo da assicurare una posa continua.

Sono da evitare tutti gli spostamenti del calcestruzzo che possano provocare segregazione degli aggregati e l'impasto dovrà essere depositato nelle casseforme più vicino possibile alla sua posizione finale.

A meno che non sia altrimenti stabilito, il calcestruzzo dovrà essere compattato con un numero di vibratori a immersione o a parete determinato, prima di ciascuna operazione di getto, in relazione alla classe di consistenza del calcestruzzo, alle caratteristiche dei vibratori e alla dimensione del

getto stesso. Per omogeneizzare la massa durante il costipamento di uno strato i vibratori a immersione dovranno penetrare per almeno 5 cm nello strato inferiore.

Il calcestruzzo dovrà essere compattato fino ad incipiente rifluimento della malta, in modo che le superfici esterne si presentino lisce e compatte, omogenee, perfettamente regolari, senza vespai o nidi di ghiaia ed esenti da macchie o chiazze.

Le attrezzature non funzionanti dovranno essere immediatamente sostituite in modo che le operazioni di costipamento non vengano rallentate o risultino insufficienti.

In linea di massima, la durata della vibratura, per metro cubo di calcestruzzo non sarà inferiore ai 3 minuti, quando eseguita con vibratore del diametro di 60÷70 mm e, in ogni caso, dovrà essere interrotta prima che alla superficie del volume vibrato appaia uno strato di malta priva di inerti di grosso diametro.

Ove richiesto, le superfici dei giunti dovranno essere pulite a mezzo di getto di acqua ed aria in pressione prima che il calcestruzzo abbia iniziato la presa, fino alla rimozione di tutte le particelle di cemento e sabbia in modo da esporre l'aggregato grosso pulito.

Le stesse superfici andranno parimenti pulite con aria compressa ed acqua prima di iniziare il getto successivo.

A getto avvenuto il calcestruzzo dovrà essere mantenuto umido per almeno 3 giorni e protetto adeguatamente dall'azione del sole, del vento e del gelo.

Per getti in pendenza dovranno essere predisposti cordolini di arresto che evitino la formazione di lingue di calcestruzzo troppo sottili per essere vibrare efficacemente.

Nel caso di getti da eseguire in presenza d'acqua l'Appaltatore dovrà:

- adottare gli accorgimenti necessari per impedire che l'acqua dilavi il calcestruzzo e ne pregiudichi la regolare presa e maturazione;

- provvedere con i mezzi più adeguati all'agguantamento o alla deviazione dell'acqua o, in alternativa, adottare per l'esecuzione dei getti miscele con caratteristiche antidilavamento preventivamente autorizzate dal Direttore dei Lavori.

6.6.4.2 Riprese di getto

Di norma i getti dovranno essere eseguiti senza soluzione di continuità, in modo da evitare ogni ripresa. Dovranno essere definiti i tempi massimi di ricopertura dei vari strati successivi, così da consentire l'adeguata rifluidificazione e omogeneizzazione della massa di calcestruzzo per mezzo di vibrazione.

Nel caso ciò non fosse possibile, a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, prima di poter effettuare la ripresa la superficie del calcestruzzo indurito dovrà essere accuratamente pulita, lavata, spazzolata e scalfita fino a diventare sufficientemente rugosa, così da garantire una perfetta aderenza con il getto successivo; ciò potrà essere ottenuto anche mediante l'impiego di additivi ritardanti o di ritardanti superficiali o di speciali adesivi per riprese di getto (primer epossidico) .

Tra le successive riprese di getto non si dovranno avere distacchi, discontinuità o differenze di aspetto e colore; in caso contrario l'Appaltatore dovrà provvedere ad applicare adeguati trattamenti superficiali traspiranti al vapore d'acqua.

Nelle strutture impermeabili dovrà essere garantita la tenuta all'acqua dei giunti di costruzione con accorgimenti, da indicare nel progetto, autorizzati dal Direttore dei Lavori.

6.6.4.3 Getti in clima freddo

Il clima si definisce freddo quando la temperatura dell'aria è minore di + 5°C: in tal caso valgono le disposizioni e prescrizioni della Norma UNI 8981.

La posa in opera del calcestruzzo dovrà essere sospesa nel caso che la temperatura dell'impasto scenda al di sotto di + 5C.

Prima del getto ci si dovrà assicurare che tutte le superfici a contatto del calcestruzzo siano a temperatura di alcuni gradi sopra lo zero.

La neve e il ghiaccio, se presenti, dovranno essere rimossi, dai casseri, dalle armature e dal sottofondo: per evitare il congelamento tale operazione dovrebbe essere eseguita immediatamente prima del getto.

I getti all'esterno dovranno essere sospesi se la temperatura dell'aria è minore di – 5C. Tale limitazione non si applica nel caso di getti in ambiente protetto o nel caso vengano predisposti opportuni accorgimenti, approvati dal Direttore dei Lavori.

6.6.4.4 Getti in clima caldo

Durante le operazioni di getto la temperatura dell'impasto non dovrà superare i 35°C; tale limite potrà essere convenientemente abbassato per getti massivi.

