

**aicap**

Associazione Italiana  
Calcestruzzo Armato e Precompresso



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Catanzaro

**Catanzaro, 15 – 16 Aprile 2010**

**CONVEGNO**

**LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE SECONDO IL  
D.M. 14.01.2008 E CIRCOLARE APPLICATIVA**

\* \* \*

**Relazione del Dr. Ing. Giovanni Angotti**

**CONTROLLI SUI MATERIALI, RUOLO DEL DIRETTORE DEI  
LAVORI E DEI COLLAUDATORI**

Villaggio Guglielmo  
Copanello di Staletti

## INDICE

1) premesse.....	2
2) Il cemento armato.....	4
3) Il calcestruzzo .....	4
4) ulteriori requisiti del calcestruzzo .....	7
4.1) le classi di esposizione secondo le UNI-EN 206 .....	8
4.2) il processo produttivo del calcestruzzo .....	9
4.3) la messa in opera del calcestruzzo .....	9
4.4) la compattazione del calcestruzzo.....	10
4.5) la stagionatura delle strutture .....	10
4.6) le prestazioni del calcestruzzo indurito.....	10
4.7) Il controllo di accettazione.....	11
4.7.1) prelievo dei campioni.....	11
4.7.1.1) controllo di tipo A.....	11
4.7.1.2) controllo statico di tipo B.....	12
4.7.1.3) controllo della resistenza del calcestruzzo in opera.....	12
5) L'acciaio per cemento armato.....	13
6) ulteriori requisiti dell'acciaio .....	14
6.1.1) Prescrizioni comuni a tutte le tipologie di acciaio .....	14
6.1.2) Controlli di produzione in stabilimento e procedure di qualificazione per acciai da cemento armato .....	15
6.1.3) Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati.....	18
6.1.4) Forniture e documentazione di accompagnamento.....	18
6.1.5) Centri di trasformazione.....	19
6.1.6) Controlli nei centri di trasformazione .....	21
6.1.7) Controlli di accettazione in cantiere.....	22
7) ruolo del direttore dei lavori.....	25
7.1) ulteriori compiti del direttore dei lavori.....	25
8) il ruolo del collaudatore statico .....	26
9) prove di carico.....	27
10) strutture prefabbricate .....	29
11) il certificato di collaudo statico .....	29
Appendice.....	I-V
Riferimenti bibliografici.....	VI

## 1) premesse

Per lo svolgimento della relazione affidatami sui “*Controlli dei materiali, ruolo del direttore dei lavori e dei Collaudatori*” mi atterrò solo **ai materiali** che compongono **le strutture in cemento armato** ed **alle figure professionali** che concorrono alla loro **scelta, messa in opera e controllo**.

Tratterò perciò, esclusivamente, **alcuni aspetti dei capitoli 11 delle NTC del 14.01.2008 e della Circolare applicativa del 02.01.2009 relativi a materiali e prodotti strutturali per il cemento armato:**

- **identificati** univocamente a cura del **produttore**;
- **qualificati** sotto la responsabilità del **produttore**;
- **accettati** dal **direttore dei lavori** mediante **acquisizione della documentazione di qualificazione**, nonché mediante eventuali **prove sperimentali** di accettazione.

\*

Al **produttore** fanno naturalmente capo le **modalità di qualificazione e di identificazione dei materiali e dei prodotti strutturali** distinguendo

- a) quelli per i quali sia disponibile una **norma europea armonizzata** in **possesso di marcatura CE**;
- b) quelli per i quali sia prevista **la qualificazione con le modalità e le procedure delle NTC** accertata dal **direttore dei lavori (attestato di qualificazione valido, certificati di idoneità tecnica all’impiego, ecc)**.
- c) di quelli **innovativi** o comunque non citati nel cap. XI delle NTC e **per i quali il produttore potrà pervenire alla marcatura CE** non mi occuperò.

\*

**Alla realizzazione delle strutture**, come è noto, e quindi **all'impiego di materiali e prodotti strutturali**, concorrono in vario modo, diverse **figure professionali** fra le quali ne spiccano **cinque**:

**a) il progettista delle strutture** innanzitutto, che **sceglie e definisce materiali e prodotti** con la finalità di soddisfare i requisiti essenziali di **resistenza**, di **stabilità**, di **durabilità** e più in generale **d'uso** per lo scopo al quale essa è destinata **durante la sua vita nominale**, purchè soggetta a manutenzione ordinaria.

Secondo le N.T.C. il **progetto strutturale deve comprendere** tutti gli elaborati, anche quelli di dettaglio delle strutture, ed in particolare le **prescrizioni specifiche di esecuzione**, di cui ai **capitoli 10.1 delle NTC e della Circolare** applicativa, contenute nell'elaborato progettuale denominato **“Relazione dei materiali”**, finalizzato alla scelta dei materiali richiesti dal **dimensionamento della struttura**, dal loro impiego, dalle eventuali **misure di protezione**, dalla **manutenzione** e dalla **durabilità** intesa come *“conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, indicandone gli accorgimenti adottati”*.

È **“la Relazione sui materiali che deve altresì indicare le procedure e le prove sperimentali di accettazione dei materiali e dei prodotti prescritte dalle N.T.C.”** con riferimento alla specificità di ciascun progetto strutturale, ed in particolare all'acciaio ed al calcestruzzo da impiegarsi.

Anche in tal senso, le NTC affermano che **“Il progettista resta comunque responsabile dell'intera progettazione strutturale”**.

**b) il produttore** che immette sul **mercato materiali e prodotti** destinati a ben precisati impieghi **strutturali**, assumendosi le **responsabilità di conformità**, di **identificazione** e di **qualificazione** fra i quali il progettista compie le sue scelte;

**c) il costruttore** (o l'appaltatore che sia) preposto alla **posa-installazione di materiali e prodotti** durante le fasi esecutive del processo di costruzione della struttura in fabbrica, a piè d'opera, di cantiere, di trasformazione, etc. nel rispetto del progetto;

**d) il direttore dei lavori** che assicura la corrispondenza della struttura eseguita e delle caratteristiche dei materiali impiegati al progetto ed al contratto, nonché la correttezza delle modalità esecutive, assumendo la **responsabilità dell'accettazione e del controllo della corretta posa in opera di materiali e prodotti nonché delle prove sperimentali**;

**e) il collaudatore statico** che esprime il **giudizio sul comportamento e le prestazioni delle strutture eseguite**, attraverso ispezioni, controlli e prove.

