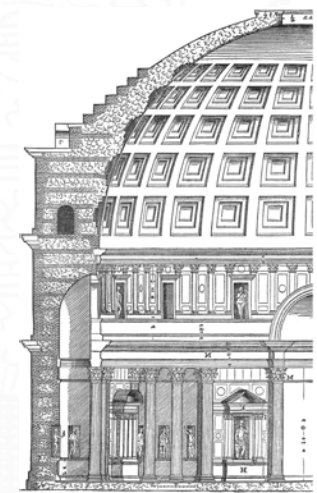


# GUIDA ALLA PRESCRIZIONE DELLA DURABILITÀ DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

Secondo la normativa italiana ed europea (Rev. 2025)





# Indice

<b>Prefazione</b> .....	5
<b>SEZIONE I</b> La prescrizione della durabilità delle strutture in c.a. ....	6
<b>1</b> <b>Quadro normativo</b> .....	6
<b>2</b> <b>Prescrizione del calcestruzzo</b> .....	16
Prescrizione della classe di esposizione .....	18
Prescrizione della classe di resistenza .....	24
Prescrizione della dimensione massima dell'aggregato .....	25
Prescrizione della classe di consistenza .....	26
La consistenza autocompattante .....	27
Prescrizione del mantenimento della consistenza .....	28
Prescrizione della classe di contenuto in cloruri .....	28
Prescrizione della classe di impronta carbonica .....	29
Prescrizione dei componenti del calcestruzzo .....	30
Prescrizioni aggiuntive per il calcestruzzo .....	34
<b>3</b> <b>Prescrizione del copriferro</b> .....	36
<b>4</b> <b>Altre prescrizioni per prevenire fenomeni di degrado</b> .....	42
<b>5</b> <b>Prescrizione della messa in opera e della stagionatura</b> .....	46
La stagionatura .....	47
Accorgimenti alle alte e basse temperature .....	51
La compattazione .....	52
Le tolleranze di esecuzione .....	53
Le casseforme .....	53
<b>SEZIONE II</b> Strumenti operativi per il progettista strutturale .....	54
<b>6</b> <b>Relazione sui materiali e piano di manutenzione</b> .....	54
Esempio di relazione sui materiali .....	56
<b>7</b> <b>Schemi semplificati per la prescrizione della durabilità delle strutture più frequenti</b> .....	60
Ipotesi semplificative .....	61
<b>SCHEDA 1</b> - indagini preliminari .....	64
<b>SCHEDA 2</b> - strutture interrato .....	66
<b>SCHEDA 3</b> - strutture in elevazione .....	68
<b>SCHEDA 4</b> - strutture idrauliche in acqua dolce .....	70
<b>SCHEDA 5</b> - pavimentazioni su massiciata .....	72
<b>SCHEDA 6</b> - compilazione della tabella dei tipi di calcestruzzo .....	74
<b>ALLEGATO 1</b> - attestato di durabilità degli edifici .....	76
<b>Bibliografia</b> .....	82

# Prefazione

La presente “Guida alla prescrizione della durabilità delle strutture in cemento armato” rappresenta la revisione della versione del 2008 in cui sono stati aggiornati i numerosi riferimenti normativi e con essi tabelle e quadri sinottici.

In questi anni qualcosa è cambiato nel mercato delle costruzioni, soprattutto dietro la spinta delle norme europee e delle recenti revisioni delle Norme Tecniche delle Costruzioni: i progettisti e le imprese mostrano maggior attenzione alla gestione dei parametri che concorrono alla durabilità delle costruzioni, concretizzandosi nella scelta di materiali adeguati e nella loro corretta applicazione.

Questa transizione è stata indubbiamente facilitata dall’evoluzione della tecnologia del calcestruzzo, che in questi anni ha potuto usufruire di materiali con caratteristiche innovative da sfruttare in fase di progettazione.

La funzione del presente documento è sempre la stessa di quella di 16 anni fa: non è quello di approfondire, ma di semplificare e velocizzare il lavoro del prescrittore. Allo scopo è stato diviso in due parti: la prima, dedicata al progettista inteso nel senso più ampio, analizza le singole procedure previste dalla normativa per ottenere il requisito di durabilità; la seconda, dedicata al progettista strutturale, offre uno strumento per l’individuazione immediata della combinazione delle classi di esposizione, in funzione dell’elemento strutturale e dell’ambiente in cui si trova.

La convinzione è comunque quella che l’argomento trattato, più che nella difficoltà intrinseca, trova l’opposizione culturale del mercato e lo scarso interesse da parte delle committenze, più propense a spendere ingenti somme per l’impiego di costosissimi materiali da ripristino che a investire poco di più al momento dell’esecuzione della costruzione.

Per tale motivo in allegato 1 viene proposto un Attestato di durabilità degli edifici, con lo scopo di attirare l’attenzione dell’utente finale su temi che riguardano direttamente la struttura che andrà ad acquistare.

Il requisito di durabilità delle opere è previsto anche dai recenti obiettivi del Green Deal europeo con la comunicazione n. 98 del 2020 che in Italia si concretizza nel decreto 23 giugno 2022 (GU SERIE GENERALE n. 183 del 6 agosto 2022): “Criteri ambientali minimi per l’affidamento del ser-

vizio di progettazione di interventi edilizi e per l’affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi”. Tale requisito viene utilizzato come parametro indispensabile per le valutazioni LCA e LCC (Life-cycle Assessment e Life-cycle Cost).

# **SEZIONE I**

**La prescrizione della durabilità delle strutture in c.a.**

## **1. Quadro normativo**

In Italia le regole su come si progetta sono dettate dallo Stato italiano tramite leggi e decreti, cioè documenti cogenti. Il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici redige Linee Guida che non hanno valore cogente, ma che esprimono lo stato dell'arte sull'argomento che trattano. Oggi è possibile consultare Linee Guida: *"per il calcestruzzo strutturale"* (1996), *"per la messa in opera del calcestruzzo strutturale"* (2017), *"per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera"* (2017), *"per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)"* (2019), *"per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche"* (2022).

Le Linee Guida si differenziano dalle norme perché, oltre a prescrivere, spiegano in dettaglio e consigliano. Sono documenti che affrontano gli argomenti in maniera esaustiva e, generalmente, attingono molto dalle normative italiane ed europee.

Proseguendo nell'analisi del panorama normativo, troviamo le norme UNI, EN, ISO, CNR. Le norme sono documenti che definiscono le caratteristiche di un prodotto, di un processo o di un servizio, secondo lo stato dell'arte e sono il risultato del lavoro di decine di migliaia di esperti in Europa e nel mondo. Le norme si fondano su quattro principi fondamentali: la consensualità, la democraticità, la trasparenza e la volontarietà. Quindi le norme sono documenti tecnici che, pur essendo "per costituzione" di applicazione volontaria, forniscono riferimenti certi agli operatori e possono pertanto avere una rilevante valenza contrattuale.

Una norma richiamata da una legge diventa cogente. Il fatto che le Norme Tecniche si limitino, a volte, soltanto a "consigliare" le norme UNI e UNI EN, non deve diminuirne l'importanza: infatti una norma, o parte di essa, richiamata in un documento progettuale, diventa vincolante in fase contrattuale per l'impresa esecutrice e per i fornitori di materiali. Il progettista, richiamando una norma, è sicuro di prescrivere correttamente le grandezze che caratterizzano le prestazioni di materiali o tecnologie e si mette al riparo da possibili contestazioni sulle scelte operate. È ovvia-

mente indispensabile aver letto attentamente la norma, prima di riportarla sul progetto, per conoscerne i limiti e l'applicabilità, ma soprattutto, per prescrivere correttamente i parametri.

Le norme UNI (Ente Nazionale italiano Unificazione) sono norme che possono essere elaborate a livello nazionale o tradotte da quelle europee.

Le norme EN sono elaborate dal CEN (Comité Européen de Normalisation) e servono a uniformare la normativa tecnica in tutta Europa: infatti l'Ente UNI, come gli altri organismi di normazione membri del CEN, deve recepire le norme europee e ritirare le proprie, se contrastanti. Nel caso in cui ci sia da adeguare parte del contenuto della norma europea alla realtà nazionale, vengono emesse norme locali di recepimento. Una norma EN si dice armonizzata se è richiesta dalla Commissione Europea e citata negli appositi elenchi nella Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea: in questo caso è cogente in tutta Europa. Le norme armonizzate sono infatti un importante supporto per il rispetto delle Direttive Comunitarie, in quanto costituiscono un fondamentale riferimento per progettare e produrre beni e servizi, che possano circolare liberamente nel mercato europeo. Le norme EN attingono da altre associazioni internazionali, come FIB, RILEM, FRAMCOS, ISO, ERMCO, EFNARC e sono molto apprezzate anche al di fuori dell'Europa.

Le norme ISO (International Organization for Standardization) sono un riferimento applicabile in tutto il mondo. Spesso vengono recepite a livello comunitario e nazionale (ad esempio la norma UNI EN ISO 9001:2000). Non c'è obbligo di recepimento da parte dei paesi che partecipano all'ISO (oltre 100), così come avviene per le norme europee.

## La prescrizione della durabilità delle strutture secondo la normativa italiana e europea

### La normativa italiana

È noto che le Norme tecniche per le costruzioni, emanate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nel Decreto Ministeriale del 14 settembre 2005, hanno introdotto nel mercato italiano delle costruzioni numerose novità, con l'ambizioso compito di colmare le lacune che si stavano accavallando a livello legislativo. Tra queste ricordiamo la pressante esigenza di traghettare l'obsoleta normativa italiana verso la normativa europea (da cui attingono molto), l'esigenza di mettere ordine nel caotico e delicato mondo della legislazione in materia sismica, l'adeguamento dei materiali da costruzione alla Direttiva 89/106 CEE, oggi sostituita dal Regolamento n. 305/2011.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni del DM 17 gennaio 2018 definiscono la durabilità come la *"capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione"*.

La norma UNI 11417-1 definisce il degrado come: *"alterazione causata da un'azione chimica e/o fisica di origine esterna e/o interna, che in un esercizio riduce le caratteristiche di funzionalità delle opere e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo. Il processo di degrado può interessare sia il calcestruzzo che le armature o eventuali inserti metallici"*.

Le Norme Tecniche hanno recepito dalla normativa europea un concetto nuovo per la legislazione italiana sulle costruzioni in c.a.: l'esigenza di trasferire i livelli di sicurezza all'opera, definiti in fase prescrittiva, per un tempo stabilito pari alla vita utile di progetto. Le Norme Tecniche hanno quindi cercato di circoscrivere un concetto aleatorio e soggettivo come la durabilità, mettendo ordine tra i parametri che la influenzano: la corrosione dei materiali, il tempo, l'ambiente di progetto, la posa in opera, la

manutenzione programmata e la destinazione d'uso.

Quindi per durabilità s'intende, non solo il mantenimento dei coefficienti di sicurezza stabiliti in fase di progetto (per soddisfare i requisiti connessi alla capacità portante, alla limitazione della deformabilità e delle vibrazioni), ma anche la conservazione dell'efficienza iniziale per tutta la vita di servizio, dove per efficienza s'intende il rispetto degli stati limite legati alla funzionalità dell'opera.

Le Norme Tecniche dispongono che *"la prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza al getto e la dimensione massima dell'aggregato, nonché la classe di esposizione ambientale, di cui alla norma UNI EN 206. 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"*.

La prevenzione del degrado delle strutture in c.a. si sviluppa nelle seguenti tre fasi:

**progetto:** analisi del contesto ambientale, scelta dei materiali, concezione e calcolo della struttura, disegno dei particolari costruttivi;

**realizzazione:** preparazione, messa in opera, controllo del copriferro, controlli di accettazione, compattazione e stagionatura del calcestruzzo;

**manutenzione:** interventi programmati nel corso della vita utile di servizio dell'opera.

## La normativa europea

Come premesso, le norme europee avevano già affrontato e risolto il problema della durabilità delle strutture. La **Fig. 1.1** riporta lo schema normativo, estratto dalla norma UNI EN 206, per la realizzazione delle costruzioni in c.a. dal concepimento all'esecuzione.

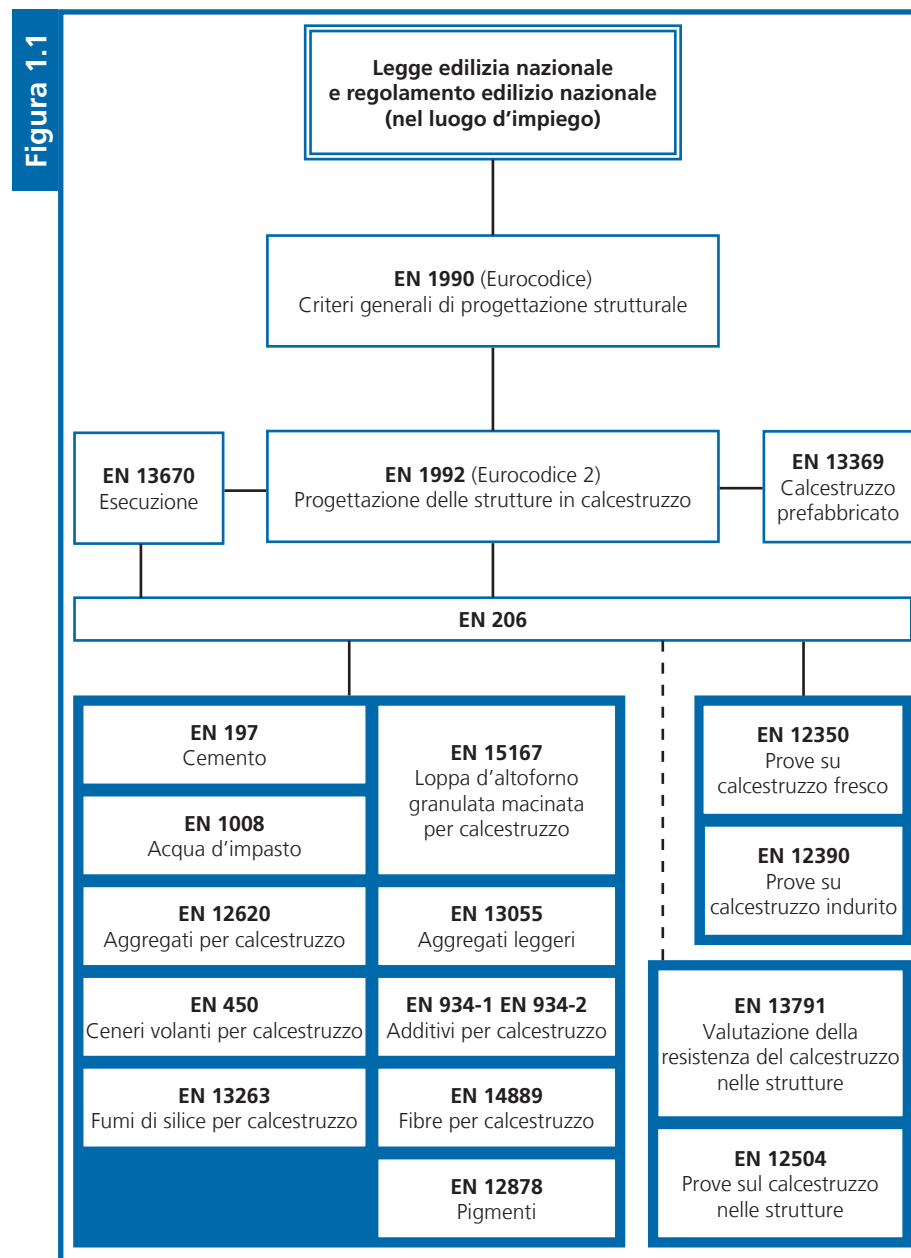
Solo il rispetto delle seguenti norme da parte del prescrittore, del fornitore e dell'impresa esecutrice, può dare garanzie che i livelli di sicurezza passino inalterati dal progetto all'opera, e permangano per il tempo stabilito dal progettista, così come conferma il § 5.3.2 della norma UNI EN 206:

*“Se il calcestruzzo è in conformità ai valori limite, il calcestruzzo nella struttura è ritenuto conforme ai requisiti di durabilità per l'utilizzo previsto nella condizione ambientale specifica, purché:*

- siano state scelte le classi di esposizione appropriate;
- il calcestruzzo rispetti il copriferro minimo richiesto per la condizione ambientale specifica in conformità alla norma di progetto pertinente, per esempio la EN 1992-1-1;
- il calcestruzzo sia correttamente messo in opera, compattato e stagionato, per esempio in conformità alla norma EN 13670 o altre norme pertinenti;
- sia attuata la manutenzione appropriata durante la vita operativa”.

Con questa nota, il progettista ha praticamente risolto, nella maggior parte dei casi, il problema della durabilità dell'opera, se utilizza:

- la UNI EN 1992-1-1 *Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici* per progettare l'opera in c.a., in particolare il capitolo 4, per dimensionare i copriferri in funzione della classe della struttura e delle classi di esposizione;
- la UNI EN 206 *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità* per prescrivere il calcestruzzo;
- la UNI EN 13670 *Esecuzione di strutture di calcestruzzo - Requisiti comuni* per prescrivere la messa in opera e la stagionatura.



Schema normativo, estratto dalla norma UNI EN 206, per la progettazione e la realizzazione di una costruzione in c.a.

La **Fig. 1.3** riporta lo schema che riassume quanto proposto dalle norme italiane ed europee, che sintetizza il percorso logico che il progettista deve seguire per adempiere all'esigenza di durabilità delle opere.

Le normative italiane ed europee prescrivono di definire la destinazione d'uso, la vita utile di progetto e l'ambiente in cui verrà eretta la struttura. Per ambiente si intendono tutte le azioni che l'ambiente eserciterà su di essa: siano meccaniche (sisma, vento, neve, escursioni termiche), che chimico-fisiche (umidità, temperatura, concentrazione di cloruri, anidride carbonica, solfati, ecc.). Tramite le norme UNI EN 1992-1-1, UNI EN 206 e UNI 11104 (la norma di recepimento in Italia della EN 206) è possibile definire le caratteristiche minime dei materiali e dei copriferrì, parametri essenziali per procedere al dimensionamento degli elementi strutturali attraverso la modellazione matematica. Infine, nella redazione dei documenti di progetto è fondamentale fare riferimento alla manutenzione ordinaria prevista e alle regole per una corretta messa in opera (tolleranze di esecuzione, stagionatura e vibrazione del calcestruzzo) utilizzando la norma UNI EN 13670 e le *LLGG2017*.

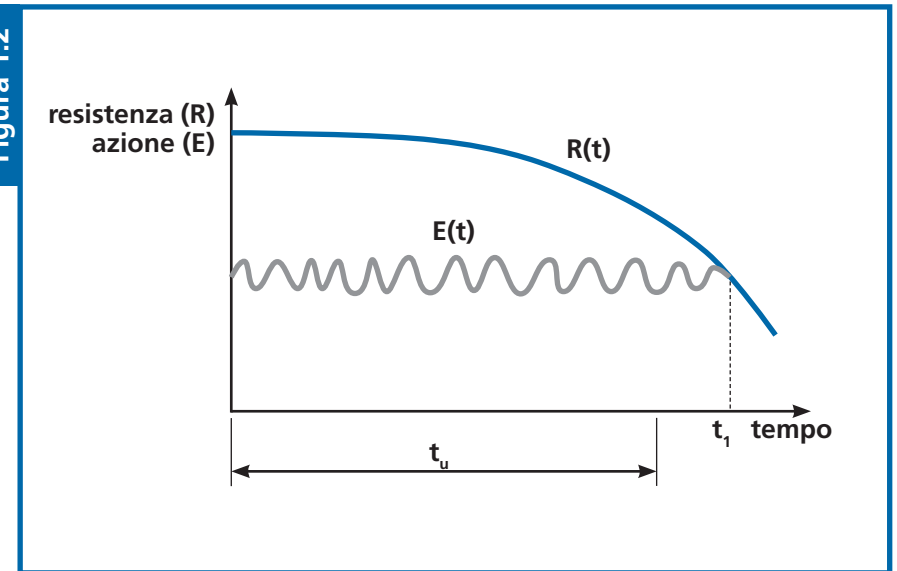
## La progettazione odierna

Soddisfare il requisito di durabilità per un elemento strutturale in c.a., significa soddisfare la funzione di stato limite (**Fig. 1.2**):

$$g(t) = R(t) - E(t)$$

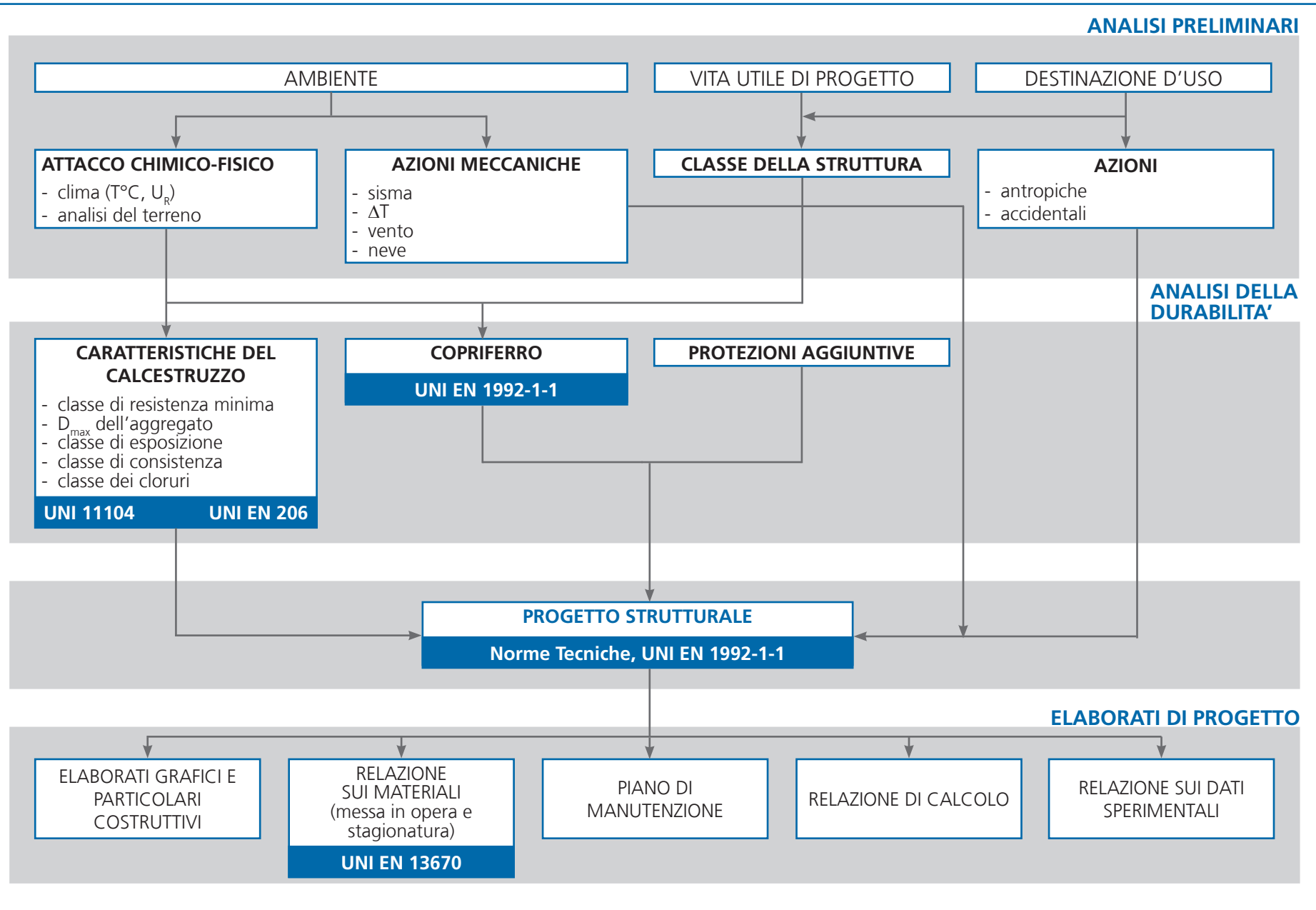
Il requisito di durabilità è garantito se il tempo  $t_1$  è superiore alla vita utile di progetto  $t_u$ . La modalità della perdita di resistenza nel tempo, e quindi la progressiva riduzione dei coefficienti di sicurezza stabiliti in fase di progetto, è schematizzata in **Fig. 1.4**: dopo la fase di innesco, la corrosione delle armature si propaga gradualmente riducendo, più o meno direttamente, la capacità portante dell'opera.

