

STRADE**&**

Studi e Progetti
 Grandi infrastrutture
 Cantieri Impianti Ambiente
 Macchine Tecnologie Materiali

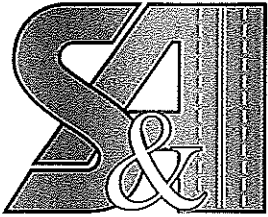
speciale
GALLERIE E SCAVI

n° 73 • anno XIII

1 Gennaio/Febbraio
2009

AUTOSTRAD

COSTRUZIONE e MANUTENZIONE di STRADE • AUTOSTRAD • PONTI • GALLERIE



La via Francigena

Il definitivo avvio dei
 lavori della Galleria
 di Base del Brennero

Analisi del rischio per
 la sicurezza in galleria

Ancoraggi e resine
 per la stabilizzazione

La metropolitana
 di Brescia

Antonio Tajani



L'uomo che crede...
 nell'Europa unita

La vulnerabilità
 sismica nei ponti

Le ceneri volanti
 nei conglomerati

La durabilità delle
 strutture in c.a.

Il metodo DV
 per il calcolo del
 ciclo semaforico

La viabilità pianificata

EuTern
 Srl
 Milano

**Wirtgen W 150:
 la grande fresa compatta**



WIRTGEN MACCHINE



In accordo alle NTC, uno studio sulle responsabilità del Progettista, del Direttore dei Lavori e del Collaudatore

LA DURABILITÀ DELLE STRUTTURE IN C.A. E C.A.P.

Mario Collepari*

La durabilità delle opere in calcestruzzo armato viene prescritta nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), emanate con D.M. del 14 Gennaio 2008, accanto ad altre proprietà del calcestruzzo. Nelle NTC, le specifiche e le proprietà del calcestruzzo per le opere in c.a. e c.a.p. sono esaminate nei paragrafi da 11-2 fino a 11-2-11.

In questo articolo verranno esaminate le responsabilità del Progettista, del Direttore dei Lavori (nel seguito, DL) e del Collaudatore in relazione alle specifiche del calcestruzzo e, in particolare, di quelle concernenti la durabilità delle strutture. Verranno anche precisati gli obblighi dell'Impresa, del fornitore del calcestruzzo e del laboratorio prove materiali.

Le specifiche del calcestruzzo

Secondo le NTC "la prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza e il diametro massimo dell'aggregato". In aggiunta a queste specifiche, si precisa che nel progetto occorra prescrivere anche la classe di esposizione in relazione alle condizioni ambientali alle quali l'opera sarà esposta durante il servizio. Inoltre, si precisa che, in aggiunta a queste specifiche obbligatorie, si possono prescrivere prove complementari.

Pertanto, in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni, occorre precisare le seguenti proprietà del calcestruzzo fornito sul cantiere

- ♦ classe di resistenza: resistenza caratteristica cubica (R_{ck}) e/o cilindrica (f_{ck});
- ♦ classe di consistenza: S1-S2-S3-S4-S5 a seconda del livello di lavorabilità;
- ♦ classe di esposizione: XC, XS, XF, ecc. a seconda dell'ambiente cui sono esposte le strutture;
- ♦ diametro massimo dell'aggregato: non oltre 1,3 lo spessore copriferro.

Oltre a queste quattro caratteristiche fondamentali che debbono sempre essere presenti nel progetto possono essere prescritte altre proprietà complementari quali l'impermeabilità alla penetrazione dell'acqua - veicolo di agenti aggressivi ambientali dentro il calcestruzzo -, la resistenza alle brevi stagioni in relazione alle esigenze di rimozione del casseforme o ad altre esigenze costruttive, la resistenza a trazione-flessione.

La responsabilità del DL nel controllo di accettazione

Per quanto attiene alle responsabilità del Direttore dei Lavori, nelle NTC si precisa che "Il DL ha l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la conformità delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera rispetto quello stabilito dal progetto".

