



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione
garantita

COLABETON 



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



“Calcis structio” era la definizione che veniva utilizzata per le strutture realizzate con un composto di calce aerea, pozzolana, frammenti di pietra e acqua, che si è evoluto nei secoli fino a diventare l’odierno calcestruzzo. Esempio emblematico di strutture realizzate con tecniche di questo genere è l’imponente cupola del Pantheon a Roma



La durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ha cominciato, finalmente, a rivestire un ruolo fondamentale nella progettazione delle opere in calcestruzzo armato con l’entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2008 (D.M. 14.01.2008) successivamente sostituite dal D.M del 18.01.2018. Per lunghi anni, infatti, soprattutto nel periodo storico che è coinciso con la ricostruzione post-bellica e la forte industrializzazione del nostro Paese (anni ‘50-’70), si è costruito considerando il calcestruzzo armato un materiale “eterno”, durevole al pari delle pietre naturali. Solo all’inizio degli anni ‘80, invece, ci si è resi conto che questo materiale, al pari di tutte le opere dell’uomo, può presentare i segni dell’invecchiamento, del proprio ciclo di vita che, in molti casi, può essere addirittura molto breve (15-20 anni). Le strutture in c.a., infatti, possono evidenziare fenomeni di alterazione e degrado confermando la “caducità” dei materiali utilizzati. Ad esempio, la corrosione dei ferri d’armatura con la conseguente formazione della incoerente e voluminosa ruggine determina consistenti espulsioni del copriferro di calcestruzzo degradando le opere sia dal punto di vista estetico che funzionale. Inoltre, lungo le coste l’azione della salsedine marina enfatizza questi fenomeni di alterazione, così come l’utilizzo massiccio dei sali disgelanti compromette l’integrità delle infrastrutture stradali e autostradali. L’evidenza che si stesse trattando di un materiale vulnerabile all’azione aggressiva dell’ambiente, ha indotto gli studiosi a condurre studi più approfonditi, finalizzati alla comprensione dei meccanismi di degrado, ai fattori che lo esaltano e, soprattutto, ad individuare i possibili rimedi per poterli prevenire, da adottare nelle fasi di dimensionamento e di realizzazione delle strutture in c.a. al fine di realizzare strutture durevoli che non necessitassero di interventi di manutenzione straordinaria prima che fosse trascorsa la vita nominale dell’opera.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



Garantire la durabilità di una struttura in calcestruzzo è diventato un obiettivo di primaria importanza al fine di contenere i costi totali della realizzazione dell'opera, intesi come la somma dei costi di realizzazione iniziale e di quelli imposti dalla manutenzione straordinaria (che dovrebbero essere ridotti al minimo - o annullati - durante la vita nominale dell'opera). La durabilità dell'opera, quindi, diviene – unitamente ai carichi statici e dinamici – un parametro progettuale da tenere in considerazione nella scelta del calcestruzzo, nella definizione dello spessore del copriferro oltre che nella progettazione dei particolari costruttivi (in primis quelli legati ad un corretto smaltimento delle acque piovane) che possano mitigare l'azione aggressiva dell'ambiente. Costruire durevole, in definitiva, significa progettare l'opera, dimensionare le sezioni degli elementi costruttivi, prescrivere i materiali in relazione alla potenziale aggressione dell'ambiente, seguire le fasi di messa in opera e stagionatura dei getti. Pertanto, il progettista che si appresta a dimensionare una struttura in calcestruzzo armato deve innanzitutto scegliere i materiali ed, in particolare, il tipo di calcestruzzo per garantire sia i requisiti strutturali che quelli legati alla durabilità. Nel D.M. 17.01.2018 al punto 11.2.11 si riporta che “Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado..... A tal fine, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego..... in fase di progetto dovranno essere indicate le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare in accordo alle **Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale** emanate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici facendo anche, in assenza di analisi specifiche, utile riferimento alle norme **UNI EN 206** ed



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



UNI 11104". Pertanto, in fase di progettazione, per la scelta e successiva prescrizione del calcestruzzo durevole, si farà riferimento alla norma UNI EN 206 e al documento di applicazione nazionale UNI 11104, che costituisce, in Italia, parte integrante della norma EN 206. Nelle norme vengono indicate 6 classi di esposizione - in funzione dell'ambiente cui sarà esposta la struttura durante la sua vita di servizio - a loro volta articolate in diverse sottoclassi; ovviamente la classe di esposizione per uno stesso elemento in c.a. o c.a.p. può essere multipla, ciò significa che una classe non esclude l'altra e che un determinato elemento strutturale può essere esposto a più di un meccanismo di degrado. Si riportano, in Tabella 1 e Tabella 2, le classi di esposizione, la forma di degrado ad essa collegata e alcuni esempi di opere che rientrano nelle classi/sottoclassi previste dalla normativa vigente.

