

**2004**

Quadrimestrale

Anno IX

Numero 27

# ENCO

## JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

“Focus - Via delle Industrie, 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV). Spedizione in abbonamento postale-D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 N° 46) art. 1, comma 1 DCB TV”

# TITANIOCROMIA



**MANINI**  
**PREFABBRICATI**

**Alta Tecnologia** **Leggerezza Evoluta**

*Sede Generale:*  
S. MARIA DEGLI ANGELI  
Tel. 075 8041018  
e-mail: [com@manini.it](mailto:com@manini.it)  
<http://www.manini.it>

*Centri produttivi:*  
BASTIA UMBRA / PG  
APRILIA / LT  
PERUGIA



SOMAGLIA / LO

# IL CALCESTRUZZO VULNERABILE.

Un passo avanti nella ricerca e scienza del calcestruzzo.

GIÀ È  
DISPONIBILE



Mario Collepari  
Jacob Ogoumah Olagot  
Francesca Simonelli  
Roberto Troli



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

**Sicurezza è avere un Partner  
che capisca i tuoi desideri.**



Betonrossi è leader nella produzione di calcestruzzi a prestazione, resistenti, durabili e ad alta lavorabilità. Calcestruzzi isolanti e termocoibenti. Calcestruzzi per ristrutturazioni. Calcestruzzi pigmentati. Calcestruzzi speciali. Una gamma straordinariamente ampia di prodotti innovativi per fornire a imprese e progettisti risposte mirate, efficaci e puntuali. In Betonrossi la qualità è totale: tecnici specializzati, ricerca e know how, impianti e attrezzature all'avanguardia, un potente parco mezzi, servizi e assistenza tempestiva.

**Betonrossi: Impegno costante per realizzare Grandi Idee e Grandi Progetti.**

**ISOLANTI TERMOCOIBENTI**  
**IMPERMEABILI E AMBIENTI AGGRESSIVI**  
**GALLERIE**  
**PREFABBRICATI**  
**PAVIMENTAZIONI**  
**RIPRISTINI E RISTRUTTURAZIONI**  
**CASSEFORTI**  
**SCHERMI ANTIRADIAZIONI**  
**RIEMPIMENTI FLUIDI**



**COSTRUIAMO CON VOI**

Via Caorsana 11  
 29100 PIACENZA  
 Tel. 0523.603011  
 www.betonrossi.it

**PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE**

Quadrimestrale - Anno IX - Numero 27

**Direttore Mario Collepari**

**RUMORI E TITAN(I)O**

Quanti "rumori" in questi ultimi mesi si sono sparsi lungo tutta la penisola nella comunità del cemento-calcestruzzo! Si è trattato solo di alcuni cambiamenti, nelle collaborazioni e nelle alleanze, tipici del mondo industriale, ed intrecciati ad eventi personali e privati che non dovrebbero interessare i lettori. Siccome però questi "rumori" hanno coinvolto anche questa rivista, non vorrei che il cambiamento sopra accennato si potesse ulteriormente collegare con occulte manovre e oscuri cambi di proprietà.

I cambiamenti avvenuti sono tre:

- la ENCO, che aveva stabilito dal 1991 una collaborazione con la Mapei nella ricerca sui materiali polimerici come additivi per calcestruzzo e sui materiali compositi per malte da restauro, a partire dal novembre del 2004 ha cessato questa collaborazione per motivi inerenti il naturale logoramento dei rapporti umani che talvolta si verificano nel mondo industriale;

- un gruppo di produttori di calcestruzzo ha deciso di costituire una nuova società per la produzione di additivi, la General Admixtures (GA), che sia in grado di servire gli utenti del calcestruzzo in modo più innovativo rispetto ai tradizionali produttori di additivi: questa forse è una novità che ha scosso il mondo conservativo delle costruzioni;

- la GA ha chiesto alla ENCO di collaborare come consulente nella messa a punto di additivi e materiali supplementari per il calcestruzzo, che fossero innovativi rispetto a quelli esistenti; inoltre la ENCO fornirà servizi alla GA in forma di aggiornamento tecnico, e di diffusione della cultura del calcestruzzo così carente, purtroppo, tra gli ingegneri, i geometri e gli architetti degli studi professionali, così come nelle imprese di costruzioni ancora ferme al dosaggio di cemento come unico parametro qualitativo del calcestruzzo.