Figura 1.2



Andamento ipotetico della resistenza e delle azioni in funzione del tempo in una struttura in c.a.

Figura 1.3

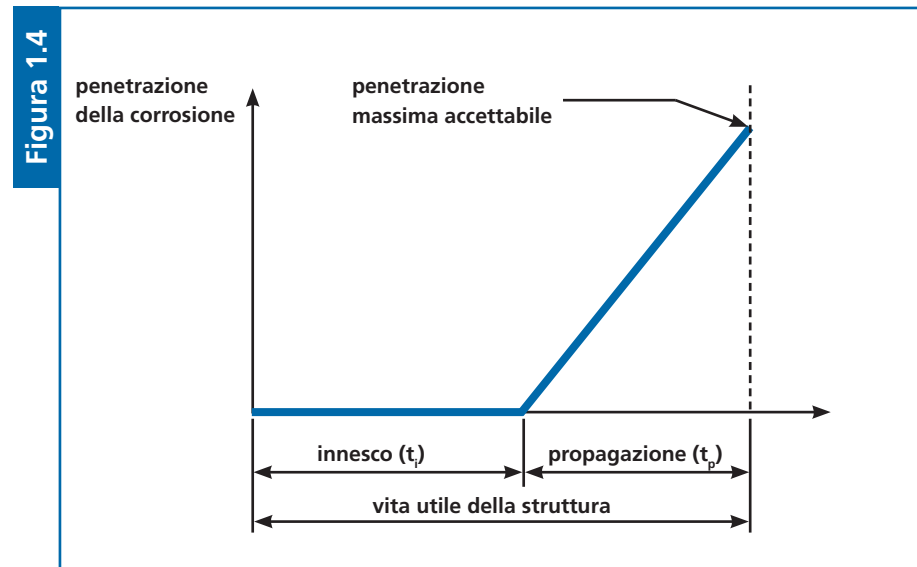


Schema logico che il progettista deve seguire per adempiere alle esigenze di durabilità delle opere in ca

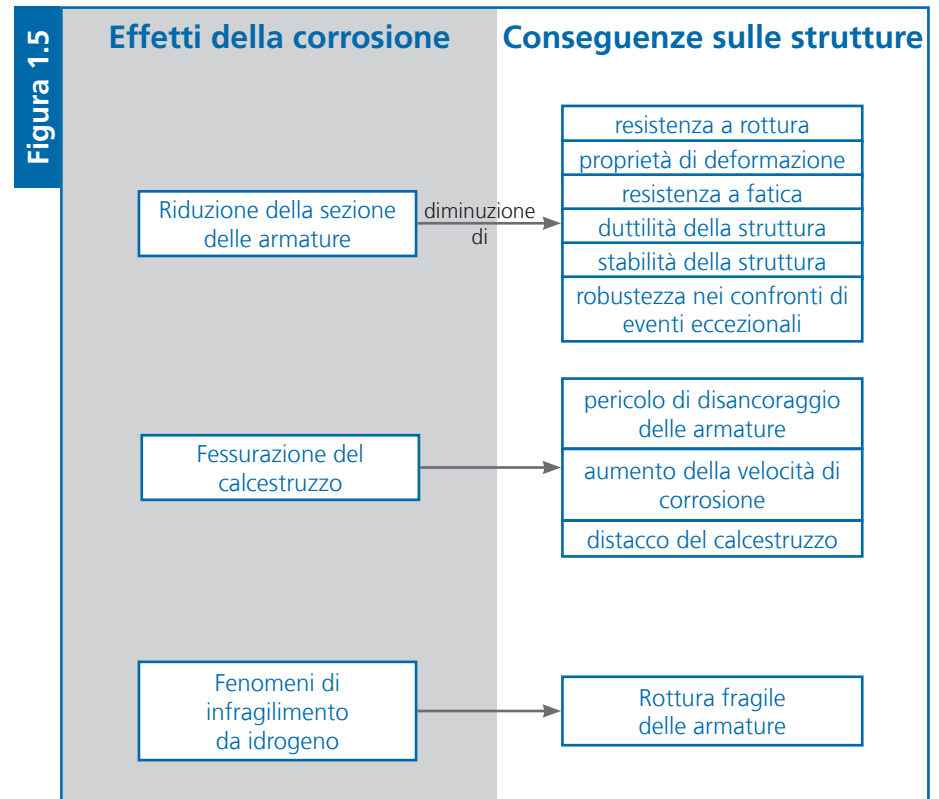
Nella **Fig. 1.5** per "Resistenza a rottura" di una struttura si intende: la perdita di duttilità delle barre di armatura, la riduzione della stabilità e della resistenza ai carichi dovuti alle azioni di progetto e la riduzione della robustezza nei confronti di eventi eccezionali.

Il progetto della durabilità, come il tradizionale progetto strutturale, deve concentrarsi sul singolo elemento strutturale, tramite la gestione di tutti i fattori che ne influenzano il degrado, graficamente schematizzati in **Fig. 1.3**.

In questo ambiente relativamente complesso, viene in aiuto la normativa europea che razionalizza e semplifica il compito del prescrittore. È tuttavia consentito spingere oltre l'analisi, ma per questi casi si raccomanda la consultazione delle norme UNI 11417 (parte 1 e 2) e dei numerosi testi specializzati, alcuni dei quali riportati in bibliografia.



Modello di Tuutti: periodo di propagazione della corrosione in una struttura in c.a.



## Le norme europee per ottenere il requisito di durabilità

### Le norme UNI EN 206 e UNI 11104

È noto che la norma UNI EN 206 sia la traduzione letterale della norma europea sul calcestruzzo e che UNI rediga la norma UNI 11104 per adeguarla norma europea al mercato italiano. In particolare, reintroduce la classe di resistenza C32/40, sostituita dalla C30/37 nella UNI EN 206: questa discrepanza è data dal fatto che in alcuni stati d'Europa vengono utilizzati provini cilindrici mentre in Italia si preferiscono quelli cubici e che gli Eurocodici fanno riferimento alla resistenza del calcestruzzo cilindrica. La UNI 11104, inoltre, modifica leggermente il prospetto F.1 della UNI EN 206 con il prospetto 5 riportato in **Fig. 2.2**. Questa differenza è data dal fatto che nel nord d'Europa si utilizzano maggiormente cementi ricchi di clinker (tipo I) mentre in Italia l'industria del calcestruzzo preconfezionato utilizza quasi esclusivamente cementi di miscela (tipi II, III, IV).

La UNI 11104 nel prospetto 1 (**Fig. 2.1**) definisce le classi di esposizione, ovvero classifica le azioni dell'ambiente sull'opera in c.a. in base al tipo di meccanismo di degrado e all'entità con cui questo agisce. La stessa classificazione si trova riportata nel prospetto 1 della norma UNI EN 206 e nel prospetto 4.1 dell'Eurocodice 2.

La norma classifica il calcestruzzo in base ai requisiti allo stato fresco (tramite le classi di consistenza) e allo stato indurito (tramite la massa volumica e le classi di resistenza) e prescrive le caratteristiche minime che il calcestruzzo deve possedere per soddisfare i requisiti di durabilità dell'opera, in funzione dell'ambiente in cui è costruita, per una vita utile di progetto di 50 anni. Vengono inoltre introdotti i criteri di conformità e i requisiti delle materie prime.

Il capitolo 6 della UNI EN 206 è dedicato alla specifica del calcestruzzo, e quindi al progettista, che viene chiamato a definirne i seguenti parametri (§ 6.2.2):

- *il requisito di conformità alla EN 206;*
- *la classe di resistenza a compressione;*
- *le classi di esposizione;*
- *la classe di consistenza o un valore prestabilito per la consistenza;*
- *la dimensione massima o minima nominale dell'aggregato;*
- *la classe di contenuto in cloruri in accordo al prospetto 15;*
- *la classe di massa volumica o massa volumica prestabilita per i calcestruzzi leggeri;*
- *la classe di massa volumica o massa volumica prestabilita per i calcestruzzi pesanti.*

Per le norme europee, quindi, la scelta del tipo di calcestruzzo e delle condizioni di fornitura è di pertinenza del prescrittore.

### La norma UNI EN 1992-1-1

La norma UNI EN 1992-1-1 è la traduzione letterale della norma europea che regola la progettazione delle strutture in calcestruzzo armato, completata dall'Appendice Nazionale all'Eurocodice 2.

Per quanto concerne la prescrizione della durabilità, la norma è strutturata in maniera più logica delle Norme Tecniche: infatti dedica il capitolo 4 alla definizione delle caratteristiche minime del calcestruzzo e allo spessore minimo del copriferro, prima dell'analisi strutturale (capitolo 5), mentre nelle Norme Tecniche il requisito della durabilità viene riportato nel capitolo 11, senza spiegare correttamente su quali parametri agire per ottenerlo. L'Eurocodice 2, nel § 4.2, fa riferimento esplicito alla norma UNI EN 206 riportandone il prospetto 1 (nel prospetto 4.1), in cui vengono elencate le classi di esposizione in funzione dell'ambiente. La definizione della corretta combinazione di classi di esposizione, insieme alla vita utile di progetto, consente l'identificazione della classe di resistenza minima del calcestruzzo, dello spessore minimo del copriferro (§ 4.4.1) e l'ampiezza massima accettabile delle fessure nella verifica agli stati limite di esercizio (§ 7.3).

## La norma EN 13670

Affinché i livelli di sicurezza stabiliti dal calcolo passino inalterati nella struttura finita, occorre che venga prescritta correttamente la messa in opera. Cosa vuol dire “*correttamente*” lo spiega la norma EN 13670. Questa, infatti, fornisce istruzioni sulla documentazione di cantiere, sui requisiti delle casseforme, sul loro montaggio e rimozione, sulla gestione delle armature tradizionali e da precompressione, sulle fasi di getto, di compattazione, di stagionatura e sulle tolleranze geometriche per la realizzazione dei particolari costruttivi.

Il documento prevede l'esistenza di un elaborato tecnico di progetto dedicato all'esecuzione della struttura: “*specifica di esecuzione*”; qualcosa di simile a quanto prescritto dalle Norme Tecniche nel § 4.1.7 *Esecuzione*. La norma permette di spingere l'accuratezza della messa in opera su tre livelli definiti classi di esecuzione: la prima, la meno onerosa, non è utilizzabile per l'esecuzione di strutture precomprese e consente di non redigere la relazione di controllo; la seconda e la terza, prevedono controlli più rigorosi. La norma definisce ispezione la verifica della conformità delle caratteristiche dei materiali e dell'esecuzione dei lavori. La classe di esecuzione si può riferire a tutta una costruzione o ad alcuni elementi di questa o a qualche materiale o tecnologia impiegata. La classe di esecuzione deve essere dichiarata dal progettista nelle specifiche di messa in opera. Nella **Fig. 1.6** si riporta il prospetto 3.

La norma stabilisce 4 classi di stagionatura, in funzione della durata con cui si intende proteggere il getto di ciascun elemento strutturale, così come riportato nel § 5.1. Il progettista deve definire la classe di stagionatura nelle specifiche di messa in opera.

Infine, la norma prescrive due classi di tolleranze da stabilire in fase di progetto.

Per un approfondimento sulla norma e sulla prescrizione della messa in opera si rimanda al capitolo 5.

Figura 1.6		Classe di esecuzione 1	Classe di esecuzione 2	Classe di esecuzione 3
	<b>Tipo di ispezione</b>	Ispezione visiva e misurazioni a campione	Ispezione visiva e misurazioni sistematiche e regolari delle opere principali	Ispezione visiva. Ispezione dettagliata di tutte le opere che sono significative per la capacità portante e la durabilità della struttura
<b>Parte che svolge l'ispezione</b>	Auto ispezione	Auto ispezione Ispezione in conformità alle procedure del costruttore Possibili requisiti aggiuntivi secondo la specifica di esecuzione	Auto ispezione Ispezione in conformità alle procedure del costruttore Requisiti aggiuntivi riportati nella specifica di esecuzione	
<b>Estensione della ispezione</b>	Tutte le opere	Oltre all'auto-ispezione, ci deve essere un'ispezione sistematica e regolare delle opere	Oltre all'auto-ispezione, ci deve essere un'ispezione sistematica e regolare delle opere	
<b>Rapporto di ispezione</b>	Non richiesto	Richiesto		
<b>Geometria come da costruzione</b>	Non richiesto	Secondo la specifica di esecuzione		

Tipo e documentazione di controllo; il prospetto 3 estratto dalla norma EN 13670:2010

## Le Linee Guida per la messa in opera del 2017

Le *Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la messa in opera del calcestruzzo strutturale* del settembre del 2017, sono richiamate dalle Norme Tecniche del 2018 nel capitolo 12 *Riferimenti Tecnici* come "*riferimento di comprovata validità*". Il documento recepisce la norma europea EN 13670 e approfondisce tutti gli aspetti che coinvolgono la messa in opera e stagionatura del calcestruzzo nelle strutture e nei pavimenti industriali.

Le LLGG2017<sup>[P1]</sup> sono state inserite volutamente in questo capitolo dedicato alla prescrizione del calcestruzzo, non solo perché richiamate dalle Norme Tecniche, e quindi cogenti, ma soprattutto perché rappresentano l'unico documento, nel panorama normativo italiano, ad affrontare esaurientemente le tipiche tematiche di cantiere che molti tecnici di settore danno per scontate, ma che non lo sono affatto.

In particolare analizzano tutte le tipologie di casseforme e le relative opere provvisorie di supporto, rimarcando la loro funzione strutturale nei confronti delle azioni e delle sollecitazioni generate dal calcestruzzo e la loro idoneità a garantire il rispetto delle dimensioni geometriche, delle tolleranze e dei requisiti di finitura superficiale. Forniscono informazioni necessarie per il controllo, la piegatura, l'assemblaggio e la posa in opera delle barre di armatura.

Nella sezione dedicata al trasporto, la messa in opera e compattazione del calcestruzzo, mettono l'accento sulla necessità, da parte del progettista, di prescrivere il mantenimento della classe di consistenza "*fondamentale per garantire la costanza di messa in opera ed evitare modifiche del prodotto in cantiere*". Non solo, prescrivono accorgimenti per la movimentazione del calcestruzzo, le operazioni e le riprese di getto e approfondiscono le metodologie di compattazione richiamando concetti fondamentali come il "*grado di compattazione*".

La sezione dedicata alla stagionatura del calcestruzzo è decisamente una delle più importanti, in quanto analizza i parametri che concorrono alla perdita precoce dell'acqua d'impasto in funzione dei parametri ambientali, soffermandosi sulle attenzioni da adottare in presenza di climi estremi

e sulle loro conseguenze sul manufatto gettato. Interessante è la cura con cui descrive lo sviluppo di calore dei getti massivi.

Le Linee Guida dedicano l'ultima parte del documento alle prescrizioni relative all'esecuzione dei pavimenti industriali, in cui descrivono tutte le fasi di realizzazione: dalle caratteristiche della massicciata, all'isolamento degli spiccati in elevazione, agli strati di desolidarizzazione, all'armatura, alla posa in opera e stagionatura del calcestruzzo. Sconsiglia i calcestruzzi aerati in presenza di finiture a spolvero e a pastina.

## **2. Prescrizione del calcestruzzo**

Come riportato a pagina 13 della presente guida, la norma EN 206 nel capitolo 6 invita il progettista a specificare almeno: la classe di resistenza a compressione, le classi di esposizione, la classe di consistenza, la dimensione massima nominale dell'aggregato e la classe di contenuto in cloruri. Questa operazione può essere effettuata dal prescrittore in totale autonomia, dal momento che ogni prestazione può essere scelta indipendentemente dalle altre. In analogia alla statica, le prescrizioni previste dalla norma UNI EN 206 possono essere definite come un sistema "isostatico" di caratteristiche.

Tuttavia è noto che il calcestruzzo può fornire numerose altre prestazioni aggiuntive: ad esempio è possibile ridurre il ritiro, il calore di idratazione, la massa volumica o aumentarne la resistenza agli attacchi chimici, le capacità schermanti alle radiazioni, la resistenza all'usura, la tenacità, ecc. Tutte queste proprietà interferiscono tra loro, rendendole un sistema "iperstatico" di caratteristiche, in cui solo il progettista della miscela, cioè il tecnologo del calcestruzzo, è in grado di districarsi.

Nel presente capitolo vengono analizzate le cinque prescrizioni previste dalla norma EN 206. Tradizionalmente il calcestruzzo viene identificato prevalentemente tramite la classe di resistenza: tuttavia in questo documento è stato deciso di cominciare dalla descrizione della prescrizione delle classi di esposizione, in conformità all'Eurocodice 2 che, giustamente, l'antepone all'analisi strutturale.

Alla fine del capitolo, viene fatto un breve cenno a tutte le proprietà che possono essere conferite al calcestruzzo in aggiunta a quelle base richiamate dalla norma EN 206, senza la pretesa di approfondirle. I prodotti ordinari e dedicati di Unical coprono la gran parte di queste esigenze. In presenza di grandi volumi o di utilizzi critici che richiedono particolari combinazioni di prestazioni non previste dalla documentazione tecnica, è raccomandabile che il progettista instauri una partnership tecnologica con il Servizio Tecnologico di Unical, in modo che le sue esigenze e quelle del progettista del calcestruzzo convergano sul prodotto su misura adeguato. Non solo, il prescrittore, oltre ad avere il prodotto dotato di un sistema compatibile di prestazioni, è in grado di farle controllare in

cantiere prescrivendo con sicurezza le relative prove normalizzate.

La corretta scelta del calcestruzzo, e dei materiali in genere, l'esecuzione delle prove in cantiere in fase di realizzazione e un'adeguata messa in opera sono alla base dell'esecuzione di una struttura durabile (vedi capitolo 1).

## Prescrizione della classe di esposizione

Nel seguente paragrafo viene riportata la traccia da seguire per la scelta della classe di esposizione. Una procedura semplificata viene proposta nel capitolo 7.

Nelle Norme Tecniche non c'è molta chiarezza nella scelta del documento che definisce le classi di esposizione. Ne vengono introdotti ben 3: le norme UNI EN 206, UNI 11104 e le Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale pubblicate nel 1996, facenti probabilmente riferimento a qualche bozza della norma EN 206 provvisoria. Questa confusione è soprattutto formale, perché l'utilizzo dell'una o dell'altra non porta a differenze sostanziali.

Per praticità si invita a fare riferimento alla UNI 11104, cioè alla norma di recepimento della norma europea EN 206, ed ultima pubblicata in ordine di tempo.

Nella norma UNI 11104 il prospetto 1 (**Fig. 2.1**) consente di individuare la corretta combinazione di classi di esposizione dell'opera e di ogni sua singola componente, in funzione dei singoli meccanismi di degrado dell'ambiente sulle strutture. Il prospetto 5 (**Fig. 2.2**), consente di individuare le caratteristiche minime che deve possedere il calcestruzzo per proteggere l'opera, in base alla combinazione di classi di esposizione: il rapporto acqua/cemento massimo, il contenuto minimo di cemento e la classe di resistenza minima.

La scelta della combinazione di classi di esposizione va eseguita per ogni famiglia di elementi strutturali, in base alla loro posizione nella costruzione. L'operazione è semplice, ripetitiva e necessita di poco tempo.

Vengono riportate di seguito alcune considerazioni di carattere generale per la prescrizione della classe di esposizione di strutture in c.a. realizzate con armature di acciaio tradizionali.

Tutte le strutture interrato (muri, platee e travi di fondazione, pali e diaframmi) appartengono alla classe XC2. Dopo una semplice ed economica analisi del terreno o dell'acqua in esso contenuta, in base al prospetto 2 (**Fig. 2.3**), è possibile ricavare l'eventuale classe di aggressione chimica. Quest'ultima deve essere considerata anche quando l'attività che si svolge all'interno della

costruzione produce sostanze aggressive, come piscine, industrie chimiche, conciarie, ecc. Solo in prossimità della costa è possibile imbattersi nella classe XS2. Per le strutture sotterranee è possibile trascurare le classi XF e XD, almeno che non si tratti di piscine o parcheggi sotterranei.

Le strutture in elevazione possono essere divise in due categorie principali: quelle esposte all'acqua, soprattutto se stagnante o percolante, generalmente orizzontali o scoperte e quelle non esposte direttamente, generalmente verticali o coperte. Occorre isolare da queste, le strutture interne delle costruzioni civili che sono sottoposte solo alla classe XC1, prestando attenzione che parte della struttura non comunichi con l'esterno (anche se intonacata). Per esigenze strutturali, logistiche e di calcolo, si richiede spesso di unificare il calcestruzzo per la stessa tipologia di componente strutturale: ad esempio spesso non ha senso considerare l'opportunità di eseguire i pilastri del primo piano interni di resistenza inferiore a quelli perimetrali. Un esempio analogo sono i balconi, generalmente molto esposti, monolitici con il resto del solaio, particolarmente protetto. In questi casi una soluzione proponibile è quella di considerare la classe di esposizione più gravosa e sfruttare la qualità superiore del calcestruzzo per ridurre le sezioni e i copriferri degli elementi meno esposti (capitolo 3).

Perciò, tutte le strutture in elevazione, che sono a contatto con l'ambiente esterno, possono essere considerate in classe di esposizione XC4 se sono direttamente a contatto con l'acqua, oppure in classe XC3 se non lo sono. Le prime sono solette, plinti, pile, balconi, parapetti, velette, alcuni muri e pilastri; le seconde sono le rimanenti come travi, muri e pilastri protetti, solai, vani scala e ascensori, strutture portanti di torri (cores).

Una successiva semplificazione che è possibile effettuare in Italia, è quella che le strutture che risentono del clima marino (distanza inferiore al chilometro dal mare) raramente scendono sottozero: è possibile quindi escludere per queste le classi XD e XF. Naturalmente vale anche il viceversa: le strutture sottoposte alle classi XD e XF non risentono del clima marino.