Al fine di abbassare la temperatura del calcestruzzo potrà essere usato ghiaccio, in sostituzione di parte dell'acqua di impasto, o gas refrigerante di cui sia garantita la neutralità nei riguardi delle caratteristiche del calcestruzzo e dell'ambiente.

Per ritardare la presa del cemento e facilitare la posa e la finitura del calcestruzzo potranno essere impiegati additivi ritardanti, o fluidificanti ritardanti di presa, conformi alle norme UNI EN 934 preventivamente autorizzati dal Direttore dei Lavori.

6.7 Stagionatura protetta

È l'insieme di precauzioni che, durante il processo di indurimento, permette di trasformare l'impasto fresco in un materiale resistente e durevole.

I metodi di stagionatura e la loro durata dovranno essere tali da garantire:

la prescritta resistenza e durabilità del calcestruzzo indurito;

la limitazione della formazione di fessure o cavillature in conseguenza del ritiro per rapida essiccazione delle superfici di getto o per sviluppo di elevati gradienti termici all'interno della struttura.

Nella *Tabella 6-1* sono riportati le durate minime di stagionatura, in giorni, per strutture esposte nelle classi di esposizione X0, XC e XA1.

Tabella 6-12 - Durata minima della stagionatura protetta (giorni)

Velocità di sviluppo della resistenza del calcestruzzo	Rapido			Medio			Lento		
Temperatura del calcestruzzo (°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Condizioni ambientali durante la stagionatura									
I) Non esposto ad insolazione diretta ; Umidità relativa U_R dell'aria circostante \geq 80%	2	2	1	3	3	2	3	3	2
II) Insolazione diretta media o vento di media velocità o $U_R \geq 50\%$	4	3	2	6	4	3	8	5	4
III) Insolazione intensa o vento di forte velocità o $U_R < 50\%$	4	3	2	8	6	5	10	8	5

La velocità di sviluppo della resistenza del calcestruzzo è indicata in *Tabella 6-13*.

Tabella 6-13 - Velocità di sviluppo della resistenza del calcestruzzo

Velocità di sviluppo della resistenza	Rapporto a/c	Classe di resistenza del cemento
Rapida	≤ 0.45	42.5 R
Media	≤ 0.50	42.5 N/R - 32.5 R
Lenta	$\leq 0,55$	42,5 N - 32,5 N/R
Molto Lenta	-----	32,5 N/R

Le durate di stagionatura di *Tabella 6-12* dovranno essere adeguatamente aumentate per condizioni ambientali più gravose di quelle corrispondenti alle classi X0, XC e XA1.

Le indicazioni sopra riportate relative alle condizioni di stagionatura per conseguire un'adeguata impermeabilità dello strato superficiale non prendono in considerazione gli aspetti della sicurezza strutturale in relazione ai quali potrà essere stabilito un tempo minimo di stagionatura per raggiungere la resistenza voluta alla rimozione dei casseri.

Nel caso siano previste, nelle 24 ore successive al getto durante la fase di stagionatura, temperature dell'aria con valori minori di 5°C o maggiori di 35°C, l'Appaltatore dovrà utilizzare esclusivamente casseri in legno o coibentati sull'intera superficie del getto ed eventualmente teli isolanti.

Tutte le superfici dovranno essere mantenute umide per almeno 48 ore dopo lo scassero mediante utilizzo di prodotti filmogeni applicati a spruzzo conformi alle norme UNI ovvero continua bagnatura con serie di spruzzatori d'acqua o con altri idonei sistemi.

Qualora il prodotto filmogeno venga applicato su una superficie di ripresa, prima di eseguire il successivo getto si dovrà procedere a ravvivare la superficie.

Nel caso di superfici con finiture a faccia vista dovrà essere evitato qualunque ristagno d'acqua sulla superficie a vista durante la stagionatura.

Durante il periodo di stagionatura protetta si dovrà evitare che i getti subiscano urti, vibrazioni e sollecitazioni di ogni genere.

I metodi di stagionatura proposti dal Progettista dovranno essere preventivamente sottoposti all'esame del Direttore dei Lavori.

Il metodo di stagionatura prescelto dovrà assicurare che le variazioni termiche differenziali nella sezione trasversale delle strutture non provochino fessure o cavillature tali da compromettere le caratteristiche del calcestruzzo indurito.

Se prescritto dal Progettista, tali variazioni termiche potranno essere verificate direttamente nella struttura mediante serie di termocoppie predisposte all'interno del cassero.

Anche se non è possibile stabilire esatti limiti per le differenze di temperatura accettabili nelle sezioni trasversali in fase di indurimento, poiché esse dipendono dalla composizione dell'impasto, dalle caratteristiche di sviluppo della resistenza, dalla forma geometrica dell'elemento strutturale e dalla velocità con la quale il manufatto, dopo la rimozione dei casseri, raggiunge l'equilibrio termico con l'ambiente, per limitare le tensioni di origine termica dovranno essere rispettati i limiti seguenti:

- una differenza massima di 20°C sulla sezione durante il raffreddamento dopo la rimozione dei casseri;
- una differenza massima di 15°C attraverso i giunti di costruzione e per strutture con sezioni di dimensioni molto variabili.