I prelievi debbono avvenire in "presenza del DL persona di sua fiducia". Vale la pena di precisare che la situazione finora riscontrata per i controlli di accettazione è stata gravemente confusa e in morale per l'assenza del DL nella quasi totalità delle costruzioni in calcestruzzo.

Il prelievo dei provini (i cosiddetti "cubetti") è fondamentale importanza per valutare la conformità della R_{ck} del calcestruzzo fornito con quella specificata dal Progettista.



Figura 1 - Un esempio di corrosione dei ferri di armatura in una struttura autostradale esposta a salatura in inverno (classe di esposizione: XF4)



Tutti concordano che la mancata rispondenza della R_{ck} del calcestruzzo fornito a quella prescritta nel progetto può pregiudicare gravemente la sicurezza strutturale dell'opera e la sua durabilità durante la vita di servizio.

Eppure, finora i provini sono stati spesso prelevati (o acquistati sul mercato: cubetti di "allevamento" sempre conformi alla R_{ck} richiesta) per essere inviati al laboratorio ufficiale per le prove dei materiali senza alcuna garanzia che siano stati confezionati correttamente e soprattutto sotto la vigile sorveglianza del DL. Ora, con le nuove Norme di legge emanate con il Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 [1] la latitanza del DL - o di una persona di fiducia appositamente delegata - diventa non solo immorale ma anche illegale.

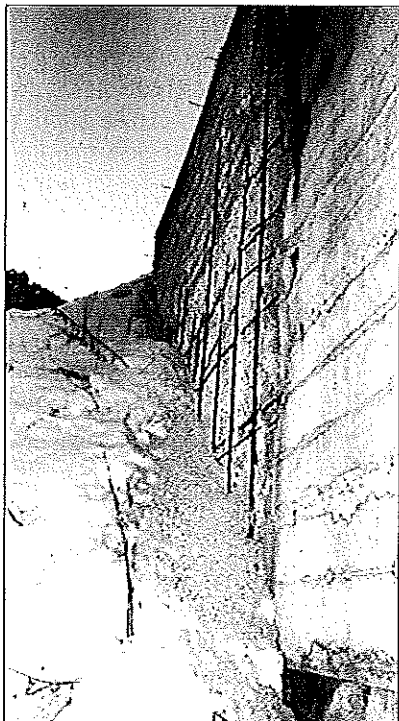


Figura 2 - Il degrado di un muro in c.a. per effetto del ghiaccio in classe di esposizione XF3

Di questa illegale inadempienza il DL dovrebbe ovviamente rispondere qualora il problema dovesse essere sollevato da uno degli altri attori delle costruzioni (Collaudatore, Impresa, Produttore di calcestruzzo) che potrebbero avere interesse a contestare la validità dei risultati del controllo di accettazione oppure, in caso di contestazioni, che attengono al Codice Civile o addirittura del Codice Penale [2].

La vigilanza del DL, in occasione del prelievo dei provini al momento del getto, deve essere controllata dal laboratorio ufficiale, autorizzato dal Ministero all'esecuzione delle prove sui materiali da costruzione, che non potrà rilasciare alcun certificato ufficiale sulla resistenza meccanica dei provini determinata a 28 giorni dal getto per il calcolo della R_{ck} .

A questo proposito, le NTC prevedono che nel certificato non-ufficiale rilasciato dal laboratorio sia esplicitamente indicato che i provini non sono stati inviati dal DL; pertanto, non esiste il richiesto verbale attestante la data del getto e le modalità di prelievo dei provini.

La resistenza caratteristica: la responsabilità del Progettista e del DL

Per la determinazione della resistenza caratteristica - cioè della R_{ck} o della f_{ck} - le NTC prevedono due tipi di controllo di accettazione. Quello "semplificato", di tipo A, che si può adottare solo se il volume di calcestruzzo fornito cui si riferisce la resistenza caratteristica non supera 1.500 m³ e quello statistico di tipo B che, in alternativa a quello di tipo A, si può applicare a forniture di calcestruzzo con volume minore di 1.500 m³ e si deve applicare per forniture di calcestruzzo omogeneo superiori a 1.500 m³.

