



REGIONE  
LOMBARDIA



PROVINCIA  
DI BRESCIA



COMUNE DI  
CALVISANO



## PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

AMPLIAMENTO MENSA SCUOLA PRIMARIA DI CALVISANO  
CUP: E44E22000090001

### RELAZIONE SUI MATERIALI

Aggiornamento	DATA	OGGETTO	Scala	Elaborato
	Gennaio 2023	Prima stesura		
			-	n. <b>E03</b>
Il Tecnico progettista; D.L.; C.S.P. e C.S.E.: (Ing Paolo Perfetti)			Il Responsabile del procedimento: (geom. Silvia Tomasoni)	

**PREMESSA**

Le norme tecniche per la progettazione prevedono la redazione della **Relazione sui materiali**.

E' da intendere anche che quanto richiesto al punto 4.1.7 delle N.T.C. debba essere contenuto nella relazione sui materiali (*“Tutti i progetti devono contenere la descrizione delle specifiche di esecuzione in funzione della particolarità dell’opera, del clima, della tecnologia costruttiva. In particolare il documento progettuale deve contenere la descrizione dettagliata delle cautele da adottare per gli impasti, per la maturazione dei getti, per il disarmo e per la messa in opera degli elementi strutturali. Si potrà a tal fine fare utile riferimento alla norma UNI EN 13670-1:2001 “Esecuzione di strutture in calcestruzzo – Requisiti comuni”*) relativo alla messa in opera del calcestruzzo ed alla stagionatura del calcestruzzo.

Si ritiene di poter sostenere che per strutture con vita utile di progetto di 50 anni, se vengono attuate le prescrizioni suggerite dalle norme europee sulla progettazione e messa in opera del calcestruzzo, non siano necessarie né protezioni aggiuntive né particolari manutenzioni volte alla salvaguardia della capacità portante dell’opera.

E' però buona norma, comunque, evitare il ristagno e lo scorrimento dell’acqua sulla struttura con un opportuno utilizzo di guaina impermeabilizzante, scossaline, gronde, ecc.

Questa relazione sui materiali si prefigge l’obiettivo di riunire in un unico documento le varie situazioni progettuali che si possono avverare nel progetto in analisi che si diversificano fra di loro a causa della diversa tipologia di struttura, del diverso ambiente (aggressivo ...) nel quale per lo stesso progetto si possono trovare delle diversità nei carichi ai quali sono sottoposte.

Nell’analisi strutturale di ogni elemento del progetto saranno adottate una o più di queste condizioni che saranno, comunque, chiaramente richiamate nella relativa relazione di calcolo strutturale.

**Normativa di riferimento**

<b>DM 2018</b>	D.M. 17 gennaio 2018 e circolare 21 Gennaio 2019, n° 7 C.S. LL. PP.
----------------	---

**ACCIAIO**

L'acciaio da utilizzare comprende: barre d'acciaio tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 50 \text{ mm}$ ), rotoli tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$ ); prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con:

- diametri  $\leq 16 \text{ mm}$  per il tipo B450C;
- reti elettrosaldate ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 12 \text{ mm}$ ) tipo B450C;
- tralicci elettrosaldati ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 12 \text{ mm}$ ) tipo B450C.

Ognuno di questi prodotti deve essere conforme alle Norme tecniche: queste specificano le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi e le condizioni delle prove di accettazione 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).

## CALCESTRUZZO

### Tipo di calcestruzzo

I calcestruzzi dovranno essere conformi alla UNI EN 206-1 e UNI 11104 e dovranno rispondere alle prestazioni riportate nella figura seguente.

### Classe di resistenza

La classe di resistenza è stata definita in conformità alle Norme tecniche e alla UNI EN 206-1: il primo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cilindrica ( $f_{ck}$  per le Norme tecniche e  $f_{ck,cyl}$  per le norme europee) mentre il secondo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cubica ( $R_{ck}$  per le Norme tecniche e  $f_{ck, cube}$  per le norme europee). Le resistenze del calcestruzzo devono soddisfare i valori minimi previsti dalla norma UNI 11104 per l'ambiente in cui è previsto che debbano lavorare i vari elementi strutturali.

