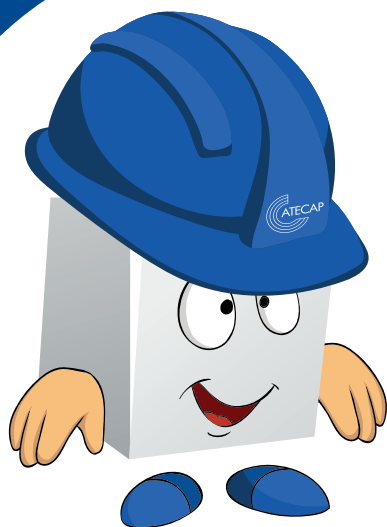




LA CORRETTA PRESCRIZIONE DEL CALCESTRUZZO

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO
DEL CICLO DI SEMINARI
concrete
dalle norme al cantiere
conoscere e prescrivere il calcestruzzo
PATROCINATI DAL



*Consiglio Superiore
dei Lavori Pubblici*

INDICE

■	INTRODUZIONE	4
■	DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI VITA NOMINALE	5
■	DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA DI DEGRADO DEL CALCESTRUZZO IN RELAZIONE ALLA COLLOCAZIONE AMBIENTALE DELLA STRUTTURA	5
■	SPECIFICA DEL CALCESTRUZZO	20
	REQUISITI PRESTAZIONALI DEL CALCESTRUZZO	
■	REQUISITI AGGIUNTIVI	22
■	DETERMINAZIONE DEL COPRIFERRO NOMINALE	23
■	NOTE E RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI PER LA FORMULAZIONE DELLE PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO	25
■	ESEMPI DI PRESCRIZIONI PER STRUTTURE IN C.A. PER VITA NOMINALE 50 ANNI	26
■	ESEMPI DI PRESCRIZIONI COMPLETE	42
■	BIBLIOGRAFIA	51



■ INTRODUZIONE

Il presente Vademecum si propone in maniera semplice e intuitiva come manuale tecnico per accompagnare il progettista nel percorso logico-operativo da seguire per ottemperare a tutti i vincoli normativi, illustrando in dettaglio tutti gli step intermedi, sintetizzando e raccogliendo tutte le informazioni provenienti dalla legislazione tecnica in vigore. Il Vademecum, inoltre, proponendosi come manuale operativo, presenta una serie di strumenti di applicazione (esempi di strutture).

Il **primo step** da compiere per il progettista è all'origine del progetto, ovvero la **definizione della Classe di Vita Nominale di Progetto**, legata sostanzialmente all'importanza dell'opera da progettare.

Determinata la Classe di appartenenza dell'opera, **nel passo successivo**, il tecnico deve preoccuparsi di **definire la tipologia di degrado** che può verificarsi nei confronti del cemento armato. In questa fase il progettista **classifica l'ambiente di progetto**, le sostanze aggressive presenti (nei confronti del calcestruzzo e dell'acciaio), e le **misure progettuali per attenuare tali effetti**. Lo strumento migliore, ad oggi disponibile, per fare questo è senza dubbio la norma **UNI 11104 (l'ultimo aggiornamento è quello del 2016)**, tra l'altro richiamata dallo stesso D.M. 17/01/18. Tale norma, espressione attuativa italiana della norma europea UNI EN 206 (l'ultimo aggiornamento è quello del 2016), consente al progettista di semplificare enormemente questo studio, **associando le tipologie di degrado** (degrado del calcestruzzo per cicli gelo-disgelo, corrosione delle barre di armatura innescato dai fenomeni di carbonatazione, ecc.) **ai contesti ambientali** (urbano, prossimità della costa, ecc.) e tramutando tutto in codificazioni standard definite **Classi di esposizione ambientale**.

In funzione delle Classi di esposizione, il progettista può ricavare le misure progettuali minime per garantire un materiale resistente al contesto d'uso. **In questa fase vengono determinati i parametri prestazionali di base, che insieme alla classe di esposizione ambientale costituiscono la prescrizione del calcestruzzo a prestazione garantita (Classe di esposizione, Classe di Resistenza (f_{ck}/R_{ck}), Classe di Consistenza, e Diametro massimo dell'aggregato) e che devono essere riportati in maniera evidente sugli elaborati grafici di progetto.**

Di contro bisogna riconoscere che tale norma va applicata con attenzione poiché in molti casi non è pensabile né utile definire tre o quattro classi di esposizione differenti, e di conseguenza di calcestruzzi differenti. **Il Vademecum, pertanto, fornisce una lettura commentata di questa norma e soprattutto si propone di fornire suggerimenti utili per la sua applicazione, anche attraverso alcuni esempi.**

In aggiunta a queste prescrizioni minime, in alcuni casi, il progettista dovrà fornire alcuni **requisiti prestazionali aggiuntivi** che non sono strettamente necessari per comporre una "normale" prescrizione a prestazione del calcestruzzo, ma che diventano **importanti per applicazioni particolari** (es: trazione su una pavimentazione, struttura in clima rigido ecc..) **che devono essere riportare all'interno di documenti quali il Capitolato Speciale d'Appalto.**

Solo dopo la corretta determinazione delle prestazioni del materiale più idonee al contesto ambientale, soddisfacendo in questo modo l'obbligo normativo di garantire la durabilità dell'opera in calcestruzzo armato, il progettista può procedere alla modellazione strutturale e le conseguenti verifiche agli Stati limite, imponendo come input nel software di calcolo i seguenti valori limite:

1. **limite inferiore per la Classe di Resistenza (R_{ck}) del calcestruzzo determinata al passo precedente con l'ausilio della UNI11104 ;**
2. **limite inferiore del copriferro per i singoli elementi strutturali.**

Lo strumento normativo più adeguato con il quale **determinare il copriferro** è senza dubbio l'**Eurocodice2**, il quale abbina valori minimi di copriferro (meglio indicato come copristaffa) alle medesime Classi di esposizione ambientale determinate attraverso la UNI 11104.

In conclusione il Vademecum illustra quanto il progettista deve tenere in conto per adempiere agli obblighi normativi vigenti suggerendo, in modo semplice e diretto, il percorso logico-operativo da seguire.

■ DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI VITA NOMINALE

Nell'approcciare la progettazione di una nuova struttura il progettista, per adempiere alle richieste della normativa vigente, deve porsi tre domande:

1. Quale sarà la Vita Nominale di progetto della struttura?
2. Che caratteristiche ha l'ambiente nel quale sarà realizzata la struttura?
3. Che scelte progettuali devo adottare affinché la struttura, nell'arco di tempo della Vita Nominale, non si degradi a causa delle azioni aggressive ambientali?

Per Vita Nominale, V_N , della struttura si intende "il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali" (NTC par. 2.4.1).

Il progettista, per definire la vita nominale, può seguire la tabella di riferimento data dalle norme tecniche per le costruzioni e qui riportata:

TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V_N (anni)
1 Costruzioni temporanee o provvisorie	10
2 Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3 Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	100

Il valore della vita nominale dovrà essere riportato nei documenti di progetto e concorrerà alla definizione delle scelte progettuali da mettere in campo.

Tali scelte, infatti, dovranno essere tali da garantire la durabilità dell'opera all'interno di questo arco temporale. Questo è il motivo per cui, il progettista, risposto al primo quesito sarà vincolato a porsi anche il secondo al fine di definire correttamente quali saranno le possibili azioni ambientali che potranno concorrere al degrado della struttura che si accinge a progettare.

DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA DI DEGRADO DEL CALCESTRUZZO IN RELAZIONE ALLA COLLOCAZIONE AMBIENTALE DELLA STRUTTURA

Con il presente capitolo si vuole fornire, al progettista, un metodo semplice e immediato per definire univocamente il potenziale grado di aggressività dell'ambiente, così da individuare le scelte progettuali più idonee per il corretto dimensionamento della struttura.

Al termine di questo secondo step, il progettista avrà gli strumenti per un'opportuna scelta della



classe o combinazione di classi di esposizione ambientali in relazione all'interazione calcestruzzo-ambiente cui l'opera sarà sottoposta durante la propria vita nominale di esercizio.

L'individuazione della classe di esposizione può essere compiuta con l'ausilio del prospetto sotto riportato.

Al fine di classificare il potenziale degrado, infatti, le norme di riferimento, indicate dall'Eurocodice 2 e dal D.M.18/01/2018, sono la UNI EN 206 e la UNI 11104.

Tali normative sintetizzano i fenomeni di aggressività ambientale cui una struttura in c.a. può essere soggetta indicizzandole in 5 classi di esposizione e 17 sottoclassi in funzione dell'entità del degrado, come leggibile in tabella.

Facendo riferimento alla descrizione dell'ambiente e agli esempi informativi, IL PROGETTISTA, deve individuare la classe o la combinazione di classi in cui la struttura, che si sta per progettare, va a ricadere.

In funzione della classe, o combinazione di classi di esposizione, IL PROGETTISTA deve selezionare, PRIMA DELLE OPERAZIONI DI CALCOLO, i requisiti minimi per prescrivere il calcestruzzo: a tal fine va consultato il Prospetto 5 della UNI 11104.

A titolo di esempio possono essere consultate anche le tipologie strutturali riportate in coda al presente documento.

Nelle pagine che seguono sono descritte le diverse fenomenologie di degrado. Il progettista che vuol approfondire i meccanismi che inducono l'ammaloramento del calcestruzzo armato potrà trovare una esauriente quanto semplice descrizione.

Ognuna di queste descrizioni comprende oltre alla spiegazione della fenomenologia, anche alcuni 'box' che raccolgono, per meglio aiutare nell'applicabilità del concetto espresso, un elenco di tipologie strutturali che possono ricadere nella specifica classe di esposizione descritta.

Prospetto 1 - Durabilità del calcestruzzo: classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali Norma UNI 11104

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono corrispondere le classi di esposizione
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, abrasione o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno 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, gelo o attacco chimico.
2 Corrosione indotta da carbonatazione		
Nel caso in cui il calcestruzzo che contiene armatura o altri inserti metallici sia esposto all'aria ed all'umidità, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XC1	Permanentemente secco, acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria bassa. Calcestruzzo permanentemente immerso in acqua o esposto a condensa.
XC2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua, raramente secco	Calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Calcestruzzo di strutture di contenimento acqua. Calcestruzzo di molte fondazioni.
XC3	Moderata o alta umidità dell'aria	Calcestruzzo in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità dell'aria da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo in esterni con superfici soggette a alternanze di ambiente secco ed acquoso o saturo d'acqua. Calcestruzzo ciclicamente esposto all'acqua in condizioni che non ricadono nella classe XC2.
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
Nel caso in cui il calcestruzzo armato o con inserti metallici sia esposto ad acqua contenente cloruri da origini diverse da quelle dell'acqua di mare, inclusi i sali disgelanti, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XD1	Moderata umidità dell'aria	Calcestruzzo per ponti, viadotti o barriere stradali esposto all'azione aggressiva dei cloruri trasportati dall'aria ad esempio derivanti dall'uso di sali disgelanti.
XD2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua, raramente secco	Calcestruzzo per impianti di trattamento acque o esposto ad acque contenenti cloruri, ad esempio acque industriali o di piscine.
XD3	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo esposto a spruzzi di soluzioni di cloruri, ad esempio derivanti da sali disgelanti. Calcestruzzo di opere accessorie stradali (muri di sostegno), parti di ponti, pavimentazioni stradali o industriali o di parcheggi.
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
Nel caso in cui il calcestruzzo armato o con inserti metallici sia esposto ai cloruri dell'acqua di mare o all'aria che trasporta salsedine, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XS1	Aria che trasporta salsedine marina in assenza di contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo per strutture in zone costiere.
XS2	Acqua di mare	Calcestruzzo di parti di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Aree soggette a marea, moto ondosio, spruzzi di acqua di mare	Calcestruzzo di opere portuali, ad esempio banchine, moli, pontili. Calcestruzzo di opere di difesa marittima, ad esempio barriere frangiflutti, dighe foranee.
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti		
Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto ad un significativo attacco da cicli di gelo/disgelo, purché bagnato, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XF1	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo, in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo.
XF2	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo in presenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo in presenza di sali disgelanti, ad esempio opere stradali esposte al gelo in presenza di sali disgelanti trasportati dall'aria.
XF3	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di elementi orizzontali in edifici dove possono aver luogo accumuli d'acqua.
XF4	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Calcestruzzo di elementi orizzontali, di strade o pavimentazioni, esposti al gelo ed ai sali disgelanti oppure esposti al gelo in zone costiere.
6 Attacco chimico		
Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto ad attacco chimico derivante da acque sotterranee o dal terreno, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206.
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206.



LE CAUSE DI DEGRADO

Come anticipato nel precedente paragrafo, la trattazione che segue non entra nel merito della complessità delle numerose reazioni chimiche che intercorrono all'interno del calcestruzzo nella sua fase di degrado o di ammaloramento nel tempo, ma evidenzia le cause di degrado che saranno identificate attraverso la definizione delle classi di esposizione ambientali

Il degrado delle opere in calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo avviene per l'azione chimica di sostanze aggressive presenti nell'ambiente di esercizio, per le azioni fisiche o meccaniche inerenti all'esercizio stesso o esercitate dall'ambiente. La velocità e l'intensità del degrado dipendono dall'intensità delle azioni suddette, dalle condizioni climatiche e da fattori intrinseci del materiale e delle opere in calcestruzzo.

