Guida alla prescrizione della durabilità delle strutture in cemento armato

Secondo la normativa italiana ed europea

Indice

Prefazione 4

Sezione I La prescrizione della durabilità delle strutture in c.a. 6

1. Quadro normativo 8
1.1 La prescrizione della durabilità delle strutture secondo la normativa italiana ed europea 10
1.1.1 La normativa italiana 10
1.1.2 La normativa europea 11
1.1.3 La nuova progettazione 12
1.2 Le norme europee per ottenere il requisito di durabilità 15
1.2.1 Norme UNI EN 206-1 e UNI 11104 15
1.2.2 Norma UNI EN 1992-1-1 15
1.2.3 Norma UNI EN 13670-1 16

2. Prescrizione del calcestruzzo 18
2.1 Prescrizione della classe di esposizione 19
2.2 Prescrizione della classe di resistenza 22
2.3 Prescrizione del diametro massimo dell'aggregato 25
2.4 Prescrizione della classe di consistenza 26
2.4.1 La classe di consistenza 26
2.4.2 La consistenza autocompattante 27
2.5 Prescrizione della classe di contenuto in cloruri 28
2.6 Prescrizione dei componenti del calcestruzzo 29
2.7 Prescrizioni aggiuntive per il calcestruzzo 32

3. Prescrizione del copriferro 34

4. Altre prescrizioni per prevenire fenomeni di degrado 40

5. Prescrizione della messa in opera e della stagionatura 44
5.1 La stagionatura 45
5.2 Accorgimenti alle alte e basse stagionature 50
5.3 La vibrazione 51
5.4 Le tolleranze di esecuzione 51

Sezione II Strumenti operativi per il progettista strutturale 52

6. Relazione sui materiali e piano di manutenzione 54
6.1 Esempio di relazione sui materiali 56

7. Schemi semplificati per la prescrizione della durabilità delle strutture più frequenti 60
7.1 Ipotesi semplificative 61
7.1.1 Ipotesi semplificative relative alla prescrizione della classe di esposizione 61
7.1.2 Ipotesi semplificative relative alla prescrizione dei copriferri 62
7.1.3 Introduzione agli schemi semplificati delle schede 2, 3 e 4 62

Scheda 1 Indagini preliminari 64

Scheda 2 Prescrizione della durabilità delle strutture interrate 66

Scheda 3 Prescrizione della durabilità delle strutture in elevazione 68

Scheda 4 Prescrizione della durabilità delle pavimentazioni su massicciata 70

Scheda 5 Prescrizione della durabilità delle strutture idrauliche in acqua dolce 72

Scheda 6 Compilazione della tabella dei tipi di calcestruzzo 74

Allegato 1 Tolleranze di costruzione previste dalla norma prEN 13670:2008 76

Bibliografia 88

Prefazione

Esistono alcuni motivi storici che spiegano le cause per le quali fino ad oggi, eccetto qualche recente sporadico caso, non sia mai stata prescritta la durabilità delle costruzioni in calcestruzzo armato.
Questa esigenza è relativamente recente, fino a qualche decennio fa si pensava che la vita delle strutture fosse molto più lunga; la prima norma che accennava ai rimedi progettuali è stata la ENV 206 del 1990 (UNI 9858:1991).
Questo è il motivo per cui nessuna normativa cogente italiana, prima del 2005, ha mai prescritto che le opere progettate dovessero soddisfare il requisito essenziale della durabilità strutturale.
Occorre inoltre aggiungere che tale requisito è complicato da ottenere, perché condiziona l'operatività di tutti gli attori coinvolti nella costruzione: prescrittore, committente, impresa e produttore di calcestruzzo.
Oggi le cose stanno cambiando, soprattutto sulla spinta delle norme europee che affrontano e risolvono il problema della durabilità delle costruzioni. Bisogna tuttavia riconoscere che la normativa è in evoluzione: oggi è ancora di tipo prescrittivo (classi di esposizione), ma la tendenza, come per le verifiche strutturali, è quella di dare al prescrittore uno strumento prestazionale del tipo riportato nel "Codice Modello per la Vita Utile di Progetto" FIB Bullettin 34[N9]. Anche la normativa cogente italiana dal 2005, ha voltato pagina prescrivendo il requisito di durabilità delle costruzioni. Oggi sono disponibili anche testi autorevoli che spiegano e approfondiscono in maniera esauriente l'argomento, alcuni dei quali riportati in bibliografia[P1], [P2], [P3], [P4], [P5].
La tematica è semplice, soprattutto se paragonata alle conoscenze tecniche che occorrono per progettare, è ben spiegata, ma continua ad essere di difficile "digestione" da parte del mercato che stenta a metabolizzarla.
Questa pubblicazione può essere considerata l'ennesimo tentativo di dotare il progettista di un supporto atto a semplificare la prescrizione della durabilità.
Quindi il fine del documento non è quello di approfondire, ma di semplificare e velocizzare il lavoro del prescrittore.
A questo scopo il presente volumetto, volutamente sintetico, leggero, semplice, 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.
Questa semplificazione consente di avvicinare in maniera decisiva le scelte del progettista italiano (oggi molto lontane) a quanto previsto dalle norme europee. A tale proposito, un contributo decisivo è doveroso aspettarselo dal Progetto Concrete[A6], patrocinato dal Consiglio Superiore dei LL.PP., che ha come scopo primario la divulgazione tra i prescrittori dei concetti alla base di questo documento.
La convinzione dello scrivente 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.

Massimo Bocciolini
Sviluppo Applicazioni

mbocciolini@buzziunicem.it

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: "*sul calcestruzzo strutturale*", "*sui calcestruzzi strutturali ad alta resistenza*", "*per la produzione, il trasporto e il controllo del calcestruzzo preconfezionato*" e "*per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*".
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 Italia 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. Nell'edilizia ci sono pochissime norme con questa caratteristica: tra queste, ad esempio, ci sono quelle di applicazione della marcatura CE ai materiali da costruzione.
Il fatto che le Norme tecniche[N3] si limitino 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 ovviamente indispensabile aver letto attentamente la norma, prima di riportarla sul progetto, per conoscerne i limiti e l'applicabilità, ma soprattutto, per prescriverne 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. Infatti le norme armonizzate sono 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 altri 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.

1.1 La prescrizione della durabilità delle strutture secondo la normativa italiana ed europea

1.1.1 La normativa italiana

È noto che le Norme tecniche per le costruzioni[N1], 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 e di cui si prevede l'armonizzazione in tempi brevi), 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.
Si prevedono, nel prossimo futuro, numerosi aggiustamenti e modifiche delle Norme tecniche, ma, per molte novità, queste possono essere considerate un punto di non ritorno. Sicuramente lo sarà per quanto concerne la durabilità delle costruzioni.
Le Norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 definiscono la durabilità come la "*conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano garantiti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione*"[N3].
Le Norme tecniche hanno recepito dalla normativa europea un concetto nuovo per la legislazione italiana sulle costruzioni in c.a.: l'esigenza di trasferire all'opera i livelli di sicurezza, definiti in fase di progetto, 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 però non dicono cosa fare per ottenere il requisito di durabilità, si limitano a consigliare le norme europee. Più che un consiglio deve essere inteso come un **obbligo** dal momento che non si conoscono valide alternative.
La prevenzione della degrado delle strutture in c.a. si sviluppa nelle seguenti tre fasi[P2],[P3]:

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.

1.1.2 La normativa europea

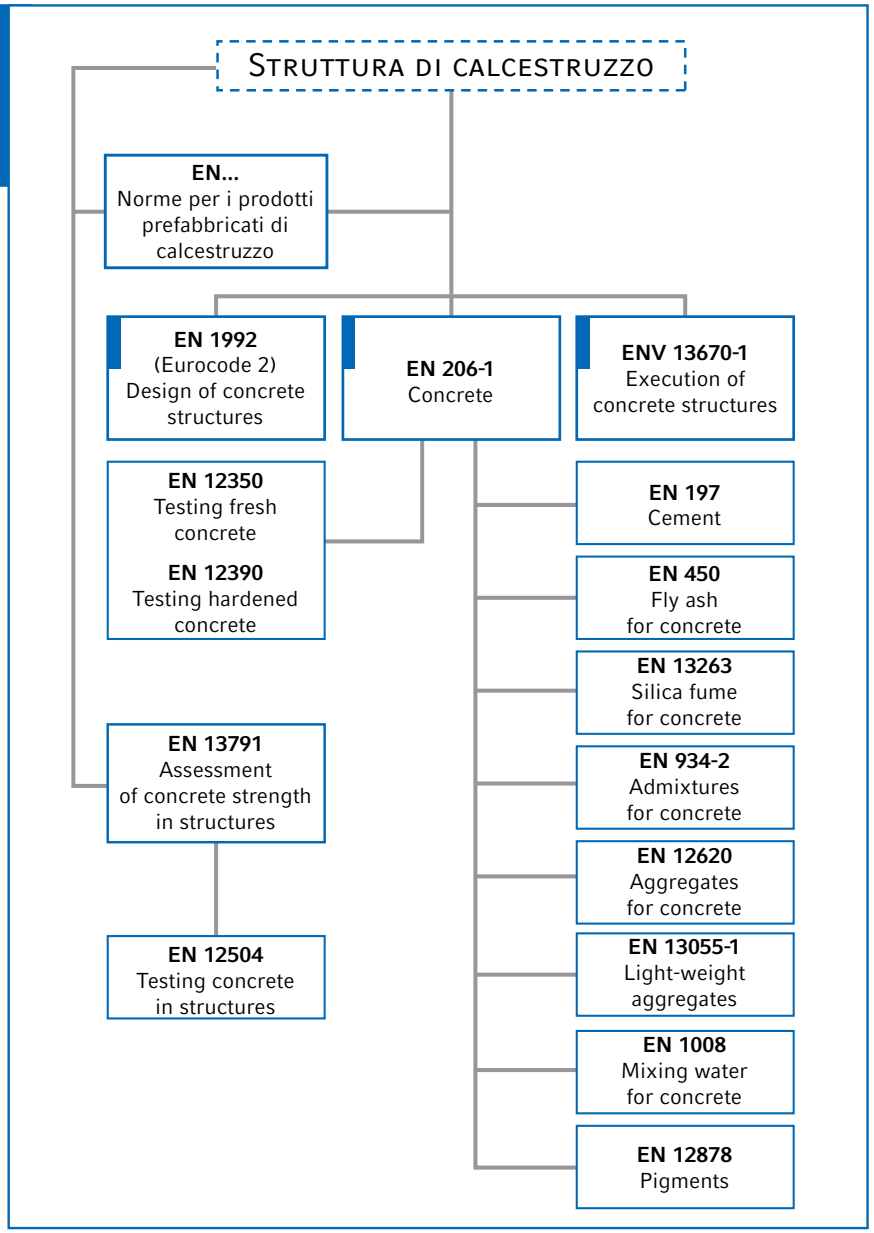
Come premesso, le norme europee hanno già affrontato e risolto il problema della durabilità delle strutture. La **Fig. 1.1** riporta lo schema normativo, estratto dalla UNI EN 206-1[N5], per la realizzazione delle costruzioni in c.a., dal concepimento all'esecuzione.
Solo il rispetto delle seguenti norme 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 paragrafo 5.3.2 della norma UNI EN 206-1:

> *"Le disposizioni valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo dovrebbero riportare i requisiti sulla base di una vita di esercizio prevista di almeno 50 anni nelle normali condizioni di manutenzione. ... Se il calcestruzzo è conforme ai valori limite, si deve presumere che il calcestruzzo nella struttura soddisfi i requisiti di durabilità per l'uso previsto nelle specifiche condizioni ambientali, a condizione che:*
> – *il calcestruzzo sia correttamente gettato, compattato e stagionato per esempio in conformità con la ENV 13670-1 oppure con altre norme pertinenti;*
> – *il calcestruzzo rispetti il copriferro minimo richiesto per le specifiche condizioni ambientali, in accordo con la norma di progetto pertinente, per esempio la ENV 1992-1"*

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 di calcestruzzo - Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici*[N4] 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 206-1 *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità*[N5] per prescrivere il calcestruzzo;
- la UNI EN 13670-1 *Esecuzione di strutture di calcestruzzo – Requisiti comuni*[N12] per prescrivere la messa in opera e la stagionatura.

FIGURA 1.1



Schema normativo, estratto dalla norma UNI EN 206-1, per la progettazione e la realizzazione di una costruzione in c.a..

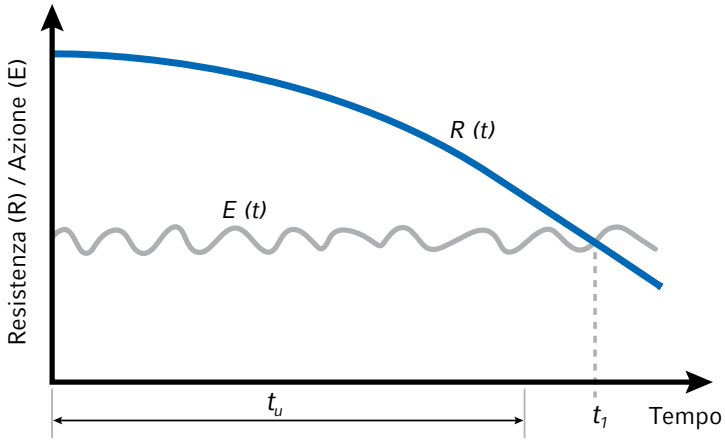
La **Fig. 1.3** riporta lo schema che riassume quanto proposto dalle norme italiane ed europee, che sintetizza il percorso logico che il progettista, d'ora in avanti, dovrà seguire per adempiere alle nuove esigenze di durabilità delle opere future.
Le normative italiane ed europee prescrivono di definire 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 sulla struttura: siano esse meccaniche (sisma, vento, neve, escursioni termiche), siano chimico-fisiche (umidità, temperatura, concentrazione di cloruri, anidride carbonica, solfati, ecc.). Tramite le norme UNI EN 1992-1-1 (cap.4), UNI EN 206-1 (cap.6) e UNI 11104 (la norma di recepimento in Italia della EN 206-1) è possibile definire le caratteristiche minime dei materiali e dei copriferri, parametri essenziali per procedere al dimensionamento degli elementi strutturali attraverso la modellazione agli elementi finiti. 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 13670-1. Si ricorda che, alla data di pubblicazione del presente documento, non esiste ancora la norma EN 13670-1, essendo la norma prEN 13670[N12] ancora in corso di approvazione da parte del CEN /TC 104 (vedi il paragrafo 1.2.3).