La determinazione della corretta classe di esposizione consente di eseguire la verifica allo stato limite di fessurazione prescritta dalle Norme Tecniche, tramite le tabelle riportate in **Fig. 2.4** e **Fig. 2.5**.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono corrispondere le classi di esposizione
<b>1 Nessun di rischio di corrosione o attacco</b>		
Per calcestruzzo senza armatura o metallo incorporato		
<b>X0</b>	Tutte le esposizioni, ad eccezione di quelle in cui si verificano gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico	Manufatti in calcestruzzo senza armatura.
<b>2 Corrosione di elementi metallici incorporati indotta da carbonatazione</b>		
Quando il calcestruzzo contenente armature o altri metalli incorporati è esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
<b>XC1</b>	Secco	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria bassa.
<b>XC2</b>	Bagnato o permanentemente ad alta umidità, raramente asciutto	Calcestruzzo soggetto a prolungato contatto con l'acqua o permanentemente esposto ad alta umidità. Ad esempio fondazioni, strutture di contenimento di acqua contenitori di acqua (non esposti all'azione della pioggia). La lisciviazione può incrementare la corrosione.
<b>XC3</b>	Con umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con moderata o elevata umidità dell'aria; Calcestruzzo esterno al riparo dalla pioggia.
<b>XC4</b>	Con alternanza di cicli ad effetto bagnato/secco	Calcestruzzo soggetto a cicli di bagnamento ed asciugatura. Ad esempio: calcestruzzo esterno non riparato dalla pioggia.
<b>3 Corrosione di elementi metallici incorporati indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
Quando il calcestruzzo contenente armature o elementi metallici incorporati è soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, compresi i sali disgelanti, provenienti da fonti diverse dall'acqua di mare, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
<b>XD1</b>	Con umidità moderata	Calcestruzzo esposto all'azione aggressiva di pulviscolo di cloruri trasportati dall'aria derivanti, ad esempio, dall'uso di agente disgelante. Tipiche strutture che possono essere interessate sono gli impalcati di ponti, viadotti o barriere stradali.
<b>XD2</b>	Con prevalenza di acqua o saturo d'acqua, raramente secco	Calcestruzzo a contatto con acque contenenti cloruri. Per esempio negli impianti industriali di trattamento acque o in piscine.
<b>XD3</b>	Con alternanza di cicli ad effetto bagnato/secco o saturo d'acqua	Calcestruzzo soggetto a spruzzi di soluzioni acquose contenente cloruri. Ad esempio, parti di ponti, pavimentazioni stradali, industriali o di parcheggi per autoveicoli.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono corrispondere le classi di esposizione
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
Quando il calcestruzzo armato o con inserti metallici incorporati sia esposto ai cloruri dell'acqua di mare o a salsedine trasportata dall'aria, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
<b>XS1</b>	Con aria che trasporta salsedine marina in assenza di contatto con l'acqua di mare	Strutture poste in vicinanza o sulla costa marina.
<b>XS2</b>	In acqua di mare	Parti di strutture marine in calcestruzzo completamente immerse in acqua.
<b>XS3</b>	Aree soggette a marea, moto ondoso, spruzzi di acqua di mare	Parti di strutture marine temporanee o permanenti, poste direttamente sul mare. Ad esempio, strutture a ridosso della costa marina.
<b>5 Attacco dei cicli gelo/disgelo</b>		
Quando il calcestruzzo bagnato è esposto a un attacco significativo da parte di cicli di gelo/disgelo, l'esposizione deve essere classificata come segue. Questo tipo di attacco non viene considerato quando i cicli gelo/disgelo sono rari.		
<b>XF1</b>	Con effetto di moderata saturazione d'acqua del calcestruzzo, senza uso di agente disgelante	Superfici verticali in calcestruzzo esposte a pioggia e gelo.
<b>XF2</b>	Con effetto di moderata saturazione d'acqua del calcestruzzo, con uso di agente disgelante	Superfici verticali in calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e a pulviscolo di agenti disgelanti.
<b>XF3</b>	Con effetto di elevata saturazione d'acqua del calcestruzzo, senza uso di agente disgelante	Superfici orizzontali in calcestruzzo esposte a pioggia e gelo.
<b>XF4</b>	Con effetto di elevata saturazione d'acqua del calcestruzzo, con uso di agente disgelante	Impalcati di strade e ponti esposti ad agenti disgelanti. Ad esempio: superfici in calcestruzzo esposte al gelo e a spruzzi diretti di acqua contenente agente disgelante. Strutture marine esposte al gelo e a spruzzi di acqua di mare.
<b>6 Attacco chimico<sup>*)</sup></b>		
Quando il calcestruzzo è esposto all'attacco chimico dei terreni naturali e delle acque di falda, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
<b>XA1</b>	Chimicamente debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206:2021.
<b>XA2</b>	Chimicamente moderatamente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206:2021.
<b>XA3</b>	Chimicamente fortemente aggressivo	Calcestruzzo esposto a terreno naturale e acqua del terreno con caratteristiche chimiche del prospetto 2 della UNI EN 206:2021.
*) Acque reflue con caratteristiche chimiche nei limiti indicati nel prospetto 2 della UNI EN 206:2021 e prive di altri aggressivi chimici sono classificabili con le classi di esposizione per attacco chimico da parte delle acque del terreno. Per condizioni particolarmente aggressive è opportuno valutare l'adozione di misure protettive. L'acqua di mare, per quanto riguarda l'attacco chimico, è da considerare un ambiente moderatamente aggressivo.		

Prospetto 1 estratto dalla UNI 11104:2025 in cui vengono elencate le classi di esposizione in funzione dell'ambiente

Figura 2.2

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
		Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti													
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
<b>Massimo rapporto a/c</b>	-	0,06		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,55	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
<b>Minima classe di resistenza</b>	C12/15	C25/30		C30/37	C32/40	C32/40	C35/45		C30/37	C32/40	C35/45	C30/37	C25/30		C30/37	C30/37	C32/40	C35/45
<b>Minimo contenuto di cemento (kg/m<sup>3</sup>)<sup>d)</sup></b>	-	280		300	320	320	350		300	320	350	300	320		340	300	320	350
<b>Contenuto minimo in aria (%)</b>												b)	4,0 <sup>a)</sup>					
<b>Altri requisiti</b>						È richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156						È richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>d)</sup> .  In caso di esposizione ad acque dilavanti o aggressive si raccomanda l'uso di cementi resistenti al dilavamento della calce secondo UNI 9606.		

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, 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 specificati con  $D_{upper} > 20$  mm; per  $D_{upper}$  inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per  $D_{upper}$  tra 12 mm e 16 mm).

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

c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata (MRS), alta (ARS) e altissima (AARS) resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica dei cementi UNI 9156 deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio: XA1 si suggerisce l'uso dei cementi MRS, XA2 e XA3 si richiede l'uso dei cementi ARS o AARS. Per quanto riguarda l'attacco solfatico in acqua di mare (classe di esposizione XA2) devono essere utilizzati cementi MRS o ARS o AARS qualificati come resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156.

d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

Prospetto 5 estratto dalla UNI 11104:2025 in cui vengono prescritti i requisiti minimi del calcestruzzo per ciascuna classe di esposizione ambientale

**Figura 2.3**

Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
<b>Acqua del terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	EN 196-2	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3000	> 3000 e ≤ 6000
pH	ISO 4316	≥ 5,5 e ≤ 6,5	≥ 4,5 e < 5,5	≥ 4,0 e < 4,5
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiva	EN 13577	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 3000	> 3000 fino a saturazione
<b>Terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a)</sup> totale	EN 196-2 <sup>b)</sup>	≥ 2000 e ≤ 3000 <sup>c)</sup>	> 3000 <sup>d)</sup> e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000
Acidità secondo Baumann Gully ml/kg	prEN 16502	> 200	Non incontrato nella pratica	
<p>I terreni argillosi con permeabilità minore di 10<sup>-5</sup> m/s possono essere classificati in una classe inferiore.</p> <p>Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mediante acido cloridrico; in alternativa si può utilizzare l'estrazione con acqua, se nel luogo d'impiego del calcestruzzo vi è questa pratica.</p> <p>Il limite di 3000 mg/kg deve essere ridotto a 2000 mg/kg, nel caso in cui esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccaimento/bagnatura o suzione capillare.</p>				

Prospetto 2 estratto dalla UNI EN 206 in cui vengono elencati i valori limite per ogni agente aggressivo contemplato dalla classe di esposizione XA

**Figura 2.4**

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

Tabella 4.1.III di classificazione delle classi di esposizione per l'utilizzo della tabella 4.1.IV riportata nella Fig. 2.5 per la verifica allo stato limite di fessurazione, estratta dalle Norme Tecniche del 2018

**Figura 2.5**

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w <sub>d</sub>	Stato limite	w <sub>d</sub>
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>3</sub>
		quasi permanente	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>	apertura fessure	≤ w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	≤ w <sub>1</sub>

Tabella (Tab. 4.1.IV) di classificazione dei criteri di scelta dello stato limite di fessurazione estratta dalle Norme Tecniche del 2018

La norma UNI 11104:2025 in Appendice A riporta la “Linea Guida alla valutazione del rischio di attacco del gelo in rapporto alle condizioni climatiche del territorio italiano” per fornire al progettista una serie di indicazioni utilizzabili al fine di stimare con maggior accuratezza il rischio delle strutture in calcestruzzo sottoposte all’azione dei cicli gelo/disgelo. A tale scopo definisce alcuni parametri climatici, di seguito riassunti.

- Temperatura media minima: a causa dell’abbassamento crioscopico dell’acqua contenuta nei pori del calcestruzzo, la norma considera che nell’intervallo della temperatura media minima ambientale, compreso tra 0 e -5 °C, le tensioni interne generate durante il processo di congelamento siano molto ridotte. Analogamente considera critico l’intervallo compreso tra -5 e -10 °C in cui il processo di congelamento raggiunge l’80% della porosità del calcestruzzo. Il degrado peggiora per temperature inferiori a -10 °C.
- Escursione termica giornaliera: la norma mette in guardia dalle escursioni termiche che, partendo da temperature maggiori di 0 °C si abbassano fino a temperature sotto -10 °C.
- Gradiente termico: la norma intende la diminuzione della temperatura, al di sotto di 0 °C, nell’unità di tempo. Considera bassi i valori compresi tra 0,1 e 0,5 °C/h rispetto a quelli ritenuti rischiosi maggiori di 1 °C/h.
- Numero di cicli di gelo-disgelo: la norma fa notare che il meccanismo di degrado dei cicli di gelo/disgelo ricorda quello a fatica in quanto avviene progressivamente per effetto di sollecitazioni di trazione discontinue (cicliche). Per cui questo parametro gioca un ruolo fondamentale nella valutazione del potenziale rischio di danno in climi gelivi.
- Umidità relativa dell’aria: Il grado di saturazione minimo ritenuto dalla norma pericoloso per il calcestruzzo è pari a circa l’85%.

La norma UNI 11104:2025 propone inoltre una classificazione del territorio nazionale del rischio potenziale di attacco da cicli di gelo/disgelo in base a due parametri climatici: la temperatura minima media giornaliera e il numero di alternanze di gelo/disgelo annuale. Vedi **Fig. 2.6**.

**Figura 2.6**

Aree climatiche		T °C	Ng/anno	Livelli di rischio	
1	Alpi e Prealpi	-15	160-180	R2	Elevato
2,a	Area Padana pre-alpina e appenninica	-9	60-80	R2	Elevato
2,b	Area Padana centrale	-9	40-60	R1	Medio
3	Alto Adriatico	-9	40-60	R1	
4	Appennino	-9	60-80	R2	Elevato
5,b	Versante Ligure	-5	0-20	R0	Nullo
5,a	Alto Tirreno	-5	20-40	R0/R1 <sup>*)</sup>	Medio
6	Medio Tirreno	-5	0-20	R0	Nullo
7	Medio Adriatico e Basso Adriatico	-4	0-20	R0	
8	Basso Tirreno Calabria tirrenica e Sicilia	-1	0-20	R0	
9	Sardegna	-3	0-20	R0	

<sup>\*)</sup> a seconda della distanza dalla costa e altitudine sul livello del mare

Prospetto A4 di classificazione del livello di rischio per aree climatiche estratta dalla norma UNI 11104:2025

Legenda:

- R0, R1, R2: rischio nullo, moderato, elevato rispettivamente
- T °C: temperatura minima assoluta media nel quinquennio 2005-2009.
- Ng/anno: numero di giorni per anno durante i quali la temperatura rimane sotto zero.

Per approfondimenti si rimanda alla norma.

## Prescrizione della classe di resistenza

La classe di resistenza di ogni singolo elemento di un'opera viene stabilita in base alle esigenze strutturali, connesse alle azioni agenti su di essa. La classe di resistenza, utilizzata nelle verifiche di calcolo, deve soddisfare il requisito minimo imposto dalla prescrizione della durabilità e della classe di esposizione. Nel caso venga utilizzata una classe di resistenza superiore a quella prevista, è possibile ridurre la dimensione dei copriferri come descritto nel capitolo 3. Le Norme Tecniche prescrivono che per *"le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale si può fare utile riferimento a quanto indicato nelle norme UNI EN 206 e UNI 11104"* (Fig.2.7).

I calcestruzzi di classe di resistenza compresa tra C80/95 e C90/105 potranno essere utilizzati *"previo nulla osta del Servizio Tecnico Centrale"*.

Per i calcestruzzi di classe di resistenza compresa tra C50/60 e C70/85, *"per le classi di resistenza superiori a C45/55, la resistenza caratteristica e tutte le grandezze meccaniche e fisiche che hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione preventiva e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità"*. *"Nel caso di forniture provenienti da impianto di produzione industrializzata con certificato di controllo della produzione di fabbrica previsto al § 11.2.8, tale documentazione è costituita da quella di identificazione, qualificazione e controllo dei prodotti da fornire"*.

Le Norme Tecniche consentono l'utilizzo di calcestruzzi leggeri per impieghi strutturali e indicano la norma UNI EN 206 per identificare le classi di densità e di resistenza normalizzate (Fig. 2.8), con la limitazione della classe di resistenza massima (LC 55/60) e del diametro massimo delle barre di armatura (32 mm).

Soprattutto per classi di resistenza elevate, le Norme Tecniche consentono di prescrivere la classe determinata a una stagionatura più lunga dei 28 giorni canonici: generalmente 56 o 90 giorni.

Analogamente, per motivi di tempo, può essere necessario richiedere una prestazione di resistenza alle brevi stagionature. Si raccomanda di contattare il tecnologo del produttore di calcestruzzo per verificarne la fattibilità.

Figura 2.7

### Classi di resistenza a compressione normalizzate per calcestruzzo normale e pesante

C8/10	C40/50
C12/15	C45/55
C16/20	C50/60
C20/25	C55/67
C25/30	C60/75
C30/37	C70/85
C32/40*	C80/95
C35/45	C90/105

Classi di resistenza previste dalle norme UNI EN 206, UNI 11104(\*) e dalle Norme Tecniche per i calcestruzzi normali

Figura 2.8

### Classi di resistenza a compressione normalizzate per calcestruzzo leggero

LC8/9	LC40/44
LC12/13	LC45/50
LC16/18	LC50/55
LC20/22	LC55/60
LC25/28	LC60/66
LC30/33	LC70/77
LC35/38	LC80/88

Classi di resistenza previste dalla norma UNI EN 206 per i calcestruzzi leggeri

## Prescrizione della dimensione massima dell'aggregato

Si ricorda che, per convenzione, la dimensione massima di un aggregato si identifica con l'apertura del setaccio e viene indicata come  $D_{max}$ , in conformità alle Norme Tecniche delle Costruzioni.

Generalmente vengono utilizzati aggregati di dimensione massima inferiore a 32 mm; quindi, si raccomanda di non prescrivere calcestruzzi che contengano aggregati con dimensione massima superiore. Sul mercato generalmente le pezzature dell'aggregato grosso possono essere tre (10, 20 e 32 mm) o due (15-20 e 25-32 mm).

Le Norme Tecniche prescrivono nel §4.1.6.1.3, a proposito dei dettagli costruttivi degli elementi monodimensionali, che *"per consentire un omogeneo getto di calcestruzzo fresco attraverso i ferri, il copriferro e l'interferro delle armature deve essere rapportato alla dimensione massima degli inerti impiegati"*.

Le norme ACI consigliano i seguenti ragionevoli valori della dimensione massima dell'aggregato grosso:

- $D_{max}$  minore di 1/5 dello spazio minimo tra le casseforme;
- $D_{max}$  minore di 1/3 della profondità delle solette;
- $D_{max}$  minore di 3/4 dell'interferro minimo;
- $D_{max}$  minore di 5 mm dello spessore del copriferro.

La norma EN 206 indica che il progettista debba prescrivere, anziché il valore di  $D_{max}$ , due parametri  $D_{upper}$  e di  $D_{lower}$ , cioè il valore massimo e minimo entro i quali debba essere compresa la dimensione massima dell'aggregato  $D_{max}$ :

$$D_{lower} \leq D_{max} \leq D_{upper}$$

Non è molto chiaro perché il normatore abbia definito il parametro  $D_{lower}$ . Perciò si consiglia di attenersi alle raccomandazioni contenute nel §4.1.6.1.3 delle Norme Tecniche e prescrivere  $D_{max}$ .



## Prescrizione della classe di consistenza

La classe di consistenza rappresenta un indice della lavorabilità del calcestruzzo, cioè la sua capacità di lasciarsi introdurre e stendere nella cassaforma, di avvolgere le barre di armatura, di riempire l'interno della forma e di espellere l'eccesso di aria inglobata durante la fase di compattazione. La specificazione della classe di consistenza, in fase di progetto, assume, nel contesto della durabilità dell'opera, una maggiore rilevanza rispetto al passato, in cui spesso è stata lasciata a discrezione dell'impresa. Questa, per ovvi motivi, ha spesso utilizzato la classe più economica che in genere compare nei listini del calcestruzzo (la classe S3 o, recentemente, S4). Ciò ha provocato incontrollate quanto inevitabili aggiunte d'acqua in cantiere (spesso i calcestruzzi in classe di consistenza S3 neanche si riescono a pompare) che hanno innalzato il rapporto a/c del calcestruzzo. È noto che elevati rapporti a/c aumentano la porosità del calcestruzzo e quindi ne abbassano la resistenza e la capacità di proteggere le armature. Nella maggior parte dei casi, la riduzione di resistenza non è stata di entità tale da provocare crolli o lesioni gravi delle costruzioni, ma sicuramente, ha inciso drasticamente sulla durata delle opere degli ultimi 40-60 anni e sulla loro robustezza alle azioni accidentali.

Per ogni elemento strutturale occorre prescrivere la classe di consistenza appropriata, in funzione della densità dei ferri di armatura, della geometria e della dimensione dell'elemento strutturale, della metodologia di getto: ad esempio la pompa riduce la lavorabilità di quasi una classe di consistenza.

È quindi consigliabile prescrivere la classe di consistenza:

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

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

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

**S5** per il getto di strutture pompate a prevalente sviluppo orizzontale o con pendenze modeste, solai, travi, travi rovesce, platee, solette, plinti, pavimenti, impalcati, setti, muri e pilastri fortemente armati. Si ricorda che la norma EN 206 prevede per la classe S5 un abbassamento al cono di Abrams maggiore di 210 mm, senza definirne un limite superiore. Per evitare calcestruzzi troppo fluidi, ad alto rischio di segregazione, è possibile sfruttare l'opportunità della stessa norma che consente di prescrivere una consistenza di riferimento. Ad esempio, per l'esecuzione di pavimenti industriali a stesura manuale, è raccomandabile prescrivere una consistenza di riferimento di 220 mm: con le tolleranze previste, significa un abbassamento al cono compreso tra 190 e 250 mm. In alternativa è possibile prescrivere, congiuntamente alla classe di consistenza S5, una quantità di acqua essudata inferiore allo 0,5 l/m<sup>2</sup>h valutata in conformità alla norma UNI 7122.

In bibliografia è possibile reperire suggerimenti sui valori ottimali della classe di consistenza per gli elementi strutturali più comuni.

Un fattore importante è il mantenimento della lavorabilità: durante il tempo necessario allo svuotamento dell'autobetoniera, il calcestruzzo deve mantenere la consistenza riportata nel documento di trasporto. Ciò non va dato per scontato, in quanto la temperatura ambientale, il traffico, la velocità e il metodo di getto possono influenzare il tempo a disposizione per lo scarico. Occorre quindi definire questo importante parametro durante la fase di progettazione e riportarlo nella documentazione tecnica, come ad esempio, nella *Relazione sui materiali* e nel capitolato.

## La consistenza autocompattante

I riferimenti normativi che concernono la specifica, la produzione e la messa in opera dei calcestruzzi autocompattanti sono i seguenti:

- la norma UNI EN 206 prevede le classi di spandimento (SF), viscosità (VS e VF), capacità di attraversamento (PL e PJ) e resistenza alla segregazione (SR). Nell'allegato G della norma vengono spiegate in dettaglio;
- le *Linee Guida Europee per il calcestruzzo autocompattante* del maggio 2005 è il documento che ad oggi, nonostante sia datato ed i valori delle varie prove non corrispondano rigorosamente a quelli attuali, rimane il più completo e aggiornato: è possibile trovarlo in lingua inglese in Internet nel sito di ERMCO o richiedere la traduzione in italiano all'associazione ATECAP.

Per la specifica di questa consistenza si consiglia di prescrivere il valore della prova di spandimento (Slump Flow = SF) e di viscosità (tempo di efflusso dall'imbuto a V, V-Funnel = VF) secondo quanto previsto dallo schema riportato in **Fig. 2.9**. I criteri di conformità previsti dalla norma EN 206 nei controlli di accettazione sono riportati in **Fig. 2.10**.

