



**Finanziato  
dall'Unione europea**  
NextGenerationEU

## **PROGETTO ESECUTIVO**

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) MISSIONE 2,  
COMPONENTE 4, SUB-INVESTIMENTO 2.1B: "MISURE PER LA RIDUZIONE DEL  
RISCHIO ALLUVIONALE E DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO"

### **NUOVO PONTE DI ATTRAVERSAMENTO DEL TORRENTE OGLIOLO IN VIA G. SORA**

CUP: G29J21003340002  
CODICE NUTS: ITC47  
CODICE ISTAT: 017068

ELABORATO

## **Relazione sui materiali**

SCALA

DATA

**Dicembre 2023**

COMMITTENTE

**Comune di Edolo**

PROGETTAZIONE  
E DIREZIONE  
LAVORI

**ING. Roberta Filisetti**  
**via XI Novembre n° 27**  
**25040 Malonno (Bs)**



Elab.n°

# **T5**

## RELAZIONE SUI MATERIALI

### Premessa

Le norme tecniche per la progettazione prevedono la redazione della **Relazione sui materiali**.

E' da intendere anche che quanto richiesto al punto 4.1.7 delle N.T.C. debba essere contenuto nella relazione sui materiali (*"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"*) relativo alla messa in opera del calcestruzzo ed alla stagionatura del calcestruzzo.

E' però buona norma, comunque, evitare il ristagno e lo scorrimento dell'acqua sulla struttura con un opportuno utilizzo di guaina impermeabilizzante, scossaline, gronde, ecc.

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"*.

Le N.T. 2008 non chiariscono cosa fare per ottenere il requisito di durabilità ma si limitano a "consigliare" alcune norme europee. Tale consiglio è seguito in questa analisi.

L'obiettivo è quello di perseguire la prevenzione del degrado delle strutture in c.a. che si può perseguire con i seguenti passaggi.

Progetto : analisi del contesto ambientale, scelta dei materiali, concezione e calcolo delle strutture, disegno dei particolari costruttivi.

Realizzazione: preparazione - messa in opera, controllo dei copriferrì, controlli di accettazione, compattazione e stagionatura del calcestruzzo.

Manutenzione: interventi programmati nel corso della vita utile di servizio all'opera.

Secondo le N.T. italiane ed europee la scelta del calcestruzzo e delle condizioni di fornitura è di pertinenza del prescrittore (progettista). Per questo obiettivo i parametri minimi da definire sono:

- 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.”*

Nelle norme tecniche il requisito di durabilità è trattato nel cap.11 e non viene spiegato rigorosamente su quali parametri agire per ottenerlo. Si tenga presente che la definizione corretta delle combinazioni di classi di esposizione, con la vita utile del progetto, consente l'identificazione della classe di resistenza minima del calcestruzzo.

## **Acciaio**

L'acciaio da utilizzare comprende: barre d'acciaio tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 50 \text{ mm}$ ), rotoli tipo B450C ( $6 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$ ); prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con:

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

Ognuno di questi prodotti deve essere conforme alle Norme tecniche: queste specificano le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi e le condizioni delle prove di accettazione 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**

### Tipo di calcestruzzo

I calcestruzzi dovranno essere conformi alla UNI EN 206-1 e UNI 11104.

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 <sub>max</sub> aggregato (mm)	Classe di consistenza	Prestazioni aggiuntive	Copriferro nominale
1	Sottofondazione	XO	C 12/15 (R <sub>ck</sub> 15)	CI 1,0	no	32	S4		-
2	Platea di fondazione	XC2 + XS2	C 32/40 (R <sub>ck</sub> 40)	CI 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 <sub>ck</sub> 40)	CI 0,20	no	32	S4		50
4	Pilastrini e muri in elevazione	XC3 + XS1	C 32/40 (R <sub>ck</sub> 40)	CI 0,20	no	32	S4		45
5	Travi, solai, veletta tetto, balconi	XC4 + XS1	C 32/40 (R <sub>ck</sub> 40)	CI 0,20	no	20	S5		45
6	Falde tetto	XC4 + XS1	C 32/40 (R <sub>ck</sub> 40)	CI 0,20	no	20	S3		45

### Classe di resistenza

La classe di resistenza è stata definita in conformità alle Norme tecniche e alla 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 del calcestruzzo devono soddisfare i valori minimi previsti dalla norma UNI 11104 per l'ambiente in cui è previsto che debbano lavorare i vari elementi strutturali.

### Prescrizione della classe di resistenza

La classe di resistenza di ogni elemento strutturale dell'opera dovrà essere stabilita:

- \_ in base alle esigenze strutturali;
- \_ in funzione delle azioni agenti sulla struttura.

La classe di resistenza dovrà soddisfare anche il requisito minimo necessario per la durabilità e la classe di esposizione.

Le N.T.C. 2008 prescrivono che “le classi di resistenza normalizzate per calcestruzzo normale sono quelle definite nella UNI EN 206-1 e nella UNI EN 11104 di recepimento”.

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.