Il numero minimo dei prelievi da eseguire è tre se si adotta il controllo di tipo A (e comunque un prelievo per ogni 100 m³ di getto e/o per ogni giorno di getto) e 15 se si adotta quello di tipo B (e comunque un prelievo per ogni 100 m³ di getto e/o per ogni giorno di getto). La scelta che spetta al Progettista (il quale però dimentica di precisare il tipo di controllo per le forniture con meno di 1.500 m³ di getto) è di rilevante importanza per la qualità del calcestruzzo, non solo per il numero dei prelievi da controllare ma anche per il valore medio della resistenza meccanica che è maggiore per il controllo di tipo B. Per fare un esempio, se la R_{ck} specificata è 30 MPa con controllo di tipo A, il DL deve accertare che il valore medio della resistenza meccanica dei provini rotti in Laboratorio a 28 giorni (R_m) soddisfi la seguente disequazione:

$$R_m > R_{ck} + 3,5 \quad 30 + 3,5 \quad 33,5 \text{ MPa}$$

Se invece la R_{ck} di 30 MPa è specificata con il controllo di tipo B, il DL deve accertare che il valore medio rispetti la seguente disequazione:

$$R_m \geq R_{ck} + k \cdot s$$

Dove k vale 1,4 e s è lo scarto quadratico medio che sarà tanto maggiore quanto meno costante è la fornitura di calcestruzzo. Se, per esempio, il valore di s è 7 MPa, come si verifica per produzioni di media-bassa costanza di qualità il valore di R_m secondo la seconda equazione diventa:

$$R_m \geq 30 + 1,4 \cdot 7 \approx 40 \text{ MPa}$$

Nel caso di questo esempio, si registra pertanto un valore di R_m significativamente maggiore (40 contro 33,5 MPa) se si specifica e si adotta il controllo di accettazione statistico di tipo B anziché quello semplificato di tipo A. Se il valore di R_m non soddisfa la condizione dell'equazione 1o2 da R_{ck} viene declassato in base al valore di R'_m ottenuto rispettivamente con la disequazione 3 oppure 4:

$$R_{ck} = R'_m - 3,5$$

$$R_{ck} = R'_m - k \cdot s$$

Per esempio se, in base alle rotture dei provini eseguiti in laboratorio, R'_m risulta essere 23,5 MPa, allora il valore di R_{ck} con il controllo di tipo A diventa $23,5 - 3,5 = 20$ MPa.

In aggiunta a questi requisiti per entrambi i controlli di accettazione il DL deve verificare che il valore più basso (R_1) della resistenza meccanica tra tutti i valori dei prelievi sia almeno eguale al valore caratteristico diminuito di 3,5 MPa:

$$R_1 \geq R_{ck} - 3,5$$

Nel caso di R_{ck} eguale a 30 MPa il valore di R_1 deve essere almeno 26,5 MPa. In caso questa condizione non sia soddisfatta (per esempio $R_1 = 21,5$ MPa) il valore di R_{ck} viene declassato a $21,5 + 3,5 = 25$ MPa.

Qualunque sia la incongruenza della R_{ck} effettivamente trovata in base al controllo di accettazione sui provini rispetto a quella specificata nel progetto, il DL dovrà informare il Progettista il quale dovrà prendere una delle seguenti tre decisioni:

- ♦ accettare il valore declassato della R_{ck} in quanto è comunque in linea con le caratteristiche strutturali e di durabilità dell'opera;
- ♦ apportare appropriate misure di consolidamento e/o protezione delle strutture per adeguarle ai valori di progetto;
- ♦ demolire la struttura in quanto presenta carenze inaccettabili.