1.1.3 La nuova progettazione

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

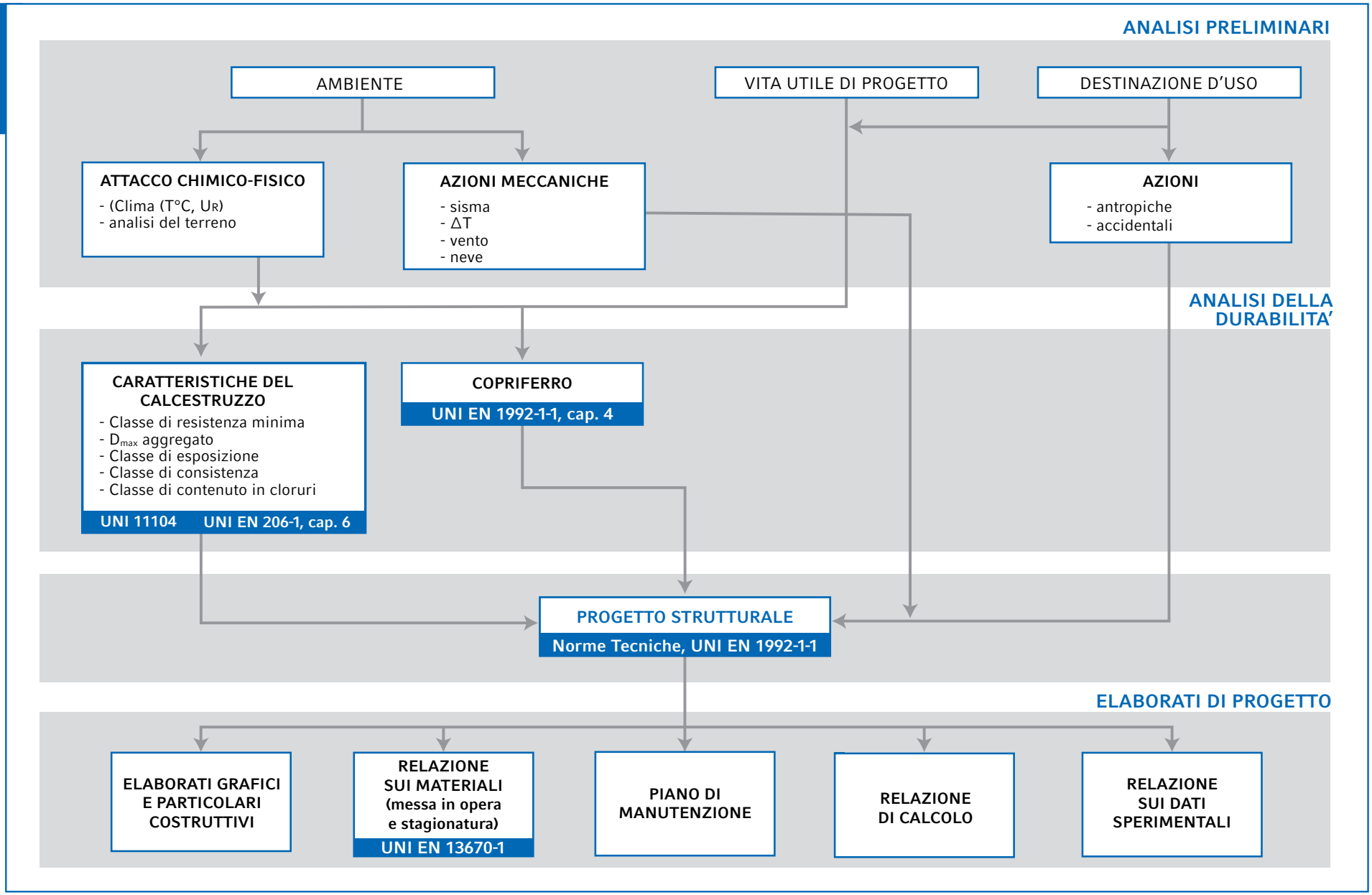
$$g(t) = R(t) - E(t)$$

FIGURA 1.2



Andamento ipotetico della resistenza e delle azioni in funzione del tempo in una struttura in c.a.[P6].

FIGURA 1.3

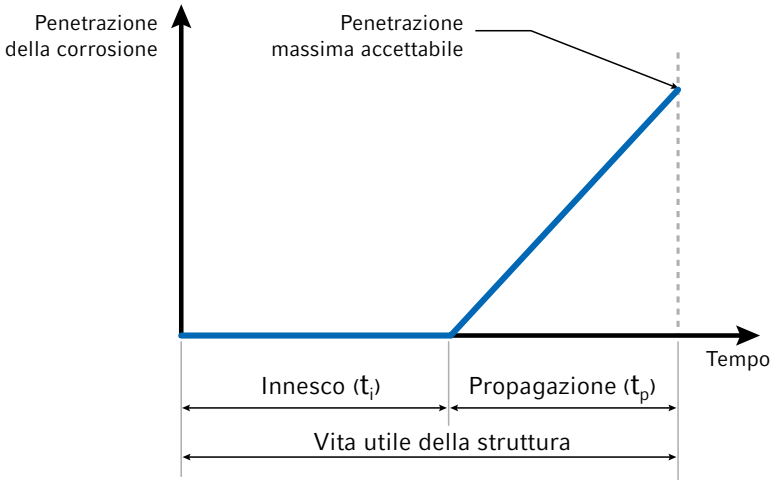


Schema logico che il progettista deve seguire per adempiere alle esigenze di durabilità delle opere in c.a.

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 nelle **Fig. 1.4 e 1.5**: dopo la fase di innesco, la corrosione delle armature si propaga gradualmente riducendo, più o meno direttamente, la capacità portante dell'opera.

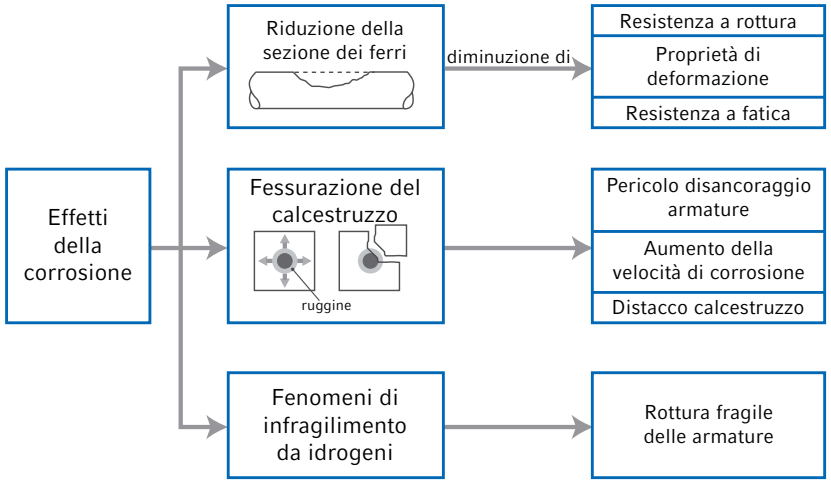
Il progetto della durabilità, come il tradizionale progetto strutturale, deve concentrarsi sul singolo elemento strutturale, tramite la gestione di tutti i fattori che ne influenzano il degrado, graficamente schematizzati in **Fig. 1.6.** In questo ambiente relativamente complesso, viene in aiuto la 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 di testi specializzati, alcuni dei quali riportati in bibliografia[P1],[P2],[P3],[P4],[P5].

FIGURA 1.5



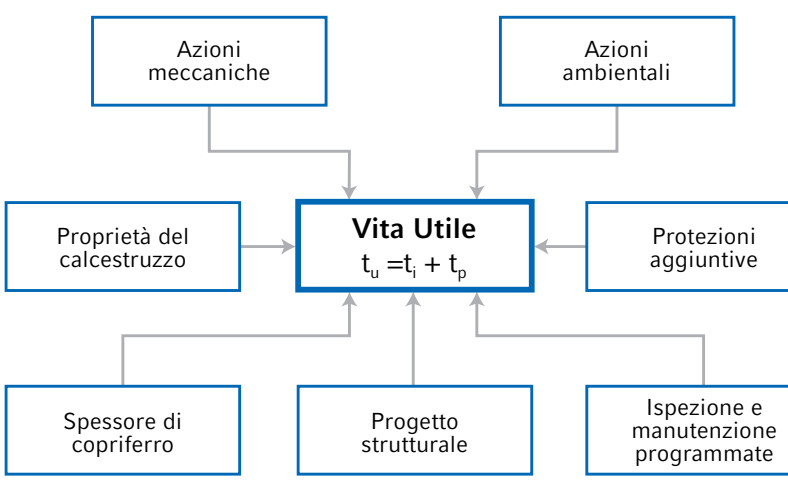
Modello di Tuutti: periodo di propagazione della corrosione in una struttura in c.a.[P2],[P3].

FIGURA 1.4



Conseguenza della corrosione delle armature [P2], [P3].

FIGURA 1.6



Fattori che determinano la vita di servizio di un elemento in c.a.[P2], [P3].

1.2 Le norme europee per ottenere il requisisto di durabilità

1.2.1 Le norme UNI EN 206-1 e UNI 11104

La norma UNI EN 206-1[N5] è la traduzione letterale della norma europea sul calcestruzzo che annulla e sostituisce, dall'ottobre 2001, la vecchia UNI 9858. La UNI ha però prodotto la norma UNI 11104[N6] per adeguare la norma europea al mercato italiano. In particolare, reintroduce le classi di resistenza C 28/35 e C32/40, sostituite dalla C30/37 nella UNI EN 206-1: questa lacuna è giustificata dal fatto che nel nord d'Europa vengono utilizzati provini cilindrici mentre in Italia si preferiscono quelli cubici. La UNI 11104, inoltre, modifica leggermente il prospetto F.1 della UNI EN 206-1 con il prospetto 4 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 EN 206-1 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 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 206-1 è dedicato alla specifica del calcestruzzo, e quindi al progettista, che viene chiamato a definirne i seguenti parametri (capitolo 6.2.2):

" a) una richiesta di conformità alla EN 206-1:
b) la classe di resistenza a compressione;
c) le classi di esposizione;
d) la dimensione massima nominale dell'aggregato;
f) la classe di contenuto in cloruri in accordo al prospetto 10;
g) la classe di massa volumica per i calcestruzzi leggeri;
h) la classe di consistenza oppure, in casi speciali, un valore di riferimento per la consistenza."

Per le norme europee, quindi, la scelta del tipo di calcestruzzo e delle condizioni di fornitura è di pertinenza del prescrittore, in maniera analoga a quanto prescritto dalle Norme tecniche[N3].

1.2.2 La norma UNI EN 1992-1-1

La norma UNI EN 1992-1-1[N4] è la traduzione letterale della norma europea che regola la progettazione delle strutture in calcestruzzo armato, completata dall'Appendice Nazionale all'Eurocodice 2[N10].
Per quanto concerne la prescrizione della durabilità, la norma è strutturata in maniera più logica delle Norme tecniche[N3]: 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 NT il requisito della durabilità viene riportato nel capitolo 11, senza spiegare, in maniera rigorosa, su quali parametri agire per ottenerlo.
L'Eurocodice 2, nel paragrafo 4.2, fa riferimento esplicito alla UNI EN 206-1 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 (paragrafo 4.4.1), e dell'ampiezza massima accettabile delle fessure nella verifica agli stati limite di esercizio (paragrafo 7.3).

1.2.3 La norma EN 13670-1

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 (UNI ENV 13670-1[N7], prEN 13670:2008[N12]) 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. In allegato alla norma è possibile consultare una completa checklist utile al prescrittore e al direttore dei lavori. Al momento, in Italia, è disponibile solo una versione provvisoria in inglese: a breve sarà disponibile quella definitiva (prEN 13670:2008[N12]) che, con ogni probabilità, verrà tradotta in italiano dalla UNI. Il documento prevede l'esistenza di un elaborato tecnico di progetto dedicato all'esecuzione della struttura: "*execution specification*", cioè le specifiche di messa in opera; qualcosa di simile a quanto prescritto dalle Norme tecniche[N3] nel paragrafo 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 precompresse e consente di non redigere la relazione di controllo ("inspection report"), 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. 1.7** si riporta la tabella 3 tradotta dalla norma prEN 13670:2008[N12]. 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 paragrafo 5.1.1. 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 1.7

	Classe di esecuzione 1	Classe di esecuzione 2	Classe di esecuzione 3
Tipo di ispezione	Ispezione visiva con misurazioni casuali	Ispezione visiva e misurazioni sistematiche e regolari	Ispezione visiva. Controllo dettagliato di tutte le lavorazioni che sono significative per la capacità portante e la durabilità della struttura.
Chi effettua le ispezioni	Auto ispezione	Auto ispezione. Ispezione in conformità con le procedure del costruttore. Possibili requisiti aggiuntivi riportati nelle specifiche di messa in opera.	Auto ispezione. Ispezione in conformità con le procedure del costruttore. Requisiti aggiuntivi riportati nelle specifiche di messa in opera.
Estensione dell'ispezione	Tutte le lavorazioni	Oltre all'auto ispezione, occorre attuare un controllo regolare e sistematico delle lavorazioni.	Oltre all'auto ispezione, occorre attuare un controllo regolare e sistematico delle lavorazioni.
Relazione di ispezione	Non necessaria	Necessaria	Necessaria

Tipo e documentazione di controllo; traduzione della tabella 3 estratta dalla norma prEN 13670:2008[N12].

TORINO ICE

2. Prescrizione del calcestruzzo

2.1 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 6. Nelle Norme tecniche[N3] non c'è molta chiarezza nella scelta del documento che definisce le classi di esposizione. Ne vengono introdotti ben 3: le norme UNI EN 206-1[N5], UNI 11104[N6] e le Linee guida sul calcestruzzo strutturale[P1] 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, 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 4 (**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 poco tempo. Infatti chi generalmente progetta costruzioni in una provincia della Lombardia non avrà mai a che fare con la classe XS e, eseguita l'analisi una volta, le successive saranno analoghe.

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 interrate (muri, platee e travi di fondazione, pali 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 e 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, generalmente orizzontali o scoperte, soprattutto se stagnante, 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).

Alla luce di quanto esposto, tutte le strutture in elevazione che sono in contatto con l'ambiente esterno, possono essere considerate in classe di esposizione XC4, se sono direttamente in 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, pulvini, solai, baggioli, setti.

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 sotto zero: 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**.

FIGURA 2.1

Denominazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non agressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
2 Corrosione indotta da carbonatazione Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immersa in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in estrerni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzo a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2.
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superfice immersa in acqua contente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.

FIGURA 2.1

Denominazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
5 Attacco di cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti *)		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo con facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo alla pioggia o all'acqua.
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetto ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua in presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.
6 Attacco chimico **)		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarichi industriali.

*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:
- moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione
- elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.

**) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.

Prospetto 1 estratto dalla UNI 11104 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
Massimo rapporto *a/c*	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza*)	C12/15	C25/30		C28/35	C32/40	C32/40	C35/45		C28/35	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30		C28/35	C28/35	C32/40	C35/45
Minimo contenuto di cemento (kg/m^3)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0[a)]					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati[b)]		

*) Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le perscrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.

b) Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Prospetto 4 estratto dalla UNI 11104 in cui vengono elencati i requisiti minimi del calcestruzzo per ciascuna classe di esposizione ambientale.

FIGURA 2.3

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

Caratteristica chimica	Metodo di prova chimica di riferimento	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno				
SO_4^{2-} mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3000	>3000 e ≤6000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO_2 mg/l aggressiva	prEN 13577:199-9	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH_4^+ mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Terreno				
SO_4^{2-} mg/kg[a] totale	EN 196-2[b]	≥2000 e ≤3000[c]	>3000[c] e ≤12000	>12000 e ≤24000
Acidità ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	

[a] I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10^{-5} m/s possono essere classificati in una classe inferiore

[b] Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO_4^{2-} mediante acido cloridrico; in alternativa si può usare l'estrazione con acqua se nel luogo di impiego del calcestruzzo c'è questa pratica.

[c] Il limite di 3000 mg/kg, deve essere ridotto a 2000 mg/kg se esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essicamento/bagnatura oppure suzione capillare.

Prospetto 2 estratto dalla norma UNI EN 206-1 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[N3]

FIGURA 2.5

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	Frequente	ap. fessure	≤ W_2	ap. fessure	≤ W_3
		Quasi permanente	ap. fessure	≤ W_1	ap. fessure	≤ W_2
b	Aggressive	Frequente	ap. fessure	≤ W_1	ap. fessure	≤ W_2
		Quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ W_1
c	Molto aggressive	Frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ W_1
		Quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ W_1

Tabella 4.1.IV di classificazione dei criteri di scelta dello stato limite di fessurazione estratta dalle Norme tecniche[N3].

2.2 Prescrizione della classe di resistenza

La classe di resistenza di ogni singolo elemento di un'opera viene stabilita in base alle esigenze strutturali, in funzione delle 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 (paragrafo 2.2).

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[N3] prescrivono che "*le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale sono quelle definite nella UNI EN 206-1 e nella UNI 11104 di recepimento*" (**Fig. 2.6**).

I calcestruzzi di classe di resistenza compresa tra C70/85 e C90/105 potranno essere utilizzati "*previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*"[N3].

Per i calcestruzzi di classe di resistenza compresa tra C45/55 e C 60/75, "*la resistenza caratteristica e tutte le grandezze meccaniche e fisiche che hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato vanno accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione preventiva e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità*"[N3].

