

# Prescrizioni di capitolato sul calcestruzzo armato e precompresso in accordo alle Norme Europee

Mario Collepari, Silvia Collepari e Roberto Troli

ENCO, Via A. Nobel 10, Villorba, (TV)

## Introduzione

L'obiettivo di questo articolo consiste nella elaborazione delle prescrizioni di capitolato sulle prestazioni del calcestruzzo e della sua messa in opera in accordo alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" emanate con DM del 17 Gennaio 2018 ed in accordo alle Norme Europee EN 206 (1), alle Norme Europee EN 197-1 per i cementi (2) e all'Eurocodice 2 (3).

Le Norme Europee come anche l'Eurocodice 2 rappresentano il più avanzato contributo alla progettazione ed alla produzione di strutture in calcestruzzo armate con una vita di servizio di almeno 100 anni. La Figura 1 (4) mostra che l'Eurocodice 2 è adottato non solo nei Paesi della Unione Europea e dell'EFTA (EUROPEAN FREE TRADE ASSOCIATION) –area azzurra della mappa- ma anche nei Paesi che non appartengono alla Unione Europea come la Norvegia, la Svizzera ed il Regno Unito dove l'area in rosso della mappa rappresenta gli Stati fuori della UE e dell'EFTA, nei quali l'Eurocodice è stato adottato o è in corso di adozione.

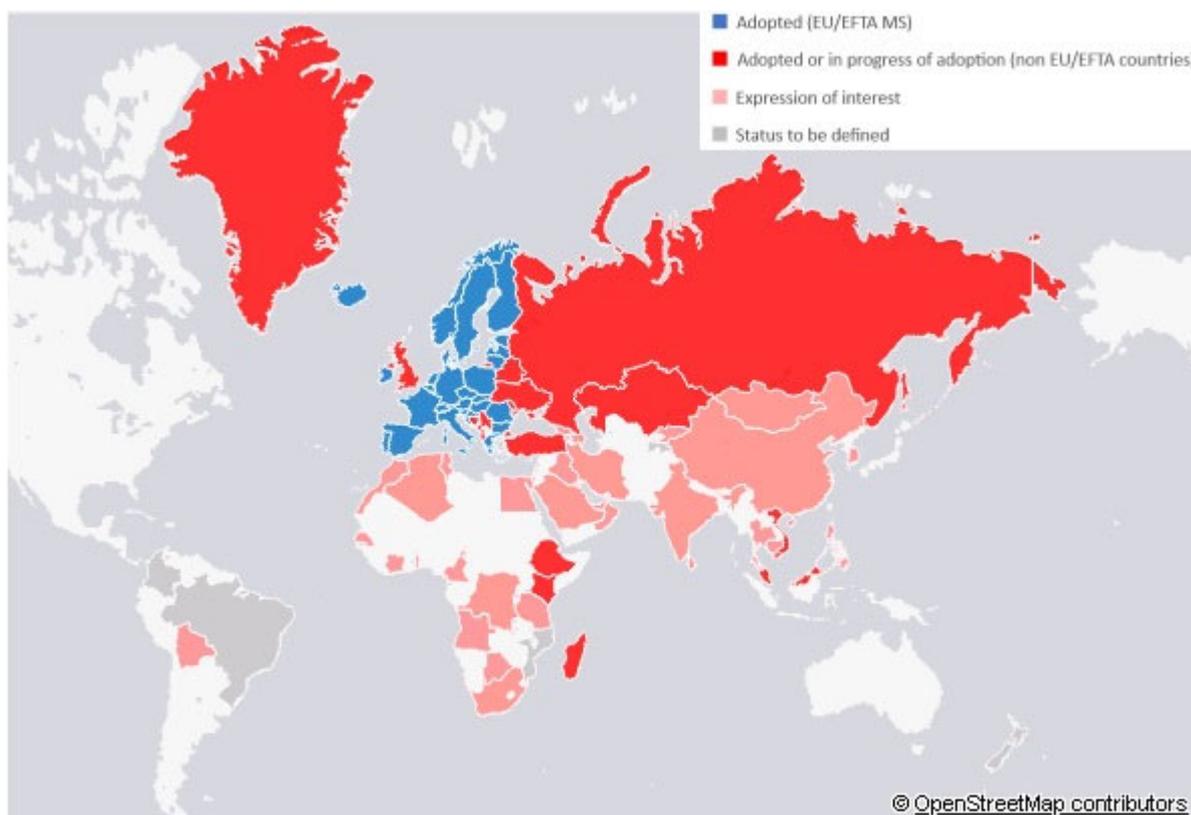


Figura 1- Unione Europea, The Eurocode MAP, 2018.