6.7.1.1 Accelerazione dei tempi di stagionatura

La maturazione accelerata con trattamento termico dei calcestruzzi gettati in opera è normalmente esclusa; essa sarà permessa solo qualora siano state condotte indagini sperimentali sul tipo di trattamento termico che si intende adottare.

Dovranno comunque essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- la durata di pre-stagionatura, alla temperatura massima di 30°C, non dovrà essere minore di tre ore (in genere dalle 4 alle 5 ore);
- i gradienti termici non dovranno superare il valore di 20°C/ora durante il riscaldamento e 10°C/ora durante il raffreddamento;
- essi dovranno essere ulteriormente ridotti qualora non sia verificata la condizione di cui al successivo punto;
- la temperatura all'interno del calcestruzzo non dovrà superare in media i 60°C, con valore puntuale massimo non superiore a 65°C;
- la differenza di temperatura tra quella massima all'interno del calcestruzzo e quella alla superficie non dovrà superare 20°C;
- durante tutta la procedura di maturazione forzata e durante il raffreddamento il calcestruzzo sarà protetto contro le perdite di umidità.

In ogni caso i provini per la valutazione della resistenza raggiunta al momento del taglio di trefoli o fili aderenti, dovranno essere maturati nelle stesse condizioni termo-igrometriche della struttura, secondo quanto previsto dalla Norma UNI 6127.

6.7.1.2 Ripristini e stuccature

Nessun ripristino o stuccatura potrà essere eseguito dopo il disarmo del calcestruzzo senza il preventivo controllo del Direttore dei Lavori, che dovrà autorizzare i materiali, proposti dal Progettista, da utilizzare per l'intervento.

6.8 Casseforme e finitura del calcestruzzo

6.8.1 Generalità

La superficie esterna dei getti in calcestruzzo dovrà essere esente da nidi di ghiaia, bolle d'aria, concentrazione di malta fine, macchie che ne pregiudichino l'uniformità e la compattezza sia ai fini della durabilità che dell'aspetto estetico dell'opera.

Per la ripresa dei getti dovranno essere adottati gli accorgimenti indicati al §6.8.2.3.

6.8.2 Casseforme

6.8.2.1 Progetto e costruzione

Le casseforme dovranno essere rigide e a perfetta tenuta, per evitare la fuoriuscita di boiacca cementizia.

Nel caso di cassetta a perdere inglobata nell'opera si dovrà verificare la sua funzionalità, se è elemento portante, e che non sia dannosa per l'estetica o la durabilità, se è elemento accessorio.

Le casseforme per i getti potranno essere in legname, di compensato, di materiale fibrocompresso, o metalliche.

Tutte le casseforme dovranno essere solide, indeformabili e atte a sopportare ogni sollecitazione sia durante che dopo il getto; prima dell'impiego dovranno essere accuratamente pulite e trattate con opportuni oli che ne facilitino il disarmo.

Il legname delle casseforme in legno dovrà essere sufficientemente stagionato e le giunture dovranno essere eseguite in modo da evitare perdite di malta sia per ritiro del legname stesso che per la vibratura del getto.

Le casseforme devono essere realizzate in modo da permettere un rapido smontaggio evitando danni al calcestruzzo indurito.

6.8.2.2 Pulizia, trattamento, disarmanti

I casseri dovranno essere puliti e privi di elementi che possano comunque pregiudicare l'aspetto della superficie del calcestruzzo indurito.

Si dovrà far uso di prodotti disarmanti conformi alla norma UNI 8866 [16], disposti in strati omogenei continui che non dovranno assolutamente macchiare la superficie a vista del calcestruzzo. Su tutte le casseforme di una stessa opera dovrà essere usato lo stesso prodotto. E' vietato usare come disarmanti lubrificanti di varia natura o oli esausti.

Se sono impiegate casseforme impermeabili, per ridurre il numero delle bolle d'aria sulla superficie del getto e qualora espressamente previsto nel progetto, si dovrà fare uso di disarmante con agente tensioattivo o sotto forma di emulsioni pastose in quantità controllata; la vibrazione dovrà essere contemporanea al getto.

Qualora sia prevista la realizzazione di calcestruzzi colorati o con cemento bianco, l'impiego di disarmanti dovrà essere subordinato a prove preliminari atte a dimostrare che il prodotto non alteri il colore del calcestruzzo.

6.8.2.3 Giunti e riprese di getto

I giunti tra gli elementi di cassaforma dovranno essere realizzati con ogni cura al fine di evitare fuoriuscite di boiaccia e creare irregolarità o sbavature. Se prescritto nel progetto tali giunti dovranno essere evidenziati.

Le riprese del getto sulla faccia a vista dovranno essere realizzate secondo linee rette; qualora previsto nel progetto, dovranno essere marcate con gole o risalti di profondità o spessore di 2-3 cm.

6.8.2.4 Sistemi di fissaggio e distanziatori delle armature

I dispositivi che mantengono in posizione i casseri, quando attraversano il calcestruzzo, non dovranno risultare dannosi a quest'ultimo.

Gli elementi dei casseri saranno fissati nella posizione prevista unicamente mediante fili metallici liberi di scorrere entro tubi di pvc, stabilizzato o simili, che dovranno rimanere incorporati nel getto di calcestruzzo e siglati in entrambe le estremità con tappi a tenuta.