Tutto questo, e null'altro, è stato invece interpretato come un passaggio di un gruppo di produttori di calcestruzzo (quelli confluiti come soci nella GA), della ENCO e perfino di Enco Journal in un blocco unico tra le braccia di un colosso del cemento e del calcestruzzo sbarcato dal continente americano in quello europeo. Che il colosso sia sbarcato in Europa sembra proprio vero, ma nulla ha a che fare con la fondazione della GA, con la situazione attuale della ENCO e -per quel che riguarda voi, carissimi lettori- con la sorte di Enco Journal.

In un recente editoriale sul Corriere della Sera, Francesco Giavazzi sostiene giustamente che "le aziende che operano in situazione di quasi monopolio hanno scarsi incentivi ad innovare: le loro risorse e il tempo dei loro amministratori sono meglio spesi nel difendere le loro rendite. Per promuovere l'innovazione non servono più denari pubblici, serve semplicemente più concorrenza". Forse questa è la chiave di lettura per interpretare le vicende sopra narrate, e soprattutto i timori di quelli che hanno contribuito ad alimentare i "rumori".

Per festeggiare le bellissime immagini giunte dal satellite sbarcato su Titano, abbiamo chiesto al Prof. Pedferri di dedicarci un articolo sul Titan(i)o di cui campeggia in copertina una stupenda composizione cromatica.

Mario Collepari

**In copertina: Titanocromia di Pietro Pedferri**

**Copie stampate: 18.000 delle quali 17.000 distribuite a mezzo posta**

**SOMMARIO**

**ULTIMI ARRIVATI TALVOLTA GENIALI**

*di M. Collepari, J.J.O. Olagot e A. Borsoi*

(pag. 7)

**IL CALCESTRUZZO BIANCO DA PRESERVARE NEL TEMPO**

*di A. Passuelo e L.C.S. Pinto*

(pag. 11)

**I DUE PILASTRI DEL CALCESTRUZZO LOGICO**

*di M. Collepari, S. Collepari e R. Troli*

(pag. 18)

**RICORDO DI BRUNO MAZZA**

*di P. Pedferri*

(pag. 24)

**CARATTERIZZAZIONE MECANICA DELLE MURATURE**

*di F. Simonelli e F. Favero*

(pag. 27)

**LA MARCATURA CE DEGLI AGGREGATI PER CALCESTRUZZO**

*di E. Croce*

(pag. 31)

**SCIENZA ED ARTE DEL TITANIO**

*di P. Pedferri*

(pag. 37)

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

**COMPOSIZIONE**  
ISABELLA CAPOGNA  
ALESSANDRA GALLETTI  
MARA MENEGHEL  
FABIO SANTOS

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

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

GENERAL **G.A** ADMIXTURES



*Innovazione e Sistema*  
*Tutti ne parlano*  
*Noi lo facciamo*

General Admixtures spa  
Via delle Industrie, 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)  
Tel. +39 0422 966911 - Fax +39 0422 969740 - e-mail: [info@gageneral.com](mailto:info@gageneral.com)  
[www.gageneral.com](http://www.gageneral.com)



# ULTIMI ARRIVATI TALVOLTA GENIALI

Antonio Borsoi, Mario Collepari e J. Jacob Ogoumah Olagot  
Enco s.r.l. - Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

Che gli additivi superfluidificanti abbiano rivoluzionato la tecnologia del calcestruzzo negli ultimi trenta anni crediamo che nessuno possa metterlo in dubbio. Da quando apparvero sul mercato negli anni '70 del secolo scorso, con le invenzioni di Hattori in Giappone e di Aignesberger in Austria, le due famiglie di prodotti - a base rispettivamente di naftalinsolfonato (NS) e di melammina solfonata (MS) - si sono scontrate per quasi un ventennio, prima di arrendersi alla nuova famiglia di superfluidificanti a base di poliacrilati o policarbossilati (PC) che dir si voglia.

