

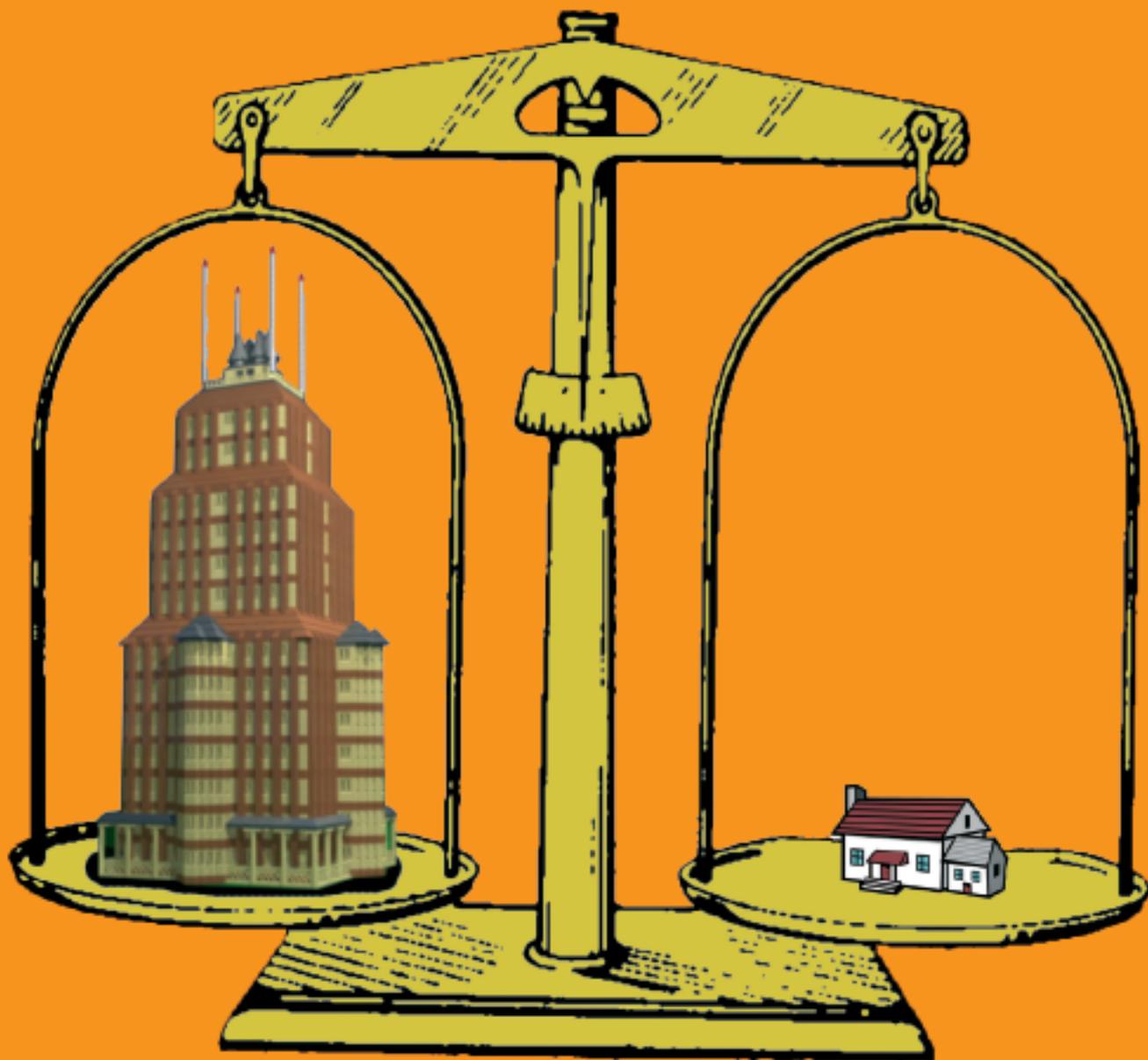
2006

Trimestrale
Anno XI
Numero 35

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

LA LEGGE E' UGUALE PER TUTTI...



.... LA GIUSTIZIA NON SEMPRE

NON ACCETTARE AGGREGATI DAGLI SCONOSCIUTI



La Marcatura CE per i
prodotti da costruzione
è un OBBLIGO DI LEGGE

DIRETTIVA 89/106/CEE

Art. 1 - Per "materiale da costruzione"
si intende qualsiasi prodotto fabbricato al fine di
essere incorporato in opere di costruzione, le quali
comprendono gli edifici e le opere di ingegneria civile.

ENCO

IL VOSTRO PASSAPORTO PER L'EUROPA

Vi accompagneremo:

- ➔ nella scelta del tipo di conformità
- ➔ nella dichiarazione di conformità
- ➔ nel controllo di produzione in fabbrica
- ➔ nelle prove iniziali di tipo
- ➔ nelle prove complementari di campioni prelevati in fabbrica dal produttore

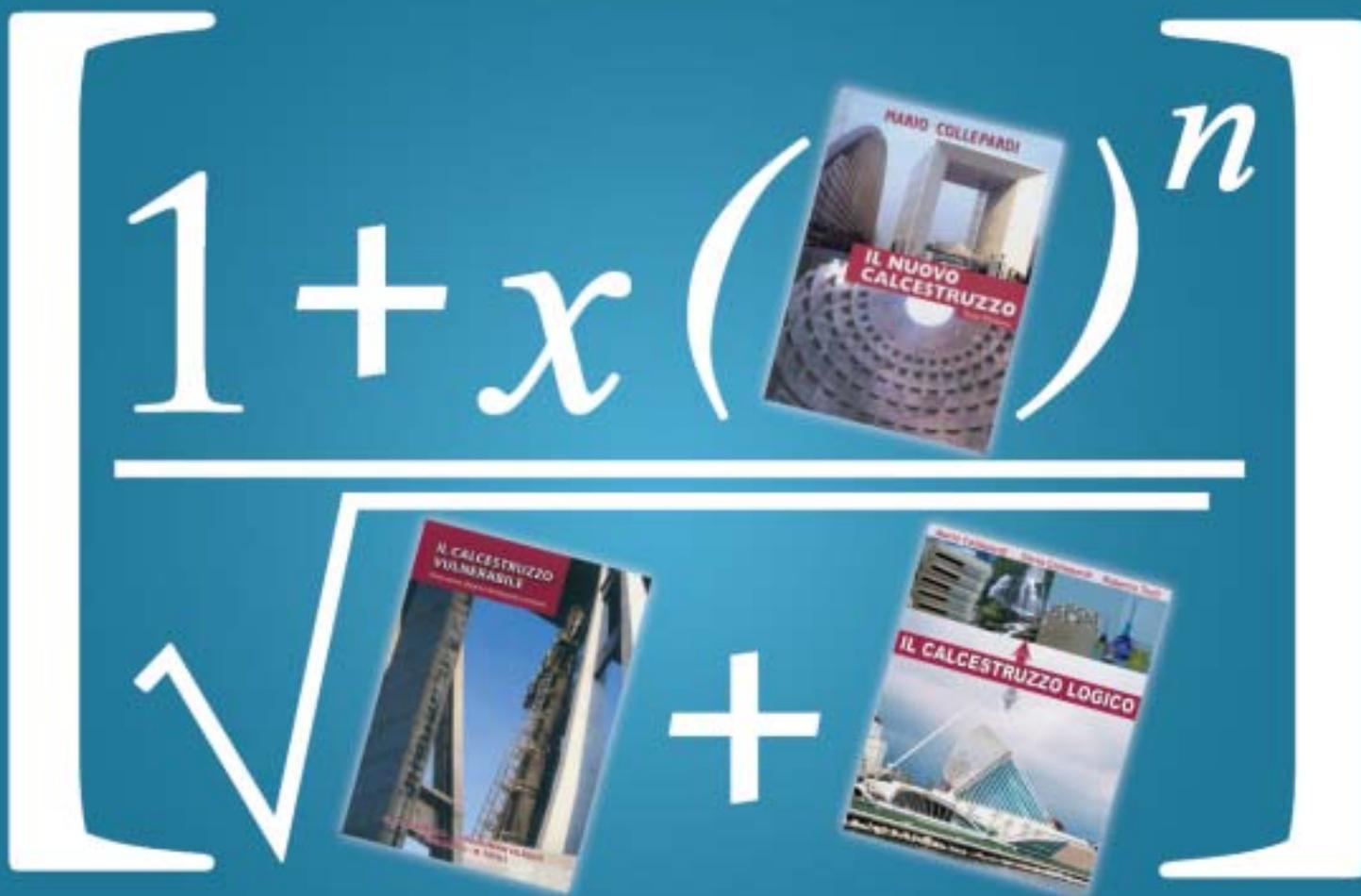
IL NOSTRO OBIETTIVO: assicurarvi la possibilità di partecipare a gare
d'appalto e finanziamenti, ma soprattutto il MIGLIORAMENTO DEI
VOSTRI PROFITTI e un migliore posizionamento del prodotto sul mercato.

Enco Srl - Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)

Tel. 0422 963771 - Fax 0422 963237 -

Sito web: www.encosrl.it - E-mail: info@encosrl.it





L'equazione perfetta per capire il calcestruzzo.



Per informazioni e acquisto: **ENCO srl** - Via delle Industrie, 18 Ponzano Veneto (TV) - 31050
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963 237 - info@encosrl.it

www.encosrl.it

THE NEW CONCRETE



by Mario Collepardi



No other book is specifically devoted to the essential needs of Architects and

Engineers in the area of reinforced concrete structures.



No other book provides a video on concrete durability to illustrate the damage mechanisms.



No other book provides an attached software (Easy & Quick) to specify automatically the concrete prescriptions and the way of placing, compacting and curing the concrete structures according to EN 206-1 and Eurocode 2.



No other book uses links to Internet to make available



the original full papers (for a total of 700 pages) in order to deepen the most important subjects.



No other book provides coloured Figures, Tables and Photographs to illustrate better and make easier the understanding of concrete technology.

**Se hai capito questo messaggio
puoi capire tranquillamente
The New Concrete**

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Trimestrale - Anno XI - Numero 35

Direttore Mario Collepari

**SE IL MAGISTRATO SBAGLIA LA SCELTA DEI
CONSULENTI TECNICI**

Certamente il compito del magistrato non è semplice. Egli deve infatti occuparsi di argomenti che spaziano dalla finanza alla medicina, dall'ingegneria alle frodi alimentari, dalle armi alla telematica, e così via elencando. E' evidente che la scelta appropriata di consulenti tecnici di ufficio (CTU), che possano supportarlo in queste varie discipline, è di vitale importanza per la valutazione degli aspetti tecnici del processo. In caso contrario la Giustizia rischia di non essere eguale per tutti, perché la impreparazione del CTU fa pendere l'ago della bilancia dalla parte della ignoranza

Conosco tecnici dell'ingegneria civile che passano giornate nei corridoi di tribunali per catturare in anteprima notizie su possibili consulenze tecniche di ufficio. Di solito si tratta di "tuttologi" che spaziano dalla tecnica delle costruzioni alla sismologia, dall'idraulica alla geotecnica, dalle vernici al calcestruzzo. La loro presunzione purtroppo trova spesso accoglienza nei magistrati che non sono capaci di distinguere la scienza del calcestruzzo dalla scienza delle costruzioni in calcestruzzo. Mi è capitato così spesso di imbartermi in CTU che si contrabbandavano come esperti di calcestruzzo ignorandone le regole più elementari.

Mi sono chiesto perché mai i magistrati prendano così gravi abbagli nell'affidare la consulenza sul calcestruzzo a tecnici che ignorano la tecnologia del calcestruzzo, mentre mai affiderebbe ad un chirurgo plastico la consulenza per un problema di frattura nelle gambe, sapendo molto bene distinguere le competenze di un medico specializzato in ortopedia da quelle di un chirurgo plastico. Nel settore dell'ingegneria civile, invece, avvengono spesso confusioni inspiegabili da parte degli stessi magistrati: essi infatti non riescono a distinguere le competenze di un tecnologo del calcestruzzo da quelle di uno strutturista. E così il CTU strutturista-tuttologo pontifica sul calcestruzzo arrivando ad affermare che dalla rottura di una "carota" si può arrivare a determinare la resistenza caratteristica del calcestruzzo fornito da un confezionatore. Oppure, sempre lo stesso strutturista-tuttologo non distingue le competenze e le responsabilità di chi fornisce il calcestruzzo con un'autobetoniera sul cantiere da quelle dell'impresa che questo materiale deve gettare, costipare e stagionare: ho letto una relazione tecnica di uno strutturista-tuttologo nella quale si arriva ad incolpare il fornitore di calcestruzzo preconfezionato per i vespai presenti in pali di fondazione mal gettati e mal costipati dall'impresa.

In genere i consulenti-tecnici-tuttologi, oltre che ad occuparsi di "tutto", sono caratterizzati dalla loro difficoltà a farsi capire perché, come faceva l'Azzecagarbugli di manzoniana memoria, parlano il difficile linguaggio tecnico che li mette al riparo dalle eventuali domande dei magistrati che debbono così fidarsi ciecamente di loro.

Mario Collepari

In copertina: fotomontaggio Enco

SOMMARIO

ATTENZIONE AI NUMERI ROMANI
NEI PAESI ARABI
di M. Collepari

(pag. 7)

IL RITIRO IGROMETRICO
DEL CALCESTRUZZO
di S. Collepari, G. Fazio, A. Borsoi

(pag. 11)

I LABORATORI DEL PATRIMONIO
EUROPEO: PROGETTO VAC
(Vacuum Circulation Method) - Parte I
*di K. Behrbohm, E. Croce,
C. Della Casa*

(pag. 16)

ATTACCO DEI CLORURI SULLE
STRUTTURE IN C.A.
*di M. Collepari, J.J. Ogoumah
Olagot, F. Simonelli, R. Troli*

(pag. 19)

NUOVA GENERAZIONE DI
INIBITORI DI CORROSIONE
di D. Rosignoli, F. Rosignoli

(pag. 26)

LA DELEGAZIONE INDIANA
DELLA BMTPC A PONZANO
VENETO....