Il Direttore dei Lavori potrà autorizzare l'adozione di altri sistemi di fissaggio dei casseri, se proposti dal Progettista, prescrivendo le cautele da adottare a totale carico dell'Appaltatore.

E' vietato l'utilizzo di fili o fascette d'acciaio inglobati nel getto.

E' vietato l'impiego di distanziatori di legno o metallici, sono ammessi distanziatori non deformabili in plastica, ma ovunque possibile dovranno essere usati quelli in malta o pasta cementizia. La superficie del distanziatore a contatto con la cassaforma dovrà essere la più piccola possibile e tale da garantire il copriferro previsto nel progetto.

Le operazioni di disarmo dei casseri, il taglio e lo sfilaggio dei tiranti o delle legature non dovranno provocare danni e screpolature sulla superficie dei getti.

6.8.2.5 Predisposizione di fori, tracce, cavità.

L'Appaltatore avrà l'onere di predisporre durante l'esecuzione dei lavori tutti i fori, tracce, cavità e incassature previsti negli elaborati costruttivi per permettere la successiva posa in opera di apparecchi accessori quali: giunti - appoggi - smorzatori sismici - pluviali - passi d'uomo - passerelle d'ispezione - sedi di tubi e cavi - opere interruttive - sicurvia - parapetti - mensole - segnalazioni - parti d'impianti ecc.

6.8.2.6 Disarmo

Si potrà procedere alla rimozione delle casseforme dai getti quando saranno state raggiunte le resistenze indicate dal Progettista e comunque non prima dei tempi indicati nei decreti attuativi della Legge n°1086 [1].

Eventuali irregolarità o sbavature di calcestruzzo o pasta cementizia, dovute anche a modeste perdite dai giunti dei casseri, qualora ritenute non tollerabili dal Direttore dei Lavori, dovranno essere asportate mediante bocciardatura; i punti difettosi dovranno essere ripristinati, immediatamente dopo il controllo del Direttore dei Lavori.

Eventuali elementi metallici, quali chiodi o reggette, che dovessero sporgere dai getti, dovranno essere tagliati almeno 10mm sotto la superficie finita e gli incavi risultanti dovranno essere accuratamente sigillati con malta fine di cemento ad alta adesione.

Dopo la scasseratura dovranno essere adottati i provvedimenti di cui al §6.6.4. al fine di evitare il rapido essiccamento delle superfici ed il loro brusco raffreddamento.

Il disarmo di strutture armate dovrà effettuarsi quando il calcestruzzo abbia raggiunto un indurimento sufficiente per eliminare la possibilità di qualsiasi cedimento.

Il disarmo deve avvenire per gradi e in modo da evitare azioni dinamiche sulle strutture.

Potranno essere considerati i seguenti intervalli, previa autorizzazione scritta sul Libro Giornale da parte della D.L.:

getti eseguiti con cemento ad alta resistenza – CEM I 42,5R

▪ sponde dei casseri di travi e pilastri:	2 giorni
▪ armature di solette di luce modesta:	4 giorni
▪ puntelli e centine di travi:	12 giorni
▪ strutture a sbalzo:	14 giorni

getti eseguiti con cemento normale – CEM I 32,5R

▪ sponde dei casseri di travi e pilastri:	3 giorni
▪ armature di solette di luce modesta:	10 giorni
▪ puntelli e centine di travi:	24 giorni
▪ strutture a sbalzo:	28 giorni

6.8.3 Controllo del colore

Affinché il colore superficiale del calcestruzzo, determinato dalla sottile pellicola di malta che si forma nel getto a contatto con la cassaforma, risulti il più possibile uniforme:

il cemento utilizzato in ciascuna opera dovrà provenire dallo stesso cementificio ed essere sempre dello stesso tipo e classe;

la sabbia dovrà provenire dalla stessa cava e avere granulometria e composizione costante.

Il contenuto d'acqua e la classe di consistenza delle miscele di calcestruzzo dovranno rientrare strettamente nei limiti fissati dal Progettista.

Le opere o i costituenti delle opere a faccia vista che dovranno avere lo stesso aspetto esteriore dovranno ricevere lo stesso trattamento di stagionatura; in particolare si dovrà curare che l'essiccamento della massa del calcestruzzo sia lento e uniforme.

Si dovranno evitare condizioni per le quali si possano formare efflorescenze sul calcestruzzo; qualora queste apparissero, sarà onere dell'Appaltatore eliminarle tempestivamente mediante spazzolatura, senza impiego di acidi.

Le superfici finite e curate come indicato ai punti precedenti dovranno essere adeguatamente protette se le condizioni ambientali e di lavoro saranno tali da poter essere causa di danno in qualsiasi modo alle superfici stesse.

Si dovrà evitare che vengano prodotte sulla superficie finita scalfitture, macchie o altro che ne pregiudichino la durabilità o l'estetica.

Si dovranno evitare macchie di ruggine dovute alla presenza temporanea dei ferri di ripresa; prendendo i dovuti provvedimenti per evitare che l'acqua piovana scorra sui ferri e successivamente sulle superfici finite del getto.