L'avvento di questi ultimi additivi verso l'inizio degli anni '90, rappresentò un progresso straordinario, sia in termini di efficacia nel ridurre l'acqua di impasto ( $a$ ) - e quindi di cemento ( $c$ ) a pari rapporto  $a/c$  - sia in termini di conservazione della lavorabilità anche in condizioni avverse, cioè per lunghi tempi di trasporto del calcestruzzo preconfezionato soprattutto in climi caldi.

Il progresso in questo settore non si è mai arrestato e con il nuovo secolo sono apparsi gli ultimi ritrovati con caratteristiche talvolta spettacolari. Accenneremo a due categorie di superfluidificanti che a nostro avviso si distinguono per la loro *genialità*: i superfluidificanti destinati alla prefabbricazione, con l'obiettivo di eliminare completamente la maturazione a vapore anche in climi freddi (5-10 °C), ed i superfluidificanti studiati per aggiungere una funzione accessoria, ma non per questo secondaria, anzi fondamentale come quella di ridurre il ritiro o addirittura di eliminarlo.

## Superfluidificanti per calcestruzzo prefabbricato

Sono prodotti che presentano una particolare configurazione chimica, che consiste nella presenza di lunghe catene laterali a base di polietere, grazie alla quale viene ridotta la tendenza di queste molecole ad essere fissate sulla superficie dei granuli di cemento. Rimandiamo il lettore desideroso di dettagli chimici alla letteratura tecnica disponibile (1,2), e ci limitiamo in questa sede ad illustrare, con un esempio pratico, il comportamento di due calcestruzzi del tutto identici

salvo la composizione dell'additivo superfluidificante: policarbossilico "tradizionale" (PC) o a base etere (PE) innovativo. La Fig. 1 illustra l'andamento della resistenza meccanica dei due calcestruzzi maturati senza vapore alla temperatura di 20° C o alla temperatura di 10° C: in entrambi i casi il calcestruzzo con PE presenta una maggiore resistenza a compressione maggiore di quella del calcestruzzo con PC, ma il divario diventa enorme nella maturazione alle basse temperature. Poiché l'additivo PE è un po' più costoso del tradizionale PC, i vantaggi

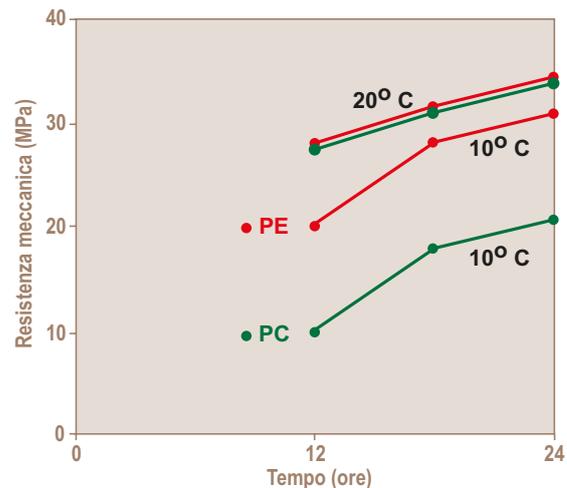


Fig. 1 - Influenza dei superfluidificanti PC e PE sulla resistenza meccanica iniziale a 20°C e 10°C

appaiono meno convenienti nella maturazione a temperature estive e comunque superiori a 15 °C. Ma con la stagione invernale, il maggior costo dell'additivo PE è ampiamente compensato dalla possibilità di eliminare il trattamento a vapore che invece non è possibile con i normali ritmi produttivi per i PC tradizionali.