Gli autori di questo articolo, in supporto agli studi di progettazione per le opere in c.a. e c.a.p., hanno collaudato un sistema per l'elaborazione delle prescrizioni di capitolato in accordo alle norme Europee EN 206, alle EN 197-1 per i cementi e all'Eurocodice 2. La costruzione in calcestruzzo è idealmente scomposta in diversi settori in base a:

- alla classe di consistenza del calcestruzzo fresco: da consistenza asciutta a consistenza autolivellante;
- al tipo di armatura (c.a oppure c.a.p.);
- alla Vita Nominale di progetto: opere provvisorie o strutture in fase costruttiva (durabilità minore di 10 anni), opere importanti (durabilità > 50 anni), opere di importanza strategica (>100 anni);
- alla classe di esposizione ambientale;
- alla impermeabilità all'acqua;
- alla Rck misurata in laboratorio che deve risultare almeno eguale alla Rck di progetto;
- al grado di compattazione del calcestruzzo in opera che deve essere almeno 0,97 in modo che la Rcks (che si riferisce al calcestruzzo nella struttura) deve essere almeno eguale all'85% della Rck di progetto;
- alle eventuali resistenze meccaniche a compressione richieste alle brevi stagionature per ragioni di sformatura dei casseri tenuto anche conto della temperatura ambientale;
- altre resistenze meccaniche: a flessione o a trazione.

Prima dell'avvento di queste norme, il comportamento di strutture in calcestruzzo armato, benché di grande importanza strategica e progettate da ingegneri o architetti di fama mondiale, hanno fornito risultati molto deludenti in termini di durabilità corrispondente al massimo ad una vita utile di servizio di qualche decina di anni. A questo scopo, verrà ora messo a confronto il comportamento del Ponte sul fiume Aglio nell'autostrada Firenze-Bologna, così come si verificò a metà del secolo scorso, con quello che avrebbe potuto essere il comportamento del Ponte se fosse stato progettato con gli attuali criteri conformi alle Norme Europee sopra elencate.

## Comportamento del Ponte sul Fiume Aglio

Verso la fine degli anni 1950 il ponte sul fiume Aglio fu eretto sull'Autostrada Firenze-Bologna. Le Figure 2 e 3 danno un'idea della spettacolare costruzione del ponte progettata dal Prof. Guido Oberti (Politecnico di Torino) onorato con il titolo di *Honorary Member of the American Concrete Institute* per la sua fama di progettista in tutto il mondo.

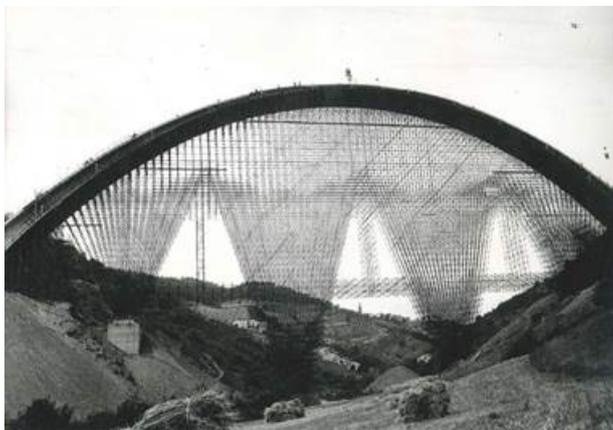


Figura 2- Costruzione dell'arco che attraversa il fiume Aglio

A metà degli anni 1980 il ponte era a rischio di collasso per il danno del calcestruzzo dei pilastri in c.a. provocato dai cicli di gelo-disgelo (5) e la severa corrosione delle armature metalliche provocata dalla penetrazione, attraverso un copriferro poroso e sottile dell'aria umida ricca di CO<sub>2</sub> (6) e in particolare dalla penetrazione degli ioni cloruro (7) per lo spargimento del sale disgelante (a base di NaCl) sulla soletta del ponte nei periodi invernali (8). Questi danni non sono sorprendenti se si considera la modesta conoscenza della tecnologia del calcestruzzo, ed in particolare dei problemi riguardanti gli aspetti della durabilità, nel periodo 1950-1960.