Per la possibilità che nelle opere in progetto possano essere usati prefabbricati si dovrà tener presente che per i calcestruzzi di classe di resistenza compresa tra C 45/55 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".*

#### 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 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.

Sulla classe di esposizione le N.T.C. 2008 e le linee guida sul calcestruzzo strutturale, pubblicate nel 1996, non indirizzano con chiarezza a quale documento fare riferimento. Nelle valutazioni che seguono si fa riferimento alle UNI EN 11104 ed UNI EN 206-1 che sono sostanzialmente le stesse.

Il prospetto riportato di seguito consente di individuare la corretta combinazione di classi di esposizione dell'opera e/o di ogni sua singola componente, in funzione dei singoli meccanismi di degrado dell'ambiente sulle strutture.

Denominazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>		
<b>XO</b>	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 aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b>		
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.		
<b>XC1</b>	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.
<b>XC2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
<b>XC3</b>	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
<b>XC4</b>	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni 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.
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
<b>XD1</b>	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
<b>XD2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
<b>XD3</b>	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi continui di agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.



Denominazione della Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
<b>XS1</b>	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.
<b>XS2</b>	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
<b>XS3</b>	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.
<b>5 Attacco di cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti *)</b>		
<b>XF1</b>	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.
<b>XF2</b>	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.
<b>XF3</b>	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.
<b>XF4</b>	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.
<b>6 Attacco chimico **)</b>		
<b>XA1</b>	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.
<b>XA2</b>	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
<b>XA3</b>	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.
<p>*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione</li> <li>- elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.</li> </ul> <p>**) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.</p>		

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

Il prospetto seguente consente di individuare le caratteristiche minime che deve possedere il calcestruzzo.

	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
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/m³)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 <sup>a)</sup>					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>b)</sup>		

\*) 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 prescrizioni 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.

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 <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 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 <sub>2</sub> mg/l aggressiva	prEN 13577:199-9	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Terreno				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a)</sup> totale	EN 196-2 <sup>b)</sup>	≥2000 e ≤3000 <sup>c)</sup>	>3000 <sup>d)</sup> e ≤12000	>12000 e ≤24000
Acidità mV/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	
<p><sup>a)</sup> I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10<sup>-6</sup> m/s possono essere classificati in una classe inferiore</p> <p><sup>b)</sup> Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mediante acido cloridrico; in alternativa si può usare l'estrazione con acqua se nel luogo di impiego del calcestruzzo c'è questa pratica.</p> <p><sup>c)</sup> 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 essiccamento/bagnatura oppure suzione capillare.</p>				

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.

La classificazione della classe di esposizione per le verifiche allo stato limite di fessurazione è rappresentata dalla tabella seguente.

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<sub>1,2,3</sub>

Per i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione si utilizza il prospetto riportato di seguito.

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

Tabella 4.1.IV di classificazione dei criteri di scelta dello stato limite di fessurazione estratta dalle Norme tecniche <sup>EN 201</sup>.

### 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 ma deve essere 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, dia un valore inferiore a 0,5 l/m<sup>2</sup>/ora.

### Prescrizione della 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.

Individuare la corretta classe di calcestruzzo contribuisce ad evitare ingiustificate aggiunte d'acqua.

Il criterio di scelta può essere il seguente:

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

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

**S4** per getti effettuati direttamente dalla canale dell'autobetoniera di pavimenti, solette, platee, plinti e per getti 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 del calcestruzzo, 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, 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<sup>2</sup>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.

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,

### 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'areosol marino.

### Prescrizione della classe di contenuto in cloruri

I cloruri presenti nella massa cementizia sono una delle cause più importanti della degradazione delle armature metalliche.

Nel progetto in esame:

- \_ non possono derivare da ambiente marino;
- \_ la gestione dell'impianto di depurazione sarà tale che non saranno prodotti sali disgelanti.

Essi possono essere veicolati anche dalle materie componenti il calcestruzzo che può contenerne quantità dannose (per esempio gli additivi acceleranti).

In merito 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 secondo il seguente prospetto.



Impiego del Calcestruzzo	Classe di contenuto in cloruri <sup>a)</sup>	Massimo contenuto di Cl <sup>-</sup> rispetto alla massa del cemento <sup>b)</sup>
In assenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici (ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione)	Cl 1,0	1,0 %
In presenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici	Cl 0,20	0,20 %
	Cl 0,40	0,40 %
In presenza di armatura d'acciaio da precompressione	Cl 0,10	0,10 %
	Cl 0,20	0,20 %
<p>a) la classe da applicare per uno specifico utilizzo del calcestruzzo dipende da disposizioni valide nel luogo di impegno del calcestruzzo</p> <p>b) Qualora siano impiegate aggiunte di tipo II e siano 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.</p>		

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

Classe Strutturale							
Criterio	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Vita utile di progetto di 100 anni	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi
Classe di resistenza <sup>1) 2)</sup>	≥ C30/37 ridurre di 1 classe	≥ C30/37 ridurre di 1 classe	≥ C35/45 ridurre di 1 classe	≥ C40/50 ridurre di 1 classe	≥ C40/50 ridurre di 1 classe	≥ C40/50 ridurre di 1 classe	≥ C45/55 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<sup>[N4]</sup> che permette di variare la classe strutturale in funzione di alcuni criteri costruttivi.