La classe di consistenza: la responsabilità del Progettista e del DL

Nel paragrafo 11.2.1 delle NTC si precisa che la classe di consistenza deve essere prescritta nel progetto indicando uno dei seguenti livelli di lavorabilità:

- ◆ S1 slump = 0-4 cm consistenza di terra umida;
- ◆ S2 slump = 5-9 cm consistenza plastica;
- ◆ S3 slump = 10-14 cm consistenza semifluida;
- ◆ S4 slump = 15-20 cm consistenza fluida;
- ◆ S5 slump = ≥ 21 cm consistenza superfluida;
- ◆ SCC slump flow ≥ 60 cm calcestruzzo autocompattante.

Il DL ha l'obbligo di controllare la classe di consistenza al momento del getto senza che siano tollerate riaggiunte d'acqua sul cantiere e deve anche arrivare al rifiuto della fornitura se reputa il calcestruzzo consegnato sul cantiere non conforme alla difficoltà del getto.

In caso questi getti non siano avvenuti in presenza del DL, questi potrà verificare la correttezza del getto (calcestruzzo compattato completamente senza riaggiunte di acqua) con i controlli sulla struttura in opera come è descritto più avanti nella sezione 7.

D'altra parte, il Progettista - in base alla difficoltà, a lui ben nota, di getto e di compattazione del calcestruzzo fresco entro le casseforme - deve indicare uno dei summenzionati livelli di lavorabilità. Per fare solo un esempio, la Figura 3 mostra un caso per il quale la difficoltà di getto - dovuta alla congestione dei ferri di armatura - impone una consistenza almeno superfluida S5.

Chi meglio del Progettista conosce la difficoltà della esecuzione del getto di calcestruzzo fresco in relazione alla sezione minima e alla complessità geometrica delle strutture oltre che alla densità delle armature metalliche?

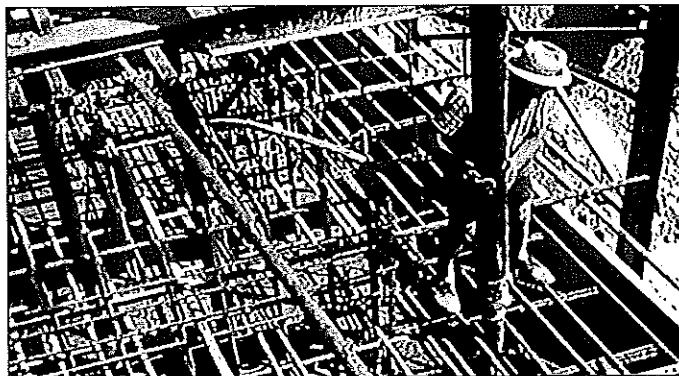


Figura 3 - Un getto di calcestruzzo superfluido (S5) in opera fortemente armata

Il diametro massimo dell'aggregato: la responsabilità del Progettista e del DL

Il diametro massimo dell'aggregato (D_{max}) è condizionato dal copriferro della struttura in c.a. o c.a.p. fissato nel progetto. Chi deve produrre il calcestruzzo deve conoscere il D_{max} perché esso condiziona la composizione del materiale che deve essere prodotto in conformità alle specifiche del progetto.

Nel paragrafo 11.2.1 delle NTC, esaminato in questo articolo, è esplicitamente previsto che il valore del D_{max} sia indicato nel progetto. In caso di difetti superficiali sulla struttura (vespai o nidi di ghiaia) rilevati dal DL, e dovuti a un aggregato con D_{max} maggiore del copriferro non precisato dal Progettista, questi difetti ricadono sotto la responsabilità del Progettista cui spetterà l'onere della riparazione.