## Superfluidificanti per calcestruzzo preconfezionato

Si è già accennato al fatto che i superfluidificanti della famiglia PC presentano il vantaggio, rispetto a quelli della prima generazione NS ed MS, di conservare meglio la lavorabilità iniziale soprattutto in climi

caldi, quando maggiormente si fa sentire il fenomeno indesiderato della perdita di lavorabilità durante il trasporto dall'impianto di betonaggio al cantiere. Non sono mancati i progressi in questa prestazione: essi sono stati realizzati con l'artificio di introdurre nell'impasto un additivo la cui molecola (A) inizialmente fluidifica poco e che, durante il trasporto, si trasforma nella molecola B capace di esplicare sempre più l'effetto fluidificante. In sostanza, grazie alla reazione tra la molecola iniziale (A) e la calce (C) che si libera durante l'idratazione del cemento, il calcestruzzo conserva immutata la sua lavorabilità iniziale per la progressiva formazione della molecola B :



Non è che le cose siano così prevedibili, come abbiamo sopra tentato di illustrare semplificando un problema in realtà molto complesso, perché il numero di variabili che influenza il processo [1] sono tante e non tutte facilmente prevedibili (tipo e classe di cemento, aggiunte minerali, temperatura, velocità di agitazione dell'autobetoniera, ecc.).

Un additivo ancor più prestazionale appare un superfluidificante che presenta, all'interno della sua molecola, un gruppo chimico capace di agire da riduttore del ritiro (*Shrinkage-Reducing Admixture*, noto come SRA) e che viene lentamente liberato dopo il getto nelle casseforme senza che l'impresa abbia da provvedere alla protezione del calcestruzzo dal rapido asciugamento della superficie nella delicata maturazione iniziale. Non si finirà mai di ricordare abbastanza quanto sia importante questa operazione (bagnatura, protezione con teli, o applicazione di membrane anti-evaporanti) quasi sempre trascurata dalle imprese e che spesso provoca la formazione di fessure quando le condizioni igrometriche diventano appena un pò più avverse del normale e favorevoli ad una rapida essiccazione del calcestruzzo (clima caldo, asciutto e ventilato). Data la situazione dei moderni cantieri da costruzione, sempre più sprovvisti di manodopera esperta ed affidabile, l'impiego di un additivo superfluidificante con caratteristiche anti-ritiro semplifica notevolmente l'organizzazione del cantiere e garantisce la durabilità delle strutture messa a repentaglio dalla presenza di fessure provocate dalla trascurata stagionatura umida del calcestruzzo\*.

\*Va riconosciuto che il fenomeno della stagionatura umida è molto più curata dai produttori di calcestruzzo prefabbricato mediante nebulizzazione di acqua sulla superficie dei manufatti dopo la loro sformatura.

Nella Fig. 2 è schematicamente illustrato l'andamento del ritiro igrometrico di un calcestruzzo con  $R_{ck}$  di 35 MPA nelle tre possibili versioni: senza additivo (control), con superfluidificante PC o con superfluidificante PC-SRA. Si passa da un ritiro igrometrico a 6 mesi con UR del 50% di 800  $\mu\text{m}/\text{m}$  nel calcestruzzo senza additivo, ad un ritiro di 350  $\mu\text{m}/\text{m}$  con l'additivo superfluidificante PC grazie alla riduzione di acqua e cemento del 25% a pari lavorabilità ed  $a/c$ , fino ad un ritiro di appena 180  $\mu\text{m}/\text{m}$  se si impiega un superfluidificante PC-SRA che, oltre a ridurre acqua e cemento, riduce ulteriormente il ritiro da 350 a 180  $\mu\text{m}/\text{m}$  per il rilascio della molecola di SRA. Incidentalmente si può ricordare che il meccanismo di azione della molecola di SRA sul