Requisito Ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

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

Requisito Ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

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

### 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 DPRv380/2001). Sul calcestruzzo dovrà essere eseguito il controllo di accettazione di tipo A o di tipo B secondo quanto previsto dal capitolo 11 delle Norme tecniche.

### Messa in opera

L'esecuzione dell'opera deve essere conforme alla norma prEN 13670:2008.

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, rigidità, tenuta e pulizia adeguate per ottenere superfici regolari e prive di difetti superficiali che possano incidere pesantemente sulla capacità del copriferro di proteggere le armature, soprattutto in presenza di ambiente marino.

I lavori di preparazione ai getti dovranno essere completati, ispezionati e documentati come richiesto dalla classe di esecuzione.

Le superfici che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco non devono avere una temperatura inferiore a 0°C finché questo abbia superato la resistenza a compressione di 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.

### Prescrizione della messa in opera

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.

#### 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. Si riporta la tabella 7.9 estratta dal libro Concretum , in cui sono consigliati i tempi di vibrazione in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo.

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.

## 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, si prescrive una classe di stagionatura 3, per le pareti e pilastri è sufficiente una classe di stagionatura 2 (figura. sottostante).

Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 1: 12h <sup>5)</sup>			
Durata minima della stagionatura per la classe di stagionatura 2 (corrispondente ad una resistenza della superficie del calcestruzzo pari al 35% della resistenza caratteristica prescritta)			
Temperatura superficiale del calcestruzzo (t) °C	Tempo minimo della stagionatura, giorni <sup>1)</sup>		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo <sup>3) 4)</sup> $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $0,50 > r \geq 0,30$	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 caratteristica 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 caratteristica 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
<sup>1)</sup> Più il tempo di presa se eccedente le 5 ore <sup>2)</sup> Per temperature sotto i 5°C la durata dovrebbe essere prolungata della permanenza al di sotto di 5°C <sup>3)</sup> Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto delle resistenze medie a compressione dopo 2 giorni e a 28 giorni determinate da prove iniziali o basate su prestazioni del calcestruzzo conosciute di composizione simile (vedi EN 206-1 sezione 7.2) <sup>4)</sup> Per sviluppi della resistenza del calcestruzzo molto bassi, occorre dare le prescrizioni particolari nelle specifiche di esecuzione <sup>5)</sup> Ammesso che il tempo di presa non superi 5h e la temperatura superficiale del calcestruzzo sia maggiore o uguale a 5°C.			

Eccetto che nel periodo invernale, è consentito utilizzare agenti antievaporanti, facendo attenzione ad 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.

Le Linee guida sul calcestruzzo strutturale 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 indicati i tempi previsti per la stagionatura del calcestruzzo, estratti dai riferimenti normativi vigenti.

La norma prEN 13670:2008 (figura seguente) , 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.

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

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

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

Temperatura superficiale del calcestruzzo (t) °C	Tempo minimo della stagionatura, giorni <sup>1)</sup>		
	Sviluppo della resistenza del calcestruzzo <sup>3)4)</sup> $(f_{cm,2} / f_{cm,28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0,50$	Medio $0,50 > r \geq 0,30$	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 caratteristica 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 caratteristica 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 resistenze medie a compressione dopo 2 giorni e a 28 giorni determinate da prove iniziali o basate su prestazioni del calcestruzzo conosciute di composizione simile (vedi EN 206-1 sezione 7.2)

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 sia maggiore o uguale a 5°C.

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



La resistenza deve essere fornita dal produttore come riportato nel prospetto 12 della UNI EN 206-1 (figura sottostante).

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

La tabella 7, estratta dalle Linee guida sul calcestruzzo strutturale, 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.

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 stagionatura	Tempi espressi in giorni								
I) Non esposto ad insolazione diretta UR dell'aria circostante $\geq 80\%$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
II) Isolazione diretta media o vento di media velocità o $U_k > 50\%$	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 <sup>(P1)</sup> in cui viene prescritta la durata della stagionatura.

Interessante è il suggerimento pratico del Prof. Coppola nel libro Concretum 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 (tabella 7.12).

Classe di resistenza del calcestruzzo	$\leq C25/30$		$> C25/30$	
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

La tabella tiene conto solo della resistenza del calcestruzzo, del periodo dell'anno e dell'esposizione della struttura rispetto all'ambiente.

Tabella 7.12 estratta da Concretum<sub>JPSI</sub> 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.

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<sub>[P7]</sub> in cui viene prescritta la durata della stagionatura in giorni per ogni lotto di pavimento finito.

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.

