

**REGIONE
PUGLIA**



**acquedotto
pugliese**
l'acqua, bene comune

**Autorità idrica
pugliese**

CUP: E87B15000620005

PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI 2016 - 2019
A CARICO DEI PROVENTI TARIFFARI GIUSTA DELIBERA DEL CONSIGLIO DIRETTIVO AIP N. 31 DEL 28/06/2018

REALIZZAZIONE DELLA RETE IDRICA NELL'ABITATO DI CASTELLANETA E POTENZIAMENTO DEL SERBATOIO - PROGETTO DEFINITIVO-

Il Responsabile del Procedimento
ing. Gaetano jr BARBONE

PROGETTAZIONE

Il Coordinatore del progetto,
Progettista parti idrauliche e opere elettriche/elettromeccaniche e
Coordinatore della Sicurezza in fase progettuale
ing. Michele Alessandro SALIOLA

Il Progettista delle strutture
ing. Tommaso DI LERNIA

Il Geologo e Progettista ambientale
dott. Alfredo DE GIOVANNI

Collaboratori
ing. Antonio DISCIPIO
geom. Ruggiero LANOTTE
ing. Francesco Pellegrino PAPEO
Ing. Francesco RUCCIA
ing. Francesco SARCINA
geom. Pietro SIMONE

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione
ing. Massimo PELLEGRINI



**acquedotto
pugliese**
l'acqua, bene comune

Direzione Ingegneria

Il Direttore
ing. Andrea VOLPE

Elaborato

C.12

Disciplinare Cemento Armato

Codice Intervento: P1388

Codice SAP: 21/19073

Prot. 33246

Data 10/04/2019

Scala:

N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato
00	APR.2019	Emesso per PROGETTO DEFINITIVO	/	/	/



**DISCIPLINARE PER LA FORNITURA E LA POSA IN
OPERA DI CALCESTRUZZO ARMATO PER
STRUTTURE ADIBITE AL CONTENIMENTO DI
ACQUE POTABILI**

A cura di
Ing. Massimo Pellegrini

Edizione Ottobre 2015

INDICE

1. GENERALITA'	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO	7
4. CALCESTRUZZO	8
4.1 Costituenti del calcestruzzo	8
4.1.1 Cementi	8
4.1.2 Aggiunte.....	10
4.1.2.1 Ceneri volanti (ceneri di carbone o fly ash)	10
4.1.2.2 Fumo di silice (microsilice o silica fume)	10
4.1.3 Aggregati	11
4.1.3.1 Aggregati di riciclo	12
4.1.4 Additivi	13
4.1.4.1 Additivi fluidificanti e superfluidificanti	13
4.1.4.2 Additivi aeranti	13
4.1.4.3 Additivi ritardanti	14
4.1.4.4 Additivi acceleranti.....	14
4.1.4.5 Antievaporanti	14
4.1.4.6 Disarmanti	14
4.1.5 Acqua d'impasto	14
4.2 Caratteristiche della miscela	14
4.2.1 Prescrizioni per la durabilità	14
4.2.2 Classi di resistenza	16
4.2.3 Classi di esposizione ambientale	17
4.2.4 Rapporto a/c	21
4.2.4.1 Tenuta idraulica	21
4.2.5 Classi di consistenza – lavorabilità	22
4.2.6 Granulometria degli aggregati e D_{max}	24
4.2.7 Requisiti minimi delle miscele in funzione del loro campo di impiego	24
4.2.8 Copriferro.....	26
4.2.9 Contenuto d'aria	29
4.2.10 Acqua di bleeding	29
4.2.11 Classe di Contenuto di cloruri	29
5. ACCIAIO TONDO	30
5.1 Saldabilità e composizione chimica	30
5.2 Proprietà meccaniche	31
5.3 Resistenza a fatica in campo elastico.....	31
5.4 Resistenza a carico ciclico in campo plastico.....	31
5.5 Diametri e sezioni equivalenti	32

5.6 Aderenza e geometria superficiale	32
6. ELEMENTI PREFABBRICATI IN C.A., C.A.V. E C.A.P.	33
7. QUALIFICA E ACCETTAZIONE DEI MATERIALI	34
a. Controlli sul calcestruzzo	34
7.1.1 Qualifica del calcestruzzo	34
7.1.2 Controlli di accettazione del calcestruzzo	35
7.1.3 Controllo della lavorabilità del calcestruzzo	36
7.1.4 Proprietà reologiche per i calcestruzzi autocompattanti (SCC)	36
7.1.5 Eventuali controlli aggiuntivi sul calcestruzzo	36
b. Controlli sull'acciaio	37
7.2.1 Controllo della documentazione	37
7.2.2 Controllo di accettazione	38
7.2.3 Prova di piega e raddrizzamento	40
8. POSA IN OPERA DEI MATERIALI	41
8.1 Calcestruzzo	41
8.1.1 Accorgimenti per i getti alle basse alte temperature ambientali	41
8.1.2 Accorgimenti per l'esecuzione dei getti	43
8.1.3 Accorgimenti per la compattazione dei getti	43
8.1.4 riprese di getto	44
8.1.5 Distanziatori	45
8.1.6 Tolleranze esecutive	45
8.1.7 Casseforme	46
8.1.7.1 Caratteristiche delle casseforme	46
8.1.7.2 Pulizia e trattamento	47
8.1.7.3 Predisposizione di fori, tracce e cavità	47
8.1.7.4 Disarmo	47
8.1.7.5. Getti faccia a vista	48
8.1.8. Stagionatura	48
8.2 Acciaio	50
8.2.1 Lavorazioni in cantiere - Raggi minimi di curvatura	50
8.2.2 Deposito e conservazione in cantiere	50
8.2.3 Assemblaggio barre di armatura	50
9. PRESCRIZIONI MINIME DETTAGLIATE PER LE DIVERSE TIPOLOGIE STRUTTURALI	52

1. GENERALITA'

Il presente disciplinare riporta le prescrizioni tecniche (sui materiali impiegati, sulla loro progettazione e prescrizione e la relativa messa in opera), le prove di qualifica e le norme di riferimento sia per il calcestruzzo sia per l'acciaio tondo da cemento armato da utilizzare per la realizzazione di strutture che devono entrare in contatto con acque destinate al consumo umano.

In questo caso le prescrizioni tecniche, hanno l'obiettivo da un lato di mitigare l'azione di degrado del calcestruzzo armato, promosso dagli agenti aggressivi (es. cloro) garantendo quindi la durabilità, e dall'altro, a preservare la funzionalità dell'opera idraulica assicurando quelle caratteristiche tipiche di queste strutture, come l'impermeabilità (tenuta idraulica) e l'atossicità dei prodotti impiegati.

Ai sensi del REGOLAMENTO UE 305/11 "PRODOTTI DA COSTRUZIONE" tutti i prodotti da costruzione impiegati, coperti da una norma armonizzata (e quindi soggetti all'obbligo di Marcatura CE) o sottoposti ad una Valutazione Tecnica Europea (ETA), devono essere accompagnati dalla Dichiarazione di Prestazione per poter recare la marcatura CE.

I requisiti dei materiali devono essere individuati in fase di progetto e riportati sottoforma di prescrizioni all'interno de:

- ❑ gli elaborati grafici di progetto
- ❑ la relazione tecnica sui materiali: nella quale tra l'altro lo stesso team di progettazione, secondo il D.M.2008, deve indicare anche le regole e la durata della maturazione del calcestruzzo

I Produttori di calcestruzzo preconfezionato, in accordo a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14/01/08), dovranno possedere impianti dotati di un **Sistema di Controllo della Produzione (FPC)** effettuata in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato (2003) certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato che opera in coerenza con la UNI EN 45012.

I produttori di acciaio tondo per cemento armato, per ogni loro prodotto, dovranno possedere l'Attestato di Qualificazione del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e dovranno essere inseriti nel Catalogo Ufficiale dei Prodotti Qualificati reso disponibile dal Servizio tecnico Centrale.

I produttori di additivi, aggiunte, ecc., utilizzati per il confezionamento dei calcestruzzi dovranno fornire una dichiarazione di compatibilità con l'acqua potabile (analisi della cessione conforme al D.M. n. 174 del 06.04.2004 e all'allegato I parte B del d.lgs. n. 31 del 02.02.2001) rilasciata da Laboratorio certificato.

Per quanto non specificato presente nel disciplinare, si fa riferimento alla normativa indicata nel paragrafo successivo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per Costruzioni Circolare 02/02/2009 n. 617/CSLLPP 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 206-1:2006	<i>Calcestruzzo, Specificazione, prestazione, produzione e conformità</i>
UNI 11104:2004	<i>Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1</i>
UNI EN 197-1: 2011	<i>Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni</i>
UNI 9606	<i>Cementi resistenti al dilavamento della calce</i>
UNI EN 12620	<i>Aggregati per calcestruzzo</i>
UNI 8520 Parte 1 e 2	<i>Aggregati per calcestruzzo-Istruzioni complementari per l'applicazione in Italia della norma UNI-EN 12620 - Requisiti</i>
UNI EN 1008:2003	<i>Acqua d'impasto per il calcestruzzo</i>
UNI EN 934-2	<i>Additivi per calcestruzzo</i>
UNI EN 450	<i>Ceneri volanti per calcestruzzo</i>
UNI-EN 13263 parte 1 e 2	<i>Fumi di silice per calcestruzzo</i>
UNI EN 12350-2	<i>Determinazione dell'abbassamento al cono</i>
UNI EN 12350-5	<i>Determinazione dello spandimento alla tavola a scosse</i>
UNI EN 12350-7	<i>Misura del contenuto d'aria sul calcestruzzo fresco</i>
UNI 7122	<i>Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità di acqua d'impasto essudata</i>
UNI EN 12390 Parte 1, 2, 3 e 4	<i>Procedura per il confezionamento dei provini destinati alla valutazione della resistenza meccanica a compressione</i>
prEN 13791	<i>Valutazione della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo(in situ) della struttura in opera</i>

UNI EN 12504-1:2002	<i>Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Carote: valutazione della resistenza a compressione</i>
EN 10080 Ed. maggio 2005	<i>Acciaio per cemento armato</i>
UNI EN ISO 15630 -1/2	<i>Acciai per cemento armato: Metodi di prova</i>
EUROCODICE 2- UNI ENV 1992	<i>Progettazione delle strutture in c.a.</i>
UNI ENV 13670-1	<i>Execution of concrete structures</i>
UNI 8866	<i>Disarmanti</i>
REG. UE 305/11	<i>Prodotti da costruzione</i>

3. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

I serbatoi (pensili ed interrati) e tutte le opere ad essi equiparabili, rientrano tra le infrastrutture di *importanza strategica* di competenza statale ai sensi del Decreto del Capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (allegato A p.to 2 n. 3 - *strutture connesse con il funzionamento di acquedotti interregionali*) nonché tra le opere strategiche di competenza regionale ai sensi della Deliberazione della Giunta Regionale n. 153 del 2 marzo 2004 (allegato 2 elenco A p.to 2 n. 3 - *strutture connesse al funzionamento di acquedotti locali*).

Pertanto sulla base delle indicazioni contenute nelle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008, nella Circolare del 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LLPP. e nel DGR del 31 maggio 2011 n. 1214 (A4 lett f - *strutture primarie connesse con il funzionamento di acquedotti*) per tali opere strutturali si dovranno assumere i seguenti parametri da utilizzare in presenza di azioni sismiche:

- Vita Nominale dell'opera (V_n - Tab 2.4.I): costruzioni di tipo 3 - Opere di importanza strategica - 100 anni;
- Classe d'uso (par. 2.4.2): IV - costruzioni con funzioni strategiche importanti;
- Coefficiente d'uso (C_u - Tab. 2.4.II): 2,0.

Risulta un periodo di riferimento per l'azione sismica (Par. 2.4.3) pari a:

- $V_R = V_n \cdot C_u = 100 \cdot 2,0 = 200$ anni

4. CALCESTRUZZO

4.1 Costituenti del calcestruzzo

4.1.1 Cementi

Tutti i manufatti in c.a. e c.a.p. dovranno essere eseguiti impiegando unicamente cementi provvisti di attestato di conformità CE che soddisfino i requisiti previsti dalla norma UNI EN 197-1:2011.

Qualora vi sia l'esigenza di eseguire getti massivi, al fine di limitare l'innalzamento della temperatura all'interno del getto in conseguenza della reazione di idratazione del cemento, sarà opportuno utilizzare cementi comuni a basso calore di idratazione contraddistinti dalla sigla LH contemplati dalla norma UNI EN 197-1:2011.

La sigla LH deve essere riportata sulla DoP rilasciata dal produttore del cemento e sul relativo marchio CE

Se è prevista una classe di esposizione XA, secondo le indicazioni della norma UNI EN 206 e UNI 11104, conseguente ad un'aggressione di tipo solfatico, sarà necessario utilizzare cementi resistenti ai solfati in accordo con la UNI EN 197-1:2011.

Questa tipologia di cemento per sua composizione presenta un basso tenore di alluminato tricalcico C₃A, componente base del clinker che, a contatto con acque e terreni solfatici, da origine alla formazione di ettringite.

Tale sale genera un aumento di volume e di sforzi di trazione all'interno della pasta cementizia, con conseguenti fenomeni di fessurazioni e distacchi del calcestruzzo.

A mero titolo esemplificativo per i cementi tipo I - Portland vale quanto di seguito indicato:

Classe di esposizione	Concentrazione di SO ₄ ²⁻ nelle acque (mg/kg) EN 206-1	Tipo di cemento UNI 9156	Tipo di cemento EN 197-1
XA1 (attacco debole)	≥ 200- ≤ 600	MRS	SR5
XA2(attacco moderato)	> 600 - ≤3.000	ARS	SR3
XA3 (attacco forte)	> 3.000- ≤ 6.000	AARS	SR0

Classe di esposizione	Concentrazione di SO ₄ ²⁻ nel terreno (mg/kg) EN 206-1	Tipo di cemento UNI 9156	Tipo di cemento EN 197-1
XA1 (attacco debole)	≥ 2.000 - ≤ 3.000	MRS	SR5
XA2(attacco moderato)	> 3.000 - ≤ 12.000	ARS	SR3
XA3 (attacco forte)	> 12.000 - ≤ 24.000	AARS	SR0

Con l'entrata in vigore nella UNI EN 197-1:2011, che ha sostituito la norma nazionale UNI 9156, i cementi resistenti ai solfati devono essere obbligatoriamente caratterizzati dalla sigla SR.