In sintesi, possiamo quindi definire:

Azioni esterne:

- **agenti chimici naturali** - ioni aggressivi: solfato, magnesio, cloruro, solfuro, ammonio presenti nell'acqua o nel terreno a contatto con il calcestruzzo, acque a bassa durezza, anidride carbonica
- **altri agenti chimici** - acidi e basi inorganici ed organici, sali ed idrocarburi presenti negli ambienti industriali, acque di rifiuto urbane ed industriali
- **cause fisiche** - gelo-disgelo, sali disgelanti, fuoco, alte temperature
- **cause meccaniche** - carichi di esercizio, carichi non previsti, sollecitazioni ripetute (fatica), abrasione, erosione, cavitazione
- **cause di natura elettrochimica** - corrosione dell'armatura metallica (indotta da carbonatazione, presenza di cloruri, correnti vaganti)

Fattori intrinseci:

- **progetto delle strutture** - progettazione delle strutture e dei dettagli costruttivi inadeguata alle condizioni di esercizio e di esposizione
- **materiali** - aggregati di cattiva qualità, reattivi (reazione alcali-silice), gelivi, acqua di impasto non idonea, cemento o additivi non appropriati
- **composizione del calcestruzzo** - non conforme alle corrette specifiche prescritte dal progettista
- **modalità esecutive** - errori nel confezionamento, trasporto, posa in opera, compattazione stagionatura del calcestruzzo; posizionamento non corretto delle armature metalliche e di eventuali inserti, mancato rispetto del copriferro minimo
- **fessurazione** - presenza di fessure provocate da ritiro plastico, igrometrico, termico o derivanti dagli stati tensionali di ampiezza superiore ai limiti ammissibili

Come si nota, il quadro è piuttosto complesso ed interessa tutto il processo edilizio nel suo insieme, dalla progettazione fino alla esecuzione finale dell'opera.

Nell'ambito prescrittivo riguardante i materiali, ed in particolare i calcestruzzi destinate alle opere di edilizia civile ed industriale, il documento di riferimento rimane la normativa europea EN 206, richiamata dall'Eurocodice 2, ed implementata in Italia come UNI EN 206 con il documento di Applicazione Nazionale UNI 11104, unitamente alle Linee Guida Ministeriali sul Calcestruzzo Strutturale.

Tali documenti riportano essenzialmente i requisiti minimi dei materiali per alcune delle cause

sopra elencate, ed in particolare:

- la corrosione indotta da carbonatazione
- la corrosione indotta da cloruri non provenienti da acqua di mare
- la corrosione indotta da cloruri provenienti da acqua di mare
- attacco chimico alla pasta cementizia da parte di alcuni agenti aggressivi
- degrado dovuto ad azioni di cicli di gelo-disgelo

La durabilità delle strutture e il quadro normativo

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) introducono nei principi fondamentali l'importanza dello studio dell'ambiente con le relative aggressioni sulle opere in calcestruzzo armato, al fine di garantire il raggiungimento della vita nominale prevista. Per "Vita Nominale" si intende il tempo durante il quale le strutture e/o i materiali conservano le loro prestazioni iniziali mantenendo il livello di sicurezza e di efficienza funzionale di progetto, per qualsiasi azione e condizione ambientale prevista.

Tale obiettivo viene raggiunto anche attraverso una prescrizione corretta delle regole di maturazione, una cadenza costante e continuo monitoraggio delle opere, o su particolari di esse, e opportune e tempestive azioni di manutenzione preventiva.

L'ANALISI AMBIENTALE

L'analisi del potenziale degrado delle strutture in calcestruzzo si esplica nella definizione di una o più classi di esposizione ambientale cui faranno riferimento sia le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (in termini di resistenza caratteristica minima e valori limiti composizionali della miscela di calcestruzzo) sia il valore dei copriferri conformi alle tipologie di degrado scelte, assicurando pienamente la durabilità dell'opera secondo le classi strutturali di vita nominale di progetto definiti dal prescrittore.

Nel percorrere l'iter descritto, Il Progettista trova un valido supporto nelle norme di settore: la UNI EN 206 ("Calcestruzzo – specificazione, prestazione, produzione e conformità") e la UNI 11104, documento di applicazione nazionale della UNI EN 206, che ne sostituisce, integra e modifica alcuni punti.

Tali norme rispondono compiutamente all'esigenza di caratterizzare il potenziale degrado in relazione all'ambiente di progetto; esse si basano su una classificazione tipologica delle aggressioni attraverso le 6 classi di esposizione ambientale, sopra citate, che sono a loro volta suddivise in sottoclassi con la specifica funzione di differenziare l'intensità delle azioni di degrado.

Per ciascuna classe di esposizione e relativa sottoclasse, corrisponde una prescrizione in termini di valori limiti composizionali, che devono essere contemporaneamente rispettati nelle proprietà del calcestruzzo, affinché esso soddisfi i requisiti di durabilità dell'opera. Nello specifico sono definiti: la resistenza caratteristica minima, il rapporto a/c massimo, il contenuto minimo di cemento per m³ di conglomerato.

Le prescrizioni delle caratteristiche dei calcestruzzi, conformi alle classi d'esposizione ambientale, valgono per una vita nominale di 50 anni. Ad esse vanno chiaramente abbinati gli spessori corretti del copriferro previsti dall'EC2.



LE CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE

Le classi di esposizione cui fare riferimento in Italia sono riportate nel “Prospetto 1” della norma UNI 11104. La prima colonna identifica la classe con una sigla in lettere (X0-XC-XD-XS-XF-XA) e le relative sottoclassi ponendo un numero dopo tale sigla; le sottoclassi (tranne per la classe X0) sono 3 o 4, a seconda dei casi, e la numerazione cresce proporzionalmente all’incremento dell’aggressione ambientale sulla parte di struttura interessata. Nella seconda colonna è descritto l’ambiente che rientra in una determinata classe, mentre nella terza colonna sono riportati gli esempi più comuni di strutture o parti di esse compresi nella classe.

È importante rilevare che, qualora sia presente più di una tipologia di degrado, è assolutamente necessario indicare tutte le classi in cui ricade la struttura (o una sua parte); viene da sé che le caratteristiche definitive da assegnare al calcestruzzo (in termini di massimo rapporto a/c, resistenza minima a compressione e dosaggio minimo di cemento) saranno quelle corrispondenti alla classe più gravosa.

LA CLASSE X0

Questa classe descrive ambienti nei quali non esiste alcun rischio di degrado del calcestruzzo.

La norma UNI 11104 include nella classe X0 i calcestruzzi privi di armatura o inserti metallici soggetti a differenti esposizioni, escludendo i casi in cui sia presente un’azione di gelo/disgelo o di attacco chimico alla pasta cementizia. Fanno parte di questa classe anche i calcestruzzi con armatura non strutturale in ambiente molto asciutto, cioè con umidità relativa molto bassa (es. pavimentazioni industriali interne).

La UNI 11104 non dà indicazioni sui valori limite per i dosaggi minimi di cemento e per il rapporto a/c massimo, ma riporta solo la classe di resistenza minima pari a C(12/15).

LE CLASSI XC

La classe di esposizione XC interessa tutte le strutture esposte all’aria o in condizioni di potenziale degrado dovuto a fenomeni di corrosione delle barre d’armatura indotta da carbonatazione.

In condizioni normali le armature all’interno del calcestruzzo si passivano, ricoprendosi di un ossido protettivo compatto, coerente ed uniforme, favorito dalla alcalinità della pasta cementizia causata dalla presenza di soluzioni di sodio e potassio all’interno della sua porosità.

In tali condizioni il pH della pasta cementizia presenta valori superiori a 13 e lo strato passivante costituisce una sorta di barriera impermeabile sia all’ossigeno che all’acqua, riducendo a livelli trascurabili la velocità di corrosione delle armature.

Con il termine carbonatazione si intende il processo mediante il quale l’anidride carbonica penetra attraverso il copriferro e reagisce con l’idrossido di calcio presente nella pasta cementizia idratata, determinando una notevole riduzione della basicità del conglomerato sino a valori di pH prossimi a 9.

Come conseguenza, le barre di armatura, che si trovavano precedentemente in uno stato a pH più elevato, con un ambiente dove il pH è di circa 11, perde la sua “passività”, riducendo drasticamente la condizione protettiva esercitata sulle armature.

Una volta venuta meno l’impermeabilità della pellicola, i metalli restano direttamente esposti al contatto con l’ambiente che li circonda; con l’apporto di ossigeno e acqua, permeati dalla superficie di un calcestruzzo tendenzialmente poroso, si instaura un processo chimico di ossido-

riduzione con l'armatura metallica (catodo) seguito dalla formazione di ruggine, che comporta un aumento di volume pari a circa 7 volte quello iniziale occupato dalla barra.

La ruggine genera delle tensioni interne di compressione sul calcestruzzo e delle tensioni di trazione in superficie, determinando la comparsa di fessure superficiali che corrono parallelamente ai barre di armatura, che aumentano progressivamente e culminano con l'espulsione totale del copriferro negli spigoli ("spalling") o con la sua delaminazione nelle superfici piane e verticali.

In conclusione va comunque evidenziato come l'innescò della corrosione (una volta che il fronte di carbonatazione ha raggiunto l'armatura distruggendone la naturale protezione) richieda la contemporanea presenza di acqua e ossigeno.

La breve analisi del meccanismo di corrosione promossa dalla carbonatazione serve a comprendere meglio la classificazione della UNI11104, alla base della quale vi sono considerazioni di tipo teorico e modelli dedotti da prove sperimentali.

CLASSE XC1: si riferisce a calcestruzzi armati da mettere in opera in ambienti con umidità relativa molto bassa (ambiente secco) e superfici esposte all'interno di edifici.

Esempi di tipologie strutturali per la classe XC1
scale interne di edifici, solai interni, travi interni, pilastri interni, setti interni, vani ascensori interni quando l'umidità è bassa e strutture totalmente immerse in acque non aggressive.

CLASSE XC2: si riferisce a calcestruzzi armati immersi in acqua o in terreni non aggressivi e comunque in ambienti raramente secchi, costantemente a contatto con umidità molto elevate.

Esempi di tipologie strutturali per la classe XC2
strutture idrauliche, muri contro terra, pali, diaframmi e fondazioni dirette, in terreni non aggressivi.

CLASSE XC3: si riferisce a calcestruzzi armati in presenza di livelli di umidità medio-alti, generalmente posti in ambienti esterni riparati dall'azione diretta della pioggia.

Esempi di tipologie strutturali per la classe XC3
elementi strutturali quali pilastri, setti, scale, solai interni; pilastri, setti, scale, solai esterni ma riparati da pioggia, tutte le strutture interne caratterizzate da medi o elevati tenori di umidità.

CLASSE XC4: si riferisce a calcestruzzi armati per strutture esterne esposte direttamente alla pioggia.

Esempi di tipologie strutturali per la classe XC4
pavimenti esterni non soggetti a cicli di gelo e disgelo, terrazze non coperte, muri, pile da ponte in clima temperato, vasche di contenimento acque non aggressive, pensiline e altri elementi strutturali a vista esposti ciclicamente a condizioni di asciutto e bagnato.



Nel “Prospetto 5” della UNI 11104 sono indicati i valori limite per le proprietà del calcestruzzo al fine di assicurare la durabilità della struttura in progetto.

Da una prima analisi risulta evidente che le condizioni meno aggressive sono la XC1 e la XC2; infatti, grazie all’assenza o presenza pressoché totale di acqua e nonostante vi sia in atto un processo di carbonatazione (XC1), o della difficoltà dell’aria (quindi di ossigeno e anidride carbonica) a permeare i pori di calcestruzzo sempre saturi di acqua (XC2), non si verificano rilevanti processi di corrosione. Di conseguenza il rapporto a/c massimo fissato per proteggere i barre di armatura risulta relativamente elevato (pari a 0,60); ne discende che la resistenza caratteristica minima, legata indissolubilmente al rapporto a/c, debba essere non inferiore a 30 N/mm².

La classe XC3 ha condizioni intermedie di aggressività, in quanto in ambienti moderatamente umidi vi è carenza di acqua.

Le condizioni più aggressive, infine, corrispondono alla XC4 dove si verifica a fasi alterne ingresso di aria secca (contenente ossigeno e anidride carbonica) e di acqua (capace di innescare la corrosione) a seguito dell’esposizione alle piogge.

LE CLASSI XD E XS

Le classi di esposizione XD e XS interessano tutte le strutture esposte all’azione dei cloruri che portano al degrado delle strutture per corrosione delle barre d’armatura.

Si è già visto che le barre d’armatura, immerse nel calcestruzzo a pH, prossimi a 13 è difeso da uno strato protettivo, che agisce da neutralizzatore di possibili fenomeni di corrosione elettrolitica. Nel momento in cui il cloro giunge a contatto con lo strato passivante questo viene distrutto, causando l’innescare di una serie di reazioni elettrochimiche che portano inevitabilmente al progressivo danneggiamento delle barre d’armatura. Affinché ciò avvenga, occorre la contemporanea presenza di ossigeno e di sufficienti concentrazioni di cloruro.

La rottura dello strato di protezione provocata dai cloruri ha luogo in forma localizzata; il meccanismo con cui avanza la corrosione, inoltre, tende a stabilizzare la localizzazione dell’attacco, poiché si crea una concentrazione di cloruri e un abbassamento del pH all’interno della zona di corrosione, e a rinforzare il film passivo in quella circostante. Si comprende quindi come la morfologia dell’attacco sia quella tipica della forma di corrosione localizzata con la comparsa di “crateri”.

Il fenomeno di corrosione localizzata, meglio noto come pitting (dall’inglese “pit” = “cratere”), può raggiungere valori di velocità corrosiva piuttosto significativi; in calcestruzzo umido e con elevato contenuto di cloruri in prossimità delle armature, si possono anche raggiungere velocità di penetrazione di 1÷1,5 mm/anno.

In pratica l’attacco corrosivo, una volta innescato, può portare in tempi piuttosto brevi a riduzioni inaccettabili della sezione delle armature o, peggio, al troncamento, anche nelle comuni condizioni di esposizione atmosferica.