Qualsiasi danno o difetto della superficie finita del calcestruzzo dovrà essere eliminato a cura dell'Appaltatore, con i provvedimenti preventivamente autorizzati dal Direttore dei Lavori.

6.9 Controlli

6.9.1 Generalità

In riferimento alle seguenti norme:

UNI EN 206-1

UNI 6127-88

UNI EN 197-1

UNI EN 12350-2

D.M. 14.01.2008

si prescrivono i controlli specificati di seguito, relativi controllo Tipo A (secondo D.M. 14.01.2008).

6.9.2 Specifiche di controllo

Un controllo = n°3 Prelievi

Un prelievo = n°2 Provini (cubetti) al massimo [**] ogni 100m³ di miscela omogenea.

Il controllo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera nei casseri, il calcestruzzo necessario per la confezione di n°2 provini. Qualora il calcestruzzo provenga da impianti esterni al cantiere (calcestruzzo preconfezionato), sarà eseguito **un prelievo e la prova dello slump per ogni autobetoniera in arrivo.**

[**] Ad insindacabile giudizio la D.L. potrà diminuire od aumentare il numero dei prelievi.

N.B.: per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo; è consentito di derogare all'obbligo del prelievo giornaliero nel caso di costruzioni con meno di 100m³ di getto di miscela omogenea.

Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia. L'impresa contraddistingerà in modo indelebile i cubetti di prelievo. La domanda al Laboratorio Prove sarà compilata dalla D.L. e dovrà contenere precise indicazioni sulle strutture interessate da ciascun prelievo.

6.9.3 Definizioni

RESISTENZA DI PRELIEVO: è la media delle resistenze a compressione dei due provini di prelievo.

NUMERAZIONE DEI PROVINI: i provini dovranno essere contraddistinti in modo indelebile, a cura dell'Impresa, secondo le modalità di numerazione sotto indicate. I prelievi con la relativa numerazione e posizione dei getti saranno riportati sul Giornale Lavori.

NC = numero di controllo progressivo

NP = numero prelievo (1/2/3)

NPR = nome provino (A/B)

DATA = data ed ora del prelievo

DPS = denominazione e posizione dell'elemento strutturale

Esempio di numerazione provino: 1.1 A//30.10.95//12^h//Plinto 10//

I provini saranno conservati a 20°C in ambiente ad umidità relativa maggiore del 90%.

<u>TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI DI UN CONTROLLO (fac simile)</u>				
N. CONTROLLO	N. PRELIEVO	N. PROVINO	RESISTENZA A ROTTURA	RESISTENZA DI PRELIEVO
NC.	NC.1	NC.1A	RA	R1 = (RA+RB)/2
		NC.1B	RB	
	NC.2	NC.2A	RA	R2 = (RA+RB)/2
		NC.2A	RB	
	NC.3	NC.3A	RA	R3 = (RA+RB)/2
		NC.3A	RB	

R_{ck}	resistenza caratteristica di progetto
$RM = (R1+R2+R3)/3$	resistenza media di controllo
R_{min}	resistenza minima fra R1 – R2 – R3
Il controllo è positivo se risultano verificati i due punti seguenti:	
<ul style="list-style-type: none"> • $RM \geq R_{ck} + 35 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$ • $R_{min} \geq R_{ck} - 35 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$ 	

6.9.4 Scadenza di prove a rottura

Salvo diverse disposizioni della Direzione Lavori la scadenza di prova a rottura si intende a 28 gg. dalla confezione del getto.

Potranno essere richieste anche scadenze di prova a:

24^h – 72^h – 14 gg – 90 gg – 180 gg – 365 gg dalla confezione del getto.

6.10 Tipologie strutturali dell'opera

6.10.1 Fondazioni

6.10.1.1 Classificazione del calcestruzzo

Per la tipologia strutturale in oggetto si prescrive un calcestruzzo avente le seguenti caratteristiche :

Resistenza caratteristica minima R_{ck} :25 N/mm²

Classe di esposizione :XC3 + XA1 (determinata secondo UNI 206-1/UNI 11104)

Classe di consistenza :S4 (Fluida) con Additivo Superfluidificante

Diametro max. aggregati :32 mm

6.10.1.2 Caratteristiche dei costituenti il calcestruzzo

6.10.2 Cemento

I cementi prescritti devono essere conformi alla UNI-EN 197/1, controllati e certificati secondo la normativa vigente.

Per la tipologia strutturale in oggetto devono essere impiegati i seguenti cementi per classe e per tipo : **II/B - S 42,5 N II/B - LL 32,5 R II/A - LL 32,5 R**

Trattandosi di un calcestruzzo soggetto ad attacco chimico con aggressività DEBOLE, i tipi di cemento dovranno essere conformi alle prescrizioni della UNI 9156 relativamente alla classe di resistenza ai solfati MODERATA.

6.10.2.1 Aggregati

Gli aggregati impiegati per il confezionamento del calcestruzzo devono risultare conformi alle caratteristiche previste dalla norma UNI EN 12620.

Per la struttura in oggetto si dovranno impiegare aggregati naturali o frantumati con **diametro massimo di 32 mm**.