Potranno essere dotati di tali sigla solo i seguenti tipi di cemento che rispettano i requisiti aggiuntivi introdotti dalla suddetta norma:

- CEM I;
- CEM III;
- CEM IV A e IV B.

La sigla SR deve essere riportata sulla DoP rilasciata dal produttore del cemento e sul relativo marchio CE

Se è prevista invece una classe di esposizione XA, secondo le indicazioni della norma UNI EN 206 e UNI 11104, conseguente al contatto con acque dilavanti (acque molto pure o ricche di anidride carbonica aggressiva), che possono causare il dilavamento della calce, sarà necessario utilizzare cementi resistenti alle acque dilavanti, in accordo con la UNI 9606.

Questa tipologia di cementi presenta un basso tenore di solfato tricalcico C_3S , componente base del clinker al quale è dovuta la principale presenza di idrossidi di calcio e conseguentemente di calce libera nel calcestruzzo.

Il dilavamento della calce, da parte di acque pure o contenenti CO_2 aggressiva, genera un aumento della microporosità nella matrice cementizia del calcestruzzo.

In funzione della concentrazione di anidride carbonica libera nell'acqua si dovranno impiegare cementi a moderata, alta o altissima resistenza.

A mero titolo esemplificativo vale quanto di seguito indicato:

Classe di esposizione	Concentrazione di CO_2 aggressiva nelle acque (mg/l)	Tipo di cemento
XA1	$\geq 15 - \leq 40$	MRD
XA2	$> 40 - \leq 100$	ARD
XA3	> 100	AARD

Per attacchi più severi di quelli previsti dalle classi di esposizione XA (attacco molto forte) si rende necessario ricorrere a protezioni supplementari, utilizzando delle protezioni superficiali quali guaine, resine o pitture impermeabilizzanti.

Per le strutture idrauliche, quali i serbatoi, può risultare opportuno prevedere l'impiego di cementi pozzolanici (CEM IV) o con loppa d'altoforno (CEM III) per ridurre la potenziale diffusione dei cloruri nonché il coefficiente di permeabilità della matrice cementizia.

Infatti, in letteratura questi cementi, in particolare il CEM III, hanno una maggiore resistenza alla penetrazione dei cloruri, pertanto sono in grado di ridurre, a parità di rapporto a/c, la diffusività dei cloruri nella matrice cementizia e quindi rallentare il raggiungimento della concentrazione critica per l'innesco del *pitting* delle armature.

4.1.2 Aggiunte

Per le aggiunte di tipo I (aggiunte praticamente inerti) si farà riferimento alla norma UNI EN 12620.

Per le aggiunte di tipo II (aggiunte pozzolaniche o ad attività idraulica latente) si farà riferimento alla UNI 11104 punto 4.2 e alla UNI EN 206-1 punto 5.1.6 e punto 5.2.5.

La conformità delle aggiunte alle relative norme dovrà essere dimostrata in fase di verifica preliminare delle miscele (controllo di conformità) e, in seguito, ogni qualvolta la D.L. ne faccia richiesta.

4.1.2.1 Ceneri volanti (ceneri di carbone o fly ash)

Le ceneri provenienti dalla combustione del carbone, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 450 e provviste di marcatura CE in ottemperanza alle disposizioni legislative in materia di norma armonizzata.

Le ceneri devono appartenere ad una delle tre "categorie" A / B / C in funzione della perdita al fuoco/tenore di incombusti con l'obbligo con l'obbligo di dichiarazione della categoria sul sacco e/o sul documento di trasporto (DDT).

Le ceneri non conformi alla UNI EN 450, ma conformi alla UNI EN 12620 possono essere utilizzate nel calcestruzzo come aggregato.

Ai fini del calcolo del rapporto a/c equivalente il coefficiente k per le ceneri conformi alla UNI-EN 450, definito al punto 5.2.5.2 della UNI-EN 206-1 verrà desunto in accordo al prospetto 3 della UNI 11104, qui di seguito riportato per comodità.

Tipo di cemento	Classi di resistenza	Valori di k
CEM I	32.5 N, R	0.2
CEM I	42.5 N, R 52.5 N, R	0.4
CEM IIA	32.5 N, R 42.5 N, R	0.2
CEM IIIA	32.5 N, R 42.5 N, R	0.2
CEM IVA	32.5 N, R 42.5 N, R	0.2
CEM VA	32.5 N, R 42.5 N, R	0.2

4.1.2.2 Fumo di silice (microsilice o silica fume)

I fumi di silice provenienti dalle industrie che producono il silicio metallico e le leghe ferro-silicio, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 13263 parte 1 e 2 e provviste di marcatura CE in ottemperanza alle disposizioni legislative in materia di norma armonizzata.

Il fumo di silice ha un comportamento analogo a quello dei CEM III e CEM IV sia nel ridurre la diffusività dei cloruri sia nella capacità di ridurre la porosità capillare e la dimensione dei pori del calcestruzzo (*refinement*) riducendo così sia il rischio di carbonatazione sia il coefficiente di permeabilità della matrice garantendo inoltre un impasto più coeso, e, quindi, una maggiore resistenza alla segregazione e al *bleeding* in fase di getto.

Il fumo di silice può essere utilizzato allo stato naturale (in polvere così come ottenuto all'arco elettrico), come sospensione liquida ("*slurry*") di particelle con contenuto secco del 50% in massa oppure in sacchi di premiscelato contenenti fumo di silice e additivo superfluidificante.

Se impiegato in forma di *slurry* il quantitativo di acqua apportato dalla sospensione contenente fumo di silice dovrà essere tenuto in conto nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente.

In deroga a quanto riportato al punto 5.2.5.2.3 della norma UNI EN 206 la quantità massima di fumo di silice che può essere considerata agli effetti del rapporto acqua/cemento equivalente e del contenuto di cemento deve soddisfare il requisito:
fumo di silice $\leq 7\%$ rispetto alla massa di cemento.

Se la quantità di fumi di silice che viene utilizzata è maggiore, l'eccesso non deve essere considerato agli effetti del concetto del valore k.

Ai fini del calcolo del rapporto a/c equivalente il coefficiente k verrà desunto dal prospetto seguente che deve intendersi generalmente riferito a fumi di silice utilizzati nel confezionamento di calcestruzzi impiegando esclusivamente con cementi tipo I e CEM II-A di classe 42,5 e 42,5R conformi alla UNI EN 197-1:

- per un rapporto acqua/cemento prescritto $\leq 0,45$ $k = 2,0$
- per un rapporto acqua/cemento prescritto $> 0,45$ $k = 2,0$ eccetto $k = 1,0$ per le classi di esposizione XC e XF.

La quantità (cemento + k * quantità fumo di silice) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui la struttura ricade.

L'impiego di fumo di silice con cementi diversi da quelli sopramenzionati è subordinato all'approvazione preliminare della D.L.

4.1.3 Aggregati

Gli aggregati utilizzabili, ai fini del confezionamento del calcestruzzo, debbono possedere marcatura CE secondo D.P.R. 246/93 e successivi decreti attuativi.

Gli aggregati debbono essere conformi ai requisiti della normativa UNI EN 12620 e UNI 8520-2 con i relativi riferimenti alla destinazione d'uso del calcestruzzo.

La massa volumica media del granulo in condizioni s.s.a. (saturo a superficie asciutta) deve essere pari o superiore a 2300 kg/m^3 .

A questa prescrizione si potrà derogare solo in casi di comprovata impossibilità di approvvigionamento locale, purché si continuino a rispettare le prescrizioni in termini di resistenza caratteristica a compressione e di durabilità specificati nei paragrafi successivi.

Per opere caratterizzate da un elevato rapporto superficie/volume, laddove assume un'importanza predominante la minimizzazione del ritiro igrometrico del calcestruzzo, occorrerà preliminarmente verificare che l'impiego di aggregati di minore massa volumica non determini un incremento del ritiro rispetto ad un analogo conglomerato confezionato con aggregati di massa volumica media maggiore di 2300 Kg/m³.

Per i calcestruzzi con classe di resistenza caratteristica a compressione maggiore di C50/60 preferibilmente dovranno essere utilizzati aggregati di massa volumica maggiore di 2600 kg/m³.

Gli aggregati dovranno rispettare i requisiti minimi imposti dalla norma UNI 8520 parte 2 relativamente al contenuto di sostanze nocive. In particolare:

- il contenuto di solfati solubili in acido (espressi come SO₃ da determinarsi con la procedura prevista dalla UNI-EN 1744-1 punto 12) dovrà risultare inferiore allo 0.2% sulla massa dell'aggregato indipendentemente se l'aggregato è grosso oppure fine (aggregati con classe di contenuto di solfati AS_{0,2});
- il contenuto totale di zolfo (da determinarsi con UNI-EN 1744-1 punto 11) dovrà risultare inferiore allo 0.1%;
- non dovranno contenere forme di silice amorfa alcali-reattiva o in alternativa dovranno evidenziare espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.

4.1.3.1 Aggregati di riciclo

In attesa di specifiche normative sugli aggregati di riciclo è consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti di cui alla Tabella che segue, a condizione che il calcestruzzo possieda i requisiti reologici, meccanici e di durabilità di cui ai paragrafi successivi.

Per tali aggregati, le prove di controllo di produzione in fabbrica saranno effettuate secondo i prospetti H1, H2 ed H3 dell'annesso ZA della norma UNI EN 12620; per le parti rilevanti, devono essere effettuate ogni 100 ton di aggregato prodotto e, comunque, negli impianti di riciclo, per ogni giorno di produzione.

Al fine di individuare i requisiti chimico-fisici aggiuntivi rispetto a quelli fissati per gli aggregati naturali, che gli aggregati riciclati devono rispettare, in funzione della destinazione finale del calcestruzzo e delle sue proprietà prestazionali, occorrerà fare specifico riferimento alla UNI 8520 parti 1 e 2.

Origine del materiale da riciclo	Rck [MPa]	Percentuale di impiego
Demolizioni di edifici (macerie)	= 10	fino al 100%
Demolizioni di solo cls e c.a.	≤ 37	≤ 30%
	≤ 25	fino al 60%

Riutilizzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati – da qualsiasi classe di calcestruzzi >C(45/55)	≤ 55	fino al 15%
	Stessa classe del calcestruzzo d'origine	fino al 5%

4.1.4 Additivi

Gli additivi per la produzione del calcestruzzo devono possedere la marcatura CE ed essere conformi, in relazione alla particolare categoria di prodotto cui essi appartengono, ai requisiti imposti dai rispettivi prospetti della norma UNI EN 934 (parti 2, 3, 4, 5).

Per gli altri additivi che non rientrano nelle classificazioni della norma si dovrà verificarne l'idoneità all'impiego in funzione dell'applicazione e delle proprietà richieste per il calcestruzzo.

Per le riprese di getto si potrà far ricorso all'utilizzo di ritardanti di presa e degli adesivi per riprese di getto.

Nel periodo invernale al fine di evitare i danni derivanti dalla azione del gelo, in condizioni di maturazione al di sotto dei 5°C, si farà ricorso, oltre che agli additivi superfluidificanti, all'utilizzo di additivi acceleranti di presa e di indurimento privi di cloruri.

Tutti gli additivi utilizzati per i calcestruzzi che dovranno entrare in contatto con acqua destinata al consumo umano, dovranno essere conformi alle prescrizioni del D.M. n. 174 del 06.04.2004 e del D.Lgs n. 31 del 02.02.2001.

4.1.4.1 Additivi fluidificanti e superfluidificanti

Al fine di ottenere il corretto rapporto a/c e la classe di lavorabilità prevista si potranno impiegare nel calcestruzzo additivi superfluidificanti conformi alla norma UNI EN 934-2, sia per quanto riguarda le caratteristiche chimico-fisiche che quelle prestazionali.

Il dosaggio degli additivi dovrà essere conforme a quello dichiarato dalle schede tecniche del produttore.

Nel caso in cui una miscela richieda un dosaggio superiore a tali limiti per garantire le prestazioni richieste fino alla fine dello scarico della betoniera, si dovrà passare all'impiego di un additivo con prestazioni superiori, per evitare problemi di segregazione ed influenzare i tempi di presa del calcestruzzo.

4.1.4.2 Additivi aeranti

In caso di conglomerati cementizi per la realizzazione di opere sottoposte a cicli di gelo e disgelo dovranno essere utilizzati specifici additivi aeranti, come prescritto dalle normative UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004, al fine di garantire il rispetto delle prescrizioni di cui ai successivi punti relativi al contenuto di aria occlusa.

4.1.4.3 Additivi ritardanti

Additivi ritardanti potranno essere eccezionalmente utilizzati, previa idonea qualifica e preventiva approvazione da parte della Direzione Lavori, per:

- particolari opere che necessitano di getti continui e prolungati, al fine di garantire la loro corretta monoliticità;
- getti in particolari condizioni climatiche (es. periodo estivo);
- singolari opere ubicate in zone lontane e poco accessibili dalle centrali/impianti di betonaggio.

4.1.4.4 Additivi acceleranti

Nel periodo invernale al fine di evitare i danni derivanti dalla azione del gelo, in condizioni di maturazione al di sotto dei 5°C, si farà ricorso, oltre che agli additivi superfluidificanti, all'utilizzo di additivi acceleranti di presa e di indurimento privi di cloruri.

4.1.4.5 Antievvaporanti

Eventuali prodotti antievvaporanti filmogeni devono rispondere alle norme UNI da 8656 a 8660.

L'Appaltatore deve sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori la documentazione tecnica sul prodotto e sulle modalità di applicazione; egli deve accertarsi, che il materiale impiegato sia compatibile con prodotti di successive lavorazioni (ad esempio con il primer di adesione di guaine per impermeabilizzazione di solette) e che non interessi le zone di ripresa del getto.

4.1.4.6 Disarmanti

Come disarmanti è vietato usare lubrificanti di varia natura e oli esausti.

Dovranno invece essere impiegati prodotti specifici, conformi alla Norma UNI 8866 parti 1 e 2 per i quali sia stato verificato che non macchino o danneggino la superficie del conglomerato cementizio indurito.