## **2) Il cemento armato**

Ciò premesso mi soffermerò, soltanto, sui componenti principali delle strutture in cemento armato costituiti dal **calcestruzzo** (riferendomi al pregevole testo del prof. **Collepari**) e dall'**acciaio**; nonché alle funzioni essenziali svolte dalle **figure professionali preposte al ciclo costruttivo**.

## **3) Il calcestruzzo**

Orbene, **il calcestruzzo**, deve essere classificato **dal progettista** nella "*relazione sui materiali*", e **controllato dal direttore dei lavori** attraverso:

a) la classe di resistenza che concerne il calcestruzzo indurito, individuata mediante il valore caratteristico della resistenza a compressione assiale posta a base del calcolo, certificata da laboratori ufficiali:

- definita **cilindrica  $f_{ck}$** , se misurata su provini cilindrici normalizzati dal diametro di mm 150 e di altezza 300 mm;

- e **cubica  $R_{ck}$** , se misurata su cubetti di spigolo 150 mm.

In generale la resistenza cubica può essere convertita in quella cilindrica (per provini  $h/d=2$ ) con la relazione  $f_c=0,83 R_c$ .

Le classi di resistenza del calcestruzzo in funzione del tipo di costruzione sono:

CLASSE DI RESISTENZA $C f_{ck}/R_{ck}$ (MPa)	TIPOLOGIA DI COSTRUZIONE
C8/10	Strutture non o poco armate
C12/15	
C16/20	Strutture in c.a.
C20/25	
C25/30	
C28/35	Strutture in c.a. e c.a.p.
C32/40	
C35/45	
C40/50	
C45/55	
C50/60	Strutture in c.a. e c.a.p. con prove di prequalifica su $R_{ck}$ e altre grandezze fisico-meccaniche
C55/67	
C60/75	
C70/85	
C88/95	Strutture in c.a. e c.a.p. con autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei LL.PP.
C90/105	

**La valutazione preliminare (prequalifica) della resistenza** serve a **scegliere la miscela omogenea idonea a produrre il calcestruzzo** della resistenza caratteristica prevista in sede **progettuale** sotto **il controllo del direttore dei lavori**;

- b) la classe di consistenza** che concerne **il calcestruzzo fresco** e specificatamente la sua **lavorabilità** ovvero la **capacità di muoversi e di compattarsi al momento del getto nei casseri**; correlata alla **tipologia** dell'opera ed alle sue **difficoltà esecutive** onde evitare rischi di **difetti superficiali visivi** (nidi di ghiaia) o **alveoli interni** (vespai).

Una **classificazione** della consistenza è quella dedotta **con il metodo** dello **slump test**, consistente nella misura dell'abbassamento del calcestruzzo sformato da un **cono di Abrams alto 30 cm**.

### Classe di consistenza richiesta per alcune tipologie strutturali

Classe di consistenza	Slump (mm)	Applicazioni
S1 ( <b>terra umida</b> )	10-40	Pavimenti messi in opera con vibro-finitrice
S2 ( <b>plastica</b> )	50-90	Strutture circolari (silo, ciminiera) messe in opera con casseri rampanti
S3 ( <b>semi-fluida</b> )	100-150	Strutture non armate o poco armate o con pendenza
S4 ( <b>fluida</b> )	160-210	Strutture mediamente armate
S5 ( <b>super-fluida</b> )	> 210	Strutture fortemente armate, di ridotta sezione e/o complessa geometria

L'affidabilità di un calcestruzzo dipende dalla sua lavorabilità perché meno dipendente dalla qualità della mano d'opera di cantiere. In tal senso sono da preferirsi quelli di classe S4 ed S5.

I **fluidificanti** più efficaci sono quelli a base di **poli-carbosilicati (PC)**.

La quantità di **additivo** rispetto alla massa del cemento è dell'**1%** circa.

**c) il diametro massimo dell'aggregato** definito dal progettista **sempre inferiore allo spessore del copriferro** ed alla **distanza fra i ferri** di armatura.

#### **4) ulteriori requisiti del calcestruzzo**

Ai precedenti requisiti caratteristici del calcestruzzo, ne vengono aggiunti e precisati altri nella "*Relazione dei materiali*", anch'essi prescritti dalle NTC e **soggetti al controllo del direttore dei lavori**, afferenti ai provvedimenti da adottarsi **per limitare le situazioni di degrado** indotte da **attacco chimico-fisico**, dalla **corrosione dell'armatura** e dai **cicli di gelo-disgelo**.

Il progettista, pertanto, nella “*Relazione sui materiali*”, deve precisare **le condizioni ambientali** nelle quali il calcestruzzo è destinato a vivere caratterizzandole attraverso **le classi di esposizione** considerate nelle “*Linee guida del Ministero dei ll.pp. sul calcestruzzo strutturale*” od in altre norme di eguale validità, **che richiedano a tal fine** la conoscenza della **classe di resistenza minima del calcestruzzo** ed, ove occorra, la **penetrazione dell’acqua in pressione** (determinata secondo UNI 12390-8), nonché lo **spessore del copriferro** ed altri vincoli compositivi quali il **rapporto acqua-cemento ( $^a/c$ )**, il **dosaggio del cemento**, l’**eventuale aria inglobata**, il **valore minimo di Rck in funzione del rapporto  $^a/c$**  e la **classe e quantità di cemento impiegato**, (elemento quest’ultimo però non cogente ma solo indicativo).

\*

Nelle **bolle di accompagnamento** relative alla fornitura di calcestruzzo preconfezionato che il **direttore dei lavori** è tenuto ad acquisire **sono infatti indicati normalmente** i **valori della classe di resistenza, della classe di esposizione, della classe di consistenza** e **talvolta** anche del **diametro massimo dell’aggregato** ma mai il dosaggio del cemento.