(pag. 30)

ENCO Journal
PERIODICO SULLA TECNOLOGIA
DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE
Ponzano Vto (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@enco.srl

**Direttore
Responsabile**

MARIO COLLEPARDI

Redazione
ROBERTO TROLI
SILVIA COLLEPARDI
ANTONIO BORSOI
J. JACOB OGOUMAH OLAGOT
FRANCESCA SIMONELLI

EDITORE
FOCUS
Ponzano Vto (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@encosrl

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

Grafica e Stampa
GRAFICHE TINTORETTO
di Rino Lucatello & C. S.R.L.
31050 Castrette di Villorba (TV)
Via Verdi 45/46

Registrazione al Tribunale di Treviso n.990 26/01/1996 - Iscrizione al RNS n. 06461

**... saperle costruire
è un'arte**



Enco Srl - Via delle Industrie, 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it

Acquistabile tramite il sito internet www.encosrl.it oppure telefonando al 0422 963771

ATTENZIONE AI NUMERI ROMANI NEI PAESI ARABI



Mario Collepari

Enco Srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

Da tempo immemorabile i cementi Portland in America (ASTM 150-94) sono identificati da 5 numeri romani a ciascuno dei quali si annette una composizione ed una applicazione:

- I** è il cemento Portland ordinario per impieghi generali.
- II** è il cemento Portland resistente ai solfati per opere in contatto con i terreni contenenti solfati.
- III** è il cemento Portland ad alta resistenza iniziale.
- IV** è il cemento Portland a basso calore di idratazione raccomandato in getti massivi.
- V** è il cemento Portland resistente ad un tenore elevato di solfati.

Occorre precisare che in USA come in Canada le aggiunte minerali (cenere volante, fumo di silice) sono eseguite nella centrale di betonaggio e non in cemeniteria.

In Europa, al contrario, le aggiunte minerali sono eseguite quasi esclusivamente in cemeniteria e sono molto più numerose: pozzolana naturale ed industriale, cenere volante silicica e calcica, fumo di silice, loppa d'altoforno, scisto calcinato, calcare. E proprio sulla base delle aggiunte minerali e delle loro proporzioni, si individuano secondo la EN 197-1 i tipi di cemento con i numeri romani:

- I** è il cemento Portland ordinario per impieghi generali.
- II** è il cemento Portland di miscela che contiene un certa percentuale di aggiunte minerali.
- III** è il cemento d'altoforno con tenori di loppa

che vanno da 36% a 95%.

- IV** è il cemento pozzolanico che contiene dall'11% al 55% di pozzolana.
- V** è il cemento composito è il cemento che contiene sia pozzolana che loppa fino ad un massimo complessivo di 80%.

Va anche detto che i cementi europei- a differenza di quelli americani- sono sempre seguiti da altre lettere che ne precisano ulteriormente la composizione e da numeri che ne individuano la resistenza meccanica. Così, per fare un solo esempio la indicazione completa di un cemento al massimo contenuto di calcare e con bassa resistenza meccanica corrisponde al seguente simbolo: CEM II-BL 32.5 N che non trova assolutamente riscontro con alcun cemento americano e pertanto la confusione non dovrebbe assolutamente esistere (se si conoscono bene le due normative).

Sentite invece cosa è successo ad una impresa italiana che operava nei Paesi Arabi: a fronte di una specifica secondo le norme EN 206 di un CEM III (da scegliere tra quelli disponibili nei Paesi Arabi) per resistere all'azione dei cloruri, il confezionatore di calcestruzzo arabo ha impiegato il cemento III secondo ASTM (gli Arabi per i cementi stravedono per gli Americani e producono solo cementi secondo ASTM o al massimo secondo le vecchie BS). Naturalmente la struttura è indurita rapidamente, sviluppando molto calore e fessurandosi diffusamente. Una riunione di esperti immediatamente convocata per diagnosticare la ragione delle fessure ha concluso che il confezionatore non capiva molto di calcestruzzo.

ENCO WORKSHOP ON FULL IMMERSION ON CONCRETE ENGLISH

IMPROVE YOUR ENGLISH BY LEARNING CONCRETE

IMPROVE YOUR CONCRETE BY LEARNING ENGLISH

➤ SPECIAL CONCRETES

Ponzano Veneto, 19-23 February 2007

PROGRAMME

- High-Strength Concretes
- Fibre-Reinforced Concretes
- Polymer-Impregnated Concretes
- Self-Compacting Concretes
- Shrinkage-Compensating Concretes
- Long-Term Durability Concretes
- Structural Lightweight Concretes
- Sprayed Concretes
- Recycled Concretes

Trainers: Prof. M. Collepardi, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepardi

Cost: €600,00 VAT included before 15 January 2007 - Cost: €750,00 VAT included after 15 January 2007

INCLUDING: Book "THE NEW CONCRETE"; Software EXS for SCC prescription, Lunch and Coffee Break

➤ CONCRETE MIX DESIGN

Ponzano Veneto, 28-31 May 2007

PROGRAMME

- Workability of fresh concretes and slump loss as a function of environmental conditions, aggregate humidity and the presence of chemical admixtures
- Mechanical properties: compressive, flexural, tensile strength
- Influence of temperature and chemical admixtures on the strength development
- Concrete durability and prevention measurements to avoid concrete deterioration according to EN 206
- Dry shrinkage of concrete and determination of shrinkage in reinforced concrete structures as a function of relative humidity, structure size, concrete composition and presence of metallic reinforcements
- Calculation of creep in reinforced concrete structures as a function of concrete composition, age of loading, size of structures and time of loading
- Combination of individual aggregates to find an optimal composition very close to the ideal composition (Fuller, Bolomey, etc.)
- Practical exercises for using a computerized mix design (CMD EN 206) to elaborate the concrete composition on the bases of technical requirements

Trainers: Prof. M. Collepardi, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepardi

Cost: €750,00 VAT included before 20 April 2007 - Cost: €900,00 VAT included after 20 April 2007

INCLUDING: Book "CONCRETE MIX DESIGN"; Software CMD EN 2006 for automatic prescription, Lunch and Coffee Break

➤ BASIC CONCRETE TECHNOLOGY

Ponzano Veneto, 18-21 June 2007

PROGRAMME

- Concrete ingredients: portland and blended cements, aggregates
- Production of concrete
- Fresh concretes: workability, bleeding, segregation
- Hardened concrete: porosity, permeability and strength
- Deterioration and durability of concrete structures
- Superplasticizers, shrinkage-reducing admixture, accelerating admixture, inhibitors of ASR and corrosion
- Temperature and concrete: heat of hydration and influence of temperature on concrete strength
- Plastic, drying and autogenous shrinkage crack-free concrete
- Creep

Trainers: Prof. M. Collepardi, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepardi

Cost: €650,00 VAT included before 18 May 2007 - Cost: €800,00 VAT included after 18 May 2007

INCLUDING: Book "THE NEW CONCRETE"; Software Easy & Quick for automatic prescriptions, Lunch and Coffee Break

SEDE DEI CORSI: Sala Conferenze della Enco SRL - Via delle Industrie, 18 -
31050 Ponzano Veneto (TV) - Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it

PAGAMENTO: da effettuarsi prima dell'inizio del corso mediante bonifico bancario sul c/c 000001085060 (Codice CIN: J
Codice ABI 03069 - Codice CAB12031) - intestato a Enco SRL presso Banca Intesa, Filiale 525 Treviso

 **Informazioni**

CORSI DI FORMAZIONE 2007

➤ MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Ponzano Veneto, 29-30 Gennaio 2007

PROGRAMMA
DEL CORSO

- Lavorabilità e calcolo della perdita di lavorabilità in funzione delle condizioni ambientali, dell'umidità degli inerti e dell'impiego di additivi
- Proprietà meccaniche a compressione, flessione e trazione alle brevi ed alle lunghe stagionature
- Influenza della temperatura sul decorso della resistenza meccanica
- Proprietà elastiche
- Durabilità del calcestruzzo
- Prevenzione del degrado in accordo alle vigenti norme europee EN 206
- Il ritiro del calcestruzzo come materiale e calcolo del ritiro nella struttura
- Deformazione viscosa del calcestruzzo e calcolo dello scorrimento viscoso delle strutture in c.a.
- Combinazione degli inerti
- Esercitazioni con il software CMD EN 206 per l'elaborazione automatica del mix-design

Docenti: Prof. M. Collepari, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepari - **Orario:** Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-13.30

Costo: €300,00 + IVA **Materiale Didattico:** Libro "MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO" + copia delle **Norme Tecniche per le Costruzioni**; - **Costo:** €700,00 + IVA se si include anche il software CD CMD EN 206 Computerized Mix Design

➤ STRUTTURE IN C.A. SECONDO LE NUOVE "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"

Ponzano Veneto, 26-27 Marzo 2007

PROGRAMMA
DEL CORSO

- Esame analitico delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Responsabilità del Progettista, del Direttore dei Lavori e del Collaudatore
- Progetto della vita attesa di servizio
- Durabilità delle strutture in c.a. in accordo alla vita di servizio di progetto
- Prescrizioni e prestazioni di capitolato per le opere in c.a. e c.a.p.
- Maturazione delle strutture in calcestruzzo in funzione delle condizioni climatiche ed ambientali
- Prove in sito ed analisi della vulnerabilità sismica per gli edifici strategici

Docenti: Prof. M. Collepari, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepari

Orario: Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-13.30 - **Costo:** €300,00 + IVA

Materiale Didattico: Quarta Edizione de "IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni; CD **Easy & Quick** per le prescrizioni di capitolato; copia elettronica delle **Norme Tecniche per le Costruzioni**, pp. 406 del Servizio Tecnico Centrale

➤ STRUTTURE IN CALCESTRUZZI SPECIALI

Ponzano Veneto, 4-5 Giugno 2007

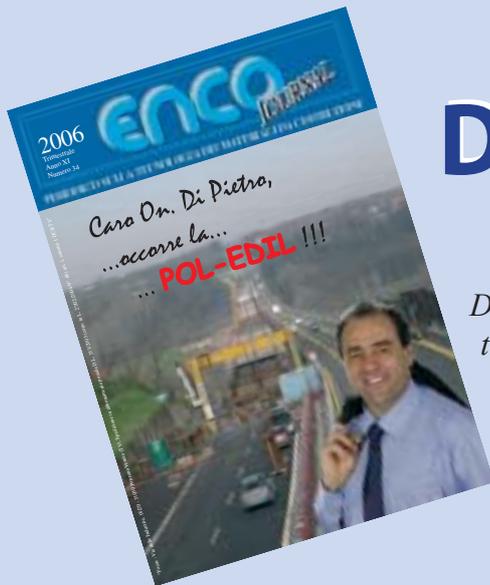
PROGRAMMA
DEL CORSO

- Calcestruzzi al alta resistenza meccanica
- Calcestruzzi autocompattanti
- Calcestruzzi leggeri strutturali
- Calcestruzzi fibrorinforzati
- Calcestruzzi a ritiro compensato
- Calcestruzzi proiettati (Spritz Beton - Shotcrete)
- Calcestruzzi polimero-impregnati (PIC)
- Calcestruzzi a durabilità secolare
- Calcestruzzi riciclati
- Calcestruzzi leggeri
- Esercitazioni pratiche in laboratorio

Docenti: Prof. M. Collepari, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepari

Orario: Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-13.30 - **Costo:** €250,00 + IVA per i corsisti già in possesso del libro

"IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni - **Costo:** €300,00 + IVA **Materiale Didattico:** Quarta Edizione de "IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni; CD **Easy & Quick** per le prescrizioni di capitolato; copia elettronica delle **Norme Tecniche per le Costruzioni**, pp. 406 del Servizio Tecnico Centrale



DI PIETRO RISPONDE

Di seguito si riporta la risposta del Ministro delle Infrastrutture Antonio Di Pietro al nostro appello per un controllo più attento di quanto avviene sui cantieri.

“Illustre Prof. Collepari,

la Sua lettera pubblicata sul “Periodico sulla Tecnologia dei Materiali da Costruzione”, solleva indubbiamente problematiche importanti e di non facile soluzione, ancorchè l’esistente quadro normativo individui chiaramente le figure e le responsabilità connesse al controllo della qualità dei materiali e delle costruzioni: in primo luogo quelle del Direttore dei lavori, dell’Impresa e del Collaudatore.

Pertanto, più che per l’assetto normativo, il problema della qualità del costruire è essenzialmente legato alla crescita del Paese ed alla cultura tecnica e professionale degli operatori, oltre ad una adeguata organizzazione delle Amministrazioni.

In questo quadro, l’aggiornamento della normativa tecnica certamente favorirà una evoluzione nel senso da Lei auspicato, unitamente ad una maggiore capacità di controllo di cui sarà dotato il Servizio Tecnico Centrale nell’ambito della riorganizzazione del Consiglio Superiore quale massimo organo tecnico consultivo dello Stato; compito questo che rappresenta uno dei miei prioritari impegni di Ministro delle Infrastrutture

**Antonio Di Pietro
Ministro delle Infrastrutture”**

Ritengo, tuttavia, che una “maggiore capacità di controllo” del cantiere da parte del Servizio Tecnico Centrale sia molto più importante che contare sulla “crescita del Paese” e sulla “cultura tecnica e professionale degli operatori.

Mario Collepari

IL RITIRO IGROMETRICO DEL CALCESTRUZZO



Silvia Collepari, Glenda Fazio, Antonio Borsoi
Enco Srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it



IL RITIRO DIPENDE DALLA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il ritiro igrometrico (*Drying Shrinkage*, in Inglese) avviene per evaporazione dell'acqua attraverso i pori capillari della pasta di cemento la quale avvolge la sabbia e l'inerte grosso; questi ultimi non partecipano al ritiro, anzi, vi si oppongono in misura proporzionale alla loro rigidità e quindi al loro modulo elastico (E_i). Pertanto, il ritiro (S) diminuisce all'aumentare della quantità di inerte (i) ed al diminuire del dosaggio di cemento (c). In altre parole S diminuisce all'aumentare del rapporto inerte/cemento (i/c).

Inoltre, a parità di i/c , il ritiro sarà tanto minore quanto meno porosa è la pasta di cemento, cioè quanto più basso è il rapporto a/c .



Nella Figura 1 è mostrato il ritiro, che subisce il calcestruzzo, in funzione del rapporto a/c ed i/c . I valori del ritiro riportati nell'ordinata sono stati misurati nelle seguenti condizioni standard e pertanto verrà definito "ritiro Standard", S_0 :

- DOPO 6 MESI DALLO SCASSERO
- IN ARIA CON UMIDITA' RELATIVA (UR) = 50%
- SPESSORE FITTIZIO* = 5 cm
- ASSENZA DI ARMATURA METALLICA
- INERTI DI NATURA CALCAREA ($E_i = 40.000$ MPa)

Pertanto per calcolare il ritiro a tempi diversi da 6 mesi, in ambiente con UR diversa dal 50% e in strutture di spessore fittizio diverso da 5 cm, armate, realizzate con calcestruzzi confezionati con inerti di natura diversa da quella calcarea, occorre apportare al ritiro standard (S_0) delle modifiche moltiplicando per adeguati coefficienti correttivi f_1, f_2, f_3, f_4 e f_5 .