Malgrado il meccanismo di corrosione promosso dai cloruri sia il medesimo a prescindere dalla loro provenienza, la classificazione della norma UNI 11104 divide in due classi differenti l’attacco da cloruri:

- quelli provenienti dal mare (XS)
- quelli provenienti da altre fonti (XD), come da vasche di processi industriali, piscine, infrastrutture viarie sottoposte ai sali disgelanti, etc.

Il motivo della diversificazione è da ascrivere a due peculiarità dell’ambiente marino. Innanzitutto i cristalli dei sali depositati dall’acqua, nei periodi di alta marea, aumentano di volume nella fase successiva di bassa marea generando tensioni nella pasta cementizia capaci di produrre

fessurazioni e delaminazioni; secondariamente esiste l'effetto abrasivo sul conglomerato per effetto dei solidi in sospensione agitati dal moto ondoso.

Il maggior degrado che subisce il calcestruzzo si riflette, ovviamente, sulla velocità di penetrazione dei cloruri con attacco precoce delle barre di armatura.

CLASSE XD1: si riferisce a calcestruzzi armati da mettere in opera in ambienti con umidità relativa moderata, soggette a spruzzi di acque contenenti cloruri.

Esempi di tipologie strutturali per la Classe XD1
parti di ponti regolarmente investite da nebbie saline, come le pile e le spalle dei sovrappassi stradali e la zona inferiore degli impalcati dei ponti.

CLASSE XD2: si riferisce a calcestruzzi armati immersi in acque contenenti cloruri, raramente asciutti.

Esempi di tipologie strutturali per XD2
vasche di contenimento per liquidi industriali contenenti cloruri, piscine.

CLASSE XD3: include calcestruzzi armati di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti, quindi parti di ponti esposte in maniera diretta a spruzzi di acqua contenente cloruri.

Esempi di tipologie strutturali per XD3
pavimentazioni di parcheggi, pavimentazioni esterne, imbocchi di gallerie, nonché tutte le opere adibite allo scolo e allontanamento delle acque dalla sede stradale.

Per l'ambiente marino si hanno le seguenti tre classi.

CLASSE XS1: che comprende i calcestruzzi armati raggiunti dall'aerosol marino; il trasporto dei cloruri avviene per via eolica, investendo tutte le strutture site in prossimità delle coste e distanti fino a 2-3 km dalla costa.

Esempi di tipologia strutturale per la Classe XS1
tutte le strutture raggiunte dall'aerosol marino interne o esterne.

CLASSE XS2: si riferisce a calcestruzzi armati totalmente immersi in acqua marina per i quali l'attacco non giunge tanto dal cloruro, quanto dall'azione abrasiva delle correnti marine subacquee più o meno profonde.

Esempi di tipologia strutturale per la Classe XS2
tutte le strutture completamente immerse in acqua di mare.



CLASSE XS3: include calcestruzzi armati in ambienti marini ciclicamente asciutti e bagnati, è da considerarsi, in pratica l'ambiente più aggressivo in assoluto.

Esempi di tipologia strutturale per la Classe XS3

tutte le strutture esposte alla battigia, agli spruzzi e all'azione delle onde: banchine e piazzali portuali di movimentazione merci, moli, bacini di carenaggio, etc.

Nel "Prospetto 5" della UNI 11104 sono indicati i valori limite per le proprietà del calcestruzzo; è immediato osservare quanto sia restrittiva la prescrizione per l'ambiente marino.

LA CLASSE XF

La classe di esposizione XF interessa tutte le strutture esposte all'azione di degrado dovuti a ripetuti cicli di gelo e disgelo in zone soggette ad escursioni termiche particolarmente situate nelle zone alpine e montane.

La formazione di ghiaccio nelle strutture in calcestruzzo può causare danneggiamenti anche gravi. Il degrado si manifesta inizialmente sotto forma di dilavamento della pasta cementizia superficiale, con messa a nudo degli aggregati, e in fase avanzata sotto forma di scagliature e delaminazioni degli strati più esterni; in alcune strutture orizzontali il processo può addirittura culminare con la formazione di crateri tronco-conici profondi diversi centimetri e di diametro variabile da 10 a 30 cm.

Il ghiaccio si forma solo se è presente dell'acqua all'interno delle porosità della matrice cementizia. Per essere più precisi, il danneggiamento ha luogo solo quando si raggiunge o si supera un determinato grado di saturazione (espresso come rapporto volume d'acqua/volume dei pori), detto "saturazione critica".

In sostanza, ciò che conta è valutare le condizioni di smaltimento delle acque dalle zone corticali delle strutture, considerando che maggiore è la velocità di smaltimento e minore risulterà il grado di saturazione locale dell'elemento. In quest'ottica si muove la norma UNI 11104 per la classificazione.

La soluzione al problema della gelività del calcestruzzo è rappresentata dall'impiego dei cosiddetti additivi aeranti all'atto del confezionamento della miscela in centrale di betonaggio. Il loro compito è quello di stabilizzare (la norma usa impropriamente il termine "aggiungere") l'aria presente nell'impasto assicurando la formazione di un sistema di microbolle omogeneamente disperso nella matrice cementizia, ove la pressione dell'acqua liquida (generata dalla formazione del ghiaccio nei pori capillari) possa scaricarsi prima di superare la resistenza del materiale. Sostanzialmente l'aggiunta d'aria consente di innalzare la soglia di saturazione critica evitando il degrado.

Il livello di aggressività sul calcestruzzo dipende prevalentemente dal maggiore o minore grado di saturazione, ma anche dalla presenza o meno di sali disgelanti (quindi cloruri), i quali esplicano un ulteriore degrado di tipo fisico sul conglomerato cementizio oltre all'azione corrosiva dei ferri già contemplata nella classe XD.

La norma UNI 11104 tiene conto, nella classificazione, di tutti questi fattori che sono stati determinati e studiati attraverso sperimentazioni di laboratorio e prove su strutture in vera grandezza.

CLASSE XF1

Esempi di tipologie strutturali per la Classe XF1
strutture o parti strutturali verticali, in clima rigido, non soggetti ai sali disgelanti, quali facciate, travi a vista e colonne esposte alla pioggia e al gelo.

CLASSE XF2

Esempi di tipologie strutturali per la Classe XF2
strutture verticali, in clima rigido, sottoposte all'azione diretta o indiretta (spruzzi o schizzi) dei sali disgelanti, tipo le infrastrutture viarie, parti verticali di ponti e viadotti e paramenti di muri di sostegno.

CLASSE XF3: contempla tutti gli elementi orizzontali, in clima rigido, in assenza di sali disgelanti (dove si ha un elevato grado di saturazione dei pori dovuto alla minore velocità di scolo delle acque).

Esempi di tipologie strutturali per la Classe XF3
strutture che presentano sbalzi, terrazze, coperture piane, pensiline, etc.

CLASSE XF4: contempla tutti gli elementi strutturali che subiscono il trattamento dei Sali disgelanti.

Esempi di tipologie strutturali per la Classe XF4
strutture con superfici orizzontali, in clima rigido, a contatto diretto o indiretto (spruzzi o schizzi) con i sali disgelanti; si tratta di strade o pavimentazioni esterne, parcheggi e piazzali.

In coerenza con la classificazione si hanno le consuete prescrizioni normative sui valori limite per le caratteristiche dei calcestruzzi.

Per la classe XF1 la norma non considera necessaria l'aggiunta d'aria poiché è provato che le tensioni di trazione indotte dal modesto grado di saturazione sono generalmente tollerate da calcestruzzi con resistenza caratteristica minima di 40 N/mm². Per le restanti classi viene prescritto un valore minimo d'aria del 4% in più rispetto al valore minimo presente già nel calcestruzzo (generalmente si utilizzano valori intorno al 5%).

L'introduzione di aria nel calcestruzzo, a parità di rapporto a/c, produce un naturale abbattimento della resistenza a compressione del materiale; tale riduzione è già stata presa in conto dalla norma, quindi i valori di resistenza minimi da utilizzare nei calcoli statici saranno quelli indicati nel "Prospetto 5" della UNI 11104.

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 CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi con $D_{upper} > 20$ mm; per D_{upper} inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato, ad esempio 5%, per D_{upper} tra 12 e 16 mm.

Infine, la norma recepisce l'importanza di utilizzare aggregati resistenti al gelo, cioè aventi bassa porosità. Infatti, gli aggregati utilizzati nel confezionamento dei calcestruzzi appartenenti ad altre classi d'esposizione sono caratterizzati da porosità tra loro interconnesse la cui dimensione



media è generalmente superiore a quella dei pori capillari della matrice cementizia; una frazione dell'acqua contenuta all'interno dell'aggregato può congelare per valori di temperatura di poco inferiori a 0°C determinando l'espulsione della restante acqua liquida che genera, quindi, una pressione idraulica aggiuntiva nel calcestruzzo.

Il rispetto del requisito di resistenza al gelo secondo la UNI EN 12620 è verificabile acquisendo il certificato di "marcatura CE" degli aggregati.

A titolo informativo occorre segnalare che, in linea generale, il problema dei cicli di gelo/disgelo diventa sensibile, e quindi va preso in conto, per altezze medie del sito di progetto superiori ai 600-700 m sul livello del mare.

LA CLASSE XA

La classe di esposizione XA interessa tutte le strutture esposte all'azione aggressiva di determinati agenti chimici che devono essere quantificati mediante analisi chimica

Questo tipo di ammaloramento è più diffuso di quanto non si creda e investe le strutture a contatto con acque o terreni contenenti sostanze chimiche in grado di reagire con alcuni componenti presenti nella pasta di cemento idratata.

Sono innumerevoli le sostanze chimiche che possono promuovere i processi di degrado delle strutture in calcestruzzo e, in linea generale, caratterizzano prevalentemente gli ambienti acidi.

- **MAGNESIO (Mg^{++}) e AMMONIO (NH_4^+):** generalmente presenti nei più diffusi fertilizzanti usati in agricoltura, danno luogo ad una reazione con lo ione calcio dei prodotti di idratazione del cemento generando sali solubili di calcio che vengono facilmente rimossi dall'azione delle acque. Il magnesio, in particolare, si sostituisce ai composti che garantiscono la resistenza meccanica generando un silicato idrato responsabile della perdita parziale delle prestazioni meccaniche del conglomerato. - **ANIDRIDE CARBONICA LIBERA:** (cioè non combinata in forma di carbonati o bicarbonato) presente nelle acque in forma di acido carbonico (H_2CO_3), reagisce inizialmente con la calce della pasta di cemento formando carbonato di calcio il quale, successivamente, può ulteriormente reagire con l'acido carbonico circostante formando il bicarbonato di calcio; quest'ultimo, per la sua elevata solubilità, viene asportato dalla pasta di cemento.

Esiste nelle acque una concentrazione (teorica) di CO_2 libera che è in grado di garantire l'equilibrio, evitando la formazione del bicarbonato di calcio. L'anidride carbonica "aggressiva" rappresenta l'eccesso di anidride carbonica libera nelle acque oltre il valore di equilibrio, cui consegue la formazione del bicarbonato che viene facilmente dilavato dall'acqua a contatto con la struttura. In pratica, la matrice cementizia subisce una perdita di massa con conseguente aumento della porosità e riduzione delle prestazioni meccaniche.

- **SOLFATI:** Il più diffuso e pericoloso effetto di degrado della classe XA è senza dubbio rappresentato dai solfati presenti nei terreni e nelle acque a contatto con le strutture. Il solfato può provenire o dagli scarichi industriali (artificiale) o dalla decomposizione biologica (naturale) di sostanze organiche contenenti zolfo come avviene per le piante o per i concimi. I terreni alluvionali e quelli coerenti, inoltre, possono contenere pirite (solfo di ferro) che in alcune situazioni può dare origine alla formazione massiccia di gesso ($CaSO_4$).

In ultimo occorre segnalare che gli impianti fognari, le vasche di depurazione e quelle per la raccolta dei liquami sono un ricettacolo di solfati; in questi casi è facile reperire le analisi chimiche effettuate con regolarità dalle Società di gestione, andando immediatamente a individuare la classe di appartenenza.

Gli effetti di degrado causati dall'attacco solfatico si manifestano sotto forma di espansioni o disallineamenti delle strutture, cui consegue la nascita di quadri fessurativi e di espulsioni di parti dell'elemento; in condizioni estreme si giunge alla completa disgregazione della matrice legante che all'aspetto si presenta come una terra incoerente.

Al fine di classificare il grado di aggressione, la norma UNI 11104 rimanda al "Prospetto 2" della UNI EN 206, dove sono elencate le più diffuse tipologie di agenti chimici e la loro concentrazione. Sarà necessario, pertanto, accertare le caratteristiche dell'ambiente eseguendo le dovute analisi chimiche.

Gli ambienti chimicamente aggressivi classificati di seguito sono basati sul suolo naturale e per acqua nel terreno a temperature dell'acqua/terreno comprese tra 5-25 °C ed una velocità dell'acqua sufficientemente bassa da poter essere approssimata a condizioni statiche. La condizione più gravosa per ognuna delle condizioni chimiche determina la classe di esposizione. Se due o più caratteristiche di aggressività appartengono alla stessa classe, l'esposizione sarà classificata nella classe più elevata successiva, salvo il caso che uno studio specifico provi che ciò non è necessario.

CARATTERISTICA CHIMICA	METODO DI PROVA DI RIFERIMENTO	XA1	XA2	XA3
ACQUA NEL TERRENO				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 6.000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 e ≥ 5,5	< 5,5 e ≥ 4,5	< 4,5 e ≥ 4,0
CO ₂ mg/l aggressiva	prEN 13577	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 e ≤ 1.000	> 1.000 e ≤ 3.000	> 3.000 fino a saturazione
TERRENO				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^{a)} totale	EN 196-2 ^{b)}	≥ 2.000 e ≤ 3.000 ^{c)}	> 3.000 ^{c)} e ≤ 12.000	> 12.000 e ≤ 24.000
Acidità secondo Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Non incontrato in pratica	

a) I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10⁻⁵ m/s possono essere classificati in una classe inferiore.

b) Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO₄²⁻ mediante acido cloridrico; in alternativa si può usare l'estrazione con acqua se nel luogo di impiego del calcestruzzo c'è questa pratica

c) Il limite di 3.000 mg/kg deve essere ridotto a 2.000 mg/kg se esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccamento/bagnatura oppure suzione capillare.