*Figura 3- Costruzione dei pilastri che sorreggono l'arco del ponte sul fiume Aglio*

Dopo solo 20 anni dalla costruzione il ponte era a rischio del collasso per la severa corrosione delle armature metalliche in tutta l'altezza dei pilastri bagnati dall'acqua piovana ricca di sale disgelante. La Figura 4 mostra una tipica corrosione delle armature metalliche con più di qualche barra metallica completamente scomparsa.



*Figura 4- Tipica corrosione dei ferri di armatura nei pilastri del Ponte sul fiume Aglio*

## **Comportamento teorico del Ponte sul Fiume Aglio in accordo alle vigenti Norme Europee**

Se il Ponte sul fiume Aglio potesse teoricamente essere progettato oggi in accordo alle vigenti Norme Europee dovremmo, innanzitutto, tener conto della sua Vita nominale in funzione dell'importanza dell'opera. La Tabella 1 indica che per il Ponte sul fiume Aglio, un ponte su un'autostrada come la Firenze-Bologna, dovremmo prendere in considerazione una vita utile di servizio pari a 100 anni di durabilità. Esaminando le varie strutture del Ponte (arco, soletta, pilastri,) inizieremo la progettazione dei pilastri in calcestruzzo armato che sorreggono l'arco del Ponte (Fig. 3).

*Tabella 1. Vita Nominale di Servizio ( $V_n$ )*

$V_n < 10$ anni per opere provvisorie
$V_n \geq 50$ anni per opere importanti quali dighe, autostrade, ecc.
$V_n \geq 100$ anni per opere importanti di importanza strategica

Un aspetto importante per garantire una durabilità di 100 anni riguarda l'ambiente aggressivo cui l'opera è esposta. Nel caso del Ponte sull'Aglio i pilastri armati si trovano in classe di esposizione XC mostrata in Tabella 2 (9). Cioè i pilastri sono esposti all'azione della CO<sub>2</sub> che neutralizza la calce di idrolisi prodotta dalla idratazione del cemento ed abbassa il PH da 13 a 9, cosicché l'acciaio presente nei pilastri armati si de-passiva e subisce la corrosione dei ferri. Ancora più aggressiva è l'esposizione alla presenza dei cloruri (Tabella 3) che bagnano le superfici dei pilastri in occasione delle piogge che trascinano sulla loro superficie il sale disgelante sparso nelle stagioni invernali in forma di NaCl sulla pavimentazione stradale. Per garantire la durabilità di 100 anni l'Eurocodice prescrive di aumentare di 10 mm lo spessore del copriferro che pertanto cambia da 45 a 55 mm per un calcestruzzo armato mostrato in Tabella 3 (10).

Tabella 2. Requisiti per calcestruzzi e copriferri di strutture in classe di esposizione XC

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. R <sub>ck</sub> (MPa)	Spessore di copriferro* (mm)	
					c.a.	c.a.p.
XC1	Asciutto	• Interni di edifici con U.R. bassa	0,65	25	15	25
XC2	Bagnato raramente asciutto	• Strutture idrauliche • Fondazioni e strutture interrate	0,60	30	25	35
XC3	Moderatamente umido	• Interni di edifici con U.R. moderata/alta • Strutture esterne protette dal contatto diretto con la pioggia	0,55	37	25	35
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Strutture esterne esposte all'acqua piovana	0,50	37	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. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferro deve essere aumentato di 10 mm

Tabella 3. Requisiti per calcestruzzi e copriferri di strutture in classe di esposizione XF

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Minimo volume di aria (%)	Max a/c	Min. R <sub>ck</sub> (MPa)	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	—	0,55	37	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	4	0,55	30	45	55
XF3	Elevata saturazione con acqua in assenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo	4	0,50	37	30	40
XF4	Elevata saturazione con acqua in presenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali e strutture verticali stradali esposte direttamente ai sali disgelanti	4	0,45	37	45	55

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

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

Un altro aspetto da prendere in considerazione è la resistenza meccanica cubica media dei calcestruzzi confezionati con i cementi in accordo alla EN 197-1 (11) in funzione del rapporto acqua/cemento e del tempo di stagionatura (Fig.5).