Nota il rapporto a/c , si traccia una verticale fino ad in-

* Lo "spessore fittizio" (h_m) è definito come il rapporto tra l'area della sezione della struttura ortogonale alla direzione del ritiro (A_x) ed il semiperimetro della sezione di calcestruzzo esposto all'ambiente (s_p):

$$h_m = \frac{A_x}{s_p}$$

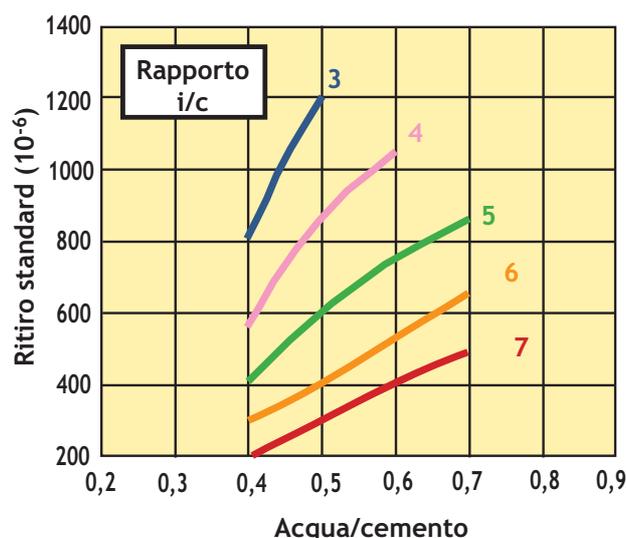


Fig. 1 - Il ritiro standard in funzione della composizione del calcestruzzo

contrare la curva corrispondente al valore del rapporto i/c del calcestruzzo e quindi si legge sull'ordinata il valore del ritiro standard. Esempio: in un calcestruzzo con $a/c = 0,6$ ed $i/c=7$, S vale $400 \cdot 10^{-6} = 400 \mu\text{m/m}$.

IL RITIRO DIPENDE DAL TEMPO

Finché l'UR ambientale rimane al di sopra del 95% il calcestruzzo non subisce alcuna contrazione igrometrica. Per $UR < 95\%$ si verifica il ritiro igrometrico, come è mostrato nella Fig. 2.

Il ritiro aumenta nel tempo (t):



Il ritiro (S) si manifesta per tempi anche molto lunghi (fino a 30 anni) anche se la maggior parte di esso si esplica in pochi mesi. Al tempo t_1 esso raggiunge il valore S_1 . Ai fini del calcolo ciò che conta è il tempo $t_1 - t_0$, cioè quello trascorso dal momento della scasseratura ($t = t_0$) al tempo t_1 .

Nell'intervallo di tempo tra $t = 0$ (confezione del calcestruzzo) e $t = t_0$ (scasseratura) non avviene il ritiro purché i casseri proteggano il calcestruzzo dall'evaporazione dell'acqua.

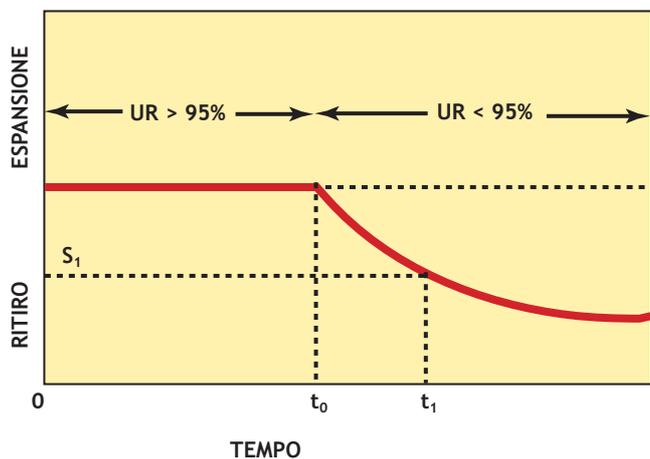


Fig. 2 - Il ritiro in funzione del tempo di esposizione all'aria

Tabella 1 - Coefficiente di correzione del ritiro (f_1) in funzione del tempo di esposizione all'aria

t	f_1
1 SETTIMANA	0,20
1 MESE	0,55
3 MESI	0,90
6 MESI	1,00
1 ANNO	1,10
2 ANNI	1,15
5 ANNI	1,25
10 ANNI	1,30
20 ANNI	1,40
30 ANNI	1,45

Per calcolare l'influenza del tempo sul ritiro si ricorre alla Tabella 1, dove il tempo è contato a partire dal momento dello scasso ed f_1 è il fattore di correzione per il tempo. Supposto che sia noto il ritiro a 6 mesi (posto eguale a 1 nella Tabella 1), il ritiro agli altri tempi si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_1 . Esempio: se il ritiro di un certo calcestruzzo, in determinate condizioni ambientali, è di $400 \cdot 10^{-6}$ dopo 6 mesi, il ritiro dello stesso calcestruzzo nelle stesse condizioni ambientali dopo 3 mesi è:

$$400 \cdot 10^{-6} \cdot 0,90 = 360 \cdot 10^{-6}$$

IL RITIRO DIPENDE DALL'UMIDITA' RELATIVA DELL'AMBIENTE

Il ritiro dipende anche dall'umidità relativa dell'ambiente: maggiore è l'umidità ambientale, minore è il ritiro.



Per calcolare l'influenza dell' UR ambientale su S si ricorre alla Tabella 2, per individuare il fattore di correzione f_2 .

Tabella 2 - Coefficiente di correzione del ritiro (f_2) in funzione dell'umidità relativa (UR)

UR (%)	f_2	AMBIENTE
40	1,10	↑ molto
50	1,00	↓ asciutto
60	0,90	↑ all'aria
70	0,70	↓ aperta
80	0,50	in ambiente chiuso
90	0,30	↑ molto
95	0,00	↓ umido

Supposto che sia noto il ritiro con UR del 50% (posto eguale a 1 nella Tabella 2), il ritiro con UR diversa dal 50% si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_2 . Esempio: se il ritiro di un certo calcestruzzo, dopo un certo tempo, è di $500 \cdot 10^{-6}$ quando l' UR è del 50%, il ritiro dello stesso calcestruzzo, dopo lo stesso tempo, con UR dell'80% ($f_2 = 0,50$) diventa:

$$500 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 = 250 \cdot 10^{-6}$$

IL RITIRO DIPENDE DALLO SPESSORE FITTIZIO DELLA STRUTTURA

Il ritiro è causato dalla perdita di acqua da parte del calcestruzzo, verso l'ambiente.

A parità di tutte le altre condizioni (tipo di calcestruzzo, UR ambientale, tempo), la evaporazione dell'acqua dal calcestruzzo dipende dallo spessore del getto. Strutture sottili (cioè con elevato rapporto superficie/volume) perdono più facilmente l'acqua rispetto a strutture massive (cioè con un basso rapporto superficie/volume). Pertanto, maggiore è lo spessore della struttura (h_m), minore è la perdita di acqua, e quindi minore è il ritiro del calcestruzzo (S).



Per calcolare l'influenza dello spessore della struttura su S si ricorre alla Tabella 3 che segue, dove lo spessore è espresso attraverso il rapporto area sezione/semiperimetro esposto all'ambiente e prende il nome di "spessore fittizio" (h_m), ed f_3 è il fattore di correzione per lo spessore della struttura in calcestruzzo.

Tabella 3 - Coefficiente di correzione del ritiro (f_3) in funzione dello spessore fittizio (h_m)

h_m (cm)	f_3
5	1,00
10	0,85
20	0,65
30	0,55
40	0,45
50	0,40

Supposto che sia noto il ritiro di un calcestruzzo in una struttura con spessore fittizio di 5 cm (posto eguale a 1 nella Tabella 3), il ritiro con spessori fittizi diversi da 5 cm, si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_3 . Esempio: se il ritiro di una struttura, confezionata con un certo calcestruzzo, in determinate condizioni di UR , dopo un certo tempo, è di $600 \cdot 10^{-6}$ quando la struttura ha uno spessore fittizio di 5 cm, il ritiro di un'altra struttura con uno spessore fittizio di 20 cm, cioè con $f_3 = 0.65$, (impiegando lo stesso calcestruzzo, nelle stesse condizioni di UR e dopo lo stesso tempo) diventa:

$$600 \cdot 10^{-6} \cdot 0.65 = 390 \cdot 10^{-6}$$

IL RITIRO DIPENDE DALL'ARMATURA

La presenza dei ferri di armatura fa diminuire il ritiro rispetto a quello che si manifesta nello stesso calcestruzzo non armato. Maggiore è la percentuale di armatura (A_f), minore è il ritiro*.



Per calcolare l'influenza dell'armatura (espressa in per cento come sezione dei ferri riferita alla sezione della struttura in calcestruzzo nella direzione ortogonale al ritiro) sul ritiro si ricorre alla Tabella 4 che segue, dove f_4 è il fattore di correzione per calcolare il ritiro del calcestruzzo armato da quello del calcestruzzo non armato.

Tabella 4 - Coefficiente di correzione del ritiro (f_4) in funzione della percentuale di armatura (A_f)

A_f (%)	f_4
0.00	1,00
0.15	0,97
0.50	0,93
1.00	0,85
2.00	0,70

Supposto di conoscere il ritiro di un certo calcestruzzo ($500 \cdot 10^{-6}$), in una struttura di una certa sezione non armata, dopo un certo tempo, in un ambiente con una certa UR , il ritiro dello stesso calcestruzzo, armato con l'1% di ferri ($f_4 = 0.85$) a parità di tutte le altre condizioni diventa:

$$500 \cdot 10^{-6} \cdot 0.85 = 425 \cdot 10^{-6}$$

** Incidentalmente, si può notare che l'armatura più che far diminuire il ritiro, fa soprattutto diminuire le conseguenze del ritiro quando la struttura è vincolata. Cioè fa diminuire l'ampiezza delle fessure ripartendole in un maggior numero su tutta la struttura. Ai fini della protezione dei ferri dall'aggressione ambientale è preferibile avere tante fessure di piccola ampiezza, piuttosto che poche fessure di maggiore ampiezza.*

IL RITIRO DIPENDE DAL MODULO ELASTICO DELL'INERTE

Gli inerti si oppongono al ritiro. Quanto maggiore è la loro rigidità, cioè quanto maggiore è il modulo elastico degli inerti (E_i), tanto meno il ritiro della pasta di cemento si tramuterà in un ritiro del calcestruzzo.



Per determinare l'influenza del modulo elastico dell'inerte sul ritiro del calcestruzzo si ricorre alla Tabella 5 dove è riportato il fattore di correzione (f_5) per inerti di diversa natura avendo posto uguale a 1 quello relativo agli inerti calcarei.

In generale il modulo elastico dell'inerte dipende dalla natura mineralogica dell'inerte stesso e diminuisce nel seguente ordine decrescente: basalto, quarzite, granito, calcare o dolomia, arenaria.

Tuttavia esistono eccezioni a questa regola empirica in quanto, per esempio, possono esistere dei basalti che hanno un modulo elastico inferiore a quello del calcare. Per questa ragione nella Tabella che segue il calcolo del coefficiente f_5 va fatto a rigore sulla base del modulo elastico dell'inerte piuttosto che sulla base del tipo mineralogico dell'inerte stesso.

Supposto che sia noto il ritiro di un calcestruzzo confezionato con inerti calcarei (con modulo elastico di 40000 MPa), il ritiro di un analogo calcestruzzo confezionato con inerti di altra natura (con diverso E_i) si calcola moltiplicando questo valore per il coefficiente di correzione f_5 .

Esempio: se il ritiro di una struttura in calcestruzzo confezionato con inerti calcarei ($E_i = 40000$ MPa), in determinate condizioni di UR , dopo un certo tempo t , è di $500 \cdot 10^{-6}$, il ritiro di una struttura analoga nelle stesse condizioni di UR e allo stesso tempo t di un calcestruzzo confezionato con inerti di natura basaltica (con modulo elastico di 95000 MPa) è: di $500 \cdot 10^{-6} \cdot 0.60 = 300 \cdot 10^{-6}$.

Tabella 5 - Coefficiente di correzione del ritiro (f_5) in funzione del modulo elastico dell'inerte

TIPO DI INERTE	$E_i \cdot 10^3$ (MPa)	f_5
BASALTO	95	0,60
QUARZO	85	0,70
GRANITO	50	0,90
CALCARE, DOLOMIA	40	1,00
ARENARIA	10	3,00

ESEMPIO DI CALCOLO DEL RITIRO

Calcolata la composizione del calcestruzzo (a/c ed i/c), a partire dalla resistenza caratteristica (R_{ck}), dalla lavorabilità (L), dal diametro massimo (D_{max}), e dal tipo di cemento (t_c) e conoscendo l' UR dell'ambiente, il tempo trascorso dalla scasseratura, la geometria della struttura, la percentuale di

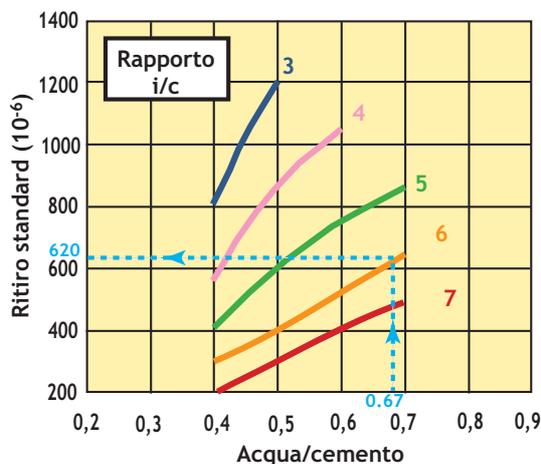
armatura e la natura dell'inerte, si può calcolare il ritiro della struttura armata (S):

$$S = S_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$$

Dove, S_0 è il ritiro standard deducibile dalla composizione del calcestruzzo, quando $UR = 50\%$, $t = 6$ mesi, $h_m = 5$ cm, $A_f = 0\%$ e l'inerte utilizzato è di natura calcarea.