4.1.5 Acqua d'impasto

Per la produzione del calcestruzzo dovranno essere impiegate le acque potabili e quelle di riciclo conformi alla UNI EN 1008:2003.

4.2 Caratteristiche della miscela

4.2.1 Prescrizioni per la durabilità

Ogni calcestruzzo dovrà soddisfare i seguenti requisiti di durabilità in accordo con quanto richiesto dalle norme UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004 e dalle Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale.

Tali requisiti dovranno essere prescritti dal progettista il quale **non dovrà trascurare gli effetti dell'ambiente sui materiali da costruzione: in particolare è vincolato a considerare le caratteristiche fisico-meccaniche del calcestruzzo, allo stato fresco e**

indurito, al fine di garantire la durabilità delle prestazioni del materiale e della struttura durante l'intera vita d'uso della struttura stessa.

Tali prescrizioni per le opere di contenimento di acqua dovranno garantire anche una bassa permeabilità del conglomerato.

A tal fine dovranno essere sempre indicati i seguenti requisiti minimi:

REQUISITI DI BASE per prescrivere un calcestruzzo a prestazione garantita sono:

1) Per il calcestruzzo ordinario:

- ❑ Richiesta di conformità alla Uni En 206-1:2006 ;
- ❑ Classe, o combinazione di classi, di esposizione ambientale (Prospetto 1- Uni 11104:2004);
- ❑ Classe di resistenza caratteristica minima a compressione (Prospetto 4- Uni 11104:2004);
- ❑ Rapporto acqua/cemento massimo
- ❑ Contenuto minimo di cemento
- ❑ Dimensione massima nominale dell'aggregato;
- ❑ Classe di consistenza (lavorabilità al getto – vedi tabelle in 4.2.5);
- ❑ Classe di contenuto in cloruri (Uni En 206-1:2006).

In conformità alla UNI EN 206-1:2006 sono ammesse le prescrizioni delle consistenze anche attraverso dei valori di riferimento e le rispettive tolleranze per il controllo.

2) per il calcestruzzo leggero

- ❑ I medesimi requisiti di base del cls ordinario e in aggiunta:
- ❑ La classe di massa volumica, o il valore di riferimento per la massa volumica.

3) per il calcestruzzo pesante:

- ❑ I medesimi requisiti di base del cls ordinario e in aggiunta:
- ❑ Il valore di riferimento per la massa volumica

Nel caso vengano richiesti, al fine di garantire particolari prestazioni del materiale e della struttura, devono essere indicati anche eventuali **REQUISITI AGGIUNTIVI**

Per i getti massivi:

- ❑ Tipi o classi speciali di cemento (es. cemento a basso calore di idratazione conforme alla uni en 197-1);
- ❑ Sviluppo di calore durante l'idratazione;

Per strutture in clima rigido;

- ❑ Tipi o classi speciali di aggregato (es. aggregati non gelivi);
- ❑ Caratteristiche richieste per la resistenza al gelo-disgelo, per esempio il contenuto di aria;

Per strutture idrauliche:

- ❑ Resistenza alla penetrazione dell'acqua;

Per particolari esigenze di cantiere:

- ❑ Sviluppo della resistenza (es. struttura da realizzare e caricare a brevi stagionature, inferiori a 28 giorni);
- ❑ Presa ritardata;

E ancora:

- ❑ Resistenza all'abrasione;
- ❑ Resistenza alla trazione indiretta;
- ❑ Finiture particolari
- ❑ Metodi speciali di messa in opera

4.2.2 Classi di resistenza

Per indicare la classe di resistenza si utilizza nel seguito 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 ($1 N/mm^2 \cong 10 Kg/cm^2$).

Tab. 4.1 - *Classi di resistenza del calcestruzzo*

Classe di resistenza	f_{ck} (N/mm²)	R_{ck} (N/mm²)	Categoria del calcestruzzo
C8/10	8	10	NON STRUTTURALE
C12/15	12	15	
C16/20	16	20	
C20/25	20	25	STRUTTURALE ORDINARIO
C25/30	25	30	
C28/35	28	35	
C32/40	32	40	
C35/45	35	45	
C40/50	40	50	
C45/55	45	55	
C50/60	50	60	ALTE PRESTAZIONI
C55/67	55	67	
C60/75	60	75	
C70/85	70	85	ALTA RESISTENZA
C80/95	80	95	
C90/105	90	105	

4.2.3 Classi di esposizione ambientale

Ai fini di una corretta scelta del tipo e classe di calcestruzzo è fondamentale stabilire l'ambiente nel quale ciascun elemento strutturale dovrà essere inserito.

Per "ambiente", in questo contesto, si intende l'insieme di tutte le azioni chimiche e fisiche alle quali si presume che il calcestruzzo armato possa essere esposto durante il periodo di vita delle opere e che causano effetti che non possono essere classificati come azioni dirette (carichi) o indirette (deformazioni impresse, cedimenti, variazioni termiche) nella progettazione strutturale.

A seconda di tali azioni, sono individuate, nelle norme UNI 11104:2004 e UNI EN 206 - 1:2006 le classi e sottoclassi di esposizione ambientale elencate nella tabella seguente.

Tab. 4.2 - Classi di esposizione ambientale del calcestruzzo (prospetto 1 Uni 11104:2004)

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali
1 – Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco al calcestruzzo		
X0	Molto secco	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa
2 – Corrosione delle armature indotta da carbonatazione del calcestruzzo		
XC1	Secco	Interni di edifici con umidità relativa bassa
XC2	Bagnato, raramente secco	Parti di strutture di contenimento liquidi; Fondazioni
XC3	Umidità moderata	Interni di edifici con umidità da moderata ad alta – Calcestruzzo all'esterno riparato dalla pioggia
XC4	Ciclicamente secco e bagnato	Superfici a contatto diretto con acqua non comprese nella classe XC2
3 – Corrosione indotta dai cloruri		
XD1	Umidità moderata	Superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri
XD2	Bagnato, raramente secco	Piscine – Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente secco e bagnato	Parti di ponti - Pavimentazioni - Solette di parcheggi per auto
4 – Corrosione indotta dai cloruri dell'acqua di mare		
XS1	Esposizione alla salsedine marina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità della costa
XS2	Zone sommerse	Parti di strutture marine
XS3	Zone di maree, zone soggette a spruzzi	Parti di strutture marine
5 – Attacco da cicli di gelo/disgelo		
XF1	Grado moderato di saturazione, in assenza di agenti disgelanti	Superfici verticali esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Grado moderato di saturazione, in presenza di agenti disgelanti	Superfici verticali di opere stradali esposte al gelo e ad agenti disgelanti nebulizzati nell'aria

XF3	Grado elevato di saturazione, in assenza di agenti disgelanti	Superfici orizzontali esposti alla pioggia e al gelo
XF4	Grado elevato di saturazione, in presenza di agenti disgelanti	Impalcati stradali e ponti esposti ad agenti disgelanti – Superfici verticali e orizzontali esposte al gelo e a spruzzi d'acqua contenenti agenti disgelanti
6 – Attacco chimico		
XA1	Aggressività debole	
XA2	Aggressività moderata	
XA3	Aggressività forte	

Tab. 4.3 - Classi di esposizione ambientale - Attacco chimico

	GRADO DI ATTACCO		
	XA1 (debole)	XA2 (moderato)	XA3 (forte)
Agente aggressivo nelle acque			
Ph	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	4,5 - 4,0
CO ₂ aggressiva mg/l	15 - 30	30 - 60	60 - 100
ioni ammonio NH ₄ ⁺ mg/l	15 - 30	30 - 60	60 - 100
ioni magnesio Mg ⁺⁺ mg/l	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
ioni solfato SO ₄ ⁼ mg/l	200 - 400	400 - 1500	1500 - 6000
Agente aggressivo nel terreno			
ioni solfato SO ₄ ⁼ mg/kg di terreno seccato all'aria	2000 - 6000	6000 - 12000	> 12000

Di seguito è riportato il prospetto 4 della UNI 11104 con le indicazioni prestazionali minime per il calcestruzzo in funzione delle classi di esposizione ambientale.

		Classi di esposizione														Ambiente aggressivo per attacco chimico		
		Nessun rischio di corrosione dell'armatura		Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri				Attacco da cicli di gelo/disgelo						
				Acqua di mare		Cloruri provenienti da altre fonti												
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	X0																	
Minima classe di resistenza ^{*)}	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	C12/15	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C32/40	C35/45	C35/45	C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30	28/35	28/35	28,35	32/40	35/45
Contenuto minimo in aria (%)	-	300	320	340	340	340	360	360	320	340	360	320	340	360	360	320	340	360
Altri requisiti													3,0 ^{®)}					

^{*)} Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.

b) Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

4.2.4 Rapporto a/c

Il quantitativo di acqua efficace da prendere in considerazione nel calcolo del rapporto a/c equivalente è quello realmente a disposizione dell'impasto, dato dalla somma di:

(a_{aggr}) => quantitativo di acqua ceduto o sottratto dall'aggregato se caratterizzato rispettivamente da un tenore di umidità maggiore o minore dell'assorbimento (tenore di umidità che individua la condizione di saturo a superficie asciutta);

(a_{add}) => aliquota di acqua introdotta tramite gli additivi liquidi (se utilizzati in misura superiore a 3 l/m³) o le aggiunte minerali in forma di slurry (sospensione liquida);

(a_m) => aliquota di acqua introdotta nel mescolatore/betoniera;

ottenendo la formula:

$$a_{eff} = a_m + a_{aggr} + a_{add}$$

Il rapporto acqua/cemento sarà quindi da considerarsi come un rapporto acqua/cemento equivalente individuato dall'espressione più generale:

$$\left(\frac{a}{c}\right)_{eq} = \frac{a_{eff}}{(c + K_{cv} * cv + K_{fs} * fs)}$$

nella quale vengono considerate le eventuali aggiunte di ceneri volanti o fumi di silice all'impasto nell'impianto di betonaggio.

I termini utilizzati sono:

c => dosaggio per m³ di impasto di cemento;

cv => dosaggio per m³ di impasto di cenere volante;

fs => dosaggio per m³ di impasto di fumo di silice;

K_{cv} ; K_{fs} => coefficienti di equivalenza rispettivamente della cenere volante e del fumo di silice desunti dalla norma UNI-EN 206-1 ed UNI 11104 (vedi paragrafi 2.2.1 e 2.2.2).

4.2.4.1 Tenuta idraulica

Nelle vasche adibite al contenimento di acqua, il calcestruzzo deve garantire oltre che una bassa diffusività agli agenti aggressivi ai fini della durabilità, anche una bassa permeabilità ai fini della tenuta idraulica.

Entrambi i requisiti si raggiungono attraverso un idoneo valore del rapporto a/c del calcestruzzo.

Per le vasche di serbatoi, si considera come accettabile una profondità di penetrazione massima dell'acqua nel calcestruzzo minore di 10 mm¹ (misurata nelle condizioni previste dalla UNI EN 12390-8 – norma richiamata anche dalle NTC - ²), da letteratura è noto che questo equivale ad un coefficiente di permeabilità $K \leq 1 \cdot 10^{-13}$ m/s (secondo Darcy) ottenibile

¹ La DIN 1045 definisce come calcestruzzi impermeabili quelli la cui profondità di penetrazione massima dell'acqua sotto pressione non supera – su di uno spessore di almeno 40 cm – il valore di 50 mm. La UNI 9858 impone il valore massimo di penetrazione nel calcestruzzo pari a 20 mm.

² Provino cubico sottoposto per 3 giorni d una pressione d'acqua di 5 atm

in pratica con calcestruzzi aventi rapporti $a/c \leq 0,50$ e pertanto una resistenza non inferiore a $C(32/40)^3$.

Per contribuire a diminuire la permeabilità del calcestruzzo si può aggiungere nel mix design il fumo di silice (o di altre aggiunte a comportamento pozzolanico) il quale riduce la capillarità della matrice cementizia.

L'utilizzo degli additivi impermeabilizzanti non migliora l'impermeabilità del calcestruzzo poiché la loro funzione è quella di ridurre l'assorbimento capillare e di ostacolare la migrazione di acqua non in pressione all'interno del calcestruzzo.

Hanno invece un effetto positivo sulla tenuta idraulica gli additivi superfluidificanti che migliorano la lavorabilità del calcestruzzo, e pertanto la successiva compattazione senza intervenire sul rapporto a/c .

Risultano utili anche gli additivi compensatori di ritiro.

4.2.5 Classi di consistenza – lavorabilità

La lavorabilità, designata con il termine “consistenza” nella normativa vigente, è un indice delle proprietà e del comportamento del calcestruzzo nell'intervallo di tempo tra la produzione e la compattazione dell'impasto in sito nella cassaforma o tra la produzione e la finitura.

La lavorabilità viene comunemente valutata attraverso la misura della consistenza.

La consistenza, come la lavorabilità, è il risultato di più proprietà reologiche e, di conseguenza, può essere valutata solo in modo relativo, sulla base del comportamento dell'impasto fresco a determinate modalità di prova.

Il produttore del calcestruzzo dovrà adottare tutti gli accorgimenti in termini di ingredienti e di composizione dell'impasto per garantire che il calcestruzzo posseda al momento della consegna del calcestruzzo in cantiere la lavorabilità prescritta.

Salvo diverse specifiche e/o accordi con il produttore del conglomerato la lavorabilità al momento del getto verrà controllata all'atto del prelievo dei campioni per i controlli d'accettazione della resistenza caratteristica convenzionale a compressione secondo le indicazioni riportate sulle Norme Tecniche sulle Costruzioni.

La misura della lavorabilità verrà condotta in accordo alla UNI-EN 206-1 dopo aver proceduto a scaricare dalla betoniera almeno 0.3 mc di calcestruzzo.

In accordo con le specifiche di capitolato la misura della lavorabilità potrà essere effettuata mediante differenti metodologie. In particolare la lavorabilità del calcestruzzo può essere definita mediante:

- Il valore dell'abbassamento al cono di Abrams (UNI-EN 12350-2) che definisce la classe di consistenza o uno slump di riferimento oggetto di specifica;
- la misura del diametro di spandimento alla tavola a scosse (UNI-EN 12350-5).

³ Tali valori sono stati evidenziati a seguito dell'esperienze dopo anni di esperienze su provini utilizzando la metodologia della UNI EN 12390-8.