**Figura 2.9**

Viscosità	Classi di spandimento			Resistenza alla segregazione/capacità di scorrimento confinato
	SF1	SF2	SF3	
VS2 VF2	<b>RAMPE</b>			Specificare la capacità di scorrimento confinato per SF1 e SF2
VS1 o VS2 VF1 o VF2 o valore di riferimento	<b>MURI E PILE</b> <b>STRUTTURE ALTE E SNELLE</b>			Specificare la resistenza alla segregazione per SF3
VS1 VF1	<b>PAVIMENTAZIONI E LASTRE</b>			Specificare la resistenza alla segregazione per SF2 e SF3

Prospetto che indica i parametri e le classi di consistenza per specificare il calcestruzzo autocompattante per diverse applicazioni

**Figura 2.10**

Classi	Norma	Criteri di accettazione
<b>Classe di spandimento al cono di Abrams</b>		
Classe di spandimento SF1	EN 12350-8	Da 550 a 650
Classe di spandimento SF2		Da 660 a 750
Classe di spandimento SF3		Da 760 a 850
Valore di spandimento prestabilito		Tolleranza: $\pm 50$ mm
<b>Classe di viscosità <math>t_v</math></b>		
VF1	EN 12350-9	< 9 sec
VF2		Da 9 a 25 sec
Valore prestabilito		< $9 \pm 3$ sec o $\geq 9 \pm 5$ sec
<b>Classe di viscosità <math>t_{500}</math></b>		
VS1	EN 12350-8	< 2,0 sec
VS2		$\geq 2,0$ sec
Valore prestabilito		Tolleranza: $\pm 1$ sec
<b>Classe di capacità di attraversamento – Scatola a L</b>		
PL1	EN 12350-10	$\geq 0,80$ con 2 barre d'armatura
PL2		$\geq 0,80$ con 3 barre d'armatura
<b>Classe di capacità di attraversamento – Anello a J</b>		
PJ1	EN 12350-12	$\leq 10$ mm con 12 barre d'armatura
PJ2		$\leq 10$ mm con 16 barre d'armatura
<b>Classe di resistenza alla segregazione al setaccio</b>		
SR1	EN 12350-11	$\leq 20\%$
SR2		$\leq 15\%$

Criteri di conformità per il calcestruzzo autocompattante estratti dalla norma UNI EN 206

## Prescrizione del mantenimento della consistenza

Le *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale*<sup>[P1]</sup> definiscono il mantenimento della consistenza come *“la capacità del calcestruzzo di mantenere la stessa classe di consistenza nel tempo. Fondamentale per garantire la costanza di messa in opera ed evitare modifiche del prodotto in cantiere. La garanzia del mantenimento della classe di consistenza intesa come il tempo di mantenimento della classe di consistenza, definita contrattualmente tra le parti, è quindi una prescrizione aggiuntiva molto importante che deve tenere conto dei tempi di attesa delle autobetoniere (intervallo di tempo fra arrivo in cantiere ed inizio scarico) e dalla velocità di messa in opera del calcestruzzo.*

*Per la realizzazione di tutte le strutture ed in particolar modo per quelle complesse ... , o nel caso di getti in condizioni ambientali difficili (per es. alte/basse temperature) è consigliabile consultare il produttore di calcestruzzo fin dalla fase di progettazione in modo da definire classe di consistenza e mantenimento in funzione del progetto, nonché tutte le eventuali prestazioni aggiuntive utili per una migliore riuscita del getto.*

*Si consiglia inoltre in fase di realizzazione di confrontare i tempi di attesa-getto di progetto con quelli reali in modo da apportare la opportune variazioni durante la pianificazione dei getti alle prestazioni del calcestruzzo richieste al produttore.”*

Si conclude che per trasferire alla struttura quanto deciso e calcolato in fase di progettazione le Linee Guida prescrivono che, oltre alla resistenza del calcestruzzo, si debba specificarne la classe di consistenza ed il suo mantenimento, **definito come il tempo che intercorre dall'arrivo in cantiere dell'autobetoniera ed il suo scarico**. Quest'ultimo può essere visto come la somma dei tempi di attesa dell'autobetoniera in cantiere e quelli di scarico. Un'efficace programmazione del getto, concordata tra l'impresa e il produttore di calcestruzzo, consente di ottimizzare il primo dei due.

## Prescrizione della classe di contenuto in cloruri

E' noto che i cloruri presenti nella massa cementizia sono una delle cause più importanti del degrado delle armature d'acciaio. Questi possono penetrare dall'esterno, se presenti in massicce quantità sulla superficie dell'elemento strutturale in c.a. in prossimità dell'ambiente marino o sottoposto all'uso sali disgelanti. Tuttavia possono essere veicolati anche dalle materie componenti il calcestruzzo, che possono contenerne una certa quantità. Ad esempio, alcuni additivi acceleranti o l'acqua d'impasto di pozzo in prossimità della zona costiera, possono contenere una certa quantità di cloruri. La norma UNI EN 206 prescrive al produttore di calcestruzzo di controllare il contenuto di cloruri in ciascuna componente, esprimendolo come percentuale di ioni cloruro rispetto alla massa di cemento, e di verificare la classe di appartenenza di ogni miscela in funzione del prospetto 15 riportato in **Fig. 2.11**.

**Figura 2.11**

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto di cloruri <sup>a)</sup>	Contenuto massimo di Cl <sup>-</sup> in massa di cemento <sup>b)</sup> [%]
Non contenente armatura di acciaio o inserti metallici ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione.	CI 1,00	1,00
Contenente armatura di acciaio o altri inserti metallici.	CI 0,20	0,20
	CI 0,40 <sup>c)</sup>	0,40
Contenente armatura di acciaio da precompressione in diretto contatto con il calcestruzzo.	CI 0,10	0,10
	CI 0,20	0,20

<sup>a)</sup> Per un impiego specifico del calcestruzzo, la classe da applicare dipende dalle disposizioni vigenti nel luogo d'impiego del calcestruzzo.  
<sup>b)</sup> Qualora si utilizzino delle aggiunte di cui si tenga conto per il dosaggio del cemento, il contenuto di cloruri è espresso come percentuale di ioni cloruro in massa del cemento più la massa totale delle aggiunte di cui si è tenuto conto.  
<sup>c)</sup> Classi di diverso contenuto di cloruri possono essere ammesse per calcestruzzo contenente i cementi CEM III secondo le disposizioni vigenti nel luogo d'impiego.

Prospetto 15 estratto dalla norma UNI EN 206 in cui vengono definite le classi di contenuto in cloruri in funzione dell'impiego del calcestruzzo

## Prescrizione della classe di impronta carbonica

Maggiore è la durabilità di un'opera e maggiore è la sua sostenibilità, anche in relazione all'emissioni di gas ad effetto serra, generalmente espressa in tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, in quanto consente di ridurre gli interventi di ripristino con i relativi impatti ambientali. In altre parole: raddoppiare la vita dell'opera significa dimezzarne l'impronta carbonica.

La norma UNI 11104:2025, nell'allegato D, consente di classificare i calcestruzzi anche in base all'impronta carbonica (= IC, dall'inglese "Carbon Footprint"). Questo strumento consente al progettista di valutare l'incidenza del calcestruzzo sulla progettazione di strutture sostenibili, "frutto di un preciso bilanciamento tra le prestazioni del materiale e il suo contributo in termini di impronta carbonica". Infatti calcestruzzi ad alta IC potrebbero tranquillamente portare a strutture sostenibili.

La norma nell'Appendice D *Classificazione del calcestruzzo con riferimento all'impronta carbonica* utilizza l'approccio LCA (Life Cycle Assessment) e classifica i calcestruzzi in base al parametro GWP (Global Warming Potential), già riportato nella dichiarazione ambientale di prodotto (EPD). Considera come ciclo di vita fino al cancello dell'impianto ("cradle to gate"). Viene introdotto l'indicatore GWPC del calcestruzzo per stimare la sua IC in fase di produzione, considerando il contributo dei costituenti: cemento, aggregato, additivi, ecc. Tale parametro è stato segmentato in classi (**Fig. 2.12**). Ad ogni classe corrisponde un numero che indica il GWP massimo espresso in kg di CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>, seguito da "IT", abbreviazione di Italia.

Interessante è l'introduzione da parte della prassi di riferimento UNI/PdR 176 della tabella in **Fig. 2.13** che classifica le classi di efficienza, ovvero indicatori ottenuti dal rapporto tra il GWPC e la resistenza caratteristica del singolo calcestruzzo.

$$E_{fc} = \frac{GWPC}{f_{ck,cube}} \left[ \frac{kg}{m^3 MPa} \right] \quad \text{indice di efficienza}$$

Figura 2.12

Classi GWP	GWPC (kg di CO <sub>2</sub> per m <sup>3</sup> )
GWP-50-IT	≤ 50
GWP-100-IT	≤ 100
GWP-150-IT	≤ 150
GWP-200-IT	≤ 200
GWP-250-IT	≤ 250
GWP-300-IT	≤ 3000
GWP-350-IT	≤ 350
GWP-400-IT	≤ 400
GWP-450-IT	≤ 450
GWP-500-IT	≤ 500
GWP-M-IT	> 500

Prospetto D15 estratto dalla norma UNI 11104:2025 in cui vengono definite le classi GWP del calcestruzzo

Figura 2.13

Classi di efficienza	kg di CO <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> MPa)
E03	< 3
E04	< 4
E05	< 5
E06	< 6
E08	< 8
E10	< 10
E12	< 12
E15	< 15
E20	< 20

Prospetto D6 estratto dalla prassi di riferimento UNI/PdR 176 in cui sono stati classificati gli indicatori di efficienza del calcestruzzo

## Prescrizione dei componenti del calcestruzzo

I materiali fondamentali che si utilizzano nella produzione di calcestruzzo sono: cemento, aggiunte, aggregati, additivi, e acqua. Ad eccezione dell'acqua, tutte le altre componenti sono marcate CE. La normativa vigente non consente al progettista di prescrivere la tipologia, le caratteristiche e il dosaggio delle singole componenti. Il prescrittore viene invece esortato a definire le prestazioni aggiuntive da richiedere al calcestruzzo, in aggiunta a quelle minime descritte nei paragrafi precedenti del presente capitolo. È onere del produttore decidere il tipo e il dosaggio delle materie prime per soddisfare le prestazioni richieste.

Nonostante ciò, nel presente paragrafo vengono mostrate le leve su cui agisce il tecnologo del calcestruzzo, ovvero le materie prime a sua disposizione per soddisfare particolare esigenze, soprattutto di durabilità degli elementi strutturali coinvolti.

Meritano un'osservazione a parte gli aggregati: la marcatura CE, prescritta dalle Norme Tecniche per gli aggregati, non ne garantisce necessariamente l'idoneità alla produzione di calcestruzzo. Per questo le stesse Norme raccomandano al tecnologo di fare utile riferimento alla norme UNI 8520 parte 1 e 2 che indicano in dettaglio i requisiti che devono avere gli aggregati idonei alla produzione di calcestruzzo: esame petrografico, granulometria, massa volumica, assorbimento d'acqua, resistenza alla frammentazione, potenziale reattività in presenza di alcali, requisiti dei filler, ecc.

## Cemento

Per confezionare il calcestruzzo, possono essere utilizzati solo cementi provvisti di attestato di conformità CE con i requisiti prescritti dalla norma UNI EN 197-1.

I cementi più utilizzati si distinguono in:

- Cementi portland (tipi I e II)
- Cementi di miscela (tipi III e IV)
- Cementi compositi (tipo V).

Le prime due tipologie sono le più diffuse: i cementi di miscela vengono preferiti nei calcestruzzi per opere sottoposte ad un attacco ambientale gravoso. I cementi compositi si stanno facendo spazio nel mercato delle costruzioni per soddisfare l'esigenza di riduzione dell'emissione di CO<sub>2</sub>.

Il tecnologo del calcestruzzo può fare ricorso anche a cementi con prestazioni particolari nei casi di seguito riportati.

- I cementi tipo LH (norma UNI EN 197-1), a basso calore di idratazione, possono essere utilizzati nel calcestruzzo per impieghi in getti massivi, soprattutto se fortemente sollecitati. Tuttavia non è sufficiente: in questi casi è necessario adottare ulteriori precauzioni riguardanti la progettazione strutturale, la modalità di cassetatura e di getto in stretta collaborazione col tecnologo del calcestruzzo. Nel caso di opere massive, in cui sia fondamentale per la durabilità della struttura limitare il rischio di fessurazione per gradiente termico o per ritiro, La norma 11104:2025 prescrive la possibilità di derogare ai limiti sul dosaggio minimo di cemento o riferirsi ad una resistenza caratteristica minima specificata a tempi più lunghi rispetto ai canonici 28 giorni.
- I cementi resistenti ai solfati vengono utilizzati nelle applicazioni in cui sono stati rilevati tramite apposite analisi del terreno o dell'acqua ivi presente: vedi tabella in **Fig. 2.3**. La tipologia deve essere scelta in funzione della concentrazione degli ioni solfato in accordo alle norme UNI 11104, UNI EN 206, UNI 11417-1 e UNI 9156 che prevede l'utilizzo di tre classi di resistenza ai solfati: Moderata, Alta e Altissima.
- I cementi resistenti al dilavamento causato dalle acque contenenti anidride carbonica aggressiva vengono utilizzati nelle applicazioni in cui sono

stati rilevati tramite apposite analisi dell'acqua in cui è immersa la struttura: vedi tabella in **Fig. 2.3**. La tipologia deve essere scelta in funzione della concentrazione di CO<sub>2</sub> aggressiva disciolta in accordo alle norme UNI 11104, UNI EN 206, UNI 11417-1 e UNI 9606 che prevede l'utilizzo di tre classi di resistenza al dilavamento: Moderata, Alta e Altissima.

- I cementi a basso contenuto di alcali si utilizzano in presenza di aggregati potenzialmente reattivi (vedi paragrafo successivo) in conformità alla norma UNI 11834.
- I cementi a basso contenuto di clinker, a ridotta impronta carbonica, sono il cemento Portland composito CEM II/C-M e il cemento composito CEM VI conformi alla norma UNI EN 197-5. Cementi specifici con composizioni rientranti tra quelle previste dal UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6 per poter essere utilizzati sul territorio nazionale devono essere dotati di un specifico ETA e CVT (certificato di Valutazione Tecnica secondo le NTC 2018).
- I cementi resistenti all'acqua di mare (norma UNI 9156) devono essere utilizzati dal produttore in quei calcestruzzi che devono soddisfare le classi di esposizione XS: si tratta di cementi classificati con moderata resistenza ai solfati.
- Il cemento bianco si utilizza per eseguire getti di colore bianco o come base per ottenere un calcestruzzo pigmentato di colorazione brillante.

## Aggregati

Anche gli aggregati utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo devono essere provvisti di attestato di conformità CE secondo la norma UNI EN 12620. Tuttavia, la norma che definisce le prestazioni che devono possedere gli aggregati, se utilizzati nel calcestruzzo, è la UNI 8520-2, richiamata a tal fine come "*utile riferimento*", dalle Norme Tecniche. Si riportano di seguito le principali prestazioni in funzione del materiale e dell'applicazione.

- Contaminanti leggeri. La norma UNI 8520-2 consente una modesta presenza di impurità lignee, ma che sono intollerabili nell'esecuzione di pavimenti industriali. Quindi è possibile richiedere al produttore di calcestruzzo di garantire la totale assenza del fenomeno per tali applicazioni.
- In presenza di attacco dei cicli di gelo-disgelo, in cui viene prescritta la classe di esposizione XF, gli aggregati devono essere "*non gelivi*", cioè devono avere basso assorbimento, secondo quanto previsto dalla norma UNI 8520-2. Questa caratteristica è molto importante, soprattutto nei pavimenti industriali all'aperto eseguiti nel nord d'Italia, in cui è frequente il manifestarsi di pop out o di delaminazione delle superfici dei pavimenti in cui non è stato tenuto conto di questa prescrizione.

Figura 2.14	Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	Percentuale di impiego
	demolizioni di edifici (macerie)	= C8/10	fino al 100%
demolizioni di solo calcestruzzo e c.a. (frammenti di calcestruzzo ≥ 90%, UNI EN 933-11:2009)	≤ C20/25	fino al 60%	
	≤ C30/37	≤ 30%	
riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	≤ C45/55	fino al 15%	
	stessa classe del calcestruzzo di origine	fino al 5%	

Tabella 11.2.III estratta dalle Norme Tecniche in cui vengono prescritti i quantitativi di aggregati grossi di riciclo che è possibile utilizzare nel confezionamento del calcestruzzo in base alle sue prestazioni, all'origine del materiale e all'impiego

- Reazione alcali-aggregato. La norma UNI 8520-2 consente l'utilizzo di aggregati potenzialmente reattivi se la miscela di calcestruzzo soddisfa la prova riportata nella norma UNI 8520-22. Questa caratteristica può non essere sufficiente a garantire assenza di reazione nei pavimenti industriali esterni (o nelle dighe). Perciò in questi casi viene richiesto al produttore di calcestruzzo di garantire la totale assenza del fenomeno, anche in presenza degli spolveri indurenti a base di cemento. La norma UNI 11417-2 fornisce raccomandazioni per la prevenzione della reazione alcali silice basate principalmente sulla reattività dell'aggregato secondo la norma UNI 8520-22, la scelta dei cementi e il contenuto massimo di alcali efficaci nel calcestruzzo.
- Aggregati di riciclo. Le Norme Tecniche, in conformità alla norme UNI EN 206 e UNI 11104, consentono l'uso di aggregati di riciclo, condizionato dall'origine del materiale, e dalle prestazioni del calcestruzzo (**Fig. 2.14**). Le tabelle in **Fig. 2.15** e **Fig. 2.16** estendono quella in **Fig. 2.14** alle classi d'esposizione. È inoltre consentito l'uso di aggregato fine lavato di recupero, sino ad un valore massimo del 10% per il confezionamento di calcestruzzo della stessa classe di resistenza o minore di quella di origine come da UNI EN 13369.
- Resistenza alla frammentazione. Per impieghi in cui è prevista elevata usura, come nelle solette stradali e aeroportuali o per la confezione di calcestruzzi ad elevata resistenza, la norma UNI 8520 richiama la norma UNI EN 1097-2 per la valutazione del Coefficiente Los Angeles, fornendo i valori di riferimento per alcune applicazioni.
- Ci sono aggregati leggeri, come i granuli di argilla espansa o di pomice, che vengono utilizzati per calcestruzzi strutturali leggeri. Questi aggregati devono essere conformi alla norma UNI EN 13055.

**Figura 2.15**

Tipologie di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione									
		classe di esposizione									
		X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1 XS2 XS3	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1	XA2 XA3	
Tipo A Rc <sub>90'</sub> , Rcu <sub>95'</sub> , Rb <sub>10'</sub> , Ra <sub>1'</sub> , FL <sub>2'</sub> , XRG <sub>1'</sub>	≥ C12/15 ≤ C20/25	60%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	≤ C30/37	30%	30%	-	-	30%	-	30%	30%	-	
	≤ C45/55	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	
Tipologie di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione									
Classe di esposizione non applicabile											
Tipo A Rc <sub>90'</sub> , Rcu <sub>95'</sub> , Rb <sub>10'</sub> , Ra <sub>1'</sub> , FL <sub>2'</sub> , XRG <sub>1'</sub>	C8/10	≤ 100%									
Tipo B Rc <sub>50'</sub> , Rcu <sub>70'</sub> , Rb <sub>30'</sub> , Ra <sub>5'</sub> , FL <sub>2'</sub> , XRG <sub>2'</sub>											

Rc: calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo e malta;  
 Ru: aggregati non legati, aggregati naturali, aggregati legati con leganti idraulici;  
 Rb: frammenti di mattoni o tegole di argilla, frammenti di mattoni silicei, frammenti di calcestruzzo aerato non galleggiante;  
 Ra: materiali bituminosi;  
 Rg: vetro;  
 FL: materiale lapideo galleggiante (in volume);  
 X: altri materiali: coesivi (argilla e terra); materiali ferrosi e non ferrosi, gesso, plastica, gomma, legno non galleggiante.

Prospetto 4 estratto dalla norma UNI 11104:2025 in cui viene prescritta la massima percentuale di sostituzione dell'aggregato grosso con aggregato grosso riciclato in funzione della tipologia di aggregato, della classe di resistenza e della classe di esposizione

Figura 2.16

Tipologie di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
		classe di esposizione								
		X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1 XS2 XS3	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1	XA2 XA3
Aggregato fine o misto riciclato derivato da impianti di produzione di aggregati di riciclo grossi di tipo A	$\geq C12/15$ $\leq C20/25$	30%	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\leq C30/37$	15%	15%	-	-	15%	-	15%	15%	-
	$\leq C45/55$	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Aggregato fine o misto riciclato derivato da impianti di produzione di aggregati di riciclo grossi di tipo A e B	C8/10	$\leq 100\%$								

Prospetto 5 estratto dalla norma UNI 11104:2025 in cui viene prescritta la massima percentuale di sostituzione dell'aggregato fine o misto con aggregato fine o misto riciclato in funzione della tipologia di aggregato, della classe di resistenza e della classe di esposizione



## Additivi

Gli additivi utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE in conformità alla norma UNI EN 934.

Si raccomanda vivamente di preferire la prescrizione della prestazione del calcestruzzo, rispetto al dosaggio di un determinato additivo o altro materiale, in quanto:

- nessuno conosce a priori la compatibilità dell'additivo prescritto con le altre componenti nel calcestruzzo;
- non è possibile avere la garanzia che il dosaggio di un determinato additivo sia in grado di garantire al calcestruzzo la prestazione promessa, a prescindere da tutti gli altri parametri legati ai materiali, al confezionamento, alle condizioni al contorno del getto.

## Aggiunte

Anche le aggiunte utilizzate per il confezionamento del calcestruzzo devono essere provviste di attestato di conformità CE.

Le aggiunte di tipo I devono essere conformi alla UNI EN 12620. Appartengono a questa famiglia i filler calcarei e le ceneri volanti, se utilizzate come aggregato.

Per le aggiunte di tipo II si fa riferimento alle norme UNI 11104 e UNI EN 206. Appartengono a questa famiglia le ceneri volanti, a cui viene prescritta la conformità alla norma UNI EN 450, i fumi di silice, a cui viene prescritta la conformità alla norma UNI EN 13263 e la loppa d'altoforno macinata a cui viene prescritta la conformità alla norma UNI EN 15167-1.

## Acqua

L'acqua di pozzo e di recupero deve essere conforme alla norma UNI EN 1008.

## Prescrizioni aggiuntive per il calcestruzzo

Oltre al minimo previsto dal capitolo 6 della norma UNI EN 206, al calcestruzzo possono essere richiesti molti altri requisiti aggiuntivi. Con la collaborazione del produttore, è possibile attribuire al calcestruzzo proprietà aggiuntive a quelle previste dalle norme italiane ed europee esposte nei paragrafi precedenti.

Nel presente paragrafo viene riportata di seguito una lista di requisiti aggiuntivi che possono essere richiesti al calcestruzzo.

- **Calcestruzzi con resistenza alle brevi stagionature:** le Norme Tecniche prevedono che il progettista possa richiedere una resistenza caratteristica ad una scadenza inferiore ai canonici 28 giorni, che generalmente varia da 18 ore in prefabbricazione a 3-7 giorni. Questa caratteristica viene prescritta in presenza di ridotti tempi di disarmo, precoce entrata in servizio o in caso di opere in calcestruzzo precompresso in cui potrebbe essere prevista una maturazione accelerata. Ovviamente è necessario mettere in conto gli effetti prodotti da questi processi.
- **Calcestruzzi con resistenza a trazione e/o flessione garantita:** raramente richiesti, hanno prestazioni facilmente misurabili in laboratorio e quindi prescrivibili.
- **Calcestruzzi con modulo elastico garantito:** sono richiesti quasi esclusivamente in progetti di grande rilevanza strutturale. La Norme Tecniche prescrivono di rilevare il modulo elastico istantaneo secante tra la tensione nulla e  $0,4 f_{cm}$  (valore medio della resistenza cilindrica) in conformità alla norma UNI EN 12390-13.
- **Calcestruzzi a tenacità garantita:** questa prestazione è tipica dei materiali compositi, cioè dei calcestruzzi fibrorinforzati e consiste nel garantire una resistenza a trazione post fessurativa del materiale che si oppone all'avanzamento del processo di una frattura. Questi

calcestruzzi sono utilizzati prevalentemente per l'esecuzione di strutture fortemente iperstatiche, e consentono di sostituire interamente o parzialmente l'armatura classica come nei pavimenti industriali, nelle solette collaboranti e nel calcestruzzo proiettato. Per la progettazione di strutture realizzate con materiali compositi, occorre fare riferimento alle Istruzioni CNR-DT 204 e per il controllo dei materiali si utilizza la norma UNI EN 14651.