Prospetto 2 - Norma UNI EN 206: valori limite per le classi d'esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno.

Un altro valido contributo della UNI 11104 al Progettista, è rappresentato dall'indicazione di alcune delle più diffuse strutture che ricadono nelle diverse classi di esposizione ambientale.

Nel "Prospetto 5" della UNI 11104 sono indicati i valori limite per le proprietà del calcestruzzo.

È importante evidenziare che per le classi XA2 e XA3 la norma stabilisce, oltre alle ordinarie prescrizioni, l'utilizzo di un cemento resistente ai solfati conforme alla UNI 9156 ("Cementi resistenti ai solfati - Composizione e classificazione"). In presenza di anidride carbonica aggressiva libera presente in forma acido carbonico è previsto l'impiego di cemento resistente al dilavamento della calce, conforme alla UNI 9606 ("Cementi resistenti al dilavamento della calce - Composizione e classificazione").

CLASSE D'ESPOSIZIONE	CARATTERISTICA DEL CEMENTO (UNI 9156)
XA2	Alta Resistenza chimica ai Solfati (ARS)
XA3	Altissima Resistenza chimica ai Solfati (AARS)

CLASSE D'ESPOSIZIONE	CARATTERISTICA DEL CEMENTO (UNI 9606)
XA1	Moderata Resistenza al dilavamento (MRD)
XA2	Alta Resistenza al dilavamento (ARD)
XA3	Altissima Resistenza al dilavamento (AARD)

Cementi resistenti ai solfati e al dilavamento della calce

In conclusione occorre far presente che, qualora in alcuni ambienti particolarmente severi i valori delle concentrazioni di sostanza dovessero superare i limiti del prospetto 2 della UNI-EN 206, si rende indispensabile la protezione delle superfici a contatto con l'ambiente prescrivendo guaine, resine o pitture impermeabilizzanti.

Nella pagina seguente è riproposto il Prospetto 5 della UNI 11104 attraverso il quale, il progettista, può evincere le caratteristiche minime del calcestruzzo in funzione delle classi di esposizione ambientali individuate al fine di prescrivere un calcestruzzo che garantisca la durabilità per l'intera vita nominale.

Prospetto 5 - Norma UNI 11104: valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo



SPECIFICA DEL CALCESTRUZZO

REQUISITI PRESTAZIONALI DEL CALCESTRUZZO

Al paragrafo 11.2.1 delle NTC vengono definite le grandezze fondamentali minimi per poter prescrivere il calcestruzzo e cioè: La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante **la classe di resistenza, la classe di consistenza al getto ed il diametro massimo dell'aggregato, nonché la classe di esposizione ambientale**, di cui alla norma UNI EN 206:2016. Nel caso di impiego di armature di pre- o post-tensione permanentemente incorporate nei getti è obbligatoria anche l'individuazione della classe di contenuto in cloruri.

Nel capito 3 e relativi paragrafi della norma UNI EN 206, sono presenti alcune definizioni utili per inquadrare ruoli e responsabilità in materia di calcestruzzo strutturale, tra le quali:

- **Prescrittore:** persona oppure organizzazione che stabilisce la specifica del calcestruzzo fresco e indurito (es. Progettista, Committente, Stazione appaltante ...);
- **Produttore:** persona oppure organizzazione che produce il calcestruzzo fresco;
- **Utilizzatore:** persona oppure organizzazione che impiega calcestruzzo fresco nell'esecuzione di una costruzione o un elemento (es. Impresa)
- **Capitolato:** compilazione finale di requisiti tecnici documentati, forniti al produttore in termini di prestazioni;
- **Calcestruzzo a prestazione garantita:** calcestruzzo le cui proprietà richieste e caratteristiche addizionali sono specificate al produttore che è il responsabile di fornire un calcestruzzo conforme alle proprietà richieste e alle caratteristiche addizionali (cfr. Anche "Linee guida per il calcestruzzo preconfezionato" pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del C.S.LL.PP.).

Al fine di completare quanto previsto dalle NTC, relativamente alla definizione delle prestazioni del calcestruzzo, può essere utilizzato quanto riportato capitolo 7, paragrafo 7.1 della norma UNI 11104. In seguito verranno riportati degli estratti del capitolo 7 stesso, proprio per fornire uno strumento più raffinato per definire correttamente le caratteristiche del calcestruzzo.

La specificazione del calcestruzzo, richiede una attenta valutazione dei requisiti del calcestruzzo, allo stato fresco e indurito, al fine di garantire il raggiungimento della vita nominale prevista per la struttura. Per vita nominale si intende il tempo durante il quale le strutture e/o i materiali conservano le loro prestazioni iniziali mantenendo il livello di sicurezza e di efficienza funzionale di progetto, per qualsiasi azione e condizione ambientale prevista.

In particolare il prescrittore deve tener conto:

- dell'applicazione del calcestruzzo fresco e indurito;
- delle condizioni di maturazione;
- delle dimensioni della struttura (sviluppo di calore);
- delle azioni ambientali a cui il calcestruzzo sarà esposto;
- della vita nominale di progetto;
- dei requisiti per l'aggregato esposto o per le finiture lavorate del calcestruzzo;
- tutti i requisiti che hanno effetto sulle caratteristiche dimensionali degli aggregati;
- delle restrizioni all'uso di materiali componenti di idoneità stabilita, per esempio in conseguenza delle classi di esposizione.

Inoltre, il paragrafo 7.2 - Specifica del calcestruzzo a prestazione garantita, della norma UNI 11104, riporta quanto segue:

La specificazione del calcestruzzo a prestazione garantita, all'atto del progetto, deve essere caratterizzata almeno mediante:

- il requisito di conformità ai principi generali della UNI EN 206 e UNI 11104;
- la classe di esposizione ambientale (punto 4.1 della UNI 11104);
- la classe di resistenza a compressione (punto 4.2.1 della UNI EN 206 e punto 4.2 della UNI 11104);
- la classe di consistenza (punto 4.2.1 e 4.2.2 della UNI EN 206);
- il diametro massimo dell'aggregato espresso come D_{upper} e D_{lower} (punto 3.2 della UNI EN 206);
- la classe di massa volumica o il valore di riferimento per la massa volumica per il calcestruzzo leggero;
- il valore di riferimento per la massa volumica per il calcestruzzo pesante;
- la classe di contenuto in cloruri nel caso di armature pre o post-tese incorporate.

Il **“diametro massimo” utilizzato in Italia** per la specifica del calcestruzzo corrisponde al D_{upper} (punto 3.2 della UNI EN 206) e non al D_{max} (punto 3.2 della UNI EN 206) che è, invece, un valore effettivo fornito dal produttore e che dovrà essere $\leq D_{upper}$ e $\geq D_{lower}$.

Il prescrittore può, inoltre, fissare prescrizioni aggiuntive derivanti da condizioni particolari. Una lista di possibili prescrizioni aggiuntive è riportata al punto 6.2.3 della UNI EN 206. Caratteristiche tecniche necessarie per la progettazione come il ritiro, il modulo di elasticità (UNI EN 12390-13) e lo scorrimento viscoso possono essere richieste in casi particolari (per esempio quando siano utilizzati costituenti non convenzionali quali aggregati industriali o di riciclo).

La scelta della classe di consistenza dipende dalle modalità di getto, dalla tipologia di struttura da realizzare, ecc.

Il diametro massimo dell'aggregato è funzione delle caratteristiche geometriche dell'elemento strutturale, della tipologia di armatura, delle modalità di getto.

Il progettista, dopo aver individuato la classe di vita nominale, la combinazione di classi di esposizione ambientale e i requisiti minimi per il calcestruzzo, deve porsi il problema di come trasmettere queste informazioni

Tali requisiti infatti, devono essere riportati sottoforma di prescrizioni all'interno:

- della relazione tecnica sui materiali: nella quale tra l'altro lo stesso tecnico, secondo il D.M. 17/01/2018, deve indicare anche le regole e la durata della maturazione del calcestruzzo;
- degli elaborati grafici di progetto.

La prescrizione del calcestruzzo, quindi, va fatta a “prestazione garantita” specificando i requisiti di base del materiale, che devono essere sempre indicati, e i requisiti aggiuntivi che devono essere indicati ove necessario in funzione di specifiche esigenze come illustrato nel paragrafo successivo.

Riassumendo quanto precedentemente riportato, **per prescrivere un calcestruzzo, ordinario, a prestazione garantita i requisiti di base sono:**

- Richiesta di conformità alla UNI EN 206 e alla UNI 11104;
- Classe di esposizione ambientale (prospetto 1 - UNI 11104);
- Classe di resistenza caratteristica minima a compressione (prospetto 5 - UNI 11104);
- Dimensione massima nominale dell'aggregato;
- Classe di consistenza (consistenza al getto – vedi tabelle);
- Classe di contenuto in cloruri (UNI EN 206).



CLASSE	Abbassamento al cono di Abrams – in mm “SLUMP” UNI EN 12350-2
S1	10 ÷ 40
S2	50 ÷ 90
S3	100 ÷ 150
S4	160 ÷ 210
S5	> 220

Misura della consistenza: classi di abbassamento al Cono di Abrams (S)

CLASSE	Diametro dello spandimento alla tavola a scosse – in mm UNI EN 12350-4
F1	< 340
F2	da 350 a 410
F3	da 420 a 480
F4	da 490 a 550
F5	da 560 a 620
F6	> 630

Misura della consistenza: classi di spandimento alla tavola a scosse (F)

In conformità alla UNI EN 206 sono ammesse le prescrizioni delle consistenze anche attraverso dei valori di riferimento con le rispettive tolleranze.

Per prescrivere un calcestruzzo leggero vanno specificati: i medesimi requisiti di base del calcestruzzo ordinario e in aggiunta la classe di massa volumica o il valore di riferimento per la massa volumica.

Per prescrivere un calcestruzzo pesante vanno specificati: i medesimi requisiti di base del calcestruzzo ordinario e in aggiunta il valore di riferimento per la massa volumica.

Per prescrivere un calcestruzzo fibrorinforzato vanno specificati: i medesimi requisiti di base del calcestruzzo ordinario e in aggiunta il valore della tenacità in riferimento alla prova prevista dalla norma UNI 14651.

■ REQUISITI AGGIUNTIVI

Nel caso vengano richiesti, al fine di garantire particolari prestazioni del materiale e della struttura, devono essere indicati anche eventuali requisiti aggiuntivi. Di seguito si riportano alcuni esempi che di tali requisiti aggiuntivi relativi alle opere da realizzare.

Per i getti massivi:

- Tipi o classi speciali di cemento (es. Cemento a basso calore di idratazione conforme alla UNI EN 197-1);
- Sviluppo di calore durante l'idratazione;

Per strutture in clima rigido:

- Tipi o classi speciali di aggregato (es. Aggregati non gelivi);
- Caratteristiche richieste per la resistenza al gelo-disgelo, per esempio il contenuto di aria o resistenze caratteristiche adeguate.

Per strutture idrauliche:

- Resistenza alla penetrazione dell'acqua.

Per particolari esigenze di cantiere:

- Sviluppo della resistenza (es. Struttura da realizzare e caricare a brevi stagionature, inferiori a 28 giorni);
- Presa ritardata.

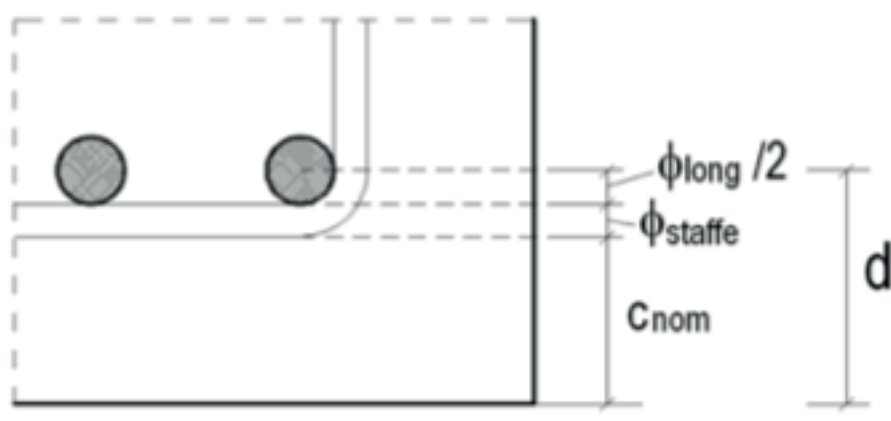
E ancora:

- Resistenza all'abrasione;
- Resistenza alla trazione indiretta;
- Cementi resistenti ai solfati;
- Cementi resistenti al dilavamento della calce;
- Ritiro;
- Finiture particolari;
- Metodi speciali di messa in opera.

■ DETERMINAZIONE DEL COPRIFERRO NOMINALE

Si è detto che le caratteristiche del calcestruzzo dettate dalla norma UNI 11104 valgono soltanto se il copriferro è valutato correttamente in fase progettuale e, ovviamente, garantito in fase esecutiva.

L'EC 2 definisce COPRIFERRO NOMINALE (c_{nom}) la distanza tra la superficie dell'armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più prossima. Tale valore non va confuso con il parametro (d') utilizzato nei calcoli per la definizione dell'altezza utile della sezione (d).