### Prescrizione della classe di resistenza

La classe di resistenza di ogni elemento strutturale dell'opera dovrà essere stabilita:

- \_ in base alle esigenze strutturali;
- \_ in funzione delle azioni agenti sulla struttura.

La classe di resistenza dovrà soddisfare anche il requisito minimo necessario per la durabilità e la classe di esposizione.

Le N.T.C. 2018 prescrivono che “le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale sono quelle definite nella UNI EN 206-1 e nella UNI EN 11104 di recepimento”.

Classi di resistenza a compressione normalizzate per calcestruzzo normale e pesante	
C8/10	C40/50
C12/15	C45/55
C16/20	C50/60
C20/25	C55/67
C25/30	C60/75
C28/35*	C70/85
C30/37	C80/95
C32/40*	C90/105
C35/45	C100/115

Classi di resistenza previste dalle norme UNI EN 206-1 e UNI 11104(\*)  
per i calcestruzzi normali.

Classe di esposizione ambientale

Le classe di esposizione ambientale prevista per le strutture di fondazione (platea e muri), tengono conto delle caratteristiche del terreno.

La classe di esposizione ambientale prevista per le strutture in elevazione tiene conto del rischio di carbonatazione in regime bagnato-asciutto, tipico della zona in cui è sito l'edificio, avendo esteso, per ovvi motivi di continuità strutturale e pratici, lo stesso calcestruzzo delle strutture perimetrali (travi, pilastri) alle strutture interne (solai, travi, pilastri). Le classi di esposizione ambientale hanno determinato la scelta delle caratteristiche minime dei calcestruzzi, la dimensione dei copriferri e la verifica dello stato limite di deformazione riportata nella relazione di calcolo allegata.

Sulla classe di esposizione le N.T.C. 2018 e le linee guida sul calcestruzzo strutturale, pubblicate nel 1996, non indirizzano con chiarezza a quale documento fare riferimento. Nelle valutazioni che seguono si fa riferimento alle UNI EN 11104 ed UNI EN 206-1 che sono sostanzialmente le stesse. Il prospetto riportato di seguito consente di individuare la corretta combinazione di classi di esposizione dell'opera e/o di ogni sua singola componente, in funzione dei singoli meccanismi di degrado dell'ambiente sulle strutture.

Determinazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>1.1 Assenza di rischio di erosione o attacco</b>		
XO	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato al riparo di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato/asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelata o attacco chimico.
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b> Nota 1 - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel corpo e non nel riferimento di inserti metallici, ma in malta, si può ritenere che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classe di esposizione deve essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera al calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC,	Assiunto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensazione o immerse in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreni non aggressivi.
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia o in interni con umidità elevata moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzo armato visto in ambienti urbani. Superfici a contatto con acqua non presa nella classe XC2.
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esdusi quall' provenienti dall'acqua di mare</b>		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in SL, penicole o parti di ponti, e vasi, esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua, quali industriali, condotti per acque di mare, etc.
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di elementi strutturali idrattanti soggetti agli agenti di congelamento o agli spruzzi intensi, agenti corrosivi. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso elementi con una superficie penicole immerse in acqua con intense correnti e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e paratie per alluvioni.

Denominazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
<b>XS1</b>	E.sposto alta salinità in ambiente marino non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
<b>XS2</b>	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
<b>XS3</b>	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
<b>5 Attacco di ciclo gelo/disgelo con o senza disgelanti</b>		
<b>XF1</b>	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calc. estruso con facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo alla pioggia all'acqua.
<b>XF2</b>	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
<b>XF3</b>	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggette ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
<b>XF4</b>	Elevata saturazione d'acqua in presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade e pavimenti esposti al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.
<b>6 Attacco chimico .. &gt;</b>		
<b>XA1</b>	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.
<b>XA2</b>	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
<b>XA3</b>	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarichi industriali.
<p>•&gt; Il grado di saturazione della seconda colonna riassume la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione</li> <li>• elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.</li> </ul> <p>..&gt; Da parte di acque del terreno e acque fluenti.</p>		

Prospetto 1 estratto dalla UNI 11104 in cui vengono elencate le classi di esposizione in funzione dell'ambiente.