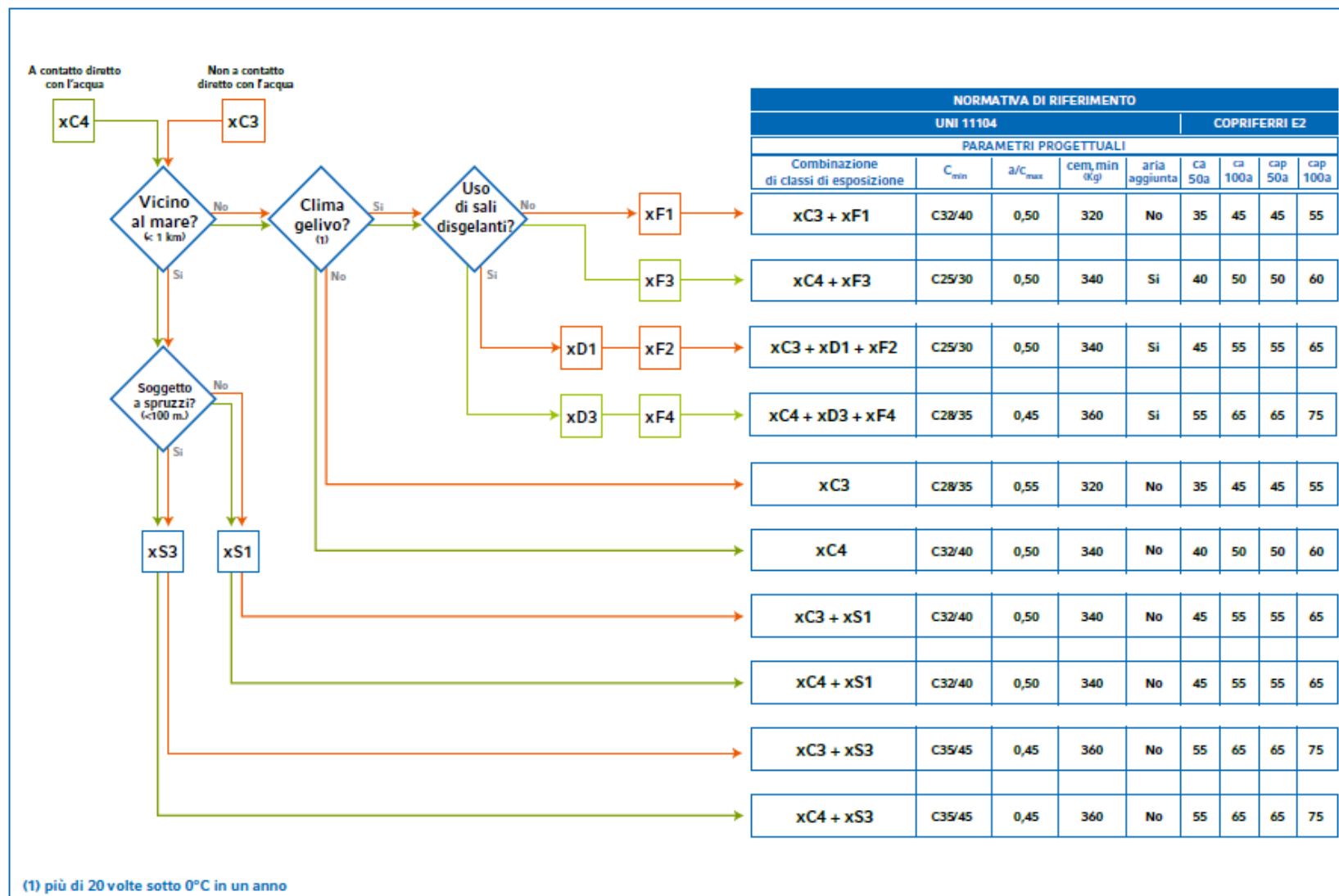
#### Accorgimenti alle alte e basse temperature

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 di fessurazioni da ritiro o assestamento plastico. L'elevata temperatura, tuttavia, consente di non prolungare eccessivamente la stagionatura. Particolare attenzione occorre nel caso in cui di notte ci sia una forte escursione termica che può innescare nel getto forti tensioni per contrazione termica, così come è buona norma controllare la forte perdita di umidità dei primi giorni, soprattutto nei getti orizzontali, che provoca fessure e imbarcamenti (nelle strutture non armate) per ritiro igrometrico differenziale. La norma UNI EN 206-1 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 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 calcestruzzo (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.

### SCHEMA 3

Prescrizione della durabilità delle strutture in elevazione.



I pavimenti su massicciata (solette poco o non armate e pavimenti industriali su massicciata non colloboranti) 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 la *SCHEDA 3* che però non tiene conto dell'eventuale attacco chimico prodotto dalle attività che vi si svolgono sopra.