Le Norme tecniche[N3] consentono l'utilizzo di calcestruzzi leggeri per impieghi strutturali e indicano la norma UNI EN 206-1 per identificare le classi di densità e di resistenza normalizzate (**Fig. 2.7**), con la limitazione della classe di resistenza massima (LD 55/60) e del diametro massimo delle barre di armatura (32 mm).

Soprattutto per classi di resistenza elevate, è possibile prescrivere la classe determinata a una stagionatura più lunga dei 28 gg canonici: generalmente 56 o 90 gg. Per motivi di tempo, può essere necessario richiedere una prestazione di resistenza alle basse stagionature. In questo caso si raccomanda di contattare un produttore di calcestruzzo preconfezionato per verificare la compatibilità con la resistenza caratteristica a 28 gg. Ad esempio, se è stata prevista una classe di resistenza C28/35, ma occorre garantire una resistenza media di 30 MPa a 7 gg, potrebbe essere più giusto effettuare i calcoli con una classe C35/45.

FIGURA 2.6

Classi di resistenza a compressione normalizzate per calcestruzzo normale e pesante

C8/10	C40/50
C12/15	C45/55
C16/20	C50/60
C20/25	C55/67
C25/30	C60/75
C28/35*	C70/85
C30/37	C80/95
C32/40*	C90/105
C35/45	C100/115

Classi di resistenza previste dalle norme UNI EN 206-1 e UNI 11104(*) per i calcestruzzi normali.

FIGURA 2.7

Classi di resistenza a compressione normalizzate per calcestruzzo leggero

L8/10	L40/44
L12/13	L45/50
L16/18	L50/55
L20/22	L55/60
L25/28	L60/66
L30/33	L70/77
L35/38	L80/88

Classi di resistenza previste dalla norma UNI EN 206-1 per i calcestruzzi leggeri.

2.3 Prescrizione del diametro massimo dell'aggregato

Si ricorda che, per convenzione, il diametro massimo di un aggregato si identifica con l'apertura del setaccio. Generalmente vengono utilizzati aggregati di dimensione massima inferiore a 32 mm, quindi si raccomanda di non prescrivere calcestruzzi che contengano aggregati con diametri superiori.

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[N3] prescrivono nel paragrafo 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*".

La vecchia norma ENV 206-1 (UNI 9858:91 *Calcestruzzo - Prestazioni, produzione, posa in opera e criteri di conformità*) consigliava i seguenti ragionevoli valori del diametro massimo dell'aggregato:

D_{max} < copriferro in mm moltiplicato per 1,3

D_{max} < interferro (in mm) – 5 mm

D_{max} < ¼ della sezione minima dell'elemento strutturale.

2.4 Prescrizione della classe di consistenza

2.4.1 La classe di consistenza

La classe di consistenza rappresenta un indice della lavorabilità del calcestruzzo, cioè la capacità del calcestruzzo di lasciarsi introdurre e stendere nella cassaforma, di avvolgere le barre di armatura, di riempire l'interno della forma e di espellere l'eccesso di aria inglobata durante la fase di vibrazione.
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 S2-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. 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 30-50 anni. 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 (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 vibrate con forti pendenze (falde), getti non pompati, plinti poco armati.

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

S5 per il getto di strutture pompate a prevalente sviluppo orizzontale con pendenze modeste, solai, travi, travi rovesce, platee, solette, plinti, pavimenti, setti, muri e pilastri fortemente armati. Si ricorda che la classe S5 prevede un abbassamento al cono di Abrams maggiore di 210 mm senza definire un limite superiore. Per evitare calcestruzzi troppo fluidi, ad alto rischio di segregazione, è possibile sfruttare l'opportunità della norma UNI EN 206-1 che consente di prescrivere una consistenza di riferimento. Ad esempio il capitolato Pavical[P8], per l'esecuzione di pavimenti industriali a stesura manuale, prescrive una consistenza di riferimento di 220 mm (con le tolleranze previste significa un abbassamento al cono compreso tra 190 e 250 mm). In alternativa è possibile prescrivere, congiuntamente alla classe di consistenza S5, una quantità di acqua essudata inferiore a 0,5 l/m^{2}h valutata in conformità alla norma UNI 7122 *Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità d' acqua d' impasto essudata*.
In bibliografia è possibile reperire suggerimenti sui valori ottimali della classe di consistenza per gli elementi strutturali più comuni[P5].
Un fattore importante è il **mantenimento della lavorabilità**: durante il tempo necessario allo svuotamento dell'autobetoniera, il calcestruzzo deve mantenere la lavorabilità riportata in bolla.
Per ottenere questo importante obiettivo occorre lavorare su più livelli:

- è possibile richiedere al produttore di calcestruzzo di garantire un tempo mantenimento della lavorabilità di **1-2 ore** dalla fine del carico dell'autobetoniera: all'interno di questo intervallo di tempo, si raccomanda di prescrivere che il produttore garantisca la lavorabilità per un periodo minimo di 30 minuti a un massimo di 1 ora dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere;
- l'impresa, nel caso di getti lenti di elementi strutturali particolari, come pilastri, setti, scale, tetti, deve ordinare quantitativi che può riuscire a gestire in questo lasso di tempo, oppure deve ordinare un

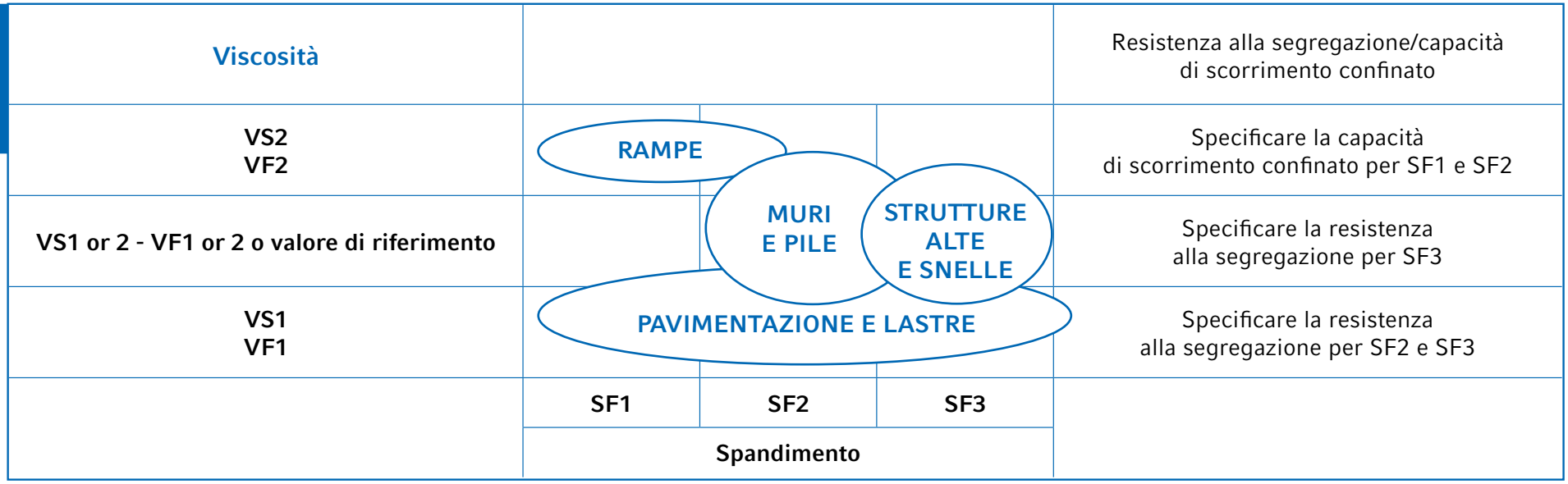
calcestruzzo con classe di consistenza superiore. In quest'ultimo caso, in alternativa, è possibile richiedere al produttore, ad esempio, un calcestruzzo in classe di consistenza S5, confezionato riducendo il quantitativo di acqua fino ad ottenere una classe di consistenza S4. Questo stratagemma consente di aggiungere acqua, quando il calcestruzzo perde la lavorabilità, fino al quantitativo massimo trattenuto in centrale (l /m^3), facendo attenzione al volume effettivo di calcestruzzo presente in autobetoniera al momento della correzione. È comunque opportuno che questa procedura sia attivata sotto la stretta sorveglianza e responsabilità di un tecnologo del produttore di calcestruzzo.

2.4.2 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 11040 è un po' datata anche se tuttora vigente in Italia; richiama tutte le prove previste per la caratterizzazione della consistenza autocompattante;
- *Linee Guida Europee per il calcestruzzo autocompattante* del maggio 2005 è il documento ad oggi 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;
- la norma europea EN 206-9 è in fase di ultimazione e presto sarà disponibile.

Figura 2.8



Prospetto che indica i parametri e le classi di consistenza per specificare il calcestruzzo autocompattante per diverse applicazioni[P9].

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. 2.8.** (pagina 27) I criteri di conformità previsti nei controlli di accettazione sono riportati in **Fig. 2.9**.

2.5 Prescrizione della classe di contenuto in cloruri

Sappiamo 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., come succede nell'ambiente marino e dove vengono usati i sali disgelanti, ma possono essere veicolati anche dalle materie componenti il calcestruzzo, che possono contenerne una certa quantità.
Ad esempio alcuni additivi acceleranti o l'acqua di pozzo in prossimità della zona costiera possono contenere una certa quantità di cloruri. La norma UNI EN 206-1 prescrive al produttore di calcestruzzo di controllare il contenuto di cloruri in ciascuna componente, esprimendolo come percentuale di ioni cloruro rispetto alla massa di cemento e di verificare la classe di appartenenza di ogni miscela in funzione del prospetto 10 riportato in **Fig. 2.10**.
"*Per la determinazione del contenuto in cloruri del calcestruzzo, si deve calcolare la somma dei contributi apportati dai materiali componenti*" [N5].
A tale scopo la norma fornisce al produttore di calcestruzzo due metodi di calcolo.

FIGURA 2.9

Proprietà	Criteri
Classe di spandimento SF1	≥ 520 mm, ≤ 700 mm
Classe di spandimento SF2	≥ 640 mm, ≤ 800 mm
Classe di spandimento SF3	≥ 740 mm, ≤ 900 mm
Classe di spandimento specificata come valore di riferimento	± 80 mm rispetto al valore di riferimento
Classe imbuto V VF1	≤ 10 s
Classe imbuto V VF2	≥ 7s, ≤ 27s
Classe imbuto a V specificata come valore di riferimento	± 3s

Criteri di conformità per il calcestruzzo autocompattante estratti dal Prospetto 6 delle Linee Guida ERMCO [P9].

FIGURA 2.10

Impiego del Calcestruzzo	Classe di contenuto in cloruri[a)]	Massimo contenuto di Cl^- rispetto alla massa del cemento[b)]
In assenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici (ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione)	CI 1,0	1,0 %
In presenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici	CI 0,20	0,20 %
	CI 0,40	0,40 %
In presenza di armatura d'acciaio da precompressione	CI 0,10	0,10 %
	CI 0,20	0,20 %

a) la classe da applicare per uno specifico utilizzo del calcestruzzo dipende da disposizioni valide nel luogo di impegno del calcestruzzo
b) Qualora siano impiegate aggiunte di tipo II e siamo considerate nel computo del dosaggio di cemento, il contenuto in cloruri viene espresso come percentuale di ioni cloruro in massa rispetto al cemento + la massa totale delle aggiunte considerate.

Prospetto 10 estratto dall norma UNI EN 206-1 in cui vengono definite le classi di contenuto in cloruri in funzione dell'impiego del calcestruzzo.

2.6 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. Nella quasi totalità dei casi è sufficiente richiamare in capitolato la conformità del calcestruzzo alla norma UNI EN 206-1 per definire univocamente le proprietà di queste e le norme per controllarle, così come sintetizzato in **Fig.1.1**.
Un'osservazione a parte la meritano gli aggregati: la marcatura CE secondo la norma UNI EN 12620$_{[N16]}$ con sistema di attestazione 2+ prescritta dalle Norme tecniche$_{[N3]}$ per gli aggregati, non garantisce necessariamente l'idoneità di questi alla produzione di calcestruzzo. Per questo le stesse Norme tecniche raccomandano di fare utile riferimento alla norma UNI 8520 parte 1 e 2$_{[N14,N15]}$ che indica 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.
Si analizzano brevemente i casi in cui è raccomandabile specificare, in fase di progetto, alcune proprietà delle materie prime.
Si rimanda al paragrafo 2.7 per la descrizione dei numerosi altri materiali che possono essere utilizzati nel confezionamento di calcestruzzo o per la prescrizione di prestazioni aggiuntive.

2.6.1 Cemento

Possono essere utilizzati solo cementi provvisti di attestato di conformità CE con i requisiti prescritti dalla norma UNI EN 197-1.
È possibile fare ricorso a cementi con prestazioni particolari nei seguenti casi:

2.6.1.1. Cemento bianco per eseguire getti di colore bianco o come base per ottenere un calcestruzzo pigmentato di colorazione brillante.

2.6.1.2. Cementi tipo III e tipo IV per l'esecuzione di getti in clima marino o in presenza di cloruri (classi di esposizione XS e XD).

2.6.1.3. Cementi tipo LH (norma UNI EN 197-1) a basso calore di idratazione per impieghi di calcestruzzo in getti massivi, soprattutto se fortemente sollecitati.

2.6.1.4. Cementi resistenti ai solfati, nelle applicazioni in cui sono previsti. La prestazione sarà proporzionale alla concentrazione degli ioni solfato in accordo alle norme UNI 9156$_{[N24]}$, UNI 11104 e UNI EN 206-1. La norma UNI 8981-2$_{[N22]}$ prescrive il tipo MRS (moderata resistenza ai solfati) per la classe di esposizione XA1, il tipo ARS (alta resistenza ai solfati) per la classe di esposizione XA2 e il tipo AARS (altissima resistenza ai solfati) per la classe di esposizione XA3.

2.6.1.5. Cementi resistenti al dilavamento causato dalle acque contenenti anidride carbonica aggressiva. La prestazione sarà proporzionale alla concentrazione dell'anidride carbonica aggressiva disciolta nell'acqua in accordo alle norme UNI 9606$_{[N25]}$, UNI 11104 e UNI EN 206-1. La norma UNI 8981-3$_{[N23]}$ prescrive il tipo MRD (moderata resistenza al dilavamento) per la classe di esposizione XA1, il tipo ARD (alta resistenza al dilavamento) per la classe di esposizione XA2 e il tipo AARD (altissima resistenza al dilavamento) per la classe di esposizione XA3.

2.6.2 Aggregati

Anche gli aggregati utilizzati per il confezionamento del calcestruzzo devono essere provvisti di attestato di conformità CE secondo la norma UNI EN 12620[N16] che si limita a classificarli. Tuttavia, la norma che definisce le caratteristiche che devono possedere gli aggregati, se utilizzati nel calcestruzzo, sono contenute nella norma UNI 8520-2[N15], richiamata a tal fine come "utile riferimento", dalle Norme tecniche[N3].
Si riportano di seguito le principali prestazioni in funzione del materiale e dell'applicazione.

2.6.2.1 Aggregati di riciclo. Le Norme tecniche[N3], in conformità alla norma europea UNI EN 206-1, consentono l'uso di aggregati di riciclo, condizionato dall'origine del materiale, dalla destinazione finale e dalle prestazioni del calcestruzzo, come riportato nella Tabella 11.1.III riportata in **Fig. 2.11**.

2.6.2.2 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[N15]: In particolare l'ìaggregato grosso deve avere assorbimento ≤ 1% oppure deve appartenere alle classi di resistenza al gelo inferiori o uguali a F2 o M25. Questa caratteristica è molto importante, soprattutto nei pavimenti industriali[P7],[P8] 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.

2.6.2.3 Reazione alcali-aggregato. La norma UNI 8520-2[N15] consente l'utilizzo di aggregati potenzialmente reattivi se la miscela di calcestruzzo soddisfa la prova riportata nella norma UNI 8520-22[N26]. 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[P8].

2.6.2.4 Contaminanti leggeri. La norma UNI 8520-2[N15] 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 prescrivendo un calcestruzzo conforme al Capitolato Pavical[P8].