Tabella 1 - Classi di esposizione - Meccanismi di degrado

Classe di esposizione Meccanismo di degrado		
X0	Assenza di rischio di corrosione o attacco	
XC	Corrosione indotta da carbonatazione	XC1
		XC2
		XC3
		XC4
XD	Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti da acqua di mare	XD1
		XD2
		XD3
XS	Corrosione indotta da cloruri presenti in acqua di mare	XS1
		XS2
		XS3
XF	Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza sali disgelanti	XF1
		XF2
		XF3
		XF4
XA	Attacco chimico	XA1
		XA2
		XA3



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

Tabella 2 – Classi di esposizione - Esempi di strutture

Esempi	
X0	Calcestruzzo non armati oppure armati ma in climi molto asciutti come all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa.
XC1	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa oppure stabilmente immerso in acqua.
XC2	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua/terreno. Fondazioni.
XC3	Calcestruzzo all'esterno, ma protetto dalla pioggia.
XC4	Superfici di calcestruzzo soggette a cicli di asciutto/bagnato.
XD1	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri. Vasche di contenimento di salamoie.
XD3	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri, pavimentazioni e parcheggi (anche interrati in climi rigidi)
XS1	Strutture esposte alla salsedine ma non in contatto diretto con acqua di mare
XS2	Strutture permanentemente immerse nell'acqua di mare
XS3	Parti di strutture marine esposte alle onde oppure alla marea soggette a cicli di asciutto/bagnato.
XF1	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo non in contatto con agente antigelo
XF2	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo
XF3	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo senza impiego di agente antigelo
XF4	Strade, impalcati da ponte e superfici di calcestruzzo a contatto con nebbia contenente agenti antigelo e al gelo
XA1	Strutture site in un ambiente chimico debolmente aggressivo
XA2	Strutture site in un ambiente chimico moderatamente aggressivo
XA3	Strutture site in un ambiente chimico altamente aggressivo



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



Una volta individuata/e la/e classe/i di esposizione in cui gli elementi strutturali ricadono, sarà necessario consultare il prospetto 4 della norma UNI 11104 in cui si riportano i valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo in funzione delle classi di esposizione.

	Nessun rischio di corrosione	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione			
		XC1	XC2	XC3	XC4
Massimo rapporto a/c	-	0.60	0.55	0.50	
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	-	300	320	340	



Come si può notare per ogni classe di esposizione è fissata una classe minima di resistenza caratteristica a compressione, un valore massimo del rapporto a/c e un dosaggio minimo di cemento. Nel caso si usino aggiunte di tipo II:

- cenere volante conforme alla UNI EN 450-1;
- fumi di silice conformi alla UNI EN 13263-1;
- loppa d'altoforno granulata macinata conforme alla UNI EN 15167-1;

il rapporto massimo a/c e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2 della stessa UNI 11104. Per quanto riguarda la classe di esposizione XS è richiesto anche l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo la UNI 9156. Inoltre, la norma specifica che l'acqua di mare, per quanto riguarda l'attacco chimico, è da considerare come un ambiente moderatamente aggressivo. Per questo motivo, le strutture direttamente a contatto con l'acqua di mare, in classe XS2 e XS3, devono ricadere anche in classe di esposizione XA2.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

	Corrosione dell'armatura indotta da cloruri					
	Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti		
	XS1	XS2 + XA2	XS3 + XA2	XD1	XD2	XD3
Massimo rapporto a/c	0.50	0.45		0.55	0.50	0.45
Minima classe di resistenza	C32/40	C35/45		C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	340	360		320	340	360



Nel caso in cui l'elemento ricada in classe di esposizione XF è richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo. Per le classi XF2-XF3-XF4 è richiesto anche un minimo contenuto di aria da inglobare, ricorrendo nel confezionamento del calcestruzzo all'utilizzo di additivi aeranti.

	Attacco causato da cicli gelo/disgelo			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Massimo rapporto a/c	0.50	0.50		0.45
Minima classe di resistenza	C32/40	C25/30		C30/37
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	320	340		360
Contenuto minimo in aria [%]	-	4		

Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.