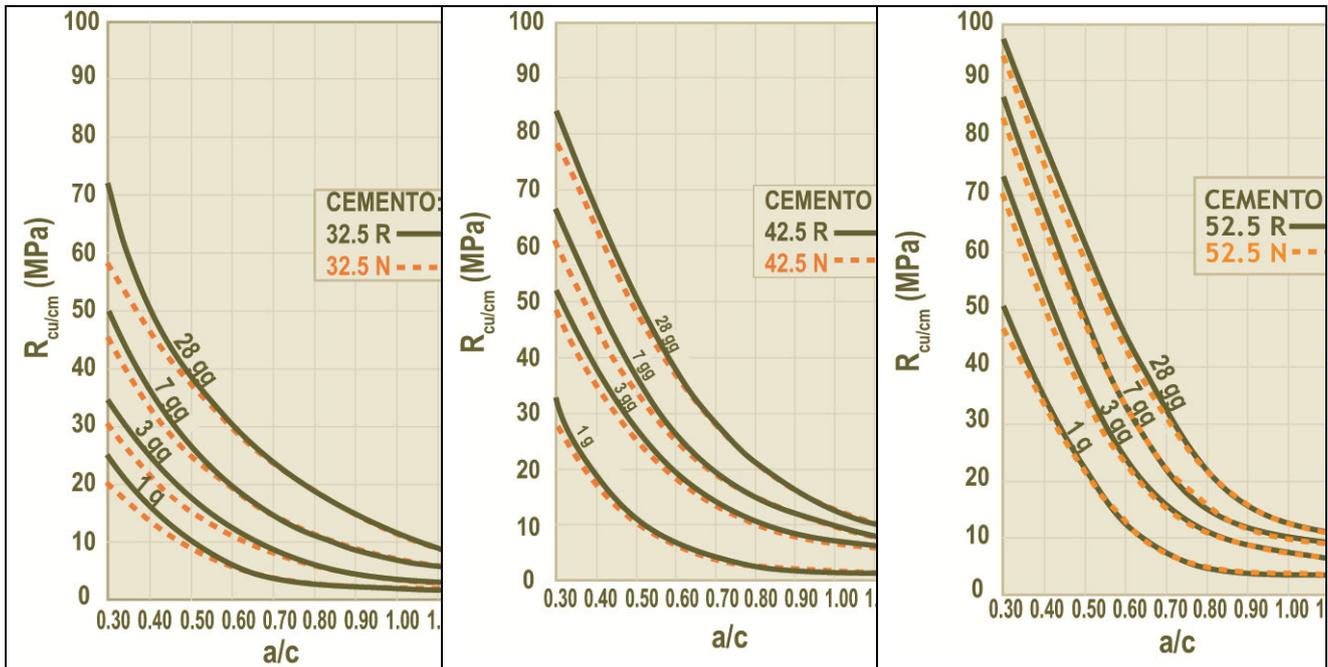


Figura 5- Resistenza meccanica a compressione cubica  $R_{cu/cm}$  in funzione del rapporto acqua/cemento ( $a/c$ ), del tempo di stagionatura e della classe di resistenza del cemento (32.5 N; 32.5 R; 42.5 N; 42.5 R; 42.5 R; 52.5 N. 52.5 R)

Le caratteristiche meccaniche prescelte sono di  $R_{ck}$  pari a  $45 \text{ N/mm}^2$  con un cemento CEM I di classe 42.5 R ed una resistenza a 3 giorni (in clima moderato di  $17\text{-}23 \text{ }^\circ\text{C}$ ) di  $25 \text{ N/mm}^2$  per la rimozione delle cassaforme e la successiva bagnatura delle superfici.

Le caratteristiche reologiche richieste per il conglomerato fresco comprendono:

- un calcestruzzo autolivellante (SCC) per assicurare un completo riempimento dei pilastri con armature congestionate;
- la presenza di almeno 5% in volume di aria inglobata (per un aggregato con  $D_{max}$  di 25 mm) per contrastare l'azione distruttrice della formazione del ghiaccio;
- un rapporto  $a/c$  di 0,42 per garantire la  $R_{ck}$  di  $45 \text{ N/mm}^2$  in presenza dell'aria inglobata.

Tutte queste prescrizioni sul calcestruzzo, la sua messa in opera e sul controllo da parte del DL sono sinteticamente riportate nella Tabella 4 in una sola pagina.