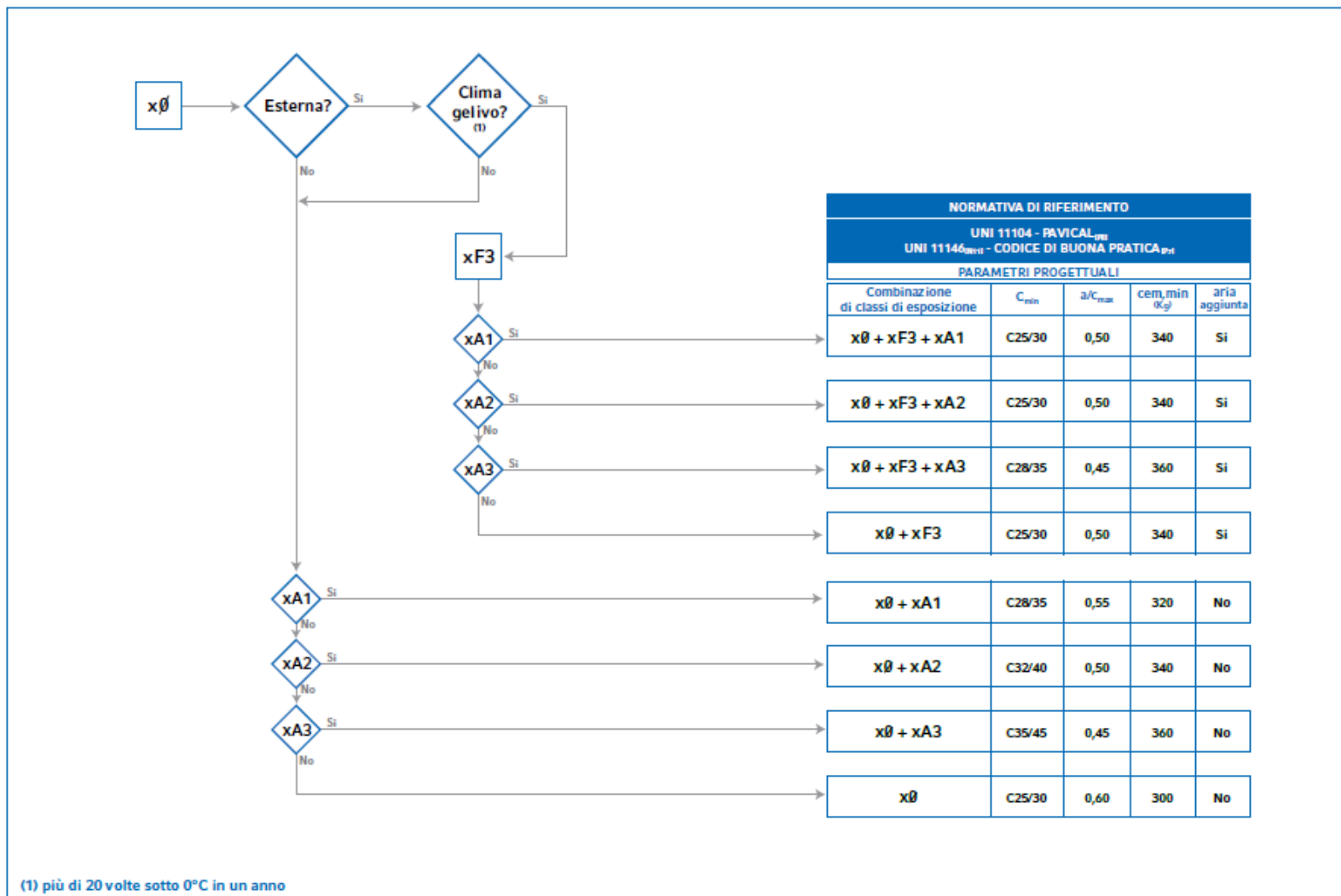
Si raccomanda di eseguire le prove del terreno o dell'acqua da esso contenuta e delle sostanze che verranno utilizzate o prodotte dal processo che si svolgerà sulla pavimentazione, come previsto dal prospetto 2 della norma UNI EN 206-1.

Nel caso di attacco solfatico occorre prescrivere un cemento resistente ai solfati. 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.