Tab. 4.4 - *Classi di consistenza mediante misura dell'abbassamento al cono*

Classe di consistenza	Abbassamento Mm	Denominazione corrente
S1	da 10 a 40	Umida
S2	da 50 a 90	Plastica
S3	da 100 a 150	Semifluida
S4	da 160 a 210	Fluida
S5	≥ 210	Superfluida

Tab. 4.5 - *Classi di consistenza mediante misura dello spandimento*

Classe Di consistenza	Spandimento Mm
FB1	≤ 340
FB2	da 350 a 410
FB3	da 420 a 480
FB4	da 490 a 550
FB5	da 560 a 620
FB6	≥ 630

Sarà cura del fornitore garantire in ogni situazione la classe di consistenza prescritta per le diverse miscele tenendo conto che sono assolutamente proibite le aggiunte di acqua in betoniera al momento del getto dopo l'inizio dello scarico del calcestruzzo dall'autobetoniera.

La classe di consistenza prescritta verrà garantita per un intervallo di tempo di 20-30 minuti dall'arrivo della betoniera in cantiere.

Trascorso questo tempo sarà l'impresa esecutrice responsabile della eventuale minore lavorabilità rispetto a quella prescritta. Il calcestruzzo con la lavorabilità inferiore a quella prescritta potrà essere a discrezione della D.L. :

- respinto (l'onere della fornitura in tal caso spetta all'impresa esecutrice);
- accettato se esistono le condizioni, in relazione alla difficoltà di esecuzione del getto, per poter conseguire un completo riempimento dei casseri ed una completa compattazione.

Il tempo massimo consentito dalla produzione dell'impasto in impianto al momento del getto non dovrà superare i 90 minuti e sarà onere del produttore riportare nel documento di trasporto l'orario effettivo di fine carico della betoniera in impianto.

Si potrà operare in deroga a questa prescrizione in casi eccezionali quando i tempi di trasporto del calcestruzzo dalla centrale di betonaggio al cantiere dovessero risultare superiori ai 75 minuti.

In questa evenienza si potrà utilizzare il conglomerato fino a 120 minuti dalla miscelazione dello stesso in impianto purché lo stesso possenga i requisiti di lavorabilità prescritti.

Inoltre, in questa evenienza dovrà essere accertato preliminarmente dal produttore e valutato dalla D.L. che le resistenze iniziali del conglomerato cementizio non siano penalizzate a causa di dosaggi elevati di additivi ritardanti impiegati per la riduzione della perdita di lavorabilità.

Le miscele a consistenza plastica - semifluida cadono nel campo di maggior sensibilità del metodo di abbassamento al cono.

In generale, data la selettività dei vari metodi di prova, si raccomanda di interpretare con cautela i risultati delle misure quando i valori cadono al di fuori dei seguenti limiti:

- abbassamento al cono: < 10 mm > 210 mm
- spandimento: < 340 mm > 620 mm

In relazione ai campi di sensibilità di cui sopra, è data facoltà all'Appaltatore, con approvazione da parte della Direzione Lavori, anche la qualifica dei calcestruzzi con uno slump di riferimento sulla base delle indicazioni della UNI EN 206-1:2006.

4.2.6 Granulometria degli aggregati e D_{max}

La percentuale di impiego di ogni singola classe granulometrica verrà stabilita dal produttore con l'obiettivo di conseguire i requisiti di lavorabilità e di resistenza alla segregazione di cui ai precedenti paragrafi.

La curva granulometrica ottenuta dalla combinazione degli aggregati disponibili, inoltre, sarà quella capace di soddisfare le esigenze di posa in opera richieste dall'impresa (ad esempio, pompabilità), e quelle di resistenza meccanica a compressione e di durabilità richieste per il conglomerato.

La dimensione massima dell'aggregato dovrà essere non maggiore di:

- $\frac{1}{4}$ della sezione minima dell'elemento da realizzare,
- dell'interferro ridotto di 5 mm,
- dello spessore del copriferro aumentato del 30% (in accordo anche con quanto stabilito dagli Eurocodici).

4.2.7 Requisiti minimi delle miscele in funzione del loro campo di impiego

Per il *mix design* dei calcestruzzi utilizzati per opere di contenimento di acqua potabile si deve far riferimento almeno alle prescrizioni minime delle classi di esposizione ambientale XD2 e XC4 le quali garantiscono sia una bassa permeabilità, per preservare la funzionalità dell'opera, che una bassa diffusività agli agenti aggressivi:

- rapporto a/c = 0,50;
- classe di resistenza a compressione minima C(32/40) = Rck 40; nel presente progetto si prevede l'impiego di calcestruzzo della classe di resistenza a compressione minima C(35/45) = Rck 45.

Per le strutture idrauliche che dovessero entrare in contatto con acque aggressive quali quelle provenienti da invasi posti a quote medio - alte sul livello del mare⁴ (oltre i 600 m di quota) occorre valutare attraverso un'analisi chimica delle acque la concentrazione di eventuale anidride carbonica libera disciolta sottoforma di acido carbonico: sostanza che può promuovere il degrado del calcestruzzo attraverso il dilavamento della pasta cementizia.

⁴ Le acque di alta montagna possono causare un'aggressione severa sia perché generalmente sono caratterizzate da un basso TAC (Titolo Alcalimetrico Completo) sia perché aumenta la solubilità della calce (portlandite) alle basse temperature.

In funzione della concentrazione rilevata di CO₂ libera disciolta in acqua dovrà essere individuata la classe XA corrispondente e associarla alle classi XC4+XD2 indicate in precedenza.

Nel caso in cui la concentrazione di acido carbonico sia tale da individuare una classe XA1 o XA2 allora la classe di resistenza e il rapporto a/c del calcestruzzo da considerare saranno ancora C(32/40) e a/c=0,50; nel presente progetto si prevede l'impiego di calcestruzzo della classe di resistenza a compressione minima C(35/45) = Rck 45.

Per contro nel caso in cui i risultati delle analisi dovessero indicare una concentrazione nel *range* della classe XA3 allora i requisiti necessari a garantire la durabilità saranno un rapporto non superiore a 0.45 e una classe di resistenza a compressione minima di C35/45.

Occorre ricordare che in caso di concentrazione di CO₂ tale da individuare una classe XA, dovrà essere prescritto l'utilizzo cemento resistente al dilavamento della calce, conforme alla UNI 9606.

In caso di strutture site in prossimità di zone costiere (fino a 2 Km dalla costa), ma non in contatto diretto con acqua di mare, queste possono essere generalmente inquadrate nella classe di esposizione XD2+XC4+XS1.

In caso di strutture site oltre i 600 metri, oggetto dei cicli gelo-disgelo, la classe di esposizione minima sarà XD2+XC4+XF1 e con aggregati non gelivi F2 o MS25 conformi alla UNI EN 12620

Di seguito sono schematizzate, in tabella 4.5, le principali casistiche oggetto del presente disciplinare.

Per ognuna di queste sono stati indicati i requisiti prestazionali minimi per il calcestruzzo, in conformità alle norme UNI EN 206-1:2006 e UNI:11104:2004, per garantire la durabilità in classe di Vita Nominale 3 (*opere di importanza strategica*) come previsto dal D.M.14/01/08.

Queste indicazioni rappresentano i valori minimi al di sotto dei quali i progettisti non dovranno scendere nell'individuare le resistenze di calcolo e le prescrizioni per la durabilità.

Le indicazioni riassunte in tabella 4.5 dovranno essere completate con quelle più dettagliate del capitolo 8 nel quale, per ogni casistica principale, sono state aggiunte le prescrizioni aggiuntive relative alle tipologie di cementi, all'impermeabilità, ai getti massivi ecc..., per garantire al meglio la durabilità delle strutture.

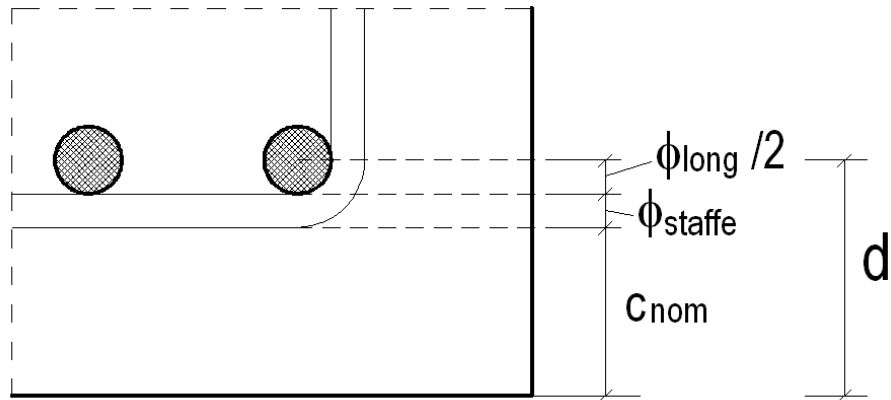
Tab. 4.5- Prescrizioni minime sul calcestruzzo in funzione del campo di impiego

Tipo	Classe di esposizione	Rapporto a/c max	Classe di lavorabilità	Classe di resistenza Minima Rck (Mpa)	% Aria Inglobata	Aggregati non gelivi	Tipo di Cem	Campi di Impiego
STRUTTURE A CONTATTO CON ACQUA POTABILE								
A	1	XD2+XC4	0,5	S4/S5	C(32/40) <i>Previsione di progetto C(35/45)</i>			strutture a contatto con vapori di cloro e acqua clorata (serbatoi pensili e seminterrati, ecc.)
	2	XD2+XC4+XF1	0,5	S4/S5	C(32/40) <i>Previsione di progetto C(35/45)</i>	F2 o MS25		Strutture del tipo A1 esposte al gelo ma non in contatto con sali disgelanti (serbatoi pensili e interrati, ecc.)
	3	XD2+XC4+XS1	0,5	S4/S5	C(32/40) <i>Previsione di progetto C(35/45)</i>			Strutture del tipo A2 costruite in zone costiere ma non a contatto diretto con acqua di mare (serbatoi pensili e interrati, ecc.)

4.2.8 Copriferro

L'EC 2 definisce COPRIFERRO NOMINALE (c_{nom}) la distanza tra la superficie dell'armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più prossima.

Tale valore non va confuso con il parametro (d') utilizzato nei calcoli per la definizione dell'altezza utile della sezione (d).



Il C_{nom} , che va indicato obbligatoriamente nei disegni esecutivi, è così definito:

$$C_{nom} [\text{mm}] = C_{min} + \Delta c = \max (C_{min,b}; C_{min,dur}; C_{min,fuoco}) + 10$$

dove:

- C_{min} = copriferro minimo per soddisfare i requisiti di aderenza, durabilità ed eventuale resistenza al fuoco; esso corrisponderà al maggiore dei tre valori;
- Δc = tolleranza di posizionamento delle armature, pari a 10mm^5 ;
- $C_{min,b} = \phi \sqrt{n_b}$ = copriferro minimo per garantire l'aderenza, pari al diametro per il numero di barre nel caso di eventuali gruppi di barre;
- $C_{min,fuoco}$ = garantisce la resistenza all'incendio (gli spessori sono riportati in EN 1992-1-2 e nel recente DM 16/02/07);
- $C_{min,dur}$ = copriferro minimo per garantire la durabilità dell'opera, definito dalle classi di esposizione.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei prospetti 4.4N e 4.5N dell'EC2, che si riferiscono a strutture con vita nominale di 100 anni (classe strutturale S6)

⁵ Si assume un valore di 5 mm quando si opera in regime di "garanzia di qualità", che prevede un'accurata verifica in opera degli spessori effettivi del copriferro, nonché del corretto posizionamento delle armature.

Tab. 4.6 - Spessori minimi del copriferro per garantire la durabilità secondo i prospetti 4.4N e 4.5N dell'EC 2:2005.

CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE	SPESSORE MINIMO DI COPRIFERRO ($c_{min,dur}$)	
	VITA NOMINALE 100 ANNI	
	C.A.	C.A.P.
X0	20	20
XC1	25	35
XC2, XC3	35	45
XC4	40	50
XS1, XD1	45	55
XS2, XD2	50	60
XS3, XD3	55	65

Nel caso di calcestruzzi a contatto con superfici irregolari, i valori del c_{min} debbono essere incrementati per tener conto delle maggiori tolleranze di esecuzione previste. L'incremento è proporzionale all'entità delle prevedibili irregolarità.

Il copriferro minimo deve essere almeno pari a 45 mm per un calcestruzzo gettato in opera contro terreni trattati (compreso calcestruzzo di spianatura – per es. pareti contro terra) e a 75 mm per un calcestruzzo gettato direttamente contro il terreno senza lisciatura delle pareti verticali di scavo (per es. pareti contro terra).

Tali valori tengono già conto della difficoltà o impossibilità, per le strutture di fondazione e contro terra, di rilevare visivamente un processo degenerativo del calcestruzzo e/o dei ferri d'armatura.

Nel presente progetto si opera in regime di “garanzia di qualità” e pertanto si prevede di considerare la tolleranza di esecuzione del copriferro pari a 5 mm.

Il piano di controllo per la verifica dei copriferri prevede la presenza di personale espressamente incaricato della verifica degli stessi e del corretto montaggio delle armature prima di ogni getto e in fase di getto. A richiesta della D.L. e comunque a fine lavori dovrà essere prodotto un report fotografico dettagliato delle verifiche eseguite da fornire al collaudatore ai sensi dell'art. 9.1 del D. M. Inff. 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

4.2.9 Contenuto d'aria

Contestualmente alla misura della lavorabilità del conglomerato (con frequenza diversa da stabilirsi con il fornitore del conglomerato) dovrà essere determinato il contenuto di aria nel calcestruzzo in accordo alla procedura descritta alla norma UNI EN 12350-7 basata sull'impiego del porosimetro.

Il contenuto di aria in ogni miscela prodotta dovrà essere conforme a quanto indicato nella tabella 4.1 (in funzione del diametro massimo dell'aggregato e dell'eventuale esposizione alla classe XF: strutture soggette a cicli di gelo/disgelo in presenza o meno di sali disgelanti).

4.2.10 Acqua di bleeding

L'essudamento di acqua dovrà risultare non superiore allo 0,1% in conformità alla norma UNI 7122.

