

**REGIONE
PUGLIA**



CUP: E75G19000040005

**PIANO DEGLI INTERVENTI AIP 2020-2023 DI CUI ALLA DELIBERA N.6 DEL 22/02/2021
CON COPERTURA FINANZIARIA " FONDI DERIVANTI DA PROVENTI TARIFFARI"**

**PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE E DEL RECAPITO
FINALE A SERVIZIO DELL'AGGLOMERATO DEL COMUNE DI
SQUINZANO (LE)**

**Acquedotto Pugliese S.p.A.
Direzione Ingegneria**

**Il Responsabile del Procedimento
Ing. Matteo MORELLO**

**Il Direttore
Ing. Gaetano BARBONE**



Ingegneria Ambientale s.r.l.
www.ingegneriambientale.com
info@ingegneriambientale.com



Geotek plus s.r.l.
www.geotek-rilievi.com
info@geotek-rilievi.com

PROGETTAZIONE

**Il Progettista
Prof. Ing. Matteo Ranieri**



UNING s.r.l.
info@uning.it



Ingegneria s.r.l.
ingegneria@uning.it

**Il Coordinatore della Sicurezza in
fase di progettazione
Prof. Ing. Matteo Ranieri**

Elaborato

R.23

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

Codice Intervento P1370

**Codice SAP
210000023391**

**Prot. N. 27346
Data 23/04/2021**

Scala: 1:500

01	FEB.2025	Emesso a seguito osservazioni Tavolo Tecnico del 28 gennaio 2025			
00	MAG.2021	Emesso per Progetto DEFINITIVO			
N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato



Direzione Ingegneria

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

Redatto da:

Ing. Massimo Pellegrini

Aggiornamento:

Ing. Giuseppe De Stefano

Ing. Maria Tarantino

Visto: Il Direttore
Ing. Gaetano Barbone

Edizione Novembre 2023

INDICE

1. GENERALITÀ	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO	6
4. CALCESTRUZZO	6
4.1 Costituenti del calcestruzzo	6
4.1.1 Cementi	6
4.1.2 Aggiunte	8
4.1.2.1 Ceneri volanti (ceneri di carbone o fly ash)	8
4.1.2.2 Fumo di silice (microsilice o silica fume)	9
4.1.3 Aggregati	10
4.1.3.1 Aggregati di riciclo	10
4.1.4 Additivi	11
4.1.4.1 Additivi fluidificanti e superfluidificanti	12
4.1.4.2 Additivi aeranti	12
4.1.4.3 Additivi ritardanti	12
4.1.4.4 Additivi acceleranti	12
4.1.4.5 Antievvaporanti	12
4.1.4.6 Disarmanti	13
4.1.5 Acqua d'impasto	13
4.2 Caratteristiche della miscela	13
4.2.1 Prescrizioni per la durabilità	13
4.2.2 Classi di resistenza	14
4.2.3 Classi di esposizione ambientale	15
4.2.4 Rapporto a/c	19
4.2.4.1 Tenuta idraulica	19
4.2.5 Classi di consistenza – lavorabilità	20
4.2.6 Granulometria degli aggregati e Dmax	22
4.2.7 Requisiti minimi delle miscele in funzione del loro campo di impiego	22
4.2.8 Copriferro	23
4.2.9 Contenuto d'aria	25
4.2.10 Acqua di bleeding	25
4.2.11 Classe di Contenuto di cloruri	25
5. ACCIAIO TONDO	25
5.1 Saldabilità e composizione chimica	26
5.2 Proprietà meccaniche	26
5.3 Resistenza a fatica in campo elastico	26
5.4 Resistenza a carico ciclico in campo plastico	27
5.5 Diametri e sezioni equivalenti	27
5.6 Aderenza e geometria superficiale	27

6. QUALIFICA E ACCETTAZIONE DEI MATERIALI	28
a. Controlli sul calcestruzzo	28
6.1.1 Qualifica del calcestruzzo	28
6.1.2 Controlli di accettazione del calcestruzzo	29
6.1.3 Controllo della lavorabilità del calcestruzzo	29
6.1.4 Proprietà reologiche per i calcestruzzi autocompattanti (SCC)	29
6.1.5 Eventuali controlli aggiuntivi sul calcestruzzo	30
b. Controlli sull'acciaio	31
6.2.1 Controllo della documentazione	31
6.2.2 Controllo di accettazione	32
6.2.3 Prova di piega e raddrizzamento	34
7. POSA IN OPERA DEI MATERIALI	34
7.1 Calcestruzzo	34
7.1.1 Accorgimenti per i getti alle basse alte temperature ambientali	35
7.1.2 Accorgimenti per l'esecuzione dei getti	36
7.1.3 Accorgimenti per la compattazione dei getti	36
7.1.4 riprese di getto	37
7.1.5 Distanziatori	38
7.1.6 Tolleranze esecutive	39
7.1.7 Casseforme	40
7.1.7.1 Caratteristiche delle casseforme	40
7.1.7.2 Pulizia e trattamento	41
7.1.7.3 Predisposizione di fori, tracce e cavità	42
7.1.7.4 Disarmo	42
7.1.7.5. Getti faccia a vista	42
7.1.8. Stagionatura	43
7.2 Acciaio	45
7.2.1 Lavorazioni in cantiere - Raggi minimi di curvatura	45
7.2.2 Deposito e conservazione in cantiere	46
7.2.3 Assemblaggio e messa in opera delle barre di armatura	46
8. PRESCRIZIONI MINIME DETTAGLIATE PER LE DIVERSE TIPOLOGIE STRUTTURALI	46