## CONCLUSIONI

Chi meglio del progettista può conoscere la difficoltà di getto del calcestruzzo all'interno di cassaforme congestionate dai ferri di armatura? Chi meglio di lui conosce l'importanza strategica dell'opera e quindi stabilire la Vita nominale di servizio? Chi meglio del progettista può stabilire lo spessore del copriferro in relazione al tipo di calcestruzzo (armato o precompresso), alla classe di esposizione più o meno aggressiva nei confronti dei ferri di armatura e della durabilità della struttura?

Questi e tanti altri quesiti trovano una risposta nelle Norme Europee che un progettista deve saper gestire come un direttore d'orchestra che impartisce direttive specifiche per ogni sezione dell'opera ai tre operatori che contribuiscono alla realizzazione della costruzione:



Via Alfred Nobel, 10 - 31020 Villorba (TV)  
Tel. 0422/963771 - Fax 0422/963237

sito : <http://www.encosrl.it>  
E-mail : [info@encosrl.it](mailto:info@encosrl.it)

#### Tabella 4. Prescrizioni e raccomandazioni del progettista

### PRESCRIZIONI DA INSERIRE IN CAPITOLATO PER :

PONTE AGLIO AUTOSTRADA FI-BO  
PILASTRI ARMATI

#### PRESCRIZIONI PER IL CALCESTRUZZO SECONDO NTC BASATE SU UNI EN 206 e UNI 11104

**OBBLIGO** della certificazione del cls industrializzato richiesto dal DM del 17 Gennaio 2018 in accordo alle Linee Guida Ministeriali sul CLS preconfezionato

<b>TIPO DI STRUTTURA</b>	: C.A.
<b>CLASSE DI RESISTENZA</b>	: C 36/45
Resistenza caratteristica cubica R <sub>ck</sub>	: 45 <b>N/mm<sup>2</sup></b>
Resistenza caratteristica cilindrica f <sub>ck</sub>	: 36 <b>N/mm<sup>2</sup></b>
Controllo di tipo	: B
- provini	: Cubici
- K·s	: 6
Permeabilità all'acqua	: secondo norma UNI EN 12390-8
Resistenza a compressione	: 25 <b>N/mm<sup>2</sup></b>
- richiesta a	: 3 giorni
- alla temperatura di	: 17-23 °C
<b>COMPATTAZIONE DEL CALCESTRUZZO</b>	: Compattare il calcestruzzo fresco con un grado di compattazione = 0.97
<b>CLASSE IN CONTENUTO DI CLORURO</b>	: 0.20
<b>CLASSE DI CONSISTENZA al getto</b>	: SCC (SLUMP FLOW) ≥ 60 cm)
<b>CLASSE DI ESPOSIZIONE</b>	: XC4+XF4
a/c	: 0,42
<b>Aria inglobata</b>	: ≥ 5%
<b>DURABILITA'</b>	: > 100 Anni

#### MATERIE PRIME

<b>AGGREGATO</b>	: OBBLIGO DI MARCATURA CE CONFORME A UNI EN 12620
- D <sub>max</sub>	: 25mm
- Tipo	: Naturale/Frantumato
<b>ACQUA</b>	: Conforme a UNI EN 1008
<b>CEMENTO</b>	: CEM I 42.5 R (Conforme a UNI-EN 197/1)
<b>CENERE VOLANTE</b>	: Conforme a UNI EN 450
<b>FUMO DI SILICE</b>	: Conforme a UNI EN 13263/1
<b>ADDITIVI</b>	: Conformi a UNI EN 934/2
- Obbligo di marcatura CE conforme UNI EN 934/2 UNI 10765	

#### PRESCRIZIONI PER L'IMPRESA:

- **ADOTTARE DISTANZIATORI** conformi alla realizzazione di un copriferro con spessore di almeno 55 mm, in accordo all'Eurocodice 2 con riferimento alla classe di esposizione, al tipo di struttura (armata o precompressa) e alla durabilità (in anni) richiesta.
- **STAGIONARE** ad umido le superfici del CLS per almeno 3 giorni dal getto con membrane antievaporanti, teli di plastica, acqua nebulizzata, ecc.).
- **METTERE IN OPERA** il CLS in modo tale che la resistenza caratteristica strutturale del CLS in opera (R<sub>cks</sub> o f<sub>cks</sub>) sia almeno eguale all' 85% della resistenza caratterista di progetto (R<sub>ck</sub> o f<sub>ck</sub>)