Il prospetto seguente consente di individuare le caratteristiche minime che deve possedere il calcestruzzo.

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione			Corrosione delle armature indotta da cloruri							Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
					Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza*)	C12/15	C25/30		C28/35	C32/40	C32/40	C35/45		C28/35	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30		C28/35	C28/35	C32/40	C35/45
Minimo contenuto di cemento (kg/m³)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 <sup>II</sup>					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>II</sup>		

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

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

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

La classificazione della classe di esposizione per le verifiche allo stato limite di fessurazione è rappresentata dalla tabella seguente.

Condizioni Ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.1.III di classificazione delle classi di esposizione per l'utilizzo della tabella 4.1.IV riportata nella Fig. 2.5 per la verifica allo stato limite di fessurazione, estratta dalle Norme tecniche<sub>EN</sub>.

Per i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione si utilizza il prospetto riportato di seguito.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
<b>a</b>	Ordinarie	Frequente	ap. fessure	$\leq W_x$	ap. fessure	$\leq W_s$
		Quasi permanente	ap. fessure	$\leq W_1$	ap. fessure	$\leq W_1$
<b>b</b>	Aggressive	Frequente	ap. fessure	$\leq W_1$	ap. fessure	$\leq W_s$
		Quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq W_1$
<b>c</b>	Molto aggressive	Frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq W_1$
		Quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq W_1$

Tabella 4.1.IV di classificazione dei criteri di scelta dello stato limite di fessurazione estratta dalle Norme tecniche<sub>EN</sub>.

Classe di consistenza

Le classi di consistenza sono state stabilite ipotizzando l'utilizzo della pompa. Per la classe di consistenza S5 si devono accettare abbassamenti al cono di Abrams non superiori a 250 mm.

Nel caso che, per motivi legati all'operatività, venga richiesto di utilizzare una classe di consistenza diversa da quella prescritta, può venire autorizzata dalla DL ma deve essere annotata sull'apposito registro di cantiere, adducendo le motivazioni della variazione.

Il mantenimento della consistenza deve essere garantito per un tempo di almeno due ore dalla fine del carico dell'autobetoniera e comunque non meno di un'ora dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere, tempo in cui l'impresa deve completare lo scarico. Il fornitore di calcestruzzo e l'impresa devono programmare il getto in modo che il produttore cadenzi le consegne per dare il tempo necessario all'impresa di poter mettere in opera il materiale.

Sono da evitare interruzioni di getto superiori a un'ora.

Nel caso che, durante il getto del calcestruzzo, si manifestino fenomeni di segregazione o eccessiva essudazione, occorre controllare che la prova di bleeding, secondo la norma UNI 7122, dia un valore inferiore a  $0,5 \text{ l/m}^2/\text{ora}$ .

Prescrizione della classe di consistenza

Rappresenta un indice della lavorabilità del calcestruzzo, cioè la capacità del calcestruzzo di lasciarsi introdurre e stendere nella cassaforma, di avvolgere le barre di armatura, di riempire l'interno della forma e di espellere l'eccesso di aria inglobata durante la fase di vibrazione.

Individuare la corretta classe di calcestruzzo contribuisce ad evitare ingiustificate aggiunte d'acqua.

Il criterio di scelta può essere il seguente:

**S1 o V4** nella prefabbricazione di manufatti estrusi e di elementi realizzati con casseri scorrevoli.

**S3** per strutture realizzate con casseri rampanti, pavimentazioni realizzate con laser screed, strutture non vibrato con forti pendenze (falde), getti non pompato, plinti poco armati.

→ **S4** per getti effettuati direttamente dalla canale dell'autobetoniera di pavimenti, solette, platee, plinti e per getti pompato a prevalente sviluppo verticale come muri e pilastri, normalmente armati, travi, solette con forti pendenze.

→ **S5** per il getto di strutture pompato a prevalente sviluppo orizzontale del calcestruzzo, con pendenze modeste, solai, travi, travi rovesce, platee, solette, plinti, pavimenti, setti, muri e pilastri fortemente armati. Si ricorda che la classe S5 prevede un abbassamento al cono di Abrams maggiore di 210 mm senza definire un limite superiore.