1. GENERALITÀ

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, oltre a preservare il calcestruzzo armato dal degrado promosso dalle innumerevoli sostanze aggressive presenti nelle acque reflue, devono tendere a garantire anche la perfetta tenuta idraulica, al fine di evitare perdite e quindi sversamenti di sostanze nocive nell'ambiente, che potrebbero determinare l'inquinamento delle acque di falda e dei terreni posti nelle vicinanze delle opere.

Per quanto riguarda la durabilità delle opere in calcestruzzo armato, si deve far riferimento alle ***Linee guida per la progettazione della durabilità delle strutture in calcestruzzo***, redatte a cura di Acquedotto Pugliese.

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. 2018, 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.17/01/18), 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 CEI EN ISO/IEC 17021-1.

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

In linea con il *Piano di Sostenibilità AQP*, Acquedotto Pugliese predilige l'utilizzo di calcestruzzi conformi al vigente CAM Edilizia (D.M. 23 giugno 2022), ossia calcestruzzi aventi un contenuto di almeno il 5% in peso di materie riciclate e/o recuperate, e/o di sottoprodotti (ved. *par. 4.1.3.1*).

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

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018: *Norme Tecniche per Costruzioni*.

Circolare 21/01/2019 n. 7/CSLLPP: *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*.

D.P.R. 246/93: *Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione*.

D.M. 11 ottobre 2017: *Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e*

lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

D.M. 23 giugno 2022: Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.

Linee Guida per il Calcestruzzo Preconfezionato.

Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale.

Linee Guida sui Calcestruzzi Strutturali ad Alta Resistenza.

Linee Guida per la messa in opera del Calcestruzzo Strutturale.

UNI EN 206: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

UNI 11104: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.

UNI EN 197-1: Cemento - Parte 1: Composizione, specifiche e criteri di conformità per cementi comuni.

UNI 9606: Cementi resistenti al dilavamento della calce.

UNI EN 12620: Aggregati per calcestruzzo.

UNI 8520-1/2: Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione in Italia della norma UNI EN 12620 - Requisiti.

UNI EN 1008: Acqua d'impasto per il calcestruzzo.

UNI EN 934-2: Additivi per calcestruzzo.

UNI EN 450: Ceneri volanti per calcestruzzo.

UNI EN 13263-1/2: Fumi di silice per calcestruzzo.

UNI EN 12350-2: Determinazione dell'abbassamento al cono.

UNI EN 12350-5: Determinazione dello spandimento alla tavola a scosse.

UNI EN 12350-7: Misura del contenuto d'aria sul calcestruzzo fresco.

UNI 7122: Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità di acqua d'impasto essudata.

UNI EN 12390-1/2/3/4: Procedura per il confezionamento dei provini destinati alla valutazione della resistenza meccanica a compressione.

UNI EN 13791: Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo.

UNI EN 12504-1: Prove sul calcestruzzo nelle strutture - parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione.

UNI EN 10080: Acciaio per cemento armato.

UNI EN ISO 15630-1/2: Acciai per cemento armato - Metodi di prova.

EUROCODICE 2 - UNI ENV 1992: Progettazione delle strutture in c.a.

UNI EN 13670-1: Esecuzione di strutture di calcestruzzo.

UNI 8866: Disarmanti (benché ritirata senza sostituzione).

3. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Le strutture connesse agli impianti di depurazione, 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 nell'elenco degli edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un evento di collasso ai sensi della Deliberazione della Giunta Regionale n. 1214 del 31 maggio 2011 (B.4 lett.c - discariche ed impianti primari di depurazione che in caso di collasso possono determinare gravi conseguenze in termini di danni ambientali).

Pertanto sulla base delle indicazioni contenute nelle NTC di cui al D.M. 17 gennaio 2018, nella Circolare del 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LLPP. e nel DGR del 31 maggio 2011 n. 1214 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 2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari - 50 anni;
- Classe d'uso (par. 2.4.2): III - industrie con attività pericolose per l'ambiente;
- Coefficiente d'uso (C_u - Tab. 2.4.II): 1,5.