#### **4.1) le classi di esposizione secondo le UNI-EN 206**

**Le classi di esposizione secondo le UNI-EN 206** sono le seguenti:

### Classi di esposizione secondo le UNI-EN 206

Classe di esposizione	Ambiente	Tipo di struttura	Numero di sottoclassi
XO	<b>Nessun rischio di corrosione</b> (interni di edifici con UR molto bassa)	Non armata e armata	1
XC	<b>Corrosione delle armature</b> promossa dalla <b>carbonatazione</b>	Armata	4
XD	<b>Corrosione delle armature</b> promossa dai <b>cloruri esclusi quelli</b> presenti in acqua di mare	Armata	3
XS	<b>Corrosione delle armature</b> promossa dai <b>cloruri dell'acqua di mare</b>	Armata	3
XF	<b>Degrado del calcestruzzo</b> (incluso quello promosso dall'acqua di mare)	Non armata e armata	4
XA	<b>Attacco chimico del calcestruzzo</b> (incluso quello promosso dall'acqua)	Non armata e armata	3

**Le sottoclassi di esposizione sono riportate nell'appendice.**

#### **4.2) il processo produttivo del calcestruzzo**

**Il processo produttivo del calcestruzzo preconfezionato o prodotto in cantiere deve essere soggetto ad un controllo (“Factory Process Control, FPC”) certificato da enti ispettivi riconosciuti dal Servizio Tecnico Centrale, del quale il Direttore dei lavori deve venire in possesso.**

#### **4.3) la messa in opera del calcestruzzo**

La **corretta esecuzione** del calcestruzzo rientra invece fra i **compiti del costruttore**. Al direttore dei lavori spetta però il **controllo** soprattutto di alcuni aspetti essenziali della messa in opera:

- **la compattazione** del calcestruzzo per evitare **nidi corticali e vespai interni;**

- **la stagionatura** delle superfici per evitarne la immediata **fessurazione**;
- **il posizionamento dei distanziatori** per garantire il **rispetto** dello spessore prescritto del **copriferro**;
- **la resistenza meccanica del calcestruzzo in opera** che **non deve differire** significativamente **da quella di progetto**.

#### **4.4) la compattazione del calcestruzzo**

Deve raggiungere un elevato grado ( $g_c$ ) compreso fra **0,97 e 0,99** onde ridurre lo scarto fra la **resistenza strutturale** e **quella potenziale** del calcestruzzo. Per il calcestruzzo autocompattante  $g_c = 1$

La misura di  $g_c = \frac{m_v}{m_{v_0}}$  ove  $m_{v_0}$  è la massa volumetrica del provino compattato e  $m_v$  quella in opera, desunta ad esempio da una carota.

#### **4.5) la stagionatura delle strutture**

L'**essiccamento** del calcestruzzo può provocare **fessurazione da ritiro igrometrico** soprattutto **sulle superfici del calcestruzzo fresco**.

È quindi importante **assicurare dopo la scasseratura** (di solito 1 giorno) una **stagionatura umida delle superfici**; diversamente in **condizioni climatiche sfavorevoli** (facile **evaporazione** dell'acqua del calcestruzzo) si **arresta l'idratazione corticale del calcestruzzo che rimane poroso** **facilitando la corrosione delle armature metalliche** o addirittura arrivando alla **fessurazione con pregiudizio per la durabilità dei ferri di armatura**.

#### **4.6) le prestazioni del calcestruzzo indurito**

**Alcuni parametri valgono** sia per la **caratterizzazione del calcestruzzo**, sia per la **classe di esposizione**, sia per **altri requisiti** del calcestruzzo in opera, (ad esempio **rapporto  $f_c$ , impiego del cemento**, ecc.)

perciò il **direttore dei lavori** deve accertarsi che i loro valori siano tali da **soddisfare tutte le esigenze**.

#### **4.7) Il controllo di accettazione**

**Il controllo di accettazione** riguarda generalmente le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare per la costruzione della struttura che deve risultare **conforme a quello previsto in progetto** e si esegue **sistematicamente su provini prelevati dal direttore dei lavori che ne rimane l'unico responsabile**, anche quando si avvale di un suo incaricato, secondo le norme regolamentari che lo consentano. Per ogni prelievo **va redatto un verbale secondo le norme UNI** in contraddittorio con il costruttore ed i relativi **provini conservati in luogo umido devono essere etichettati indelebilmente ed identificati mediante sigle riportate sui verbali**.

##### **4.7.1) prelievo dei campioni**

Al momento della posa il **direttore dei lavori** od un suo delegato deve prelevare il calcestruzzo per confezionare **un prelievo** costituito da un gruppo di **due provini**; la media delle loro resistenze, accertate in laboratorio dopo 28 giorni, costituisce la **"Resistenza del prelievo"** indurito.

Un valore significativo da accertare, come si è già visto, è costituito pure dalla **massa volumica** dei provini per la caratterizzazione in laboratorio del calcestruzzo duro.

##### **4.7.1.1) controllo di tipo A**

I controlli sistematici in corso d'opera **di tipo A sono consentiti** per miscela omogenea **non maggiore di 300 mc di getto**. Richiedono **tre prelievi** ciascuno su un massimo di 100 mc di getto e **comunque un prelievo per ogni giorno di getto**.

Per getti con meno di 100 mc, fermo restando l'obbligo di almeno tre prelievi, è consentito derogare l'obbligo di prelievo giornaliero.

Il **controllo di accettazione è positivo** se sono verificate le seguenti disuguaglianze

$$R_i \geq R_{ck} - 3,5 \quad R_m = \text{resistenza media dei prelievi}$$

$$R_m \geq R_{ck} + 3,5 \quad R_i = \text{minore valore di resistenza dei prelievi}$$

#### **4.7.1.2) controllo statico di tipo B**

I controlli sistematici di **tipo B sono obbligatori** per miscela omogenea **maggiore di 1500 mc di getto**.

Vanno effettuati **almeno 15 prelievi sui 1500 mc** e comunque **non meno di uno al giorno**

Il controllo è positivo se sono verificate le seguenti disuguaglianze:

$$R_m \geq R_{ck} + 1,4 s \quad s = \text{scarto quadratico medio}$$

$$R_i \geq R_{ck} - 3,5$$

Ove risulti  $\frac{s}{R_m} > 0,15$  occorrono **controlli più accurati**;

Ove risulti  $\frac{s}{R_m} > 0,3$  il calcestruzzo **non può essere accettato**

#### **4.7.1.3) controllo della resistenza del calcestruzzo in opera**

Quando il **direttore dei lavori** ritenga necessario **valutare le proprietà di un calcestruzzo in opera** si può procedere con **prove distruttive e non distruttive**.

La circostanza ricorre nel caso in cui **l'esito dei provini non soddisfi i criteri di accettazione**, quando **sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza di qualifica della miscela**.

Nel caso si ricorra a prove su carote, la resistenza media dei prelievi delle carote (**resistenza strutturale**) deve essere confrontata con la resistenza media di laboratorio dei provini (**resistenza potenziale**).

**È accettabile un risultato di  $Rm_{strutt} > 85\% Rm_{pot}$**

### **5) L'acciaio per cemento armato**

**L'acciaio per cemento armato**, deve essere sempre **saldabile**, e caratterizzato **dal progettista** nella “*relazione sui materiali*” attraverso

- **i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento  $f_{y\ nom}$**  e di rottura  **$f_t\ nom$**  da **utilizzarsi nei calcoli**;

- **i requisiti caratteristici** delle tensioni di snervamento  **$f_{yk}$**  e di rottura  **$f_{tk}$** , di allungamento ( **$A_{gt}$** ), di **diametro del mandrino** per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche.