Il c_{nom} , che va indicato obbligatoriamente nei disegni esecutivi, è così definito:

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

dove:

- c_{min} = copriferro minimo per soddisfare i requisiti di aderenza, durabilità ed eventuale resistenza al fuoco; esso corrisponderà al maggiore dei tre valori;
- Δc = tolleranza di posizionamento delle armature, pari a 10 mm, come previsto nell'Appendice Nazionale all'EC2;
- $c_{min,b}$ = $\emptyset$ = copriferro minimo per garantire l'aderenza, pari al diametro per il numero di barre nel caso di eventuali gruppi di barre;
- $c_{min,fuoco}$ = garantisce la resistenza all'incendio (gli spessori sono riportati in UNI EN 1992-1-2 e nel D.M. di competenza);
- $c_{min,dur}$ = copriferro minimo per garantire la durabilità dell'opera, definito dalle classi di esposizione.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei prospetti 4.4N e 4.5N dell'EC2, che si riferiscono a strutture con vita nominale di 50 e 100 anni.

CLASSE	SPESSORE MINIMO DI COPRIFERRO ($c_{min,dur}$)			
	VITA NOMINALE 50 ANNI		VITA NOMINALE 100 ANNI	
	C.A.	C.A.P.	C.A.	C.A.P.
XC1	15	25	25	35
XC2, XC3	25	35	35	45
XC4	30	40	40	50
XS1, XD1	35	45	45	55
XS2, XD2	40	50	50	60
XS3, XD3	45	55	55	65

Spessori minimi del copriferro per garantire la durabilità secondo i prospetti 4.4N e 4.5N dell'EC 2:2005.

Quindi applicando le tolleranze previste dall'Appendice Nazionale all'EC 2, si avrà:

CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE	SPESSORE COPRIFERRO NOMINALE			
	VITA NOMINALE 50 ANNI		VITA NOMINALE 100 ANNI	
	C.A.	C.A.P.	C.A.	C.A.P.
XC1	25	35	35	45
XC2, XC3	35	45	45	55
XC4	40	50	50	60
XS1, XD1	45	55	55	65
XS2, XD2	50	60	60	80
XS3, XD3	55	65	65	75

Nel caso di calcestruzzi a contatto con superfici irregolari, i valori del c_{min} debbono essere

incrementati per tener conto delle maggiori tolleranze di esecuzione previste. L'incremento è proporzionale all'entità delle prevedibili irregolarità.

Il copriferro minimo deve essere almeno pari a 50 mm (= 40 mm + 10 mm) per un calcestruzzo gettato in opera contro terreni trattati (compreso calcestruzzo di spianatura: plinti su magrone e pavimentazioni industriali su massiciata) e a 85 mm (= 75 mm + 10 mm) per un calcestruzzo gettato direttamente contro il terreno senza lisciatura delle pareti verticali di scavo (per es. muri contro terra o di sostegno). Tali valori tengono già conto della difficoltà o impossibilità, per le strutture di fondazione e contro terra, di rilevare visivamente un processo degenerativo del calcestruzzo e/o delle barre d'armatura.

■ NOTE E RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI PER LA FORMULAZIONE DELLE PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

All'interno del D.M. 17/01/2018, vengono più volte richiamati gli obblighi del progettista in fase di progettazione. Al **paragrafo 4.1.7 delle NTC**, si specificano gli obblighi del progettista, secondo quanto segue: *“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.

Analoga attenzione dovrà essere posta nella progettazione delle armature per quanto riguarda: la definizione delle posizioni, le tolleranze di esecuzione e le modalità di piegatura. Si potrà a tal fine fare utile riferimento alla norma UNI EN 13670.”.

Gli obblighi “della fase di progettazione” per le disposizioni nella fase esecutiva, vengono riprese al **paragrafo 11.2.1 delle NTC**: *“(…) Inoltre, si dovranno dare indicazioni in merito ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI EN 13670, alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. (...)”* e richiamati anche al **paragrafo 11.211** sempre delle NTC: *“(…) Inoltre devono essere rispettati i valori del copriferro nominale di cui al punto 4.1.6.1.3, nonché le modalità e la durata della maturazione umida in accordo alla UNI EN 13670:2010, alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. (...)”.*

Quindi, il progettista deve individuare le prescrizioni fondamentali ed aggiuntive per il calcestruzzo, per le armature, il copriferro, le modalità esecutive della struttura, le regole di maturazione, di scasso e disarmo.

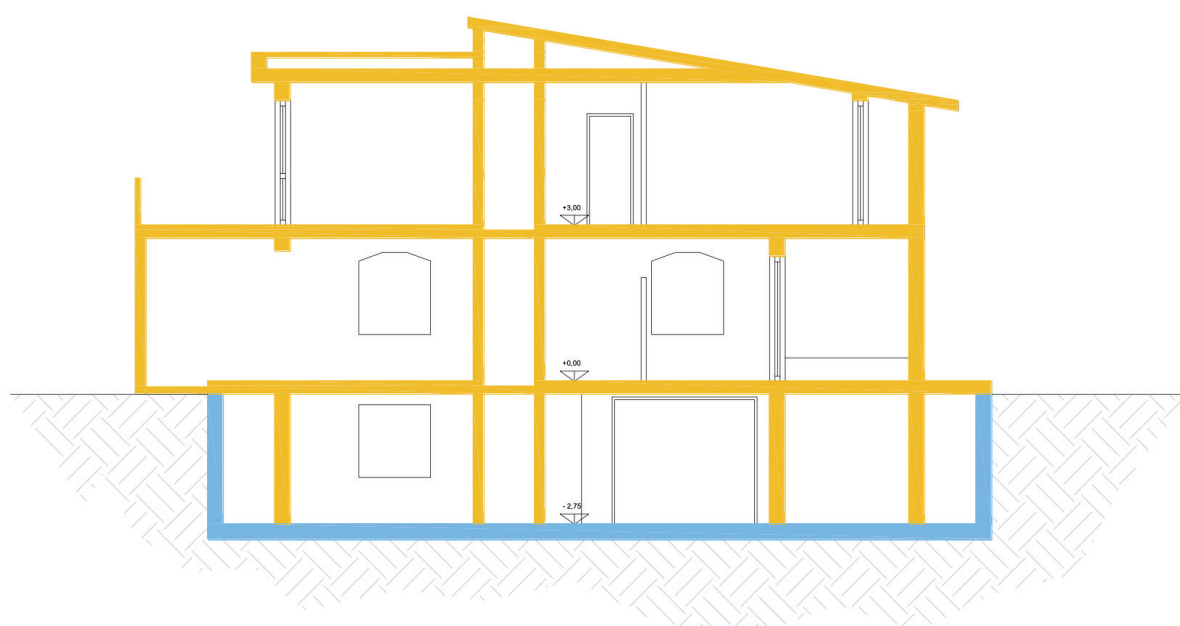
Gli argomenti di tale paragrafo, possono essere approfonditi, tramite l'utilizzo dei documenti richiamati dalle NTC, e cioè la norma UNI EN 13670 e le Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il vademecum si conclude con gli esempi di prescrizioni di strutture in c.a. con Vita Nominale di 50 anni. Tali esempi hanno lo scopo di sintetizzare in opportune casistiche quanto espresso nelle pagine precedenti fornendo un ulteriore strumento di ausilio e/o supporto per il conseguimento delle scelte progettuali, inerenti il calcestruzzo, da compiere per garantire la durabilità dell'opera progettata.



■ ESEMPI DI PRESCRIZIONI PER STRUTTURE IN C.A. PER VITA NOMINALE 50 ANNI

VILLETTA UNIFAMILIARE



Questa tipologia, destinata a edilizia residenziale, comprende le strutture private di piccola dimensione ubicate in aree urbane o extraurbane.

Il corpo d'elevazione è formato da telai di calcestruzzo armato gettati in opera. Gli elementi verticali sono costituiti da pilastri e corpo scala, gli elementi orizzontali da travi in c.a. e solai in latero-cemento gettati in opera.

Le fondazioni sono a plinti o travi rovesce o a platea. Il piano interrato è chiuso da muri perimetrali di calcestruzzo armato gettati contro cassero.

Per la definizione della tipologia di degrado cui la struttura è soggetta è stata considerata la non aggressività dei terreni (Per verificare quest'ultima ipotesi è necessario far eseguire un'analisi chimica del terreno).

Nel primo caso, schematizzato sotto, la struttura ricade solo in classe di esposizione **XC** essendo situata a bassa quota, quindi in assenza di gelo, e lontana più di tre km dal mare per cui sicuramente non soggetta al degrado indotto da aerosol marino.

Entrando nel dettaglio degli elementi strutturali è stata fatta una distinzione tra le **strutture in elevazione** e le **fondazioni**: le prime ricadono in classe **XC3** e **XC4** mentre le seconde, se a contatto con terreni privi di sostanze aggressive, in classe **XC2**.

Villetta unifamiliare situata a più di 3 km dal mare e a quota inferiore a 800 m

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione interne (travi, solai, pilastri, copertura)	XC3	C30/37	35	
Strutture in elevazione esterne non protette dalla pioggia (travi, solai, pilastri, copertura)	XC4	C32/40		40
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30		50

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione interne (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Strutture in elevazione esterne non protette dalla pioggia (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

Il **secondo caso**, schematizzato sotto ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XS**. La classificazione **XS** deriva dall'esposizione della struttura all'azione corrosiva dell'aerosol marino. Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104 .

- Per le **strutture interrato**, a meno di presenza di falde che cambiano livello e presenza di terreni privi di sostanze aggressive è possibile l'assegnazione della sola classe di esposizione **XC2**.
- Per la classificazione ambientale delle **strutture in elevazione** si è tenuto conto dei cicli di bagnato/asciutto da cui deriva la classificazione in **XC4** mentre la classificazione in **XS1** deriva dal tenere in conto l'attacco da parte dei cloruri contenuti nell'aerosol marino.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della R_{ck} minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104 e del copriferro nominale calcolato con l'EC2).



Villetta unifamiliare situata a meno di 3 km dal mare – non a contatto con acqua di mare e terreno contenenti cloruri

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione interne ed esterne (travi, solai, pilastri, copertura)	XC4 – XS1	C32/40	45	45
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30	50	

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione interne ed esterne (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

Nel terzo caso, schematizzato sotto, la struttura ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XF**. La differenza rispetto al caso precedente deriva dal fatto che la struttura è soggetta a cicli di gelo/disgelo essendo situata ad una quota superiore agli 800m.

Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104.

- Per le **strutture interrate**, a meno di presenza di falde che cambiano livello e terreni contenenti sostanze aggressive, è plausibile ipotizzare l'assenza di saturazione d'acqua della matrice cementizia, da questa considerazione discende l'impossibilità di degrado da cicli gelo/disgelo e quindi l'assegnazione della sola classe di esposizione **XC2**.
- Le **strutture in elevazione verticali**, interne ed esterne, essendo esposte ai cicli gelivi ricadono in classi di esposizione **XC4 – XF1**. Mentre per le **strutture orizzontali**, sia interne che esterne, ricadono in classi di esposizione **XC4 – XF3**, in accordo alla UNI 11104, si avrà l'uso di additivi aeranti, per i "calcestruzzi aerati", o "calcestruzzi non aereati" sottoposti alle prove di cui alla Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104. In questo punto si sono uniformate le strutture interne ed esterne poiché risulta difficile se non impossibile, scindere le parti soggette al ciclo gelo/disgelo, dalle parti non soggette a tale ciclo.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

Villetta unifamiliare situata a quota superiore a 800 m

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione verticali interne ed esterne (pilastri, setti, muri).	XC4 - XF1	C32/40	35	40
Strutture orizzontali interne ed esterne (solai, terrazze e copertura).	XC4 - XF3	C32/40 aerato C40/50 non aerato*	35	40
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30	50	

* Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104.

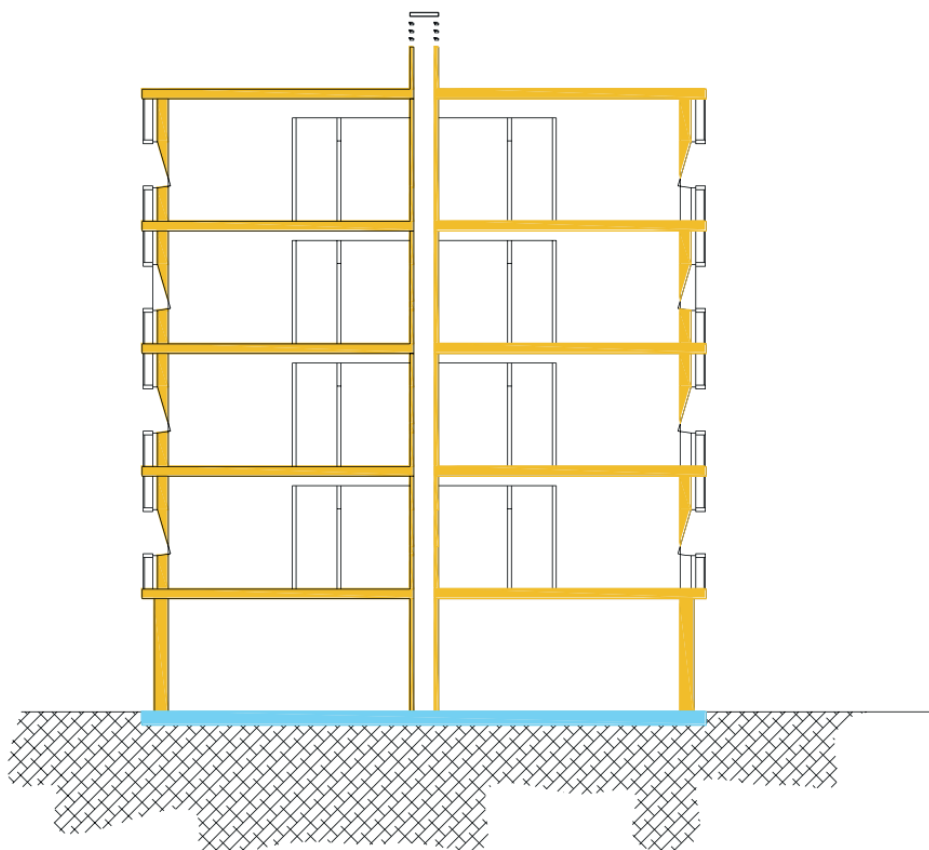
PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione (travi, solai, pilastri, copertura)	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.