Le classi granulometriche dovranno essere mescolate tra loro in percentuali tali da formare miscele rispondenti ai criteri di curve granulometriche di riferimento teoriche o sperimentali, scelte in modo che l'impasto fresco e indurito abbia i prescritti requisiti di resistenza, consistenza, omogeneità, aria inglobata, permeabilità, ritiro e acqua essudata. Si dovrà adottare una curva granulometrica che, in relazione al dosaggio di cemento, garantisca la massima compattezza e la migliore lavorabilità del calcestruzzo.

6.10.2.2 Acqua

L'acqua dell'impasto, di provenienza nota, dovrà avere caratteristiche costanti nel tempo, conformi a quelle della norma UNI EN 1008.

6.10.2.3 Additivi

Gli additivi dovranno essere conformi a quanto prescritto dalla norma UNI EN 934-2.

Si prescrive l'impiego di Additivo Superfluidificante.

6.10.2.4 Posa in opera e stagionatura

Il calcestruzzo dovrà essere compattato in modo da assicurare che un'eventuale carota estratta dal getto in opera presenti una massa volumica non inferiore al 97% della massa volumica del

calcestruzzo compattato a rifiuto prelevato per la preparazione dei provini cubici o cilindrici in corso d'opera.

Tutte le superfici dovranno essere mantenute umide per almeno 3 giorni dal getto e comunque per il tempo necessario, in funzione delle varie condizioni ambientali.

6.10.2.5 Riepilogo degli elementi di base delle prescrizioni

Tipologia strutturale: **rinforzi per miglioramento sismico**

Classe di resistenza necessaria ai fini statici R_{ck} (0): **35 (N/mm²)**

CORROSIONE INDOTTA DA CARBONATAZIONE



La carbonatazione provoca la corrosione dei ferri d'armatura quando la struttura è prevalentemente esposta all'aria, all'acqua e all'ossigeno. Le strutture interessate sono quelle relative agli interni degli edifici, civili o industriali, all'esterno e a contatto con acqua e o terreni non aggressivi.

Classe di Esposizione	Ambiente	Tipologia
XC4	Strutture esterne esposte all'acqua piovana	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne esposte alla pioggia, o in interni con umidità alta.

6.10.2.6 Classe d'esposizione – R_{ck} minima – Rapporto a/c max

Denominazione della classe e descrizione dell'ambiente di esposizione:

XC4: Umidità ciclica

Classe di esposizione : XC4

R_{ck} (c) calcolata : 35 N/mm²

Rapporto a/c max : 0.55

6.10.2.7 Classificazione del calcestruzzo e requisiti

Per la tipologia strutturale in oggetto si prescrive, in definitiva, un calcestruzzo avente le seguenti caratteristiche :

Resistenza caratteristica R_{ck} : 35 N/mm²

Classe di esposizione : XC4

Rapporto a/c max : 0.50

Classe di consistenza : S4 (Fluida) con Additivo Superfluidificante

Diametro max. aggregati : 32 mm

Dosaggio di calcestruzzo : 300kg/m³ minimo

7 Acciaio da C.A.

7.1 Generalità

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure definite dal D.M. 14.01.2008 al §11.3.1. e controllati secondo le modalità esposte ai §11.3.2.10 e §11.3.3.5 del medesimo decreto.

Salvo diverse specificazioni, l'acciaio per C.A. deve intendersi del tipo **B450C** (corrispondente all'acciaio FeB 44 k secondo la classificazione precedente).

L'acciaio per calcestruzzo armato verrà posto in opera in base ai disegni di dettaglio e alle distinte dei ferri di progetto; in caso di discordanza fra il disegno e al distinta dovranno essere interpellati la D.L. e il Progettista.

L'acciaio tondo in barre per le armature delle strutture in conglomerato cementizio sarà sia liscio che ad aderenza migliorata e rispondente alle caratteristiche indicate.

Le armature metalliche per i getti di conglomerato cementizio dovranno essere disposte nella posizione indicata nei disegni e dovranno essere legate agli incroci mediante filo di ferro, comunque dovranno essere sufficientemente rigide all'atto del betonaggio.

La distanza fissata tra casseforme e ferro di rinforzo (copriferro) dovrà essere ottenuta per mezzo di appositi distanziatori di cemento, materiale plastico o dispositivi analoghi. Si raccomanda di evitare l'impiego di distanziatori in PVC (polivinilcloruro) al fine di ridurre al minimo la contaminazione da cloruri della matrice del conglomerato.

Non si devono porre in opera armature eccessivamente ossidate, corrose, recanti difetti superficiali che ne diminuiscano la resistenza; le barre dovranno essere pulite, prive di formazioni vistose di ruggine ed esenti da sostanze, quali residui di tinta, di oli, etc., che ne possano ridurre l'aderenza al conglomerato.

7.2 Specifiche

7.2.1 Copriferro

Il copriferro minimo delle strutture in calcestruzzo dell'opera è stato ottenuto a seguito di una duplice considerazione:

requisito di durabilità: considerando le diverse classi di esposizione di ciascun elemento strutturale

requisito prestazionale della struttura: in termini di resistenza al fuoco

Si rinvia alle tavole strutturali per ulteriori dettagli.