Esempio: per un pilastro (20 · 20 cm) armato con lo 0.5% di ferri, si è impiegato un calcestruzzo con una richiesta di R_{ck} , D_{max} , L , t_c tali che la composizione risulta essere: $a = 200$ kg/m³; $c = 300$ kg/m³; $i = 1800$ kg/m³. Calcolare il ritiro della struttura dopo 1 anno, in un ambiente aperto con UR media del 60%, sapendo che si è impiegato per il confezionamento del calcestruzzo un inerte naturale (quarzite).

Il passaggio dalla composizione ($a/c=0,67$ ed $i/c=6$) al ritiro standard (S_0) avviene con il seguente grafico attraverso cui si arriva a $620 \cdot 10^{-6}$.



Con la Tabella seguente si individua il fattore $f_1=1,10$ perché si vuole conoscere il ritiro a 1 anno.

t	f ₁
1 SETTIMANA	0,20
1 MESE	0,55
3 MESI	0,90
6 MESI	1,00
1 ANNO	1,10
2 ANNI	1,15
5 ANNI	1,25
10 ANNI	1,30
20 ANNI	1,40
30 ANNI	1,45

La Tabella che segue consente di calcolare il fattore f_2 poiché il calcestruzzo rimane all'aria con $UR=60\%$.

UR (%)	f ₂	AMBIENTE
40	1,10	↑ molto
50	1,00	↓ asciutto
60	0,90	↑ all'aria
70	0,70	↓ aperta
80	0,50	in ambiente chiuso
90	0,30	↑ molto
95	0,00	↓ umido

La Tabella che segue evidenzia il fattore $f_3=0,85$ poiché lo spessore fittizio (h_m) è di 10 cm ($20 \cdot 20 / 2 \cdot 20 = 10$ cm).

h _m (cm)	f ₃
5	1,00
10	0,85
20	0,65
30	0,55
40	0,45
50	0,40

La Tabella seguente permette di calcolare il fattore $f_4=0,93$ perché la percentuale di ferro di armatura è 0,50.

A _r (%)	f ₄
0,00	1,00
0,15	0,97
0,50	0,93
1,00	0,85
2,00	0,70

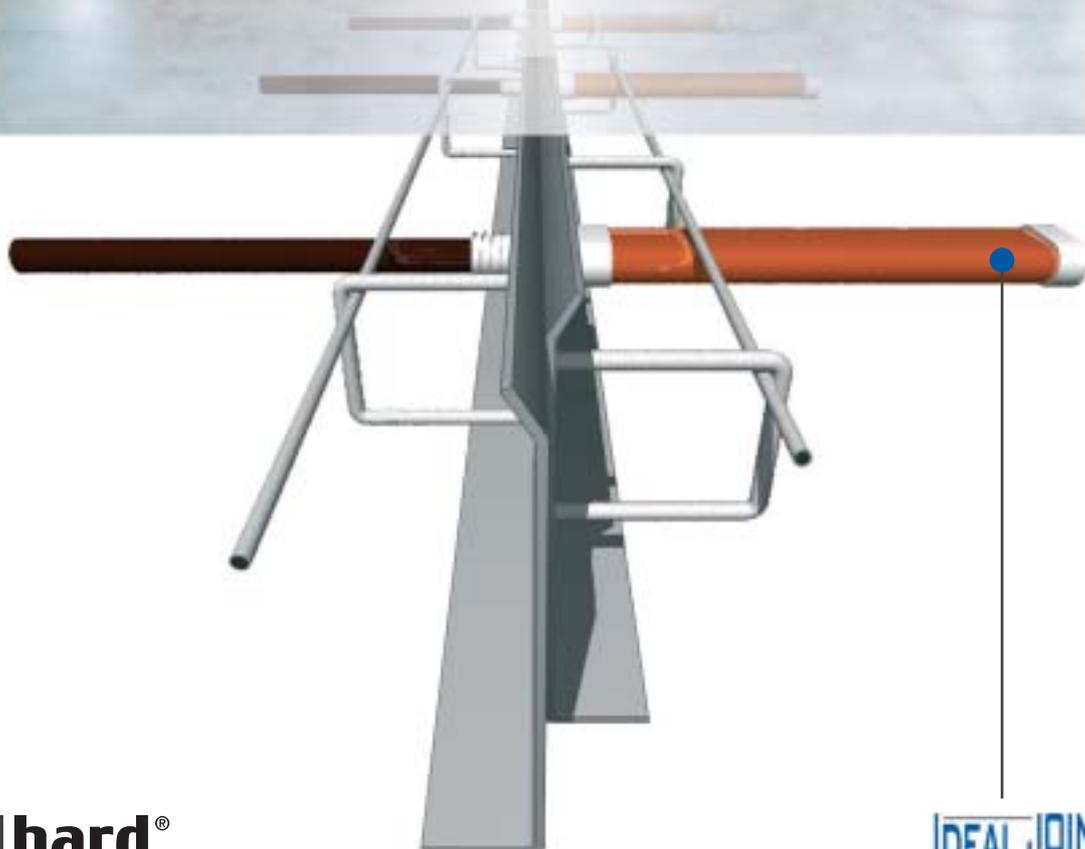
Il fattore $f_5=0,70$ è evidenziato nella seguente Tabella poiché l'inerte impiegato (quarzo) presenta un modulo elastico di 85.000 MPa.

TIPO DI INERTE	E _i · 10 ³ (MPa)	f ₅
BASALTO	95	0,60
QUARZO	85	0,70
GRANITO	50	0,90
CALCARE DOLOMIA	40	1,00
ARENARIA	10	3,00

Pertanto il ritiro della struttura armata (S) è:

$$S = 620 \cdot 10^{-6} \cdot 1,10 \cdot 0,90 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \cdot 0,70 = 340 \cdot 10^{-6} = 340 \mu\text{m/m.}$$

L'UNIONE FA LA FORZA



idealhard[®]
the best solution for your concrete floor

IDEAL HARD è un'esclusiva soluzione chimica incolore che incrementa la resistenza superficiale delle superfici in calcestruzzo soggette ad alto traffico pedonale e veicolare. **IDEAL HARD** penetra in profondità nelle superfici in calcestruzzo per sigillarle, densificarle, indurirle e renderle meno permeabili all'acqua. I pavimenti trattati con **IDEAL HARD** si mantengono più a lungo, costano meno per la manutenzione e sono antipolvere per moltissimi anni.

IDEAL HARD è il miglior prodotto sul mercato (richiedi la copia del test comparativo svolto dal laboratorio indipendente CTL - Illinois). Le caratteristiche primarie sono quelle di essere antipolvere, facile da mantenere e soprattutto resistente all'abrasione. E' il solo prodotto ad essere sigillante, densificante e corazzante chimico per calcestruzzo. **GARANZIA ANTIPOLVERE 10 ANNI**

IDEAL JOINT SYSTEM[®]
giunto di costruzione - construction joint

La distribuzione dei carichi tra le piastre di calcestruzzo è fondamentale e se non è affrontata fin dalla progettazione rischia di compromettere il risultato dell'opera finita. A tutto questo si aggiungono i costi di manutenzione e di fermo produzione, che per i giunti sono davvero elevati. Spesso ad una progettazione adeguata, non segue una corretta realizzazione: i sistemi tradizionali sono molto complicati e richiedono tempo e manodopera specializzata. **IDEAL WORK** è pronta ad affrontare questa problematica con il proprio sistema brevettato per giunti di costruzione: **IDEAL JOINT SYSTEM**, studiato e realizzato per offrire ai progettisti un sistema moderno e scientifico per riprendere il trasferimento dei carichi tra le piastre di calcestruzzo con una semplice e poco costosa applicazione in opera. **IDEAL JOINT SYSTEM** è l'unico giunto Bidirezionale progettato per pavimenti in calcestruzzo. www.giunto.it/idealwork

Ideal WORK Srl - via Kennedy, 52/A - 31030
Vallà di Riese Pio X (TV) Italia
tel. (+39) 0423 748430 - fax (+39) 0423 748429
info@idealwork.it - www.idealwork.it

ideal
WORK[®]
SOLUZIONI INNOVATIVE PER LE PAVIMENTAZIONI
INNOVATIVE SOLUTIONS FOR CONCRETE FINISHING



I LABORATORI DEL PATRIMONIO EUROPEO: PROGETTO VAC (Vacuum Circulation Method)



Prima parte

*Klaus Behrbohm**, *Emanuela Croce***, *Cecilia Della Casa****
**Consulente generale per il progetto VAC, ** Enco srl,*
****Consulente della Enco per il progetto VAC **



Introduzione

Il primo programma-quadro (2000-2004) a favore della cultura rappresenta per l'Unione europea l'occasione per dare una nuova impostazione all'azione culturale della Comunità e permetterle di rispondere alle sfide dell'epoca contemporanea e alle aspirazioni dei cittadini europei nel loro complesso e degli operatori culturali in particolare. Per la preparazione del programma-quadro la Commissione ha consultato in maniera approfondita gli organi competenti al fine di chiarire quale sia il ruolo e la collocazione della cultura rispetto alle grandi sfide che l'Unione europea deve affrontare. Gli Stati membri, i parlamentari, la Commissione, le organizzazioni internazionali (Consiglio dell'Europa, Unesco) e le organizzazioni culturali si sono trovati tutti d'accordo sul fatto che oggi il concetto di cultura va inteso in senso lato e abbraccia anche la cultura popolare, la cultura industriale di massa e la cultura della vita quotidiana.

A questo titolo, la cultura è strettamente legata alle risposte che bisognerà fornire alle grandi sfide contemporanee, quali l'accelerazione della costruzione europea, la mondializzazione, la società dell'informazione, l'occupazione e la coesione sociale.

Il programma "Cultura 2000"

Il programma "Cultura 2000" è uno strumento unico di programmazione e di finanziamento per le azioni comunitarie nel settore della cultura, istituito per il periodo compreso fra il 1° gennaio 2000 al 31 dicembre 2006.

Il programma "Cultura 2000" contribuisce alla valorizzazione di uno spazio culturale comune agli europei favorendo la cooperazione fra gli ideatori, gli operatori culturali e gli organismi culturali degli Stati membri. Il programma favorisce la promozione della creatività,

della diffusione transnazionale della cultura e della mobilità dei creatori e di altri operatori e professionisti della cultura, nonché delle loro opere. "Cultura 2000" sostiene il ruolo della cultura come fattore economico e come fattore d'integrazione sociale e di cittadinanza. Il programma "Cultura 2000" favorisce un collegamento con le azioni avviate nel quadro di altre politiche comunitarie aventi incidenza sulla cultura.

La realizzazione degli obiettivi previsti dal programma dovrà avvenire tramite le seguenti azioni:

- azioni specifiche, innovative e/o sperimentali comportanti l'impiego di operatori di almeno tre paesi partecipanti al programma. Tali azioni favoriranno la visibilità e lo sviluppo di nuove forme di espressione culturale, il miglioramento dell'accesso alla cultura, segnatamente dei giovani e delle persone svantaggiate, nonché la diffusione di avvenimenti culturali in diretta grazie alle nuove tecnologie della società dell'informazione.
- azioni integrate nel quadro di accordi di cooperazione culturale, di tipo strutturato e pluriennali. Tali accordi, stabiliti fra operatori culturali di almeno cinque paesi partecipanti al programma, mirano alla realizzazione, per una durata massima di tre anni, di azioni culturali strutturate che contribuiscano a perseguire un obiettivo d'interesse culturale precedentemente stabilito.



Education et culture

Culture 2000

Gli accordi di cooperazione riguardano l'approfondimento di un settore culturale ovvero l'integrazione di più settori culturali.

- avvenimenti culturali speciali aventi una dimensione europea e/o internazionale. Si tratta di avvenimenti di una dimensione e di una rilevanza importanti, che contribuiscano ad una migliore presa di coscienza dell'appartenenza ad una stessa comunità (come l'iniziativa "capitale europea della cultura").



nio europeo”, ossia quei progetti che, attraverso l'intervento di restauro, o attraverso progetti di ricerca comune, hanno l'obiettivo di condividere, tra enti europei, know-how e promuovere buone prassi nel campo della conservazione del patrimonio.

Il progetto

Il progetto VAC mette insieme le competenze ed il know-how di diverse istituzioni pubbliche e private di altrettanti Paesi europei: Austria con il capofila del progetto, l'OFI (Osterreichisches Forschungsinstitut fuer Chemie und Technik) che agisce in stretta collaborazione con l'Università di Vienna e con il supporto, in qualità di esperto della materia, di un consulente per il degrado di materiali lapidei di Repubblica Ceca e Slovacchia, nonché con l'ausilio tecnico, relativo alle operazioni di restauro e di consolidamento sotto vuoto, dell' "Atelier Erich Pummer", partecipano inoltre come co-organizzatori la Città di Krems e il Bundesdenkamt; Ungheria con il AMRK (Central Laboratory of state Monument Preservation di Budapest); Germania con INNOWEP GmbH Measuring & Testing; Italia con ENCO (engineering concrete)

che si avvale del supporto e della supervisione, relativamente alla sperimentazione in situ su monumenti di interesse storico artistico, della Soprintendenza per i Beni Archeologici delle Province di Sassari e Nuoro. Non mancano inoltre collaborazioni e contatti con i produttori e gli operatori nel settore della coltivazione e lavorazione dei materiali lapidei (Sanna Trachiti di Benitutti – Sassari -).

Che cosa si prefigge il progetto VAC

Il consolidamento, tra gli interventi di restauro, è una delle operazioni che si rende più frequentemente necessaria, e come tale ormai affermata ed apparentemente precisata in gran parte dei suoi ambiti. Tuttavia emerge con sempre maggior vigore che tale operazione necessiti di un costante approfondimento sia sotto il profilo teorico metodologico, che per quanto riguarda gli aspetti tecnici.

E' ormai ben noto a tutti che il consolidamento, fermo restando la scelta dei prodotti più idonei al tipo di substrato lapideo ed all'ambiente che ospiterà il manufatto, non può essere considerato come un'operazione che si sviluppa sulla superficie; è ovvio che il trattamento passa dalla superficie, ma deve necessariamente arrivare in profondità.

Tale obiettivo si può ottenere attraverso il conso-

L'articolo 151 del trattato che istituisce la Comunità Europea (1993) stabilisce che l'Unione deve dare sostegno alle azioni dei paesi membri volte a conservare e proteggere il patrimonio culturale di valore europeo. Inizialmente questo supporto è stato inteso in senso limitato, come sostegno a restauri del patrimonio edificato, come l'Acropoli di Atene. Successivamente la nozione di patrimonio culturale si è estesa a tutto il patrimonio, mobile e immobile, materiale e immateriale, attraverso i programmi di finanziamento per progetti culturali che si sono succeduti (Caleidoscopio, Raffaello).