- **Calcestruzzi subacquei:** è possibile prescrivere questa tipologia di calcestruzzi per realizzare getti sott'acqua (da non confondere con quelli che garantiscono la classe di esposizione XS), capaci di garantire classi di resistenza comprese tra C20/25 e C32/40 (sia in acque ferme che in presenza di correnti) anche a profondità di 10-15 m. La peculiare caratteristica di non "spolverare" in acqua consente agli operatori subacquei di poter controllare facilmente le fasi di getto.
- **Calcestruzzi a ritiro controllato:** il "calcestruzzo antiritiro" si distingue in due tipologie. La prima, più conosciuta, è quella dei calcestruzzi a ritiro "compensato" (o meglio, "controllato") in cui si fa uso di agenti espansivi di varie tipologie. L'entità di riduzione del ritiro va stabilita in funzione di alcuni parametri climatici e geometrici. La seconda tipologia di calcestruzzi utilizza particolari additivi stagionanti che, lavorando sulla tensione superficiale dell'acqua, riducono il ritiro differenziale all'interno dello spessore di strutture bidimensionali, limitando la formazione di fessure e imbarcamenti.
- **Calcestruzzi con sviluppo controllato del calore di idratazione in condizioni adiabatiche:** la Norme tecniche prescrivono che "per la realizzazione di dighe ed altre simili opere massive, dove è richiesto un basso calore di idratazione, devono essere utilizzati cementi speciali con calore di idratazione molto basso dotati di marcatura CE in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14216". Su richiesta, il produttore può eseguire prove di misura del calore di idratazione in condizioni adiabatiche, mediando tale proprietà con tutte le altre richieste dal getto di calcestruzzo.

- **Calcestruzzi con tempi di presa e di primo indurimento garantiti** in funzione della temperatura: il loro allungamento o accorciamento è una prestazione generalmente richiesta durante le stagioni invernali o estive, quando è prevista una lavorazione successiva al getto di calcestruzzo, come nel caso dei pavimenti industriali o architettonici.
- **Calcestruzzi drenanti:** da una decina di anni si sono fatti largo calcestruzzi capaci di farsi attraversare dall'acqua. Declinando opportunamente la resistenza con la portata idrica attraverso la soletta realizzata con un calcestruzzo drenante, è possibile ottenere strade carrabili, piste ciclabili, parcheggi e marciapiedi drenanti con effetti benefici ambientali per la riduzione di fenomeni come l'effetto albedo e l'ottimizzazione della gestione delle acque meteoriche.
- **Calcestruzzi architettonici:** in alternativa ai metodi tradizionali, le superfici orizzontali in calcestruzzo possono essere finite applicando lavorazioni successive al getto per imprimere loro particolari effetti ricercati. Per esaltare il risultato finale, ognuna di queste lavorazioni necessita di un calcestruzzo specificatamente progettato. Tra le più diffuse si ricordano la levigatura, i pavimenti industriali stampati e i pavimenti architettonici (o lavati o ghiaia a vista).
- **Calcestruzzi colorati:** tale prestazione coinvolge aggiunte, pigmenti, aggregati, cemento ed è chiaramente richiesta per l'esecuzione di particolari elementi a faccia a vista e per soddisfare altre esigenze architettoniche.
- **Calcestruzzi con resistenza di penetrazione all'acqua, ai cloruri, ai solfati,** ecc: queste prestazioni sono misurabili e quindi possono essere garantite.
- **Calcestruzzi esenti da reazione alcali-aggregato:** questo requisito è spesso prescritto nei pavimenti industriali resinati o nella costruzione di dighe, ovvero in calcestruzzi che costantemente presentano un'elevata presenza di acqua libera al loro interno che rende possibile tale reazione.
- **Calcestruzzi schermanti:** si utilizzano per l'esecuzione di camere che devono schermare radiazioni emesse da macchinari in esse contenute, soprattutto in ambiente ospedaliero.
- **Calcestruzzi resistenti all'usura:** proprietà di cui i calcestruzzi non sono molto dotati, viene richiesta, ad esempio, per l'esecuzione di manti stradali.
- **Calcestruzzi leggeri strutturali:** le Norme Tecniche ne consentono l'utilizzo e indicano la norma UNI EN 206 per identificare le classi di densità e di resistenza normalizzate. Le Norme Tecniche ne limitano l'uso alla classe LC 55/60 e alle barre di armatura di diametro inferiore a 32 mm e indicano come norma di calcolo la sezione 11 della norma UNI EN 1992-1-1.
- **Malte fluide da riempimento:** sono malte fluide, leggere e omogenee, caratterizzate da bassa, ma controllata, resistenza e rigidità. Vengono utilizzate per il ripristino di scavi stradali, sbarramenti provvisori e il riempimento di qualsiasi cavità in cui si richiede la totale saturazione dello spazio con un materiale con caratteristiche fisiche paragonabili a quella dei materiali sciolti compattati.

### **3. Prescrizione del copriferro**

Il Decreto Ministeriale del 1996 prescriveva un copriferro da 8 a 20 mm per solette, setti e pareti e da 20 a 40 mm per pilastri e travi in cui il valore massimo è da applicare in presenza di condizioni aggressive. La UNI 8981-5 del 1999 prescriveva copriferri di 15, 25 e 35 mm per condizioni di esposizione rispettivamente normali, moderatamente e fortemente aggressive (+5 mm per solette e membrane e +10 mm per armature sensibili alla corrosione).

Le Norme Tecniche del 2005 prescrivono solo il valore minimo del copriferro per elementi monodimensionali (travi e pilastri) pari a 20 mm. Le Norme Tecniche del 2008 e 2018 nel § 4.1.6.1.3 prescrivono, a proposito dei dettagli costruttivi degli elementi monodimensionali, che *“al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell’aggressività dell’ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature”*.

Coerentemente a quanto prevede la normativa europea e consigliato dalle Norme Tecniche come valido riferimento, è possibile utilizzare la norma UNI EN 1992-1-1 per dimensionare correttamente i copriferri. Si ricorda che la normativa europea prevede 6 classi strutturali, da S1 a S6: in Italia occorre considerare la S4 e la S6 corrispondenti rispettivamente ad una vita utile di progetto di 50 e 100 anni.

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

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

dove:

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

in cui

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

$\Delta c_{dev}$  è la tolleranza di esecuzione relativa al copriferro: l’Appendice Nazionale adotta il valore raccomandato di 10 mm.

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

$c_{min,dur}$  è il copriferro minimo necessario ai fini della durabilità della strut-

tura in funzione delle condizioni ambientali.

$\Delta c_{dur,\gamma}$  è una maggiorazione del copriferro minimo che tiene conto del coefficiente di sicurezza: l’Appendice Nazionale adotta il valore raccomandato di 0 mm.

$\Delta c_{dur,st}$  riduzione del copriferro nell’uso di armature in acciaio inossidabile: l’Appendice Nazionale adotta il valore raccomandato di 0 mm.

$\Delta c_{dur,add}$  riduzione del copriferro nell’uso di protezioni aggiuntive al calcestruzzo: l’Appendice Nazionale adotta il valore raccomandato di 0 mm.

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

Per armature da precompressione post-tese  $c_{min,b}$  è pari al diametro delle guaine a sezione circolare o alla dimensione più piccola o la metà della dimensione più grande, se quest’ultima è superiore, nel caso di guaine a sezione rettangolare.

Per armature da precompressione pre-tese  $c_{min,b}$  è pari a 2 volte il diametro del trefolo o del filo liscio, a 1,5 volte il diametro del trefolo o del filo liscio nei solai, a 3 volte il diametro del filo indentato.

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

$c_{min,dur}$  è il copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali e si ricava dai prospetti 4.3N (**Fig. 3.1**), 4.4N e 4.5N (**Fig. 3.2**) in funzione della classe di esposizione, ricordando che la classe strutturale per un periodo di vita presunta della struttura pari a 50 anni è la classe strutturale S4. Il prospetto 4.3N consente di variare la classe strutturale nella maniera seguente:

- n1** per vite utili di progetto di 100 anni si incrementa la classe strutturale di 2;
- n2** se vengono utilizzati calcestruzzi con classe di resistenza superiore ai minimi previsti dal prospetto 4.3N, si riduce la classe strutturale di 1;
- n3** per elementi strutturali assimilabili a solette si riduce la classe strutturale di 1;
- n4** se la produzione di calcestruzzo è sottoposta a un rigoroso controllo di qualità, si riduce la classe strutturale di 1.

**Classe strutturale**

Criterio	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Vita utile di progetto di 100 anni	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi
Classe di resistenza <sup>1) 2)</sup>	≥ C30/37 Ridurre di 1 classe	≥ C30/37 Ridurre di 1 classe	≥ C35/45 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C45/45 Ridurre di 1 classe
Elemento di forma simile ad una soletta (posizione delle armature non influenzata dal processo costruttivo)	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe
È assicurato un controllo di qualità speciale della produzione del calcestruzzo	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe

Prospetto 4.3N estratto dalla UNI EN 1992-1-1 che permette di variare la classe strutturale in funzione di alcuni criteri costruttivi

**Requisito ambientale per  $c_{min,dur}$  (mm) con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080**

Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

**Requisito ambientale per  $c_{min,dur}$  (mm) con riferimento alla durabilità per acciai da precompressione**

Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Prospetti 4.4N e 4.5N estratti dalla norma UNI EN 206-1 in cui si trovano riportati i valori di  $c_{min,dur}$  per acciai da armatura ordinaria e da precompressione

$\Delta c_{dev}$  è la tolleranza di esecuzione relativa al copriferro.

Può essere ridotta a:

- $5 \text{ mm} \leq \Delta c_{dev} \leq 10 \text{ mm}$  se l'esecuzione è sottoposta ad un sistema sicuro di controllo della qualità, nel quale siano incluse le misure dei copriferri;
- $0 \leq \Delta c_{dev} \leq 10 \text{ mm}$  se è possibile assicurare che sia utilizzato un sistema di misura molto accurato per il monitoraggio e che gli elementi non conformi siano respinti (ad es. negli elementi prefabbricati).

Nel caso in cui la superficie esterna del calcestruzzo sia irregolare, il valore di  $c_{min}$  deve essere incrementato di almeno 5 mm.

Nel caso di un calcestruzzo soggetto a fenomeni abrasivi, è possibile aumentare il valore del copriferro di uno strato sacrificale in funzione della classe di abrasione:

- k1 = 5 mm per la classe di abrasione XM1 (abrasione lieve);
- k2 = 10 mm per la classe di abrasione XM2 (abrasione notevole);
- k3 = 15 mm per la classe di abrasione XM3 (abrasione estrema).

Nel caso di getti di calcestruzzo contro terra occorre utilizzare  $c_{nom} > 40 \text{ mm}$  con terreno preparato, altrimenti  $c_{nom} > 75 \text{ mm}$ .

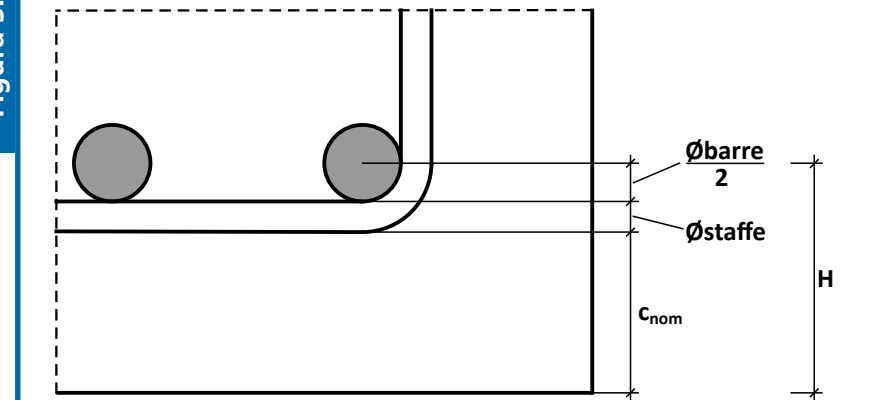
Si ricorda che l'Eurocodice 2 prevede un'armatura di superficie nel caso che i copriferri siano superiori a 70 mm (appendice J): il copriferro minimo necessario per le armature di superficie è  $c_{min}$ . Nell'uso di calcestruzzi con aggregati leggeri o con dimensione massima superiore a 32 mm prescrive di aumentare  $c_{min,b}$  di 5 mm.

Una volta stabilito lo spessore del copriferro  $c_{nom}$ , lo spessore del distanziatore, generalmente posizionato sulle barre longitudinali, è dato dalla relazione (vedi Fig. 3.3):

$$H = c_{nom} + \varnothing_{staffe} + \varnothing_{barre} / 2$$

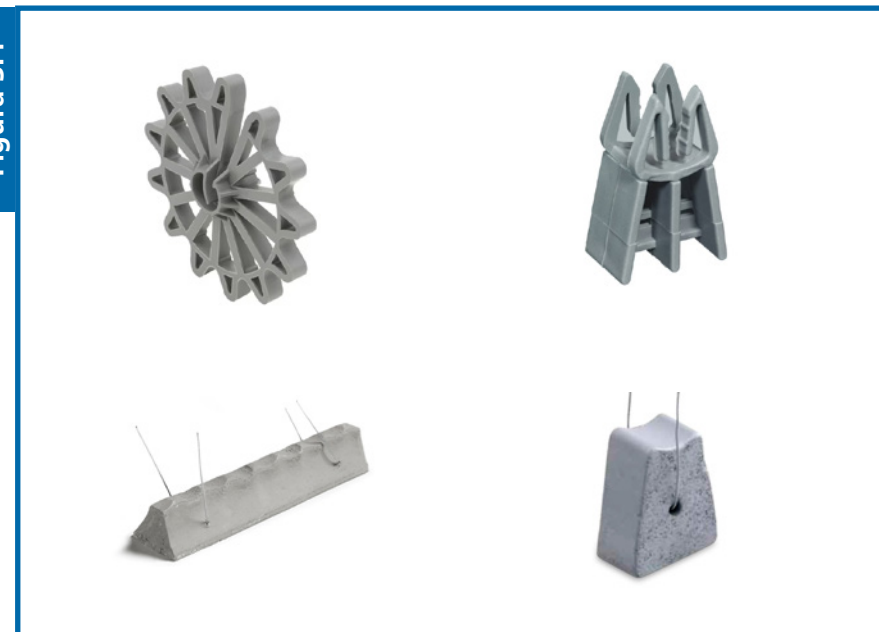
In Fig. 3.4 sono raffigurati alcuni esempi di distanziatori per armature, generalmente posizionati in fondo (in basso alla figura) o lateralmente (in alto alla figura) all'elemento da gettare.

Figura 3.3



Calcolo della misura del distanziatore da posizionare sulle barre longitudinali

Figura 3.4



Esempi di distanziatori per c.a.



## **4. Altre prescrizioni per prevenire fenomeni di degrado**

Oltre ad una progettazione, esecuzione e manutenzione conformi alle norme europee, è possibile prevenire il degrado di un'opera in c.a. facendo leva su un approccio globale della struttura, sui dettagli costruttivi e sull'utilizzo di protezioni aggiuntive.

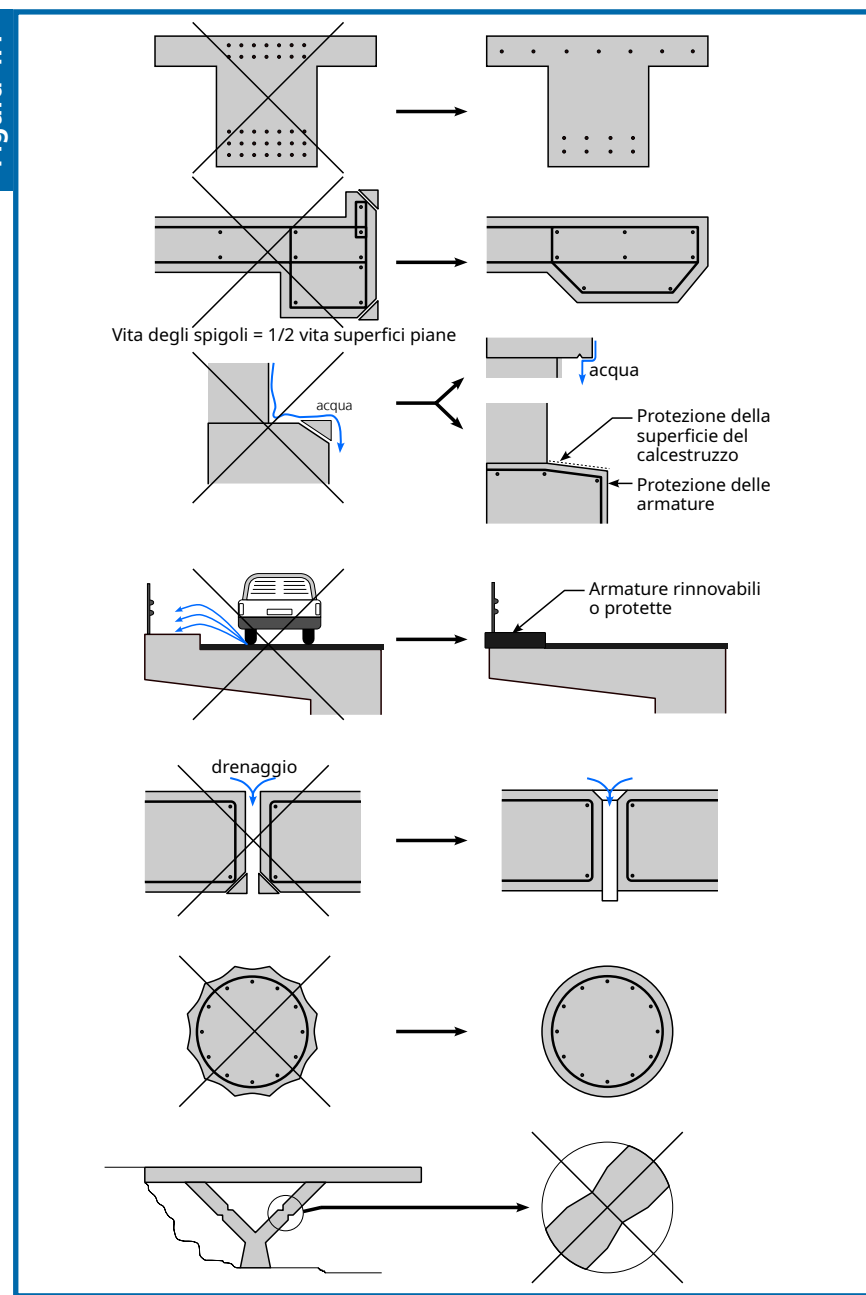
Per valutare correttamente il costo complessivo di un'opera ai fini di un'ottimizzazione, sarebbe opportuno conoscere il programma degli interventi di riparazione, così come avviene da tempo in altri campi dell'ingegneria. Il Prof. Pedferri nel libro *"La corrosione del calcestruzzo"*, fa notare alcune comuni lacune nei confronti della durabilità nelle fasi di progettazione ed esecuzione. Ad esempio, nella prefabbricazione auspica maggior attenzione alla realizzazione dei getti di collegamento e all'assemblaggio degli elementi, in particolare alla stima del quadro fessurativo provocato dalle azioni che possono risultare più gravose di quelle di esercizio. Raccomanda la riduzione del numero di giunti, punti critici della struttura, preferendo l'adozione di schemi iperstatici, facendo però attenzione alla fessurazione causata da deformazioni (per ritiro, variazioni di temperatura, cedimenti differenziali, ecc.). Mette in guardia sul contatto discontinuo tra acqua e calcestruzzo, soprattutto nelle strutture orizzontali, auspicando una corretta esecuzione delle pendenze e il corretto posizionamento di tubi della raccolta acque. Infine, raccomanda sezioni compatte da preferirsi rispetto a quelle aperte, per minimizzare il rapporto tra l'area e il perimetro della sezione.

Infine il Professore fornisce qualche suggerimento per la definizione dei dettagli costruttivi. In **Fig. 4.1** ne riportiamo alcuni inerenti alla progettazione di ponti, in cui si raccomanda:

- di progettare interferri che consentano l'inserimento del vibratore ad ago tra le armature,
- di evitare gli spigoli vivi in corrispondenza dei quali la durata della struttura può ritenersi dimezzata,
- di evitare il ristagno di acqua o il bagnamento delle superfici e di favorire i drenaggi dell'acqua utilizzando apposite condutture di materiale plastico.

Per quanto concerne le protezioni aggiuntive, possono essere utilizzate

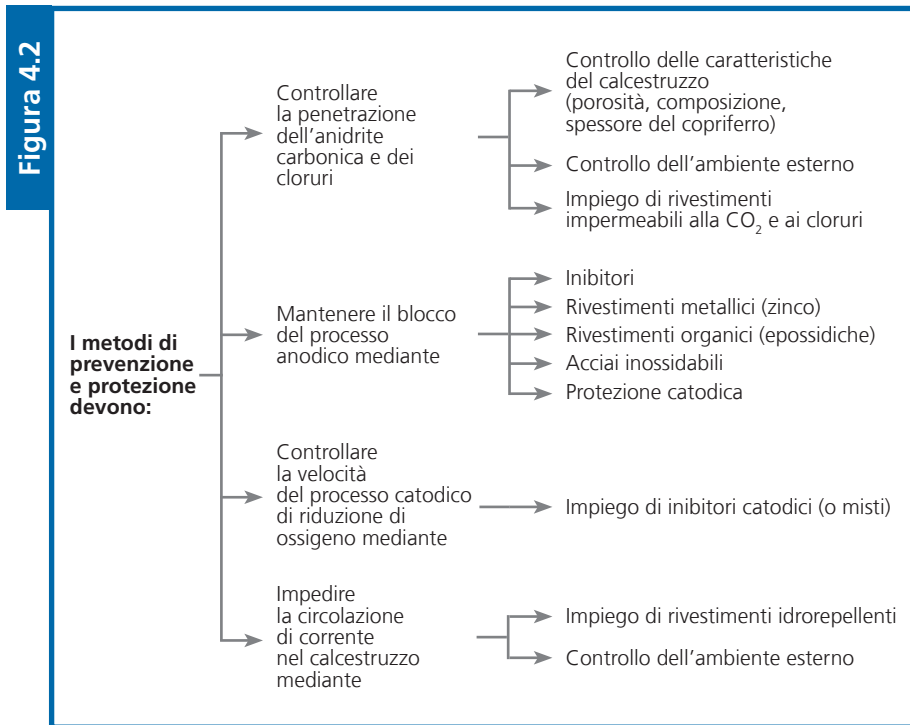
Figura 4.1



Esempi di progettazione di posizioni vulnerabili di ponti

nella progettazione di nuove strutture con vita utile di progetto elevate o in ambienti particolarmente aggressivi, soprattutto in presenza di cloruri o nell'impossibilità di poter attuare le misure previste dalla normativa europea.