La classe di esposizione: la responsabilità del Progettista e del DL

Nel paragrafo 11.2.11 delle NTC si precisa che "per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e di cicli gelo e disgelo". Circa le responsabilità di chi deve adottare quei provvedimenti nelle NTC al paragrafo 11.2.11 si precisa in modo chiaro e univoco che "in fase di progetto la prescrizione, valutata opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la struttura o quelle di impiego, deve fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica, valori del copriferro e le regole di maturazione". Per quanto concerne l'obbligo sia stato finora disatteso, le nuove NTC emanate con il decreto del 14 Gennaio 2008 chiamano il Progettista ad assumere le proprie responsabilità nella prescrizione della durabilità.

Per la prescrizione delle caratteristiche del calcestruzzo, nel paragrafo 11.2.11 delle NTC si precisa che per la durabilità richiesta potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle Norme UNI EN-1 206:2006 e UNI 11104:2004". In ciascuna di queste norme si riportano le cosiddette classi di esposizione [3] in relazione all'ambiente dove sorgerà l'opera in calcestruzzo:

- ◆ X0 = ambiente asciutto in interni;
- ◆ XC = ambiente esposto all'aria;
- ◆ XS = ambiente marino;
- ◆ XD = ambiente con cloruri non da mare;
- ◆ XF = ambiente con cicli di gelo-disgelo;
- ◆ XA = ambiente con aggressione chimica.

Per ciascuna di queste classi di esposizione possono esistere altre sotto-classi: per esempio, per la classe di esposizione XC sono previste quattro sottoclassi: XC1-XC2-XC3-XC4. Le classi di esposizione più frequenti sono:

- ◆ XC4 = esposte all'aria esterna (sole-pioggia);
- ◆ XS3 = esposte al bagna-asciuga dell'acqua di mare;
- ◆ XF3 = esposte ai cicli di gelo-disgelo;
- ◆ XF4 = esposte ai cicli di gelo-disgelo + sali disgelanti.

I requisiti meccanici (R_{ck}), di rapporto acqua/cemento (a/c) e di a' inglobata in forma di micro-bolle (a') per le suddette classi di esposizione previste dalla norma nazionale UNI 11104 sono:

- ◆ XC4 $R_{ck} \geq 40$ MPa; a/c $\leq 0,50$;
- ◆ XS3 $R_{ck} \geq 45$ MPa; a/c 0,45;
- ◆ XF3 $R_{ck} \geq 30$ MPa; a/c 0,50; $a' \geq 3\%$;
- ◆ XF4 $R_{ck} \geq 35$ MPa; a/c 0,45; $a' \geq 3\%$.

Per ciascuna delle classi di esposizione nell'Eurocodice 2 è indicato il valore minimo del copriferro per assicurare la protezione delle armature metalliche che può essere compromessa dalla carbonatazione delle strutture esposte all'aria e dalla penetrazione dei cloruri presenti nell'acqua di mare (XS3) e nelle opere autostradali esposte a salatura invernale (XF4); nelle strutture in c.a. il valore del copriferro minimo è di 30 mm per le classi di esposizione XC4 e XD e diventa 45 mm per le classi di esposizione (XS3 e XF4); questi valori sono aumentati di 10 mm per le opere in c.a.p.

Per quanto non esplicitamente indicate nelle norme UNI sopra menzionate, esistono consolidate esperienze nella Letteratura tecnica [4] sul tipo di cemento raccomandato in funzione della classe di esposizione:

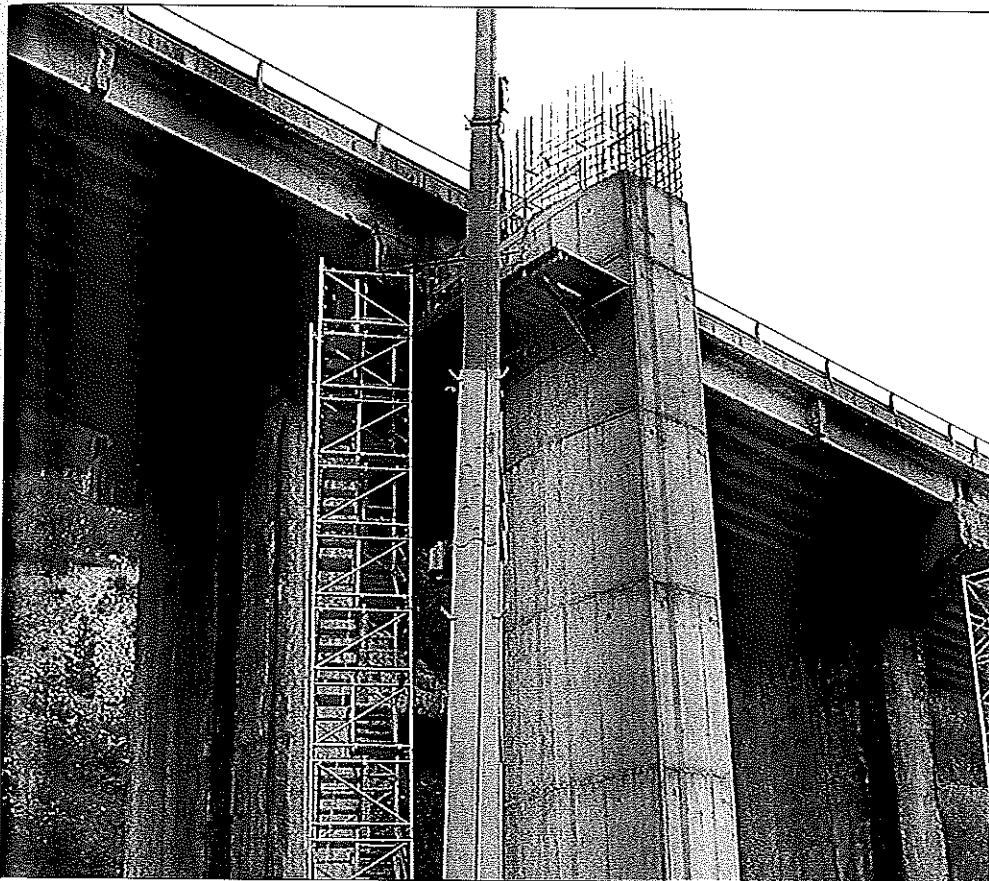


Figura 4 - Il restauro di una struttura autostradale danneggiata dalla corrosione promossa dalla carbonatazione

- ◆ cemento Portland (CEM I 42.5 R) o cemento al calcare (CEM II-A L 42.5 R) per tutte le opere;
- ◆ cemento d'altoforno (CEM III-B 32.5 R) o cemento pozzolanico (CEM IV-B 42.5 N) per opere marittime o esposte a sali disgelanti (autostrade in alta montagna).

A titolo di esempio si riportano le prescrizioni presenti nel progetto per strutture in c.a. destinate a opere autostradali esposte ai sali disgelanti nei periodi invernali:

- ◆ classe di resistenza $R_{ck} = 25$ MPa (controllo: tipo A);
- ◆ classe di consistenza S4;
- ◆ classe di esposizione XF4 $R_{ck} \geq 35$ MPa; $a/c \leq 0,45$; $a' \geq 3\%$; copriferro ≥ 45 mm;
- ◆ D_{max} aggregato: 25 mm;
- ◆ cemento: CEM I 42.5 R.

Prove complementari: resistenza alla penetrazione di acqua sotto pressione (5 atmosfere).

Sarà cura del DL accertare che tutte le proprietà del calcestruzzo prescritte dal Progettista siano effettivamente conseguite.



Figura 5 - La corrosione dei ferri di armatura promossa dalla carbonatazione in classe di esposizione XC4

Il controllo della resistenza delle strutture: la responsabilità dell'Impresa e del DL

E' opinione comune che la qualità del calcestruzzo messo in opera dall'impresa sia inferiore a quella dello stesso calcestruzzo con il quale si sono confezionati i provini. Quanto deve essere il divario accettabile tra i due calcestruzzi?