SCHEMA 4

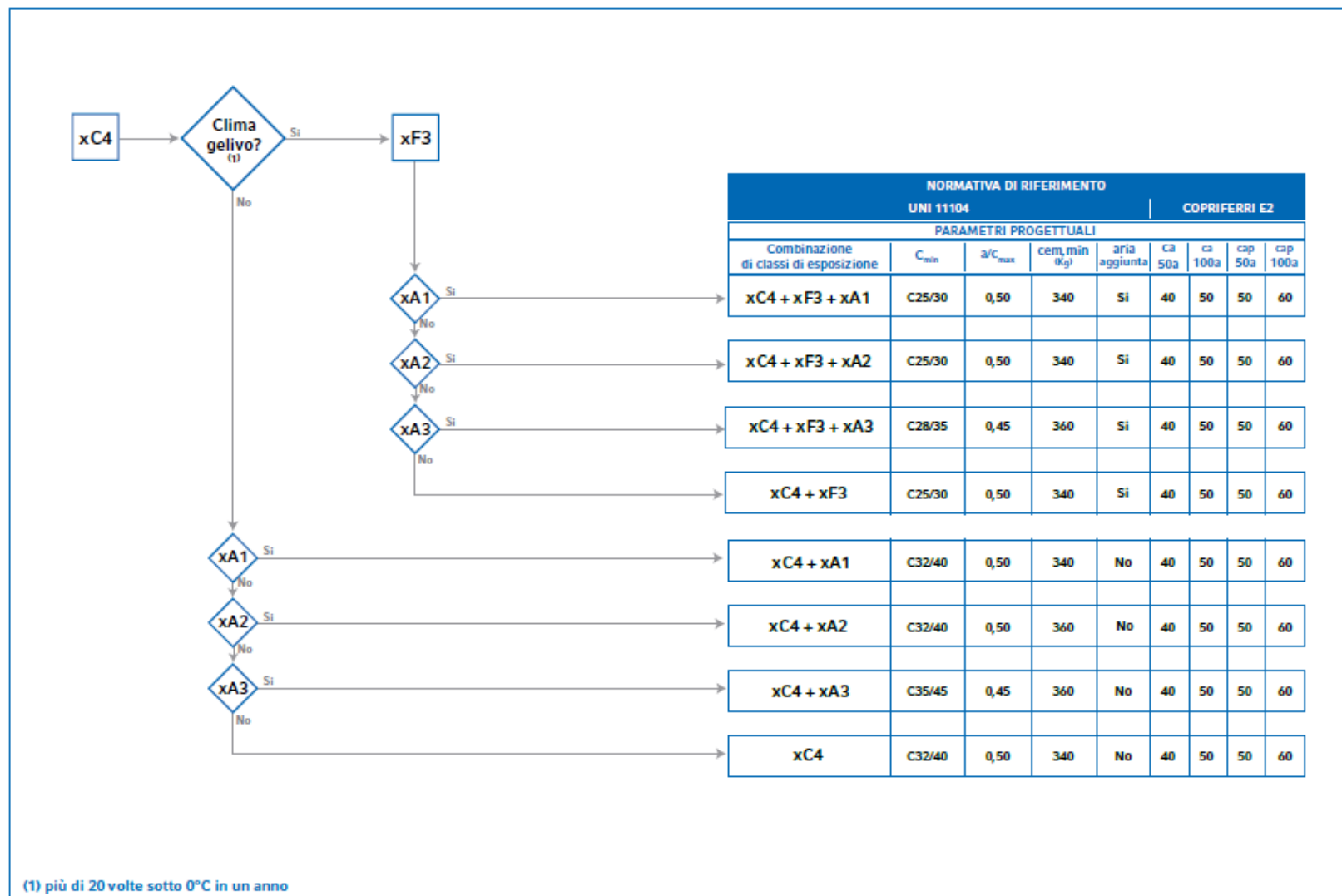
Prescrizione della durabilità delle pavimentazioni.





*SCHEMA 5*

Prescrizione della durabilità di strutture idrauliche in acqua dolce.



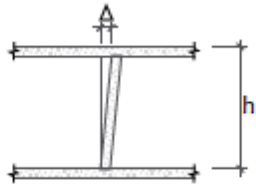
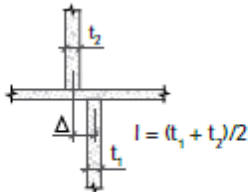
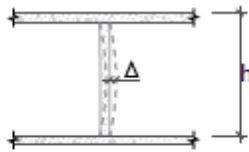
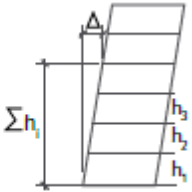
**TABELLA DEI TIPI DI CALCESTRUZZO**

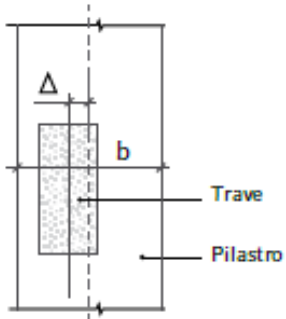
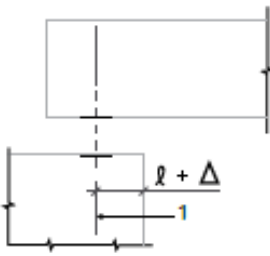
		Norme di riferimento							
		UNI 11104 (prospetto 1)	UNI 11104 (prospetto 4)	UNI EN 206-1				UNI EN 1992-1-1	
Tipo	Campi di impiego	Combinazione di classi di esposizione	Classe di resistenza	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	D <sub>max</sub> aggregato (mm)	Classe di consistenza	Copriferro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

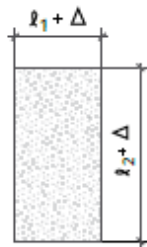
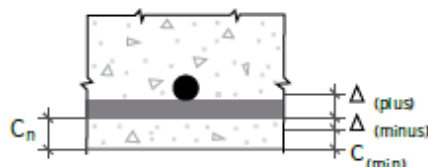
In base a questi prospetti per il lavoro in progetto le caratteristiche dei materiali che saranno usati nelle varie tipologie di strutture e riportate sulle relative analisi e tavole grafiche strutturali, sono le seguenti:

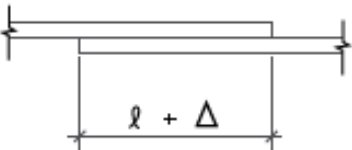
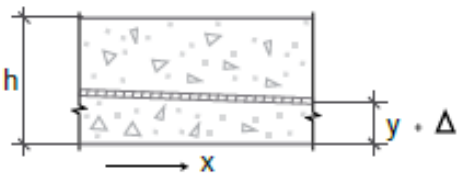
$D_{\max} < \frac{1}{4}$  della sezione minima dell'elemento strutturale.