7.2.2 Interferro

L'interferro tra due barre adiacenti deve soddisfare entrambe le seguenti condizioni:

$i \geq 2.0\text{cm}$

$i \geq$ una volta il diametro della barra avente diametro maggiore

Nel caso di più strati di armature, oltre al rispetto dell'interferro, le barre di ogni singolo strato devono essere **poste verticalmente una sopra l'altra** e lo spazio tra almeno due allineamenti verticali deve essere tale da permettere il **passaggio di un vibratore**.

7.2.3 Ancoraggio delle barre

Le armature longitudinali devono essere interrotte ovvero sovrapposte preferibilmente nelle zone compresse o di minore sollecitazione.

La continuità fra le barre può effettuarsi mediante:

sovrapposizione, calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra. In ogni caso la lunghezza di sovrapposizione nel tratto rettilineo deve essere non minore di 20 volte il diametro della barra. La distanza mutua (interferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro;

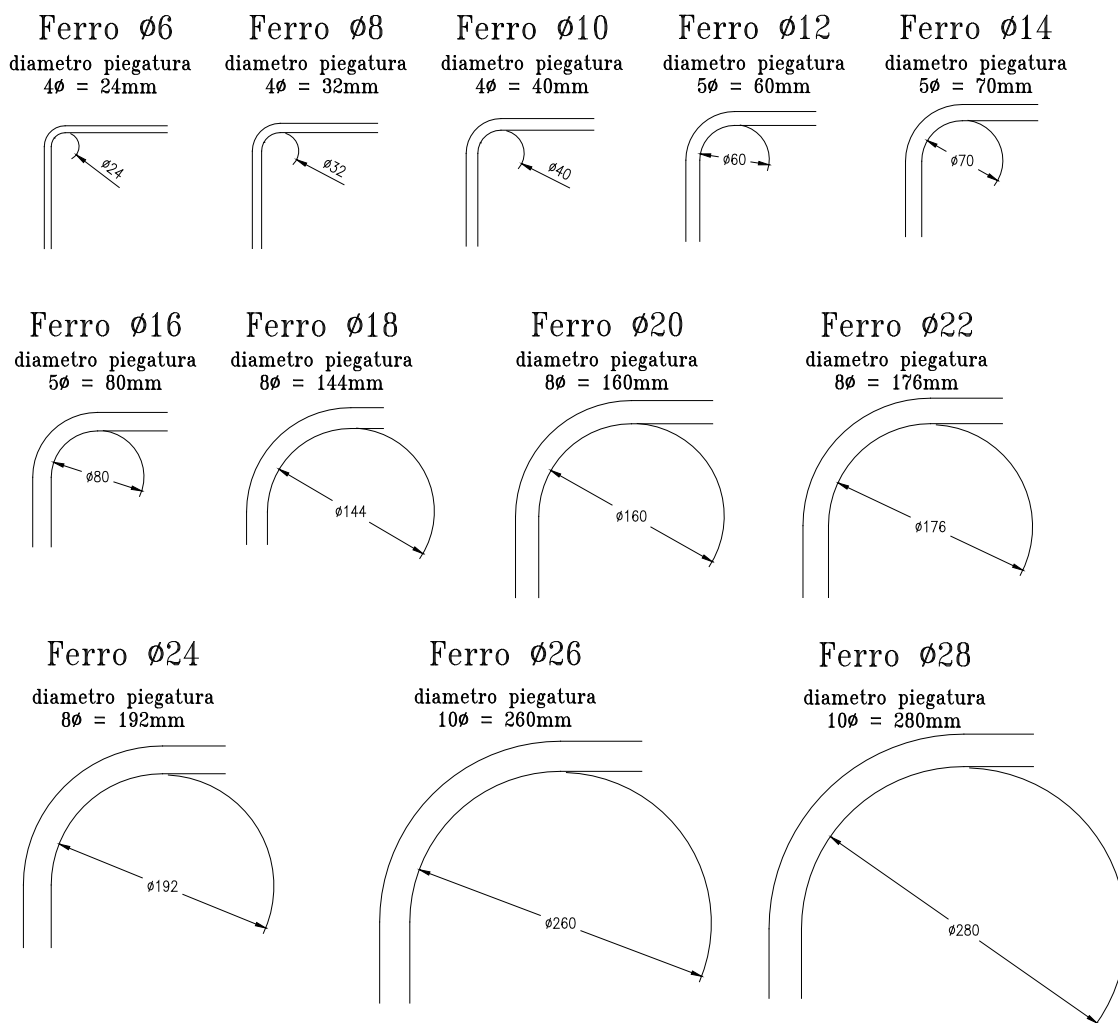
saldature, eseguite in conformità alle norme in vigore sulle saldature. Devono essere accertate la saldabilità degli acciai che vengono impiegati, nonché la compatibilità fra metallo e metallo di apporto nelle posizioni o condizioni operative previste nel progetto esecutivo;

giunzioni meccaniche per barre di armatura. Tali tipi di giunzioni devono essere preventivamente validati mediante prove sperimentali. Per barre di diametro $\varnothing > 32\text{mm}$ occorrerà adottare particolari cautele negli ancoraggi e nelle sovrapposizioni. In ogni caso le giunzioni e le sovrapposizioni delle barre **devono essere eseguite esclusivamente come indicato sulle tavole di progetto**.