Nel paragrafo 11.2.6 delle NTC si precisa che la resistenza strutturale media cubica (R_{ms}) o cilindrica (f_{ms}), cioè quella riferita al calcestruzzo in opera, deve essere non inferiore all'85% della resistenza potenziale media cubica (R_m) o cilindrica (f_m) definita in fase di progetto, purché i due valori siano riferiti alla stessa forma geometrica (cubica o cilindrica):

$$R_{ms} \geq 0,85 \cdot R_m$$

$$f_{ms} \geq 0,85 \cdot f_m$$

Per passare dai valori cilindrici f_{ms} e f_m ai corrispondenti valori cubici R_{ms} e R_m (o viceversa) si adottano le equazioni:

$$f_{ms} = 0,83 \cdot R_{ms}$$

$$f_m = 0,83 \cdot R_m$$

Le NTC fanno obbligo all'Impresa di lavorare in modo tale che la differenza tra la resistenza strutturale del calcestruzzo in opera e quella potenziale determinata sui provini non superi il divario deducibile dalle disequazioni sopra riportate.

D'altra parte le NTC lasciano alle scelte del DL le modalità di controllo della resistenza strutturale mediante rottura a compressione delle carote estratte dalle strutture e/o mediante prove non-destructive (sclerometria, velocità degli ultrasuoni, estrazione di tasselli post-inseriti, ecc.). In caso non siano soddisfatte le disequazioni sopra espresse, è compito del Progettista verificare se la sicurezza e la durabilità della struttura sono compromesse ed eventualmente prescrivere il consolidamento o la ricostruzione integrale della struttura dopo la sua demolizione.

Il processo del calcestruzzo industrializzato: le responsabilità del Produttore di calcestruzzo e del DL

Il Produttore di calcestruzzo deve fornire un conglomerato conforme alle caratteristiche accertate in fase di processo da un ente ispettivo autorizzato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LLPP. Nel paragrafo 11.2.8 delle NTC si precisa che il DL è tenuto a verificare i documenti certificati dall'ente ispettivo che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo e a "rifiutare le eventuali forniture provenienti da impianti non conformi", cioè privi della certificazione rilasciata dall'ente ispettivo.



Figura 6 - La corrosione dei ferri di armatura promossa dalla presenza del cloruro in acqua di mare (classe di esposizione: XS3)

La responsabilità del DL

Tenendo conto di quanto precedentemente indicato nelle sezioni, le NTC affidano alla responsabilità del DL (o di un Tecnico da lui delegato) i seguenti compiti:

- ♦ verifica della documentazione, rilasciata dall'Ente ispettivo autorizzato dal Ministero dei LLPP, sul processo produttivo del calcestruzzo industrializzato che deve accompagnare ogni fornitura;
- ♦ prelievo dei provini, secondo la frequenza prevista per il tipo di controllo (A oppure B), da inviare al laboratorio prove materiali (con lettera di accompagnamento per indicare la data del prelievo e fornire le "precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo" per la determinazione della R_{ck});
- ♦ verifica delle altre caratteristiche del calcestruzzo prescritto (a/c; classe di consistenza; D_{max} ; proprietà complementari);
- ♦ verifica del copriferro il cui spessore è stabilito in funzione della classe di esposizione;
- ♦ verifica della resistenza strutturale media del calcestruzzo in opera (R_{ms}) che deve essere congruente con la resistenza potenziale media di progetto (R_m):

$$R_{ms} \geq 0,85 \cdot R_m$$

La responsabilità del Collaudatore

I compiti del collaudatore sono descritti nel Capitolo 9 e nel paragrafo 4.1.10 delle NTC.

In particolare il Collaudatore deve:

- ♦ controllare i documenti attestanti il possesso delle necessarie autorizzazioni;
- ♦ esaminare il progetto per quanto attiene la vita utile di servizio e la durabilità;
- ♦ controllare le certificazioni dei controlli di accettazione (R_{ck}).

