



REGIONE
LOMBARDIA



COMUNE DI
INCUDINE



COMUNE DI
EDOLO



COMUNE DI
MONNO

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO DI CONFLUENZA DEL TORRENTE VAL FINALE NEL FIUME OGLIO E REALIZZAZIONE DI AREE DI ACCUMULO/LAMINAZIONE SUL TORRENTE VAL FINALE, NEI COMUNI DI MONNO, INCUDINE E EDOLO. - CUP: G92B22000990002 -



RELAZIONE SUL MATERIALE STRUTTURALE (CALCESTRUZZO E ACCIAIO)

Aggiornamento	DATA	OGGETTO	Elaborato n. T7
	Febbraio 2024	Prima stesura	

Il Progettista; D.L., C.S.P. e C.S.E.:
Ing. Girolamo Landrini



Il Responsabile del Procedimento:
Geom. Fabio Albertoni

Elaborazione dati e stesura progetto: STUDIO LANDRINI
Via Carlo Tassara n.4, 25043 Breno (BS) Tel. 0364 21076
e-mail: landrini@LANDRINIGEROLAMO.191.it

RELAZIONE SUI MATERIALI

Premessa

Questa relazione è relativa al materiale strutturale (in questo caso per la costruzione della briglia allo sbocco del torrente nel fiume Oglio).

Quando applicabile è da osservare anche per il calcestruzzo di intasamento dei massi coi quali forma una struttura monolitica.

In particolare il calcestruzzo per intasare i sassi non può essere usato nel caso di basse temperature, sotto zero, perché il sasso "gelato" può inibire la presa. Pertanto per temperature sotto zero che persistono da giorni non sono fattibili scogliere - berme - rivestimenti, intasati con calcestruzzo.

Le norme tecniche per la progettazione N.T.C. 2018 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.

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.

Normativa di riferimento

DM 2018	Norme tecniche per le costruzioni
UNI EN 1992-1-1	Progettazione delle strutture in c.a.
UNI EN 206-1	Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI 11104	Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
UNI 8520 Parte 1 e 2	Aggregati per calcestruzzo- Istruzioni complementari per l'applicazione in Italia della norma UNI-EN 12620- Requisiti
UNI 7122	Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità di acqua d'impasto essudata
EN 10080:2005	Acciaio per cemento armato
UNI EN ISO 15630 -1/2	Acciai per cemento armato: Metodi di prova
EN 13670:2018	Execution of concrete structures

Fino al 2005 nessuna normativa Italiana ha mai prescritto che le opere debbano essere progettate soddisfacendo anche l'essenziale quesito della durabilità.

Progettare in durabilità l'opera significa non dover fare ripristini costosissimi a poco tempo dalla loro esecuzione.

Una norma quale documento prettamente tecnico ma non di legge, se richiamata da una legge, diventa cogente. Pertanto in questo documento, richiamando una norma o parte di essa, si fa sì che essa diventi vincolante in fase contrattuale per l'impresa e per i fornitori.

Le Norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2018 definiscono la durabilità come la *"conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano garantiti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione"*.

Le N.T. 2018 non chiariscono cosa fare per ottenere il requisito di durabilità ma si limitano a "consigliare" alcune norme europee. Tale consiglio è seguito in questa analisi.

L'obiettivo è quello di perseguire la prevenzione del degrado delle strutture in c.a. che si può perseguire con i seguenti passaggi.

Progetto : analisi del contesto ambientale, scelta dei materiali, concezione e calcolo delle strutture, disegno dei particolari costruttivi.

Realizzazione: preparazione - messa in opera, controllo dei copriferri, controlli di accettazione, compattazione e stagionatura del calcestruzzo.

Manutenzione: interventi programmati nel corso della vita utile di servizio all'opera.

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.

Per la briglia che delimita la vasca di espansione alla confluenza del torrente nel fiume Oglio si prescrive un calcestruzzo pozzolanico.