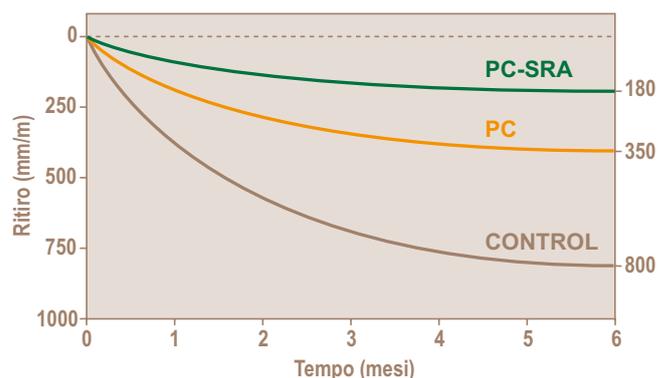


Fig. 2 - Ritiro del calcestruzzo senza additivi (control), di quello con PC, e di quello con PC-SRA

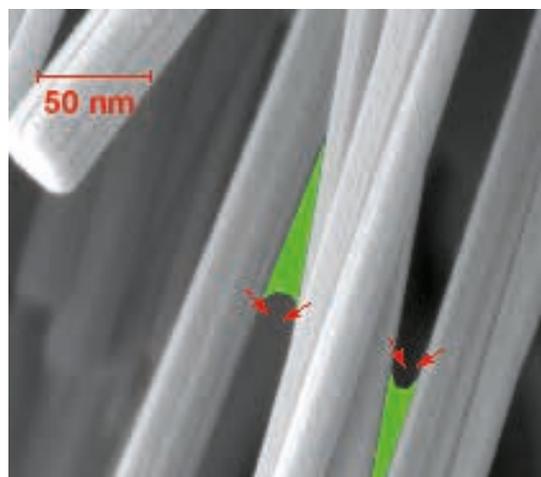


Fig. 3 - Esempio di menischi di acqua (in verde) che provocano l'avvicinamento delle fibre di C-S-H, come indicato dalle frecce, e quindi la contrazione da ritiro

ritiro si basa sulla riduzione della tensione superficiale dell'acqua i cui menischi sono responsabili della pressione capillare che spinge i prodotti di idratazione del cemento l'un l'altro (Fig. 3) con la conseguenza di provocare una contrazione volumetrica del materiale (3).

### Calcestruzzo senza ritiro (SFC)

Si è ormai avverato il "sogno" di produrre finalmente

un calcestruzzo senza ritiro (*Shrinkage-Free Concrete*, SFC): con l'accoppiata di agenti espansivi - a base di calce cotta ad alte temperature (4) - e di questi geniali superfluidificanti - capaci di ridurre non solo l'acqua di impasto ma anche la tensione superficiale dell'acqua residua nei pori capillari (Fig. 3) - è oggi possibile produrre calcestruzzi permanentemente in uno stato di leggera precompressione senza che l'impresa sia tenuta a bagnare o comunque a proteggere i manufatti dall'essiccamento responsabile del ritiro igrometrico e quindi delle fessure (4).

Val la pena di ricordare che la formazione di fessure vanifica completamente lo sforzo di produrre calcestruzzi durabili in accordo alle vigenti normative di ispirazione europea (UNI EN 206), in quanto impenetrabili dagli agenti aggressivi (carbonatazione, corrosione indotta da cloruri, attacco solfatico, ecc.) per il basso rapporto *a/c*. Infatti un calcestruzzo fessurato diventa vulnerabile dalle aggressioni ambientali (Fig. 4) nonostante il basso rapporto *a/c* che garantisce sì una matrice cementizia di per sé impenetrabile, ma penalizzata da



Fig. 4 - Corrosione dei ferri di armatura per la carbonatazione prematura del copri ferro in corrispondenza delle fessure indotte dal ritiro

fessure, attraverso le quali gli agenti aggressivi trovano una sorta di autostrada fino ai ferri di armatura.