## Tolleranze con importanza strutturale

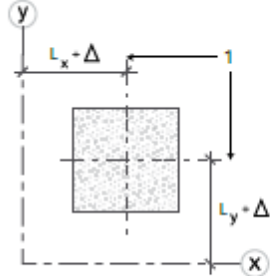
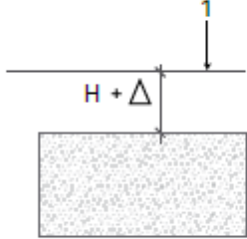
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Pilastri e Pareti</b>			
a		Inclinazione di un pilastro a qualsiasi livello in un edificio di uno o più piani  $h \leq 10 \text{ m}$ $h > 10 \text{ m}$	Il maggiore di  15 mm e $h/400$ 25 mm e $h/600$
b		Scostamento 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 spiccatto in un edificio multipiano  (n è il numero di piani)	Il minore di $\frac{\sum h}{200 \cdot \frac{n}{2}}$ se $n > 1$ o 50 mm

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

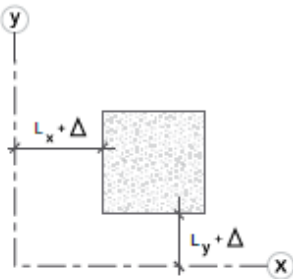
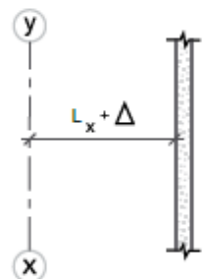
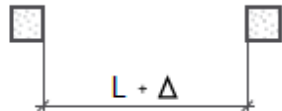
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$	
			Classe di tolleranza 1	Classe di tolleranza 2
Tolleranze con importanza strutturale				
a	Dimensioni della sezione trasversale 	$l_1$ = dimensione della sezione trasversale Applicabile a travi, solette e pilastri Per $l_1 < 150$ mm $l_1 = 400$ mm $l_1 \geq 2500$ mm con interpolazione lineare per i valori intermedi	$\pm 10$ mm $\pm 15$ mm $\pm 30$ mm	$\pm 5$ mm $\pm 10$ mm $\pm 30$ 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 $\Delta$ = scostamento consentito da $c_n$ $h$ = altezza della sezione trasversale	$h < 150$ mm $h = 400$ mm $h \geq 2500$ mm con interpolazione lineare per i valori intermedi	$\pm 10$ mm $\pm 15$ mm $\pm 20$ mm	$\pm 5$ mm $\pm 10$ mm $\pm 20$ mm
		$\Delta_{minus}$	$\Delta c_{dov}^{a)}$	$\Delta c_{dov}^{a)}$
Requisito: $c_n + \Delta_{plus} > c > c_n -  \Delta_{minus} $ a) $\Delta_{dov}$ può essere ricavato dagli Allegati Nazionali alla EN 1992-1-1. A meno che diversamente specificato, $\Delta c_{dov} = 10$ 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.				

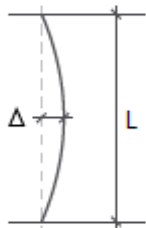
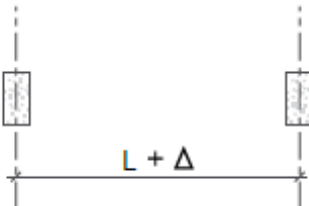
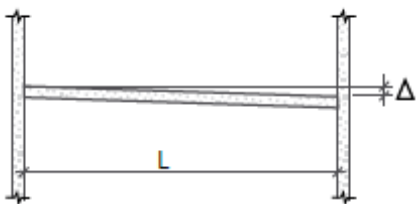
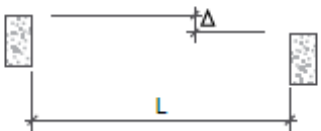
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Tolleranze con importanza strutturale</b>			
c	Sovrapposizione delle barre  	$l$ = lunghezza della sovrapposizione	Classe di tolleranza 1  - 0,06 $l$
d	Posizione dell'armatura di precompressione Sezione longitudinale   $y$ posizione nominale (di solito in funzione della posizione $x$ lungo il tirante)	Per $h \leq 200$ mm  $h > 200$ mm  Copriferro misurato dalla guaina	$\pm 0,03 h$  Il minore di $\pm 0,03 h$ e $\pm 30$ mm  $\Delta c_{dow}$
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 $\pm 30$ 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.			