Normative di riferimento		UNI 11104 (prospetto 1)	Uni 11104 (prospetto 4) e UNI EN 206.1						UNI EN 1992-1-1
Tipo	Campi di impiego	Classe di esposizione	Classe di resistenza (Resistenza caratteristica)	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	D _{max} aggregato (mm)	Classe di consistenza	Prestazioni aggiuntive	Copriferro nominale
1	Sottofondazione	X0	C 12/15 (R _{ck} 15)	CI 1,0	no	32	S4		-
2	Platea di fondazione	XC2 + XS2	C 32/40 (R _{ck} 40)	CI 0,20	no	32	S5	Cemento Classe 32,5 o 42,5 tipo III o IV UNI EN 197-1	50
3	Muri di fondazione	XC2 + XS2	C 32/40 (R _{ck} 40)	CI 0,20	no	32	S4		50
4	Pilastri e muri in elevazione	XC3 + XS1	C 32/40 (R _{ck} 40)	CI 0,20	no	32	S4		45
5	Travi, solai, veletta tetto, balconi	XC4 + XS1	C 32/40 (R _{ck} 40)	CI 0,20	no	20	S5		45
6	Falde tetto	XC4 + XS1	C 32/40 (R _{ck} 40)	CI 0,20	no	20	S3		45

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 classi di esposizione ambientale previste per le strutture di fondazione (platea e muri), tengono conto dell'acqua di falda e trascurabile presenza di altre sostanze aggressive previste dalla UNI EN 206-1).

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 situata l'opera. 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.

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 cadenziale 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. *Per evitare calcestruzzi troppo fluidi, ad alto rischio di segregazione, è possibile sfruttare l'opportunità della norma UNI EN 206-1 che consente di prescrivere una consistenza di riferimento. Ad esempio il capitolato Pavical, per l'esecuzione di pavimenti industriali a stesura manuale, prescrive una consistenza di riferimento di 220 mm (con le tolleranze previste significa un abbassamento al cono compreso tra 190 e 250 mm). In alternativa è possibile prescrivere, congiuntamente alla classe di consistenza S5, una quantità di acqua essudata inferiore a 0,5 l/m²h valutata in conformità alla norma UNI 7122 "Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata."* In bibliografia è possibile reperire suggerimenti sui valori ottimali della classe di consistenza per gli elementi strutturali più comuni.

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.

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 e nell'aerosol marino.

Prescrizione della classe di contenuto in cloruri

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

Nel progetto in esame:

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^{a)}	Massimo contenuto di Cl⁻ rispetto alla massa del cemento^{b)}
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 impegno 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 ΔC_{dev} di 10 mm, come proposto dalla norma UNI EN 1992-1-1.

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. I documenti di trasporto devono indicare gli estremi della certificazione.

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 5MPa. 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.

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: 12h⁵⁾			
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 ¹⁾		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo ^{3) 4)} $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	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
<p>1) Più il tempo di presa se eccedente le 5 ore</p> <p>2) Per temperature sotto i 5°C la durata dovrebbe essere prolungata della permanenza al di sotto di 5°C</p> <p>3) 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 conosciute di composizione simile (vedi EN 206-1 sezione 7.2)</p> <p>4) Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione</p> <p>5) Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sia maggiore o uguale a 5°C.</p>			

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: 12h⁵⁾

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 ¹⁾		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo ³⁾⁴⁾ $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	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

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 è 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^[N12] 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 copriferrì, 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		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
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 UR $< 50\%$	4	3	2	8	6	5	10	8	5

Tabella 7 estratta dalle Linee Guida^(P1) in cui viene prescritta la durata della stagionatura.

Interessante è il suggerimento pratico del Prof. Coppola nel libro *Concretum* in cui si invita ad osservare una tabella più semplice e immediata di quelle proposte dalle normative sopra riportate, per la prescrizione della durata minima della stagionatura protetta (tabella 7.12).

Classe di resistenza del calcestruzzo	≤ C25/30		> C25/30	
	all'interno	all'esterno	all'interno	all'esterno
Esposizione della struttura				
Periodo di esecuzione dei getti	Aprile - Settembre		Aprile - Settembre	
	3	7	3	5
Periodo di esecuzione dei getti	Ottobre - Marzo		Ottobre - Marzo	
	7	10	5	7

La tabella tiene conto solo della resistenza del calcestruzzo, del periodo dell'anno e dell'esposizione della struttura rispetto all'ambiente.

Tabella 7.12 estratta da *Concretum_[PS]* in cui viene suggerita la durata della stagionatura (in giorni) da attuare in cantiere.

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_(P7) 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.