4.2.11 Classe di Contenuto di cloruri

Per garantire la durabilità alla corrosione delle armature, il contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo⁶ secondo la UNI EN 206-1, deve essere inferiore al 0,2% (classe di contenuto di cloruri Cl 0,20)

⁶ Inteso come somma del contenuto di cloruri apportato dall'acqua, dal cemento dalle aggiunte minerali, dagli additivi e dagli aggregati.

5. ACCIAIO TONDO

L'acciaio da cemento armato ordinario comprende:

- barre d'acciaio tipo B450C(7) ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 40 \text{ mm}$), rotoli tipo B450C ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$);
- prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con diametri $\leq 16 \text{ mm}$ per il tipo B450C;
- reti elettrosaldate ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 12 \text{ mm}$) tipo B450C;
- tralici elettrosaldati ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 12 \text{ mm}$) tipo B450C;

Ognuno di questi prodotti deve rispondere alle caratteristiche richieste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M.14/01/2008, che specifica le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi di prova, le condizioni di prova e il sistema per l'attestazione di conformità per gli acciai destinati alle costruzioni in cemento armato che ricadono sotto la Direttiva Prodotti CPD (89/106/CE).

L'acciaio deve essere qualificato all'origine, deve portare impresso, come prescritto dalle suddette norme, il marchio indelebile che lo renda costantemente riconoscibile e riconducibile inequivocabilmente allo stabilimento di produzione.

5.1 Saldabilità e composizione chimica

La composizione chimica deve essere in accordo con quanto specificato nella tabella seguente:

Tab. 5.1 – Valori max di composizione chimica secondo D.M. 14/01/2008

Tipo di Analisi	CARBONIO ^a %	ZOLFO %	FOSFORO %	AZOTO ^b %	RAME %	CARBONIO EQUIVALENTE ^a %
Analisi su colata	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Analisi su prodotto	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

a = è permesso superare il valore massimo di carbonio per massa nel caso in cui il valore equivalente del carbonio venga diminuito dello 0,02% per massa.

b = Sono permessi valori superiori di azoto se sono presenti quantità sufficienti di elementi che fissano l'azoto.

⁷ In presenza di progettazioni indicanti ancora acciaio FeB44K, l'acciaio B450C dovrà essere accompagnato da certificato di qualificazione indicante il suo utilizzo anche come FeB44K

5.2 Proprietà meccaniche

Le proprietà meccaniche devono essere in accordo con quanto specificato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Tab. 5.2 – *Proprietà meccaniche secondo il D.M. 14/01/2008*

Proprietà	Valore caratteristico
f_y (N/mm ²)	$\geq 450 \alpha$
f_t (N/mm ²)	$\geq \square 540 \alpha$
f_t/f_y	$\geq \square 1,15 \beta$
A_{gt} (%)	$\leq 1,35 \beta \square \square$
$f_y/f_{y,nom}$	$\geq \square 7,5 \beta$
	$\leq \square 1,25 \beta$
α valore caratteristico con $p = 0,95$	
β valore caratteristico con $p = 0,90$	

5.3 Resistenza a fatica in campo elastico

Le proprietà di resistenza a fatica garantiscono l'integrità dell'acciaio sottoposto a sollecitazioni ripetute nel tempo.

La proprietà di resistenza a fatica deve essere determinata secondo UNI EN 15630.

Il valore della tensione σ_{max} sarà 270 N/mm² (0,6 $f_{y,nom}$). L'intervallo delle tensioni, 2σ deve essere pari a 150 N/mm² per le barre dritte o ottenute da rotolo e 100 N/mm² per le reti elettrosaldate.

Il campione deve sopportare un numero di cicli pari a 2×10^6 .

5.4 Resistenza a carico ciclico in campo plastico

Le proprietà di resistenza a carico ciclico garantiscono l'integrità dell'acciaio sottoposto a sollecitazioni particolarmente gravose o eventi straordinari (es. urti, sisma etc.).

La proprietà di resistenza al carico ciclico deve essere determinata sottoponendo il campione a tre cicli completi di isteresi simmetrica con una frequenza da 1 a 3 Hz e con lunghezza libera entro gli afferraggi e con deformazione massima di trazione e compressione seguente:

Tab. 5.3 – *Prova carico ciclico in relazione al diametro*

Diametro nominale (mm)	Lunghezza libera	Deformazione (%)
$d \leq 16$	5 d	± 4
$16 < 25$	10 d	$\pm 2,5$
$25 \leq d$	15 d	$\pm 1,5$

La prova è superata se non avviene la rottura totale o parziale del campione causata da fessurazioni sulla sezione trasversale visibili ad occhio nudo.

5.5 Diametri e sezioni equivalenti

Il valore del diametro nominale deve essere concordato all'atto dell'ordine. Le tolleranze devono essere in accordo con il D.M. 14/01/2008.

Tab. 5.4 – *Diametri nominali e tolleranze*

Diametro nominale (mm)	Da 6 a ≤ 8	Da > 8 a ≤ 50
Tolleranza in % sulla sezione	± 6	$\pm 4,5$

5.6 Aderenza e geometria superficiale

I prodotti devono avere una superficie nervata in accordo con il D.M. 14/01/2008.

L'indice di aderenza I_r deve essere misurato in accordo a quanto riportato nel paragrafo 11.2.2.10.4 del D.M. 14/01/2008. I prodotti devono aver superato le prove di Beam Test effettuate presso un Laboratorio Ufficiale (Legge 1086).

Tab. 5.5 – *Valori dell'indice I_r in funzione del diametro*

Diametro nominale (mm)	I_r
$5 \leq \emptyset \leq 6$	≥ 0.048
$6 < \emptyset \leq 8$	≥ 0.055
$8 < \emptyset \leq 12$	≥ 0.060
$\emptyset > 12$	≥ 0.065

6. ELEMENTI PREFABBRICATI IN C.A., C.A.V. E C.A.P.

Gli elementi costruttivi prefabbricati devono essere prodotti attraverso un processo industrializzato che si avvale di idonei impianti, nonché di strutture e tecniche opportunamente organizzate.

In particolare, deve essere presente ed operante un sistema permanente di controllo della produzione in stabilimento, che deve assicurare il mantenimento di un adeguato livello di affidabilità nella produzione del calcestruzzo, nell'impiego dei singoli materiali costituenti e nella conformità del prodotto finito.

Detto sistema di controllo deve comprendere anche la produzione del calcestruzzo.

Tutti gli elementi prefabbricati dovranno essere dotati di marcatura CE, inoltre, si considerano assolti i requisiti procedurali di cui al deposito ai sensi della Legge 1086/1971, art. 9, ed alla certificazione di idoneità di cui alla Legge 64/1974, artt. 1 e 7. Resta comunque l'obbligo del deposito del progetto presso il competente ufficio regionale.

Ogni elemento prefabbricato prodotto in serie, deve essere appositamente contrassegnato da marchiatura fissa, indelebile o comunque non rimovibile, in modo da garantire la rintracciabilità del produttore e dello stabilimento di produzione, nonché individuare la serie di origine dell'elemento.

Inoltre, per manufatti di peso superiore ad 8 kN, dovrà essere indicato in modo visibile, per lo meno fino all'eventuale getto di completamento, anche il peso dell'elemento.

Ogni fornitura in cantiere di elementi costruttivi prefabbricati, dovrà essere accompagnata da apposite istruzioni nelle quali vengono indicate le procedure relative alle operazioni di trasporto e montaggio degli elementi prefabbricati, ai sensi dell'art. 58 del D.P.R. 380/2001, da consegnare al direttore dei lavori dell'opera in cui detti elementi costruttivi vengono inseriti, che ne curerà la conservazione.

Tali istruzioni dovranno almeno comprendere, di regola:

- i disegni d'assieme che indichino la posizione e le connessioni degli elementi nel complesso dell'opera, compreso l'elenco degli elementi forniti con relativi contrassegni;
- apposita relazione sulle caratteristiche dei materiali per le unioni e le opere di completamento;
- le istruzioni di montaggio, movimentazione, posa e regolazione dei manufatti;
- elaborati contenenti istruzioni per il corretto impiego e la manutenzione dei manufatti;
- certificato di origine firmato dal produttore, riportante il nominativo del progettista e copia dell'attestato di qualificazione rilasciato dal servizio tecnico centrale;
- documentazione, quando disponibile, attestante i risultati delle prove effettuate in stabilimento.

Copia del certificato d'origine dovrà essere allegato alla relazione del direttore dei lavori di cui all'art. 65 del D.P.R. 380/2001.

Il produttore di elementi prefabbricati dovrà altresì fornire al direttore dei lavori, e questi al committente, gli elaborati (disegni, particolari costruttivi, ecc.) firmati dal progettista e dal direttore tecnico della produzione, secondo le rispettive competenze, contenenti istruzioni per il corretto impiego dei singoli manufatti, esplicitando in particolare:

- destinazione del prodotto;
- requisiti fisici rilevanti in relazione alla destinazione;
- prestazioni statiche per manufatti di tipo strutturale;
- prescrizioni per le operazioni integrative o di manutenzione, necessarie per conferire o mantenere nel tempo le prestazioni e i requisiti dichiarati;
- tolleranze dimensionali nel caso di fornitura di componenti.

Nella documentazione di cui sopra il progettista deve indicare espressamente:

- le caratteristiche meccaniche delle sezioni, i valori delle coazioni impresse, i momenti di servizio, gli sforzi di taglio massimo, i valori dei carichi di esercizio e loro distribuzioni, il tipo di materiale protettivo contro la corrosione per gli apparecchi metallici di ancoraggio, dimensione caratteristiche dei cuscinetti di appoggio, indicazioni per il loro corretto impiego;
- se la sezione di un manufatto resistente deve essere completata in opera con getto integrativo, la resistenza richiesta;
- la possibilità di impiego in ambiente aggressivo e le eventuali variazioni di prestazioni che ne conseguono.

Prima di procedere all'accettazione dei manufatti, il direttore dei lavori deve verificare che essi siano effettivamente contrassegnati, come prescritto ed è tenuto a rifiutare le eventuali forniture non conformi.

7. QUALIFICA E ACCETTAZIONE DEI MATERIALI

a. Controlli sul calcestruzzo

7.1.1 Qualifica del calcestruzzo

In accordo al D.M. 14/01/2008 al punto 11.2.8 si definisce come calcestruzzo prodotto con processo industrializzato quello prodotto mediante impianti, strutture e tecniche organizzate sia in cantiere che in uno stabilimento esterno al cantiere stesso.

Di conseguenza in questa fattispecie rientrano, a loro volta, tre tipologie di produzione del calcestruzzo:

- calcestruzzo prodotto in impianti industrializzati fissi;
- calcestruzzo prodotto negli stabilimenti di prefabbricazione;
- calcestruzzo prodotto in impianti industrializzati installati nei cantieri (temporanei).

In questi casi gli impianti devono essere idonei ad una produzione costante, disporre di apparecchiature adeguate per il confezionamento, nonché di personale esperto e di attrezzature idonee a provare, valutare e correggere la qualità del prodotto.

Al fine di contribuire a garantire quest'ultimo punto, gli impianti devono essere dotati di un sistema di controllo permanente della produzione allo scopo di assicurare che il prodotto abbia i requisiti previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e che tali requisiti siano costantemente mantenuti fino alla posa in opera.

Tale sistema di controllo non deve confondersi con l'ordinario sistema di gestione della qualità aziendale, al quale può affiancarsi.

Il sistema di controllo della produzione in fabbrica dovrà essere certificato da un organismo terzo indipendente di adeguata competenza e organizzazione, che opera in coerenza con la UNI EN 45012. A riferimento per tale certificazione devono essere prese le Linee Guida sul calcestruzzo preconfezionato edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici allo scopo di ottenere un calcestruzzo di adeguate caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche.

Il sistema di controllo di produzione in fabbrica dovrà comprendere le prove di autocontrollo, effettuate a cura del produttore secondo quanto previsto dalle Linee Guida sul calcestruzzo preconfezionato.

L'organismo di certificazione dovrà, nell'ambito dell'ispezione delle singole unità produttive dovrà verificare anche i laboratori utilizzati per le prove di autocontrollo interno. In virtù di tale verifica e sorveglianza del controllo di produzione le prove di autocontrollo della produzione sono sostitutive di quelle effettuate dai laboratori ufficiali.

Il programma delle prove di autocontrollo deve essere sviluppato in maniera tale da assicurare il rispetto dei disposti normativi per le numerose miscele prodotte, ma essere nel contempo contenuto in maniera tale da agevolare l'applicazione, in virtù dell'elevato numero delle miscele prodotte in generale in un impianto di calcestruzzo preconfezionato.

È compito della **Direzione Lavori** accertarsi che i documenti che accompagnano ogni fornitura in cantiere indichino gli estremi della certificazione del sistema di controllo della produzione.

Ove opportuno il Direttore dei Lavori potrà richiedere la relazione preliminare di qualifica ed i relativi allegati (es. certificazione della marcatura CE degli aggregati, del cemento, etc.).

7.1.2 Controlli di accettazione del calcestruzzo

Il controllo di base, per l'accettazione del calcestruzzo in cantiere, deve soddisfare le prescrizioni di cui allo specifico paragrafo "Controlli di accettazione" (par. 11.2.5) riportato nelle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14/01/08).

Le prove da effettuare ai fini dell'accettazione devono essere eseguite in conformità alle norme UNI EN 12350 - 1 per quanto attiene il campionamento, ed alle norme UNI EN 12390, nelle varie parti, per quanto attiene il confezionamento e la stagionatura dei provini, nonché le relative prove di resistenza a compressione.

7.1.3 Controllo della lavorabilità del calcestruzzo

La misura della lavorabilità verrà condotta in accordo alla UNI-EN 206-1 dopo aver proceduto a scaricare dalla betoniera almeno 0.3 mc di calcestruzzo.

In accordo con le specifiche di capitolato la misura della lavorabilità potrà essere effettuata mediante differenti metodologie. In particolare la lavorabilità del calcestruzzo può essere definita mediante:

- Il valore dell'abbassamento al cono di Abrams (UNI-EN 12350-2) che definisce la classe di consistenza o uno slump di riferimento oggetto di specifica;
- la misura del diametro di spandimento alla tavola a scosse (UNI-EN 12350-5).