Cultura 2000 è il programma di cooperazione deputato a progetti con l'obiettivo generale di conservare e rafforzare lo spazio culturale comune europeo, attraverso azioni di durata annuale o pluriennale. Obiettivi specifici sono la promozione del dialogo culturale, della creatività, delle diversità culturali, la condivisione e lo scambio di conoscenza, il ruolo di crescita, anche economica, della cultura.

Il progetto VAC è stato presentato nell'ottobre 2005 – e finanziato – nel settore dei “laboratori del patrimo-

lidamento sotto vuoto; sicuramente tale metodologia permette una maggior penetrazione del prodotto, ma lo scopo principale, cioè la penetrazione del consolidante fino al substrato non decoeso, viene raggiunto? E quale tecnologia, ovviamente non distruttiva e poco invasiva, può permettere di indagare la profondità di penetrazione del consolidante?

Queste sono le principali questioni alle quali il progetto VAC si prefigge di dare delle risposte.

Le fasi iniziali del programma di studi e di indagini ha visto, sin dalle primissime fasi operative del progetto, luglio 2006, il reperimento e la caratterizzazione dei materiali lapidei scelti tra quelli più diffusamente impiegati nella realizzazione di opere d'arte nei Paesi partecipanti al progetto (Austria, Germania, Italia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Ungheria). Le operazioni di

scelta dei materiali, caratterizzazione degli stessi, sperimentazione delle varie metodologie di analisi e messa a punto di un protocollo di indagini non distruttive atto ad indagare la bontà del trattamento consolidante, sono costantemente supportate da una base di conoscenze fornite dai dati bibliografici a disposizione dei vari partner. Tale prassi permetterà, oltre che una ben ponderata scelta delle metodologie da impiegare sia nei prodotti e nella tecnologia di restauro, che nelle indagini diagnostiche e valutative più idonee e qualificate, di costruire un data base comune a tutti i partner afferenti al progetto. Il data base comune si inserisce a pieno titolo nello spirito della collaborazione europea e, nello specifico, del programma "Cultura 2000", in quanto mette le basi per una collaborazione che si protrarrà nel tempo oltrepassando i confini della cooperazione temporanea relativa, in questo caso, al progetto VAC.

VI ASPETTIAMO AL PROSSIMO WORKSHOP IN INGLESE SUI CALCESTRUZZI SPECIALI

Mario Collepari

Sulla importanza della conoscenza della lingua Inglese, ormai diventata la lingua ufficiale in tutto il mondo, non credo ci siano dubbi. Nel settore delle costruzioni in calcestruzzo tutte le informazioni di carattere scientifico e commerciale vengono ormai diffuse in inglese.

Se una industria italiana deve distribuire nella vicina Slovenia o nella lontana Cina macchine o prodotti deve necessariamente comunicare in Inglese. Così pure se un ricercatore deve aggiornarsi sui progressi del settore attraverso la lettura di riviste o la partecipazione a congressi internazionali deve possedere un'adeguata conoscenza dell'Inglese tecnico-scientifico.

Per favorire il progresso della conoscenza della lingua Inglese nel settore del calcestruzzo si terrà presso la ENCO a Ponzano Veneto dal 19 al 23 Febbraio 2007 un Workshop nel quale i relatori presenteranno in power point i loro argomenti con contemporanea proiezione del testo scritto sullo schermo. Ciò servirà ai partecipanti a cogliere più facilmente la comprensione dei termini inglesi spesso simili a quelli italiani nella scrittura ma molto diversi nella pronuncia. Il termine "temperatura" in Inglese si scrive "temperature" ma si pronuncia in molto molto diverso (qualcosa come "tèmp-racia") che rende incomprensibile il significato del termine. Così pure un additivo "privo di alcali" ("alkali-free" in Inglese) diventa "alklai fri" nella pronuncia poco comprensibile ad un tecnico di calcestruzzo che non conosce bene la lingua Inglese. Si potrebbero fare molti altri esempi sulla difficoltà di pronuncia dei termini inglesi priva di qualsiasi regola: pertanto la proiezione scritta su uno schermo del testo mentre viene letto dal relatore è uno strumento formidabile per migliorare rapidamente la capacità di comprendere sia pure limitata al dizionario della tecnologia del calcestruzzo. Leggere sullo schermo "lime" mentre si pronuncia "làime", o leggere "determined" mentre si pronuncia "detèrmined" (e non "determàined" come tipicamente pronunciano erroneamente i francesi) aiuta a migliorare gradualmete la lingua Inglese nella sua lettura e nella sua comprensione orale.

Il Workshop sui "Calcestruzzi Speciali" prevede la trattazione dei seguenti materiali: High-Strength Concrete, Self-Compacting Concrete, Fibre-Reinforced Concrete, Lightweight Concrete, Recycled Concrete, Shrinkage-Compensating Concrete, Fire-Resistant Concrete. Esso è un'occasione irripetibile per quei tecnici padroni della lingua Inglese (ma non ancora esperti di calcestruzzi speciali) che intendono migliorare la loro conoscenza tecnologica, o per quei tecnici esperti dell'argomento ma non ancor padroni della comunicazione in Inglese.

Per i dettagli sul programma e sul copioso materiale didattico distribuito (libro "The New Concrete", pubblicazioni scientifiche, e software) si può consultare www.encosrl.it ==> corsi enco ponzano veneto.

ATTACCO DEI CLORURI SULLE STRUTTURE IN C.A.



M. Collepari, J.J. Ogoumah Olagot,
F. Simonelli e R. Troli
Enco - Engineering Concrete,
Ponzano Veneto (TV) info@encosrl.it

Il cloruro è naturalmente presente nell'acqua del mare e coinvolge quindi le opere marittime; esso è artificialmente presente nei sali disgelanti ($NaCl$ e $CaCl_2$) per rimuovere il ghiaccio, e coinvolge, quindi, le opere stradali, autostradali, aeroportuali e in genere le pavimentazioni esterne nei periodi invernali.

Nella Tabella 1 sono riassunte le varie azioni aggressive dei cloruri nei confronti dei ferri di armatura e del calcestruzzo, che verranno discusse in dettaglio nei paragrafi che seguono.

Tabella 1 - Classificazione dei degradi provocati dai sali disgelanti sulle opere in c.a. e c.a.p.

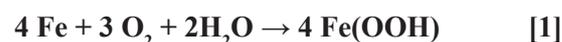
Componente della struttura	Tipo di degrado provocato da sali disgelanti a base di:	
	NaCl	CaCl ₂
ferro di armatura	corrosione localizzata (pitting)	corrosione localizzata (pitting)
calcestruzzo	reazione alcali-aggregato (solo con "inerti" reattivi)	formazione di ossicloruro ($3CaO \cdot CaCl_2 \cdot 15H_2O$)

Corrosione dei ferri per azione dei cloruri

E' nota da tempo l'azione corrosiva esercitata dai cloruri di qualsiasi tipo (di sodio o di calcio) sull'acciaio in genere e sui ferri di armatura in particolare. Il meccanismo corrosivo si esplica mediante un'azione incisiva e localizzata (pitting) che consiste nella rimozione dello strato di ossido ferrico compatto e protettivo (passivante) che in presenza di cloruro diviene incoerente e consente, quindi, l'ulteriore ossidazione del ferro (Fig. 1).

Nel caso dell'acqua di mare, il calcestruzzo del copri-ferro può essere facilmente attaccato dall'azione dei sali, in particolare il solfato, creando così condizioni più favorevoli alla penetrazione ed all'attacco dei cloruri verso i ferri d'armatura. Tuttavia il fenomeno della corrosione

dell'acciaio è limitato alle zone di bagna-asciuga o alle zone esposte a spruzzi di acqua marina (Fig. 2) poiché solo in queste due condizioni si trova anche l'aria umida, cioè $O_2 + H_2O$, necessari secondo il processo B di Fig. 1 ad alimentare la corrosione, cioè la trasformazione di ferro metallico in idrossido secondo la reazione:



Pertanto nelle strutture permanentemente sommerse in acqua di mare, la corrosione non avviene se non in modo trascurabile per il modesto accesso ai ferri di ossigeno

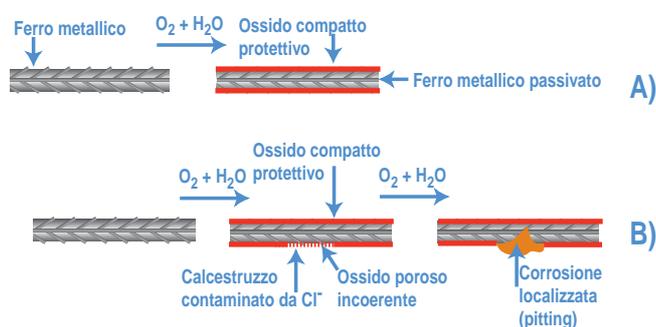


Fig. 1 – Schema di ossidazione dell'armatura metallica in calcestruzzo esente da cloruri (A) e di corrosione localizzata (pitting) per presenza di cloruri (B)



Fig. 2 – Corrosione dei ferri promossa dalla presenza del cloruro in acqua di mare sulle zone di bagna-asciuga o esposte agli spruzzi dell'acqua

quasi assente in acqua di mare.

Nel caso delle strutture in calcestruzzo per opere stradali ed autostradali la presenza dei cloruri è determinata dalla necessità, durante la stagione invernale, di spargere sul manto stradale dei sali decongelanti – quasi sempre a base di cloruro di sodio, più raramente di calcio – per accelerare la rimozione del ghiaccio. In queste condizioni, la penetrazione del cloruro dall'ambiente verso i ferri di armatura e la loro conseguente corrosione (Fig. 3) possono essere accelerate dalla disintegrazione del copriferro in calcestruzzo a causa dei cicli di gelo-disgelo.

Per una buona protezione dei ferri di armatura, occorre



Fig. 3 – Particolare della corrosione delle barre metalliche in una trave in c.a. di una struttura esposta a salatura in inverno

fondamentalmente:

- limitare il rapporto acqua/cemento per ridurre la porosità capillare ed aumentare l'impermeabilità del calcestruzzo;
- compattare completamente il calcestruzzo mediante una efficace ed omogenea vibrazione o, qualora ciò sia di difficile esecuzione, aumentare adeguatamente la lavorabilità del calcestruzzo in relazione ai sistemi di vibrazione disponibili; la completa compattazione del calcestruzzo è di fondamentale importanza per ridurre la "macroporosità" del copriferro: qualora ciò non avvenga diviene praticamente inutile l'impiego di calcestruzzi a bassa porosità per il basso rapporto acqua/cemento adottato;
- stagionare adeguatamente la superficie del calcestruzzo mediante acqua nebulizzata, o protezione con teli di iuta bagnati (per 3-7 giorni), o applicazione di membrane anti-evaporanti o agenti stagionanti;
- aumentare lo spessore di copriferro il quale dovrà essere tanto maggiore quanto più severa è l'aggressione ambientale come sarà mostrato più avanti.

Come si vede esiste una stretta correlazione tra i quattro summenzionati parametri nei confronti della protezione delle armature, in quanto i primi tre influenzano la "resistenza specifica" del calcestruzzo alla penetrazione degli agenti aggressivi, mentre il quarto condiziona soltanto la

lunghezza del cammino resistente.

La velocità di penetrazione del cloruro attraverso il calcestruzzo dipende dalla "resistenza specifica" offerta dal copriferro, mentre il tempo impiegato per raggiungere i ferri d'armatura dipende dalla "resistenza totale" offerta dal calcestruzzo e quindi dallo spessore del copriferro oltre che dalla sua "resistenza specifica".

La penetrazione del cloruro dall'ambiente attraverso il copriferro può avvenire attraverso due distinti meccanismi:

- **assorbimento per suzione capillare** dell'acqua che funge da veicolo per i sali (incluso il cloruro) in essa eventualmente dissolti; l'assorbimento avviene per contatto dell'acqua con il calcestruzzo asciutto, o comunque insaturo di umidità, e si esaurisce in un tempo relativamente breve. La forza motrice che spinge l'acqua nei pori **capillari vuoti** di raggio r è dovuta alla pressione capillare P_c secondo l'equazione:

$$P_c = \frac{2 \gamma}{r} \cos \theta \quad [2]$$

dove γ è la tensione superficiale dell'acqua e θ è l'angolo di bagnatura; la suzione capillare può essere impedita grazie all'impiego di additivi idrofobizzanti a base di prodotti silanici capaci di far aumentare l'angolo di contatto da $\theta < 90^\circ$ a $\theta > 90^\circ$, cosicché il valore di $\cos \theta$ diventa negativo, e così pure la pressione capillare P_c ; occorre spingere l'acqua esercitando una pressione;

- **diffusione** del cloruro attraverso il calcestruzzo nei pori capillari saturi di acqua: in questo caso l'acqua ristagna nei pori e il cloruro si muove lungo la direzione x (ortogonale alla superficie del calcestruzzo) sotto la spinta di un gradiente di concentrazione ($\partial c / \partial x$) secondo l'equazione nota come **seconda legge di Fick**:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad [3]$$

dove D è il **coefficiente di diffusione** il cui valore dipende dal rapporto a/c , dal tempo di stagionatura e dal tipo di cemento.

L'equazione [3] può essere risolta se la concentrazione a contatto della superficie di calcestruzzo (c_s) è costante (per esempio strutture permanentemente sommerse in acqua di mare), se il calcestruzzo è esposto all'acqua salina dopo un tempo relativamente lungo di stagionatura (qualche mese) in modo tale che le caratteristiche porosimetriche non cambino ulteriormente durante l'esposizione al cloruro; e se la dimensione del calcestruzzo che può essere penetrato dal cloruro è relativamente elevata (semi-infinita) in modo tale che sia sempre nulla la concentrazione di cloruro sul lato opposto alla sorgente di cloruro.

In queste condizioni, dopo un determinato tempo (t) di diffusione, la concentrazione del cloruro (c) diminuisce

dal valore superficiale (c_s) in funzione dello spessore di calcestruzzo (x). L'andamento di (c) in funzione di x dopo vari tempi di diffusione è calcolabile con l'equazione [3], che è la soluzione della seconda legge di Fick [4]:

$$\frac{c - c_i}{c_s - c_i} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad [4]$$

dove c_i è la concentrazione iniziale del cloruro nel calcestruzzo dovuto alle materie prime. Poiché c_i è in generale trascurabile, assumendo $c_i = 0$, la [4] diventa:

$$\frac{c}{c_s} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad [5]$$

La rappresentazione schematica, secondo l'equazione [5], della concentrazione c del cloruro in funzione dello spessore di calcestruzzo penetrato ai vari tempi t_1 , t_2 e t_3 è mostrata in Fig. 4.