Inoltre il Collaudatore, al fine di verificare la sicurezza statica e la durabilità dell'opera, a suo giudizio può richiedere prove supplementari (carotaggi, prove non distruttive, prove di carico, ecc.) predisponendone un programma da sottoporre all'accettazione del Progettista, del DL e dell'Impresa.

Per la prescrizione delle caratteristiche del calcestruzzo, della messa in opera e del controllo in sito esiste il software Easy&Q della ENCO. I lettori interessati possono farne richiesta gratuitamente volgendosi a: info@encosrl.it all'attenzione della Signora M. Meneghel.

* *Membro Onorario dell'America Concrete Instit e Presidente della Enco*

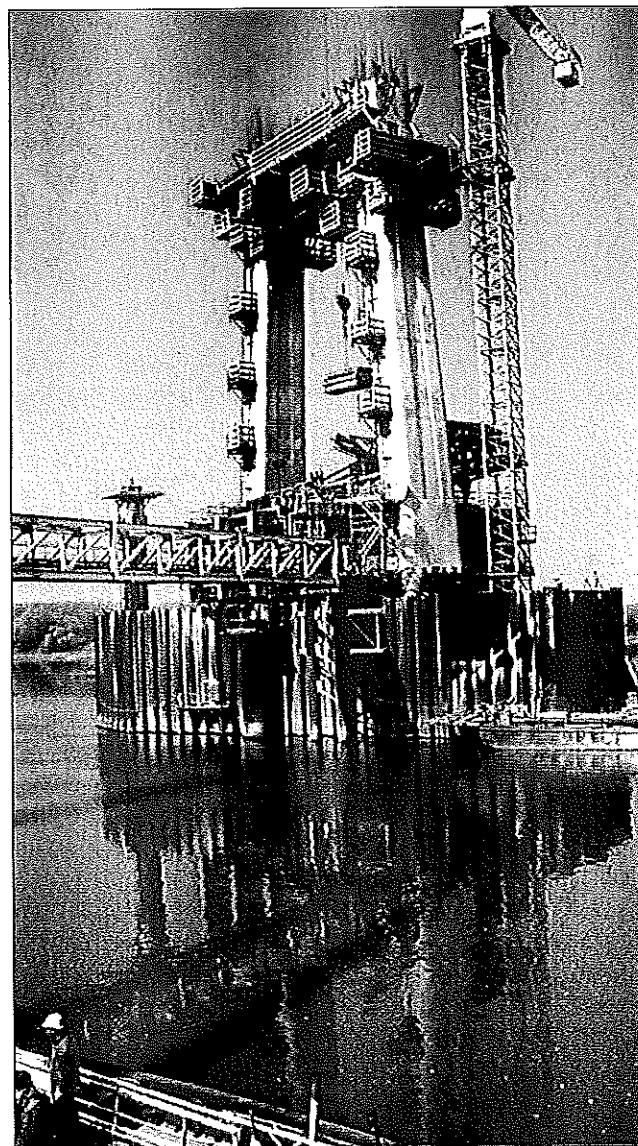


Figura 7 - Una recente opera fluviale in calcestruzzo realizzata con criteri di durabilità

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Silvia Collepari, Francesca Simonelli, Roberto Troll - "Novità nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 Gennaio 2008)", Enco Journal n° 40, 2008, sponibile su www.enco-journal.
- [2]. Silvia Collepari - "Responsabilità secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", Il Giornale degli Ingegneri, n° 17, Ottobre 2008.
- [3]. Mario Collepari - "Il Nuovo Calcestruzzo", Quarta Edizione, Editore ENCO, Ponzano Veneto, 2006.
- [4]. Mario Collepari, Roberto Troll, Francesca Simonelli - "Il Calcestruzzo Vulnerabile: Prevenzione, Diagnosi e Restauro", Editore ENCO, Ponzano Veneto, 2006.