#### RACCOMANDAZIONI PER IL DIRETTORE DEI LAVORI (DL)

- **VERIFICARE** che esista la certificazione del calcestruzzo industrializzato richiesta obbligatoriamente dalle Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con il DM del 17 Gennaio 2008;
- **FAR PRELEVARE**, in sua presenza (o in presenza di un suo tecnico di fiducia esplicitamente delegato), il CLS per il controllo della classe di consistenza e dell'aria inglobata e confezionare i provini da inviare a un Laboratorio Ufficiale con richiesta scritta di eseguire il controllo di accettazione, di tipo A oppure B, richiesto obbligatoriamente dalle Norme Tecniche per le Costruzioni emanate con il DM del 17 Gennaio 2018;
- **ACCERTARE**, in accordo alla norma UNI EN 13791, che la resistenza caratterista della struttura in opera (R<sub>cks</sub> o f<sub>cks</sub>), determinata con prove distruttive (carote estratte dalla struttura) o non-distruttive (sclerometria, velocità degli ultrasuoni, ecc), sia almeno eguale all' 85% della resistenza caratteristica di progetto (R<sub>ck</sub> o f<sub>ck</sub>) e che comunichi al progettista di procedere alla verifica della sicurezza della struttura qualora questo requisito non sia soddisfatto;
- **MISURARE**, se indicato dal progetto nelle prescrizioni per l'impresa, con prove distruttive o non-distruttive (magnetometria) lo spessore del copriferro per verificare che esso sia almeno eguale a quello eventualmente precisato nel progetto e procedere con il progettista a verificare la sicurezza e la durabilità dell'opera qualora questo requisito non sia rispettato.

- il produttore di calcestruzzo che deve fornire un conglomerato con le specifiche indicate dal progettista sul calcestruzzo fresco (lavorabilità, aria inglobata, massimo rapporto a/c), e sulle prestazioni fisico-meccaniche (impermeabilità all'acqua sotto pressione, Rck, resistenza meccanica alle brevi stagionature per la rimozione delle casseforme anche in funzione della temperatura ambientale, ecc.);
- l'impresa di costruzione che deve compattare il calcestruzzo in opera in modo che la Rcks della struttura sia almeno pari all'85% di della Rck di progetto, che deve, adottare gli adeguati distanziatori per la realizzazione del copriferro prescritto, che deve stagionare a umido per almeno 3 giorni le superfici scasserate o applicare un impedimento all'evaporazione);
- il Direttore dei Lavori che deve rifiutare la messa in opera del conglomerato se il fornitore non dimostra la certificazione del calcestruzzo industrializzato, che deve controllare direttamente (o da un tecnico di sua fiducia) la lavorabilità ed eventualmente l'aria inglobata oltre che confezionare i provini da inviare in un laboratorio autorizzato (dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale), che deve infine misurare mediante magnetometria lo spessore del copriferro, che deve accertare con prove non-distruttive o carotaggi se la resistenza in opera è almeno pari all'85% della Rck di progetto e comunicare al progettista se le deviazioni tra Rck e Rcks sono maggiori di questo valore.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) EN 206, “Concrete – Specification, performance, production and conformity”, December, 2016.
- (2) Eurocode 2, “Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2015.
- (3) EN 197-1 “Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements”, 2011.
- (4) European Union, *The Eurocodes MAP*, 2018.
- (5) Shang and Y.P. Song, “Experimental study of strength and deformation of plain concrete under biaxial compression after freezing and thawing cycles”, *Cement and Concrete Research*, pp.1857-1864, Vol. 36, 2006.
- (6) J.A. Gonzalez, J.S. Algaba and C. Andrade, “Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete”, *Journal of British Corrosion Journal*, pp.135-139, Volume 15, 1980.
- (7) K.G. Glass and R.N. Buenfeld, “Chloride-induced corrosion of steel in concrete”, *Progress in Structural Engineering Materials*, pp. 448-458, Volume 2, 2000.
- (8) L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, and R. Polder, “Corrosion of steel in concrete. Prevention, Diagnosis, Repair”, 1340 pp, 2004.
- (9) M. Collepardi, S. Collepardi e R. Troli, “*Il Nuovo Calcestruzzo*” 6<sup>a</sup> edizione pg. 199.
- (10) M. Collepardi, S. Collepardi e R. Troli, “*Il Nuovo Calcestruzzo*” 6<sup>a</sup> edizione pg. 206.
- (11) M. Collepardi, S. Collepardi e R. Troli, “*Il Nuovo Calcestruzzo*” 6<sup>a</sup> edizione pg. 139-140.