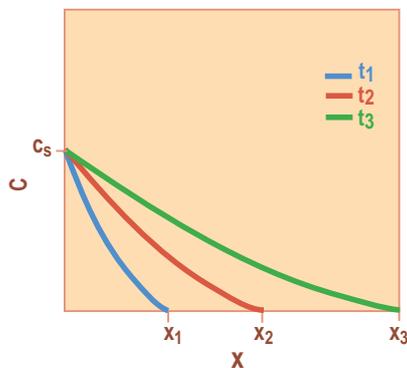


Fig. 4 – Profilo della concentrazione di cloruro (c) in funzione dello spessore di calcestruzzo (x) a vari tempi di esposizione ($t_1 < t_2 < t_3$); c_s è la concentrazione (costante) del cloruro nell'acqua a contatto con la superficie del calcestruzzo

Nella Fig. 4 sono indicati i valori (x_1 , x_2 ed x_3) di spessore di calcestruzzo penetrato per diffusione dal cloruro rispettivamente dopo i tempi t_1 , t_2 e t_3 . Per esempio, dopo un tempo t_2 la concentrazione di cloruro – che è c_s sulla superficie a contatto con la soluzione di cloruro – si annulla per spessori di calcestruzzi superiori ad x_2 : in pratica dopo un tempo t_2 il fronte di avanzamento del cloruro è arrivato a penetrare lo spessore x_2 .

Riportando i valori di x_1 , x_2 , x_3 , ecc. in funzione della radice quadrata del tempo ($\sqrt{t_1}$, $\sqrt{t_2}$, $\sqrt{t_3}$, ecc.) si ottengono le rette mostrate nel diagramma di Fig. 5.

In pratica la determinazione del calcestruzzo penetrato dal cloruro può essere eseguito con un test colorimetrico simile a quello adottato per la carbonatazione sostituendo l'indicatore fenolftaleina il cui colore cambia con il pH con un indicatore a base di fluoresceina e nitrato di argento che sviluppa un colore nero nella zona non penetrata dal cloruro ed un colore chiaro di tonalità rosa nel calcestruzzo penetrato dal cloruro (Fig. 6)*. Misurando gli

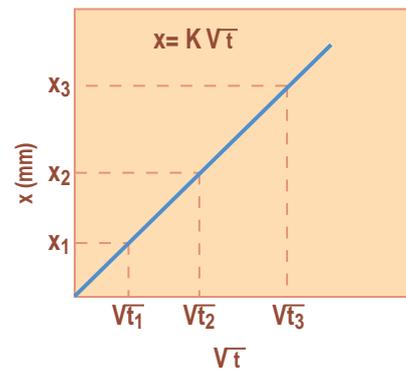


Fig. 5 – Spessore di calcestruzzo penetrato dal cloruro (x) in funzione del tempo (t) di esposizione alla soluzione di cloruro
spessori di calcestruzzo colorato in rosa (x) in funzione dei tempi (t) di diffusione si possono tracciare le curve di penetrazione del cloruro in Fig. 5).



Fig. 6 – Sezione di una struttura penetrata dal cloruro (zona chiara)

E' stato dimostrato che il valore di K che appare nella Fig. 5 è correlabile con il coefficiente di diffusione (D) del cloruro che appare nell'equazione [5]:

$$x = K\sqrt{t} = 4\sqrt{Dt} \quad [5]$$

In altre parole il coefficiente angolare (K) della retta della Fig. 5 – calcolato con qualche determinazione di penetrazione (x) del cloruro a tempi vari (t) mediante il saggio colorimetrico di Fig. 6 – consente di ricavare molto semplicemente il coefficiente di diffusione (D) mediante

* Per una corretta esecuzione di questo test sulle carote estratte da una struttura, è necessario preliminarmente alcalinizzare la superficie della carota bagnando la superficie con una soluzione di NaOH al 10%; successivamente si spruzzano alternativamente per 2-3 volte una soluzione alcolica (95%) di fluoresceina (1 g/L) e di nitrato di argento (17 g/L) per far sviluppare il colore rosa nella zona penetrata dal cloruro e quello nero nella zona non penetrata: per una buona evidenziazione dei colori è consigliabile esporre alla luce solare i provini trattati con le soluzioni sopra specificate.

l'equazione [6]:

$$D = \frac{K^2}{16} \quad [6]$$

I valori dei coefficienti di diffusione D hanno un qualche significato se determinati su calcestruzzi saturi di umidità e ben stagionati (almeno 2-3 mesi) prima della esposizione alla penetrazione del cloruro, in modo tale che si possa ragionevolmente assumere che, dopo questa stagionatura, la qualità del calcestruzzo, ed in particolare la sua porosità capillare, non vari apprezzabilmente durante il tempo della diffusione del cloruro. Se, invece, nel calcestruzzo dopo pochi giorni di stagionatura è esposto alla penetrazione dei cloruri, il suo coefficiente di diffusione varia (diminuendo) man mano che il cloruro avanza nel calcestruzzo a seguito della diminuzione di porosità capillare associata all'aumento del grado di idratazione del cemento secondo l'equazione [7]:

$$V = 100 a/c - 36,15 \alpha \quad [7]$$

Ovviamente, la misura di D , attraverso determinazioni di penetrazione del cloruro nel tempo, perde di significato se il calcestruzzo non è saturo di acqua prima della esposizione ai cloruri: in queste condizioni, infatti, la penetrazione del cloruro non procede dentro l'acqua che riempie i pori sotto la spinta del gradiente di concentrazione $\partial c/\partial x$ lungo l'asse x , ma piuttosto per assorbimento capillare – secondo l'equazione [2] – con un'accelerazione dell'avanzamento del cloruro nella fase iniziale.

Il valore di D per calcestruzzi saturi di acqua diminuisce:

- al diminuire del rapporto a/c per effetto della minore porosità capillare;
- all'aumentare del grado di compattazione grazie ad una migliore lavorabilità;
- passando dal cemento Portland al cemento pozzolanico o d'altoforno (Tabella 2).

Tabella 2 - Coefficienti di diffusione del cloruro (D) in calcestruzzi ($a/c = 0,50$)^{*} con diversi cementi

Cemento	Grado di compattazione	Temperatura °C	D mm ² /anno
Portland CEM I	1,00	10	25
Portland CEM I	1,00	25	50
Portland CEM I	1,00	40	100
Portland CEM I	0,95	25	100
pozzolanico CEM IV	1,00	10	20
pozzolanico CEM IV	1,00	25	30
pozzolanico CEM IV	1,00	40	40
pozzolanico CEM IV	0,95	25	60
d'altoforno CEM III	1,00	25	20
d'altoforno CEM III	0,95	25	50

^{*} con $a/c=0,40$ i valori di D sono di un ordine di grandezza minore

I valori di D riportati in Tabella 2 indicano che, all'aumentare della temperatura, la diffusione del cloruro aumenta ma l'effetto è molto minore se si impiegano cemento pozzolanico e d'altoforno.

Da un punto di vista pratico, per ridurre la velocità di penetrazione del cloruro nel copriferro è necessario ridurre a/c , adottare cemento pozzolanico o d'altoforno (Tabella 2), compattare il calcestruzzo, e stagionarne la superficie.

Per le opere stradali ed autostradali, esposte all'azione dei sali disgelanti a base di cloruro nei periodi invernali, in teoria l'equazione [5] non potrebbe essere applicata in quanto l'esposizione al sale non avviene in modo continuo e permanente (come avviene invece per le opere marittime sommerse). Tuttavia si può calcolare il tempo (t^*) di salatura dopo i quali il copriferro è penetrato dal cloruro. Per esempio, se $D = 30$ mm²/anno (calcestruzzo con cemento pozzolanico e rapporto $a/c = 0,50$) e se il copriferro è pari a 40 mm si ottiene (per T mediamente uguale a 25°C):

$$40 = 4 (30t^*)^{1/2}; \quad t^* = (40/4)^2/30 = 3,33 \text{ anni}$$

Pertanto con un copriferro di 40 mm, cemento pozzolanico e calcestruzzo ($a/c = 0,50$) ben compattato e stagionato, sono necessari 3,33 anni = 1185 giorni di "salatura" perché il cloruro arrivi ai ferri di armatura e possa iniziare la corrosione. Se si ipotizza un periodo di "salatura" di circa 30 giorni cumulativi per anno, si può prevedere che la penetrazione del copriferro avvenga in circa 1185/30 = 37,5 anni di servizio.

Val la pena di osservare che con un rapporto a/c di 0,40 il coefficiente di diffusione D , a parità di tutte le altre condizioni, si riduce a 3 mm²/anno (nota in Tabella 2); pertanto il valore di t^* diventa:

$$t^* = (40/4)^2/30 = 3,33 \text{ anni} = 12.167 \text{ giorni}$$

Quindi, ipotizzando sempre un trattamento con sali disgelanti per 30 giorni cumulativi per anno, si può prevedere che la vita di servizio venga estesa a circa 406 anni (12.167/30 = 405,6) per quanto attiene la corrosione dei ferri provocata dalla penetrazione dei cloruri.

Degrado del calcestruzzo per azione dei cloruri

Il cloruro è stato per lungo tempo considerato un agente aggressivo solo dei ferri di armatura. Più recentemente si è scoperto che esso può danneggiare più o meno gravemente anche il calcestruzzo. L'azione corrosiva del cloruro sui ferri di armatura non dipende dal particolare tipo di sale; quella aggressiva nei confronti del calcestruzzo, invece, è significativamente diversa a seconda che il sale sia costituito da cloruro di sodio ($NaCl$) o di calcio ($CaCl_2$).

Il cloruro di sodio e la reazione alcali-aggregato

Il cloruro di sodio può venire in contatto con le strutture in calcestruzzo delle opere marittime oppure con quelle esposte ai sali disgelanti – molto spesso a base di questo sale – per la rimozione del ghiaccio nella stagione invernale dalle superfici sottoposte a traffico veicolare o pedonale:

strade, autostrade, piste aeroportuali, marciapiedi, ecc..

Il cloruro di sodio è in grado di innescare la cosiddetta “reazione alcali-aggregato” nel caso in cui il calcestruzzo sia stato confezionato con aggregati alcali-reattivi. Questa reazione è generalmente associata alla presenza di alcali (sodio e potassio) nel cemento e di silice amorfa o scarsamente cristallina in alcuni aggregati.

L'azione del cloruro di calcio sul calcestruzzo

Il cloruro di calcio è largamente impiegato, come il cloruro di sodio, come sale disgelante nella stagione invernale per rimuovere il ghiaccio dalle pavimentazioni stradali, autostradali, aeroportuali, urbane, ecc.. La sua azione disgelante è considerata più efficace, soprattutto per la rapidità, che non quella del cloruro di sodio; sacchi di cloruro di calcio sono solitamente stoccati sul percorso autostradale di alta montagna, tra le due corsie, a disposizione dell'utente che rimanesse bloccato per effetto dello strato di ghiaccio.

Anche il cloruro di calcio, al pari del cloruro di sodio, oltre a provocare la corrosione dei ferri di armatura è in grado di danneggiare gravemente il calcestruzzo. Quest'azione aggressiva, tuttavia, si esplica in modo significativamente diverso per il tipo di danno, per il meccanismo e la velocità del fenomeno.

Il calcestruzzo a contatto con cloruro di calcio tende a fessurarsi e delaminarsi (Fig. 7) a causa della disintegrazione della pasta cementizia che avvolge gli aggregati (Fig. 8).

Il meccanismo attraverso il quale questo sale danneggia il calcestruzzo si esplica attraverso una reazione tra il $CaCl_2$ che penetra dall'ambiente all'interno del calcestruzzo e la calce, $Ca(OH)_2$, già presente nel calcestruzzo

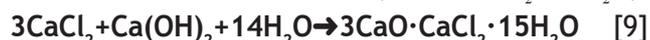


Fig. 7 – Provino di calcestruzzo non armato prima e dopo il degrado provocato dal $CaCl_2$



Fig. 8 – Distacco tra aggregato e matrice cementizia degradata dal $CaCl_2$

a seguito dell'idratazione del cemento, con la formazione di un ossicloruro di calcio idrato ($3CaO \cdot CaO_2 \cdot 15H_2O$):



In sostanza, mentre il cloruro di sodio agisce sugli aggregati (se reattivi) producendo silicato sodico idrato, il cloruro di calcio agisce sulla pasta di cemento, e più specificatamente sul $Ca(OH)_2$ in essa contenuto, producendo ossicloruro di calcio idrato.

Esistono due aspetti molto interessanti che rendono questo processo unico rispetto a tutti gli altri fenomeni di degrado del calcestruzzo: il primo riguarda l'effetto della temperatura, ed il secondo quello della porosità.

Per quanto concerne la temperatura, l'azione del $CaCl_2$ è tanto più aggressiva quanto più bassa è la temperatura. In particolare a $5^\circ C$ l'azione distruttiva, registrabile attraverso la diminuzione di resistenza meccanica del calcestruzzo, è molto più rapida che non alle temperature superiori come è mostrato in Fig. 9. In ogni caso, il fenomeno distruttivo del $CaCl_2$ si esplica molto più rapidamente di tutti gli altri fenomeni di degrado al punto che in pochi mesi di permanente contatto con una soluzione di $CaCl_2$ il calcestruzzo risulta severamente danneggiato.

Per quanto riguarda l'effetto della porosità del calcestruzzo sull'azione aggressiva del $CaCl_2$, si è trovato che – contrariamente a tutti gli altri fenomeni di degrado – l'azione distruttiva procede tanto più intensamente quanto minore è la porosità della pasta cementizia, cioè quanto minore è il rapporto acqua/cemento del calcestruzzo. Nella Fig. 10 è mostrato come un calcestruzzo con rapporto acqua/cemento di 0,80 non subisce sostanzialmente alcun degrado per effetto del $CaCl_2$, mentre un calcestruzzo molto più resistente meccanicamente e con un rapporto acqua/cemento di 0,40, subisce una significativa diminuzione di resistenza meccanica: l'effetto viene in parte attribuito alla maggiore quantità di calce che si forma nei calcestruzzi molto ricchi di cemento per abbassare il rapporto acqua/cemento.