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

- $V_r = V_n \cdot C_u = 50 \cdot 1,5 = 75$ 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 C_3A , componente base del clinker che, a contatto con acque e terreni solfatici, dà 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 <u>acque</u> (mg/kg) EN 206-1	Tipo di cemento UNI 9156	Tipo di cemento EN 197-1
XA1 (attacco debole)	$\geq 200 - \leq 600$	MRS	SR5
XA2(attacco moderato)	$> 600 - \leq 3.000$	ARS	SR3
XA3 (attacco forte)	$> 3.000 - \leq 6.000$	AARS	SR0

Classe di esposizione	Concentrazione di SO_4^{2-} nel <u>terreno</u> (mg/kg) EN 206-1	Tipo di cemento UNI 9156	Tipo di cemento EN 197-1
XA1 (attacco debole)	$\geq 2.000 - \leq 3.000$	MRS	SR5
XA2(attacco moderato)	$> 3.000 - \leq 12.000$	ARS	SR3
XA3 (attacco forte)	$> 12.000 - \leq 24.000$	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.

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 5.2 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.

Aggiunta tipo II		k	Denominazione del tipo di cemento (UNI EN 197-1)	Rapporto in massa aggiunta/cemento ^{a)}	Rapporto acqua/cemento	Requisiti aggiuntivi
Ceneri volanti UNI EN 450-1		0,4	CEM I	< 0,33	-	-
			CEM II/A	< 0,25		
		0,2 ^{b)}	CEM III/A CEM IV/A (P) CEM V/A (S-P)	< 0,25	-	Classe di resistenza del cemento: 32,5 N 32,5 R 42,5 N 42,5 R
Fumi di silice UNI EN 13263-1 ^{e)}	Classe 1 ^{c)}	2,0	CEM I CEM II/A ^{d)}	< 0,11	< 0,45	-
		2,0			> 0,45	Tutte le classi di esposizione tranne XC e XF
		1,0				Classi di esposizione XC e XF
Loppa d'altoforno granulata macinata UNI EN 15167-1		0,6	CEM I CEM II/A	< 1,0	-	-

a) E' consentito utilizzare un rapporto aggiunta/cemento maggiore, ma in tali casi non si può tener conto del quantitativo di aggiunta eccedente il limite specificato ai fini del calcolo del rapporto massimo acqua/(cemento+k aggiunta) e del contenuto minimo di (cemento + k aggiunta).

b) Il valore riportato deriva da sperimentazioni nazionali su ceneri volanti di categoria A.

c) Il quantitativo di cemento non deve essere ridotto più di 30 kg/m³ al di sotto del contenuto minimo di cemento richiesto per la classe di esposizione pertinente (prospetto 5).

d) Eccetto cemento Portland composito ai fumi di silice.

e) Per i fumi di silice di classe 2 non sono stabilite dalla presente norma regole per l'uso del concetto del valore k.

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 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:

$$\text{fumo di silice} \leq 7\% \text{ rispetto alla massa di cemento.}$$

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 + $k \cdot$ 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/m^3 .

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/m^3 .

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 SO_3 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 AS0,2);
- 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

È consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i **limiti superiori di cui alla Tabella 11.2.III del D.M. 17 gennaio 2018** (ved. prospetto riportato nel presente paragrafo) a condizione che il calcestruzzo possenga i requisiti reologici, meccanici e di durabilità di cui ai paragrafi successivi.

Per quanto riguarda i limiti inferiori, Acquedotto Pugliese premia l'utilizzo di calcestruzzi conformi a quanto disposto dal **CAM Edilizia** (D.M. 11 ottobre 2017 e, a partire dal 4 dicembre 2022, secondo D.M. 23 giugno 2022), che prevede che **il calcestruzzo venga confezionato con un contenuto di materiale riciclato sul secco di almeno il 5% del peso del prodotto**, da valutare come somma delle singole componenti.

Le prove di controllo di produzione in fabbrica sugli aggregati di riciclo devono essere 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 t 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, si fa specifico riferimento alle norme UNI 8520-1 e UNI 8520-2.

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo [MPa]	Percentuale di impiego
Demolizioni di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%
Demolizioni di solo calcestruzzo e c.a. (frammenti di calcestruzzo \geq 90%, UNI EN 933-11:2009)	\leq C20/25	fino al 60%
	\leq C30/37	\leq 30%
	\leq C45/55	\leq 20%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	Classe minore del calcestruzzo di origine	fino al 15%
	Stessa classe del calcestruzzo d'origine	fino al 10%

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.

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 206-1:2016 e UNI 11104:2016, 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 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 206-1:2016 e UNI 11104:2016 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 206-1:2016;
- ☐ Classe, o combinazione di classi, di esposizione ambientale (Prospetto 1- UNI 11104:2016);
- ☐ Classe di resistenza caratteristica minima a compressione (Prospetto 5- UNI 11104:2016);
- ☐ 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 206-1:2016).

In conformità alla UNI EN 206-1:2016 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 ($1 N/mm^2 \cong 10 Kg/cm^2$).