In **Fig 4.2** sono classificati i principali metodi di protezione aggiuntiva in base al meccanismo di azione. L'applicazione di queste tecnologie è funzione dell'ambiente in cui opera la struttura, la vita utile di progetto, le caratteristiche e i limiti di ciascuna protezione, i costi iniziali e quelli di esercizio.



Principali metodi di protezione aggiuntiva classificati in base al meccanismo d'azione





## **5. Prescrizione della messa in opera e della stagionatura**

Molti progettisti agiscono come se il calcestruzzo gettato all'interno di una costruzione fosse un materiale omogeneo che, in base alla resistenza caratteristica riportata nel DDT, garantisce una serie di prestazioni parametrizzate dalle norme. Questa astrazione matematica ha senso solo se si fissano tutte le operazioni che concorrono ad ottenerle.

Affinché i livelli di sicurezza stabiliti dal calcolo, passino inalterati nella struttura finita, occorre che vengano prescritte e controllate le operazioni di posa in opera e stagionatura, descritte puntualmente nella norma UNI EN 13670. Altri testi, come le LLGG2017, spiegano e approfondiscono le problematiche inerenti alla messa in opera e stagionatura.

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

*In particolare il documento progettuale deve contenere la descrizione dettagliata delle cautele da adottare per gli impasti, per la maturazione dei getti, per il disarmo e per la messa in opera degli elementi strutturali... Si potrà a tal fine fare utile riferimento alla norma UNI EN 13670"*.

Le prestazioni della struttura gettata sono fortemente influenzate dalla messa in opera e dalla stagionatura. Nell'ingegneria meccanica, ad esempio, è consuetudine in fase di progetto:

- definire le tolleranze di esecuzione (di dimensione e di forma, rugosità);
- riportare le norme di riferimento dei materiali sul disegno specificando i relativi parametri di progetto;
- prescrivere il trattamento termico e la protezione superficiale, richiedendo, in alcuni casi, la prova di corrosione accelerata in nebbia salina.

Non si capisce perché qualcosa di analogo non possa essere eseguito dal progettista di una costruzione.

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

## La stagionatura

Le LLGG1996 definiscono la stagionatura come *"l'insieme di precauzioni che, durante il processo di indurimento, permette di trasformare l'impasto fresco in un materiale resistente, privo di fessure e durevole"*. Si ricorda che, per stagionatura protetta, s'intende il mantenimento delle casseforme per le superfici verticali del getto, oppure la protezione delle superfici orizzontali del getto dalle basse temperature, dagli agenti atmosferici (vento, pioggia, neve, grandine) o dalla rapida evaporazione dell'acqua d'impasto, tramite fogli di materiale plastico, tessuti mantenuti umidi, agenti antievaporanti, nebulizzazione di acqua.

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

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

**Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h<sup>5)</sup>**

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

(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 35% della resistenza caratteristica prescritta)

Temperatura superficiale del calcestruzzo (T) °C	Durata minima della stagionatura, giorni <sup>1)</sup>		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo <sup>3),4)</sup> $(f_{cm,2}/f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $r \geq 0,30$	Lento $0,15 \leq r < 0,30$
$T \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$15 \leq T < 25$	1,0	2,5	5
$10 \leq T < 15$	1,5	4	8
$5 \leq T < 10$	2,0	5	11

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

(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 50% della resistenza caratteristica prescritta)

$T \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$15 \leq T < 25$	2,0	4	7
$10 \leq T < 15$	2,5	7	12
$5 \leq T < 10$	3,5	9	18

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

(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 70% della resistenza caratteristica prescritta)

$T \geq 25$	3	5	6
$15 \leq T < 25$	5	9	12
$10 \leq T < 15$	7	13	21
$5 \leq T < 10$	9	18	30

<sup>1)</sup> Deve essere conteggiato anche il tempo di presa se eccedente le 5 ore

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

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

<sup>4)</sup> Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione

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

Estrazione dalle tavole 4, F.1, F.2, F.3 della norma EN 13670 in cui viene prescritta la durata della stagionatura

La norma europea UNI EN 13670 raccomanda la tempestività della stagionatura, fino a prevederne una provvisoria in caso di posticipi nella finitura (come, ad esempio, nei pavimenti industriali); inoltre definisce 4 classi di stagionatura (**Fig 5.1**) da scegliere in funzione della classe di esposizione, del tipo di calcestruzzo (**Fig 5.2**), dei copriferri, delle condizioni climatiche e della dimensione degli elementi gettati. È possibile osservare che maggiore è la velocità di indurimento del calcestruzzo, inferiore è la durata della stagionatura del manufatto.

In **Fig.5.3**, La tabella 7 estratta dalle *Linee Guida sul calcestruzzo strutturale del CSLLPP* (che dedica tutto il capitolo 5 alla stagionatura) prescrive il tempo di stagionatura protetta, in funzione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo alla temperatura ambientale in cui è stato gettato, del tasso di umidità dell'aria e della ventilazione.

**Figura 5.2**

Sviluppo della resistenza	Rapporto di resistenza $r = f_{cm,2} / f_{cm,28}$
<b>Rapido</b>	$\geq 0,5$
<b>Medio</b>	$\geq 0,3$ e $< 0,5$
<b>Lento</b>	$\geq 0,15$ e $< 0,3$
<b>Molto lento</b>	$< 0,15$

Prospetto 16 estratto dalla norma UNI EN 206 in cui sono definite le fasce di sviluppo della resistenza del calcestruzzo a 20 °C

**Figura 5.3**

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

Tabella 7 estratta dalle LLGG1996 in cui vengono prescritti i tempi di stagionatura

Per i pavimenti industriali è consigliabile prolungare la stagionatura secondo quanto previsto dalla tabella 12.1 estratta dal *Codice di Buona Pratica per pavimenti in calcestruzzo* edito da Conpaviper (**Fig. 5.4**).

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

**Figura 5.4**

<b>Sviluppo della resistenza del calcestruzzo</b>												
<b>Temperatura del calcestruzzo in °C</b>	<b>rapido</b>			<b>medio</b>			<b>lento</b>			<b>molto lento</b>		
	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b>Non esposto ad insolazione diretta; Umidità relativa &gt; 80%</b>	8	9	10	9	10	11	11	12	13	13	14	15
<b>Insolazione diretta media o vento di media intensità o Umidità Relativa ≥ 50%</b>	12	13	13	14	15	15	14	15	16	15	16	16
<b>Insolazione intensa o vento forte o Umidità Relativa &lt; 50%</b>	14	15	16	16	17	18	16	18	19	18	19	20

Tabella 12.1 estratta Codice di buona pratica in cui vengono prescritti i tempi di stagionatura (in giorni) per ogni lotto di pavimento finito

## Accorgimenti alle alte e basse temperature

Alta temperatura ambientale significa elevata temperatura del calcestruzzo, bassa umidità relativa (in funzione della presenza del vento) e forte insolazione. La norma UNI EN 206 prescrive che il calcestruzzo fresco non superi la temperatura di 30°C perché altrimenti si accorciano eccessivamente i tempi di presa e s'innalza la richiesta d'acqua e la velocità di perdita di lavorabilità. Il produttore può intervenire sulla temperatura del calcestruzzo proteggendo dall'insolazione gli aggregati e utilizzando l'acqua a bassa temperatura. L'impresa dovrebbe utilizzare il calcestruzzo nei momenti meno caldi della giornata e proteggere il getto dalla forte evaporazione dell'acqua, soprattutto alle brevi stagionature, in modo da ridurre la formazione di fessurazioni da ritiro o assestamento plastico. L'elevata temperatura, tuttavia, consente di non prolungare eccessivamente la stagionatura. Particolare attenzione occorre nel caso in cui di notte ci sia una forte escursione termica, che può innescare nel getto forti tensioni per contrazione termica, così come è buona norma controllare la forte perdita di umidità dei primi giorni, soprattutto nei getti orizzontali, che provoca fessure e imbarcamenti (nelle strutture non armate) per ritiro igrometrico differenziale.

La norma UNI EN 206 prescrive che il calcestruzzo fresco non debba scendere al di sotto della temperatura di 5°C. Una bassa temperatura rallenta la reazione di idratazione allungando i tempi di presa e di primo indurimento. Per questo, d'inverno i tempi di stagionatura protetta si dilatano. Il calcestruzzo allo stato fresco va protetto dal gelo, soprattutto nelle ore notturne dei getti pomeridiani. Nei getti orizzontali il rischio è rappresentato dal congelamento dell'acqua d'impasto che affiora in superficie e che, dilatandosi, distrugge la crosta superficiale, oltre a renderla polverulenta a causa del cemento non idrato per la solidificazione dell'acqua. I getti verticali, anche se casserati, devono essere protetti dall'abbassamento della temperatura, altrimenti il maggior raffreddamento delle parti con maggior superficie specifica (come gli spigoli di muri e pilastri) può arrivare

a causare il loro distacco. La resistenza minima a compressione, oltre la quale si ammette che il gelo non produca più danni al calcestruzzo fresco, è fissata a 5 MPa. Quindi è opportuno, nei getti invernali con temperature ambientali prossime a 5°C, che l'impresa si consigli con il fornitore di calcestruzzo per accelerare i tempi di presa e che mantenga il getto protetto termicamente per il tempo previsto. A tal fine è possibile utilizzare additivi acceleranti oppure classi di resistenza superiori con rapporti a/c inferiori, arrivando in casi estremi, a riscaldare l'acqua d'impasto.

## La compattazione

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

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

- La posa deve essere eseguita per strati di spessore inferiore a 30 cm.
- L'ago deve essere introdotto in posizione verticale, immergendolo nello strato sottostante, per una profondità superiore a quella eseguita (di 5-10 cm). Il tempo di permanenza è da determinare in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo, la geometria e la densità di armatura dell'elemento.
- L'operazione va ripetuta con un intervallo di circa 30 cm, evitando il contatto dell'ago con la cassaforma e i ferri di armatura. Si riporta in **Fig. 5.5** la tabella in cui sono consigliati i tempi di vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo estratta dalle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale* del 2017 edite dal CSLPP.

Per approfondimenti si consiglia la lettura delle citate Linee Guida.

**Figura 5.5**

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

Tabella estratta dalle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale* in cui sono consigliati i tempi di vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo

## Le tolleranze di esecuzione

La norma EN 13670 prescrive che la struttura ultimata debba rientrare nelle tolleranze massime consentite per non influenzare negativamente la resistenza meccanica, la stabilità e le prestazioni di esercizio dell'opera e per garantire la compatibilità con le metodologie di costruzione e con il funzionamento delle componenti non strutturali facenti parte della costruzione.

La classe di tolleranza 1 è compatibile con le ipotesi di progetto della norma UNI EN 1992-1-1 e del livello di sicurezza da questa richiesto. Tale classe soddisfa i coefficienti parziali dei materiali stabiliti nel § 2.4.2.4 e si applica sempre, se non diversamente dichiarato nelle specifiche di progetto. La classe di tolleranza 2 tiene conto dell'Appendice Nazionale e va utilizzata con la classe di esecuzione 3.

La norma divide le tolleranze nel modo seguente:

- tolleranze con rilevante importanza strutturale: pilastri e pareti, travi e solette, sezioni;
- tolleranze con limitata importanza strutturale: fondazioni, pilastri e pareti, travi e solette, sezioni, tolleranze di forma, tolleranze per fori e inserti.

## Le casseforme

La tipologia e la posa delle casseforme incidono in maniera determinante sulla capacità del copriferro di espletare la funzione di protezione delle armature:

- la precisione di posizionamento ne determinano lo spessore;
- la tenuta determina la formazione di nidi di ghiaia ed altre imperfezioni superficiali;
- il materiale a contatto del calcestruzzo determina la capacità di stagionarlo.

Si riporta di seguito un estratto delle LLGG2017<sub>[P1]</sub> dedicato alle posa dei casseri.

*“La progettazione e la messa in opera delle casseforme deve tener conto della necessità di evitare durante la fase di getto perdite dannose di matrice cementizia. Generalmente la cassaforma è infatti ottenuta mediante l'accostamento di più unità o moduli di attrezzatura provvisoria; se tale operazione non è eseguita correttamente e/o i giunti non sono a tenuta, la matrice, o boiaccia cementizia, fuoriesce provocando difetti sulla superficie del calcestruzzo, eterogeneità nella tessitura e nella colorazione, nonché nidi di ghiaia. L'impermeabilità dei giunti fra le unità di cassaforma deve essere assicurata dal contatto diretto dei bordi del rivestimento della cassaforma. La tenuta dei giunti delle casseforme deve essere curata in modo particolare nelle strutture con finitura superficiale del calcestruzzo a vista; può essere migliorata utilizzando giunti preformati riutilizzabili o guarnizioni monouso”.*

## **SEZIONE II**

### **Strumenti operativi per il progettista strutturale**

#### **6. Relazione sui materiali e piano di manutenzione**

Le Norme Tecniche, nel § 10.1, prevedono la redazione dei seguenti elaborati di progetto:

- relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e di verifica;
- relazione sui materiali;
- elaborati grafici, particolari costruttivi;
- piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera;
- relazione sui dati sperimentali corrispondenti alle indagini specialistiche ritenute necessarie alla realizzazione dell'opera.

Si suppone che il documento richiesto dalle Norme Tecniche nel § 4.1.7 *Esecuzione* dedicato alla prescrizione della messa in opera e stagionatura del calcestruzzo, debba essere contenuto nella *"relazione sui materiali"*.

In questo capitolo verranno brevemente analizzati la relazione sui materiali e il piano di manutenzione della struttura, in quanto la prima è un'integrazione significativa rispetto a quanto storicamente effettuato e il secondo è una novità introdotta recentemente dalla legislazione tecnica nella progettazione civile.

Dal 2005 le Norme Tecniche richiedono al prescrittore di allegare al progetto anche il *"piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera"*, dove sono previsti gli interventi di manutenzione durante la vita utile di progetto. Nelle strutture con vita utile di progetto di 50 anni, se vengono attuate le precauzioni suggerite dalle norme europee sulla progettazione e messa in opera, non occorre prevedere né protezioni aggiuntive, né particolari manutenzioni volte a salvaguardare la capacità portante dell'opera. È buona norma, comunque, evitare il ristagno o il percolamento dell'acqua sulla struttura, facendo un corretto utilizzo di guaine impermeabilizzati, scossaline, gronde in metallo, la cui sostituzione e/o manutenzione va concordata con il fornitore. Per strutture con vite utili di progetto di 100 anni e oltre, soprattutto se sottoposte ad aggressioni di forte intensità (erosione, contatto con l'acqua di mare o sali disgelanti) occorre prevedere controlli e interventi in relazione alle ulteriori protezioni previste, oltre a quelle prescritte dalle norme europee. In questi casi possono essere utili i dati storici in possesso alle committenze, oltre alla loro

disponibilità a investire in questa direzione.

Per quello che riguarda il patrimonio edilizio esistente, le Norme Tecniche non prevedono alcuno strumento per il monitoraggio e la verifica costante della stabilità strutturale.

Il Decreto del 13/6/2022 (*GU serie generale n.183 del 6/08/2022*) *"Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione direzione lavori per interventi edilizi"* ribadisce l'importanza della stesura del piano di manutenzione dell'opera, elaborato dal progettista ad uso del *"gestore"* dell'edificio.

## Esempio di relazione sui materiali

Viene dato di seguito un esempio di relazione sui materiali conforme a quanto prescritto dalle Norme Tecniche e dalle norme europee. Per praticità verrà preso a campione il progetto di un edificio edile eretto in una città sulla costa del centro Italia, ad una distanza dal mare di circa 500m.

### Normative di riferimento

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

### Acciaio

L'acciaio utilizzato comprende:

barre d'acciaio tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 50 \text{ mm}$ ), rotoli tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$ );

prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con:

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

Ognuno di questi prodotti deve essere conforme alle Norme Tecniche:

queste specificano le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi e le condizioni delle prove di accettazione, il sistema per l'attestazione di conformità per gli acciai destinati alle costruzioni in cemento armato che ricadono sotto il Regolamento UE 305/2011.

### Calcestruzzo

#### Controlli

Il calcestruzzo, secondo quanto previsto dalle normative vigenti, deve essere prodotto da impianti dotati di un sistema di controllo permanente della produzione, certificato da un organismo terzo indipendente riconosciuto. È compito della DL accertarsi che i documenti di trasporto indichino gli estremi della certificazione. Nel caso in cui il calcestruzzo sia prodotto in cantiere occorre che, sotto la sorveglianza della DL, vengano prequalificate le miscele da parte di un laboratorio ufficiale (di cui all'art. 59 del DPR 380/2001).

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

#### Tipi di calcestruzzo

I calcestruzzi dovranno essere conformi alla UNI EN 206 e UNI 11104 e dovranno rispondere alle prestazioni riportate nella tabella in **Fig. 6.1**.

#### Classe di resistenza

La classe di resistenza è stata definita in conformità alle Norme Tecniche e alla norma UNI EN 206: il primo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cilindrica ( $f_{ck}$  per le Norme Tecniche e  $f_{ck,cyl}$  per le norme europee) mentre il secondo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cubica ( $R_{ck}$  per le Norme Tecniche e  $f_{ck,cube}$  per le norme europee). Le resistenze soddisfano i valori minimi previsti dalla norma UNI 11104 per l'ambiente in cui è sita la costruzione.

Figura 6.1

Normative di riferimento		UNI 11104 (prospetto 1)	UNI 11104 (prospetto 4) e UNI EN 206					LLGG messa in opera 2017		UNI EN 1992-1-1
Tipo	Campi di Impiego	Classe di esposizione	Classe di resistenza	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	D <sub>max</sub> aggregato (mm)	Classe di consistenza	Mantenimento della consistenza (min)	Prestazioni aggiuntive	Copriferro nominale
1	Sottofondazione	X0	C12/15	CI 1,0	no	32	S4	30		-
2	Platea di Fondazione	XC2+XS2	C35/45	CI 0,20	no	32	S5	30	Cemento resistente all'acqua di mare (norma UNI 9156)	50
3	Muri di fondazione	XC2+XS2	C35/45	CI 0,20	no	32	S4	60		50
4	Pilastrini e muri in elevazione	XC3+XS1	C32/40	CI 0,20	no	32	S4	60		45
5	Travi, solai, velette tetto, balconi	XC4+XS1	C32/40	CI 0,20	no	20	S5	90		45
6	Falde tetto	XC4+XS1	C32/40	CI 0,20	no	20	S3	90		45

### Classe di esposizione ambientale

Le classi di esposizione ambientale previste per le strutture di fondazione (platea e muri), tengono conto delle analisi effettuate sul terreno e riportate nella relazione sui risultati sperimentali allegata (presenza di cloruri provenienti da acqua di mare nella falda e trascurabile presenza di altre sostanze aggressive previste dalla UNI EN 206). Le classi di esposizione ambientale previste per le strutture in elevazione, tengono conto del clima marino e del rischio carbonatazione in regime bagnato-asciutto, tipico della zona in cui è sito l'edificio, avendo esteso, per ovvi motivi di continuità strutturale e pratici, lo stesso calcestruzzo delle strutture perimetrali (travi, balconi, pilastrini) alle strutture interne (solai, travi, pilastrini).

Le classi di esposizione ambientale hanno determinato la scelta delle caratteristiche minime dei calcestruzzi, la dimensione dei copriferri e la verifica dello stato limite di deformazione riportata nella relazione di calcolo allegata.

### Classe di consistenza

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

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

E' prescritto in tabella il mantenimento della consistenza, inteso come il tempo intercorso dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere ed il suo scarico. Il fornitore di calcestruzzo e l'impresa devono programmare il getto in modo che il produttore cadesse le consegne per dare il tempo necessario all'impresa di poter metterle in opera. Sono da evitare interruzioni di getto che superino l'ora.

Nel caso che, durante il getto del calcestruzzo, si manifestino fenomeni di segregazione o eccessiva essudazione, occorre controllare che la prova di bleeding, secondo la norma UNI 7122, dia un valore inferiore a 0,5 l/(m<sup>2</sup> h).

## **Aggregati**

Gli aggregati del calcestruzzo devono essere marcati CE secondo la norma UNI EN 12620 con un sistema di attestazione 2+ e devono essere conformi alla norma UNI 8520-2.

La dimensione massima dell'aggregato grosso prescritto tiene conto degli spessori, delle geometrie e dei copriferri e interferri degli elementi strutturali. In funzione della disponibilità delle pezzature reperibili dai produttori di calcestruzzo in zona, sono accettabili solo dimensioni massime minori o uguali a quelli prescritti.

## **Classe di contenuto in cloruri**

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

## **Copriferro**

I valori dei copriferri sono stati stabiliti secondo la norma UNI EN 1992-1-1 (sezione 4), in funzione delle classi di esposizione ambientale. Si ricorda che il valore del copriferro è misurato dal filo esterno delle staffe, per cui se verranno utilizzati distanziatori fissati alle barre longitudinali, occorrerà sommare al valore fornito anche il diametro delle staffe e il raggio della barra. Le tolleranze di esecuzione dei copriferri sono quelle previste dalla norma EN 13670: è stata considerata una tolleranza  $\Delta c_{dev} = 10$  mm, come prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1.

## **Messa in opera**

L'esecuzione dell'opera deve essere conforme alla norma EN 13670. A tal fine è stata prevista la classe di esecuzione 1 e la classe di tolleranza 1, eccetto dove diversamente specificato. In particolare, si raccomanda di

utilizzare casseforme di resistenza, rigidità, tenuta e pulizia adeguate per ottenere superfici regolari e prive di difetti superficiali che possano incidere pesantemente sulla capacità del copriferro di proteggere le armature, soprattutto per la presenza dell'ambiente marino in cui verrà costruita l'opera.

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

I lavori di preparazione ai getti dovranno essere completati, ispezionati e documentati come richiesto dalla classe di esecuzione. Le superfici che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco non devono avere una temperatura inferiore a 0°C finché questo abbia superato la resistenza a compressione di 5 MPa. Se la temperatura ambientale notturna è prevista al di sotto di 0 °C o quella diurna al di sopra di 30 °C, al momento del getto o nel periodo di maturazione, occorre prevedere precauzioni per la protezione del calcestruzzo, come specificato nel paragrafo successivo.

Il calcestruzzo deve essere compattato a rifiuto in modo che le armature vengano adeguatamente incorporate nella matrice cementizia, l'elemento strutturale assuma la forma imposta dalle casseforme e la superficie del getto sia priva di difetti. Allo scopo occorre utilizzare vibratori ad ago da inserire ed estrarre verticalmente ogni 30 cm circa, facendo attenzione a non toccare le armature e ad inserire il vibratore ad una profondità tale da coinvolgere gli strati inferiori precedentemente vibrati. Per la scelta effettuata delle classi di consistenza, la durata della vibrazione sarà relativamente breve, soprattutto nei getti dei solai e della platea. Maggior cura richiederà la compattazione del calcestruzzo gettato nei pilastri, nelle pareti e nei nodi trave-pilastro.

## Stagionatura

Il calcestruzzo, dopo il getto, deve essere protetto contro la veloce evaporazione dell'acqua, dal gelo, dagli agenti atmosferici. Nei getti verticali, la stagionatura consiste nel mantenimento delle casseforme, per i getti orizzontali nell'applicazione di teli di plastica per il tempo necessario fissato dalle tabelle allegate.