5.1.4 Proprietà reologiche per i calcestruzzi autocompattanti (SCC)

Il SCC si differenzia dal calcestruzzo ordinario per le sue proprietà allo stato fresco:

- ❑ capacità di flusso
- ❑ scorrimento confinato
- ❑ resistenza alla segregazione

Per la valutazione delle proprietà è necessario far riferimento alla UNI 11040 nella quale si specificano le caratteristiche e i valori di accettazione per le prove da effettuare in fase di qualifica delle miscele.

I metodi di prova per la misura delle caratteristiche del calcestruzzo autocompattante allo stato fresco sono specificate dalle norme che seguono:

Metodo di prova	Norma di riferimento
SLUMP-FLOW	UNI 11041
V-FUNNEL	UNI 11042
L-BOX	UNI 11043
U-BOX	UNI 11044
J-RING	UNI 11045

7.1.5 Eventuali controlli aggiuntivi sul calcestruzzo

Di seguito si riporta la tabella inserita nelle "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale" (rif. Par 5.2 Pag 21) edite dal CSSLLP

	Procedura	Requisiti	Frequenza
Documento di produzione o bolla d'accompagnamento	Verifica visiva	Conformità alle specifiche	Ogni partita (consegna)
Consistenza (lavorabilità)	Verifica visiva e controllo	Conformità alla classe di	Quando opportuno, nel

del calcestruzzo	secondo il metodo di riferimento	consistenza	corso dei prelievi per la valutazione della resistenza
Omogeneità del calcestruzzo	Verifica visiva e/o confronto tra le proprietà di differenti partite (consegne)	Aspetto uniforme, e di sottocampioni omogenei.	In caso di dubbio
Massa volumica del calcestruzzo fresco	UNI EN 12350-6	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Dosaggio in cemento	Controllo della quantità pesata dei costituenti nella preparazione dell'impasto	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Dosaggio in acqua e rapporto acqua/cemento	Controllo della quantità dosata nell'impasto o secondo metodologia da concordarsi tra le parti	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Prelievo di campioni per verifica della resistenza a compressione.	Secondo le procedure previste dalla norma	Verifica Rck alla scadenza ordinaria e se necessario alle brevi stagionature	Secondo le vigenti norme tecniche e/o secondo le specifiche progettuali, se più restrittive
Contenuto d'aria	UNI EN 12350-7	Conformità alle specifiche.	Se richiesto per la classe di esposizione e nelle specifiche progettuali
Altre caratteristiche: ora di consegna, ora di messa in opera temperatura calcestruzzo fresco	Registrazione		Secondo richiesta
Rilavorazione (per riprendere la consistenza prescritta)	Registrazione. La rilavorazione deve essere vietata se comporta una riduzione inaccettabile delle prestazioni del calcestruzzo	Dosaggio e tipo d'additivo aggiunto	Ogni qual volta è effettuata

b. Controlli sull'acciaio

7.2.1 Controllo della documentazione

In cantiere è ammessa esclusivamente la fornitura e l'impiego di acciai B450C saldabili e ad aderenza migliorata, qualificati secondo le procedure indicate nel D.M. 14/01/2008 al punto 11.3.1.6 e controllati con le modalità riportate nei punti 11.3.2.11 e 11.3.2.12 del citato decreto.

Tutte le forniture di acciaio devono essere accompagnate dell' "Attestato di Qualificazione" rilasciato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale.

Per i prodotti provenienti dai Centri di trasformazione è necessaria la documentazione che assicuri che le lavorazioni effettuate non hanno alterato le caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti previste dal D.M. 14/01/2008.

Inoltre può essere richiesta la seguente documentazione aggiuntiva :

- certificato di collaudo tipo 3.1 in conformità alla norma UNI EN 10204;
- certificato Sistema Gestione Qualità UNI EN ISO 9001;
- certificato Sistema Gestione Ambientale UNI EN ISO 14001;

- dichiarazione di conformità al controllo radiometrico (può essere inserito nel certificato di collaudo tipo 3.1);
- polizza assicurativa per danni derivanti dal prodotto.

Le forniture effettuate da un commerciante o da un trasformatore intermedio dovranno essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal produttore e completati con il riferimento al documento di trasporto del commerciante o trasformatore intermedio.

In quest'ultimo caso per gli elementi presaldati, presagomati o preassemblati in aggiunta agli "Attestati di Qualificazione" dovranno essere consegnati i certificati delle prove fatte eseguire dal Direttore del Centro di Trasformazione.

Tutti i prodotti forniti in cantiere dopo l'intervento di un trasformatore intermedio devono essere dotati di una specifica marcatura che identifichi in modo inequivocabile il centro di trasformazione stesso, in aggiunta alla marcatura del prodotto di origine.

Il Direttore dei Lavori prima della messa in opera è tenuto a verificare quanto sopra indicato; in particolare dovrà provvedere a verificare la rispondenza tra la marcatura riportata sull'acciaio con quella riportata sui certificati consegnati.

La mancata marcatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile e pertanto le forniture dovranno essere rifiutate.

7.2.2 Controllo di accettazione

Il Direttore dei Lavori è obbligato ad eseguire i controlli di accettazione sull'acciaio consegnato in cantiere, in conformità con le indicazioni contenute nel D.M. 14/01/2008 al punto 11.3.2.10.4.

Il campionamento ed il controllo di accettazione dovrà essere effettuato entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale.

All'interno di ciascuna fornitura consegnata e per ogni diametro delle barre in essa contenuta, si dovrà procedere al campionamento di tre spezzoni di acciaio di lunghezza complessiva pari a 100 cm ciascuno, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento.

In caso contrario i controlli devono essere estesi agli altri diametri delle forniture presenti in cantiere.

Non saranno accettati fasci di acciaio contenenti barre di differente marcatura.

Il prelievo dei campioni in cantiere e la consegna al Laboratorio Ufficiale incaricato dei controlli verrà effettuato dal Direttore dei Lavori o da un tecnico da lui delegato; la consegna delle barre di acciaio campionate, identificate mediante sigle o etichettature indelebili, dovrà essere accompagnata da una richiesta di prove sottoscritta dal Direttore dei Lavori.

La domanda di prove al Laboratorio Ufficiale dovrà essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e dovrà inoltre contenere precise indicazioni sulla tipologia di opera da realizzare (pilastro, trave, muro di sostegno, fondazioni, strutture in elevazione ecc...).

Il controllo del materiale, eseguito in conformità alle prescrizioni del punto 11.2.2.3 di cui al precedente Decreto, riguarderà le proprietà meccaniche di resistenza e di allungamento.

Tab. 7.1 – Valori limite per prove acciaio

Caratteristica	Valore Limite	Note
<i>f_y minimo</i>	425 N/mm ²	(450 – 25) N/mm ²
<i>f_y massimo</i>	572 N/mm ²	[450x(1.25+0.02)] N/mm ²
<i>A_{gt} minimo</i>	≥ 6.0%	Per acciai laminati a caldo
<i>Rottura/snervamento</i>	1.13 < f _t /f _y < 1.37	Per acciai laminati a caldo
<i>Piegamento/raddrizzamento</i>	assenza di cricche	Per tutti

Qualora la determinazione del valore di una quantità fissata in termini di valore caratteristico crei una controversia, il valore dovrà essere verificato prelevando e provando tre provini da prodotti diversi nel lotto consegnato.

Se un risultato è minore del valore caratteristico prescritto, sia il provino che il metodo di prova devono essere esaminati attentamente. Se nel provino è presente un difetto o si ha ragione di credere che si sia verificato un errore durante la prova, il risultato della prova stessa deve essere ignorato.

In questo caso occorrerà prelevare un ulteriore (singolo) provino.

Se i tre risultati validi della prova sono maggiori o uguali del prescritto valore caratteristico, il lotto consegnato deve essere considerato conforme.

Se i criteri sopra riportati non sono soddisfatti, dieci ulteriori provini devono essere prelevati da prodotti diversi del lotto in presenza del produttore o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio di cui all'art.59 del D.P.R. n.380/2001.

Il lotto deve essere considerato conforme se la media dei risultati sui 10 ulteriori provini è maggiore del valore caratteristico e i singoli valori sono compresi tra il valore minimo e il valore massimo secondo quanto sopra riportato.

In caso contrario il lotto deve essere respinto.

Qualora all'interno della fornitura siano contenute anche reti elettrosaldate, il controllo di accettazione dovrà essere esteso anche a questi elementi. In particolare, a partire da tre differenti reti elettrosaldate verranno prelevati 3 campioni di dimensioni 100*100 cm.

Il controllo di accettazione riguarderà la prova di trazione su uno spezzone di filo comprendente almeno un nodo saldato, per la determinazione della tensione di rottura, della tensione di snervamento e dell'allungamento; inoltre, dovrà essere effettuata la prova di resistenza al distacco offerta dalla saldatura del nodo.

I controlli in cantiere sono facoltativi quando il prodotto utilizzato proviene da un Centro di trasformazione o luogo di lavorazione delle barre, nel quale sono stati effettuati tutti i controlli descritti in precedenza.

In quest'ultimo caso, la spedizione del materiale deve essere accompagnata dalla certificazione attestante l'esecuzione delle prove di cui sopra.

Resta nella discrezionalità del Direttore dei Lavori effettuare tutti gli eventuali ulteriori controlli ritenuti opportuni (es. indice di aderenza, saldabilità).

7.2.3 Prova di piega e raddrizzamento

In accordo con quanto specificato nel D.M. 14/01/2008, è richiesto il rispetto dei limiti seguenti.

Tab.7.2 – *Diametri del mandrino ammessi per la prova di piega e raddrizzamento*

Diametro nominale (d) mm	Diametro massimo del mandrino
$\emptyset < 12$	4d
$12 \leq \emptyset \leq 16$	5d
$16 < \emptyset \leq 25$	8 d
$25 < \emptyset \leq 40$	10 d

8. POSA IN OPERA DEI MATERIALI

L'ottenimento del requisito di tenuta idraulica può essere conseguito solo se, unitamente alla scelta del calcestruzzo con determinate prestazioni, si effettua un'attenta ed accurata posa, compattazione, e maturazione del getto ed una scrupolosa esecuzione delle riprese di getto.

Pertanto per garantire un conglomerato armato di adeguata durabilità ed impermeabilità si farà riferimento a quanto dettagliato nei paragrafi seguenti con riferimento alla posa in opera del calcestruzzo e dell'acciaio tondo da cemento armato.

Inoltre se il progettista e la Direzione Lavori necessitassero di ulteriori specifiche potranno far riferimento alle "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

8.1 Calcestruzzo

Al momento della messa in opera del conglomerato è obbligatoria la presenza di almeno un membro dell'ufficio della direzione dei lavori incaricato a norma di legge e di un responsabile tecnico dell'Impresa appaltatrice.

Nel caso di opere particolari, soggette a sorveglianza da parte di Enti ministeriali la confezione dei provini verrà effettuata anche alla presenza dell'Ingegnere incaricato della sorveglianza in cantiere.

Prima di procedere alla messa in opera del calcestruzzo, sarà necessario adottare tutti quegli accorgimenti atti ad evitare qualsiasi sottrazione di acqua dall'impasto. In particolare, in caso di casseforme in legno, andrà eseguita un'accurata bagnatura delle superfici.

8.1.1 Accorgimenti per i getti alle basse alte temperature ambientali

L'efficacia di un getto è fortemente influenzata dalla temperatura esterna nel momento in cui questo viene eseguito.

Basse temperature

Le temperature troppo basse, le gelate notturne e le forti raffiche di vento sono i principali fattori negativi incidenti sulla corretta maturazione del getto in calcestruzzo nel periodo invernale.

È proibito pertanto eseguire il getto del conglomerato quando la temperatura ambientale scende al di sotto dei +5° C se non si prendono particolari sistemi di protezione del manufatto concordati e autorizzati dalla D.L.

Infatti la norma UNI EN 206-1 prescrive che il calcestruzzo fresco non deve scendere al di sotto di 5 °C poiché una bassa temperatura rallenta la reazione di idratazione allungando i tempi di presa e di primo indurimento con allungamento dei tempi di stagionatura protetta.

Il calcestruzzo fresco va protetto dal gelo, soprattutto nelle ore notturne dei getti pomeridiani.

Nei getti orizzontali (platee di fondazione, piastre, ecc.) bisogna evitare l'eventuale congelamento dell'acqua d'impasto che affiora in superficie e che, dilatandosi, distrugge la

parte corticale , oltre a renderla pulverulenta a causa del cemento non idratato per solidificazione dell'acqua.

I getti verticali (pareti contro acqua, ecc.) anche se casserati, devono essere protetti dall'abbassamento della temperatura, altrimenti il maggior raffreddamento delle parti con maggior superficie specifica (come gli spigoli delle pareti) può arrivare a causare il loro distacco.

Nel caso di getti con temperature ambientali inferiori a 5 °C, l'Impresa dovrà rispettare almeno le seguenti specifiche:

- utilizzare un calcestruzzo con tempi di presa più rapidi utilizzando ad esempio additivi acceleranti oppure classi di resistenza superiori con rapporti a/c inferiori;
- utilizzare cementi tipo 42,5 R più idoneo ai getti effettuati a basse temperature, e con proprietà di riduzione dei tempi di maturazione in cassero;
- gettare il calcestruzzo in un orario compreso tra le ore 7 e le ore 13; è sconsigliato gettare nel resto della giornata in quanto le prime ore di inizio presa coinciderebbero con le ore notturne incorrendo nel pericolo di gelate e abbassamenti di temperatura al di sotto dei 0 °C;
- mantenere le superfici del getto, casserate e non, protette termicamente per almeno 7 giorni mediante pannelli e/o materassini termoisolanti (in polistirolo o altro materiale idoneo) per evitare la dispersione del calore di idratazione;
- coprire le superfici non casserate del calcestruzzo appena gettato con un foglio di polietilene prima della predisposizione dei materassini termoisolanti;
- evitare getti con temperatura prossima a 0 °C. L'aumento o la diminuzione del volume dell'acqua per il passaggio dallo stato solido a liquido e viceversa produce cavillature dannose.

Alte temperature

Le temperature troppo alte, la bassa umidità relativa e il vento, sono i principali fattori negativi sulla corretta posa in opera e maturazione del getto in calcestruzzo nel periodo estivo. Pertanto bisognerebbe evitare di gettare quando la temperatura esterna supera i 33° C (UNI EN 206-1).