2.6.2.5 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 8520-2[N15] richiama la norma UNI EN 1097-2 per la valutazione del Coefficiente Los Angeles, fornendo i valori di riferimento per alcune applicazioni.

FIGURA 2.11

Origine delle materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	Percentuale di impegno
Demolizione di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%
Demolizione di solo calcestruzzo e c.a.	≤ C30/37	≤ 30%
	≤ 20/25	fino 60%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	≤ 45/55	fino al 15%
da calcestruzzi > C45/55	Stessa classe del calcestruzzo di origine	fino al 5%

Tabella 11.2.III estratta dalle Norme tecniche[N3] in cui vengono prescritti i quantitativi di aggreganti di riciclo che è possibile utilizzare nel confezionamento del calcestruzzo in base all'origine del materiale, l'impiego e le prestazioni del calcestruzzo.

2.6.3 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[N15]. 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 206-1. Appartengono a questa famiglia le ceneri volanti, a cui viene prescritta la conformità alla norma UNI EN 450[N27] e i fumi di silice, a cui viene prescritta la conformità alla norma UNI EN 13263[N28].

2.6.4 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
- le prestazioni sono misurabili, i dosaggi no
- 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.

2.6.5 Acqua

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

2.7 Prescrizioni aggiuntive per il calcestruzzo

Oltre al minimo previsto dal capitolo 6 della norma UNI EN 206-1, al calcestruzzo possono essere richiesti molti altri requisiti aggiuntivi, la cui specificazione può influire sulle prescrizioni base. Ad esempio, se è stato previsto per una fondazione un calcestruzzo Rck 30 XC2, ma si pretende da questo una penetrazione massima all'acqua, secondo la norma UNI EN 12360-9 di 10 mm, per ottenerla potrebbe essere indispensabile elaborare una formulazione particolare del calcestruzzo che aumenti la resistenza caratteristica minima e/o si riduca ulteriormente il rapporto a/c.
È indispensabile quindi approfondire, con l'aiuto di un tecnologo esperto di calcestruzzo, la compatibilità delle prescrizioni aggiuntive tra loro e con quelle minime previste. Viene riportata di seguito una lista di requisiti aggiuntivi che possono essere richiesti al calcestruzzo.

2.7.1 **Mantenimento della lavorabilità**: è il tempo, misurato dalla fine del carico dell'autobetoniera, nel quale il calcestruzzo deve mantenere la consistenza riportata in bolla; generalmente non supera le due ore. Questa prescrizione è molto importante ed è trattata nel paragrafo 2.4.

2.7.2 **Resistenza alle basse stagionature**: può venire richiesta, insieme alla resistenza caratteristica, anche una resistenza media o caratteristica minima, ad un determinato tempo dalla fine del getto, che generalmente varia da 12h a 3-7gg.

2.7.3 **Resistenza garantita a trazione e/o flessione**.

2.7.4 **Modulo di elasticità a compressione**: raramente richiesto, può essere rilevato e quindi garantito.

2.7.5 **Gradienti termici controllati**: qualche volta richiesto nei getti massivi di basamenti di grandi macchine.

2.7.6 **Ridotti tempi di disarmo**: vedi par. 2.7.2

2.7.7 **Precoce entrata in servizio**: vedi par. 2.7.2

2.7.8 **Allungamento o ritardo dei tempi di presa e di primo indurimento** in funzione della temperatura: è una prestazione generalmente richiesta durante le stagioni invernali o estive, quando è prevista una lavorazione successiva, come nei pavimenti industriali (tempi di frattazzabilità, vedi Pavical$_{[P8]}$).

2.7.9 **Tipo di cemento** (pozzolanico, altoforno, resistente ai solfati) per applicazioni in ambienti particolarmente aggressivi come quello marino o in presenza di forti concentrazioni di cloruri o di solfati (vedi paragrafo 2.6.9).

2.7.10 **Resistenza alla penetrazione all'acqua, ai cloruri, ai solfati**, ecc: queste prestazioni sono misurabili e quindi possono essere garantite.

2.7.11 **Ritiro e viscosità garantiti**: la prima prestazione è spesso richiesta nei ripristini e nei getti orizzontali, soprattutto pavimenti industriali (vedi Pavical$_{[P8]}$), la seconda, soprattutto quando l'elemento strutturale viene disarmato o messo in servizio alle basse stagionature (prefabbricazione e precompressione).

2.7.12 **Colore** (aggiunte, pigmenti, aggregati, cemento), **faccia a vista** ed altre esigenze architettoniche.

2.7.13 **Massa volumica**: generalmente richiesta per ristrutturazioni o in coibentazioni in quanto facilmente correlabile ai coefficienti di conducibilità termica.

2.7.14 Utilizzo di **aggiunte** particolari, come le ceneri volanti, i fumi di silice e filler di varia natura per migliorare prestazioni come la pompabilità, la resistenza, la permeabilità del calcestruzzo e quindi la durabilità della struttura in ambienti aggressivi.

2.7.15 **Materiali o additivi particolari**: fibre strutturali (acciaio, carbonio, polipropilene, vetro), microfibre in polipropilene e additivi speciali (addensanti, impermeabilizzanti, modificatori di viscosità, ecc). Si raccomanda vivamente di preferire la prescrizione della prestazione, rispetto al dosaggio di un determinato additivo o altro materiale, in quanto il progettista non può conoscere la compatibilità dell'additivo prescritto con le altre componenti nel calcestruzzo, non è in grado

di verificarne l'effettivo dosaggio raccomandato, e che il dosaggio consigliato garantisca veramente i risultati previsti.

2.7.16 Utilizzo di **aggregati** particolarmente esenti da impurità (elementi leggeri) e/o a bassissimo rischio o esenti da reazione alcali-aggregato: questi requisiti sono spesso prescritti nei pavimenti industriali (vedi Pavical$_{[P8]}$ e paragrafo 2.6.2).

2.7.17 Basso contenuto di **aria intrappolata**: l'aria presente nel calcestruzzo può portare alla riduzione della resistenza in opera e al distacco dello strato indurito di finitura a spolvero nei pavimenti industriali (vedi Pavical$_{[P8]}$).

2.7.18 Limite superiore all'**acqua essudata** (acqua di bleeding): un eccesso di acqua essudata può portare al distacco dello strato indurito di finitura a spolvero nei pavimenti industriali (vedi Pavical$_{[P8]}$) o a un copriferro permeabile e poco resistente in una soletta.

2.7.19 È possibile utilizzare l'**aggregato grosso baritico** per l'esecuzione di camere che devono schermare radiazioni emesse da macchinari contenute in esse.

2.7.20 È possibile richiedere una determinata **resistenza all'usura**, ad esempio per l'esecuzione di manti stradali, utilizzando l'aggregato grosso basaltico.

2.7.21 Utilizzo dei **calcestruzzi leggeri strutturali**. Le Norme tecniche$_{[N3]}$ consentono l'utilizzo di questi calcestruzzi e indicano la norma UNI EN 206-1 per identificare le classi di densità e di resistenza normalizzate. Le Norme tecniche limitano l'uso dei calcestruzzi leggeri alla classe LC 55/60 e alle barre di diametro inferiore a 32 mm e indicano come norma di calcolo la sezione 11 della norma UNI EN 1992-1-1$_{[N4]}$.

2.7.22 **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 frattura. Questi calcestruzzi, oggigiorno utilizzati prevalentemente nell'esecuzione di pavimenti industriali, solette collaboranti e nel calcestruzzo proiettato, consentono di sostituire interamente o parzialmente l'armatura classica. Per la progettazione di strutture realizzate con materiali compositi occorre fare riferimento alla norma CNR-DT 204$_{[N17]}$ e per il controllo dei materiali possono essere utilizzate in alternativa la norma europea EN 14651$_{[N18]}$ o l'italiana UNI 11039 parte 1 e 2$_{[N19,20]}$.

2.7.23 **Calcestruzzi subacquei**. É possibile prescrivere questa tipologia di calcestruzzi (da non confondere con quelli che garantiscono la classe di esposizione XS) per realizzare getti sott'acqua, capaci di garantire classi di resistenza comprese tra C20/25 e C25/30 (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.

2.7.24 **Calcestruzzi a ritiro controllato**. Dei così detti "calcestruzzi antiritiro" si possono distinguere due tipologie. La prima, più conosciuta, è quella dei calcestruzzi a ritiro compensato (o meglio "controllato") in cui si fanno uso di agenti espansivi come gli ossidi di calcio e di alluminio. Di questi è possibile garantire il ritiro idraulico in condizioni standard definite dalla norma UNI 6555-73$_{[N1]}$. La riduzione di ritiro va progettata in funzione del contrasto realizzato dalle armature. La seconda tipologia di calcestruzzi utilizza particolari additivi stagionanti e che riducono il "ritiro differenziale" cioè nello spessore di solette e pavimenti industriali limitando la formazione di fessurazione connesse a questo fenomeno e gli imbarcamenti.

2.7.25 **Malte fluide da riempimento**. Per la loro bassa ma controllata resistenza e rigidezza si utilizzano per l'esecuzione di scavi stradali o di terrapieni provvisori.

3. Prescrizione del copriferro

Il Decreto Ministeriale del 1996[N2] prescrive 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 per "condizioni aggressive" non ben definite. La UNI 8981-5 del 1999[N7] prescrive 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[N1] prescrivono solo il valore minimo del copriferro per elementi monodimensionali (travi e pilastri) pari a 20 mm.
Le Norme tecniche del 2008[N3] nel paragrafo 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[N4] 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 capitolo 4.4.1 il valore nominale del copriferro:

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

dove:

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

in cui

$$\Delta c_{dev} = 10mm \text{ e } \Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0_{[N10]}$$

$c_{min,b}$ è il copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature.
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[N10].
Se la dimensione nominale massima dell'aggregato è maggiore di 32mm, la norma raccomanda di maggiorare $c_{min,b}$ di 5 mm.

$c_{min,dur}$ è il copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali e si ricava dai prospetti 4.3N **(Fig. 3.1)**, 4.4N **(Fig. 3.2)** e 4.5N **(Fig. 3.3)** 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 del calcestruzzo è sottoposta a un rigoroso controllo di qualità, si riduce la classe strutturale di 1.

FIGURA 3.1

Classe Strutturale							
Criterio	**Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1**						
	XO	**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 [1) 2)]	≥ 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	≥ C45/55 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$_{[N4]}$ che permette di variare la classe strutturale in funzione di alcuni criteri costruttivi.

FIGURA 3.2

Classe strutturale	Requisito Ambientale per $c_{min,dur}$ (mm) Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	XO	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

Prospetto 4.4N estratto dalla UNI EN 1992-1-1$_{[N4]}$ che prescrive i valori del copriferro minimo $c_{min,dur}$ con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080.

FIGURA 3.3

Classe strutturale	Requisito Ambientale per $c_{min,dur}$ (mm) Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	XO	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

Prospetto 4.5N estratto dalla UNI EN 1992-1-1$_{[N4]}$ che prescrive i valori del copriferro minimo $c_{min,dur}$ con riferimento alla durabilità per acciai da precompressione.

Δc_{dev} è la tolleranza di esecuzione relativa al copriferro. Può essere ridotta a:

- $5 \text{ mm} \leq \Delta c_{dev} \leq 10$ mm se l'esecuzione è sottoposta ad un sistema sicuro di controllo della qualità, nel quale siano incluse le misure dei copriferri;
- $0 \leq \Delta c_{dev} \leq 10$ 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:

$k_1 = 5$ mm per la classe di abrasione XM1 (abrasione lieve);
$k_2 = 10$ mm per la classe di abrasione XM2 (abrasione notevole);
$k_3 = 15$ mm per la classe di abrasione XM3 (abrasione estrema)$_{[N10]}$.

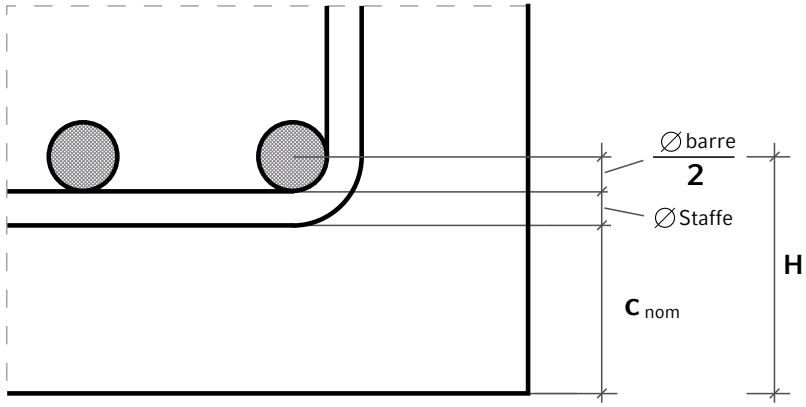
Nel caso di getti di calcestruzzo contro terra occorre utilizzare $c_{nom} > 40$ mm con terreno preparato, altrimenti $c_{nom} > 75$ mm.

Si ricorda che l'Eurocodice 2 prevede un'armatura di superficie nel caso che i copriferri siano superiori a 70 mm (appendice J).

Una volta stabilito lo spessore del copriferro c_{nom}, lo spessore del distanziatore, generalmente posizionato sulle barre longitudinali, è dato dalla relazione di seguito riportata (vedi **Fig. 3.4**):

$$H = c_{nom} + \varnothing \text{ staffe} + \frac{\varnothing \text{ barre}}{2}$$

FIGURA 3.4



Calcolo della misura del distanziale da posizionare sulle barre longitudinali in funzione della dimensione delle armature e del copriferro c_{nom}

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 alla concezione della struttura, sui dettagli costruttivi e sull'utilizzo di protezioni aggiuntive.

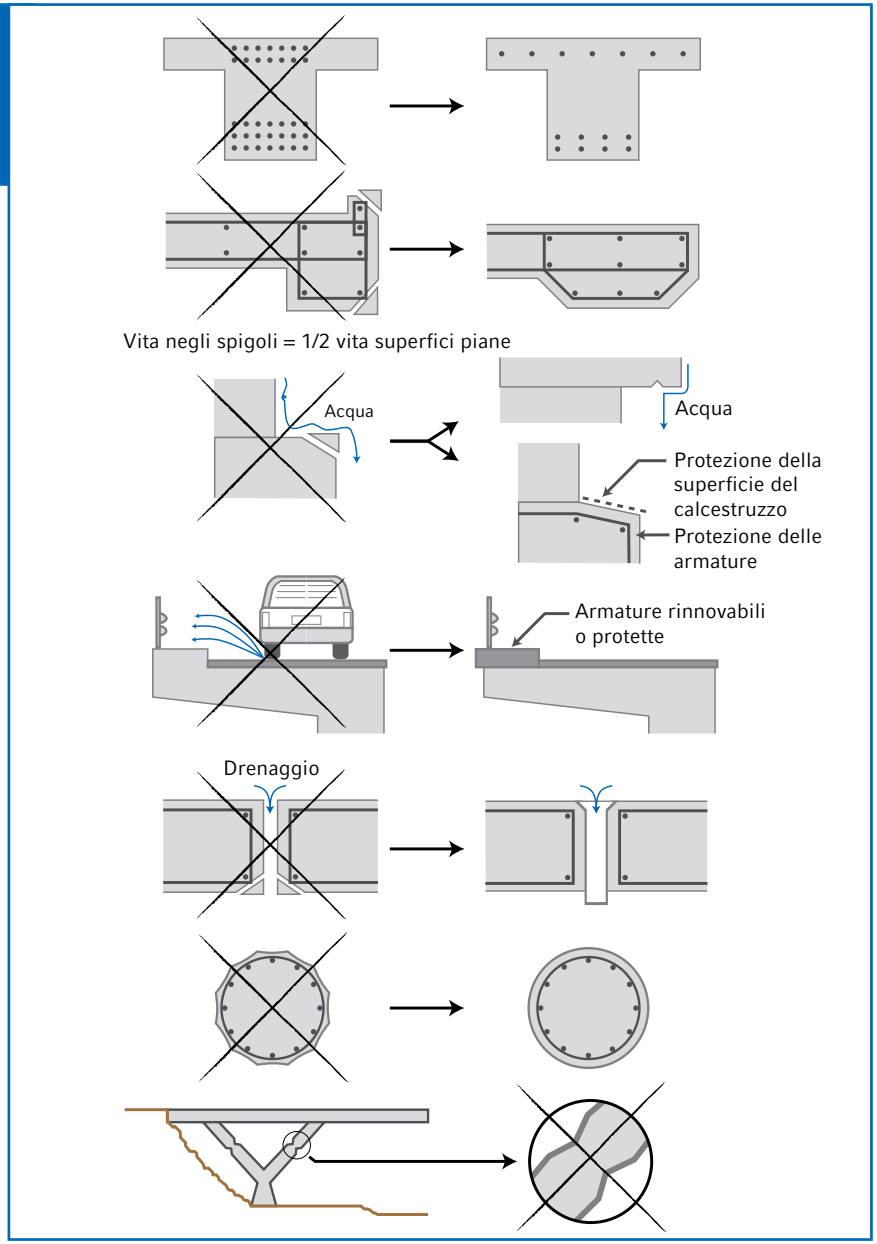
Per valutare correttamente il costo complessivo di un'opera ai fini di un'ottimizzazione, sarebbe opportuno conoscere il programma degli interventi di riparazione, così come avviene da tempo in altri campi dell' ingegneria.