Ove non specificato, verrà interpellato il Direttore dei Lavori che rilascerà nota scritta di completamento.

7.2.4 Piegatura delle barre

Le armature devono essere piegate secondo i dettagli contenuti nelle tavole strutturali, con i raggi di curvatura non inferiori a quelli indicati sulle stesse, e di seguito riportati.



7.2.5 Certificati

Tutte le forniture di acciaio saranno accettate solo se accompagnate da copia conforme del relativo certificato del Laboratorio Ufficiale relativo al tipo di armatura di cui trattasi; saranno munite di legature con il marchio del produttore e le singole barre saranno contraddistinte dal marchio di laminazione a caldo.

La data del certificato non dovrà essere anteriore di tre mesi a quella di spedizione.

L'eventuale saldabilità delle barre, ove richiesta, e le relative modalità di saldatura dovranno essere indicate nel catalogo del produttore.

Nel caso di acciai privi di certificato di saldabilità è proibita la saldatura anche per le gabbie.

7.2.6 Prove di laboratorio

Su indicazione della D.L., per ogni partita di acciaio e per ogni diametro si dovranno prelevare n.3 spezzoni da inviarsi ad un Laboratorio Ufficiale.

7.3 Materiali ferrosi vari

I materiali ferrosi da impiegare nei lavori dovranno essere esenti da scorie, soffiature, sbrecciature e da qualsiasi altro difetto apparente o latente di fusione, laminazione, trafilatura o simili.

8 Ancoranti

8.1 Generalità

È ammesso l'uso di dispositivi ancoranti al fine di collegare strutture o parti di struttura che altrimenti risulterebbero staccate. I principi di tenuta per le varie tipologie di ancoranti sono specificati dal produttore degli stessi, e riconducibili ai seguenti:

- attrito: il carico è trasmesso al materiale base per mezzo della forza di attrito che si sviluppa in virtù della forza di espansione prodotta dall'ancorante stesso;
- forma: il carico è in equilibrio con le forze portanti agenti sul materiale base;
- adesione chimica: quando tra l'ancorante e la parete del foro viene a crearsi un legame chimico in virtù di una resina sintetica interposta.

8.2 Requisiti

A seconda della tipologia di ancorante, il produttore suggerisce varie tecniche di installazione che comprende le operazioni di foratura del materiale base, di pulizia del foro, di installazione dell'ancorante, e del serraggio (eventualmente con controllo di coppia di serraggio).

Si fa **obbligo di seguire le istruzioni di posa** dettate dal produttore dell'ancorante.

Ogni modifica alle suddette istruzioni può essere effettuata previa approvazione da parte del Direttore dei Lavori.

8.3 Tipologie

Sono ammesse le seguenti tipologie di ancoraggio:

ancoraggio chimico

- ancoranti con ferri ad aderenza migliorata (acciaio da C.A.)

9 Prescrizioni finali

9.1 Controllo delle lavorazioni di cantiere

L'impresa, a mezzo suo rappresentante di fiducia incaricato a mezzo nota scritta all'inizio cantiere, è tenuta a controllare accuratamente tutte le lavorazioni di cantiere e la loro corrispondenza con le misure di progetto; in caso di discordanza con il progetto è tenuta ad avvisare immediatamente la D.L. prima di proseguire i lavori.

Prima di qualsiasi getto l'Impresa controllerà tutte le armature emettendo rapportino scritto di tale controllo debitamente firmato; dopo il controllo e sempre prima di ogni getto, l'Impresa avviserà la D.L. per la supervisione ed attenderà il benestare della stessa per iniziare le operazioni di getto.

9.2 Nota di responsabilità

Le tavole di progetto riportano, oltre le misure di assieme e le dimensioni dei profili, lo sviluppo dei particolari di officina. Il Costruttore, prima di procedere nella costruzione farà propri tali disegni controllandone la coerenza e la congruità con lo stato di fatto del cantiere. Pur essendo i disegni sviluppati con massima diligenza, si presuppone che il Costruttore, prima di iniziare la produzione, controlli tutte le quote e la loro congruenza fra le varie interfacce. In caso di quote errate o non congruenti dovrà essere informato tempestivamente il Progettista, che provvederà alla revisione del disegno; comunque nessun altro onere potrà essere addebitato al Progettista e/o al Committente.

Il Costruttore dovrà effettuare in officina il premontaggio delle strutture al fine di individuare errori di disegno o di esecuzione.

Eventuali ritardi od oneri dovuti ad errori riscontrati in cantiere (compresi anche gli errori di disegno) a seguito del mancato premontaggio in officina o ad esecuzione incompleta, saranno addebitati al Costruttore.

L'inizio della fabbricazione presuppone la tacita approvazione, da parte del Costruttore, della presente nota.

Limena, Ottobre 2017

dott. ing. Michele Schiavo
n° 2879 Albo Ingegneri - Padova
Ing. Michele Schiavo