Infatti in questi casi si accorciano eccessivamente i tempi di presa e s'innalza la richiesta di acqua e la velocità di perdita di lavorabilità.

In questi casi l'Impresa deve seguire almeno le seguenti prescrizioni:

- utilizzare calcestruzzi con classi di consistenza superiori (S5) mediante l'aggiunta di additivi superfluidificanti;
- prevedere l'eventuale impiego di additivi ritardanti;
- utilizzare il calcestruzzo nei momenti meno caldi della giornata
- proteggere il getto dalla forte evaporazione dell'acqua per almeno 7 giorni;
- programmare esattamente i tempi di getto e di finitura evitando di far aspettare in cantiere le autobetoniere sotto il sole considerando che alle alte temperature il

calcestruzzo indurisce rapidamente lasciando poco tempo a disposizione per il trasporto e la posa in opera del calcestruzzo stesso.

Particolare attenzione occorre nel caso di rischio di forte escursione termica notturna che può innescare nel getto forti *autotensioni* per contrazione termica.

8.1.2 Accorgimenti per l'esecuzione dei getti

Il trasporto dall'impianto di betonaggio, lo scarico del calcestruzzo dal mezzo di trasporto nelle casseforme si effettua applicando tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione esterna del conglomerato.

Per motivi di sicurezza la betoniera e la pompa dovranno essere posizionati ad una distanza dallo scavo superiore alla profondità dello scavo stesso.

Prima di effettuare il getto la D.L. si deve accertare che i distanziatori siano stati posati correttamente e che la misura del copri ferro sia quella prescritta dagli elaborati progettuali.

Per conservare la richiesta omogeneità del calcestruzzo fresco, durante il getto devono essere rispettate almeno i seguenti accorgimenti:

- l'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal sistema di movimentazione e getto, non deve eccedere i 50 centimetri; si utilizzerà o uno scivolo o un tubo di getto che si accosti al punto di posa o, meglio ancora, che si inserisca nello strato fresco già posato e consenta al calcestruzzo di rifluire all'interno di quello già steso;
- durante il getto in forme verticali il calcestruzzo non deve urtare contro le pareti delle casseforme o contro i ferri di armatura affinché non avvenga la separazione degli inerti più pesanti e la formazione di macro bolle che rendono disomogeneo l'impasto riducendo la resistenza del calcestruzzo un opera;
- per evitare la segregazione bisogna evitare di scaricare il calcestruzzo fresco formando cumuli che successivamente vengono stesi.

8.1.3 Accorgimenti per la compattazione dei getti

La compattazione dei getti va eseguita con perfetta cura per evitare che si manifestino fenomeni di segregazione esterna con formazione di nidi di ghiaia e che rimangano percentuali eccessive di aria inglobate nell'impasto.

Una non adeguata compattazione del getto, oltre a compromettere la durabilità del calcestruzzo armato, può far aumentare la permeabilità del calcestruzzo a valori incompatibili con il requisito di tenuta idraulica, basilare per i serbatoi.

Per la compattazione del getto verranno adoperati vibratori a parete ed ad immersione da utilizzarsi separatamente o contemporaneamente.

Nel caso si adoperi il sistema di vibrazioni a parete l'ubicazione e la distanza dei vibratori esterni, che vengono applicati alla casseforme (che fungono quindi da membrane vibranti), deve essere studiato in funzione della tipologia di cassaforma adoperata.

Nel caso invece si adoperi il sistema di vibrazione ad immersione, devono essere soddisfatti almeno i seguenti accorgimenti:

- durante il getto si devono utilizzare contemporaneamente un numero adeguato di vibratorii (almeno due per tubo getto);
- la posa deve essere eseguita per strati di spessore inferiore a 30 cm;
- l'ago vibrante deve essere introdotto verticalmente immergendolo per una profondità superiore a quella dello strato eseguito in modo da interessare anche il calcestruzzo già compattato (per almeno 10 – 15 centimetri), per un tempo funzione della classe di consistenza del calcestruzzo (tabella 7.1) - meno fluido è il calcestruzzo maggiore deve essere il tempo di permanenza dell'ago nella massa del calcestruzzo;
- la vibrazione deve interessare l'intera massa del calcestruzzo. Pertanto la distanza fra due inserimenti consecutivi dell'ago deve essere inferiore a 7,5 volte il diametro dell'ago stesso ($d=60-80$ mm) per cui inferiore a circa 50 cm;
- durante la vibrazione l'ago non deve entrare in contatto con la cassaforma e i ferri di armatura.

Tab.8.1 – *Relazione tra classe di consistenza e tempo di vibrazione del conglomerato*

Classe di consistenza	Tempo minimo di immersione dell'ago nel calcestruzzo (s)
S1	25 - 30
S2	20 - 25
S3	15 - 20
S4	10 - 15
S5	5 - 10
F6	0 - 5
SCC	<i>Non necessita compattazione (salvo indicazioni specifiche della D.L.)</i>

8.1.4 riprese di getto

Tutte le riprese di getto, sia verticali che orizzontali, devono essere eseguite con estrema attenzione.

Infatti in questi punti singolari è elevato il rischio che si formi una soluzione di continuità (giunto freddo) che diventerà in futuro via preferenziale di uscita e/o entrata dell'acqua.

Pertanto in presenza di riprese di getto, sarà obbligo dell'appaltatore procedere ad una preliminare rimozione, mediante scarifica con martello, dello strato corticale di calcestruzzo già parzialmente indurito.

Tale superficie, che dovrà possedere elevata rugosità (asperità di circa 5 mm) verrà opportunamente pulita e trattata con primer per le riprese di getto prima del getto del nuovo strato di calcestruzzo.

Qualora alla struttura sia richiesta la tenuta idraulica, lungo la superficie scarificata verranno disposti dei giunti "water-stop" in materiale idroespansivo (es. bentonite sodica o gomma idoespansiva).

I profili “water-stop” saranno opportunamente fissati e disposti in maniera tale da non interagire con le armature.

I profili “water- stop” espansivi devono essere inoltre posati in modo che ci sia sempre un sufficiente spessore di calcestruzzo che contrasti l’aumento di volume del profilo.

Una distanza troppo esigua dalla superficie esterna della membratura potrebbe determinare un distacco degli strati corticali di calcestruzzo non sufficientemente resistenti per compensare l’espansione del “water stop”.

Una regola pratica è quella di garantire spessori di ricoprimento del profilo mai inferiori a 6 cm.

I suddetti accorgimenti debbono essere adottati anche allorquando per le rilevanti dimensioni sia delle strutture di fondazione che delle pareti verticali contro acqua non si riesce a completare il getto nell’arco di una singola giornata e lo si riprende il giorno successivo.

8.1.5 Distanziatori

I distanziatori utilizzati per garantire i copriferri ed eventualmente le reciproche distanze tra le barre di armatura, dovranno essere in plastica o a base di malta cementizia di forma e geometria tali da minimizzare la superficie di contatto con il cassero.

Per le strutture contro acqua si suggerisce l’utilizzo di distanziatori di cassero impermeabili con guarnizione e tappi idroespansivi.

In questo modo si riesce a sigillare sia l’interfaccia calcestruzzo-distanziatore, sede normalmente di ritiri differenziali e di formazione di vespai, sia l’interno degli elementi tubolari (anche in presenza dei convenzionali tappi di chiusura).

8.1.6 Tolleranze esecutive

Nelle opere finite gli scostamenti ammissibili (tolleranze) rispetto alle dimensioni e/o quote dei progetti, per non influenzare negativamente la resistenza meccanica, la stabilità e le prestazioni di esercizio dell’opera, sono riportate di seguito per i vari elementi strutturali (UNI EN 13670):

- | | |
|--|--|
| □ Fondazioni: plinti, platee, solettoni ecc: | |
| - posizionamento rispetto alle coordinate di progetto | $S = \pm 3.0\text{cm}$ |
| - dimensioni in pianta | $S = - 3.0 \text{ cm o } + 5.0 \text{ cm}$ |
| - dimensioni in altezza (superiore) | $S = - 0.5 \text{ cm o } + 3.0 \text{ cm}$ |
| - quota altimetrica estradosso | $S = - 0.5 \text{ cm o } + 2.0 \text{ cm}$ |
| □ Strutture in elevazione: pile, spalle, muri ecc.: | |
| - posizionamento rispetto alle coordinate degli allineamenti di progetto | $S = \pm 2.0 \text{ cm}$ |
| - dimensione in pianta (anche per pila piena) | $S = - 0.5 \text{ cm o } + 2.0 \text{ cm}$ |
| - spessore muri, pareti, pile cave o spalle | $S = - 0.5 \text{ cm o } + 2.0 \text{ cm}$ |
| - quota altimetrica sommità | $S = \pm 1.5 \text{ cm}$ |
| - verticalità per $H \leq 600 \text{ cm}$ | $S = \pm 2.0 \text{ cm}$ |
| - verticalità per $H > 600 \text{ cm}$ | $S = \pm H/12$ |

- Solette e solettoni per impalcati, solai in genere:
 - spessore: $S = -0.5 \text{ cm o } + 1.0 \text{ cm}$
 - quota altimetrica estradosso: $S = \pm 1.0 \text{ cm}$
- Vani, cassette, inserterie:
 - posizionamento e dimensione vani e cassette: $S = \pm 1.5 \text{ cm}$
 - posizionamenti inserti (piastre boccole): $S = \pm 1.0 \text{ cm}$

Nel presente progetto si opera in regime di “garanzia di qualità” e pertanto si prevede di considerare la tolleranza di esecuzione del copriferro apri a 5 mm.

Il piano di controllo per la verifica dei copriferri prevede la presenza di personale espressamente incaricato della verifica degli stessi e del corretto montaggio delle armature prima di ogni getto e in fase di getto. A richiesta della D.L. e comunque a fine lavori dovrà essere prodotto un report fotografico dettagliato delle verifiche eseguite da fornire al collaudatore ai sensi dell’art. 9.1 del D. M. Inff. 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

In ogni caso gli scostamenti dimensionali negativi non devono ridurre i copriferri minimi prescritti dal progetto.

8.1.7 Casseforme

Per tali opere provvisorie l'appaltatore dovrà utilizzare quelle previste negli elaborati progettuali e dovrà comunicare preventivamente alla direzione dei lavori le modalità esecutive che intende adottare, ferma restando l'esclusiva responsabilità dell'appaltatore stesso per quanto riguarda la progettazione e l'esecuzione di tali opere provvisorie e la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle.

Il sistema prescelto dovrà comunque essere atto a consentire la realizzazione delle opere in conformità alle disposizioni contenute nel progetto esecutivo.

Nella progettazione e nella esecuzione delle armature di sostegno delle centinature e delle attrezzature di costruzione, l'appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente venissero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata ed in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, tranvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprassuolo o di sottosuolo.

Tutte le attrezzature dovranno essere dotate degli opportuni accorgimenti affinché, in ogni punto della struttura, la rimozione dei sostegni sia regolare ed uniforme.

8.1.7.1 Caratteristiche delle casseforme

Per quanto riguarda le casseforme viene prescritto l'uso di casseforme metalliche o di materiali fibrocompressi o compensati; in ogni caso esse dovranno avere dimensioni e spessori sufficienti ad essere opportunamente irrigidite o controventate per assicurare l'ottima

riuscita delle superfici dei getti e delle opere e la loro perfetta rispondenza ai disegni di progetto.

Nel caso di eventuale utilizzo di casseforme in legno, si dovrà curare che le stesse siano eseguite con tavole a bordi paralleli e ben accostate, in modo che non abbiano a presentarsi, dopo il disarmo, sbavature o disuguaglianze sulle facce in vista del getto.

In ogni caso l'appaltatore avrà cura di trattare le casseforme, prima del getto, con idonei prodotti disarmanti conformi alla norma UNI 8866.

Le parti componenti i casseri debbono essere a perfetto contatto e sigillate con idoneo materiale per evitare la fuoriuscita di boiaccia cementizia riducendo così il rischio di formazione di nidi di ghiaia.

Nel caso di cassetta a perdere, inglobata nell'opera, occorre verificare la sua funzionalità, se è elemento portante, e che non sia dannosa, se è elemento accessorio.

8.1.7.2 Pulizia e trattamento

Prima del getto le casseforme dovranno essere pulite per l'eliminazione di qualsiasi traccia di materiale che possa compromettere la integrità e l'estetica del manufatto quali polvere, terriccio, ristagni di acqua etc.

Dove e quando necessario si farà uso di prodotti disarmanti disposti in strati omogenei continui, su tutte le casseforme di una stessa opera dovrà essere usato lo stesso prodotto.

I prodotti disarmanti, per essere efficaci, dovranno essere stesi entro le 24 ore precedenti al getto.

Nel caso di utilizzo di casseforme impermeabili, per ridurre il numero delle bolle d'aria sulla superficie del getto si dovrà fare uso di disarmante con agente tensioattivo in quantità controllata e la vibrazione dovrà essere contemporanea al getto.

8.1.7.3 Predisposizione di fori, tracce e cavità

L'appaltatore avrà l'obbligo di predisporre in corso di esecuzione quanto è previsto nei disegni costruttivi per ciò che concerne fori, tracce, cavità, incassature, etc. per la posa in opera di apparecchi accessori quali giunti, appoggi, smorzatori sismici, pluviali, passi d'uomo, passerelle d'ispezione, sedi di tubi e di cavi, opere interruttrive, sicurvia, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti, etc..

8.1.7.4 Disarmo

Si potrà procedere alla rimozione delle casseforme dai getti quando saranno state raggiunte le prescritte resistenze. In assenza di specifici accertamenti, l'appaltatore dovrà attenersi a quanto stabilito all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Le eventuali irregolarità o sbavature, qualora ritenute tollerabili, dovranno essere asportate mediante scarifica meccanica o manuale ed i punti difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo, previa bagnatura a rifiuto delle superfici interessate.

Eventuali elementi metallici, quali chiodi o reggette che dovessero sporgere dai getti, dovranno essere tagliati almeno 0.5 cm sotto la superficie finita e gli incavi risultanti verranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento.

I getti appena scasserati non devono essere sottoposti ad urti o vibrazioni.

8.1.7.5. Getti faccia a vista

I casseri devono essere puliti e privi di elementi che possano in ogni modo pregiudicare l'aspetto della superficie del conglomerato cementizio indurito.