Il Prof. Pedeferri nel libro "La corrosione del calcestruzzo"[P3], fa notare alcune comuni lacune nella progettazione ed esecuzione nei confronti della durabilità.

Ad esempio, auspica maggior attenzione, nella prefabbricazione, 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 un 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. 10.1 ne riportiamo alcuni inerenti alla progettazioni 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 resistenza della struttura nei confronti della carbonatazione 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.

FIGURA 4.1



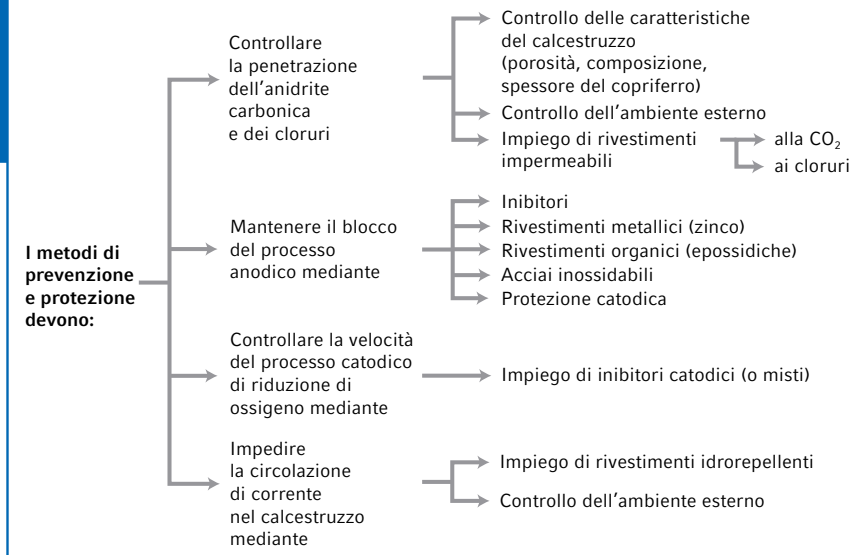
Esempi di progettazione di posizioni vulnerabili di ponti[P2],[P3].

Per quanto concerne le protezioni aggiuntive, queste possono essere utilizzate nella progettazione di nuove strutture con vite utili 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.

Ad esempio l'uso di trattamenti superficiali e di agenti impermeabilizzati nel calcestruzzo, possono essere raccomandati per mantenere un gradevole faccia a vista di una struttura adibita ad uso pubblico per qualche anno, ma non andrebbero utilizzate nelle fondazioni, così com'è in voga in alcune zone d'Italia, in quanto il prolungamento della vita utile di esercizio è inferiore rispetto alla scelta di un calcestruzzo con più basso rapporto a/c o confezionato con aggiunte pozzolaniche (loppe, ceneri volanti) o micropozzolaniche (fumi di silice).

FIGURA 4.2



Principali metodi di protezione aggiuntiva classificati in base al meccanismo d'azione[P2,P3].

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 in bolla, 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[N7]. Altri testi spiegano e approfondiscono le problematiche inerenti alla messa in opera e stagionatura[P1],[P5].
Le Norme tecniche[N3] nel paragrafo 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 13670-1: 2001 "Esecuzione di strutture in calcestruzzo – Requisiti comuni".
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 superficiale);
- 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.

5.1 La stagionatura

Le Linee guida sul calcestruzzo strutturale[P1] definiscono la stagionatura come *"l'insieme di precauzioni che, durante il processo di indurimento, permette di trasformare l'impasto fresco in un materiale resistente, privo di fessure e durevole"*. Si ricorda che per stagionatura protetta s'intende il mantenimento delle casseforme per le superfici verticali del getto, oppure la protezione delle superfici orizzontali del getto dalle basse temperature, dagli agenti atmosferici (vento, pioggia, neve, grandine) o dalla rapida evaporazione dell'acqua d'impasto tramite fogli di materiale plastico, tessuti mantenuti umidi, agenti antievaporanti, nebulizzazione di acqua.

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

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

FIGURA 5.1

Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h[5)]

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

Temperatura superficiale del calcestruzzo (t) ^{0}C	Tempo minimo della stagionatura, giorni[1)] Sviluppo della resistenza del calcestruzzo[3)4)] ($f_{cm,2}$ / $f_{cm,28}$) = r		
	Rapido r ≥ 0,50	Medio 0,50 > r ≥ 0,30	Lento 0,30 > r ≥ 0,15
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$	2,0	5	11

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

$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$	3,5	9	18

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

$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$	9	18	30

1) Deve essere conteggiato anche il tempo di presa se eccedente le 5 ore

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

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

4) Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione

5) Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sià maggiore o uguale a 5°C.

Traduzione delle tavole 4, F.1, F.2, F.3 estratte dalla norma prEN 13670:2008$_{[N12]}$ in cui viene prescritta la durata della stagionatura in funzione della temperatura superficiale e dello sviluppo della resistenza del calcestruzzo.

La norma prEN 13670:2008[N12] (**Fig. 5.1**), prescrive il tempo di stagionatura protetta del calcestruzzo gettato, in funzione della temperatura superficiale (che differisce da quella ambientale in funzione del tipo di protezione applicata) e dello sviluppo di resistenza a 20°C. Quest'ultima caratteristica deve essere fornita dal produttore come riportato nel prospetto 12 della UNI EN 206-1 (**Fig. 5.2**).

La norma europea raccomanda la tempestività della stagionatura, fino a prevederne una provvisoria in caso di posticipi nella finitura (come ad esempio nei pavimenti industriali); inoltre definisce 4 classi di stagionatura da scegliere in funzione della classe di esposizione, del tipo di calcestruzzo, dei copriferri, delle condizioni climatiche e della dimensione degli elementi gettati.

FIGURA 5.2

Sviluppo della resistenza	Stima del rapporto di resistenza $f_{cm,2} / f_{cm,28}$
Rapido	≥ 0,5
Medio	da ≥ 0,3 a < 0,5
Lento	da ≥ 0,15 a < 0,3
Molto Lento	< 0,15

Prospetto 12 estratto dalla norma UNI EN 206-1 in cui sono definite le fasce di sviluppo della resistenza del calcestruzzo a 20°C.

La tabella 7 in **Fig. 5.3**, estratta dalle Linee guida sul calcestruzzo strutturale[P1] (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.

Interessante è il suggerimento pratico del Prof. Coppola nel libro Concretum[P5] in cui si invita ad osservare una tabella più semplice e immediata di quelle proposte dalle normative sopra riportate, per la prescrizione della durata minima della stagionatura protetta (**Fig. 5.4**). La tabella tiene conto solo della resistenza del calcestruzzo, del periodo dell'anno e dell'esposizione della struttura rispetto all'ambiente.

FIGURA 5.3

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

Tabella 7 estratta dalle Linee Guida[P1] in cui viene prescritta la durata della stagionatura.

FIGURA 5.4

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

Tabella 7.12 estratta da Concretum[P5] in cui viene suggerita la durata della stagionatura (in giorni) da attuare in cantiere.

Per i pavimenti industriali è consigliabile prolungare la stagionatura secondo quanto previsto dalla tabella 12.1 estratta dal Codice di buona pratica[P7] (**Fig. 5.5**).

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

Figura 5.5

Sviluppo della resistenza del calcestruzzo

Temperatura del calcestruzzo in °C	Rapido			Medio			Lento			Molto lento		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Non esposto ad insolazione diretta: umidità relativa > 80%	8	9	10	9	10	11	11	12	13	13	14	15
Insolazione diretta media o vento di media intensità o umidità relativa ≥ 50%	12	13	13	14	15	15	14	15	16	15	16	16
Insolazione intensa o vento forte o umidità relativa < 50%	14	15	16	16	17	18	16	18	19	18	19	20

Tabella 12.1 estratta Codice di buona pratica[P7] in cui viene prescritta la durata della stagionatura in giorni per ogni lotto di pavimento finito.

5.2 Accorgimenti alle alte e basse temperature

Alta temperatura ambientale significa elevata temperatura del calcestruzzo, bassa umidità relativa (in funzione della presenza del vento) e forte insolazione dell'ambiente. La norma UNI EN 206-1 prescrive che il calcestruzzo fresco non superi la temperatura di 30°C perché altrimenti si accorciano eccessivamente i tempi di presa e s'innalza la richiesta d'acqua e la velocità di perdita di lavorabilità. Il produttore può intervenire sulla temperatura del calcestruzzo proteggendo dall'insolazione gli aggregati e utilizzando l'acqua a bassa temperatura. L'impresa dovrebbe utilizzare il calcestruzzo nei momenti meno caldi della giornata e proteggere il getto dalla forte evaporazione dell'acqua, soprattutto alle basse stagionature, in modo da ridurre la formazione fessurazioni da ritiro o assestamento plastico. L'elevata temperatura, tuttavia, consente di non prolungare eccessivamente la stagionatura. Particolare attenzione occorre nel caso in cui di notte ci sia una forte escursione termica che può innescare nel getto forte tensioni per contrazione termica, così come è buona norma controllare la forte perdita di umidità dei primi giorni, soprattutto nei getti orizzontali, che provoca fessure e imbarcamenti (nelle strutture non armate) per ritiro igrometrico differenziale.
La norma UNI EN 206-1 prescrive che il calcestruzzo fresco non deve scendere al di sotto della temperatura di 5°C. Una bassa temperatura rallenta la reazione di idratazione allungando i tempi di presa e di primo indurimento. Per questo i tempi di stagionatura protetta in inverno si dilatano. Il calcestruzzo allo stato fresco va protetto dal gelo, soprattutto nelle ore notturne dei getti pomeridiani. Nei getti orizzontali il rischio è rappresentato dal congelamento dell'acqua d'impasto che affiora in superficie e che, dilatandosi, distrugge la crosta superficiale, oltre a renderla pulverulenta a causa del cemento non idrato per la solidificazione dell'acqua. I getti verticali, anche se casserati, devono essere protetti dall'abbassamento della temperatura, altrimenti il maggior raffreddamento delle parti con maggior superficie specifica (come gli spigoli di muri e pilastri) può arrivare a causare il loro distacco. La resistenza minima a compressione, oltre la quale si ammette che il gelo non produca più danni al calcestruzzo fresco, è fissata a 5MPa. Quindi è opportuno, nei getti invernali con temperature ambientali inferiori a 5°C, che l'impresa si consigli con il fornitore di calcestruzzo per accelerare i tempi di presa (è possibile utilizzare additivi acceleranti oppure classi di resistenza superiori con rapporti a/c inferiori, arrivando in casi estremi, a riscaldare l'acqua d'impasto) e che mantenga il getto protetto termicamente per il tempo previsto.

5.3 La vibrazione

La compattazione del calcestruzzo gettato, eseguita tramite vibratori ad ago, a parete, e stagge vibranti, consente di espellere l'aria intrappolata all'interno del calcestruzzo.
Una corretta compattazione con il vibratore ad ago (di gran lunga la più utilizzata nei cantieri edili) vede la posa del calcestruzzo nella cassaforma, facendo attenzione che siano soddisfatti i seguenti accorgimenti.

- La posa deve essere eseguita per strati di spessore inferiore a 30 cm.
- L'ago va introdotto in posizione verticale immergendolo per una profondità superiore a quella dello strato eseguito, per un tempo da determinare in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.
- L'operazione va ripetuta con un intervallo di circa 50 cm, evitando il contatto dell'ago con la cassaforma e i ferri di armatura[P5]. Si riporta la tabella 7.9 estratta dal libro Concretum[P5] (**Fig. 5.6**), in cui sono consigliati i tempi di vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

FIGURA 5.6

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

Tabella 7.9 estratta dal libro Concretum in cui è consigliata la durata della vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

5.4 Le tolleranze di esecuzione

La norma prEN 13670:2008[N12] 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[N4] e del livello di sicurezza da questa richiesto. Tale classe soddisfa i coefficienti parziali dei materiali stabiliti nel paragrafo 2.4.2.4 (dell'Eurocodice 2) 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:

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

I valori prescritti dalla norma sono riportati in Allegato 1.

Sezione II

Strumenti operativi per il progettista strutturale

6. Relazione sui materiali e piano di manutenzione

Le Norme tecniche[N3] prevedono la redazione dei seguenti elaborati di progetto:

1. Relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e di verifica
2. Relazione sui materiali
3. Elaborati grafici, particolari costruttivi
4. Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera
5. Relazione sui dati sperimentali corrispondenti alle indagini specialistiche ritenute necessarie alla realizzazione dell'opera.

Si suppone che il documento richiesto dalle Norme tecniche nel capitolo 4.1.7, dedicato alla prescrizione della messa in opera e della 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 può essere considerata 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 progettista 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 ne' protezioni aggiuntive, ne' particolari manutenzioni volte a salvaguardare la capacità portante dell'opera.
È buona norma, comunque, evitare il ristagno o lo scorrimento dell'acqua sulla struttura, facendo un corretto utilizzo di guaine impermeabilizzati, scossaline e gronde, la cui sostituzione e/o manutenzione va concordata con il fornitore.
Per strutture con vita utile 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 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 delle committenze, oltre alla disponibilità di queste a investire in questa direzione...

6.1 Esempio di relazione sui materiali

Viene dato di seguito un esempio di relazione sui materiali conforme a quanto prescritto dalle Norme tecniche[N3] 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 500 m.

Normative di riferimento

DM 2008	Norme tecniche per le costruzioni
UNI EN 1992-1-1	Progettazione delle strutture in c.a.
UNI EN 206-1	Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI 11104	Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
UNI 8520 Parte 1 e 2	Aggregati per calcestruzzo-Istruzioni complementari per l'applicazione in Italia della norma UNI-EN 12620 - Requisiti
UNI 7122	Calcestruzzo fresco. Determinazione della quantità di acqua d'impasto essudata
EN 10080:2005	Acciaio per cemento armato
UNI EN ISO 15630 -1/2	Acciai per cemento armato: Metodi di prova
EN 13670:2008	Execution of concrete structures

Acciaio

L'acciaio utilizzato comprende: barre d'acciaio tipo B450C (6 mm ≤ Ø ≤ 50 mm), rotoli tipo B450C (6 mm ≤ Ø ≤ 16 mm); prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con:

- diametri ≤ 16 mm per il tipo B450C
- reti elettrosaldate (6 mm ≤ Ø ≤ 12 mm) tipo B450C;
- tralicci elettrosaldati (6 mm ≤ Ø ≤ 12 mm) tipo B450C;

Ognuno di questi prodotti deve essere conforme alle Norme tecniche: queste specificano le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi e le condizioni delle prove di accettazione e il sistema per l'attestazione di conformità per gli acciai destinati alle costruzioni in cemento armato che ricadono sotto la Direttiva Prodotti CPD (89/106/CE).