Nella Fig. 5 è schematicamente illustrata la variazione dimensionale di un calcestruzzo con il superfluidificante *geniale* tipo PC-SRA (1.5 % sul cemento) e con l'aggiunta di agente espansivo (30 kg di CaO in sostituzione della sabbia) accanto ai tre calcestruzzi di pari  $R_{ck}$  (35 MPa) i cui ritiri sono già stati illustrati nella Fig. 2. E' veramente straordinario il passaggio dal calcestruzzo non additivato con un ritiro di 800  $\mu\text{m/m}$  a 6 mesi con UR del 50%, ai calcestruzzi additivati con ritiro ridotto (350  $\mu\text{m/m}$  in presenza di un normale PC o 180  $\mu\text{m/m}$  se si impiega il superfluidificante innovativo PC-SRA) per arrivare finalmente ad un calcestruzzo SFC, cioè privo di ritiro grazie alla combinazione di

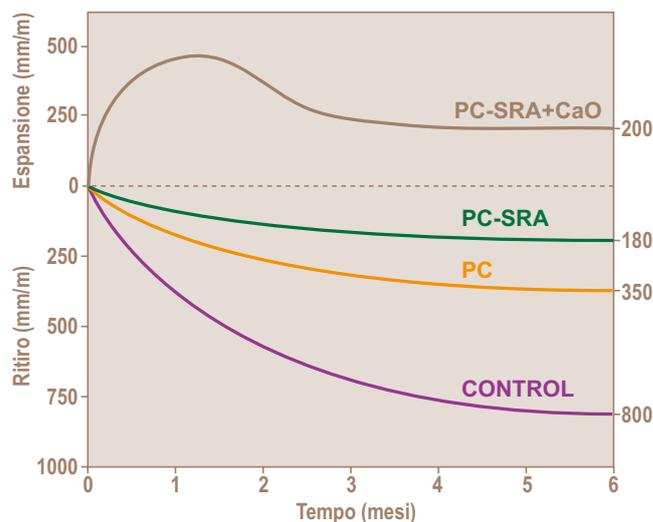


Fig. 5 - Comportamento del calcestruzzo senza ritiro (con PC+SRA+CaO) in confronto ai calcestruzzi tradizionali

calce e PC-SRA .

## Conclusioni e previsioni

Le applicazioni dell' SFC sono ancora in fase di studio avanzato e riguardano:

- strutture in c.a. prive di giunti di contrazione nei pavimenti fino a 900 metri quadrati per interni e di 600 metri quadrati per esterni;
- gallerie dove il giunto di contrazione può arrivare a coincidere con quello di costruzione;
- strutture in faccia vista priva di fessure;
- strutture dotate di durabilità a lungo termine come si conviene ad opere di rilevante impegno sociale (MOSE, Ponte sullo Stretto di Messina, Ferrovia ad Alta Velocità, ecc.) in quanto confezionate con una matrice cementizia densa e compatta per il basso rapporto *a/c*, ma anche priva di fessurazioni per il *geniale* comportamento di additivi sempre più intelligenti.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) D.Hanada, H. Sato, H. Yamamuro, T. Izumi and T.Mizumuma, "Developments of slump-loss controlling agent with minimal setting retardation", Proceedings of the Seventh International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures, ACI SP 217, Berlin, pp. 127-142, 2003.
- (2) T.Cerulli, P.Clemente, M.Decio, G.Ferrari, M.Gamba, D. Salvioni and F.Surico, "A new superplasticizer for Early high-strength developments in cold climates", Proceedings of the Seventh International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures, ACI SP 217, Berlin, pp. 127-142, 2003.
- (3) N.S. Berke, L.Li, M.C. Hicks and J. Bay, "Improvement of concrete performance with shrinkage-reducing admixtures", Proceedings of the Seventh International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures, ACI SP 217, Berlin, pp. 37-50, 2003.
- (4) M.Colleparidi, A.Borsoi, S.Colleparidi, G.Fazio e J.J. Ogoumah Olagot, "3-Self Concrete (3SC): la prossima sfida. Parte II. Calcestruzzi auto-stagionanti, auto-compresi ed auto-compattanti" Enco Journal N. 24, pp. 22-29, 2003.