Si distinguono i seguenti acciai caratteristici per cemento armato.

#### ***a) Acciaio per cemento armato B450C***

L'acciaio per cemento armato **B450C** è caratterizzato dai seguenti valori nominali della **tensione caratteristica di snervamento e di rottura da utilizzare nei calcoli**

$f_{y\ nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_t\ nom$	540 N/mm <sup>2</sup>

Esso deve rispettare i seguenti requisiti

Caratteristiche	Requisiti	Fratte (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
	$< 1,35$	
$(f/f_{y\ nom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\ mm$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 $\phi$	

### b) Acciaio per cemento armato B450A

L'acciaio per cemento armato **B450A**, caratterizzato dai medesimi valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura dell'acciaio BA450C deve rispettare i seguenti.

Caratteristiche	Requisiti	Fratte (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f/f_{y\ nom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 2,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche: per $\phi \leq 10$		
	4 $\phi$	

## 6) ulteriori requisiti dell'acciaio

### 6.1.1) Prescrizioni comuni a tutte le tipologie di acciaio

Le norme prevedono **tre forme di controllo obbligatorie dell'acciaio** delle quali il **direttore dei lavori** deve tenere conto:

- **in stabilimento di produzione**, da eseguirsi **sui lotti di produzione**;
- **nei centri di trasformazione**, da eseguirsi **sulle forniture**;
- **di accettazione in cantiere**, da eseguirsi **sui lotti di spedizione**.

**I lotti di produzione** si riferiscono a produzione continua, ordinata cronologicamente mediante apposizione di contrassegni al prodotto finito aventi valori delle grandezze nominali omogenee (dimensionali, meccaniche, di formazione). Ogni lotto può essere compreso **tra 30 e 120 tonnellate**.

**Le forniture** sono lotti formati al **massimo da 90 t**, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee.

**Lotti di spedizione:** sono lotti formati **al massimo da 30 t**, spediti in un'unica volta, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee.

#### **6.1.2) Controlli di produzione in stabilimento e procedure di qualificazione per acciai da cemento armato**

**Tutti gli acciai devono essere prodotti con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento** che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione.

**Le prove di qualificazione e di verifica periodica**, devono essere ripetute per ogni prodotto avente caratteristiche differenti o realizzato con processi produttivi differenti, anche se provenienti dallo stesso stabilimento.

**I rotoli devono essere soggetti a qualificazione separata dalla produzione in barre e dotati di marchiatura differenziata.**

Il **laboratorio incaricato** deve effettuare, **senza preavviso**, presso lo stabilimento di produzione, il **prelievo di una serie di 75 saggi, ricavati da tre diverse colate o lotti di produzione; venticinque per ogni colata o lotto di produzione, scelti su tre diversi diametri opportunamente differenziati**, nell'ambito della gamma prodotta. Il prelievo deve essere effettuato su tutti i

prodotti che portano il marchio depositato in Italia, indipendentemente dall'etichettatura o dalla destinazione specifica.

**Sui campioni vengo determinati**, a cura del laboratorio incaricato, i **valori delle tensioni di snervamento e rottura  $f_y$  ed  $f_t$  e allungamento  $A_{gt}$  ed effettuate le prove di piegamento.**

Le grandezze caratteristiche  **$f_y$ ,  $f_t$ ,  $A_{gt}$  ed il valore inferiore di  $f_t/f_y$**  devono soddisfare la seguente relazione:

$$\bar{x} - k s \geq C_v$$

La grandezza caratteristica ( $f_y/f_{ynom}$   $\bar{x} - k s \geq C_v$ ) **ed il valore superiore**

**$f_t/f_y$** , devono soddisfare la seguente relazione

$$\bar{x} + k s \leq C_v$$

dove:

$C_v$  = **valore prescritto per  $f_{ynom}$  ed  $f_{tnom}$  degli acciai B450C e B450A**

$\bar{x}$  = **valore medio**

$s$  = **deviazione standard della popolazione**

$k$  = **è il coefficiente di  $f_t, f_y$ ; ed ( $f_y/f_{ynom}$ )** riportato nella tabella seguente ed in quella successiva per  **$A_{gt}$  e  $f_t/f_y$** ), e stabilito in base al numero dei saggi.

In ogni caso il coefficiente  $k$  assume, in funzione di  $n$ , i valori riportati nelle tabelle seguenti.

**Su almeno un saggio per colata o lotto di produzione è calcolato il valore dell'area relativa di nervatura o di dentellatura.**

**Qualora uno dei campioni sottoposti a prova di qualificazione non soddisfi i requisiti di resistenza o duttilità prescritti dalle norme tecniche, il prelievo relativo al diametro di cui trattasi va ripetuto ed il nuovo**

prelievo sostituisce a tutti gli effetti quello precedente. Un ulteriore risultato negativo comporta la ripetizione della prova di qualificazione.

**$-f_y/f_t, f_y/f_{y\text{nom}}$  - Coefficiente- Coefficiente k in funzione del numero n di campioni (per una probabilità di insuccesso attesa del 5% [p = 0,95] con una probabilità del 90%)**

n	k	n	K
5	3,40	30	2,08
6	3,09	40	2,01
7	2,89	50	1,97
8	2,75	60	1,93
9	2,65	70	1,90
10	2,57	80	1,89
11	2,50	90	1,87
12	2,45	100	1,86
13	2,40	150	1,82
14	2,36	200	1,79
15	2,33	250	1,78
16	2,30	300	1,77
17	2,27	400	1,75
18	2,25	500	1,74
19	2,23	1000	1,71
20	2,21	-	1,64

**$-A_{gt}f_y/f_t$  - Coefficiente- Coefficiente k in funzione del numero n di campioni (per una probabilità di insuccesso attesa del 10% [p = 0,90] con una probabilità del 90%)**

n	k	n	K
5	2,74	30	1,66
6	2,49	40	1,60
7	2,33	50	1,56
8	2,22	60	1,53
9	2,13	70	1,51
10	2,07	80	1,49
11	2,01	90	1,48
12	1,97	100	1,47
13	1,93	150	1,43
14	1,90	200	1,41
15	1,87	250	1,40
16	1,84	300	1,39
17	1,82	400	1,37
18	1,80	500	1,36
19	1,78	1000	1,34
20	1,77	-	1,282