Classe di resistenza	F_{ck} (N/mm^2)	R_{ck} (N/mm^2)	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	
C30/37	30	37	
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	

Tab.4.1 - Classi di resistenza del calcestruzzo

Oltre alle classi di resistenza riportate in Tab. 4.1 si possono prendere in considerazione le classi di resistenza già in uso C28/35 e C32/40.

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 11104:2016 e UNI EN 206:2016 le classi e sottoclassi di esposizione ambientale elencate nella tabella seguente.

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
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	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.5 - Classi di esposizione ambientale del calcestruzzo (prospetto 1 UNI 11104)

	GRADO DI ATTACCO		
	XA1 (debole)	XA2 (moderato)	XA3 (forte)
Agente aggressivo nelle acque			
Ph	$\leq 6,5$ e $\geq 5,5$	$< 5,5$ e $\geq 4,5$	$< 4,5$ e $\geq 4,0$
CO ₂ aggressiva mg/l	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100
ioni ammonio NH ₄ ⁺ mg/l	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
ioni magnesio Mg ⁺⁺ mg/l	≥ 300 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 3000	> 3000
ioni solfato SO ₄ ⁼ mg/l	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3000	> 3000 e ≤ 6000
Agente aggressivo nel terreno			
ioni solfato SO ₄ ⁼ mg/kg di terreno seccato all'aria	≥ 2000 e ≤ 3000	< 3000 e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000

Tab.6 - Classi di esposizione ambientale - Attacco chimico - valori limite

Di seguito è riportato il prospetto 5 della UNI 11104 con le indicazioni prestazionali minime per il calcestruzzo in funzione delle classi di esposizione ambientale.

prospetto 5																				Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
UNI 11104:2016		Classi di esposizione																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione								Corrosione delle armature indotte da cloruri				Attacchi da cicli di gelo/disgelo						Ambiente aggressivo per attacco chimico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Acqua di mare								Cloruri provenienti da altre fonti																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2									XA3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
X0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

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_{agg}) => 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:

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

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

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 ad una pressione d'acqua di 5 atm.

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

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 cls, 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 possieda 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 m³ di calcestruzzo.

In accordo con le specifiche di capitolato la misura della lavorabilità potrà essere effettuata mediante differenti metodologie. In particolare la lavorabilità del cls 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).

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	≥ 220	Superfluida

Tab.7 - Classi di consistenza mediante misura dell'abbassamento al cono

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

Tab.8 - Classi di consistenza mediante misura dello spandimento

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 206-1:2016.

Per le vasche degli impianti di depurazione è consigliato l'uso di calcestruzzi almeno con classe di consistenza S4 per le platee e S5 per le pareti.

4.2.6. Granulometria degli aggregati e Dmax

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 le strutture degli impianti di depurazione occorre valutare attraverso un'analisi chimica delle acque la presenza di eventuali sostanze che possono promuovere il degrado del calcestruzzo o delle armature.

Le sostanze aggressive presenti nei reflui (quali i solfati e l'ammonio) possono essere innumerevoli; pertanto, risulta praticamente impossibile poter generalizzare individuando delle prescrizioni di capitolato univoche valide per qualsiasi tipo di acqua sottoposto a trattamento.

Molto spesso, inoltre, l'attacco risulta così severo da richiedere l'impiego di trattamenti protettivi a base di sistemi epossidici.

Si consiglia, quindi, per queste strutture, di volta in volta, in base alla natura e alla concentrazione delle sostanze aggressive, definire, in modo corretto, le prescrizioni di capitolato per il calcestruzzo e per gli eventuali trattamenti protettivi da adottare.

In generale però, vista la composizione media dei reflui urbani, per garantire una bassa permeabilità (tenuta idraulica) e una bassa diffusività agli agenti aggressivi (durabilità), si deve far riferimento alle prescrizioni minime delle classi di esposizione ambientale XA2 e XC4:

- rapporto $a/c = 0,50$;
- classe di resistenza a compressione minima $C(32/40) = R_{ck} 40$.

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 XA2+XC4+XS1.

In caso di strutture site oltre i 600 metri, oggetto dei cicli gelo-disgelo, la classe di esposizione minima sarà XA2+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 206-1:2016 e UNI:11104:2016, per garantire la durabilità in classe di Vita Nominale 2 (*Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*) come previsto dal D.M.17/01/18.

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.