Calcestruzzo

6.1.1 Controlli

Il calcestruzzo , secondo quanto previsto dalle Norme tecniche vigenti, deve essere prodotto da impianti dotati di un sistema di controllo permanente della produzione, certificato da un organismo terzo indipendente riconosciuto.
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.

6.1.2 Tipi di calcestruzzo

I calcestruzzi dovranno essere conformi alla UNI EN 206-1 e UNI 11104 e dovranno rispondere alle prestazioni riportate nella tabella in **Fig. 6.1**.

6.1.3 Classe di resistenza

La classe di resistenza è stata definita in conformità alle Norme tecniche e alla norma UNI EN 206-1: il primo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cilindrica (f_{ck} per le Norme tecniche e $f_{ck,\ cyl}$ per le norme europee) mentre il secondo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cubica (R_{ck} per le Norme tecniche e $f_{ck,\ cube}$ per le norme europee). Le resistenze soddisfano i valori minimi previsti dalla norma UNI 11104 per l'ambiente in cui è previsto che debbano lavorare i vari elementi strutturali.

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

Figura 6.1

Tipi di calcestruzzo

6.1.4 Classe di esposizione ambientale

Le classe di esposizione ambientale prevista 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 206-1).

La classe di esposizione ambientale prevista per le strutture in elevazione tiene conto del clima marino e del rischio di 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, pilastri) alle strutture interne (solai, travi, pilastri). 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.

6.1.5 Classe di consistenza

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

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

Il mantenimento della consistenza deve essere garantito per un tempo di almeno due ore dalla fine del carico dell'autobetoniera e comunque non meno di un'ora dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere, tempo in cui l'impresa deve completare lo scarico. Il fornitore di calcestruzzo e l'impresa devono programmare il getto in modo che il produttore cadenzi le consegne per dare il tempo necessario all'impresa di poter mettere in opera il materiale.

Sono da evitare interruzioni di getto superiori a un'ora.

Nel caso che, durante il getto del calcestruzzo, si manifestino fenomeni di segregazione o eccessiva essudazione, occorre controllare che la prova di bleeding, secondo la norma UNI 7122[N13], dia un valore inferiore a 0,5 l/m²/ora.

6.1.6 Aggregati

Gli aggregati devono essere marcati CE secondo la norma UNI EN 12620[N16] con un sistema di attestazione 2+ e devono essere conformi alla norma UNI 8520-2[N15].
Il diametro massimo 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 diametri massimi minori o uguali a quelli prescritti.

6.1.7 Classe di contenuto in cloruri

Tra quelle previste dalla norma UNI EN 206-1, è stata prescritta la classe che prevede una presenza bassa di cloruri, in quanto già presenti nell'acqua in fondazione e nell'aerosol marino.

6.1.8 Copriferro

I valori dei copriferri sono stati stabiliti secondo la norma UNI EN 1992-1-1 (sezione 4), in funzione delle classi di esposizione ambientali. Si ricorda che il valore del copriferro è misurato dal filo esterno delle staffe, per cui se verranno utilizzati distanziatori fissati alle barre longitudinali occorrerà sommare al valore fornito anche il diametro delle staffe e il raggio della barra. Le tolleranze di esecuzione dei copriferri sono quelle previste dalla norma EN 13670:2008: è stato considerata una tolleranza Δc_{dev} di 10 mm, come proposto dalla norma UNI EN 1992-1-1.

6.1.9 Messa in opera

L'esecuzione dell'opera deve essere conforme alla norma prEN 13670:2008[N12].
A tal fine è stata prevista la classe di esecuzione 1 e la classe di tolleranza 1.
In particolare si raccomanda di utilizzare casseforme di resistenza, rigidezza, 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 la struttura.
Per quello che riguarda la messa in opera (tolleranze, giunzioni, assemblaggio) e piegatura (temperatura minima, diametro dei mandrini, ecc.) delle armature, occorre attenersi alle prescrizioni riportate nel capitolo 6 della norma prEN 13670:2008[N12].
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 finchè questo abbia superato la resistenza a compressione di 5MPa. Se la temperatura ambientale è prevista al di sotto di 0°C o al di sopra di 30°C al momento del getto o nel periodo di maturazione, occorre prevedere precauzioni per la protezione del calcestruzzo, come specificato nel paragrafo successivo.
Il calcestruzzo deve essere compattato a rifiuto in modo che le armature vengano adeguatamente incorporate nella matrice cementizia, l'elemento strutturale assuma la forma imposta dalle casseforme e la superficie del getto sia priva di difetti superficiali. Allo scopo occorre utilizzare vibratori ad ago da inserire ed estrarre verticalmente ogni 50 cm circa, facendo attenzione a non toccare le armature e ad inserire il vibratore ad una profondità tale da coinvolgere gli strati inferiori precedentemente vibrati. Per la scelta effettuata delle classi di consistenza, la durata della vibrazione sarà relativamente bassa, soprattutto nei getti dei solai e della platea.
Maggior cura richiederà la compattazione del calcestruzzo gettato nei pilastri, nelle pareti e nei nodi trave-pilastro.

6.1.10 Stagionatura

Il calcestruzzo, dopo il getto, deve essere protetto contro la veloce evaporazione dell'acqua, dal gelo, dagli agenti atmosferici.

Nei getti verticali, la stagionatura consiste nel mantenimento delle casseforme, per i getti orizzontali nell'applicazione di teli di plastica per il tempo necessario fissato dalle tabelle sotto riportate.

Per la platea di fondazione, per i solai (soprattutto in corrispondenza dei balconi e del perimetro) e per la veletta (gronda) del tetto, si prescrive una classe di stagionatura 3, per le pareti e pilastri è sufficiente una classe di stagionatura 2 (**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[5)]

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

Temperatura superficiale del calcestruzzo (t) ^{0}C	Tempo minimo della stagionatura, giorni[1)] Sviluppo della resistenza del calcestruzzo[3) 4)] $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $0,50 > r \geq 0,30$	Lento $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$	2,0	5	11

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

$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$	3,5	9	18

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

$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$	9	18	30

1) Più il tempo di presa se eccedente le 5 ore

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

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

4) Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione

5) Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sià maggiore o uguale a 5°C.

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

7.1 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, utile 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 inoltre che il progettista rimane l'unico responsabile della progettazione.

7.1.1 Ipotesi semplificative relative alla prescrizione della classe di esposizione.

7.1.1.1 Si può affermare che in Italia la classe di esposizione X0 non esiste per le strutture armate, in quanto l'umidità media dell'ambiente è sempre superiore.

7.1.1.2 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 utilizza. 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.

7.1.1.3 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.

7.1.1.4 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.

7.1.1.5 È da evitare il ristagno e il percolamento dell'acqua con opportune pendenze, gronde, scossaline, canalette, ecc.

7.1.1.6 Sono da prevedere le analisi del terreno o dell'acqua in esso contenuta.

7.1.1.7 Il sottosuolo non gela mai.

7.1.1.8 In prossimità del mare (< 1 Km) in Italia gela raramente.

7.1.1.9 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).

7.1.1.10 Si trascurano gli effetti erosivi delle strutture immerse in acqua corrente.

7.1.1.11 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 paragrafo 2.6.1.

7.1.2 Ipotesi semplificative relative alla prescrizione dei copriferri

7.1.2.1 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:

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

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 compare nelle schede di seguito riportate.

7.1.2.2 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.

7.1.2.3 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 par. 7.1.1.2: questa operazione andrà eseguita manualmente rispetto a quanto previsto negli schemi.

7.1.2.4 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.

7.1.2.5 Non si considera la maggiorazione di 5mm nel caso che la superficie esterna del calcestruzzo sia irregolare, visto che, nella maggior parte dei casi, il getto è contenuto in casseforme piane.

7.1.2.6 Non si considerano le note n2, n3, n4 riportate nel capitolo 3.

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

Per comodità, tutti gli elementi strutturali più diffusi sono stati raggruppati in 4 famiglie di seguito riportate.

7.1.3.1 Strutture interrate come pali, diaframmi, fondazioni, plinti, platee, travi rovesce, vasche e serbatoi interrati, muri e pilastri di fondazione, fosse Imhoff. Queste sono analizzate nella scheda 2. In questa sezione rientrano anche le piscine.

7.1.3.2 Strutture in elevazione: tutte quelle non interrate. 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, 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, pile, pulvini, scale).

7.1.3.3 I pavimenti su massicciata (solette poco o non armate) sono analizzati nella scheda 4 e vengono considerati non armati. Questa ipotesi potrebbe non essere cautelativa per pavimenti esterni fortemente armati, soprattutto in vicinanza del mare o in presenza di sali disgelanti. Per questi è possibile, utilizzare la scheda 3, che però non tiene conto dell'eventuale attacco chimico prodotto dalle attività che vi si svolgono sopra.

7.1.3.4 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 interrate 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

A. Analisi del terreno

A.1 Analisi dell'acqua del terreno (Fig. 2.4)

agente	norma di riferimento	valore riscontrato dalla prova	unità di misura
SO_4^{2-}	EN 196-2		mg/l
pH	ISO 4316		pH
CO_2 aggressiva	EN 13577		mg/l
NH_4^+	ISO 7150-1 ISO 7150-2		mg/l
Presenza di cloruri (si/no)			
Presenza di falda (si/no)			

A.2 Analisi del terreno (Fig. 2.4)

agente	norma di riferimento	valore riscontrato dalla prova	unità di misura
SO_4^{2-}	EN 196-2		mg/Kg
pH	DIN 4030		ml/Kg

B. Introduzione alle schede successive

B.1 SCHEDA 2

Prescrizione della durabilità delle strutture interrate: pali, diaframmi, fondazioni, plinti, platee, travi rovesce, vasche e serbatoi interrati, muri e pilastri di fondazione, fosse Imhoff.
Piscine, vasche e serbatoi.

B.2 SCHEDA 3

Prescrizione della durabilità delle strutture in elevazione.

A contatto diretto con l'acqua:
a prevalente sviluppo orizzontale: solette stradali (sbalzi solette dei viadotti), tetti, coperture, balconi, terrazzi, canali, scolmatori, vasche, dighe, 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.

Non a contatto diretto con l'acqua:
a prevalente sviluppo verticale e sono protette da elementi più esposti: muri, pilastri, pile, pulvini, scale.

B.3 SCHEDA 4

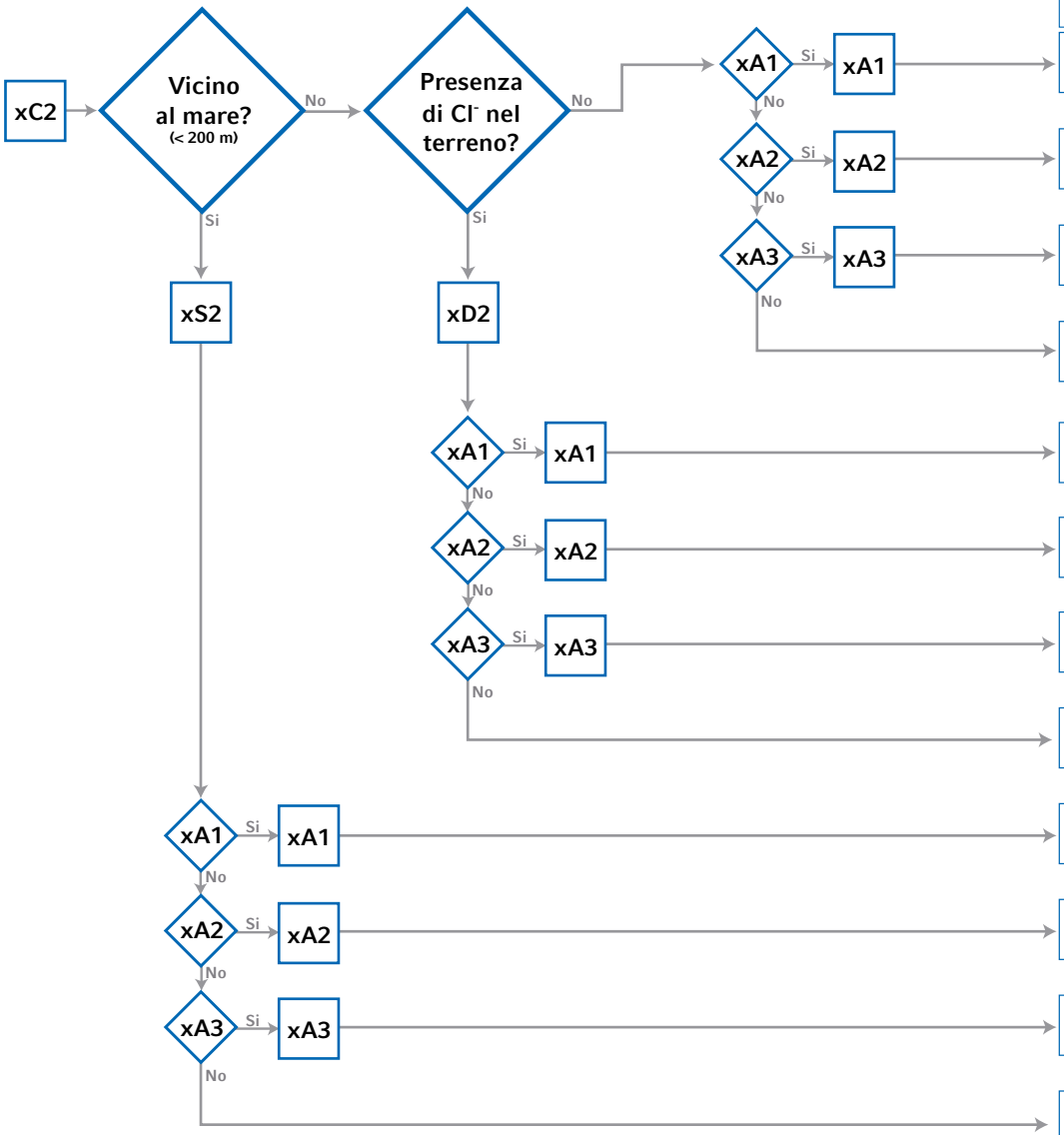
Prescrizione della durabilità delle pavimentazioni
Solette poco o non armate
Pavimenti industriali su massicciata (non collaboranti).