### **6.1.3) Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati**

**Tutti i certificati relativi alle prove meccaniche degli acciai, sia in stabilimento che in cantiere o nel luogo di lavorazione, devono riportare l'indicazione del marchio identificativo**, rilevato a cura del laboratorio incaricato dei controlli, sui campioni da sottoporre a prove. **Ove i campioni fossero sprovvisti di tale marchio**, oppure il marchio non dovesse rientrare fra quelli depositati presso il Servizio Tecnico Centrale **le certificazioni** emesse dal laboratorio non **possono assumere valenza** ai sensi delle presenti norme e di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

**In tal caso il materiale non può essere utilizzato ed il laboratorio incaricato è tenuto ad informare di ciò il Servizio Tecnico Centrale.**

### **6.1.4) Forniture e documentazione di accompagnamento**

**Tutte le forniture di acciaio, per le quali non sussista l'obbligo della marcatura CE, devono essere accompagnate dalla copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale.**

L'attestato può essere utilizzato senza limitazione di tempo.

Il riferimento a tale attestato deve essere riportato sul documento di trasporto.

Le forniture effettuate da un commerciante intermedio devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal produttore e completati con il riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso.

**Il direttore dei lavori prima della messa in opera, è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture non conformi**, ferme restando le responsabilità del produttore.

### **6.1.5) Centri di trasformazione**

**Le NTC hanno normalizzato i centri di trasformazione dell'acciaio definendoli impianti esterni alla fabbrica e/o al cantiere, fissi o mobili che ricevono dal produttore di acciaio elementi base (barre o rotoli, reti, lamiere o profilati, profilati cavi, ecc.) e confezionano elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni.**

Il centro di trasformazione può ricevere e lavorare **solo prodotti qualificati all'origine, accompagnati dalla documentazione prevista dalle NTC.**

**I centri di trasformazione sono identificati, ai sensi delle NTC, come «luogo di lavorazione» e, come tali, sono tenuti ad effettuare una serie di controlli atti a garantire la permanenza delle caratteristiche, sia meccaniche che geometriche, del materiale originario. I controlli devono essere effettuati per ciascuna tipologia di acciaio lavorato.**

**Il centro di trasformazione, nell'ambito degli acciai per cemento armato, riceve dal produttore di acciaio elementi base (barre o rotoli, reti, ecc.) e confeziona elementi strutturali direttamente impiegabili in opere in cemento armato quali, ad esempio, elementi saldati e/o presagomati (staffe, ferri piegati, ecc.) o preassemblati (gabbie di armatura), pronti per la massa in opera.**

**Ogni fornitura in cantiere di elementi presaldati, presagomati o preassemblati deve essere accompagnata:**

**a) da dichiarazione**, su documento di trasporto, **degli estremi dell'attestato di avvenuta dichiarazione di attività, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale**, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;

**b) dall'attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno fatte eseguire e certificate presso laboratori ufficiali a cura del direttore tecnico del centro di trasformazione**, costituite da tre spezzoni di uno stesso diametro per ciascuna fornitura ed eseguite dopo le lavorazioni e le piegature con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata.

**Qualora il direttore dei lavori lo richieda, all'attestazione di cui sopra potrà seguire copia dei certificati relativi alle prove nei giorni in cui le lavorazioni sono state effettuate.**

**Il direttore dei lavori è tenuto a verificare gli esiti delle prove ed a rifiutare le eventuali forniture non conformi**, ferme restando le responsabilità del centro di trasformazione. **Della stessa documentazione dovrà prendere atto il collaudatore**, che riporterà, nel certificato di collaudo, gli estremi del centro di trasformazione che ha fornito l'eventuale materiale lavorato.

Le norme tecniche prescrivono inoltre che:

**a) gli acciai B450C**, possono essere impiegati in barre di diametro  $\emptyset$  compreso tra 6 e 40 mm;

**b) per gli acciai B450A**, il diametro delle barre deve essere compreso tra 5 e 10 mm;

**c) l'uso di acciai forniti in rotoli è ammesso, senza limitazioni, per diametri fino a  $\emptyset \leq 16$  mm per B450C e fino a  $\emptyset \leq 10$  mm per B450A.**

### **6.1.6) Controlli nei centri di trasformazione**

**I controlli sono obbligatori e devono essere effettuati:**

- a) in caso di utilizzo di barre**, su ciascuna fornitura, o comunque **ogni 90 t**;
- b) in caso di utilizzo di rotoli**, **ogni dieci rotoli** impiegati.

Qualora non si raggiungano le quantità sopra riportate, in ogni caso deve essere effettuato almeno un controllo per ogni giorno di lavorazione.

**La quantità dei campioni da prelevare per i controlli giornalieri è costituita da 3 spezzoni, di un diametro scelto dal direttore di stabilimento** nell'ambito di ciascuna fornitura, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento. In caso contrario i controlli devono essere estesi alle eventuali forniture provenienti da altri stabilimenti.

Quando la fornitura sia costituita da **acciaio proveniente da un'unica acciaieria**, il controllo può essere quindi limitato al prelievo di **tre campioni ogni 90 t oppure ogni 10 rotoli senza tenere conto di diversi diametro o diversi tipi di acciaio**. Diversamente dovranno essere prelevati tra campioni per ogni fornitura diversa.

**Tutte le prove** indicate dalle NTC, sia sui rotoli che sulle barre, **devono essere eseguite dopo le lavorazioni le piegature** atte a dare ad esse le forme volute per il particolare tipo di impiego previsto. **Ciò non vuol dire** che i campioni da sottoporre a prova debbano essere ottenuti da ferri piegati e poi raddrizzati, bensì **che il direttore di stabilimento sceglie gli spezzoni di barra da prelevare da una sagoma opportuna nella quale sia presente comunque un tratto rettilineo di lunghezza superiore ad un metro**, dal quale prelevare lo spezzone, non piegato, da sottoporre a prova.

### 6.1.7) Controlli di accettazione in cantiere

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori, devono essere effettuati entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale e devono essere campionati, nell'ambito di ciascun lotto di spedizione, con le medesime modalità contemplate nelle prove a carattere statistico in ragione di 3 spezzoni, marchiati, di uno stesso diametro, scelto entro ciascun lotto, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento. In caso contrario i controlli devono essere estesi ai lotti provenienti da altri stabilimenti.