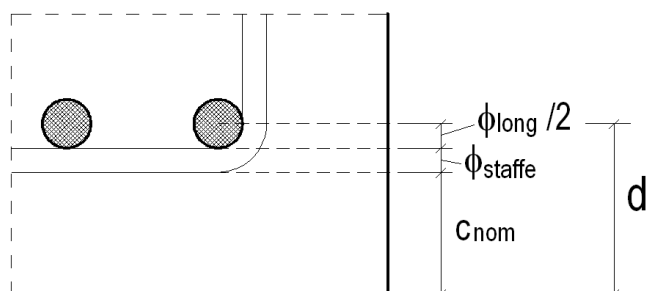
Tipo		Classe di esposizione	Rapporto a/c max	Classe di lavorabilità	Classe di resistenza Minima Rck (Mpa)	Aggregati non gelivi	Tipo di Cemento	Campi di Impiego
A	1	XC4+XA2	0,5	S4/S5	C(32/40)		MRS	strutture aperte a contatto con acque reflue (vasche depurazione, ecc.)
	2	XC4+XA3	0,45	S4/S5	C(35/45)		AARS	strutture chiuse a contatto con acque reflue(digestori, ecc.)
	3	XC4+XA2 +XF1	0,5	S4/S5	C(32/40)	F2 o MS25		strutture del tipo A1 esposte al gelo ma non in contatto con sali disgelanti (vasche di depurazione, ecc.)

Tab.8 - Prescrizioni minime sul calcestruzzo in funzione del campo di impiego

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:

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

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 10mm⁴;
- $c_{\text{min},b} = \phi \sqrt{n_b}$ = copriferro minimo per garantire l'aderenza, pari al diametro per il numero di barre nel caso di eventuali gruppi di barre;
- $c_{\text{min},\text{fuoco}}$ = garantisce la resistenza all'incendio (gli spessori sono riportati in EN 1992-1-2 e nel DM 16/02/07);
- $c_{\text{min},\text{dur}}$ = 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 50 anni.

CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE	SPESSORE MINIMO DI COPRIFERRO ($c_{\text{min},\text{dur}}$)	
	VITA NOMINALE 100 ANNI	
	C.A.	C.A.P.
X0	10	10
XC1	15	15
XC2, XC3	25	35
XC4	30	40
XS1, XD1	35	45
XS2, XD2	40	50
XS3, XD3	45	55

Tab.9 - Spessori min. del copriferro a garanzia di durabilità secondo i prospetti 4.4N e 4.5N dell'EC 2:2005.

⁴ 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.

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.

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 calcestruzzo⁵ secondo la UNI EN 206-1, deve essere inferiore al 0,4% (classe di contenuto di cloruri Cl 0,40).

5. ACCIAIO TONDO

L'acciaio da cemento armato ordinario comprende:

- barre d'acciaio tipo B450C⁽⁶⁾ ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 40 \text{ mm}$), 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 ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$) tipo B450C;
- tralicci elettrosaldati ($6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$) tipo B450C;

Ognuno di questi prodotti deve rispondere alle caratteristiche richieste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M.17/01/2018, che specifica le caratteristiche tecniche che devono essere verificate,

⁵ Inteso come somma del contenuto di cloruri apportato dall'acqua, dal cemento dalle aggiunte minerali, dagli additivi e dagli aggregati.

⁶ 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.

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:

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.

Tab.10 - Valori max di composizione chimica secondo D.M. 17/01/2018

5.2. Proprietà meccaniche

Le proprietà meccaniche devono essere in accordo con quanto specificato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

Proprietà	Valore caratteristico	Fratte (%)
f_y (N/mm ²)	≥ 450	5.0
f_t (N/mm ²)	≥ 540	5.0
f_t/f_y	$\geq 1,15$ $\leq 1,35$	10
A_{gt} (%)	$\geq 7,5\%$	10
$f_y/f_{y,nom}$	$\leq 1,25$	10

Tab.11 - Proprietà meccaniche secondo il D.M. 17/01/2018

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/mm^2 ($0,6 f_{y,\text{nom}}$). L'intervallo delle tensioni, 2σ deve essere pari a 150 N/mm^2 per le barre dritte o ottenute da rotolo e 100 N/mm^2 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:

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

Tab.12 - Prova carico ciclico in relazione al diametro

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. 17/01/2018.

Diametro nominale (mm)	Da 5 a ≤ 8	Da > 8 a ≤ 40
Tolleranza in % sulla massa nominale per metro	± 6	$\pm 4,5$

Tab.13 - Diametri nominali e tolleranze

5.6. Aderenza e geometria superficiale

I prodotti devono avere una superficie nervata in accordo con il D.M. 17/01/2018.

Le tensioni di aderenza devono essere ricavate in accordo a quanto riportato nel paragrafo 11.3.2.10.4 del D.M. 17/01/2018. I prodotti devono aver superato le prove di *Beam Test* effettuate presso un Laboratorio Ufficiale di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001. Per determinare la proprietà

di aderenza dell'acciaio nervato, si valuterà su 3 campioni per ciascun diametro, alle procedure riportate nella norma UNI EN ISO 15630-1:2010 il valore dell'area relativa di nervatura f_r , per l'acciaio nervato riportato di seguito.