Apposite matrici potranno essere adottate se prescritte in progetto per l'ottenimento di superfici a faccia vista con motivi o disegni in rilievo.

I disarmanti non dovranno assolutamente macchiare la superficie in vista del conglomerato cementizio.

Qualora si realizzino conglomerati cementizi colorati o con cemento bianco, l'uso dei disarmanti sarà subordinato a prove preliminari atte a dimostrare che il prodotto usato non alteri il colore.

Le riprese di getto saranno delle linee rette e, qualora richiesto dalla D.L., saranno marcate con gole o risalti di profondità o spessore di 2-3 cm., che all'occorrenza verranno opportunamente sigillati.

8.1.8. Stagionatura

Il calcestruzzo, al termine della messa in opera e successiva compattazione, deve essere stagionato e protetto dalla rapida evaporazione dell'acqua di impasto e dall'essiccamento degli strati superficiali (fenomeno particolarmente insidioso in caso di elevate temperature ambientali e forte ventilazione).

L'essiccamento precoce degli strati corticali del getto può causare:

- formazione di fessure indotte dal ritiro sia plastico che igrometrico;
- maggiore porosità superficiale causata dalla minore idratazione del cemento in superficie per carenza di acqua;
- minore resistenza meccanica della parte superficiale rispetto alla parte più interna.
- In pratica per consentire una corretta stagionatura della struttura realizzata è necessario evitare l'evaporazione dell'acqua superficiale adottando, per la durata minima riportata in seguito, almeno le seguenti precauzioni da applicarsi separatamente o in sequenza:
- la permanenza entro casseri del conglomerato;
- l'applicazione, sulle superfici libere, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing). L'applicazione deve essere ripetuta per almeno 2-3 volte (idoneo per superfici verticali). I prodotti filmogeni di protezione non possono essere applicati lungo i giunti di costruzione, sulle riprese di getto o sulle superfici che devono essere trattate con altri materiali. Qual'ora il prodotto filmogeno dovesse interessare anche le riprese di getto, la

pellicola deve essere rimossa meccanicamente lungo tutto il giunto per non compromettere l'aderenza con il getto successivo.

- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata mediante spruzzatori automatici . Bisogna evitare il ruscellamento;
- la copertura delle superfici del getto con teli porosi (es. sacchi di iuta o tessuto non tessuto) mantenuti costantemente umidi. La frequenza di bagnatura deve essere stabilita in funzione della temperatura esterna e comunque almeno ogni 24 ore;
- la copertura delle superfici del getto teloni impermeabili al vapore (fogli di polietilene od altro) . Tali teli devono essere ben sigillati all'estremità al fine di evitare la formazione di correnti di aria che causerebbero l'essiccazione del getto;
- la creazione, nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale, di un cordolo perimetrale (in sabbia od altro materiale rimovibile) che permetta di mantenere la superficie ricoperta da un costante velo d'acqua.

Per determinare i tempi minimi di stagionatura protetta si può far un utile riferimento alla norma UNI EN 13670-1 (in funzione della velocità di sviluppo della resistenza del calcestruzzo - $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$ - e della temperatura superficiale del getto), relativi almeno alla classe di stagionatura 3 (UNI EN 13670-1) come di seguito riportato:

Tab. 8.2 – *Durata minima della stagionatura in relazione alla temperatura della superficie e della velocità di sviluppo della resistenza del calcestruzzo*

Classe di stagionatura 3	Resistenza superficiale pari al 50% di quella caratteristica prescritta		
Sviluppo della resistenza del calcestruzzo $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$ *	$r \geq 0,50$	$0,50 < r \leq 0,30$	$0,30 < r \leq 0,15$
Temperatura della superficie del calcestruzzo ($^{\circ}\text{C}$)**	Tempo minimo di stagionatura in giorni ***		
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$15 \leq t < 25$	2,0	4	7
$10 \leq t < 15$	2,5	7	12
$5 \leq t < 10$	3,5	9	18
Classe di stagionatura 4	Resistenza superficiale pari al 70 % di quella caratteristica prescritta		
Sviluppo della resistenza del calcestruzzo $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}$	$r \geq 0,50$	$0,50 < r \leq 0,30$	$0,30 < r \leq 0,15$
Temperatura della superficie del calcestruzzo ($^{\circ}\text{C}$)	Tempo minimo di stagionatura in giorni		
$t \geq 25$	3	5	6
$15 \leq t < 25$	5	9	12
$10 \leq t < 15$	7	13	21
$5 \leq t < 10$	9	18	30

* $f_{cm,2}$ è la resistenza media cilindrica del calcestruzzo dopo 2 giorni a 20 $^{\circ}\text{C}$;

$f_{cm,28}$ è la resistenza media cilindrica del calcestruzzo dopo 28 giorni a 20 $^{\circ}\text{C}$.

Tali valori essendo caratteristici del calcestruzzo devono essere forniti dal produttore.

** La temperatura superficiale differisce da quella ambientale in funzione del tipo di protezione applicata

*** Al tempo minimo deve essere aggiunto anche il tempo di presa se eccedente le 5 ore.

Per le strutture di vasche di contenimento di acqua potabile è comunque obbligatorio procedere alla maturazione protetta per non meno di 7 giorni consecutivi dal getto.

Nel caso di getti in periodo invernale, soprattutto nelle ore notturne dei getti pomeridiani, devono essere protette tutte le superfici del getto stesso, casserate e non, mediante pannelli e/o materassini termoisolanti (in polistirolo o altro materiale idoneo) per almeno 10 giorni.

Sulle superfici non cassate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti bisogna coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene.

Per i getti confinati entro casseforme, al momento della rimozione dei casseri, se questa avverrà prima di 7 giorni, si dovrà provvedere a proteggere diversamente la membratura al fine di garantire un idoneo periodo di stagionatura protetta.

Qualora dovessero insorgere esigenze particolari per sospendere la maturazione esse dovranno essere espressamente autorizzate dalla direzione dei lavori.

Per calcestruzzi con classe di resistenza a compressione maggiore o uguale di C40/50 la maturazione deve essere curata in modo particolare.

Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di stagionatura in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell'elemento e dei tempi di scasseratura previsti, l'appaltatore, che è il responsabile della corretta esecuzione della stagionatura, previa informazione alla direzione dei lavori, eseguirà verifiche di cantiere che assicurino l'efficacia delle misure di protezione adottate.

8.2 Acciaio

8.2.1 Lavorazioni in cantiere - Raggi minimi di curvatura

Il diametro minimo di piegatura delle barre deve essere tale da evitare fessure nella barra stessa dovute alla piegatura e il rischio di fenditura nel calcestruzzo nell'interno della piegatura.

Come è noto per contenere le punte di tensione sul calcestruzzo dovute alla piegatura, entro limiti compatibili con la sua resistenza locale, bisogna aumentare il diametro del mandrino.

Per definire i valori minimi da adottare ci si riferisce alle prescrizioni contenute nell'Eurocodice 2 paragrafo 8.3 "Diametri ammissibili dei mandrini per barre piegate"; in particolare si ha:

Tab. 8.3 – *Diametri ammissibili dei mandrini per barre piegate*

Diametro barra	Diametro minimo del mandrino per piegature, uncini e ganci
$\varphi \leq 16 \text{ mm}$	4 φ
$\varphi > 16 \text{ mm}$	7 φ

8.2.2 Deposito e conservazione in cantiere

Alla consegna in cantiere, l'Impresa appaltatrice avrà cura di depositare l'acciaio in luoghi protetti dagli agenti atmosferici.

In particolare, per quei cantieri posti ad una distanza inferiore a 2 Km dal mare, le barre di armatura dovranno essere protette con appositi teli dall'azione dell'aerosol marino.

8.2.3 Assemblaggio barre di armatura

La legatura delle barre deve garantire il mantimento della posizione del ferro durante tutte le fasi di getto e costipamento del calcestruzzo.

Di prassi in cantiere si procede alla legatura con il fil di ferro costituito da filo nero di acciaio del diametro pari a 1 – 2 mm e si pone in opera mediante l'utilizzo di tenaglie o attrezzatura analoga.

Si sconsiglia l'assemblaggio in cantiere attraverso unione con punti di saldatura.

In cantiere devono essere seguite almeno le seguenti regole generali:

a) elementi bidimensionali (piastre, lastre, piastre di fondazione):

- tutti gli incroci delle barre in corrispondenza del perimetro della gabbia di armatura devono essere fissati (per rendere stabile la gabbia);
- se il diametro della barra è $d \leq 12$ mm, gli incroci interni lungo ogni barra (sia longitudinale che trasversale) devono essere legati in modo alternato (uno sì e uno no) e pertanto tra due barre contigue le connessioni devono risultare sfalsate;
- se il diametro della barra è $d > 12$ mm gli incroci interni legati lungo la generica barra (sia longitudinale che trasversale) devono distare $s \leq 50 d$ e tra due barre contigue le connessioni devono essere sfalsate;

b) elementi monodimensionali (travi pilastri):

- tutti gli incroci tra l'armatura principale e le staffe in corrispondenza delle piegature di queste ultime devono essere legati (per rendere stabile la gabbia);
- gli incroci tra le barre longitudinali, che non intercettano le staffe in corrispondenza della piegatura, e le staffe stesse devono essere connessi ad una distanza $s < 50 d$ dove d è il diametro della barra longitudinale.

In ogni caso se la legatura va ad interessare lo spessore del copriferro, per evitare problemi alla durabilità del calcestruzzo a seguito della corrosione del materiale di legatura, si deve rimuovere la parte in eccesso.

9. PRESCRIZIONI MINIME DETTAGLIATE PER LE DIVERSE TIPOLOGIE STRUTTURALI

Di seguito sono riportate le prescrizioni minime sul calcestruzzo e l'acciaio tondo da cemento armato per garantire la durabilità in classe 1 per quelle strutture già schematizzate al par 4.2.7 in tabella 4.5.

Le prescrizioni di capitolato per il calcestruzzo, di cui risponde *in toto* il produttore del conglomerato, attengono sia alle proprietà del conglomerato allo stato fresco, cioè, al momento della consegna dello stesso in cantiere e riguardano principalmente la lavorabilità e la resistenza alla segregazione, sia le proprietà del calcestruzzo allo stato indurito ed, in particolare, il valore della resistenza caratteristica a compressione oppure l'impermeabilità (ad esempio, per quelle strutture quali le vasche di contenimento dei liquidi per le quali sono richiesti dei requisiti di tenuta idraulica in aggiunta a quelli strutturali).

Per tali strutturali, oltre alle prescrizioni sul calcestruzzo diverse da caso a caso, dovranno essere inserite anche le seguenti sugli ingredienti del calcestruzzo.

Tali prescrizioni riguardano il fornitore del calcestruzzo, ma sono rivolte esclusivamente alla definizione delle proprietà degli ingredienti (acqua, cemento, aggregati, additivi e aggiunte minerali) con cui viene confezionato il conglomerato e hanno il fine di escludere dall'impiego quelle materie prime che posseggono caratteristiche non conformi per il conseguimento delle prestazioni richieste per il calcestruzzo.

Ulteriore obiettivo è quello di escludere dall'impiego ingredienti che dovessero contenere sostanze indesiderabili non compatibili con i prodotti dall'idratazione del cemento e che nel tempo potrebbero innescare deleteri processi di degrado per le strutture.

Queste prescrizioni di capitolato verranno accertate dall'acquirente del conglomerato e dalla direzione dei lavori preliminarmente all'esecuzione dell'opera attraverso l'acquisizione di una documentazione specifica che dovrà essere fornita dal produttore del calcestruzzo.

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del conglomerato

- I1)** Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008
- I2)** Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2
- I3)** Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2
- I4)** Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520/2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.
- I5)** Cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1
- I6)** Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.

Prescrizioni per il calcestruzzo

- 1) Calcestruzzo a prestazione garantita (UNI EN 206-1)
- 2) Classi di esposizione ambientale: XD2-XC4
- 3) Rapporto a/c max: 0.50
- 4) Classe di resistenza a compressione minima: C(32/40)
- 5) Aria intrappolata: max. 2,5%
- 6) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura max 20 mm)
- 7) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.2
- 8) Classe di consistenza S4/S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm
- 9) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): $< 0.1\%$
- 10) preferire l'impiego di cementi pozzolanici (CEM IV) o con loppa d'altoforno (CEM III) oppure l'impiego di aggiunte di tipo II (es. fumo di silice)

Requisito di impermeabilità

- 11) Profondità media della penetrazione di acqua (UNI-EN 12390-8): 10 mm

Per le componenti strutturali con spessore superiore ai 60 cm

- 12) Innalzamento della temperatura a 3 giorni di maturazione in condizioni adiabatiche non superiore ai 30-35 °C
- 13) Prescrizione di un cemento LH (a basso calore secondo la normativa UNI EN 197:2011)

In caso di strutture site oltre i 600 metri di quota le prescrizioni 2 e 6 vanno sostituite con le seguenti

- 2a) Classi di esposizione ambientale: XD2-XC4-XF1
- 5a) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm + aggregati non gelivi F2 o MS25 conformi alla UNI EN 12620

In caso di strutture site in prossimità di zone costiere (fino a 2 Km dalla costa) ma non in contatto diretto con acqua di mare la prescrizione 2 va sostituita con la seguente

- 2b) Classi di esposizione ambientale: XD2-XC4-XS1

Prescrizioni per la struttura

- 14) Copriferro minimo : 50 mm⁸.
- 15) Scassero oppure durata minima della maturazione umida da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non cassetata con geotessile tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni
- 16) Getti nel periodo invernale : protezione delle superfici cassetate e non con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica) per almeno 10 giorni. Sulle superfici non cassetate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene.
- 17) Utilizzo di profili water stop in corrispondenza delle riprese di getto verticali e orizzontali
- 18) Acciaio B450 C conforme al D.M. 14/01/2008⁹.

⁸ Per strutture di importanza strategica per i quali è richiesta una classe di vita nominale 3 (100 anni)

⁹ Per opere strategiche a scelta del tipo di armature potrebbe compendiare l'impiego di barre di acciaio zincato o inossidabile

19) L'eventuale protezione del calcestruzzo a contatto con l'acqua potabile, con rivestimenti impermeabili dovrà avvenire con materiali conformi alle prescrizioni del D.M. n. 174 del 06.04.2004 e del D.Lgs n. 31 del 02.02.2001.