I valori di resistenza e di allungamento di ciascun campione, da eseguirsi comunque prima della messa in opera del prodotto riferiti ad uno stesso diametro, devono essere compresi tra valori di accettazione massimi e minimi:

#### Valori di accettazione

Caratteristica	Valore limite	NOTE
$f_y$ minimo	425 N/mm <sup>2</sup>	(450 – 25) N/mm <sup>2</sup>
$f_y$ massimo	572 N/mm <sup>2</sup>	[450 x (1,25+0,02)] N/mm <sup>2</sup>
$A_{gt}$ minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
$A_{gt}$ minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
Rottura/snervamento	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
Rottura/snervamento	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per tutti

Questi limiti tengono conto della dispersione dei dati e delle variazioni che possono intervenire tra diverse apparecchiature e modalità di prova.

Nel caso di campionamento e prova in cantiere, che deve essere effettuata entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, **qualora la determinazione del valore di una quantità fissata non sia conforme al valore di accettazione, il valore dovrà essere verificato prelevando e provando tre provini da prodotti diversi nel lotto consegnato.**

Se un risultato è minore del valore, sia il provino che il metodo di prova devono essere esaminati attentamente. Se nel provino è presente un difetto o si ha ragione di credere che si sia verificato un errore durante la prova, il risultato della prova stessa deve essere ignorato. In questo caso occorrerà prelevare un ulteriore (singolo) provino.

Se i tre risultati validi della prova sono maggiori o uguali del prescritto valore di accettazione, il lotto consegnato deve essere considerato conforme.

**Se i criteri non sono soddisfatti, 10 ulteriori provini devono essere prelevati da prodotti diversi del lotto in presenza del produttore o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio ufficiale.**

**Il lotto deve essere considerato conforme se la media dei risultati sui 10 ulteriori provini è maggiore del valore caratteristico e i singoli valori sono compresi tra il valore minimo e il valore massimo.**

In caso contrario il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale.

Il **prelievo dei campioni** va effettuato a cura del **Direttore dei Lavori** o di tecnico di sua fiducia che deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati.

Qualora la fornitura, di elementi sagomati o assemblati, **provenga da un Centro di trasformazione**, il **Direttore dei Lavori**, dopo essersi accertato preliminarmente **che il suddetto Centro di trasformazione sia in possesso di tutti i requisiti previsti**, può recarsi presso il medesimo **Centro di trasformazione ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di cui sopra**. In

tal caso **il prelievo dei campioni** viene effettuato **dal Direttore tecnico** del centro di trasformazione **secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori**; quest'ultimo deve assicurare, **mediante sigle, etichettature indelebili**, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove.

**La domanda di prove al Laboratorio autorizzato deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere indicazioni sulle strutture interessate da ciascun prelievo.**

**In caso di mancata sottoscrizione** della richiesta di prove da parte **del Direttore dei Lavori**, **le certificazioni** emesse dal laboratorio **non possono assumere valenza** ai sensi del presente decreto e di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

**I controlli sono obbligatori e devono essere effettuati su tre saggi ricavati da tre diversi pannelli, nell'ambito di ciascun lotto di spedizione.**

Qualora uno dei campioni sottoposti a prove di accettazione non soddisfi i requisiti previsti nelle norme tecniche relativamente ai valori di snervamento, resistenza a trazione del filo, allungamento, rottura e resistenza al distacco, il prelievo relativo all'elemento di cui trattasi va ripetuto su un altro elemento della stessa partita. Il nuovo prelievo sostituisce quello precedente a tutti gli effetti. Un ulteriore risultato negativo comporta il prelievo di nuovi saggi secondo la procedura delle NTC.

## **7) ruolo del direttore dei lavori**

Rientra sicuramente fra gli **obblighi del costruttore** il rispetto delle regole di **corretta esecuzione del progetto strutturale**.

Al **direttore dei lavori** compete accertare i requisiti prescritti per il calcestruzzo e per l'acciaio in ogni evenienza ipotizzata, nonché la loro **corretta posa in opera**.

Vi è dunque un **rapporto dialettico fra le due figure** dal quale non potrà mai prescindere essendo **corresponsabili** entrambe per aspetti diversi **delle stesse fasi costruttive della struttura** risalenti alle prescrizioni del progetto strutturale. Rapporto che sovente si svolge **verbalmente** ma che le norme di legge ne indicano la via maestra gli **Ordini di Servizio**.

### **7.1) ulteriori compiti del direttore dei lavori**

Il direttore dei lavori deve attendere ai seguenti ulteriori compiti

- **Sottoscrizione della domanda di prove** al laboratorio con la indicazione della posizione delle strutture interessate da ogni prelievo.

Le prove non contenute nella domanda non possono essere utilizzate per il calcolo della resistenza caratteristica.

- **identificazione del laboratorio e dei certificati dei provini** con la data di ricevimento, modalità di prova e di esecuzione, misure effettuate sui campioni, massa volumica, valori di resistenza.
- l'opera non conforme ai controlli **non può essere accettata. Può però ricorrersi ad altri mezzi d'indagine** disposti dal direttore dei lavori ed assumere opportune decisioni: **dequalificare l'opera, consolidarla, demolirla.**

- **compilazione nei termini prescritti della relazione a struttura ultimata ove prescritta dalla legge e suo deposito presso gli uffici preposti.**

#### **8) il ruolo del collaudatore statico**

**Il ruolo del collaudo statico**, regolato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) (cap. 9) di cui al D.M. 14.01.2008, **per quanto afferisce alle leggi n. 1086/71 e n. 64/74 ed al D.P.R. n. 380/2001 riguarda il giudizio sul comportamento e le prestazioni delle strutture in c.a., c.a.p. e metalliche.**

\*

Lo svolgimento del collaudo statico, secondo le NTC è più generale e comprende altri materiali ed i seguenti adempimenti:

- **tecnici**: volti alla formazione del **giudizio** del collaudatore sulla stabilità **dell'opera e sulla rispondenza statica** alle finalità per cui essa è stata progettata;

- **amministrativi**: volti ad assicurare il rispetto delle **prescrizioni tecniche** necessarie alla pubblica incolumità e delle **procedure** previste dalle normative vigenti in materia di strutture ed alla **verifica dell'osservanza delle norme sismiche**.