Un fattore importante è il **mantenimento della lavorabilità**: durante il tempo necessario allo svuotamento dell'autobetoniera, il calcestruzzo deve mantenere la lavorabilità riportata in bolla.

Per ottenere questo importante obiettivo occorre lavorare su più livelli:

— è possibile richiedere al produttore di calcestruzzo di garantire un tempo mantenimento della lavorabilità di **1-2 ore** dalla fine del carico dell'autobetoniera: all'interno di questo intervallo di tempo, si raccomanda

di prescrivere che il produttore garantisca la lavorabilità per un periodo minimo di 30 minuti a un massimo di 1 ora dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere;

\_ l'impresa, nel caso di getti lenti di elementi strutturali particolari, come pilastri, setti, scale, tetti, deve ordinare quantitativi che può riuscire a gestire in questo lasso di tempo, oppure deve ordinare un calcestruzzo con classe di consistenza superiore.

#### Classe di contenuto in cloruri

Tra quelle previste dalla norma UNI EN 206-1, è stata prescritta la classe che prevede una presenza bassa di cloruri, in quanto già presenti nell'acqua in fondazione.

#### Prescrizione della classe di contenuto in cloruri

I cloruri presenti nella massa cementizia sono una delle cause più importanti della degradazione delle armature metalliche.

Essi possono essere veicolati anche dalle materie componenti il calcestruzzo che può contenerne quantità dannose (per esempio gli additivi acceleranti).

In merito la norma UNI EN 206-1 prescrive al produttore di calcestruzzo di controllare il contenuto di cloruri in ciascuna componente, esprimendolo come percentuale di ioni cloruro rispetto alla massa di cemento e di verificare la classe di appartenenza di ogni miscela secondo il seguente prospetto.

Impiego del Calcestruzzo	Classe di contenuto in cloruri <sup>a)</sup>	Massimo contenuto di Cl <sup>-</sup> rispetto alla massa del cemento <sup>b)</sup>
In assenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici (ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione)	CI 1,0	1,0 %
In presenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici	CI 0,20	0,20 %
	CI 0,40	0,40 %
In presenza di armatura d'acciaio da precompressione	CI 0,10	0,10 %
	CI 0,20	0,20 %
a) la classe da applicare per uno specifico utilizzo del calcestruzzo dipende da disposizioni valide nel luogo di impiego del calcestruzzo b) Qualora siano impiegate aggiunte di tipo II e siano considerate nel computo del dosaggio di cemento, il contenuto in cloruri viene espresso come percentuale di ioni cloruro in massa rispetto al cemento + la massa totale delle aggiunte considerate.		

**Prospetto 10 estratto dalla norma UNI EN 206-1 in cui vengono definite le classi di contenuto in cloruri in funzione dell'impiego del calcestruzzo.**

### Copriferro

I valori dei copriferri sono stati stabiliti secondo la norma UNI EN 1992-1-1 (sezione 4), in funzione delle classi di esposizione ambientali.

Si ricorda che il valore del copriferro è misurato dal filo esterno delle staffe per cui se verranno utilizzati distanziatori fissati alle barre longitudinali occorrerà sommare al valore fornito anche il diametro delle staffe ed il raggio della barra. Le tolleranze di esecuzione dei copriferri sono quelle previste dalla norma EN 13670:2008: è stata considerata una tolleranza  $\Delta c_{dev}$  di 10 mm, come proposto dalla norma UNI EN 1992-1-1.

### Prescrizione sul copriferro

Le Norme tecniche del 2018 nel paragrafo 4.1.6.1.3 prescrivono, a proposito dei dettagli costruttivi degli elementi monodimensionali, che *“al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell’aggressività dell’ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature”*. Coerentemente a quanto prevede la normativa europea e consigliato dalle Norme tecniche come valido riferimento, è possibile utilizzare la norma UNI EN 1992-1-1 per dimensionare correttamente i copriferri.

La norma prescrive nel capitolo 4.4.1 il valore nominale del copriferro:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Dove:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur}; + \Delta c_{dur,Y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm \}$$

In cui

$$\Delta c_{dev} = 10mm \text{ e } \Delta c_{dur,Y} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

$c_{min,b}$  è il copriferro minimo necessario per l’aderenza delle armature.

