

## CALCESTRUZZI A PRESTAZIONE GARANTITA PER USI STRUTTURALI

### Descrizione

Calcestruzzi a prestazione garantita, per strutture semplicemente armate civili e industriali, la cui composizione e le relative proprietà garantiscono una durabilità del materiale sufficientemente elevata da poter resistere alle aggressioni ambientali per i ferri di armatura o per il calcestruzzo.

Le condizioni di aggressività non dipendono solo dall'ambiente in cui è esposta la struttura, ma sono legate al microclima che la stessa geometria della struttura può contribuire a creare. Un adeguato progetto dei dettagli costruttivi può, quindi, contribuire a mitigare l'aggressività ambientale nelle zone in cui tendono a concentrarsi gli agenti aggressivi.

Ai fini della durabilità della struttura (capacità di conservare le prestazioni iniziali per il periodo di vita atteso in base al progetto, purchè soggetta a manutenzione ordinaria) è fondamentale, oltre che l'utilizzo di un calcestruzzo durabile, la corretta stagionatura dei getti, l'adozione di un copriferro e di uno stato limite di fessurazione adeguato all'aggressività dell'ambiente e alla sensibilità alla corrosione delle armature.

### Campi di applicazione

#### Assenza di rischio di corrosione o attacco

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
X0	Calcestruzzo non armato in tutte le classi di esposizione, escluso dove c'è il gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico.  Calcestruzzo armato in ambiente molto asciutto	Calcestruzzo armato all'interno d'edifici con umidità dell'aria molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici o immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto a gelo/disgelo, ad abrasione o attacco chimico.

#### Corrosione indotta dalla carbonatazione

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni d'edifici con umidità dell'aria bassa. Calcestruzzo armato ordinario prevalentemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario costantemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
XC3	Umidità moderata	Interni d'edifici con umidità dell'aria da moderata ad alta. Calcestruzzo armato ordinario all'esterno con superfici riparate dalla pioggia.
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Calcestruzzo armato ordinario all'esterno con superfici soggette ad alternanze di asciutto e umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani.

Le condizioni di umidità indicate nel prospetto riguardano il copriferro, generalmente si può ritenere che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante

**Corrosione delle armature promossa da cloruri esclusi quelli presenti in acqua di mare**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi di acqua contenente cloruri.
XD2	Bagnato raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Calcestruzzo armato ordinario in elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi.

**Corrosione delle armature promossa dai cloruri dell'acqua marina**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario di strutture marine completamente immerse in acqua
XS3	Zona esposta alle onde o alla marea	Calcestruzzo armato ordinario di elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare

**Degrado del calcestruzzo per cicli di gelo-disgelo con o senza sali disgelanti**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
XF1	Moderata saturazione di acqua senza impiego di sale disgelante	Superfici verticali di strutture esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione di acqua con impiego di sale disgelante	Superfici verticali di strutture esposte al gelo e agli spruzzi di sali disgelanti
XF3	Elevata saturazione di acqua senza impiego di sale disgelante	Superfici verticali di strutture esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione di acqua con impiego di sale disgelante oppure acqua di mare	Strade ed impalcati da ponte esposti al gelo ed ai Sali disgelanti. Superfici orizzontali di strutture esposte alla pioggia e agli spruzzi di sali disgelanti

**XA - Attacco chimico del calcestruzzo nel suolo naturale e nell'acqua del terreno terreni e da parte di acque aggressive**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempi di situazioni in cui si possono applicare le classi di esposizione
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno con caratteristiche chimiche secondo il prospetto 2 della UNI EN 206:2016
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	
XA3 secondo UNI EN 206:2016	Ambiente chimico fortemente aggressivo	

Caratteristiche tecniche

Se si escludono i fenomeni a carattere straordinario, come sisma e incendi, il degrado delle strutture in calcestruzzo armato, dovuto ai diversi ambienti di esercizio della struttura (atmosfera, acqua e terreno), può essere ricondotto ai seguenti fenomeni naturali e comunque lenti nel tempo:

- la corrosione delle armature metalliche per effetto della carbonatazione, cioè della penetrazione della CO<sub>2</sub> dell'aria, e della penetrazione del cloruro dall'ambiente (acqua di mare, sali disgelanti) che causa riduzioni della sezione resistente delle armature, fessure e espulsioni del copriferro con riduzione di aderenza delle armature;
- l'attacco chimico ad alcuni costituenti della matrice cementizia (principalmente Ca(OH)<sub>2</sub>, Alluminati di Calcio Idrati C-A-H) per effetto del contatto con terreni o acque nel terreno chimicamente aggressive (acque dilavanti, ambiente solfatico) che produce rigonfiamenti e distruzione progressiva del calcestruzzo;
- la formazione di ghiaccio, soprattutto se il fenomeno si ripete ciclicamente, che riguarda la matrice cementizia e gli aggregati capace di provocare fessurazioni, sfaldamenti e distacchi superficiali;
- la reazione tra forme di silice presenti negli aggregati e gli alcali provenienti dal Cemento o dall'ambiente esterno che si manifesta attraverso rigonfiamenti localizzati degli aggregati reattivi e nel tempo con fessurazioni seguite da distacchi superficiali di calcestruzzo;
- la microfessurazione indotta da variazioni termiche, igrometriche e da sollecitazioni statiche/dinamiche che provoca, qualunque sia la causa, una via preferenziale per la penetrazione degli agenti aggressivi.

Difficilmente in un processo di degradazione esiste un solo fenomeno aggressivo: spesso più cause concorrono al deterioramento del materiale esaltandosi a vicenda. Tuttavia esiste sempre quella che può essere definita la causa fondamentale.

I calcestruzzi a prestazione garantita prodotti negli impianti della BARBETTI MATERIALS s.p.a., relativamente agli ambienti nei quali l'opera in calcestruzzo armato è destinata ad essere costruita (classi di esposizione), rispettano tutti i requisiti di durabilità raccomandati dalle Norme di riferimento: massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minimo contenuto di Cemento, minima Resistenza a compressione, contenuto minimo di aria e Aggregati non gelivi dove c'è il rischio del gelo/disgelo, Aggregati non reattivi agli alcali, tipo e classe di Cemento più idoneo.

Inoltre sono specificate la classe di consistenza, la dimensione massima dell'aggregato e la combinazione granulometrica, la Massa volumica del calcestruzzo fresco e indurito, il contenuto di cloruri. Qualora ritenuto

necessario, per un ulteriore approfondimento della conoscenza delle caratteristiche delle miscela, possono essere indicate la Resistenza a trazione per flessione o indiretta, il Modulo elastico, il Ritiro idraulico e la Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione.

Tutti i materiali utilizzati per il confezionamento dei Calcestruzzi a prestazione garantita sono corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE come previsto al Capo II del Regolamento UE 305/2011 e dal D.M. 17 Gennaio 2018:

- Cementi conformi a UNI EN 197-1:2011
- Aggregati conformi a UNI EN 12620:2008, UNI 8520-1:2015, UNI 8520-2:2016  
In Particolare non sono utilizzati aggregati reattivi con gli alcali (UNI 8520-22:2017)
- Acqua conforme a UNI EN 1008:2003
- Additivi superfluidificanti conformi a UNI EN 934-2:2012

I calcestruzzi a prestazione garantita sono progettati con:

- Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo per le classi di esposizione relative all'assenza di rischio di corrosione secondo UNI 11104:2016

Classe di esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe minima di resistenza (N/mm <sup>2</sup> )	Contenuto minimo di Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Cementi utilizzati
				UNI EN 197:2011
X0		C12/15		Portland Composito CEM II Composito CEM V

- Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo per le classi di esposizione relative alla Corrosione da Carbonatazione secondo UNI 11104:2016 e UNI 11417-1:2012

Classe di esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe minima di resistenza (N/mm <sup>2</sup> )	Contenuto minimo di Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Cementi utilizzati
				UNI EN 197:2011
XC1	0,60	C25/30	300	Portland Composito CEM II Composito CEM V
XC2				
XC3	0,55	C30/37	320	
XC4	0,50	C32/40	340	

- Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo per le classi di esposizione relative alla Corrosione da Cloruri secondo UNI 11104:2016 e UNI 11417-1:2012

Classe di esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe minima di resistenza (N/mm <sup>2</sup> )	Contenuto minimo di Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Cementi utilizzati UNI EN 197:2011
XD1	0,55	C30/37	320	Pozzolatico CEM IV Composito CEM V
XD2	0,50	C32/40	340	
XD3	0,45	C35/45	360	
XS1	0,50	C32/40	340	D' Altoforno CEM III
XS2	0,45	C35/45	360	Pozzolatico CEM IV
XS3				Composito CEM V

- Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo per le classi di esposizione relative all'attacco dei cicli di gelo-disgelo secondo UNI 11104:2016 e UNI 11417-1:2012

Classi di esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe minima di resistenza (N/mm <sup>2</sup> )	Contenuto minimo di Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Cementi utilizzati UNI EN 197:2011
XF1	0,50	C32/40	320	Portland Composito CEM II Pozzolatico CEM IV Composito CEM V
XF2	0,50	C25/30	340	
XF3				
XF4	0,45	C30/37	360	