\*

**Il collaudatore statico** é tenuto, quindi, a **verificare la correttezza delle prescrizioni formali della progettazione strutturale ad effettuare:**

- a) ***un'ispezione generale dell'opera*, alla presenza del direttore dei lavori e del costruttore;**

- b) *un esame dei certificati relativi alle prove sui materiali*, e del controllo sulla rispondenza tra i risultati ottenuti con i criteri di accettazione fissati dalle NTC;
- c) *un esame dei certificati relativi ai controlli sulle armature in acciaio*
- d) *un esame dei verbali delle prove di carico e dei relativi risultati eventualmente fatte eseguire dal direttore dei lavori;*
- e) *un esame dell'impostazione generale – strutturale e geotecnica - della progettazione dell'opera, degli schemi di calcolo utilizzati e delle azioni considerate*, nonché delle **indagini eseguite** nelle fasi di progettazione e costruzione;
- f) *un esame della relazione a struttura ultimata* del direttore dei lavori quando prescritta come è il caso delle strutture regolate dal D.P.R. n. 380/2001 e dalla legge n. 1086/71.

## **9) prove di carico**

Le prove di carico (art. 9.2 NTC), **ove ritenute necessarie dal collaudatore statico**, hanno la finalità di identificare la **corrispondenza fra comportamento teorico e sperimentale**. **I materiali degli elementi sottoposti a prove devono aver raggiunto le resistenze previste per il loro funzionamento finale in esercizio.**

**Il programma delle prove, predisposto dal collaudatore statico**, con l'indicazione delle procedure di carico e delle prestazioni attese (deformazioni, livelli tensionali, reazione dei vincoli, ecc.) **va sottoposto al direttore dei lavori per l'attuazione e reso noto al progettista perché ne convalidi la**

**compatibilità con il progetto strutturale ed al costruttore per accettazione.**

Le prove di carico devono essere svolte con le **modalità indicate dal collaudatore statico** che ne assume la responsabilità mentre la loro **materiale attuazione é affidata al direttore dei lavori**, che ne assume la responsabilità.

**Le prove di carico sono prove di comportamento delle opere sotto le azioni di esercizio, tali da indurre le sollecitazioni massime di esercizio per combinazioni caratteristiche (rare).**

In relazione al tipo di struttura ed alla natura dei carichi le prove possono essere **convenientemente protratte nel tempo, ovvero ripetute in più cicli.**

**Il giudizio sull'esito delle prove é responsabilità del collaudatore statico.** Esse vanno condotte effettuando i seguenti **accertamenti durante il loro svolgimento:**

- **le deformazioni si accrescano all'incirca proporzionalmente ai carichi;**
- **non si siano prodotte fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti che compromettano la sicurezza o la conservazione dell'opera;**
- **la deformazione residua** dopo la prima applicazione del carico massimo **non superi una quota parte di quella totale** commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova. **Nel caso invece che tale limite venga superato, prove di carico successive devono indicare che la struttura tenda ad un comportamento elastico;**
- **la deformazione elastica** risulti non maggiore di quella calcolata.

## **10) strutture prefabbricate**

In presenza di strutture prefabbricate poste in opera (art. 9.2.1 NTC), vanno eseguiti **controlli atti a verificare la rispondenza dell'opera ai requisiti di progetto**. È inoltre fondamentale **il preventivo controllo della posa degli elementi prefabbricati e del rispetto del progetto nelle tolleranze e nelle disposizioni delle armature e dei giunti, nonché nella verifica dei dispositivi di vincolo**.

**Il giudizio del collaudatore statico** sulla sicurezza dell'opera **dovrà essere riferito sia al componente strutturale prefabbricato** in calcestruzzo armato, normale o precompresso, singolo, **nelle fasi transitorie di formatura, movimentazione, stoccaggio, trasporto e montaggio, sia come elemento di un più complesso organismo strutturale una volta installato in opera**.

## **11) il certificato di collaudo statico**

A conclusione delle operazioni di collaudo il collaudatore statico rilascia il **certificato di collaudo statico**. Esso conterrà **una relazione sul progetto strutturale e sul piano della manutenzione delle strutture** nonché sui documenti esaminati e sulle eventuali attività integrative svolte, **i verbali delle visite** effettuate con la descrizione delle operazioni svolte, **il giudizio sulla collaudabilità delle strutture e sulla loro ispezionabilità ai fini della manutenzione**, con riferimento all'intero periodo della loro vita utile.

Giovanni Angotti

## APPENDICE

Le corrispondenti sottoclassi sono così distinte:

**Classe di esposizione XC secondo UNI 11104-2004 in applicazione della UNI-EN 206: corrosione delle armature promossa dalla carbonatazione**

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. $R_{ck}$ (MPa)	Dosaggio minimo di cemento /kg/m <sup>3</sup>	Spessore di copriferro* (mm)	
						c.a.	c.a.p.
XC1	Asciutto	• Interni di edifici con U.R. bassa	0,60	30	300	15	25
XC2	Bagnato raramente asciutto	• Strutture idrauliche • Fondazioni e strutture interrato	0,60	30	300	25	35
XC3	Moderatamente umido	• Interni di edifici con U.R. moderata/alta • Strutture esterne protette dal contatto diretto con la pioggia	0,55	35	320	25	35
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Strutture esterne esposte all'acqua piovana	0,50	40	340	30	40

\* La UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) nei prospetti 4.4N e 4.5N stabilisce lo spessore minimo dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. per una durabilità di almeno 50 anni (Classe strutturale S4) in relazione alle classi di esposizione XC, XS e XD definite nella norma UNI EN 206. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferro deve essere aumentato di 10 mm.

**Classe di esposizione XD secondo UNI 11104-2004 in applicazione della UNI-EN 206: corrosione delle armature promossa dai cloruri (esclusi quelli presenti in acqua di mare)**

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. R <sub>ck</sub> (MPa)	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Spessore di copriferro* (mm)	
						c.a.	c.a.p.
XD1	Moderatamente umido	• Strutture raramente a diretto contatto superficiale di spruzzi di acqua (pavimenti esposti a spruzzi occasionali di salamoia)	0,55	35	320	35	45
XD2	Bagnato raramente asciutto	• Piscine natatorie • Vasche di trattamento di acque industriali contenenti cloruro • Parti di ponte	0,50	40	340	40	50
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Pavimenti esterni esposti occasionalmente ad acque salate • Pavimenti e solai di parcheggi coperti	0,45	45	360	45	55

\* La UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) nei prospetti 4.4N e 4.5N stabilisce lo spessore minimo dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. per una durabilità di almeno 50 anni (Classe strutturale S4) in relazione alle classi di esposizione XC, XS e XD definite nella norma UNI EN 206. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferro deve essere aumentato di 10 mm

**Classe di esposizione XS secondo UNI 11104-2004 in applicazione della UNI-EN 206: corrosione delle armature promossa dai cloruri da acqua marina**