EDIFICIO DI CIVILE ABITAZIONE



Questa tipologia, destinata a edifici di civile abitazione, comprende le strutture private di grande dimensione ubicate in aree urbane o extraurbane.

Il corpo d'elevazione è formato da telai di calcestruzzo armato gettati in opera. Gli elementi verticali sono costituiti da pilastri, corpi scala e vani ascensore, gli elementi orizzontali da travi in c.a. e solai in latero-cemento gettati in opera o predalles.

Le fondazioni sono a plinti o travi rovesce o a platea.

Il terreno di fondazione non contiene sostanze aggressive. Per verificare quest'ultima ipotesi è necessario far eseguire un'analisi chimica del terreno.

Nel primo caso, schematizzato sotto, la struttura ricade solo in classe di esposizione **XC** essendo situata a bassa quota, quindi in assenza di gelo, e lontana più di tre km dal mare per cui sicuramente non soggetta al degrado indotto da aerosol marino.

Entrando nel dettaglio degli elementi strutturali è stata fatta una distinzione tra le **strutture in elevazione** e le **fondazioni**: le prime ricadono in classe **XC3** o **XC4** mentre le seconde, se a contatto con terreni privi di sostanze aggressive, in classe **XC2**.

Edificio di civile abitazione situato a più di 3 km dal mare e a quota inferiore a 800 m

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione interne (travi, solai, pilastri, copertura)	XC3	C30/37	35	
Strutture in elevazione esterne non protette dalla pioggia (travi, solai, pilastri, copertura)	XC4	C32/40		40
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30		50

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione interne (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Strutture in elevazione esterne non protette dalla pioggia (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.
Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

Il **secondo caso**, schematizzato sotto ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XS**. La classificazione XS deriva dall'esposizione della struttura all'azione corrosiva dell'aerosol marino.. Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104 .

- Per le **strutture interrato**, a meno di presenza di falde, è possibile l'assegnazione della sola classe di esposizione **XC2**.
- Per la classificazione ambientale delle **strutture in elevazione** si è tenuto conto dei cicli di bagnato/asciutto da cui deriva la classificazione in **XC4** mentre la classificazione in **XS1** deriva dal tenere in conto l'attacco da parte dei cloruri contenuti nell'aerosol marino.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 4 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.



Edificio di civile abitazione situato a meno di 3 km dal mare

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione interne ed esterne (travi, solai, pilastri, copertura)	XC4 - XS1	C32/40	45	45
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30	50	

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione interne ed esterne (travi, solai, pilastri, copertura)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.
Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

Nel terzo caso, schematizzato sotto, la struttura ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XF**. La differenza rispetto al caso precedente deriva dal fatto che la struttura è soggetta a **cicli di gelo/disgelo** essendo situata ad una quota superiore agli 800 m.

Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104.

- Per le **strutture interrato**, a meno di presenza di falde, è plausibile ipotizzare l'assenza di saturazione d'acqua della matrice cementizia, da questa considerazione discende l'impossibilità di degrado da cicli gelo/disgelo e quindi l'assegnazione della sola classe di esposizione **XC2**, naturalmente se a contatto di terreni privi di sostanze aggressive per il calcestruzzo.
- Le **strutture in elevazione verticali**, interne ed esterne, essendo esposte ai cicli gelivi ricadono in classi di esposizione **XC4 - XF1**. Mentre per le **strutture orizzontali**, sia interne che esterne, ricadono in classi di esposizione **XC4 - XF3**, in accordo alla UNI 11104, ci sarà l'uso di additivi aeranti, per i "calcestruzzi aerati", o "calcestruzzi non aereati" sottoposti alle prove di cui alla Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104. In questo punto si sono uniformate le strutture interne ed esterne poiché risulta difficile se non impossibile, scindere le parti soggette al ciclo gelo/disgelo, dalle parti non soggette a tale ciclo.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 4 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

Edificio di civile abitazione situato a quota superiore a 800 m

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)	
			Porzioni di struttura INTERNE	Porzioni di struttura ESTERNE
Strutture in elevazione verticali interne ed esterne (pilastri, setti, muri).	XC4 - XF1	C32/40	35	40
Strutture orizzontali interne ed esterne (solai, terrazze e copertura).	XC4 - XF3	C32/40 aerato C40/50 non aerato*	35	40
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	XC2	C25/30		50

* Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104.

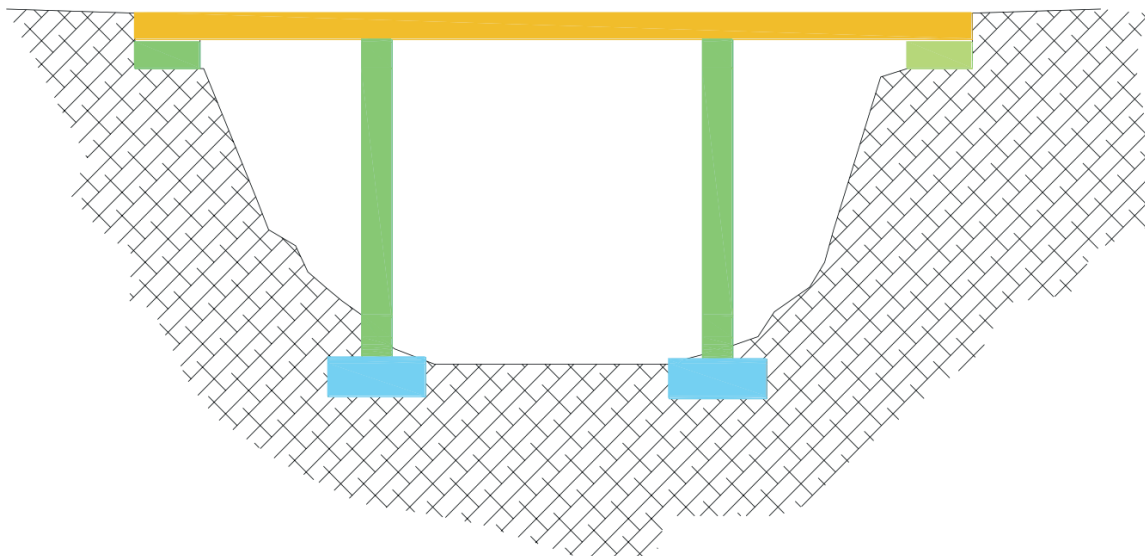
PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Strutture in elevazione (travi, solai, pilastri, copertura).	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	
Strutture orizzontali interne ed esterne (solai, terrazze e copertura).	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	
Fondazioni e muri contro terra "preparata"	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.



PONTE PEDONALE O STRADALE



Questa tipologia, comprende tutte le opere infrastrutturali di media e grande importanza, sia pedonali che carrabili.

La struttura in c.a., che può essere progettata secondo differenti tipologie, comprende:

- Strutture di fondazione (plinti ed eventuali palificate);
- Strutture verticali (Pile);
- Spalle;
- Impalcato.

Per la definizione della tipologia di degrado cui la struttura è soggetta è stata considerata la non aggressività dei terreni (Per verificare quest'ultima ipotesi è necessario far eseguire un'analisi chimica del terreno).

Nel **primo caso**, schematizzato sotto, la struttura ricade solo in classe di esposizione **XC** essendo situata a bassa quota, quindi in assenza di gelo, e lontana più di tre km dal mare per cui sicuramente non soggetta al degrado indotto da aerosol marino.

Entrando nel dettaglio degli elementi strutturali è stata fatta una distinzione, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104, tra le **strutture in elevazione** e le **fondazioni**: le prime ricadono in classe **XC4** mentre le seconde, se a contatto con terreni che non contengono sostanze aggressive per il calcestruzzo, in classe **XC2**. La differenza deriva dall'aver considerato, per le pile e l'impalcato, la ciclicità bagnato/asciutto cui sono soggette.

Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

Ponte stradale in sito in luogo con altitudine inferiore a 800 m e con strade non soggette agli agenti disgelanti

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)
Impalcato	XC4	C32/40	40
Pile e Spalle	XC4	C32/40	40
Fondazioni (terreno "preparato")	XC2	C32/40	50

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Impalcato	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Pile e spalle	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni (terreno "preparato")	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

Nel **secondo caso**, schematizzato sotto, la struttura ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XF** e **XD**. La differenza rispetto al caso precedente deriva dal fatto che la struttura è soggetta a **cicli di gelo/disgelo** e uso di **sali disgelanti** essendo situata ad una quota superiore agli 800 m.

Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104.

- Per le **strutture interrato**, a meno di presenza di falde, è plausibile ipotizzare l'assenza di saturazione d'acqua della matrice cementizia, da questa considerazione discende l'impossibilità di degrado da cicli gelo/disgelo e quindi l'assegnazione della sola classe di esposizione **XC2**, naturalmente se a contatto con terreni che non contengono sostanze aggressive per il calcestruzzo.
- L'**impalcato**, le **pile** e le **spalle**, invece, essendo esposte ai cicli gelivi e al conseguente trattamento con soluzioni antigelo, contenenti cloruri, ricadono anche in classe di esposizione **XF** e **XD**. In particolare, per l'impalcato, in accordo alla UNI 11104, ci sarà l'uso di additivi aeranti, per i "calcestruzzi aerati", o "calcestruzzi non aereati" sottoposti alle prove di cui alla Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza a compressione caratteristica minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.



Ponte stradale in sito con altitudine superiore a 800 m

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)
Impalcato	XC4-XF4-XD3	C32/40	55
Pile e Spalle	XC4-XF1-XD1	C35/45 aerato C40/50 non aerato*	45
Fondazioni (terreno "preparato")	XC2	C32/40	50

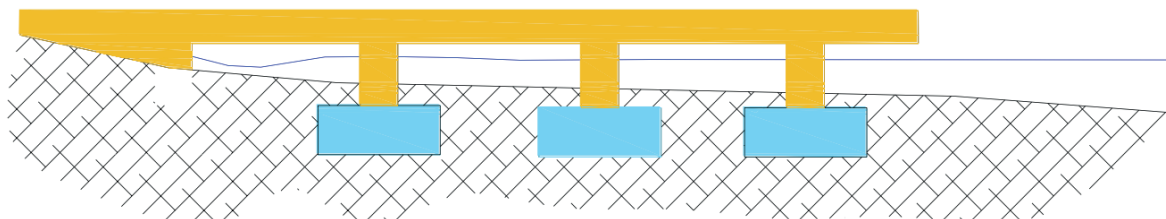
* Nota a) del Prospetto 5 della UNI 11104.

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Impalcato	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Pile e spalle	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni (terreno "preparato")	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.

BANCHINA PORTUALE/MOLO



Questa tipologia, comprende tutte le opere realizzate in prossimità della battigia, con parti parzialmente immerse in acqua, di media e grande importanza, sia pedonali che carrabili.

La struttura in c.a., che può essere progettata secondo differenti tipologie, comprende:

- Strutture di fondazione (plinti ed eventuali palificate);
- Strutture verticali (Pile o setti);
- Impalcato.

La struttura in esame ricade sia in classe di esposizione **XC** sia in classe **XS**.

La classificazione **XS** deriva dall'esposizione della struttura all'**azione corrosiva dell'acqua di mare**.

Entrando nel dettaglio è stata fatta una distinzione degli elementi strutturali, in accordo alla UNI EN 206 e alla UNI 11104 .

- Per le **strutture interrate**, essendo totalmente immerse, è stata assegnata la sola classe di esposizione **XS2**.
- L'**impalcato e le pile**, per contro, essendo soggette a cicli di asciutto/bagnato e al moto ondoso, sono state classificate in **XC4** e **XS3**.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della Rck minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)
Impalcato e Pile	XC4-XS3	C35/45	50
Fondazioni	(XC2)-XS2	C35/45	55

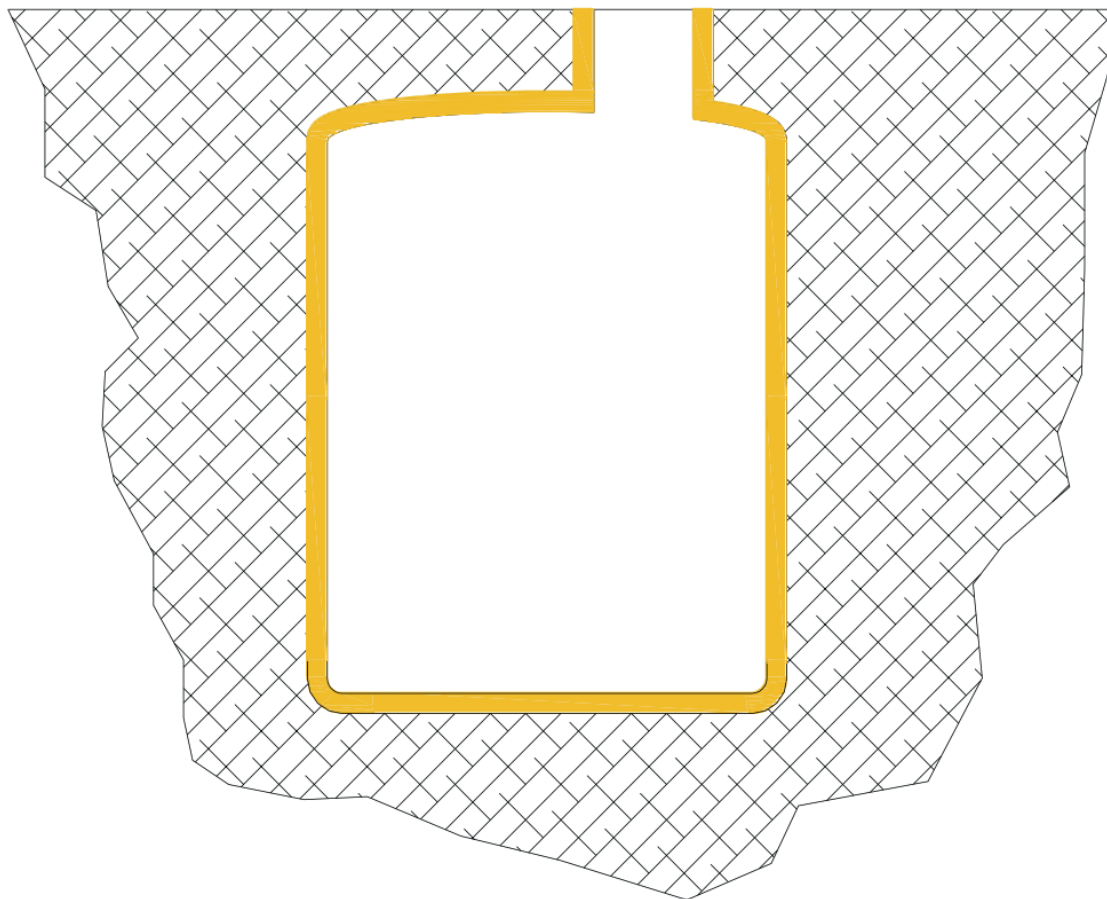
PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Impalcato	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	
Pile e spalle	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	
Fondazioni (terreno "preparato")	S5	32
	oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.