Per la platea di fondazione, per i solai (soprattutto in corrispondenza dei balconi e del perimetro) e per la veletta (gronda) del tetto, si prescrive una classe di stagionatura 3, per le pareti e pilastri è sufficiente una classe di stagionatura 2 (vedi **Fig. 6.2**).

Eccetto che nel periodo invernale, è consentito utilizzare agenti antievaporanti, facendo attenzione a evitare le riprese di getto. In questo periodo, si prescrive l'utilizzo di teli di plastica, in modo da proteggere il getto, oltre che dall'evaporazione dell'acqua, anche dalle basse temperature.

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

Figura 6.2

**Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h<sup>5)</sup>**

**Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 2**  
(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 35% della resistenza caratteristica prescritta)

Temperatura superficiale del calcestruzzo (T) °C	Durata minima della stagionatura, giorni <sup>1)</sup>		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo <sup>3),4)</sup> $(f_{cm,2}/f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $r \geq 0,30$	Lento $0,15 \leq r < 0,30$
$T \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$15 \leq T < 25$	1,0	2,5	5
$10 \leq T < 15$	1,5	4	8
$5 \leq T < 10$	2,0	5	11

**Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 3**  
(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 50% della resistenza caratteristica prescritta)

$T \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$15 \leq T < 25$	2,0	4	7
$10 \leq T < 15$	2,5	7	12
$5 \leq T < 10$	3,5	9	18

**Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 4**  
(corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 70% della resistenza caratteristica prescritta)

$T \geq 25$	3	5	6
$15 \leq T < 25$	5	9	12
$10 \leq T < 15$	7	13	21
$5 \leq T < 10$	9	18	30

<sup>1)</sup> Deve essere conteggiato anche il tempo di presa se eccedente le 5 ore

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

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

<sup>4)</sup> Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione

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

## **7. Schemi semplificati per la prescrizione della durabilità delle strutture più frequenti**

## Ipotesi semplificative

In questo capitolo vengono riportate le ipotesi semplificative su cui si basano gli schemi delle schede successive. Occorre tenere presente che queste ipotesi potrebbero non essere rigorosamente cautelative nella totalità dei casi e, in alcune applicazioni importanti, potrebbero essere economicamente penalizzanti.

Gli schemi proposti sono comunque molto vicini a quanto previsto dalle norme europee e di rapida ed efficace consultazione. Sono utili anche per dimensionamenti di massima e studi di fattibilità in progetti di grandi dimensioni, in cui è comunque da prevedere una successiva analisi più approfondita.

Si ricorda che il progettista rimane l'unico responsabile della progettazione della durabilità dell'opera.

### Ipotesi semplificative relative alla prescrizione della classe di esposizione

1. Si può affermare che in Italia la classe di esposizione X0 non esista per le strutture armate, in quanto l'umidità media dell'ambiente è sempre superiore al "molto asciutto" prescritto nella norma UNI 11104.
2. La classe di esposizione XC1 vale solo per ambienti interni: poiché spesso, soprattutto nelle strutture piccole, lo stesso elemento strutturale ha una parte esterna e una interna, per praticità, la presente schematizzazione non la considera. Ad esempio il solaio interpiano è una tipica struttura in classe di esposizione XC1. Tuttavia, se si devono realizzare balconi e terrazze monolitici col solaio, è opportuno estendere la classe di esposizione prevista per gli elementi esterni a tutto il solaio. Lo stesso vale per i pilastri e i muri perimetrali portanti, per cui verrà unificata la classe di esposizione con quelli interni. In questo caso l'Eurocodice 2 consente di diminuire i copriferri di 5 mm (cioè di una classe strutturale) dove è stato utilizzato un calcestruzzo di prestazioni

superiori a quelle minime previste.

3. L'intonaco, materiale molto poroso, non si considera una protezione, così come le pitture che possono prolungare di qualche anno la vita del faccia a vista ma non della struttura. Ovviamente, in questa sede, non vengono considerate protezioni catodiche e armature zincate o di acciaio inossidabile.
4. Nelle fondazioni vengono trascurate le guaine e altri dispositivi impermeabilizzanti, anche se considerati indispensabili in quanto è sufficiente una parziale rottura di questi per far penetrare l'acqua di falda nella struttura.
5. È da evitare il ristagno e il percolamento dell'acqua con opportune pendenze, gronde, scossaline, canalette, ecc.
6. Sono da prevedere le analisi del terreno o dell'acqua in esso contenuta.
7. Il sottosuolo non gela mai.
8. In prossimità del mare (meno di 1 Km) in Italia gela raramente.
9. In elevazione si trascura l'attacco chimico. Il fatto di considerare solo le classi XC3 e XC4 per l'esterno, compensa parzialmente questa ipotesi, non sempre cautelativa. Potrebbe non esserlo per le costruzioni site in zone particolarmente inquinate (agglomerati urbani e industriali o in prossimità di strade a elevata intensità di traffico) oppure per gli stabilimenti che utilizzano sostanze aggressive per il calcestruzzo (ad esempio concerie, stabilimenti per lavorazione della carta, centrali termoelettriche, raffinerie, ecc).
10. Si trascurano gli effetti erosivi delle strutture immerse in acqua corrente.
11. Dove è prevista la classe di esposizione XA, a causa della presenza di ione solfato o di anidride carbonica aggressiva, occorre prevedere cementi particolari, come riportato nel capitolo 2.

## Ipotesi semplificative relative alla prescrizione dei copriferri

1. Generalmente, nelle strutture in c.a. e c.a.p. (soprattutto), la dimensione del copriferro che soddisfa le condizioni ambientali, soddisfa anche il requisito di aderenza e il valore minimo di 10 mm. Questo consente di utilizzare la formula:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dev}} \quad \text{con} \quad \Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm.}$$

Nel caso che, durante l'esecuzione della costruzione, i copriferri vengano controllati attentamente dalla DL, è possibile ridurre questa quantità fino ad annullarla: questa operazione andrà eseguita manualmente rispetto a quanto riportato negli schemi di seguito riportati.

2. Per i getti contro terra si richiedono copriferri della dimensione superiore a 40 mm con terreno "preparato", e superiore a 75 mm per getti diretti. Gli schemi consigliati, quindi, non possono essere applicati per questa tipologia di getti.
3. È possibile ridurre lo spessore del copriferro negli elementi in cui è previsto un calcestruzzo con prestazioni superiori a quelle minime prescritte, come riportato nel punto 2 della pagina precedente: questa operazione andrà eseguita manualmente rispetto a quanto previsto negli schemi.
4. Si ricorda che l'Eurocodice 2 prescrive un'armatura di superficie per spessori del copriferro superiori a 70 mm e per barre di sezione superiore a 32 mm.
5. Non si considera la maggiorazione di 5 mm nel caso che la superficie esterna del calcestruzzo sia irregolare, visto che, nella maggior parte dei casi, il getto è contenuto in casseforme piane.
6. Non si considerano le note n2, n3, n4 riportate nel capitolo 3.

## Introduzione agli schemi semplificati delle schede 2, 3, 4 e 5

Per comodità, tutti gli elementi strutturali più diffusi sono stati raggruppati nelle quattro famiglie di seguito riportate.

1. **Strutture interrato** come pali, diaframmi, fondazioni, plinti, platee, travi rovesce, vasche e serbatoi interrati, muri e pilastri di fondazione, fosse Imhoff, elementi di gallerie. Sono analizzate nella scheda 2. In questa sezione rientrano anche le piscine interrato e le strutture permanentemente sommerse in acqua di mare.
2. **Strutture in elevazione**: tutte quelle non interrato. A loro volta queste sono state divise in elementi a contatto diretto con l'acqua e in elementi non a contatto diretto con l'acqua. Le prime hanno generalmente un prevalente sviluppo orizzontale (solette stradali, pile, pulvini, baggioli, tetti, coperture in genere, tettoie, balconi, terrazzi, canali, scolmatori), ma anche vasche, strutture verticali (muri, scale, pilastri) in cui non è prevista una copertura o l'utilizzo di gronde e canalette per il convogliamento dell'acqua sulle quali percola. Le seconde hanno generalmente un prevalente sviluppo verticale e sono protette da elementi più esposti (muri, pilastri, travi, vani scala, vani ascensore).
3. **Pavimenti su massciata** (solette poco o non armate) sono analizzati nella scheda 4.
4. **Strutture idrauliche in acqua dolce**: sono opere che hanno contatto diretto con acqua dolce, ovvero non di mare, sia pura che proveniente da scarichi industriali. Possono essere considerate appartenenti a questa famiglia canali, dighe, briglie, chiuse, plinti sommersi e vasche di acque pure e reflue industriali, depuratori. Queste strutture sono analizzate nella scheda 5. Le piscine sono contemplate nella scheda 2. Non c'è molta differenza tra le schede 2 e 5: nella prima rientrano strutture interrato, cioè esposte ad ambienti con elevata umidità, non gelivi con eventuale presenza di cloruri, nella seconda rientrano strutture bagnate in ambienti che possono essere gelivi, ma non esposti a cloruri.



## **SCHEDA 1 - Indagini preliminari**

## Analisi del terreno

### Analisi dell'acqua del terreno (Fig. 2.4)

agente	norma di riferimento	valore riscontrato dalla prova	unità di misura
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	EN 196-2		mg/l
pH	ISO 4316		PH
CO <sub>2</sub> aggressiva	EN 13577		mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ISO 7150-1		mg/l
Mg <sup>2+</sup>	EN ISO 7980		mg/l
Presenza di cloruri (si/no)			
Presenza di falda (si/no)			

### Analisi del terreno (Fig. 2.4)

agente	norma di riferimento	valore riscontrato dalla prova	unità di misura
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	EN 196-2		mg/Kg
pH	EN 16502		ml/Kg

## Introduzione alle schede successive

### SCHEDA 2

Prescrizione della durabilità delle strutture interrate

- Strutture interrate: pali, diaframmi, plinti platee, travi rovesce, vasche e serbatoi interrati, muti e pilastri di fondazione, fosse Imhoff, elementi di gallerie.
- Piscine, vasche e serbatoi

### SCHEDA 3

Prescrizione della durabilità delle strutture in elevazione

- A contatto diretto con l'acqua:  
prevalente sviluppo orizzontale: solette stradali (sbalzi solette dei viadotti), pile, baggioli, pulvini, tetti, coperture, balconi, terrazzi, canali, scolmatori, vasche, dighe, strutture verticali (muri, travi, scale, pilastri, solai) in cui non è prevista una copertura o l'utilizzo di gronde e canalette per il convogliamento dell'acqua sulle quali percola.
- Non a contatto diretto con l'acqua:  
sviluppo verticale e sono protette da elementi più esposti: muri, pilastri, travi, vani scala, vani ascensore, solai senza balconi.

### SCHEDA 4

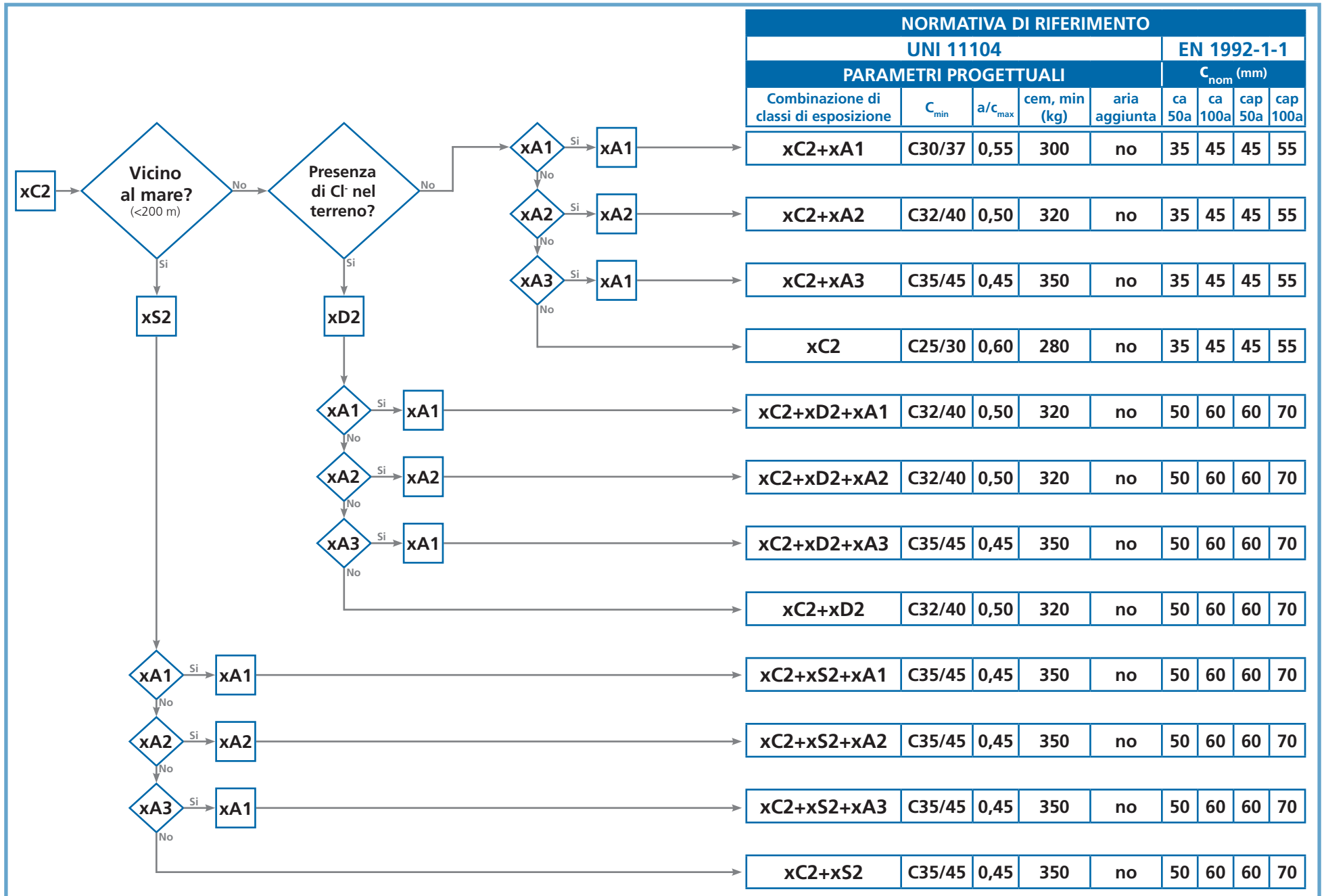
Prescrizione della durabilità delle pavimentazioni: solette poco o non armate e pavimenti industriali su massicciata (non collaboranti).

### SCHEDA 5

Prescrizione della durabilità di strutture idrauliche in acqua dolce: canali, dighe, argini, briglie, chiuse, plinti immersi.

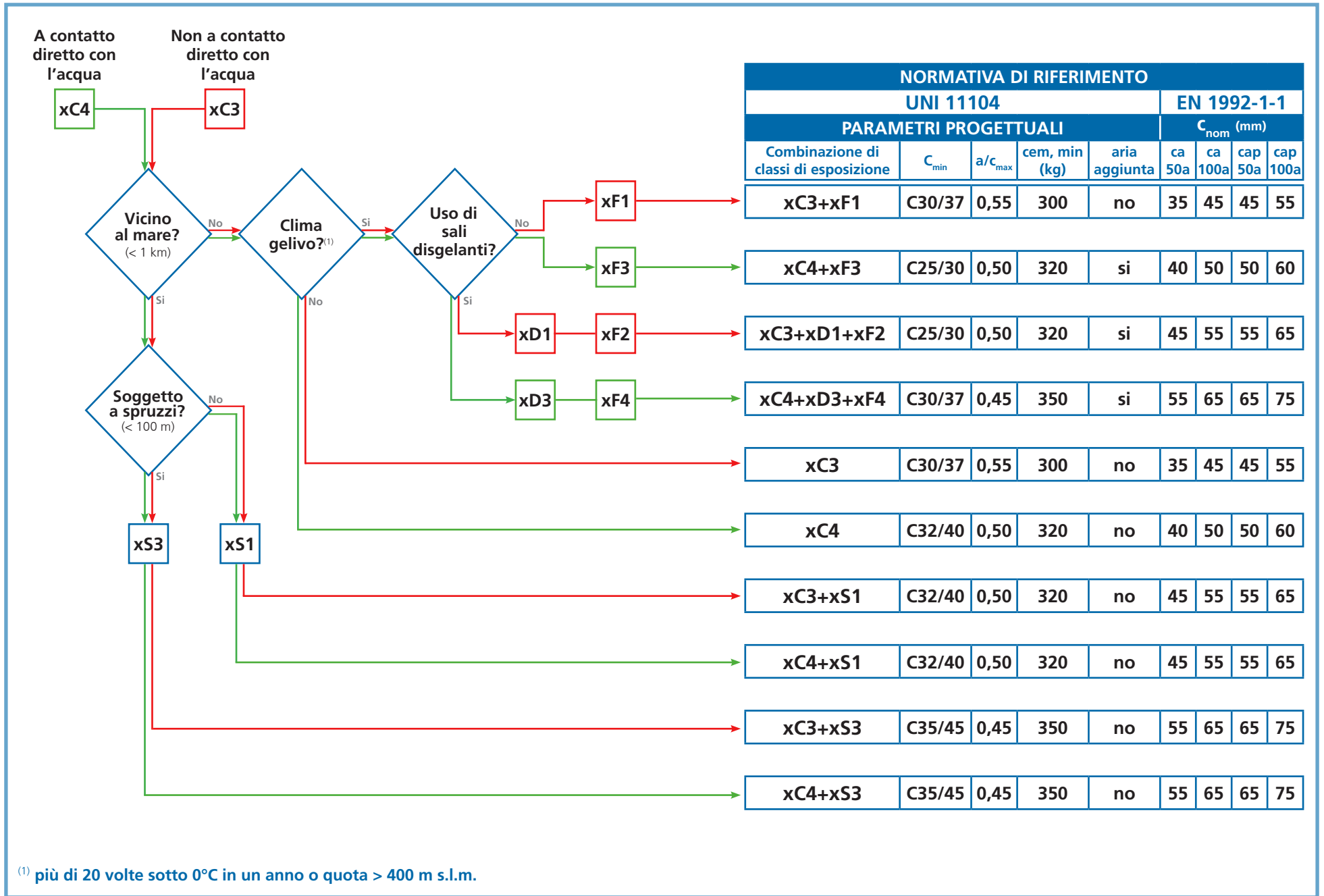
## SCHEDA 2 - Strutture interrato

- Si raccomanda di eseguire le prove del terreno o dell'acqua da esso contenuta, come previsto dal prospetto 2 della norma UNI EN 206 (**Fig. 2.3**).
- Nel caso di attacco solfatico occorre prescrivere un cemento resistente ai solfati (capitolo 2 della Guida).
- Per informazioni aggiuntive consultare le norme UNI 11417 parte 1 e 2.



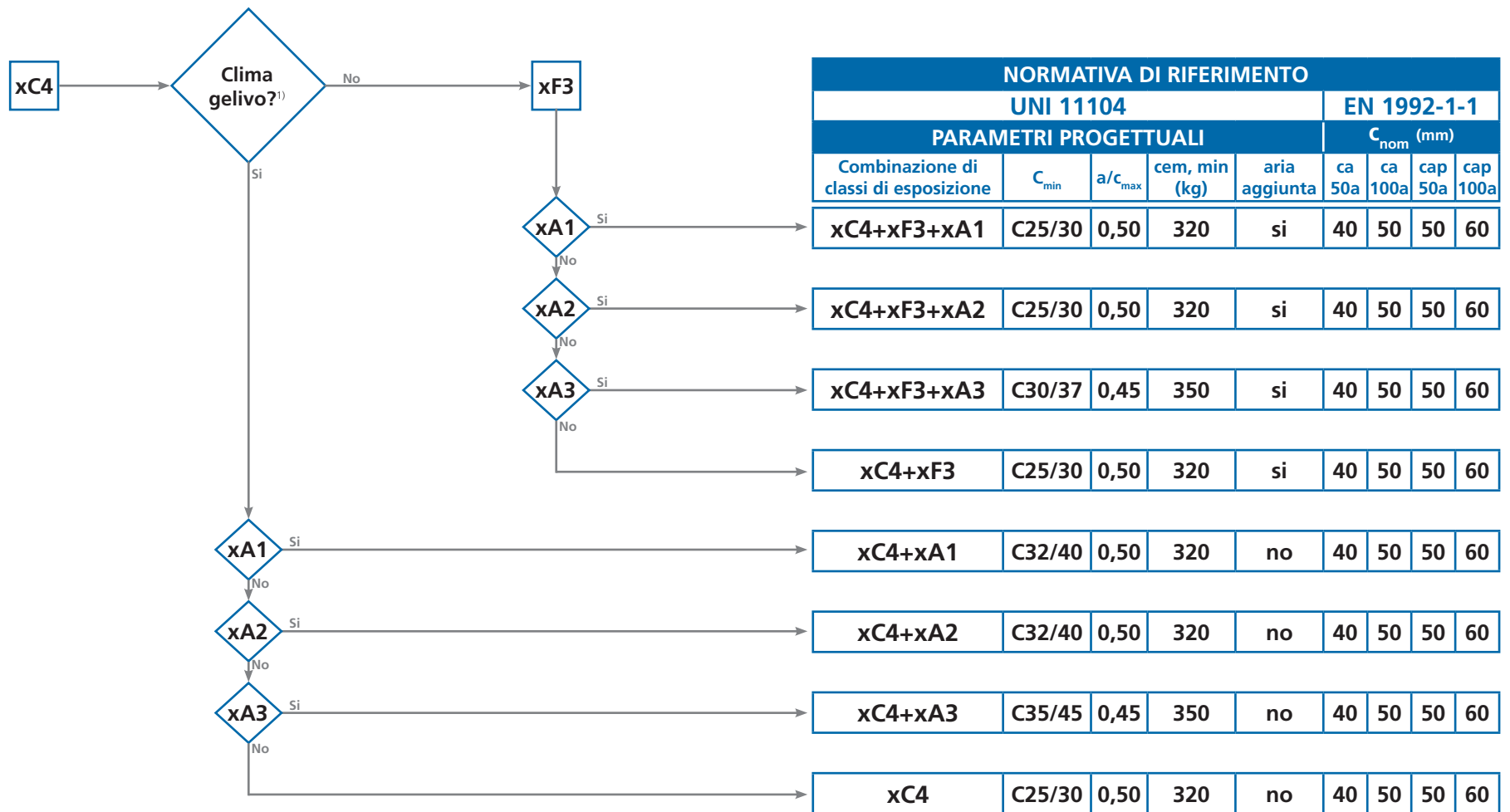
## SCHEDA 3 - Strutture in elevazione

- Nei climi sottoposti a cicli di gelo e disgelo (classe di esposizione XF) si ricorda che per “aria aggiunta” nel calcestruzzo si intende un contenuto in microbolle (di diametri inferiore al millimetro) minimo del 3%, da non confondere con bolle di “aria inglobata” che hanno dimensioni maggiori e che non devono superare l’1%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).
- Per informazioni aggiuntive consultare le norme UNI 11417 parte 1 e 2.