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. R <sub>ck</sub> (MPa)	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Spessore di copriferro* (mm)	
						c.a.	c.a.p.
XS1	Moderatamente umido	• Strutture in prossimità delle coste esposte al trascinarsi eolicco dell'acqua (aerosol)	0,50	40	320	35	45
XS2	Bagnato	• Strutture permanentemente e completamente sotto acqua di mare	0,45	45	360	40	50
XS3	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Strutture esposte discontinuamente all'acqua marina (alta-bassa marea)	0,45	45	360	45	55

\* La UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) nei prospetti 4.4N e 4.5N stabilisce lo spessore minimo dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. per una durabilità di almeno 50 anni (Classe strutturale S4) in relazione alle classi di esposizione XC, XS e XD definite nella norma UNI EN 206. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferro deve essere aumentato di 10 mm

**Classe di esposizione XF secondo UNI 11104-2004 in applicazione della UNI-EN 206**

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Minimo volume di aria (%)	Max a/c	Min. $R_{ck}$ (MPa)	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Spessore di copriferro* (mm)	
							c.a.	c.a.p.
XF1	Moderata saturazione con acqua in assenza di sali disgelanti	• Superfici verticali esposte alla pioggia ed al gelo	—	0,50	40	320	30	40
XF2	Moderata saturazione con acqua in presenza di sali disgelanti	• Superfici verticali di strutture stradali esposte a gelo e spruzzi contenenti sali disgelanti	3	0,50	30	340	40	50
XF3	Elevata saturazione con acqua in assenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo	3	0,50	30	340	30	40
XF4	Elevata saturazione con acqua in presenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali e strutture verticali stradali esposte direttamente ai sali disgelanti	3	0,45	35	360	45	55

\* I copriferri delle classi XF1 ed XF3 sono assimilabili a quelli della classe XC4 (Tabella 11.3)

I copriferri delle classi XF2 ed XF4 sono rispettivamente assimilabili a quelli della classe XD2 ed XD3

**Classe di esposizione XF secondo le Linee Guida del Ministero dei LL.PP.**

Classe di esposizione	Massimo rapporto a/c	Minima $R_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Minimo volume di aria (%)
XF1	0,55	37	300	4
XF2	0,50	40	320	4
XF3	0,50	40	320	4
XF4	0,45	45	350	4

**Classe di esposizione XA secondo UNI 11104-2004 in applicazione della UNI-EN 206: attacco chimico del calcestruzzo nei terreni**

* Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente TERRENO		Massimo rapporto a/c	Minima $R_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	◇ Spessore di copriferro (mm)	
	Acidità** (Bauman Gully)	SO <sup>-</sup> *** (mg/kg)				c.a.	c.a.p.
XA1	>200	≥2000 ≤3000	0,55	35	320	25	35
XA2	—	>3000 ≤12000	0,50	40	340	25	35
XA3	—	>12000 ≤24000	0,45	45	360	25	35

\* Quando due o più agenti aggressivi conducono alla stessa classe di esposizione l'ambiente deve essere classificato nella classe con il grado di aggressione maggiore

\*\* L'acidità del terreno viene valutata con il metodo DIN 430-2

\*\*\* Terreni rocciosi o argillosi con una permeabilità all'acqua inferiore a 10<sup>-5</sup> m/s devono essere classificati nella classe con un grado di aggressione immediatamente più basso

◇ Assimilabile alle strutture in classe XC2 per l'adozione del copriferro (Tabella11.3)

**Classe di esposizione XA secondo le Linee Guida del Ministero dei LL.PP.: attacco chimico del calcestruzzo nei terreni**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente: ione solfato mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /kg di terreno seccato all'aria	Massimo rapporto a/c	Minima $R_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )
XA1	2000 - 6000	0,55	37	300
XA2	6000 - 12000	0,50	40	320
XA3	>12000	0,45	45	350

**Classe di esposizione XA secondo UNI 11104-2004 in applicazione del prospetto 2 della UNI-EN 206: acque chimicamente aggressive**

Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente* ACQUA					Massimo rapporto a/c	Minima $R_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Dosaggio minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	◇ Spessore di copriferro (mm)	
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ** (mg/l)	pH	CO <sub>2</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)				c.a.	c.a.p.
XA1	≥200 ≤600	≤6,5 ≥5,5	≥15 ≤40	≥15 ≤30	≥300 ≤1000	0,55	35	320	25	35
XA2	>600 ≤3000	<5,5 ≥4,5	>40 ≤100	>30 ≤60	>1000 ≤3000	0,50	40	340	25	35
XA3	>3000 ≤6000	<4,5 ≥4,0	>100	>60 ≤100	>3000	0,45	45	360	25	35

\* Se non sono presenti due prodotti aggressivi nella stessa classe di esposizione, si adotta la classe di esposizione a livello superiore

\*\* Impiegare cementi resistenti ai solfati

◇ Assimilabile alle strutture in classe XC2 per l'adozione del copriferro

**Classe di esposizione XA secondo le linee Guida del Ministero dei Lp pp attacco chimico da parte di acque aggressive**

Agente aggressivo nelle acque	Classe di esposizione		
	XA1	XA2	XA3
pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	4,5 - 4,0
CO <sub>2</sub> aggressiva (mg CO <sub>2</sub> /l)	15 - 30	30 - 60	60 - 100
Ioni ammonio (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	15 - 30	30 - 60	60 - 100
Ioni magnesio (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	100 - 300	300 - 1500	1500 - 3000
Ioni solfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	200 - 600	600 - 3000	3000 - 6000
Massimo a/c	0,55	0,50	0,45
R <sub>ck</sub> min.* (N/mm <sup>2</sup> )	37	40	45
Dos. Cemento min. (kg/m <sub>3</sub> )	300	320	350

\* Valori riferiti a provini cubici confezionati con cemento di classe 42.5R

\*

Quando si richieda l'**impermeabilità** della struttura il rapporto  $a/c$  deve essere inferiore a 0,55. In tal modo l'acqua sotto pressione (5 bar) non penetra nel calcestruzzo per più di 20 cm.

### **Riferimenti bibliografici**

- 1) Nuove Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14 Gennaio 2008 – Edizioni tecniche;
- 2) Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 2 Febbraio 2009 n. 617;
- 3) “*Il Nuovo Calcestruzzo*” Mario e Silvia Collepari, Roberto Troli – Edizioni Tintoretto, quinta edizione;
- 4) Il collaudo statico secondo le nuove norme tecniche nel quadro della sicurezza delle costruzioni – Dr. Ing. Giovanni Angotti