Per armature ordinarie  $c_{min,b}$  è pari al diametro della barra, nel caso di barre singole e al diametro equivalente, nel caso di barre raggruppate.

Se la dimensione nominale massima dell’aggregato è maggiore di 32mm la norma raccomanda di maggiore  $c_{min,b}$  di 5 mm.

### Controlli

Il calcestruzzo, secondo quanto previsto dalle Norme tecniche vigenti, deve essere prodotto da impianti dotati di un sistema di controllo permanente della produzione, certificato da un organismo terzo indipendente riconosciuto. È compito della DL accertarsi che i documenti di trasporto indichino gli estremi della

certificazione. Sul calcestruzzo dovrà essere eseguito il controllo di accettazione di tipo A o di tipo B secondo quanto previsto dal capitolo 11 delle Norme tecniche.

### Messa in opera

L'esecuzione dell'opera deve essere conforme alla norma prEN 13670:2008.

A tal fine è stata prevista la classe di esecuzione 1 e la classe di tolleranza 1. In particolare si raccomanda di utilizzare casseforme di resistenza, rigidità, tenuta e pulizia adeguate per ottenere superfici regolari e prive di difetti superficiali che possano incidere pesantemente sulla capacità del copriferro di proteggere le armature, soprattutto in presenza di ambiente marino.

Per quello che riguarda la messa in opera (tolleranze, giunzioni, assemblaggio) e piegatura (temperatura minima, diametro dei mandrini, ecc.) delle armature, occorre attenersi alle prescrizioni riportate nel capitolo 6 della norma prEN 13670:2008.

I lavori di preparazione ai getti dovranno essere completati, ispezionati e documentati come richiesto dalla classe di esecuzione.

Le superfici che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco non devono avere una temperatura inferiore a 0°C finché questo abbia superato la resistenza a compressione di 5 MPa. Se la temperatura ambientale è prevista al di sotto di 0°C o al di sopra di 30°C al momento del getto o nel periodo di maturazione, occorre prevedere precauzioni per la protezione del calcestruzzo, come specificato nel paragrafo successivo.

Il calcestruzzo deve essere compattato a rifiuto in modo che le armature vengano adeguatamente incorporate nella matrice cementizia, l'elemento strutturale assuma la forma imposta dalle casseforme e la superficie del getto sia priva di difetti superficiali. Allo scopo occorre utilizzare vibratori ad ago da inserire ed estrarre verticalmente ogni 50 cm circa, facendo attenzione a non toccare le armature e ad inserire il vibratore ad una profondità tale da coinvolgere gli strati inferiori precedentemente vibrati. Per la scelta effettuata delle classi di consistenza, la durata della vibrazione sarà relativamente bassa, soprattutto nei getti dei solai e della platea.

Maggior cura richiederà la compattazione del calcestruzzo gettato nei pilastri, nelle pareti e nei nodi trave-pilastro.

### Prescrizione della messa in opera

Le Norme tecniche nel paragrafo 4.1.7 prescrivono che *“tutti i progetti devono contenere la descrizione delle specifiche di esecuzione in funzione della particolarità dell'opera, del clima, della tecnologia costruttiva.*

*In particolare il documento progettuale deve contenere la descrizione dettagliata delle cautele da adottare per gli impasti, per la maturazione dei getti, per il disarmo e per la messa in opera degli elementi strutturali. Si potrà a tal fine fare utile riferimento alla norma UNI EN 13670-1: 2001 “Esecuzione di strutture in calcestruzzo – Requisiti comuni”.*

Le prestazioni della struttura gettata sono fortemente influenzate dalla messa in opera e dalla stagionatura.

La stessa verifica della fessurazione prevista dagli stati limite di esercizio o la prescrizione corretta dei copriferri e dei materiali, non hanno molto senso se il manufatto è già coperto da fessure perché non è stato protetto dopo il getto.

#### La vibrazione

La compattazione del calcestruzzo gettato, eseguita tramite vibratori ad ago, a parete, e stagge vibranti, consente di espellere l'aria intrappolata all'interno del calcestruzzo.

Una corretta compattazione con il vibratore ad ago (di gran lunga la più utilizzata nei cantieri edili) vede la posa del calcestruzzo nella cassaforma, facendo attenzione che siano soddisfatti i seguenti accorgimenti.