Diametro nominale (mm)	f_r
$5 \leq \varnothing \leq 6$	≥ 0.035
$6 < \varnothing \leq 12$	≥ 0.040
$\varnothing > 12$	≥ 0.056

Tab.14 - Valori dell'area relativa di nervatura f_r in funzione del diametro per le barre

6. QUALIFICA E ACCETTAZIONE DEI MATERIALI

6.1. Controlli sul calcestruzzo

6.1.1. Qualifica del calcestruzzo

In accordo al D.M. 17/01/2018 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 CEI EN ISO/IEC 17021-1. 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 agevolarne 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.).

6.1.2. 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. 17/01/2018).

In merito alla definizione di miscela omogenea ai fini del controllo di accettazione di cui alle NTC, "*Linee Guida per la messa in opera del Calcestruzzo Strutturale*" del settembre 2017 hanno chiarito che un calcestruzzo (secondo le prestazioni) è da intendersi omogeneo se possiede le medesime caratteristiche prestazionali in termini di classe di resistenza e classe di esposizione.

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.

6.1.3. 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 m³ 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).

6.1.4. 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 EN 12350-8
V-FUNNEL	UNI EN 12350-9
L-BOX	UNI EN 12350-10
J-RING	UNI EN 12350-12

6.1.5. 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) del calcestruzzo	Verifica visiva e controllo secondo il metodo di riferimento	Conformità alla classe di consistenza	Quando opportuno, nel 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

6.2. Controlli sull'acciaio

6.2.1. 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. 17/01/2018 al punto 11.3.1.2 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 provenienti direttamente da ferriere devono essere accompagnate dell'Attestato di Qualificazione" rilasciato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale.

Ciascun fascio della fornitura dovrà essere regolarmente etichettato.

Sull'etichetta dovranno essere riportati i riferimenti al tipo di prodotto (es. B450C), diametro, lunghezza della barra, peso e numero di colata;

In caso di forniture di armature provenienti da un Centro di trasformazione, queste devono essere accompagnate dall'Attestato di "Denuncia dell'attività del centro di trasformazione" rilasciato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale.

I colli di fornitura, dovranno essere dotati di etichette identificative riportanti il marchio e/o logo del Centro di Trasformazione, che deve corrispondere a quello indicato sull'Attestato di denuncia dell'attività.

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 all'Attestato di "Denuncia dell'attività del centro di trasformazione" 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.

6.2.2. 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. 17/01/2018 al punto 11.3.2.12.

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

I controlli vanno eseguiti in misura di 3 campioni ogni 30 t di acciaio ciascuno per ogni diametro delle barre o della stessa tipologia per reti e tralicci, 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 11.3.2.3 di cui al precedente Decreto, riguarderà le proprietà meccaniche di resistenza e di allungamento.

Caratteristica	Valore Limite	Note
<i>f_y minimo</i>	425 N/mm ²	<i>Per acciai B450A e B450C</i>
<i>f_y massimo</i>	572 N/mm ²	<i>Per acciai B450A e B450C</i>
<i>Agt minimo</i>	$\geq 6.0\%$	<i>Per acciai B450C</i>
<i>Rottura/snervamento</i>	$1.13 < f_t/f_y < 1.37$	<i>Per acciai B450C</i>
<i>Piegamento/raddrizzamento</i>	assenza di cricche	<i>Per acciai B450A e B450C</i>

Tab.15 - Valori limite per prove acciaio

Qualora la determinazione del valore di una quantità fissata in termini di valore caratteristico crei una controversia, il valore dovrà essere verificato ripetendo la prova su ulteriori 6 campioni dello stesso diametro.

Ove anche da tale accertamento i limiti dichiarati non risultino rispettati, il controllo deve estendersi, previo avviso al fabbricante nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, a 25 campioni, applicando ai dati ottenuti la formula generale valida per controlli sistematici in stabilimento (Cfr. D.M. 17/01/2018 al punto 11.3.2.10.1.3).

L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della partita e la trasmissione dei risultati al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione. Analoghe norme si applicano ai controlli di duttilità, aderenza e distacco al nodo saldato: un singolo risultato negativo sul primo prelievo comporta l'esame di sei nuovi campioni dello stesso diametro, un ulteriore singolo risultato negativo comporta l'inidoneità della partita.

Inoltre il direttore dei lavori deve comunicare il risultato anomalo al Servizio tecnico centrale.

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).

6.2.3. Prova di piega e raddrizzamento

In accordo con quanto specificato nel D.M. 17/01/2018, è richiesto il rispetto dei limiti seguenti.

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

Tab.15 - Diametri del mandrino ammessi per la prova di piega e raddrizzamento

7. 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 valutazione delle caratteristiche del Calcestruzzo In Opera" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Prima di iniziare la messa in opera del calcestruzzo è comunque necessario compiere le operazioni e le verifiche riguardanti almeno: le casseforme, le attrezzature provvisorie di sostegno e/o di supporto, le armature metalliche e le attrezzature necessarie per il getto, per la compattazione e per la maturazione del calcestruzzo.

7.1. 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.

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.

7.1.1. 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, cascate 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 cascate 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.

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 *auto tensioni* per contrazione termica.