Si potrebbe pensare, in sostanza, che impiegando calcestruzzi meno resistenti meccanicamente (circa 25 MPa) cioè confezionati con un maggior rapporto acqua/cemento (circa 0,70) sarebbe possibile risolvere il problema del

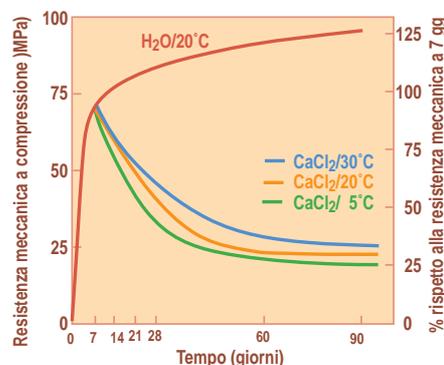


Fig. 9 – Resistenza meccanica a compressione dei provini conservati in acqua ($20^\circ C$) o in soluzioni al 30% di $CaCl_2$ a $5^\circ C$, $20^\circ C$ e $30^\circ C$

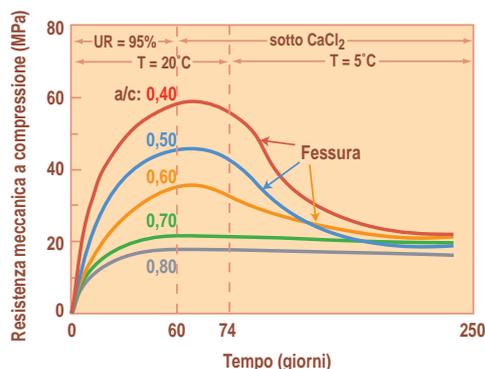


Fig. 10 – Influenza del rapporto a/c sulla resistenza meccanica di calcestruzzi in soluzione di $CaCl_2$

degrado del calcestruzzo per effetto del $CaCl_2$. Se questa soluzione è accettabile per le opere in calcestruzzo normale (non armato), rimane irrisolto il problema della penetrazione dei cloruri nel calcestruzzo delle strutture armate: in questi casi, infatti, l'adozione di un rapporto acqua/cemento troppo elevato ($\geq 0,70$) comporta una rapida penetrazione del copriferro poroso da parte del cloruro e quindi un alto rischio di corrosione dei ferri di armatura.

La soluzione integrale consiste quindi nell'adozione di un rapporto a/c sufficientemente basso ($<0,45$) da rendere il calcestruzzo del copriferro meno poroso possibile e rallentare quindi il processo di diffusione del cloruro verso i ferri di armatura secondo l'equazione [9], e nello scegliere un cemento dalla cui idratazione il contenuto di calce libera risulti quanto più basso possibile per impedire la formazione dell'ossicloruro secondo la reazione [9].

Nella Fig. 11 è mostrato come l'impiego di un cemento d'altoforno ad alto contenuto in loppa (50%) è sufficiente ad impedire la formazione di ossicloruro e, quindi, la conseguente caduta di resistenza meccanica nel calcestruzzo. L'effetto è dovuto sia alla riduzione del cemento Portland (responsabile della produzione di calce), sia alla presenza di loppa che si combina con gran parte della calce prodotta. Il cemento pozzolanico, nel quale difficilmente la pozzolana supera il 40%, non è in grado di assicurare una drastica riduzione della calce se non alle lunghe stagionature, e quindi una sostanziale riduzione nella formazione dell'os-

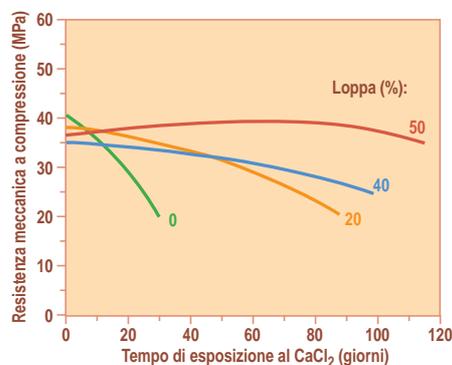


Fig. 11 – Influenza della loppa finemente macinata in sostituzione del cemento Portland sulla resistenza meccanica del calcestruzzo conservato a $5^\circ C$ in soluzione acquosa di $CaCl_2$

sicloruro. Da questo punto di vista l'effetto del cemento pozzolanico - o dell'aggiunta di pozzolana al calcestruzzo - sulla formazione di ossicloruro e del conseguente degrado del calcestruzzo dipende moltissimo dal tipo di pozzolana (Fig. 12): il fumo di silice ($>15\%$ del cemento) si è dimostrato molto più efficace della cenere volante come misura preventiva nel degrado del calcestruzzo provocato dal $CaCl_2$; la differenza di comportamento è attribuibile alla maggiore attività pozzolanica ed al maggior effetto impermeabilizzante del fumo di silice.

Se è accertato che l'attacco del calcestruzzo da parte del $CaCl_2$ è associato alla formazione del $3CaO \cdot CaCl_2 \cdot 15H_2O$, rimane, invece, ancora da chiarire perché mai la formazione di questo sale sia così aggressiva nei confronti della pasta cementizia. E' probabile che anche la formazio-

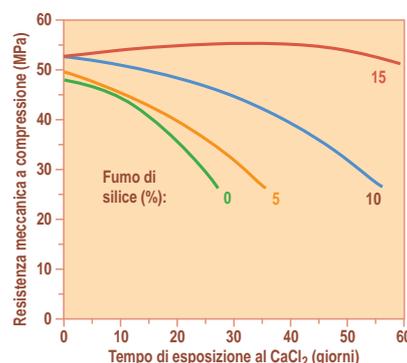


Fig. 12 – Influenza del fumo di silice (in sostituzione del cemento Portland) sulla resistenza meccanica del calcestruzzo conservato in soluzione acquosa di $CaCl_2$ (30%) a $5^\circ C$. La cenere volante (30% sul cemento) si comporta circa come il 5% del fumo di silice

ne dell'ossicloruro (al pari di altri processi degradanti quali la produzione di ettringite e thaumasite, di ghiaccio, di ruggine nella corrosione dei ferri, e di silicato sodico nella reazione alcali-aggregato), avvenga con un effetto dirompente provocato da un aumento di volume.

E' noto che i processi chimici e fisici che provocano un aumento di volume diventano aggressivi non solo e non tanto per l'entità dell'aumento di volume, quanto piuttosto per la rapidità dell'aumento di volume. Se l'aumento di volume — qualunque sia la causa che lo provoca — avviene molto velocemente, l'acqua contenuta nei pori capillari della pasta cementizia è sottoposta ad una pressione idraulica tanto maggiore quanto più difficile è il drenaggio dell'acqua attraverso i pori stessi, cioè quanto più densa e compatta è la microstruttura porosa della matrice cementizia. E' probabile che nella formazione dell'ossicloruro (processo molto rapido) una matrice poco porosa e molto compatta possa essere più di nocimento per l'insorgere di una elevata pressione idraulica, che non di sostegno attraverso la resistenza meccanica offerta all'aumento di volume. In favore di questa ipotesi, va segnalato il benefico effetto della presenza di microbolle d'aria, inglobate nel calcestruzzo attraverso l'impiego di un agente aerante, sulla resistenza del calcestruzzo nei confronti dell'aggressione del $CaCl_2$.

A SORRENTO LA SERA DEI RICONOSCIMENTI

In occasione dell'ultima conferenza sugli additivi organizzata dal CANMET e dall'American Concrete Institute (ACI), tenuta a Sorrento dal 29 Ottobre al 1° Novembre 2006, sono stati premiati Mario Corradi, Rabinder Khurana della BASF Construction Chemicals Europe di Treviso e Michele Valente della General Admixtures di Ponzano Veneto, tutti di scuola ex-Master Builders ormai inglobata nella BASF.

La sera del 30 Ottobre 2006 è stato festeggiato Michele Valente, con una cena in suo onore, alla quale hanno partecipato gran parte dei congressisti. Ha preso la parola Terry Holland, ex-Presidente dell'ACI ed anche lui ex-Master Builders di Cleveland (Ohio), per tratteggiare la carriera di Michele Valente quale manager nel settore degli additivi per calcestruzzo in Sud-America, in USA, oltre che in Europa.



**L'Ing Michele Valente
con sua moglie Lidia**



La sera del 31 Ottobre Mario Corradi e Rabinder Khurana hanno ricevuto il prestigioso Award con la motivazione di aver contribuito entrambi allo "sviluppo e all'uso dei superfluidificanti nel calcestruzzo". Ha motivato il conferimento dell'award il Prof. Surendra Shah direttore del Centro per Advanced Cement-Based Materials della North-West University (USA).



In alto il Dr. Mario Corradi e l'Ing. Rabinder Khurana durante il loro intervento di ringraziamento per l'Award e mentre mostrano le targhe degli Award. A destra i due premiati con la Signora Khurana e con un gruppo di amici ex-MAC Master Builders (Cenedese, Colautti e Rizzo)

NUOVA GENERAZIONE DI INIBITORI DI CORROSIONE



Dario Rosignoli e Francesco Rosignoli
TECNOCHEM - www.technochem.it

1 - INTRODUZIONE

Il forte impulso tecnologico del secolo XX ha portato un eccezionale sviluppo demografico ed economico in gran parte del mondo. L'esigenza abitativa ed infrastrutturale, soprattutto nel dopoguerra, ha indotto ad una rapida urbanizzazione grazie anche all'affermarsi di un materiale composito, economico e facilmente reperibile, come il calcestruzzo armato. Il successo di una "roccia" artificiale che unisce la buona resistenza a compressione del conglomerato cementizio e la notevole resistenza a trazione dell'acciaio, è dovuto anche alla buona compatibilità termica dei due materiali e alla protezione elettrolitica che l'ambiente alcalino della pasta cementizia esercita sulle barre di armatura (condizione di passivazione). Questa iniziale protezione può tuttavia ridursi nel tempo a seguito di due tipi di degrado:

- quello della matrice cementizia e/o della fase lapidea (azione del gelo-disgelo, attacchi solfatici di acque aggressive e reazione alcali-aggregato) capace di mettere a nudo fisicamente i ferri di armatura;
- quello dovuto alla depassivazione a seguito della diminuzione del pH per effetto della carbonatazione della matrice cementizia (penetrazione dell'anidride carbonica) o della presenza, sia pure localizzata, dei cloruri penetrati per errori di progettazione, inadeguato mix design del calcestruzzo, errate modalità di posa in opera nonché di stagionatura.

2 - IL COSTO DELLA CORROSIONE

Il risultato di tali azioni sulle strutture si manifesta con progressivo deterioramento del ferro e con fenomeni di "spalling" del copriferro per effetto dirompente espansivo delle barre nelle fasi avanzate di corrosione. I primi segnali di reazione a tale tipo di problema, che diventava una significativa voce di costo per le pubbliche amministrazioni, ci furono negli Stati Uniti agli inizi degli anni '80.

La NACE (National Association of Corrosion Engineers) stimò il costo della corrosione negli USA in circa 250 miliardi \$ pari a circa il 4,2% del prodotto interno lordo USA (Fig. 1).

Una significativa parte di tale valore era dovuta al costo della corrosione nell'industria delle costruzioni: 25% = 62,5 MILIARDI di \$/anno! Questa cifra corrisponde ad un costo stimato per l'Italia di non meno di 8 MILIARDI di euro/annuo.

3 - GLI INIBITORI DI CORROSIONE

Ciò ha indotto il governo USA a promuovere un programma di ricerca (Strategic Highways Research Program - National Research Council Washington) volto alla ricerca di soluzioni significative per combattere o limitare gli enormi danni dalla corrosione del ferro nei calcestruzzi armati. Da questa ricerca nacquero i Migrating Corrosion Inhibitors, ovvero inibitori di corrosione con capacità migratorie all'interno delle strutture. La nostra società fin dagli anni '90 si fece carico di distribuire questa tecnologia in Europa, integrandola sia per la produzione dei calcestruzzi destinati a nuove costruzione (VHDRC) sia per la messa a punto dei sistemi di riparazione al altissima durabilità (VHDRS). A seguito di questa ricerca sono stati messi a punto i cosiddetti inibitori sinergici di corrosione denominati MuCis®: Multiple Corrosion Inhibiting Synergies.

3.1 - DURABILITÀ DEL CALCESTRUZZO ARMATO

Una struttura viene concepita per avere una lunga vita normale superiore ai 50 anni. Il calcestruzzo armato ha deluso frequentemente queste aspettative, richiedendo riparazioni e manutenzioni spesso molto impegnative e costose.

Come si è già detto, il calcestruzzo è un materiale che, grazie alla sua alcalinità (pH 12-13), favorisce la formazione e la permanenza di uno strato di ossido passivante sui ferri d'armatura. In particolari condizioni di esposizione ambientale questa alcalinità può essere persa ed in presenza di umi-

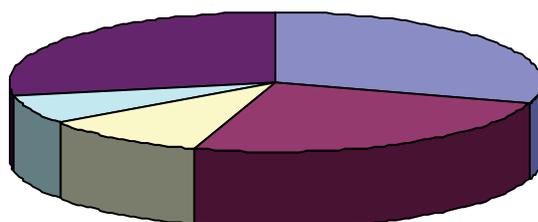


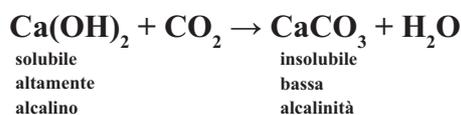
Fig. 1 - Ripartizione percentuale del costo della corrosione nelle varie industrie (USA anni '80)

dità ed ossigeno vi è l'inevitabile progredire della corrosione delle barre d'acciaio.

Le Normative Europee attuali (EN 206-1:2001) e le recenti Norme Tecniche per le costruzioni (DM 14 settembre 2005) specificano in maniera sempre più severa la garanzia di durabilità responsabilizzando il progettista; in base al summenzionato DM del 14 Settembre 2005, alcune strutture in calcestruzzo armato debbono durare fino a 100 anni di servizio: esistono oggi prodotti e tecnologie per raggiungere con sicurezza questo traguardo.

3.1 - CARBONATAZIONE

L'anidride carbonica (CO₂) contenuta nell'aria penetra nella porosità del calcestruzzo e reagisce con l'idrossido di calcio (Ca(OH)₂) derivato dall'idratazione del cemento trasformandolo in carbonato di calcio (CaCO₃) insolubile



L'alcalinità della matrice cementizia viene conseguentemente ridotta e la sua funzione passivante protettiva dell'acciaio viene perduta prima sulla superficie esterna del calcestruzzo e, in progressione, sempre più in profondità. Una volta che il calcestruzzo del copriferro a contatto con l'umidità è carbonatato, l'acciaio non è più protetto ed incominciano inevitabilmente i danni della corrosione.