- \_ La posa deve essere eseguita per strati di spessore inferiore a 30 cm.
- \_ L'ago va introdotto in posizione verticale immergendolo per una profondità superiore a quella dello strato eseguito, per un tempo da determinare in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.
- \_ L'operazione va ripetuta con un intervallo di circa 50 cm, evitando il contatto dell'ago con la cassaforma e i ferri di armatura. Si riporta la tabella 7.9 estratta dal libro Concretum, in cui sono consigliati i tempi di vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

Classe di consistenza	Tempo minimo di permanenza dell'ago nel getto
V4	30 - 50 s
S1	25 - 30 s
S2	20 - 25 s
S3	15 - 20 s
S4	10 - 15 s
S5	5 - 10 s
F6	0 - 5 s

Tabella 7.9 estratta dal libro Concretum in cui è consigliata la durata della vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

## Stagionatura

Il calcestruzzo, dopo il getto, deve essere protetto contro la veloce evaporazione dell'acqua, dal gelo, dagli agenti atmosferici.

Nei getti verticali, la stagionatura consiste nel mantenimento delle casseforme. Per i getti orizzontali nell'applicazione di teli di plastica per il tempo necessario fissato dalle tabelle sotto riportate.

Per la platea di fondazione, per i solai (soprattutto in corrispondenza dei balconi e del perimetro) e per la veletta (gronda) del tetto, si prescrive una classe di stagionatura 3, per le pareti e pilastri è sufficiente una classe di stagionatura 2 (figura sottostante).

Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h <sup>5)</sup>			
Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 2 (corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 35% della resistenza caratteristica prescritta)			
Temperatura superficiale del calcestruzzo (t) °C	Tempo minimo della stagionatura, giorni <sup>1)</sup>		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo <sup>2) 4)</sup> $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $0,50 > r \geq 0,30$	Lento $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$	2,0	5	11
Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 3 (corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 50% della resistenza caratteristica prescritta)			
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$	3,5	9	18
Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 4 (corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 70% della resistenza caratteristica prescritta)			
$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$	9	18	30
<sup>1)</sup> Più il tempo di presa se eccedente le 5 ore <sup>2)</sup> Per temperature sotto i 5°C la durata dovrebbe essere prolungata della permanenza al di sotto di 5°C <sup>3)</sup> Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto delle resistenze medie a compressione dopo 2 giorni e a 28 giorni determinate da prove iniziali o basata su prestazioni del calcestruzzo conosciuto di composizione simile (vedi EN 206-1 sezione 7.2) <sup>4)</sup> Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione <sup>5)</sup> Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sia maggiore o uguale a 5°C.			

Eccetto che nel periodo invernale, è consentito utilizzare agenti antievaporanti, facendo attenzione ad evitare le riprese di getto.

In questo periodo, si prescrive l'utilizzo di teli di plastica, in modo da proteggere il getto, oltre che dall'evaporazione dell'acqua, anche dalle basse temperature.

Nel periodo invernale, si consiglia di richiedere al fornitore di calcestruzzo un prodotto con bassi tempi di indurimento, in modo da accorciare i tempi di stagionatura.

Le Linee guida sul calcestruzzo strutturale definiscono la stagionatura come *“l'insieme di precauzioni che, durante il processo di indurimento, permette di trasformare l'impasto fresco in un materiale resistente privo di fessure e durevole”*. Si ricorda che per stagionatura protetta s'intende il mantenimento delle casseforme per le superfici verticali del getto, oppure la protezione delle superfici orizzontali del getto dalle basse temperature, dagli agenti atmosferici (vento, pioggia, neve, grandine) o dalla rapida evaporazione dell'acqua d'impasto tramite fogli di materiale plastico, tessuti mantenuti umidi, agenti antievaporanti, nebulizzazione di acqua.

Occorre ricordare che lo strato corticale del getto è quello che determinerà la vita dell'opera. Trascurare la stagionatura significa distruggere la protezione delle barre di armatura prima che la struttura sia messa in opera: l'elevata evaporazione porta ad un aumento della porosità e alla fessurazione del materiale scelto appositamente per soddisfare la classe di esposizione di progetto. In altre parole, se viene utilizzato un materiale pregiato (basso rapporto a/c) per resistere a determinate aggressioni ambientali, si sfrutta questa caratteristica nello strato corticale più che negli strati interni: quindi che senso ha non stagionarlo se si rischia di perdere queste sue caratteristiche?