- Aggregati grossi in conformità alla UNI EN 12620:2008 con categoria di resistenza al gelo-disgelo F2
- Contenuto minimo di aria inglobata 4%. La migliore difesa del calcestruzzo, nei riguardi degli effetti del gelo e disgelo, è offerta dall'aria inglobata sotto forma di microbolle uniformemente distribuite. L'introduzione dell'aria nel calcestruzzo si ottiene mediante l'impiego di additivi aeranti, aggiunti al momento dell'impasto. La quantità di additivo necessaria per ottenere una determinata percentuale di aria dipende dal tipo di additivo, dal tipo e dosaggio di cemento, dal tipo di aggregato e dalla sua combinazione granulometrica, dalla temperatura, dalla durata della miscelazione e dal tempo di trasporto.

- Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo per le classi di esposizione relative all'attacco chimico secondo UNI 11104:2016 e UNI 11417-1:2012

Classi di esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe minima di resistenza (N/mm <sup>2</sup> )	Contenuto minimo di Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Cementi utilizzati UNI EN 197:2011
XA1	0,55	C30/37	320	Pozzolatico CEM IV/A (MRS secondo UNI 9156)
XA2	0,50	C32/40	340	D' Altoforno CEM III/B-SR (ARS secondo UNI 9156)
XA3 UNI EN 206:2016	0,45	C35/45	360	D' Altoforno CEM III/B-SR

➤ In presenza di aggressivi chimici artificiali, quali gli acidi inorganici, sostanze organiche, ecc. è necessario eseguire una valutazione per stabilire la condizione di esposizione pertinente

- Classi di Consistenza (UNI EN 12350-2:2019): S3, non pompato (da 100 a 150 mm), S4 (da 160 a 210 mm) e S5 (>220 mm)
- Dmax: 10 (da C12/15 a C30/37), 20 e 30 mm

### Modalità d'impiego

Per realizzare un calcestruzzo strutturale con le caratteristiche di resistenza e di durabilità previste dal progetto è necessario che l'insieme delle operazioni di movimentazione, getto, compattazione e maturazione (messa in opera) siano eseguite correttamente.

La fornitura del calcestruzzo dal mezzo di trasporto al punto di scarico può essere effettuata direttamente con l'autobetoniera oppure mediante pompa. Il mezzo di consegna deve essere scelto tenendo in considerazione le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, l'elemento da realizzare, la distanza tra il punto d'arrivo del mezzo e quello di getto, la conformazione delle casseforme e del cantiere. L'uso della pompa è idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 e S5. La lavorabilità di un calcestruzzo è garantita per un'ora dal confezionamento con temperature ambiente fino a 32°C. Per tempi di percorrenza superiori e/o temperature elevate sono necessarie speciali misure protettive che devono essere preventivamente concordate. In generale, all'atto della consegna, non sono ammesse manipolazioni del calcestruzzo attraverso aggiunte se non espressamente previste durante la progettazione del calcestruzzo.

Per quanto possibile, i getti devono essere eseguiti senza soluzione di continuità, in modo da evitare le riprese e conseguire la necessaria continuità strutturale. Per distribuire il calcestruzzo entro le casseforme delle strutture verticali, evitando la caduta libera che provoca la segregazione, è consigliabile l'impiego di un tubo getto con tramoggia che ne permette l'immissione dal basso. È opportuno che l'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal sistema di distribuzione e getto, non ecceda 50-80 cm e che lo spessore degli strati orizzontali di calcestruzzo, misurato dopo la vibrazione, non sia maggiore di 30 cm. La distanze tra due punti adiacenti di scarico è in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

Quando il calcestruzzo fresco è gettato nella cassaforma, contiene molti vuoti e tasche d'aria. Per raggiungere le proprietà desiderate, il calcestruzzo deve essere compattato. La compattazione è il processo mediante il quale le



particelle solide del calcestruzzo fresco si serrano tra loro riducendo i vuoti. Tale processo deve essere effettuato mediante vibrazione. I vibratorii possono essere interni ed esterni. La determinazione della appropriata metodologia di compattazione deve essere contestualizzata ad ogni specifico calcestruzzo e al singolo elemento costruttivo che costituisce l'opera. I calcestruzzi con classi di consistenza S3 richiedono una compattazione più energica dei calcestruzzi di classe S4 o S5.