## SCHEDA 4 - Strutture idrauliche in acqua dolce

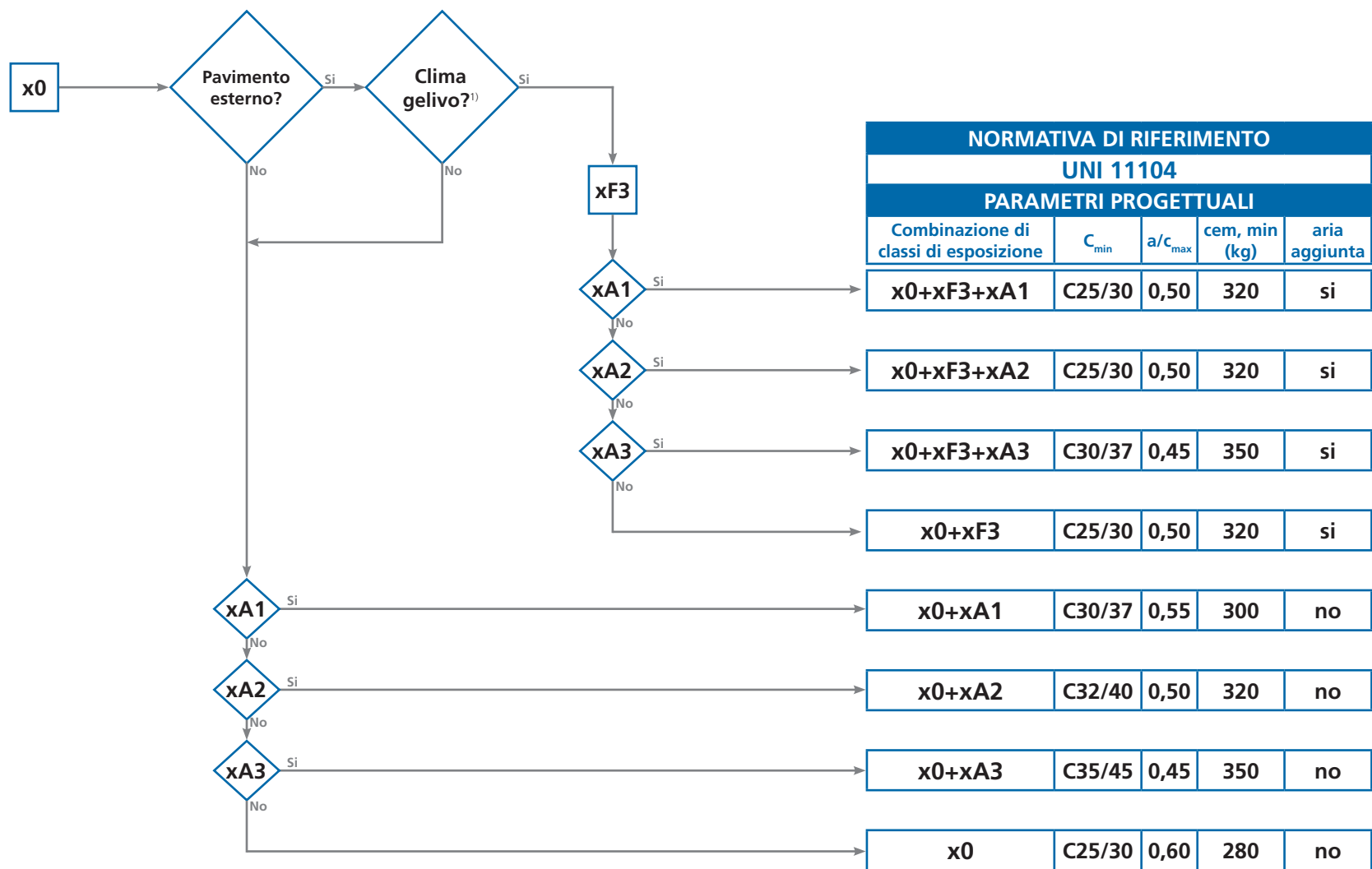
- Si ricorda che in questa tipologia di strutture, l'aggressione chimica più frequente è data dalla  $\text{CO}_2$ . Si raccomanda, in questi casi, di prescrivere un cemento resistente al dilavamento (UNI 9606).
- Nei climi sottoposti a cicli di gelo e disgelo (classe di esposizione XF) si ricorda che per "aria aggiunta" nel calcestruzzo si intende un contenuto di microbolle (di diametro inferiore al millimetro) minimo del 3%, da non confondere con le bolle di "aria inglobata" che hanno dimensioni maggiori e che non devono superare l'1%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).
- Per informazioni aggiuntive consultare le norme UNI 11417 parte 1 e 2.



(1) più di 20 volte sotto 0°C in un anno o quota > 400 m s.l.m.

## SCHEDA 5 - Pavimentazioni su massicciata

- In questa sezione si ipotizzano pavimenti che non hanno funzione strutturale, armati con semplice rete elettrosaldata posizionata in prossimità della mezzeria e/o con fibre. Per gli altri si consiglia di applicare la scheda 3.
- Si raccomanda di tenere conto delle sostanze che verranno utilizzate o prodotte dal processo che si svolgerà sulla pavimentazione, aiutandosi col prospetto 2 della norma UNI EN 206 (**Fig. 2.3**).
- Nei climi sottoposti a cicli di gelo e disgelo (classe di esposizione XF) si ricorda che per "aria aggiunta" nel calcestruzzo si intende un contenuto di microbolle (di diametro inferiore al millimetro) minimo del 3%, da non confondere con le bolle di "aria inglobata" che hanno dimensioni maggiori e che non devono superare l'1%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).
- Per informazioni aggiuntive consultare le norme UNI 11417 parte 1 e 2.
- Si raccomanda di utilizzare classi di resistenza del calcestruzzo non inferiori a C25/30.



<sup>(1)</sup> più di 20 volte sotto 0°C in un anno o quota > 400 m s.l.m.

## **SCHEDA 6 - Compilazione della tabella dei tipi di calcestruzzo**

Norme di riferimento		UNI 11104 (prospetto 1)	UNI 11104 (prospetto 4) E UNI EN 206					LLGG messa in opera 2017	Prestazioni aggiuntive	UNI EN 1992-1-1
Tipo	Campi di impiego (elementi strutturali)	Combinazione di classe di esposizione	Classe di resistenza	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	D <sub>max</sub> aggregato (mm)	Classe di consistenza	Mantenimento della lavorabilità (min)		Copriferro nominale (mm)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

## **ALLEGATO 1 - Attestato di durabilità degli edifici**

Ristrutturare o costruirsi una casa è sempre un'impresa titanica per l'utente finale che deve valutare molteplici soluzioni tecniche. Oggi, giustamente, pone l'attenzione sulla certificazione energetica (che addirittura viene citata nel contratto di compravendita), sugli impianti di raffrescamento/riscaldamento, sulla presenza dei pannelli solari o dell'impianto fotovoltaico, sugli infissi, l'addolcitore, la domotica, ecc. La struttura portante dell'edificio sembra non interessare a molti: dobbiamo per forza attendere un evento eccezionale catastrofico per verificarne la bontà nel tempo?

In questo allegato si riporta l'Attestato di durabilità degli edifici, una sorta di autocertificazione di tre pagine compilata dal progettista, che ha lo scopo di attirare l'attenzione dell'acquirente dell'unità immobiliare sul percorso virtuoso effettuato dall'impresa, dal direttore dei lavori e dal progettista, che porta alla durabilità strutturale dell'opera: analogamente alle dichiarazioni di lavoro eseguito a regola d'arte rilasciate da parte di tecnici specializzati come elettricisti, idraulici, pavimentisti, ecc.

L'Attestato certifica il percorso virtuoso del progettista, DL e impresa per perseguire la durabilità strutturale dell'opera, in conformità alle norme vigenti, tramite la corretta scelta dei materiali da costruzione ed esecuzione delle operazioni previste:

- definizione delle caratteristiche del calcestruzzo: classe di resistenza, classe di esposizione, classe di consistenza, classe di contenuto di cloruri, dimensione massima dell'aggregato;
- corretto dimensionamento e realizzazione dei copriferrì;
- corretta classe di stagionatura;
- tolleranze di realizzazione degli elementi strutturali in conformità alla norma EN 13670;
- corretta scelta dei particolari costruttivi.



# ATTESTATO DI DURABILITÀ DEGLI EDIFICI

## Dati dell'unità immobiliare

### Destinazione d'uso

- Residenziale  
 Commerciale  
 Direzionale  
 -----

### Vita utile di progetto

- 50 anni  
 100 anni

Norme Tecniche per le Costruzioni del DM del 17/01/2018

### Classe di esecuzione (EN 13670)

- Classe di esecuzione 1  
 Classe di esecuzione 2  
 Classe di esecuzione 3

## Dati identificativi

Regione:

Provincia:

Comune:

Indirizzo:

Concessione Edilizia:

Comune catastale

Sezione

Foglio

Particella

## Analisi delle aggressioni ambientali sull'edificio

Strutture in elevazione	
Corrosione indotta da carbonatazione	<input type="checkbox"/> <b>XC3</b> umidità moderata <input type="checkbox"/> <b>XC4</b> ciclicamente acquoso e secco
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	<input type="checkbox"/> <b>XS1</b> esposto ad aria che trasporta salsedine <input type="checkbox"/> <b>XS3</b> zone esposte spruzzi
Attacco del gelo/disgelo	<input type="checkbox"/> <b>XF1</b> moderata saturazione d'acqua <input type="checkbox"/> <b>XF3</b> elevata saturazione d'acqua
Strutture interrate	
Corrosione indotta da carbonatazione	<input type="checkbox"/> <b>XC2</b> umidità moderata
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	<input type="checkbox"/> <b>XS2</b> umidità moderata
Corrosione indotta da cloruri non provenienti dall'acqua di mare	<input type="checkbox"/> <b>XD2</b> umidità moderata
Attacco chimico	<input type="checkbox"/> <b>XA1</b> ambiente chimico debolmente aggressivo <input type="checkbox"/> <b>XA2</b> ambiente chimico moderatamente aggressivo <input type="checkbox"/> <b>XA3</b> ambiente chimico fortemente aggressivo

Ragione sociale Studio di Progettazione  
 Indirizzo  
 P. IVA

### Calcestruzzi, copriferri e classe di stagionatura

Norme di riferimento		UNI 11104 (prosp. 1) e UNI EN 206					UNI EN 1992-1-1	UNI EN 13670	
Elementi strutturali		Classe di esposizione	Classe di resistenza	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria (si/no)	Dmax aggregato (mm)	Classe di consistenza	Copriferro nominale (mm)	Classe di stagionatura
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

### Controlli di accettazione effettuati sul calcestruzzo e sulle armature

Analisi effettuate dal Laboratorio Certificato all'art. 59 del DPR n. 380/2001:

(Ragione sociale del laboratorio)

#### Prelievi di calcestruzzo: risultati delle analisi

Data getto	Elemento strutturale	m <sup>3</sup>	Classe di resistenza	Contenuto di aria (si/no)	Classe di consistenza	Controllo consistenza	N° di prelievi	Resistenza caratteristica (MPa)

Tutte le forniture di acciaio B450C/A sono marcate CE in conformità alla norma EN 10080/2005. I risultati delle analisi sono riportati in conformità alle Norme Tecniche del 2018.

### Manutenzione programmata

Nell'arco della vita utile di progetto non sono previste interventi di manutenzione sulla struttura portante ad eccezione di eventi eccezionali di origine naturale o antropica o per variazione di destinazione d'uso. In questo caso si raccomanda un controllo strutturale da parte di tecnico qualificato. All'esterno sono da prevedere tinteggiature e manutenzione dei pluviali che devono essere tenuti sempre puliti e in efficienza. Occorre rispettare il programma di manutenzione degli impianti installati nell'edificio previsti dal fabbricante o dalle vigenti disposizioni in materia. Proteggere i rubinetti e contatori dell'acqua dal gelo.

Si allegano i certificati dei controlli di accettazione in conformità alle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018.

Ragione sociale Studio di Progettazione  
Indirizzo  
P. IVA

## Legenda e schema progettuale

Il presente documento attesta la prestazione di durabilità del fabbricato in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018.

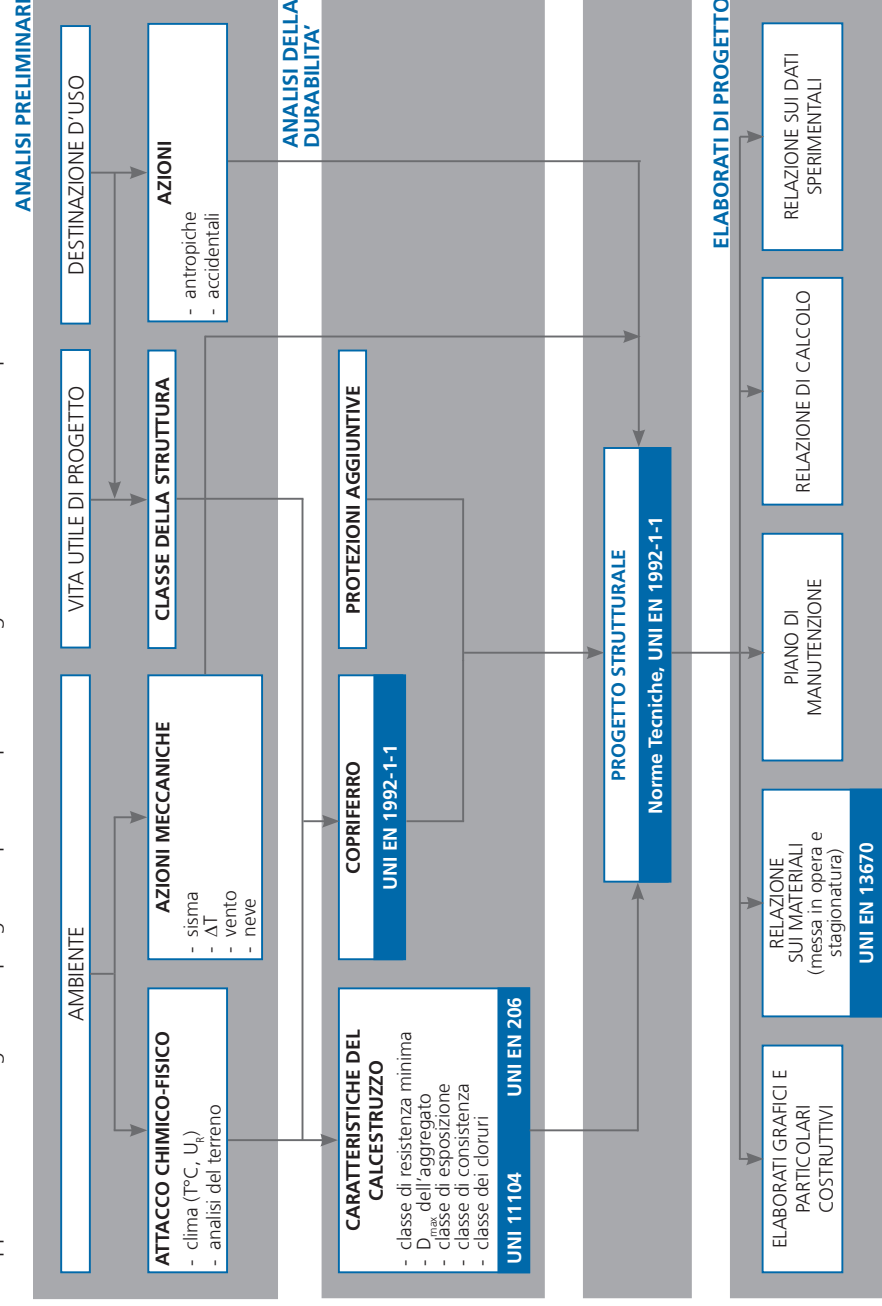
**Durabilità:** capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione.

**Vita nominale di progetto** di un'opera: è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

**La durabilità delle strutture in c.a.**, ovvero la prevenzione del loro degrado, interessa tutte le fasi dal concepimento alla realizzazione. La Progettazione si occupa di analizzare il contesto ambientale, di scegliere i materiali idonei, di dimensionare adeguatamente la struttura non tralasciando il disegno dei particolari costruttivi. La fase realizzativa si occupa di mettere in opera correttamente le armature d'acciaio, le casseforme e il calcestruzzo curando la compattazione e la stagionatura, sotto costante vigilanza del Direttore dei Lavori, che si occupa anche dei controlli di accettazione dei materiali utilizzati. Parte integrante di questo processo virtuoso sono gli interventi programmati nel corso della vita utile di servizio dell'opera.

## Schema progettuale

La mappa concettuale seguita dal progettista per adempiere alle esigenze di durabilità delle opere in c.a.



## Legenda

### Dati dell'unità immobiliare

Vengono riportati i dati identificativi del fabbricato e:

- la destinazione d'uso divisa tra residenziale e non residenziale con la possibilità di specificarne la tipologia;
- la Vita utile di progetto: è un dato di riferimento al quale sono collegate le azioni che incidono sia sulla durabilità che sul dimensionamento dell'opera;
- la Classe di esecuzione: indica la frequenza e la modalità delle ispezioni previste durante l'esecuzione dell'opera.

### Analisi delle aggressioni ambientali sull'edificio

Si riportano i risultati delle analisi effettuate all'ambiente e nel terreno in conformità alle norme UNI EN 206 e UNI 11104, tramite la definizione delle classi di esposizione a cui sono sottoposti gli elementi strutturali componenti l'opera.

### Calcestruzzi, copriferrì e classe di stagionatura

Si riportano i tipi di calcestruzzi utilizzati, la classe della loro stagionatura e il dimensionamento del copriferro per ottenere la vita utile di progetto.

### Controlli di accettazione effettuati sul calcestruzzo e sulle armature

Si allegano i risultati delle analisi effettuate da laboratorio Certificato all'art. 59 del DPR n. 380/2001 sul calcestruzzo, in cui è possibile analizzare i controlli di accettazione sulle armature d'acciaio, se previsti dalle Norme Tecniche 2018.

### Manutenzione programmata

Manutenzione programmata dell'opera stabilita in fase di progetto e contenuta negli elaborati di progetto.

NOTE

# Bibliografia

## Normativa cogente

- [N1] Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche del Decreto Ministeriale del 9 gennaio 1996
- [N2] Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018
- [N3] Approvazione delle Appendici nazionali recanti parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici del Decreto 31 luglio 2012
- [N4] Regolamento UE 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011

## Norme EN

- [E1] UNI EN 196-2 Metodi di prova dei cementi – Analisi chimica dei cementi
- [E2] UNI EN 197-1:2011 Cemento – Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- [E3] UNI EN 197-5: 2021 Cemento Portland composito CEM II/C-M e cemento composito CEM VI
- [E4] UNI EN 197-6: 2023 Cemento con materiali da costruzione riciclati
- [E5] UNI EN 206:2021 Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- [E6] UNI EN 450 Ceneri volanti per calcestruzzo.
- [E7] UNI EN 1008:2003 Acqua d'impasto per il calcestruzzo. Specifiche di campionamento e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo
- [E8] UNI EN 1097-2:2020 Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione
- [E9] UNI EN 1992-1-1:2015 Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici
- [E10] UNI EN 12620:2008 Aggregati per calcestruzzo.
- [E11] UNI EN 13055:2016 Aggregati leggeri
- [E12] UNI EN 13263-1:2016 Fumi di silice per calcestruzzo
- [E13] UNI EN 13577:2007 Attacco chimico del calcestruzzo – Determinazione del contenuto di anidrite carbonica aggressiva nell'acqua
- [E14] UNI EN 13670:2010 Esecuzione di strutture di calcestruzzo
- [E15] UNI EN 14216:2015 Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi speciali a calore di idratazione molto basso (VLH)
- [E16] UNI EN 14651:2007 Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche – Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]
- [E17] UNI EN 15167-1:2006 Loppa d'altoforno granulata macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione
- [E18] UNI EN 15167-2:2006 Loppa d'altoforno granulata macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – valutazione della conformità
- [E19] UNI EN 16502:2014 Metodo di prova per la determinazione del grado di acidità del suolo secondo Baumann-Gully
- [E20] UNI CEN/TR 15177:2006 Prova di resistenza al gelo-disgelo del calcestruzzo – Deterioramento interno strutturale
- [E21] UNI CEN/TS 12390-9:2017 – Resistenza al gelo-disgelo con Sali disgelanti - Scagliatura

## Norme UNI

- [U1] 7087:2017 Calcestruzzo – Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo

- [U2]** UNI 7122:2017 Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
- [U3]** UNI 8520-1:2022 Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Designazione e criteri di conformità
- [U4]** UNI 8520-2:2022 Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Requisiti
- [U5]** UNI 8520-22:2020 Aggregati per calcestruzzo – Metodologia di valutazione della potenziale reattività alcali-silice degli aggregati
- [U6]** UNI 9156:2015 Cementi resistenti ai solfati – Classificazione e composizione
- [U7]** UNI 9606:2015 Cementi resistenti al dilavamento della calce – Classificazione e composizione
- [U8]** UNI 11104:2025 Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206
- [U9]** UNI 11146:2005 Pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale. Criteri per la progettazione, esecuzione e collaudo.
- [U10]** UNI 11417-1:2022 Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo – Fenomeni di degrado, loro cause e misure di prevenzione.
- [U11]** UNI 11417-2:2022 Durabilità delle opere di calcestruzzo e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo – Indicazioni per prevenire la reazione alcali-silice
- [U12]** UNI 11834:2021 Cementi resistenti alla reazione alcali silice – Classificazione e composizione

### **Norme ISO**

- [I1]** ISO 4316:1977 Surface active agents – Determination of pH of aqueous solutions – Potentiometric method
- [I2]** ISO 7150:1984 Water quality – Determination of ammonium – Manual spectrometric method
- [I3]** ISO 7980:2002 Qualità dell'acqua – Determinazione di calcio e magnesio – Metodo per spettrometria di assorbimento atomico

### **Norme CNR**

- [C1]** CNR-DT 204/2006 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato
- [C2]** CNR-DT 211/2014 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo

### **Pubblicazioni**

- [P1]** Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale cura del Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (settembre 2017)
- [P2]** Linee Guida sul calcestruzzo strutturale a cura del Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (dicembre 1996)
- [P3]** La durabilità del calcestruzzo armato – Prof. Pietro Pedferri e Prof. Luca Bertolini – McGraw-Hill ed. 1/2000
- [P4]** La corrosione del calcestruzzo. Fenomenologia, prevenzione, diagnosi, rimedi – AICAP e Prof. Pietro Pedferri – ed. 9/2005
- [P5]** Durabilità e copriferro – Prof. Antonello Gasperi – Guida all'Eurocodice 2 – vol.1 – AICAP
- [P6]** Linee Guida per il Calcestruzzo Autocompattante – maggio 2005 – ERMCO (trad. ATECAP)
- [P7]** Codice di buona pratica per pavimenti in calcestruzzo ad uso industriale edito dall'Ente Nazionale Conpaviper



**Unical S.p.A.**

via Luigi Buzzi, 6  
15033 Casale Monferrato [AI]  
Italia

tel +39 0142 416111

[www.unicalcestruzzi.it](http://www.unicalcestruzzi.it)