Si riportano di seguito le tabelle su cui sono indicati i tempi previsti per la stagionatura del calcestruzzo, estratti dai riferimenti normativi vigenti.

La norma prEN 13670:2008 (figura seguente), prescrive il tempo di stagionatura protetta del calcestruzzo gettato, in funzione della temperatura superficiale (che differisce da quella ambientale in funzione del tipo di protezione applicata) e dello sviluppo di resistenza a 20°C.

## Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h"

## Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 2

<corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 350/o della resistenza caratteristica prescritta>

Temperatura superficiale del calcestruzzo <t> • e	Tempo minimo della stagionatura, giorni"		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo"" <f <sub>m</sub> / t <sub>m</sub> .l = r		
	Rapido r <sub>m</sub> > 0,50	Medio 0,50 > r <sub>m</sub> > 0,30	Lento 0,30 > r <sub>m</sub> > 0,15
t. 25	1,0	1,5	2,5
25 > t. 15	1,0	2,5	5
15 > t. 10	1,5	4	8
10 > t. 5	2,0	5	11

## Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 3

<corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 500/o della resistenza caratteristica prescritta>

t. 25	1,5	2,5	3,5
25 > t. 15	2,0	4	7
15 > t. 10	2,5	7	12
10 > t. 5	3,5	9	18

## Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 4

<corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 700/o della resistenza caratteristica prescritta>

t. 25	3	5	6
25 > t. 15	5	9	12
15 > t. 10	7	13	21
10 > t. 5	9	18	30

1> Deve *essere* conteggiato anche il tempo di presa se eccedente le 5 ore

2> Per temperature sotto i 5°C la durata dovrebbe essere prolungata della permanenza al di sotto di 5°C

3> Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo e il rapporto delle resistenze medie a compressione dopo 2 giorni e a 28 giorni determinate da prove iniziali o basate su prestazioni del calcestruzzo conosciute di composizione simile <vedi EN 206-1 sezione 7.2>

4> Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione

5> Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sia maggiore o uguale a 5°C.

Traduzione delle tavole 4, F.1, F.2, F.3 estratte dalla norma prEN 13670:2008 in cui viene prescritta la durata della stagionatura in funzione della temperatura superficiale e dello sviluppo della resistenza del calcestruzzo.

La resistenza deve essere fornita dal produttore come riportato nel prospetto 12 della UNI EN 206-1 (figura sottostante).

Sviluppo della resistenza	Stima del rapporto di resistenza $f_{cm,2}/f_{cm,28}$
Rapido	$\geq 0,5$
Medio	da $\geq 0,3$ a $< 0,5$
Lento	da $\geq 0,15$ a $< 0,3$
Molto Lento	$< 0,15$

Prospetto 12 estratto dalla norma UNI EN 206-1 in cui sono definite le fasce di sviluppo della resistenza del calcestruzzo a 20°C.

La norma europea raccomanda la tempestività della stagionatura, fino a prevederne una provvisoria in caso di posticipi nella finitura (come ad esempio nei pavimenti industriali); inoltre definisce 4 classi di stagionatura da scegliere in funzione della classe di esposizione, del tipo di calcestruzzo, dei copriferri, delle condizioni climatiche e della dimensione degli elementi gettati.

La tabella 7, estratta dalle Linee guida sul calcestruzzo strutturale, prescrive il tempo di stagionatura protetta, in funzione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo alla temperatura ambientale in cui è stato gettato, del tasso di umidità dell'aria e della ventilazione.

Sviluppo della resistenza del calcestruzzo	Rapido			Medio			Lento		
Temperatura del calcestruzzo (°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Condizioni ambientali durante la stagionatura	Tempi espressi in giorni								
I) Non esposto ad insolazione diretta UR dell'aria circostante $\geq 80\%$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
II) Isolazione diretta media o vento di media velocità o $U_e > 50\%$	4	3	2	6	4	3	8	5	4
III) Isolazione intensa o vento di forte velocità o $U_e < 50\%$	4	3	2	8	6	5	10	8	5

Tabella 7 estratta dalle Linee Guida<sub>(P1)</sub> in cui viene prescritta la durata della stagionatura.