B.4 SCHEDA 5

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

Scheda 2 - Strutture interrate

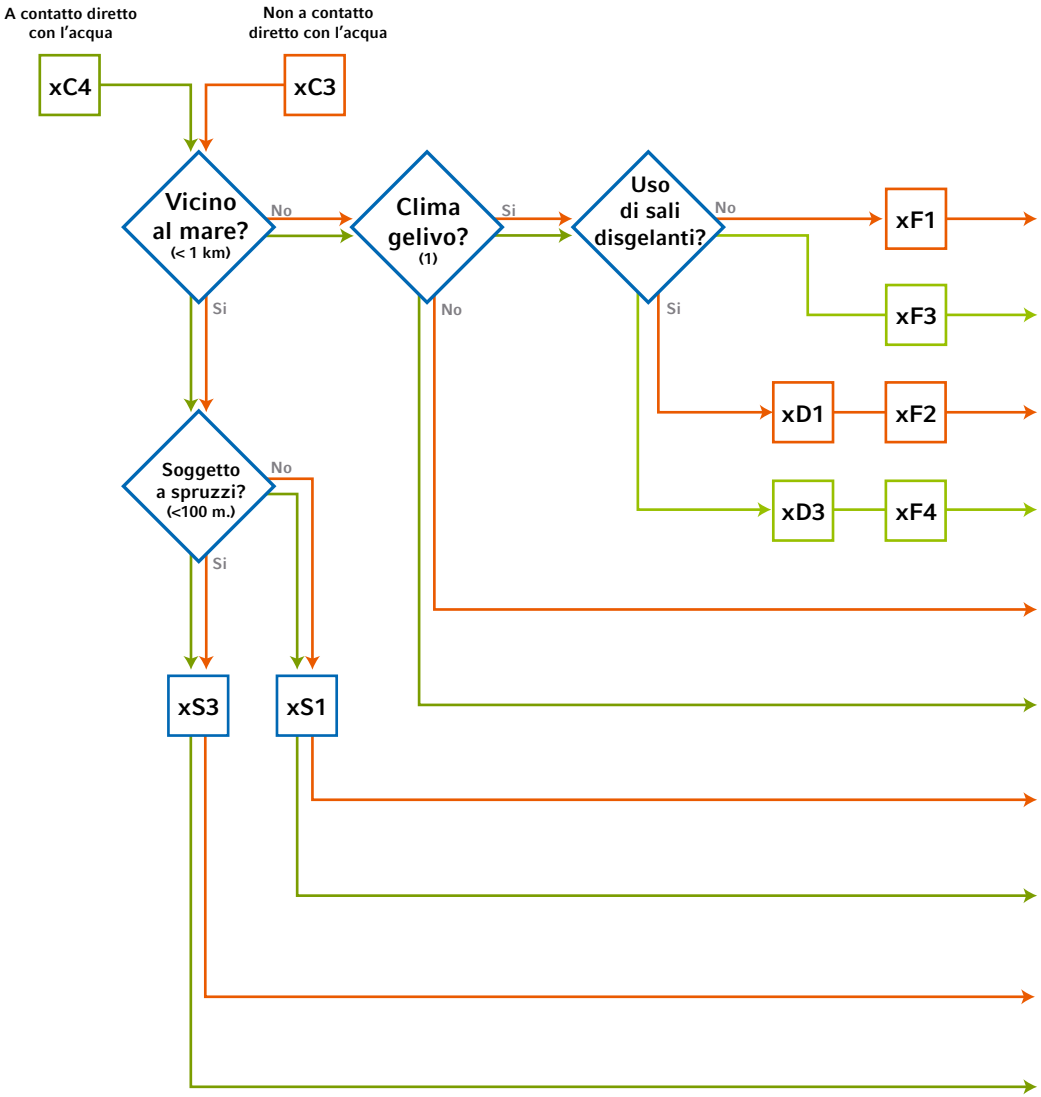
- Si raccomanda di eseguire le prove del terreno o dell'acqua da esso contenuta, come previsto dal prospetto 2 della norma UNI EN 206-1 (Fig. 2.4).
- Nel caso di attacco solfatico occorre prescrivere un cemento resistente ai solfati (paragrafo 2.6.1.4 della guida).



NORMATIVA DI RIFERIMENTO								
UNI 11104					COPRIFERRI E2			
PARAMETRI PROGETTUALI								
Combinazione di classi di esposizione	C_{min}	a/c_{max}	cem,min (Kg)	aria aggiunta	ca 50a	ca 100a	cap 50a	cap 100a
xC2 + xA1	C28/35	0,55	320	No	35	45	45	55
xC2 + xA2	C32/40	0,50	340	No	35	45	45	55
xC2 + xA3	C35/45	0,45	360	No	35	45	45	55
xC2	C25/30	0,60	300	No	35	45	45	55
xC2 + xD2 + xA1	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70
xC2 + xD2 + xA2	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70
xC2 + xD2 + xA3	C35/45	0,45	360	No	50	60	60	70
xC2 + xD2	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70
xC2 + xS2 + xA1	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70
xC2 + xS2 + xA2	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70
xC2 + xS2 + xA3	C35/45	0,45	360	No	50	60	60	70
xC2 + xS2	C32/40	0,50	340	No	50	60	60	70

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 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 il 3%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).

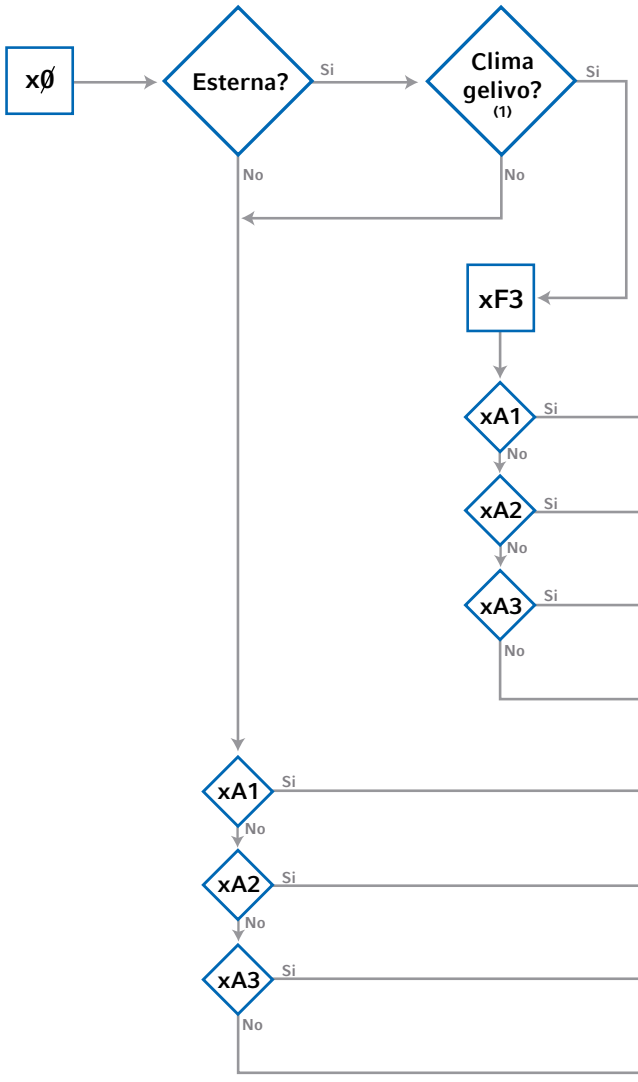


NORMATIVA DI RIFERIMENTO								
UNI 11104					COPRIFERRI E2			
PARAMETRI PROGETTUALI								
Combinazione di classi di esposizione	C_{min}	a/c_{max}	cem,min (Kg)	aria aggiunta	ca 50a	ca 100a	cap 50a	cap 100a
xC3 + xF1	C32/40	0,50	320	No	35	45	45	55
xC4 + xF3	C25/30	0,50	340	Si	40	50	50	60
xC3 + xD1 + xF2	C25/30	0,50	340	Si	45	55	55	65
xC4 + xD3 + xF4	C28/35	0,45	360	Si	55	65	65	75
xC3	C28/35	0,55	320	No	35	45	45	55
xC4	C32/40	0,50	340	No	40	50	50	60
xC3 + xS1	C32/40	0,50	340	No	45	55	55	65
xC4 + xS1	C32/40	0,50	340	No	45	55	55	65
xC3 + xS3	C35/45	0,45	360	No	55	65	65	75
xC4 + xS3	C35/45	0,45	360	No	55	65	65	75

(1) più di 20 volte sotto 0°C in un anno

Scheda 4 - Pavimentazioni su massicciata

- Si raccomanda di eseguire le prove del terreno o dell'acqua da esso contenuta e delle sostanze che verranno utilizzate o prodotte dal processo che si svolgerà sulla pavimentazione, come previsto dal prospetto 2 della norma UNI EN 206-1 (Fig. 2.4).
- Nel caso di attacco solfatico occorre prescrivere un cemento resistente ai solfati (paragrafo 2.6.1.4).
- 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 il 3%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).
- Si raccomanda l'utilizzo di calcestruzzi conformi al capitolato Pavical.

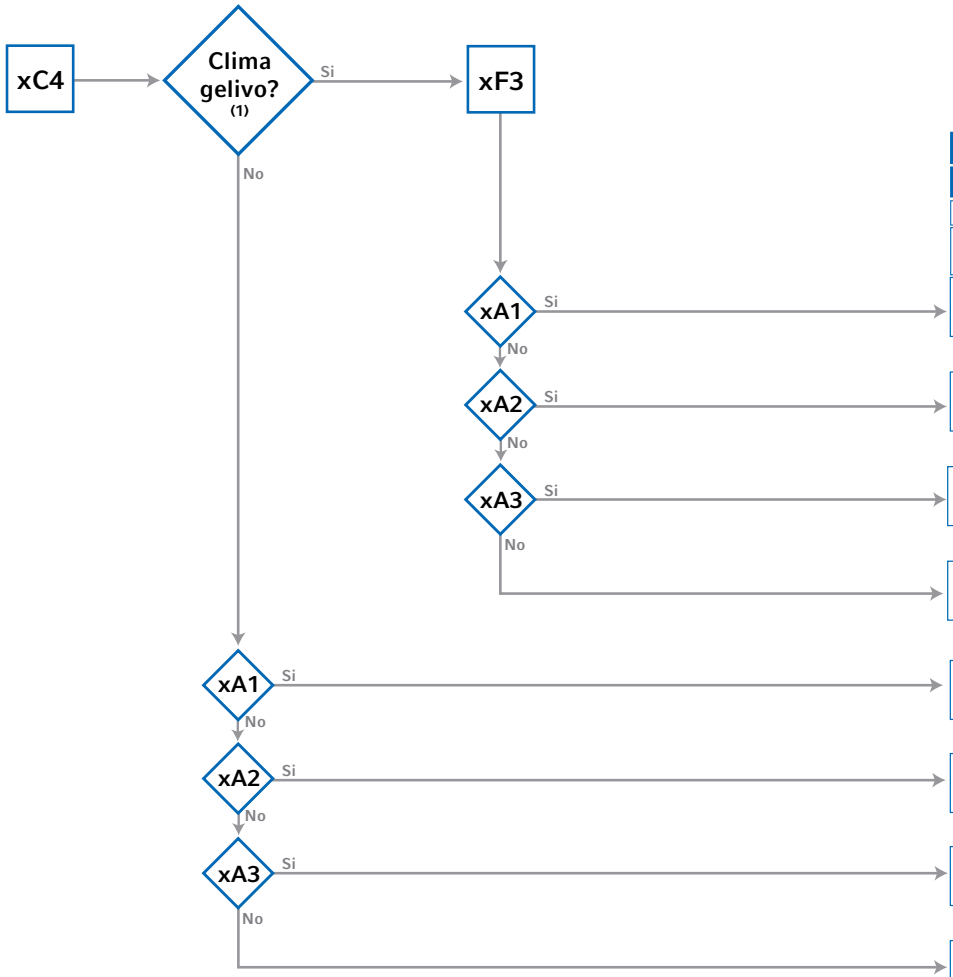


NORMATIVA DI RIFERIMENTO				
UNI 11104 - PAVICAL[P8] UNI 11146[N11] - CODICE DI BUONA PRATICA[P7]				
PARAMETRI PROGETTUALI				
Combinazione di classi di esposizione	C_{min}	a/c_{max}	cem,min (Kg)	aria aggiunta
xØ + xF3 + xA1	C25/30	0,50	340	Si
xØ + xF3 + xA2	C25/30	0,50	340	Si
xØ + xF3 + xA3	C28/35	0,45	360	Si
xØ + xF3	C25/30	0,50	340	Si
xØ + xA1	C28/35	0,55	320	No
xØ + xA2	C32/40	0,50	340	No
xØ + xA3	C35/45	0,45	360	No
xØ	C25/30	0,60	300	No

(1) più di 20 volte sotto 0°C in un anno

Scheda 5 - Strutture idrauliche in acqua dolce

- Si ricorda che in questa tipologia di strutture, l'aggressione chimica più frequente data dalla CO_2. Si raccomanda, in questi casi, di prescrivere un cemento resistente al dilavamento (paragrafo 2.6.1.5).
- 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 il 3%.
- Nei calcestruzzi in classe di esposizione XF occorre utilizzare aggregati non gelivi (UNI 8520-2).



NORMATIVA DI RIFERIMENTO								
UNI 11104					COPRIFERRI E2			
PARAMETRI PROGETTUALI								
Combinazione di classi di esposizione	C_{min}	a/c_{max}	cem,min (Kg)	aria aggiunta	ca 50a	ca 100a	cap 50a	cap 100a
xC4 + xF3 + xA1	C25/30	0,50	340	Si	40	50	50	60
xC4 + xF3 + xA2	C25/30	0,50	340	Si	40	50	50	60
xC4 + xF3 + xA3	C28/35	0,45	360	Si	40	50	50	60
xC4 + xF3	C25/30	0,50	340	Si	40	50	50	60
xC4 + xA1	C32/40	0,50	340	No	40	50	50	60
xC4 + xA2	C32/40	0,50	360	No	40	50	50	60
xC4 + xA3	C35/45	0,45	360	No	40	50	50	60
xC4	C32/40	0,50	340	No	40	50	50	60

(1) più di 20 volte sotto 0°C in un anno

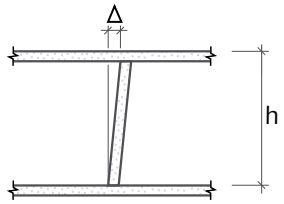
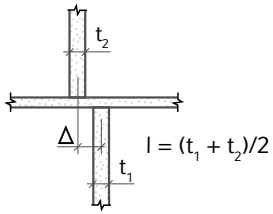
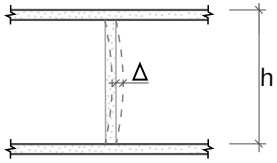
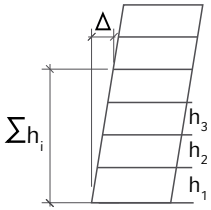
Scheda 6 - Compilazione della tabella dei tipi di calcestruzzo

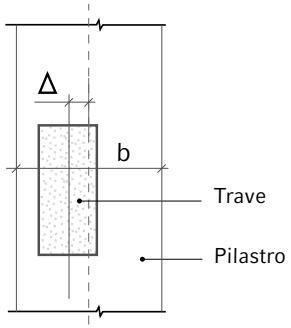
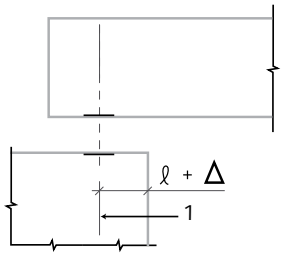
TABELLA DEI TIPI DI CALCESTRUZZO

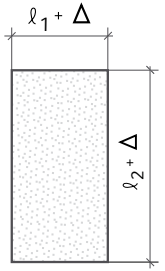
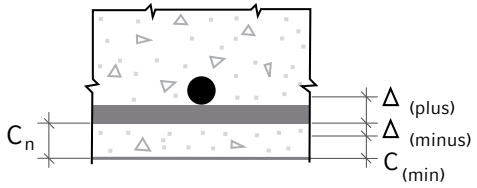
		Norme di riferimento							
		UNI 11104 (prospetto 1)	UNI 11104 (prospetto 4)	UNI EN 206-1				UNI EN 1992-1-1	
Tipo	Campi di impiego	Combinazione di classi di esposizione	Classe di resistenza	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	D_{max} aggregato (mm)	Classe di consistenza	Copriferro nominale	Prestazioni aggiuntive
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

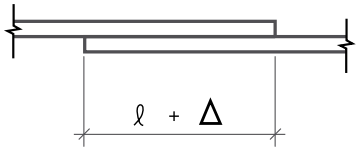
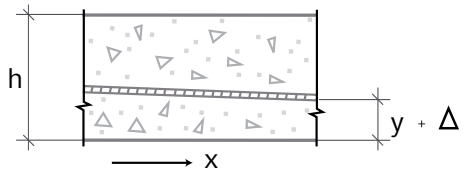
Allegato 1 - Tolleranze di costruzione previste dalla norma prEN 13670:2008

Tolleranze con importanza strutturale

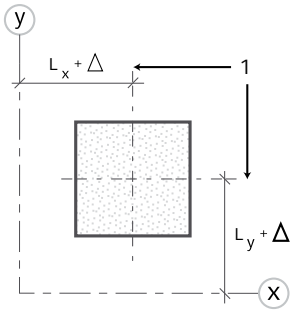
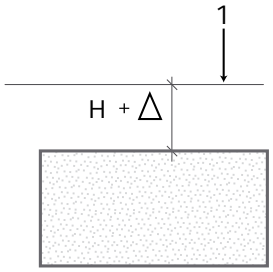
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Pilastri e Pareti			
a		Inclinazione di un pilastro a qualsiasi livello in un edificio di uno o più piani h ≤ 10 m h > 10 m	Il maggiore di 15 mm e h/400 25 mm e h/600
b		Scostamento tra gli assi di pilastri e pareti	Il maggiore di t/300 e 15 mm
c		Curvatura di un pilastro fra piani adiacenti	Il maggiore di h/300 e 15 mm ma non più di 30 mm
d		Fuori piombo di una pilastrata o di una parete, rispetto all'asse verticale tracciato dallo spiccato in un edificio multipiano (n è il numero di piani)	Il minore di $\frac{\sum h}{200 \bullet \frac{n}{2}}$ se n > 1 o 50 mm