3.2 - I sali a base di cloruri

I sali a base di cloruri derivano principalmente dall'acqua di mare (aerosol marini, zone limitrofe al mare, terreni intrinseci da acqua marina) o dai sali decongelanti usati sulle strade nella stagione invernale.

Lo ione Cl⁻ è altamente aggressivo e provoca la corrosione dell'acciaio già nel calcestruzzo fresco, altamente alcalino: in tal caso occorre una concentrazione di cloruri di circa 8.000 ppm (0,8%) per l'inizio del processo corrosivo. Quando il calcestruzzo è carbonatato (pH ~ 9), la quantità di cloruri necessaria alla corrosione dell'acciaio è notevolmente minore, circa 100 ppm (0,01%).

Gli ossidi ed idrossidi di ferro derivanti dalla corrosione dell'acciaio occupano un volume di gran lunga maggiore: 4÷12 volte il volume iniziale! Questo incremento di volume esercita una potente pressione espansiva nel calcestruzzo e gradatamente porta al raggiungimento della iniziale pressione di dirompenza e, in progressione, alla fessurazione, alla fratturazione ed al distacco del copriferro (Fig. 3).

Come noto il fenomeno corrosivo è un processo elettrochimico derivante da due reazioni parziali (Fig. 2): una reazione anodica di ossidazione, con produzione di elettroni, ed una reazione catodica di riduzione, con consumo di

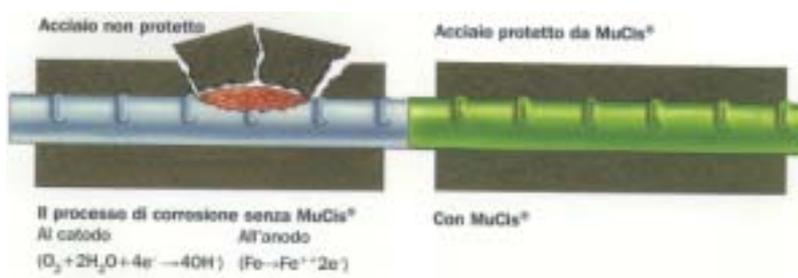


Fig. 2 - Il processo elettrochimico della corrosione



Fig. 3 - Ferri di armatura in vista dopo l'espulsione del copriferro

elettroni (microcella elettrolitica). Quando le densità di corrente delle due reazioni si bilanciano, la corrosione evolve con intensità considerevole (Fig. 3).

Essendo la corrosione un processo elettrochimico, necessita di un elettrolita: nel cemento armato questa funzione è svolta dal calcestruzzo a causa della diffusa "porosità saturata di umidità" in esso contenuta. Il processo di corrosione esplica un flusso modesto di corrente che va dall'anodo al catodo con una conseguente attività corrosiva che avviene all'anodo, con formazione di ruggine.

4 - L'INNOVAZIONE MuCis®

Questa tecnologia è stata migliorata in un progetto di collaborazione con istituti accademici e questa ricerca ha portato ad una nuova generazione di Inibitori di Corrosione con Funzione Sinergica: MuCis® (Fig. 4).

A seguito di questi sviluppi i sistemi MuCis® uniscono funzioni di:

a) migrazione in profondità all'interno della porosità del cal-

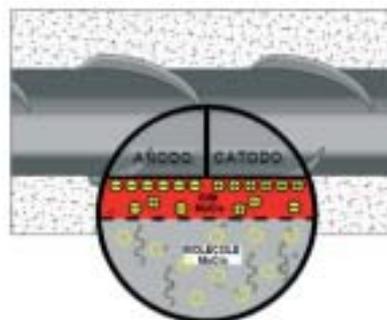


Fig. 4 - MuCis® mia 200 + MuCis® BS 39



- cestruzzo;
- b) protezione sia catodica che anodica (inibitore misto)
- c) installazione di una barriera contro la penetrazione dei cloruri e della CO₂.
- d) effetto sinergico: stabilità chimica all'interno del sistema cementizio.
- e) ripassivazione

5 - TECNICHE DI MISURA DELLA CORROSIONE

Le tecniche di misura utili alla valutazione ed alla quantificazione dei processi corrosivi dell'acciaio nel calcestruzzo armato sono complesse e spesso di non facile riproducibilità, data l'influenza ed interdipendenza di molteplici fattori particolari ed ambientali che sono strettamente correlati al fenomeno elettrochimico della corrosione.

I metodi utilizzati dai nostri laboratori sono basate su misure di:

- resistenza, conducibilità, intensità potenziale;



- potenziale di corrosione ASTM G876;



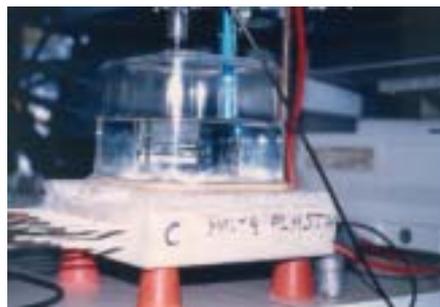
- spettroscopia di impedenza;



- misure potenziodinamiche;



- misure di corrosione.



I RISULTATI

Le tecnologie MuCis® vengono integrate nei sistemi VHDC e VHDS e sono applicate in opera da più di dieci anni.



Test aggressivi protratti per più di cinque anni anche con forte presenza di sali cloruri, indicano spesso anche il blocco totale dei processi corrosivi.

Tali risultati sono stati confermati dai monitoraggi in opera su strutture in c.a. attraverso l'installazione all'interno di esse di una serie di speciali sensori per misurare la temperatura, l'umidità, la resistenza elettrica, il potenziale elettrico, l'intensità di corrente, la percentuale di Cl⁻, ecc.

Allo stato attuale si possono prevedere condizioni di durabilità per oltre 50 anni delle strutture sulle quali tali sistemi sono stati correttamente applicati.



TECNOCHEM S.p.A.

Via Sorte 2/4 Barzana (BG) 24030

Tel. +39 035 55 48 11 - Fax +39 035 55 48 16

info@tecnochem.it - www.tecnochem.it

Cresciamo con voi.

Le vostre esigenze guidano il nostro lavoro.
Per questo siamo tra i leader nel mercato del cemento e del calcestruzzo.
E continuiamo a crescere insieme.

GRUPPO FINANCO

COLACEM
www.colacem.it

colabeton
www.colabeton.it



La delegazione indiana della BMTPC a Ponzano Veneto

Lo scorso 16 novembre la Enco ha avuto il piacere di ospitare una delegazione indiana in rappresentanza del BMTPC Building Materials Technology Promotion Council di Delhi (www.bmtpc.org), organismo interministeriale per lo sviluppo dell'edilizia in India.

Il gruppo era guidato dal Professor Meriani del Dipartimento dei Materiali e delle Risorse Naturali dell'Università di Trieste con cui da diversi anni il BMTPC ha consolidato un rapporto di collaborazione ed interscambio culturale.

L'incontro con Enco era inserito in un più ampio programma di visite durato una settimana durante la quale i delegati hanno avuto la possibilità di visitare nell'area del nord-est Italia organismi di ricerca privati o universitari, laboratori di controllo e certificazione dei prodotti da costruzione, aziende produttrici di materiali o manufatti per l'edilizia.

Il BMTPC è un organismo istituito nel 1990 da parte del Ministero delle Costruzioni e per l'Alleviazione della Povertà Urbana in India in continua interazione con industrie, imprese di costruzioni, associazioni del settore, organismi di normalizzazione. Gli obiettivi principali dell'organismo possono essere suddivisi in 4 principali aree di lavoro:

- 1) Promuovere lo sviluppo, la produzione, la standardizzazione e l'applicazione in larga scala di materiali e tecnologie per costruzioni innovative e a basso costo da utilizzare soprattutto nell'edilizia popolare.
- 2) Promuovere la produzione di materiali e componenti per l'edilizia basati sull'impiego di materiali da riciclo

di varia origine attraverso un supporto tecnico, agevolazioni fiscali e incoraggiando gli imprenditori locali a costruire impianti di produzione in differenti regioni rurali o urbanizzate.

3) Sviluppare e promuovere tecnologie mirate a mitigare gli effetti dei disastri naturali (sismi, inondazioni, cicloni) frequenti nella regione indiana sia attraverso l'aggiornamento della mappatura delle zone a rischio, sia attraverso la scelta dei materiali e delle tecniche costruttive più idonee alla costruzione di edifici nuovi o ristrutturati resistenti a tali eventi naturali catastrofici.

4) Fornire servizi di supporto a professionisti, imprese di costruzioni, produttori di materiali edili nella selezione, valutazione, progettazione, innovazione, vendita e trasferimento di materiali e tecnologie innovative nel territorio locale.

Soprattutto in quest'ultimo ambito si collocano le visite all'estero di delegazioni tecniche come quella ospitata in Italia per lo studio di tecnologie e standardizzazioni già adottate in altri paesi ed importabili con successo anche in India ovvero per promuovere in altri paesi in via di sviluppo le esperienze fatte in India.



Foto di alcuni esempi di prodotti da costruzione fatti utilizzando materiali da riciclo:

- a sn impiego di fibre naturali (es. iuta, banano, cocco, agave sisalana) in pannelli per coperture, isolamenti, infissi;
- in alto impiego di filler (es. loppe d'altroforno, ceneri volanti da centrali termoelettriche, ceneri di riso, di cocco) per la costruzione di blocchi in calcestruzzo per murature o pavimentazioni

..... e dall'Europa, Medio Oriente ed Asia sempre a Ponzano Veneto

WORKSOP INTERNAZIONALE "FULL IMMERSION ON CONCRETE ENGLISH"

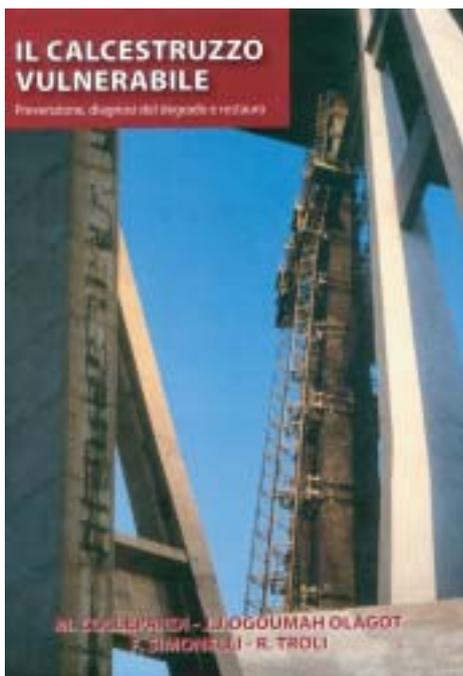
Si è tenuto a Ponzano Veneto presso la ENCO il workshop internazionale sulla "Full Immersion on Concrete English". Oltre 30 partecipanti al workshop sono intervenuti: dalla Cina, da Israele, dalla Repubblica Ceca, dalla Slovacchia, dalla Svizzera, dalla Germania, oltre che dall'Italia.

Come docenti del workshop oltre ai tecnici della ENCO, sono intervenuti: Diego Rosani della Holcim Europe, Oscar Marazzini della Sika Italia, Wilhem Korb della Penetron Europe, Bob Hathaway della Grace Europe, Michele Valente della General Admixtures.

Il workshop ha stimolato una vivace discussione - sempre e soltanto in Inglese - tra i docenti ed i partecipanti desiderosi di migliorare la conoscenza

della lingua Inglese applicata alla tecnologia del calcestruzzo.

Altri workshop seguiranno con lo stesso spirito su altri argomenti (Calcestruzzi Speciali e Mix-Design) secondo i calendari reperibili sul sito www.encosrl.it → Corsi ENCO, Ponzano Veneto.



Evita...
Previene...
Ripara...

Non impiegare un
**CALCESTRUZZO
VULNERABILE**
Leggi come fare



Informazioni
Utili

Enco Srl
Via delle Industrie, 18
31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771
Fax 0422 963237
www.encosrl.it
info@encosrl.it
(Alessandra Galletti
Mara Meneghel)

PAGAMENTO: carta di credito,
bonifico bancario,
vaglia postale,
conto corrente postale

MuCis[®]

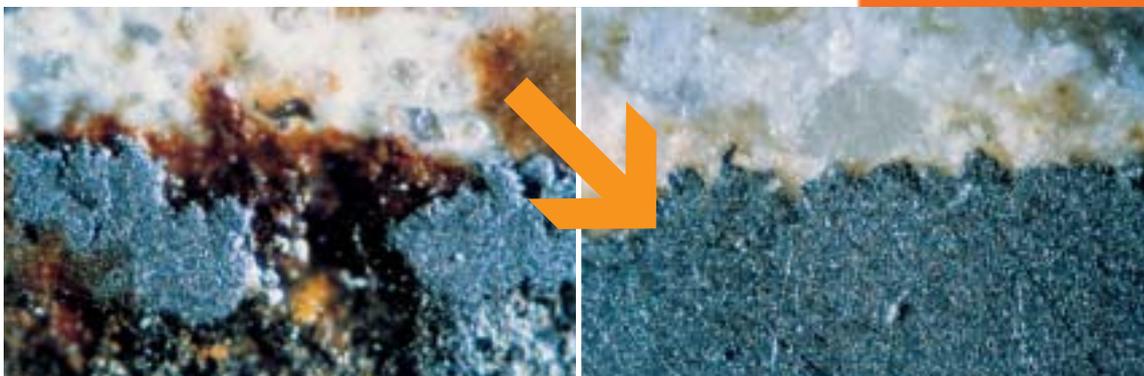
Multiple **C**orrosion **I**nhibiting **S**ynergies



a 140 ingrandimenti la barra d'acciaio protetta con il sistema anticorrosione MuCis[®] si presenta perfettamente conservata

senza Mucis[®]

con Mucis[®]



percorsi di corrosione in forte presenza di sali cloruri

TECNOCHEM[®] TECNO ECO
ITALIANA SPA LOGIC CHEM

Via Sorte 2/4 - 24030 Barzana (BG) Italy
Tel. +39 035 554811 - Fax +39 035 554816
info@tecnochem.it - www.tecnochem.it

technology

La nuova generazione di inibitori di corrosione migratori con sinergie multiple per l'inibizione della corrosione nei calcestruzzi armati