Sviluppo della resistenza del calcestruzzo												
Temperatura del calcestruzzo in °C	Rapido			Medio			Lento			Molto lento		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Non esposto ad insolazione diretta: umidità relativa > 80%	8	9	10	9	10	11	11	12	13	13	14	15
Insolazione diretta media o vento di media intensità o umidità relativa ≥ 50%	12	13	13	14	15	15	14	15	16	15	16	16
Insolazione intensa o vento forte o umidità relativa < 50%	14	15	16	16	17	18	16	18	19	18	19	20

Tabella 12.1 estratta Codice di buona pratica<sub>[p7]</sub> in cui viene prescritta la durata della stagionatura in giorni per ogni lotto di pavimento finito.

Si ricorda infine che, con l'avvento di additivi fluidificanti dell'ultima generazione (acrilici), forti riduttori di acqua, e con l'aumento delle resistenze per soddisfare i requisiti di durabilità, la stagionatura, soprattutto nei periodi estivi e/o nelle giornate con forte ventilazione, è diventata uno strumento più importante che in passato per scongiurare la formazione di fessure durante i tempi di presa e di primo indurimento.

#### Accorgimenti alle alte e basse temperature

Alta temperatura ambientale significa elevata temperatura del calcestruzzo, bassa umidità relativa (in funzione della presenza del vento) e forte insolazione dell'ambiente. La norma UNI EN 206-1 prescrive che il calcestruzzo fresco non superi la temperatura di 30°C perché altrimenti si accorciano eccessivamente i tempi di presa e s'innalza la richiesta d'acqua e la velocità di perdita di lavorabilità. Il produttore può intervenire sulla temperatura del calcestruzzo proteggendo dall'insolazione gli aggregati e utilizzando l'acqua a bassa temperatura. L'impresa dovrebbe utilizzare il calcestruzzo nei momenti meno caldi della giornata e proteggere il getto dalla forte evaporazione dell'acqua, soprattutto alle basse stagionature, in modo da ridurre la formazione fessurazioni da ritiro o assestamento plastico. L'elevata temperatura, tuttavia, consente di non prolungare eccessivamente la stagionatura. Particolare attenzione occorre nel caso in cui di notte ci sia una forte escursione termica che può innescare nel getto forte tensioni per contrazione termica, così come è buona norma controllare la forte perdita di umidità dei primi giorni, soprattutto nei getti orizzontali, che provoca fessure e imbarcamenti (nelle strutture non armate) per ritiro igrometrico differenziale. La norma UNI EN 206-1 prescrive che il calcestruzzo fresco non deve scendere al di sotto della temperatura di 5°C. Una bassa temperatura rallenta la reazione di idratazione allungando i tempi di presa e di primo indurimento. Per questo i tempi di stagionatura protetta in inverno si dilatano. Il calcestruzzo allo stato fresco va protetto dal gelo, soprattutto nelle ore notturne dei getti pomeridiani. Nei getti orizzontali il rischio è rappresentato dal congelamento dell'acqua d'impasto che affiora superficie e che, dilatandosi, distrugge la crosta superficiale, oltre a renderla pulverulenta a causa del cemento non idrato per la solidificazione dell'acqua. I getti verticali, anche se casserati, devono essere protetti dall'abbassamento della temperatura, altrimenti il maggior raffreddamento delle parti con maggior superficie specifica (come gli spigoli di muri e pilastri) può arrivare a causare il loro distacco. La resistenza minima a compressione, oltre la quale si ammette che il gelo non produca più danni al calcestruzzo fresco, è fissata a 5MPa. Quindi è opportuno, nei getti invernali con temperature ambientali inferiori a 5°C, che l'impresa si consigli con il fornitore di calcestruzzo per accelerare i tempi di presa calcestruzzo (è possibile utilizzare additivi acceleranti oppure classi di resistenza superiori con rapporti a/c inferiori, arrivando in casi estremi, a riscaldare l'acqua d'impasto) e che mantenga il getto protetto termicamente per il tempo previsto.