SERBATOIO INTERRATO PER ACQUA POTABILE



Questa tipologia, comprende tutte le opere idrauliche realizzate per l'accumulo di acque definite potabili.

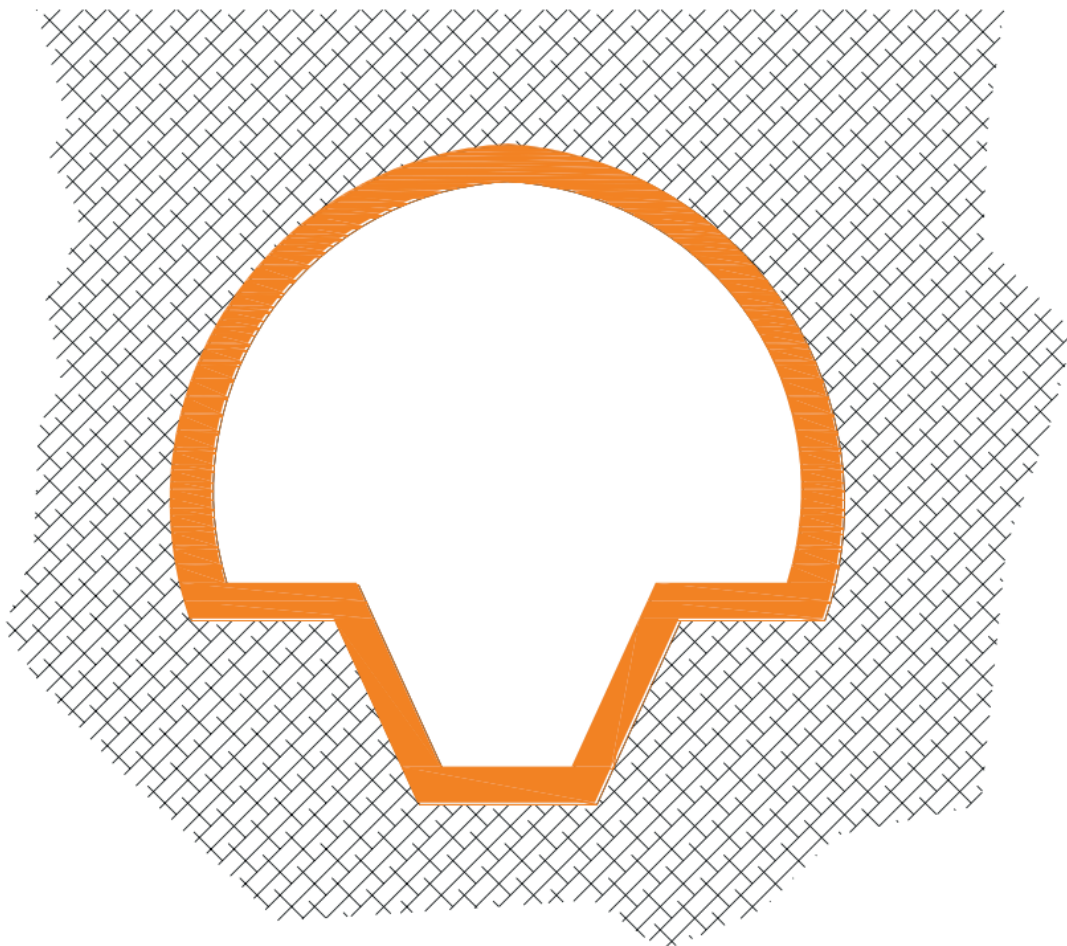
Il terreno di fondazione non contiene sostanze aggressive. Per verificare quest'ultima ipotesi è necessario far eseguire un'analisi chimica del terreno.

- Le classi di esposizione considerate sono **XC4**, in quanto le pareti del serbatoio sono soggette a cicli di asciutto/bagnato e **XD2** per la potenziale presenza di cloro nelle acque potabili a seguito dei processi di depurazione e se nella parte esterna a contatto con terreni che non contengono sostanze aggressive per il calcestruzzo.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)
Serbatoio	XC4-XD2	C32/40	50
PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA		D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Impalcato	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm		32
Pile e spalle	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm		32
Fondazioni (terreno “preparato”)	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm		32
Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.			
Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.			



COLLETTORE FOGNARIO



Questa tipologia, comprende tutte le opere idrauliche realizzate per l'accumulo e lo smaltimento di acque reflue.

Il terreno di fondazione non contiene sostanze aggressive. Per verificare quest'ultima ipotesi è necessario far eseguire un'analisi chimica del terreno.

A differenza del caso precedente, considerata l'aggressività chimica delle acque reflue, il calcestruzzo è soggetto all'**attacco da solfati**.

- In particolare è stata considerata una classe **XA3**, tenendo conto di alcuni riferimenti di legge che le diverse regioni assegnano alla composizione chimica dei reflui, e la classe **XC4**, per i fenomeni di carbonatazione e cicli di asciutto/bagnato.
- Dall'individuazione della classe di esposizione deriva la scelta della resistenza caratteristica a compressione minima (attraverso il prospetto 5 della UNI 11104) e del copriferro nominale calcolato con l'EC2.

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSI D'ESPOSIZIONE AMBIENTALE	RESISTENZA MINIMA	COPRIFERRO NOMINALE (mm)
Speco fognario	XA3 + XC4	C35/45	40

PARTI DI STRUTTURA INTERESSATE	CLASSE DI CONSISTENZA	D _{max} DELL'AGGREGATO (mm)
Impalcato	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Pile e spalle	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32
Fondazioni (terreno "preparato")	S5 oppure Slump di riferimento 230 mm ± 30 mm	32

Nota 1: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza.

Nota 2: Per interferri inferiori a 35 mm, utilizzare aggregati con pezzatura massima di 20 mm.



■ ESEMPI DI PRESCRIZIONI COMPLETE

FONDAZIONI

SCHEDA F1

Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di fondazione¹ a contatto con terreni non aggressivi

Voce di capitolato sintetica con le grandezze fondamentali

Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104, per strutture di fondazione in classe di esposizione XC2 (UNI 11104), C25/30, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento 230 mm $\pm$ 30 mm, Dmax 32 mm, Cl 0.4.

Campo di validità

Le prescrizioni di capitolato, inoltre, sono rivolte a plinti di piccole dimensioni (altezza non superiore a 1,0 m, a platee di fondazione e muri di spessore non superiore a 60 cm).

Avvertenze

Prima di procedere all'utilizzo della presente prescrizione di capitolato è opportuno eseguire un'analisi chimica del terreno tesa ad accertare la eventuale presenza di solfati. Questa esigenza diventa stringente soprattutto quando si debbono fondare opere su terreni agricoli (o nelle vicinanze) in quanto la probabilità che i solfati siano presenti risulta elevata a causa dell'utilizzo dei fertilizzanti (ad esempio, a base di solfato d'ammonio). Nel caso venisse accertata dall'analisi la presenza di solfato in misura superiore a 2.000 mg/kg (come S04-2) utilizzare le prescrizioni di capitolato riportate nella Scheda F2 "Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di fondazione in terreni aggressivi".

Per le opere di fondazione di grandi dimensioni le seguenti prescrizioni di capitolato non sono idonee. A tal fine vanno studiati e analizzati altri fenomeni oltre alla problematica della durabilità e le prescrizioni contenute nella presente scheda debbono essere integrate con prescrizioni relative allo sviluppo di calore di idratazione unitario del cemento e al dosaggio massimo di cemento nell'impasto al fine di limitare la nascita di gradienti termici nel getto. L'integrazione delle prescrizioni per queste strutture, infine, deve riguardare anche la protezione delle superfici casserate e non con l'impiego di materassini coibenti.

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo

A1) Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008;

A2) Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2;

A3) Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2;

¹ plinti, pali, travi rovesce, paratie, platee.

A4) Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520-2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2;

A5) Cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1;

A6) Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.

Prescrizioni per il calcestruzzo

B0) In accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M.17.01.2018) il calcestruzzo dovrà essere prodotto in impianto dotato di un **Sistema di Controllo della Produzione (FPC)** effettuata in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato, certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato.

B1) Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104;

B2) Classi di esposizione ambientale: XC2 (UNI 11104);

B3) Rapporto a/c max: 0.60;

B4) Classe di resistenza a compressione minima: C25/30;

B5) Controllo di accettazione: tipo A (tipo B per volumi complessivi di calcestruzzo superiori a 1500 m³);

B6) Aria intrappolata: max. 2,5%;

B7) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm);

B8) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.4;

B9) Classe di consistenza al getto S5 oppure slump di riferimento 230 ± 30 mm;

Nota: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza;

B10) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%.

Prescrizioni per la struttura

C1) Copriferro minimo: 35 mm (45 per opere in c.a.p). Per getti controterra su terreno preparato: copriferro minimo 50 mm. Per getti controterra su terreno non preparato: copriferro minimo 85 mm;

C2) Mantenere cassata la struttura, oppure durata minima della maturazione umida, da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non cassata con geotessile, tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni;

In caso di esecuzione dei getti in periodo invernale: Protezione delle superfici cascate e non del getto con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica) per almeno 10 giorni. Sulle superfici non cascate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene;

C3) Acciaio B450C conforme al D.M. 17.01.2018;

C4) Preparazione e posa delle armature secondo la norma EN 13670, Cap. 6 ed Allegato D.



SCHEDA F2

Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di fondazione² a contatto con terreni aggressivi contenenti solfati

Voce di capitolato sintetica con le grandezze fondamentali

1. Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1 e UNI 11104, per strutture di fondazione in terreni debolmente aggressivi con un tenore di solfati compreso tra 2000 e 3000 mg/kg, in classe di esposizione XC2-XA1 (UNI 11104), C30/37, cemento conforme alla norma UNI EN 197-1- paragrafo 6.2 – MRS secondo la norma UNI 9156, paragrafo 7.4.2, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm, D_{max} 32 mm, Cl 0.4.
2. Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104, per strutture di fondazione in terreni mediamente aggressivi con un tenore di solfati compreso tra 3000 e 12000 mg/kg, in classe di esposizione XC2-XA2 (UNI 11104), C32/40 cemento conforme alla norma UNI EN 197-1- paragrafo 6.2, paragrafo 7.4.2 – ARS secondo la norma UNI 9156, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm, D_{max} 32 mm, Cl 0.4.
3. Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104, per strutture di fondazione in terreni fortemente aggressivi con un tenore di solfati compreso tra 12000 e 24000 mg/kg, in classe di esposizione XC2-XA3 (UNI 11104), C35/45, cemento conforme alla norma UNI EN 197-1- paragrafo 6.2, paragrafo 7.4.2 – AARS secondo la norma UNI 9156, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm, D_{max} 32 mm, Cl 0.4.

Campo di validità

Le prescrizioni di capitolato riportate nella presente scheda sono rivolte alle strutture di fondazione e ai muri interrati in contatto con terreni aggressivi contenenti solfati in misura compresa tra 2000 mg/kg e 24.000 mg/kg e attengono a strutture con Vita Nominale 50 anni in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018). Per le strutture con un tenore di solfati superiore a 24.000 mg/kg oltre alle prescrizioni contenute nella presente scheda e relative al calcestruzzo occorrerà ricorrere all'impiego di rivestimento protettivi impermeabili intrinsecamente resistenti al solfato (ad esempio, a base di sistemi epossidici). Le prescrizioni di capitolato contenute nella presente scheda valgono sia per opere esposte a climi temperati che rigidi. Per le strutture interrate in clima rigido, infatti, grazie all'inerzia termica del terreno si debbono escludere fenomeni degradanti per effetto dei cicli di gelo-disgelo caratteristico delle strutture aeree che operano in questo contesto climatico. Le prescrizioni di capitolato, inoltre, sono rivolte a plinti di piccole dimensioni (altezza non superiore a 1.5 m, a platee di fondazione e muri di spessore non superiore a 60-80 cm). Se le strutture oltre ad operare in terreni inquinati da solfati dovessero risultare anche di grandi dimensioni, le prescrizioni contenute nella presente scheda debbono essere integrate con prescrizioni relative allo sviluppo di calore di idratazione

² plinti, pali, travi rovesce, paratie, platee.

unitario del cemento e al dosaggio massimo di cemento nell'impasto al fine di limitare la nascita di gradienti termici nel getto. L'integrazione delle prescrizioni per queste strutture, infine, deve riguardare anche la protezione delle superfici casserate e non con l'impiego di materassini coibenti.