7.1.2. 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 copriferro 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 in opera;
- per evitare la segregazione bisogna evitare di scaricare il calcestruzzo fresco formando cumuli che successivamente vengono stesi.

7.1.3. 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 le vasche di depurazione.

Per la compattazione del getto verranno adoperati vibratori a parete e 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 alle 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 vibratori (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.

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>

Tab.16 - Relazione tra classe di consistenza e tempo di vibrazione del conglomerato

7.1.4. Riprese di getto

Per quanto possibile, i getti devono essere eseguiti senza soluzione di continuità, in modo da evitare le riprese e conseguire la necessaria continuità strutturale.

Qualora siano inevitabili le riprese di getto, queste, 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 al fine di migliorare l'adesione con il getto successivo.

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 idroespansiva).

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.

Anche se le soluzioni sopraindicate mirano ad ottenere il monolitismo tra i getti successivi, per assicurare la continuità strutturale, le riprese di getto devono essere orientate su piani quanto più possibili ortogonali alla direzione dei flussi di compressione che si destano poi nella struttura in servizio, in modo da garantire un'imposta efficace per tali compressioni.

7.1.5. 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).

In generale tutti gli inserti destinati a mantenere le armature in posizione, quali: distanziali, tiranti, barre o altri elementi incorporati o annegati nella sezione come placche e perni di ancoraggio, devono:

- essere fissati solidamente in modo tale che la loro posizione rimanga quella prescritta anche dopo la messa in opera e la compattazione del calcestruzzo;
- non indebolire la struttura;
- non indurre effetti dannosi al calcestruzzo, agli acciai di armatura;
- non provocare macchie inaccettabili;
- non nuocere alla funzionalità o alla durabilità dell'elemento strutturale;
- non collegare le armature con altri elementi metallici a contatto con l'ambiente;
- non ostacolare la messa in opera e la compattazione del calcestruzzo.

Ogni elemento annegato deve avere una rigidità tale da mantenere la sua forma durante le operazioni di messa in opera del calcestruzzo.

7.1.6. 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) $S = \pm 1.0\text{ cm}$

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

7.1.7. Casseforme

Le casseforme e le relative opere provvisorie di supporto, di sostegno e/o puntellamento utilizzate dall'appaltatore devono essere progettate e realizzate in modo da contenere e/o sopportare tutte le azioni e le sollecitazioni alle quali sono sottoposte nel corso della messa in opera del calcestruzzo ed essere idonee a garantire il rispetto delle dimensioni geometriche, delle tolleranze e dei requisiti di finitura della superficie del calcestruzzo previste in progetto esecutivo.

Pertanto tali opere provvisorie devono essere oggetto di uno specifico progetto a cura dell'appaltatore, riferito alle specifiche configurazioni d'impiego previste per la realizzazione di elementi costruttivi in c.a. i cui contenuti minimi sono riportati nelle "Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del Calcestruzzo In Opera" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'appaltatore 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.

Le casseforme, corredate o meno da sistemi di supporto, componenti di puntellamento e/o di impalcature di sostegno, devono essere atte a consentire la realizzazione delle opere in conformità alle specifiche del progetto esecutivo.

Le casseforme e le relative opere provvisorie correlate devono mantenere la geometria degli elementi strutturali in calcestruzzo fino a quando il grado di maturazione del getto sia tale da consentire al calcestruzzo di raggiungere una resistenza sufficiente ad autoportarsi, prima che le casseforme possano essere rimosse.

La geometria del calcestruzzo indurito deve essere conforme ai particolari costruttivi della documentazione progettuale e delle relative specifiche tecniche.

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.

Se il progettista e la Direzione Lavori necessitassero di ulteriori specifiche potranno far riferimento alle "Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del Calcestruzzo In Opera" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

7.1.7.1. Caratteristiche delle casseforme

Per quanto riguarda le casseforme viene prescritto l'uso di casseforme metalliche o di materiali fibrocompresi o compensati; in ogni caso esse dovranno essere poco deformabili e pertanto 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, e che il rivestimento delle casseforme sia stato saturo di acqua.

In ogni caso l'appaltatore avrà cura di trattare le casseforme, prima del getto, con idonei prodotti disarmanti (conformi alla norma UNI 8866, benché ritirata) e/o impermeabilizzante, nel caso di rivestimenti delle casseforme con superficie troppo assorbente.

Le parti componenti i casseri debbono essere a perfetto contatto e sigillate in corrispondenza dei giunti con idoneo materiale per evitare la fuoriuscita di boiaccia cementizia e/o fuoriuscita d'acqua d'impasto riducendo così il rischio di formazione di nidi di ghiaia cioè di porzioni di getto in cui gli aggregati grossi si presentano sciolti (o parzialmente ricoperti di boiaccia cementizia) e/o con presenza di cavità

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

I tiranti di collegamento delle casseforme contrapposte e i dispositivi di ancoraggio delle casseforme, qualora attraversino o siano inglobati nel calcestruzzo, non devono causare a quest'ultimo alcun danno.