Dopo la messa in opera e la compattazione, il calcestruzzo deve essere maturato e protetto dall'essiccamento in modo da: evitare modifiche dell'idratazione del cemento; ridurre il ritiro in fase plastica e nella fase iniziale dell'indurimento; far raggiungere un'adeguata resistenza meccanica alla struttura; migliorare la protezione nei riguardi delle condizioni climatiche (temperatura, umidità, ventilazione). La maturazione comprende i processi durante i quali il calcestruzzo fresco sviluppa gradualmente le sue proprietà per effetto della progressiva idratazione del cemento. La velocità di idratazione dipende dalle condizioni climatiche d'esposizione e dalle modalità di scambio d'umidità e calore tra il calcestruzzo e l'ambiente. La durata della maturazione protetta dei getti che avviene a temperatura ambiente (5-32°C), con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento, deve essere garantita dai 3 ai 7 giorni consecutivi per assicurare lo sviluppo delle resistenze meccaniche. In genere la resistenza del calcestruzzo esposto sempre all'aria è molto inferiore rispetto a quella dello stesso calcestruzzo mantenuto in ambiente saturo d'umidità. Per consentire una corretta maturazione è necessario mantenere costantemente umida la struttura realizzata mediante la permanenza entro casseri del conglomerato (almeno 3 giorni salvo prescrizioni specifiche del calcestruzzo); l'applicazione, sulle superfici libere, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing); l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata; la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene o tessuto non tessuto mantenuto umido in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione.

Particolari precauzioni, definite preventivamente, devono essere adottate quando la temperatura dell'aria misurata in cantiere è inferiore a 5° C (clima freddo) o quando la temperatura del calcestruzzo al momento della sua messa in opera è suscettibile di superare 30° C (clima caldo) in particolare per tempi di trasporto superiori ad un'ora.

Il calcestruzzo deve essere protetto dagli effetti del "clima freddo" durante tutte le fasi di preparazione, trasporto, movimentazione, messa in opera, maturazione. Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo, non opportunamente protetta con teli o isolamenti termici, effetti di sfarinamento o di scagliatura. La neve ed il ghiaccio, se presenti, devono essere rimossi immediatamente prima del getto dalle casseforme, dalle armature e dal fondo. Prima del getto sarebbe opportuno verificare che tutte le superfici che saranno a contatto con il calcestruzzo siano a temperatura maggiore di 5°C. Prima di disarmare e rimuovere le casseforme, in condizioni climatiche fredde, si dovrebbero effettuare delle verifiche per quanto riguarda il valore della resistenza alla compressione (almeno 10 MPa) per esempio mediante prove su cubetti stagionati, confezionati e conservati negli stessi ambienti e nelle stesse condizioni del calcestruzzo in opera. Se la temperatura dell'aria è 0°C o inferiore, a causa del rallentamento dello sviluppo della resistenza meccanica dovuto alle basse temperature, il calcestruzzo che rimane esposto alla formazione di ghiaccio per un tempo relativamente lungo, almeno fin quando non abbia raggiunto un minimo di resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 N/mm<sup>2</sup>, potrebbe subire danni irreversibili. In questo caso i getti all'esterno devono essere sospesi.

Le condizioni ambientali che caratterizzano il "clima caldo" sono una qualsiasi combinazione delle seguenti condizioni che possono compromettere la qualità sia del calcestruzzo fresco che di quello indurito: temperatura ambiente elevata ( $T_a = \geq 32^\circ \text{C} - \leq 45^\circ \text{C}$ ); temperatura del calcestruzzo elevata ( $> 30^\circ \text{C}$ ) al momento della sua messa in opera; bassa umidità relativa dell'ambiente; velocità del vento maggiore di 5 km/h; esposizione ai raggi solari. Il clima caldo provoca una troppo rapida evaporazione dell'acqua di impasto (valore critico 1 kg/m<sup>2</sup>/h) ed una velocità

di idratazione del cemento eccessivamente elevata. I potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano: aumento del fabbisogno d'acqua; veloce perdita di lavorabilità; riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, di compattazione, di finitura e rischio di formazione di giunti freddi; tendenza alla formazione di fessure per ritiro plastico. I potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano riduzione della resistenza a 28 giorni; maggior ritiro per perdita di acqua; probabile insorgenza di fessure per effetto dei gradienti termici; ridotta durabilità per effetto della diffusa micro-fessurazione; forte variabilità nella qualità dell'aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione; maggior permeabilità. Per ridurre o eliminare i potenziali problemi del calcestruzzo in "clima caldo" devono essere considerati in fase di progettazione della struttura e del calcestruzzo almeno le seguenti misure: selezionare un calcestruzzo con materie prime e composizione specifica per il "clima caldo"; pianificare le operazioni di getto in periodi del giorno o della notte con condizioni ambientali favorevoli; proteggere il calcestruzzo dall' evaporazione dell'acqua di impasto durante la stagionatura; raffreddare il calcestruzzo utilizzando acqua molto fredda o ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua d'impasto.