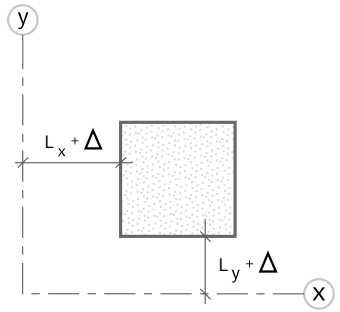
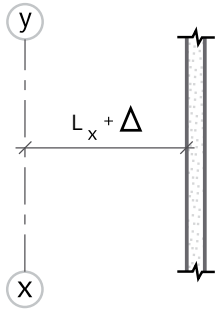
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Travi e solette			
a		Posizione di un collegamento trave-pilastro relativamente al pilastro b = dimensione del pilastro nella stessa direzione di Δ	Il maggiore di $\pm \frac{b}{30}$ e ± 20 mm
b		Posizione dell'asse di appoggio ℓ = distanza di progetto dal bordo	Il maggiore di $\pm \frac{\ell}{20}$ e ± 15 mm

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ	
			Classe di tolleranza 1	Classe di tolleranza 2
Tolleranze con importanza strutturale				
a	Dimensioni della sezione trasversale  	l_i = dimensione della sezione trasversale Applicabile a travi, solette e pilastri Per $l_i < 150$ mm $l_i = 400$ mm $l_i \geq 2500$ mm con interpolazione lineare per i valori intermedi	± 10 mm ± 15 mm ± 30 mm	± 5 mm ± 10 mm ± 30 mm
	NOTA 1 Per le fondazioni, gli scostamenti superiori vanno indicati nelle specifiche di progetto, ove richiesto. Valgono gli scostamenti inferiori riportati NOTA 2 Le tolleranze di elementi strutturali gettati direttamente contro-terra non sono trattate da questa norma, come diaframmi, pali, ecc. Tuttavia le tradizionali fondazioni contro-terra sono contemplate dalla seguente norma.			
b	Posizione dell'armatura ordinaria Sezione trasversale  c_{min} = copriferro minimo richiesto c_n = copriferro nominale $c_{min} + _\Delta_{minus}_$ c = copriferro effettivo Δ = scostamento consentito da c_n h = altezza della sezione trasversale	h < 150 mm h = 400 mm h ≥ 2500 mm con interpolazione lineare per i valori intermedi	± 10 mm ± 15 mm ± 20 mm	± 5 mm ± 10 mm ± 20 mm
		Δ_{minus}	Δc_{dev} a)	Δc_{dev} a)
	Requisito: $c_n + \Delta_{plus} > c > c_n - \lvert\Delta_{minus}\rvert$ a) Δ_{cdev} può essere ricavato dagli Allegati Nazionali alla EN 1992-1-1. A meno che diversamente specificato, $\Delta c_{dev} = 10$ mm. Le specifiche di progetto possono stabilire un approccio statistico consentendo una certa percentuale dei copriferri inferiore a c_{min}. NOTA Gli scostamenti superiori per i copriferri per fondazioni o elementi di fondazioni possono essere aumentati di 15 mm. Valgono gli scostamenti inferiori riportati.			

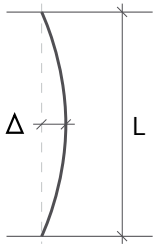
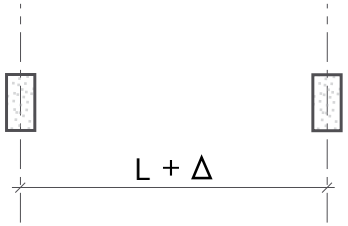
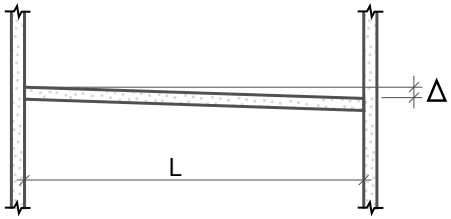
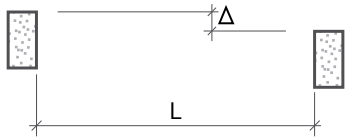
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Tolleranze con importanza strutturale			
c	Sovrapposizione delle barre  	ℓ = lunghezza della sovrapposizione	**Classe di tolleranza 1** - 0,06 ℓ
d	Posizione dell'armatura di precompressione Sezione longitudinale  y posizione nominale (di solito in funzione della posizione x lungo il tirante)	Per h ≤ 200 mm h > 200 mm Copriferro misurato dalla guaina	± 0,03 h Il minore di ± 0,03 h e ± 30 mm Δc_{dev}
	I valori si applicano a disposizioni orizzontali e verticali. Per posizioni orizzontali h è la larghezza dell'elemento. Per i tiranti in solette si possono accettare scostamenti superiori di ± 30 mm se necessario per evitare piccole aperture, guaine, tracce e inserti. Il profilo dei tiranti di questi scostamenti deve essere graduale. Gli scostamenti inferiori consentiti dal copriferro nominale per i tiranti sono uguali a quelli dell'armatura ordinaria, caso b.		

Tolleranze con limitata influenza strutturale

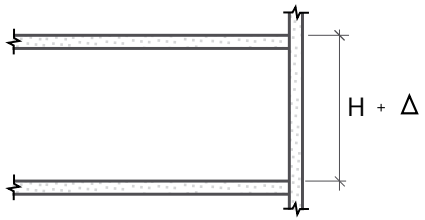
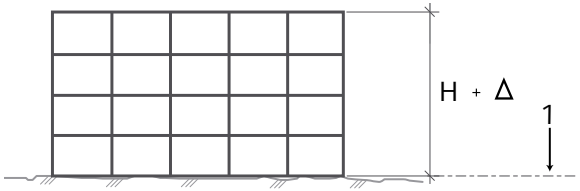
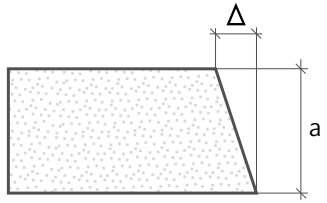
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Fondazioni			
a	Sezione orizzontale  1 Asse dell'elemento di fondazione y Asse secondario in direzione y x Asse secondario in direzione x	Posizione in pianta di un elemento di fondazione relativa agli assi secondari	± 25 mm
b	Sezione verticale  1 Quota secondaria di riferimento H Distanza prevista	Posizione in elevazione dell'elemento di fondazione relativa alla quota secondaria di riferimento	± 20 mm

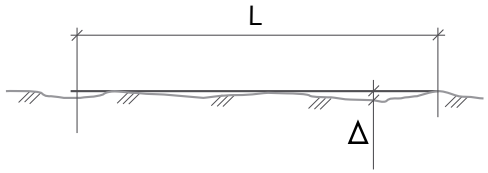
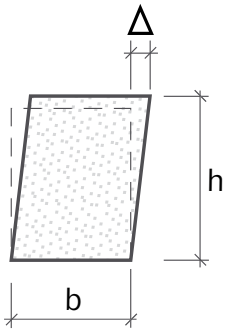
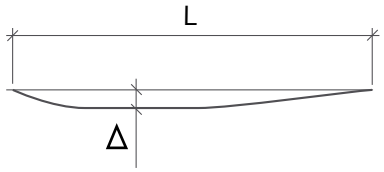
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Pilastri e pareti			
a	Asse secondario  Asse secondario	Posizione in pianta di un pilastro relativa all'asse secondario	± 25 mm
b	Asse secondario  	Posizione in pianta di un muro relativa all'asse secondario	± 25 mm
c	 	Luce tra pilastri e pareti adiacenti	Il maggiore di[a)] ± 20 mm e ± L/600 ma non maggiore di 60 mm

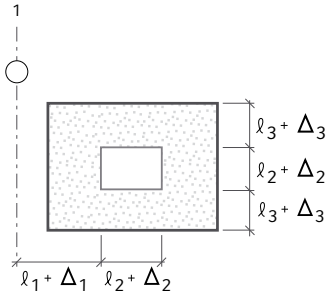
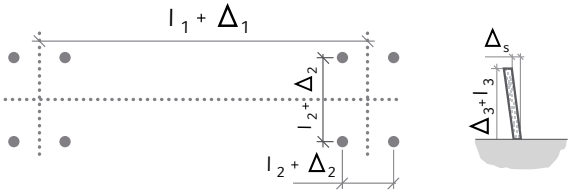
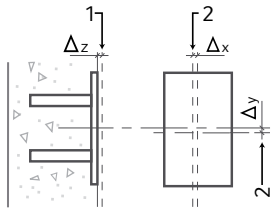
[a)] NOTA Possono essere necessari valori più restrittivi per pilastri e pareti che supportano elementi prefabbricati in funzione della tolleranza della lunghezza dell'elemento e di quella richiesta dal supporto.

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Travi e solette			
a		Rettilineità in pianta delle travi	Il maggiore di ± 20 mm e ± L/600
b		Distanza tra due travi adiacenti, misurata in punti corrispondenti	Il maggiore di[a)] ± 20 mm e ± L/600 ma non più di 40 mm
c		Inclinazione di una trave o di una soletta	$\pm\left(10+\frac{L}{500}\right)$ mm
d		Differenza di quota di travi adiacenti misurata in punti corrispondenti	$\pm\left(10+\frac{L}{500}\right)$ mm

[a)] NOTA Possono essere necessari valori più restrittivi per le travi che supportano elementi prefabbricati in funzione della tolleranza della lunghezza dell'elemento e di quella richiesta dal supporto.

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Travi e solette			
e		Interpiano misurato in corrispondenza dei supporti	± 20 mm
f		Quota del piano superiore rispetto al sistema secondario di riferimento H ≤ 20 m 20 m < H < 100 m H ≥ 100 m	 ± 20 mm ± 0,5(H+20) mm ± 0,2(H+200) mm
Sezioni			
a		a = lunghezza della dimensione trasversale	La maggiore di ± 0,04 a e ± 10 mm, ma non più di ±20 mm

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Tolleranze di forma (superficie)			
a	Planarità Superficie casserata o frattazzata globale locale Superficie non casserata globale locale 	Rettilineità in pianta delle travi L = 2,0 m L = 0,2 m L = 2,0 m L = 0,2 m	 9 mm 4 mm 15 mm 6 mm
b	Svergolamento della sezione trasversale 		il maggiore di ± h/25 e ± b/25 ma non più di ±30 mm
c	Rettilineità del bordo 	Per lunghezze < 1 m Per lunghezze > 1 m	±8 mm ±8 mm/m ma non più di ±20 mm

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito Δ Classe di tolleranza 1
Tolleranze per fori e inserti			
a	Fori  1 Asse secondario	Δ_1, Δ_2, Δ_3	± 25 mm A meno che non sia stabilito diversamente nelle specifiche di progetto
b	Viti di fondazione e simili inserti  l_1 = distanza tra gruppi di viti ancoraggio l_2 = distanza tra viti ancoraggio l_3 = altezza delle viti	Posizionamento di un gruppo di viti e centro di un gruppo di viti Distanza tra le viti di uno stesso gruppo Sporgenza Inclinazione	$\Delta_1 = \pm$ 10 mm $\Delta_2 = \pm$ 3 mm $\Delta_3 = \pm$ 25 mm; -5 mm $\Delta_s =$ > 5 mm o $l_3/200$ A meno che non sia stabilito diversamente nelle specifiche di progetto
c	Ancoraggio di piastre o simili inserti  1 Posizione nominale in verticale 2 Posizione nominale in pianta	Scostamento in pianta Scostamento in profondità	Δ_x, $\Delta_y = \pm$ 20 mm $\Delta_z = \pm$ 10 mm A meno che non sia stabilito diversamente nelle specifiche di progetto.

Bibliografia

Normativa

[N1] Norme tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 14 settembre 2005

[N2] 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

[N3] Norme tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008

[N4] UNI EN 1992-1-1 Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: regole generali e regole per gli edifici

[N5] UNI EN 206-1 Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità

[N6] UNI 11104 Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

[N7] UNI ENV 13670-1 Esecuzione di strutture in calcestruzzo. Requisiti comuni

[N8] UNI 8981-5:1999 Durabilità delle opere e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo – Istruzioni per prevenire la corrosione delle armature

[N9] Model Code for Service Life Design FIB bulletin 34 (Feb. 2006)

[N10] Appendice Nazionale agli Eurocodici scaricabile da molti siti in veste semi-ufficiale come "Annessi Nazionali"

[N11] UNI 11146 Pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale. Criteri per la progettazione, esecuzione e collaudo

[N12] prEN13670:2008 Execution of concrete structures

[N13] UNI 7122 Calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata

[N14] UNI 8520-1:2005 Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Designazione e criteri di conformità

[N15] UNI 8520-2:2005 Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Requisiti

[N16] UNI EN 12620:2003 Aggregati per calcestruzzo

[N17] CNR-DT 204 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato

[N18] EN 14651 Precast concrete products – Test Method for metallic fibre concrete – measuring the flexural tensile strength

[N19] UNI 11039-1 Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio – Definizioni, classificazione e designazione

[N20] UNI 11039-2 Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio – Prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità

[N21] UNI 6555-73 Calcestruzzo confezionato con inerti con dimensione massima fino a 30 mm. Determinazione del ritiro idraulico

[N22] UNI 8981-2:1999 Durabilità delle opere e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo – Istruzioni per ottenere la resistenza ai solfati

[N23] UNI 8981-3:1999 Durabilità delle opere e degli elementi prefabbricati di calcestruzzo – Istruzioni per ottenere la resistenza alle acque dilavanti

[N24] UNI 9156:1997 Cementi resistenti ai solfati – Classificazione e composizione

[N25] UNI 9606:1997 Cementi resistenti al dilavamento della calce – Classificazione e composizione

[N26] UNI 8520-22:2002 Aggregati per calcestruzzo – Determinazione della potenziale reattività degli aggregati in presenza di alcali

[N27] UNI EN 450:2005 Ceneri volanti per calcestruzzo

[N28] UNI EN 13263:2005 Fumi di silice per calcestruzzo

Pubblicazioni

[P1] Linee Guida sul calcestruzzo strutturale a cura del Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (dicembre 1996)

[P2] La durabilità del calcestruzzo armato – Prof. Pietro Pedeferri e Prof. Luca Bertolini – McGraw-Hill ed. 1/2000

[P3] La corrosione del calcestruzzo. Fenomenologia, prevenzione, diagnosi, rimedi – AICAP e Prof. Pietro Pedeferri – ed. 9/2005

[P4] Durabilità e copriferro – Prof. Antonello Gasperi – Guida all'Eurocodice 2 – vol.1 – AICAP

[P5] Concretum – Prof. Luigi Coppola - McGraw-Hill

[P6] Norme tecniche per le costruzioni – a cura di Donatella Guzzoni - ATE e Il Sole 24 ORE

[P7] Codice di buona pratica per pavimenti in calcestruzzo ad uso industriale edito dall'Ente Nazionale Conpaviper

[P8] Pavical: Capitolato tecnico e di oneri per la fornitura e l'impiego di calcestruzzo destinato alle pavimentazioni industriali edito dall'Ente Nazionale Conpaviper

[P9] Linee Guida per il Calcestruzzo Autocompattante – maggio 2005 – ERMCO (trad. ATECAP)

Le tabelle e i grafici tratti dalle pubblicazioni sono stati ridisegnati.

NOTE

MB 06.09.3000

Unical S.p.A.
via Luigi Buzzi, 6
15033 Casale Monferrato (AL) - Italia
tel +39 0142 416473
fax +39 0142 416537
www.unicalcestruzzi.it

Unical