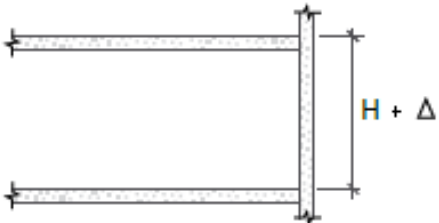
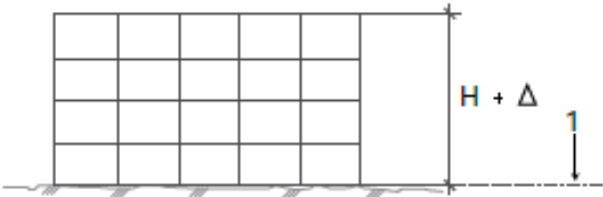
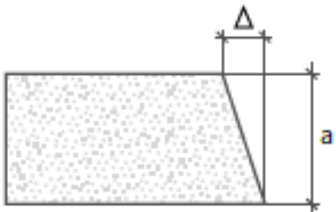
## Tolleranze con limitata influenza strutturale

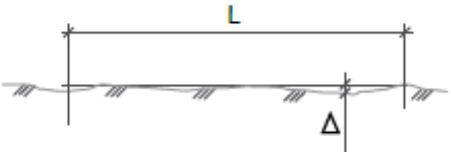
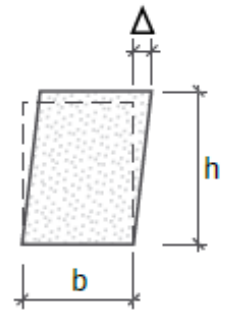
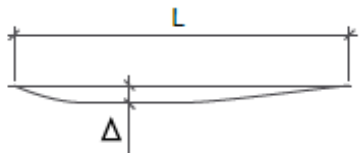
N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Fondazioni</b>			
a	Sezione orizzontale  <p>1 Asse dell'elemento di fondazione y Asse secondario in direzione y x Asse secondario in direzione x</p>	Posizione in pianta di un elemento di fondazione relativa agli assi secondari	$\pm 25 \text{ mm}$
b	Sezione verticale  <p>1 Quota secondaria di riferimento H Distanza prevista</p>	Posizione in elevazione dell'elemento di fondazione relativa alla quota secondaria di riferimento	$\pm 20 \text{ mm}$

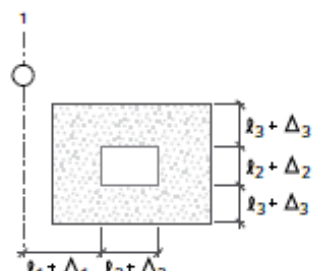

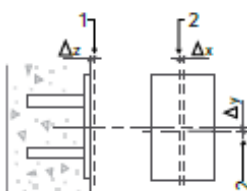


N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Pilastri e pareti</b>			
a	Asse secondario 	Posizione in pianta di un pilastro relativa all'asse secondario	$\pm 25 \text{ mm}$
b	Asse secondario 	Posizione in pianta di un muro relativa all'asse secondario	$\pm 25 \text{ mm}$
c		Luce tra pilastri e pareti adiacenti	Il maggiore di <sup>a)</sup> $\pm 20 \text{ mm}$ e $\pm L/600$ ma non maggiore di 60 mm
<sup>a)</sup> 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 $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Travi e solette</b>			
a		Rettilinearità in pianta delle travi	Il maggiore di $\pm 20 \text{ mm}$ e $\pm L/600$
b		Distanza tra due travi adiacenti, misurata in punti corrispondenti	Il maggiore di <sup>a)</sup> $\pm 20 \text{ mm}$ e $\pm L/600$ ma non più di 40 mm
c		Inclinazione di una trave o di una soletta	$\pm \left( 10 + \frac{L}{500} \right) \text{ mm}$
d		Differenza di quota di travi adiacenti misurata in punti corrispondenti	$\pm \left( 10 + \frac{L}{500} \right) \text{ mm}$
<sup>a)</sup> 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 $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Travi e solette</b>			
e		Interpiano misurato in corrispondenza dei supporti	$\pm 20 \text{ mm}$
f		Quota del piano superiore rispetto al sistema secondario di riferimento $H \leq 20 \text{ m}$ $20 \text{ m} < H < 100 \text{ m}$ $H \geq 100 \text{ m}$	$\pm 20 \text{ mm}$ $\pm 0,5(H+20) \text{ mm}$ $\pm 0,2(H+200) \text{ mm}$
<b>Sezioni</b>			
a		$a =$ lunghezza della dimensione trasversale	La maggiore di $\pm 0,04 a$ e $\pm 10 \text{ mm}$ , ma non più di $\pm 20 \text{ mm}$

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

N°	Tipo di scostamento	Descrizione	Scostamento consentito $\Delta$ Classe di tolleranza 1
<b>Tolleranze per fori e inserti</b>			
a	Fori  1 Asse secondario	$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$	$\pm 25 \text{ mm}$  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	$\Delta_1 = \pm 10 \text{ mm}$  $\Delta_2 = \pm 3 \text{ mm}$  $\Delta_3 = \pm 25 \text{ mm}; -5 \text{ mm}$  $\Delta_s = > 5 \text{ mm o } l_3/200$  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	$\Delta_x, \Delta_y = \pm 20 \text{ mm}$  $\Delta_z = \pm 10 \text{ mm}$  A meno che non sia stabilito diversamente nelle specifiche di progetto.