Nel caso di strutture idrauliche o di fondazione che vengano in contatto con acque ricche di solfato o con terreni gessosi/selenitosi, i limiti del prospetto 2 della UNI EN 206 sono:

	Ambiente aggressivo per attacco chimico		
	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	0.55	0.50	0.45
Minima classe di resistenza	C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	320	340	360

È previsto l'uso di cemento resistente ai solfati conforme alla norma UNI EN 197-1



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



In linea generale, al fine di garantire la durabilità delle opere in calcestruzzo dovranno essere sempre utilizzate classi di resistenza almeno pari a C25/30. Come precedentemente accennato, la corretta scelta del calcestruzzo risulta essere una condizione necessaria, ma non sufficiente a garantire la durabilità dell'opera. Ad esempio, per le classi di esposizione in cui l'attacco ambientale si esplicita in forma di corrosione dei ferri di armatura promossi dall'azione dell'anidride carbonica dell'aria (carbonatazione: classe di esposizione XC) e/o dai cloruri (dovuti ai sali disgelanti: XD oppure di origine marina: XS), alle prescrizioni relative al calcestruzzo dovrà essere associato un valore minimo per il copriferro nominale calcolato secondo quanto riportato al punto 4.4 della norma UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2). Per le strutture in classe di esposizione XC, XD e XS, infatti, il calcestruzzo agisce da barriera all'ingresso degli agenti depassivanti per l'acciaio. Pertanto, per garantire la durabilità dei ferri - impedendo che essi arrugginiscono - è necessario fare in modo che le sostanze aggressive giungano in prossimità dei ferri allorché la struttura ha raggiunto la sua vita nominale. Per conseguire questo obiettivo, il calcestruzzo del copriferro deve possedere una bassa porosità capillare, conseguita riducendo il rapporto a/c (che equivale ad adottare calcestruzzi di resistenza a compressione medio-alta), deve essere compatto, privo di macrodifetti e fessurazioni. Queste caratteristiche possono essere conseguite attraverso una corretta posa in opera (che impedisca la formazione di vespai e nidi di ghiaia), un'efficace vibrazione dei getti finalizzata alla completa espulsione dell'aria in eccesso e una accurata maturazione umida che possa prevenire fenomeni di evaporazione precoce dell'acqua responsabile della formazione di dannose fessure attraverso le quali gli agenti aggressivi sarebbero facilitati nel raggiungere il ferro. Se questi provvedimenti vengono accompagnati da un copriferro di sufficiente spessore (che significa "allungare il cammino" che la sostanza aggressiva deve effettuare per raggiungere il ferro e innescare il



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



processo di corrosione) si potrà conseguire l'ambito obiettivo e prevenire fenomeni di corrosione delle barre per l'intera vita nominale dell'opera evitando, quindi, onerosi costi aggiuntivi per la manutenzione straordinaria delle strutture. Si tenga, infine, conto che tutti i fenomeni di alterazione e degrado del calcestruzzo e delle armature sono legati ad azioni fisiche, chimiche ed elettrochimiche che, per potersi manifestare, hanno bisogno della presenza dell'acqua. Ne consegue che la durabilità di un'opera può essere conseguita se – unitamente alla corretta prescrizione del calcestruzzo e dello spessore del copriferro – verranno curati i particolari costruttivi finalizzati ad un corretto smaltimento delle acque piovane che evitino il ruscellamento o il ristagno della stessa sugli elementi in c.a..

Il Ponte sul mare più lungo del mondo è in calcestruzzo, ed unisce l'isola di Hong Kong a Macao.

Per realizzarlo sono stati necessari 1,08 milioni di m³ di calcestruzzo



COLABETON

DIREZIONE GENERALE
via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401

www.colabeton.it
stc@colabeton.it
commerciale@colabeton.it
Numero Verde: 800 102102



COLABETON
CERTIFICAZIONE
DI QUALITÀ
UNI EN ISO 9001



CERTIFICAZIONE DEL
PROCESSO PRODUTTIVO
DM 14.01.2008





#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

In conclusione, garantire la durabilità di un'opera in calcestruzzo è il risultato di una eccellente progettazione, una corretta prescrizione dei materiali, un'attenta esecuzione durante le fasi di messa in opera e di stagionatura dei getti coinvolgendo quindi, in egual misura, tutte le figure coinvolte quali il progettista, il fornitore di calcestruzzo, l'impresa esecutrice e la Direzione Lavori.



COLABETON

DIREZIONE GENERALE
via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401

www.colabeton.it
stc@colabeton.it
commerciale@colabeton.it
Numero Verde: 800 102102





via della Vittorina, 60
06024 Gubbio (PG) - Italy
T +39 075 92401
F +39 075 9273965

www.colabeton.it
info@colabeton.it