Avvertenze

Prima di procedere all'utilizzo della presente prescrizione di capitolato eseguire un'analisi chimica del terreno tesa ad accertare la concentrazione di solfati nel terreno. Questa esigenza diventa stringente soprattutto quando si debbono fondare opere su terreni agricoli (o nelle vicinanze), in quanto la probabilità che i solfati siano presenti risulta elevata a causa dell'utilizzo dei fertilizzanti (ad esempio, a base di solfato d'ammonio), o in zone del Paese notoriamente ricche di queste sostanze (ad esempio, in Carnia). Nel caso venisse accertata dall'analisi la presenza di solfato in misura inferiore a 2.000 mg/kg (come SO₄-2) utilizzare le prescrizioni di capitolato riportate nella Scheda F1 "Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di fondazione in terreni non aggressivi".

Per le opere di fondazione di grandi dimensioni le seguenti prescrizioni di capitolato non sono idonee. A tal fine vanno studiati e analizzati altri fenomeni oltre alla problematica della durabilità.

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo

- A1)** Acqua di impasto conforme alla UNI EN 1008;
- A2)** Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI EN 934-2;
- A3)** Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2;
- A4)** Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520/2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2;
- A5)** Tipo di cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1 – per la resistenza ai solfati paragrafo 6.2, paragrafo 7.4.2 con relativi prospetti e conforme alla norma UNI 9156;
- A6)** Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.

Prescrizioni per il calcestruzzo

- B0)** In accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M.17.01.2018) il calcestruzzo dovrà essere prodotto in impianto dotato di un Sistema di Controllo della Produzione (FPC) effettuata in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato, certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato.
- B1)** Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo con la UNI EN 206 e UNI 11104;
- B2-B3-B4)** Classi di esposizione ambientale, rapporto a/c massimo, classe di resistenza a compressione minima e dosaggio minimo di cemento in accordo alla seguente tabella in funzione della concentrazione di solfato nel terreno:



Classe di esposizione (UNI 11104)	Concentrazione di solfato (SO_4^{2-}) nel terreno (mg/kg)	Cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1 – per la resistenza ai solfati paragrafo 6.2, paragrafo 7.4.2 con relativi prospetti e conforme alla norma UNI 9156	a/c max	C (x/y) minima
XC2 + XA1	2.000-3.000	MRS	0.55	C30/37
XC2 + XA2	3.000-12.000	ARS	0.50	C32/40
XC2 + XA3	12.000-24.000	AARS	0.45	C35/45

B5) Controllo di accettazione: tipo A (tipo B per volumi complessivi di calcestruzzo superiori a 1500 m³);

B6) Aria intrappolata: max. 2,5%;

B7) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm);

B8) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.4;

B9) Classe di consistenza al getto S5 o slump di riferimento 220 ± 30 mm;

Nota: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza;

B10) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%.

Prescrizioni per la struttura

C1) Copriferro minimo: 35 mm. Per getti controterra su terreno preparato: copriferro minimo 50 mm (+10). Per getti controterra su terreno non preparato: copriferro minimo 85 mm;

C2) Mantenere casserata la struttura, ove possibile, oppure durata minima della maturazione umida, per parti scasserate o libere da casseri, da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non casserata con geotessile, tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni;

In caso di esecuzione dei getti in periodo invernale: Protezione delle superfici casserate e non del getto con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica) per almeno 10 giorni. Sulle superfici non casserate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene.

C3) Acciaio B450C conforme al D.M. 17.01.2018;

C4) Preparazione e posa delle armature secondo la norma EN 13670, Cap. 6 ed Allegato D.

ELEVAZIONI

SCHEDA E1

Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di interni ad umidità relativa dell'aria moderata o elevata o strutture esterne al riparo della pioggia in zone a clima temperato

Voce di capitolato sintetica con le grandezze fondamentali

Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104, per strutture di elevazione di edifici che operano in servizio internamente ad umidità relativa dell'aria moderata o elevata o all'esterno non direttamente esposte all'azione della pioggia in classe di esposizione XC3 (UNI 11104), C30/37, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento $230 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$, $D_{\text{max}} 32 \text{ mm}$, CI 0.4.

Campo di validità

Le prescrizioni di capitolato riportate nella presente scheda sono rivolte agli elementi di elevazione di edifici che operano in servizio all'interno di edifici a umidità relativa moderata o alta o all'esterno riparati dall'azione della pioggia. Le prescrizioni di capitolato contenute nella presente scheda, pertanto, sono rivolte a pilastri, travi, solette aggettanti, corpi scala e nuclei ascensore che appartengono a strutture con Vita Nominale 50 anni in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) e sono situate in aree del Paese caratterizzate da clima temperato.

Avvertenze

Per gli elementi strutturali che in parte o in toto si trovano in servizio direttamente esposti all'ambiente esterno in aree a clima rigido queste prescrizioni non sono idonee. Per gli elementi strutturali di edifici esposti all'esterno all'azione della pioggia e a quella dell'aerosol marino (edifici situati lungo la costa) le prescrizioni che seguono non sono idonee.

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo

- A1)** Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008;
- A2)** Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2;
- A3)** Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2;
- A4)** Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520-2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2;
- A5)** Cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1;
- A6)** Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN



13263 parte 1 e 2.

Prescrizioni per il calcestruzzo

B0) In accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M.17.01.2018) il calcestruzzo dovrà essere prodotto in impianto dotato di un Sistema di Controllo della Produzione (FPC) effettuata in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato, certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato.

B1) Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104;

B2) Classi di esposizione ambientale: XC3 (UNI 11104);

B3) Rapporto a/c max: 0.55;

B4) Classe di resistenza a compressione minima: C30/37;

B5) Controllo di accettazione: tipo A (tipo B per volumi complessivi di calcestruzzo superiori a 1500 m³);

B6) Aria intrappolata: max. 2,5%;

B7) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm);

B8) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.4;

B9) Classe di consistenza al getto S5 oppure slump di riferimento 23 ± 2 cm;

Nota: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza;

B10) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%.

Prescrizioni per la struttura

C1) Copriferro minimo: 35 mm;

C2) Mantenere casserata la struttura, oppure durata minima della maturazione umida da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non casserata con geotessile, tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni;

In caso di esecuzione dei getti in periodo invernale: Protezione delle superfici casserate e non del getto con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica) per almeno 7 giorni. Sulle superfici non casserate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene;

C3) Acciaio B450C conforme al D.M. 17.01.2018;

C4) Preparazione e posa delle armature secondo la norma EN 13670, Cap. 6 ed Allegato D.

SCHEDA E2

Calcestruzzo destinato alla realizzazione di strutture di elevazione che in servizio sono esposte all'azione della pioggia in zone a clima temperato

Voce di capitolato sintetica con le grandezze fondamentali

Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206, per strutture di elevazione di edifici che operano in servizio all'esterno esposte direttamente all'azione della pioggia, in classe di esposizione XC4 (UNI 11104), C32/40, Classe di consistenza S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm, D_{max} 32 mm, CI 0.4.

Campo di validità

Le prescrizioni di capitolato riportate nella presente scheda sono rivolte agli elementi di elevazione di edifici che operano in servizio all'esterno e sono direttamente interessati dall'azione della pioggia. Le prescrizioni di capitolato contenute nella presente scheda, pertanto, sono rivolte a pilastri, travi, solette aggettanti, corpi scala e nuclei ascensore che appartengono a strutture con Vita Nominale 50 anni in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) e sono situate in aree del Paese caratterizzate da clima temperato.

Avvertenze

Per gli elementi strutturali, pilastri, travi, solai, scale che in servizio si trovano all'interno di edifici consultare le prescrizioni contenute nella Scheda E1. Per gli elementi strutturali che in parte o in toto si trovano in servizio direttamente esposti all'ambiente esterno in aree a clima rigido queste prescrizioni non sono idonee. Per gli elementi strutturali di edifici esposti all'esterno all'azione della pioggia e a quella dell'aerosol marino (edifici situati lungo la costa) le prescrizioni che seguono non sono idonee.

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo

- A1)** Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008;
- A2)** Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2;
- A3)** Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2;
- A4)** Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520-2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2;
- A5)** Cemento conforme alla norma UNI-EN 197-1;
- A6)** Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.



Prescrizioni per il calcestruzzo

B0) In accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M.14.01.2018) il calcestruzzo dovrà essere prodotto in impianto dotato di un Sistema di Controllo della Produzione (FPC) effettuata in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato (2003) certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato.

B1) Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206 e UNI 11104;

B2) Classi di esposizione ambientale: XC4 (UNI 11104);

B3) Rapporto a/c max: 0.50;

B4) Classe di resistenza a compressione minima: C32/40;

B5) Controllo di accettazione: tipo A (tipo B per volumi complessivi di calcestruzzo superiori a 1500 m³);

B6) Aria intrappolata: max. 2,5%;

B7) Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm);

B8) Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0.4;

B9) Classe di consistenza al getto S5 oppure slump di riferimento 230 ± 30 cm;

Nota: La classe di consistenza S4, può essere utilizzata solo dove si devono realizzare elementi con particolari problematiche di pendenza;

B10) Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%.

Prescrizioni per la struttura

C1) Copriferro minimo: 40 mm;

C2) Mantenere casserata la struttura, oppure durata minima della maturazione umida da effettuarsi mediante ricoprimento della superficie non casserata con geotessile, tenuto costantemente umido (o con altro metodo di protezione equivalente): 7 giorni;

In caso di esecuzione dei getti in periodo invernale: Protezione delle superfici caserate e non del getto con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica) per almeno 10 giorni. Sulle superfici non caserate prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene;

C3) Acciaio B450C conforme al D.M. 17.01.2018;

C4) Preparazione e posa delle armature secondo la norma EN 13670, Cap. 6 ed Allegato D.

■ BIBLIOGRAFIA

- **D.M. 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.**
- **UNI EN 206, UNI 11104, UNI EN 197-1, UNI 9606, UNI 9656.**
- **Vademecum del c.a. – Progetto Concrete – 2006;**
- **Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera** - pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- L. Coppola, G. Pagazzi, A. Buoso, A. Caddeu, R. Caiaro, G. Ruggeri, D. Ruggeri, A. Farci, M. Iorio, M. Conti, G. Albani, **“Linee guida per la prescrizione delle opere in c.a.”**, Il Sole 24ore - Ottobre 2007.
- G. Pagazzi, R. Caiaro, E. Ciferri, G. Ruggeri, D. Ruggeri, A. Farci, M. Iorio, G. Albani, **“I controlli sul c.a. - Linee guida per la Direzione Lavori”**, Progetto Concrete - Ottobre 2009.
- G. Pagazzi, R. Caiaro, E. Ciferri, G. Ruggeri, D. Ruggeri, A. Farci, M. Iorio, G. Albani, **“Le forniture di c.a. - Linee guida per la Imprese di Costruzione”**, Progetto Concrete – EdilStampa - Ottobre 2009.
- G. Pagazzi, G. Ruggeri, D. Ruggeri, A. Farci, M. Iorio, G. Albani, **“I controlli sul c.a. - Linee guida per la Direzione Lavori”**, Progetto Concrete - (Settembre 2011).
- G. Pagazzi, G. Ruggeri, D. Ruggeri, A. Farci, M. Iorio, G. Albani, **“Le forniture di c.a. - Linee guida per la Imprese di Costruzione”**, Progetto Concrete (Settembre 2011).
- Prof. Luigi Coppola - **“Concretum”**, pp.660, McGraw-Hill, Milano, Italia (2007), ISBN 978-88-386-6465-6.
- Gianluca Pagazzi, **“Progetto Concrete – Le soluzioni più corrette per qualsiasi opera in calcestruzzo”**, Dimensione Geometra, 12-2006.
- Gianluca Pagazzi, **“La maturazione dei getti”**, In Concreto, N. 98, Gennaio/Febbraio 2011, pp. 84-99.
- Gianluca Pagazzi, **“Processo esecutivo per garantire la durabilità e la sicurezza delle strutture in c.a.”**, In Concreto, N. 102, Settembre/Ottobre 2011, pp. 70-75.
- Gianluca Pagazzi, **“Degradamento delle strutture in c.a.: gli ambienti aggressivi per il calcestruzzo e l'acciaio”**, In Concreto, N. 104, Gennaio/Febbraio 2012, pp. 64-72.
- Gianluca Pagazzi, **“Strutture a tenuta idraulica: Prescrizioni di capitolato”**, In Concreto, N. 110, Febbraio 2013.
- Gianluca Pagazzi **“Garantire la durabilità di un'opera in calcestruzzo partendo dalla conoscenza dei fenomeni di degrado - Il percorso magico che conduce alla durabilità: l'analisi delle forme di degrado”**, Ingegno – 25 Ottobre 2018 - In Concreto – 25 Ottobre 2018 - Dossier Tematico – Ottobre 2018.
- Gianluca Pagazzi – **“Maturazione dei getti di calcestruzzo, fase fondamentale per la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato”**, Ingegno – 07.06.2019 - Pavimenti-web. it – 07.06.2019 - In Concreto – 07.06.2019 - La gazzetta di Ingegno – 10.06.2019.

ATECAP ▪ Associazione Tecnico Economica del
Calcestruzzo Preconfezionato
Via Giovanni Amendola, 46 ▪ 00185 Roma
t: +39 06 42016103 ▪ f: +39 06 42020145

atecap.it   