7.1.7.2. 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, ruggine, residui dei precedenti impieghi etc.

Si deve altresì aver cura di eliminare ogni traccia di ruggine sulle casseforme con paramento/superfici di rivestimenti metallici.

L'impiego dei disarmanti è subordinato a prove preliminari atte a dimostrare che il distaccante non macchi e/o alteri il colore e la finitura superficiale del calcestruzzo.

A tal fine, prima di procedere al getto è sempre opportuno eseguire prove preliminari di compatibilità tra il calcestruzzo, il rivestimento della cassaforma e il disarmante.

Su tutte le casseforme di una stessa opera dovrà essere usato lo stesso prodotto.

L'applicazione del disarmante dovrà essere effettuata con cura, in strati sottili e regolari, prima del posizionamento delle gabbie di armatura.

In fase d'applicazione i prodotti disarmanti non devono mai venire a contatto con i ferri d'armatura, con il calcestruzzo indurito o con altri materiali che non costituiscono il rivestimento della cassaforma.

Nel caso di casseforme con rivestimento metallico, andrà utilizzato un prodotto disarmante anticorrosivo, per evitare che la loro superficie si ossidi arrecando macchie di ruggine al calcestruzzo.

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

Il disarmante in eccesso è causa dell'apparizione di macchie e deve pertanto essere rimosso mediante dei panni o spugne.

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.

In questo caso, una volta applicato correttamente il disarmante bisognerà immettere il calcestruzzo dal fondo, per evitare la presenza di bolle superficiali.

In caso invece di casseforme con rivestimenti assorbenti, costituite da tavole o pannelli di legno non trattato od altri materiali assorbenti, questi prima della messa in opera del calcestruzzo, dovranno essere saturati con acqua.

7.1.7.3. 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 interruttive, sicurvia, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti, etc.

7.1.7.4. 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. 17/01/2018).

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.

7.1.7.5. 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.

7.1.8. 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 ($1 \div 7$ gg) 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:

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

Tab.17 - Durata min. stagionatura in relazione a T° di superficie e velocità di sviluppo resistenza del cls

Nota

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

** $f_{cm,28}$ è la resistenza media cilindrica del calcestruzzo dopo 28 giorni a 20°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 degli impianti di depurazione 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 casserate 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.

7.2. Acciaio

Le armature per opere in calcestruzzo armato sono ottenute tramite le operazioni di taglio a misura, piegatura, saldatura e assemblaggio, delle barre di acciaio.

Tali lavorazioni possono avvenire all'interno del cantiere o in appositi stabilimenti definiti Centri di Trasformazione autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio dei Lavori Pubblici.

Ne consegue che nelle operazioni di verifiche e controllo bisogna verificare non solo le caratteristiche metallurgiche dell'acciaio ma anche la precisione e correttezza delle operazioni di taglio, piegatura, raddrizzatura, saldatura ed assemblaggio delle armature.

In generale i processi di sagomatura adottati, sia nel Centro di Trasformazione che in cantiere, devono essere eseguiti in coerenza con quanto riportato nel Cap. 6 e nell'Allegato D della Norma UNI EN 13670.

7.2.1. 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:

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

Tab.18 - Diametri ammissibili dei mandrini per barre piegate

La piegatura deve essere effettuata in un'unica operazione.

La piegatura, deve essere effettuata a freddo, a velocità moderata, in modo tale da assicurare una curvatura regolare alla parte piegata, evitare frantumazioni o fenditure nel calcestruzzo all'interno della piegatura e fessure nella barra dovute alla piegatura stessa.

Con temperature inferiori ai - 5° C la piegatura dell'acciaio è sconsigliata.

La piegatura tramite il riscaldamento delle barre non è consentita.

7.2.2. 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.

7.2.3. Assemblaggio e messa in opera delle barre di armatura

Le armature dovranno essere messe in opera secondo le posizioni, le prescrizioni e le indicazioni dei disegni e dei documenti progettuali.

La legatura delle barre dovrà garantire il mantenimento 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.

8. PRESCRIZIONI MINIME 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 paragrafo 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 alla norma 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: XC4;
- 3)** Rapporto a/c max: 0.50;
- 4)** Classe di resistenza a compressione minima (per XA2): 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 0.4;
- 8)** Classe di consistenza S4/S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm;

9) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%;

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: 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: XC4-XS1;

Prescrizioni per la struttura:

14) Copriferro minimo: 45 mm ⁷;

15) Scassero oppure durata minima della maturazione umida da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non casserata con geotessile tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni;

16) Getti nel periodo invernale: protezione delle superfici casserate 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 casserate 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. 17/01/2018.

⁷ Per pareti contro terra e platee di fondazione. Per strutture in elevazione il copri ferro minimo può variare da 30 mm per classe di esposizione XA2 e 40 mm per classe di esposizione XA3.