### Supporto alle fasi di indagini in sito

Prelievo di carote, Pull-out, Propagazione delle onde, Analisi pacometriche e sclerometriche, Caratterizzazione delle barre di armatura, Martinetti piatti, Prove a compressione e taglio su murature, Caratterizzazione delle strutture lignee e prove di carico.



### Elaborazione dei risultati e caratterizzazione della struttura



Verifica statica e dinamica della struttura (anche secondo la recente Ordinanza 3274)



Progetto di consolidamento (sia statico che sismico) e relativa direzione lavori in fase di cantierizzazione usando tecniche innovative (es. applicazione di fibre di carbonio, vetro, solai legno-legno ecc.)



**Enco Srl - Enco Ingegneri Associati**  
Via delle Industrie 18/20  
31050 Ponzano Veneto (TV)  
Tel. 0422 96 37 71 - Fax 0422 96 32 37  
E-mail: info@encosrl.it

#### Referente:

Prof. Mario Collepari - e-mail: collepari@encosrl.it  
Ing. Francesca Simonelli - e-mail: simonelli@encosrl.it



# IL CALCESTRUZZO BIANCO DA PRESERVARE NEL TEMPO

Alexandra Passuelo\* e Luiz Carlos da Silva Pinto\*\*

\*Attualmente presso la Enco con una borsa di studio dell'Ambasciata Italiana di Brasile per i cittadini brasiliani di origine italiana - [passuelo@gmail.com](mailto:passuelo@gmail.com)

\*\*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasile) - [icarlos@ppgec.ufrgs.br](mailto:icarlos@ppgec.ufrgs.br)

## 1 - INTRODUZIONE

Per lungo tempo le esigenze prestazionali del calcestruzzo come materiale da costruzione si sono limitate all'appropriato comportamento meccanico e alla durabilità nel tempo.

Con lo sviluppo della tecnologia del calcestruzzo sono sorte nuove richieste per il calcestruzzo strutturale. Le ricerche di nuovi materiali cementizi hanno provocato una rivoluzione tecnologica rispetto ai calcestruzzi tradizionali, con l'avvento del calcestruzzo ad alta resistenza meccanica, del calcestruzzo autocompattante e del calcestruzzo con polvere reattiva (*Reactive powder concrete*) [1]. Nonostante tutti questi progressi, l'architettura contemporanea continua a rifiutare l'idea che il calcestruzzo convenzionale possa essere usato come elemento estetico dei progetti architettonici, dal momento che esso è stato sempre associato al suo brutto facciavista di colore grigio [2].

Aggiungere colore alle strutture grigie in calcestruzzo è un modo per eliminare la sua monotonia, dandogli calore e allegria. Di fatto, nel lontano passato alcuni progettisti usavano il colore come elemento essenziale per attribuire alle loro creazioni un valore estetico speciale. Importanti testimonianze sono il Palazzo di Knossos, la Cattedrale di Santa Sofia, la Cattedrale di Nôtre Dame di Parigi e la Moschea di Cordoba [3]. Seguendo questo concetto, è nata la necessità di confezionare un calcestruzzo che, pur offrendo le stesse prestazioni dei calcestruzzi convenzionali, assicuri le nuove esigenze estetiche con diverse caratteristiche di cromaticità.

## 2. CALCESTRUZZI COLORATI

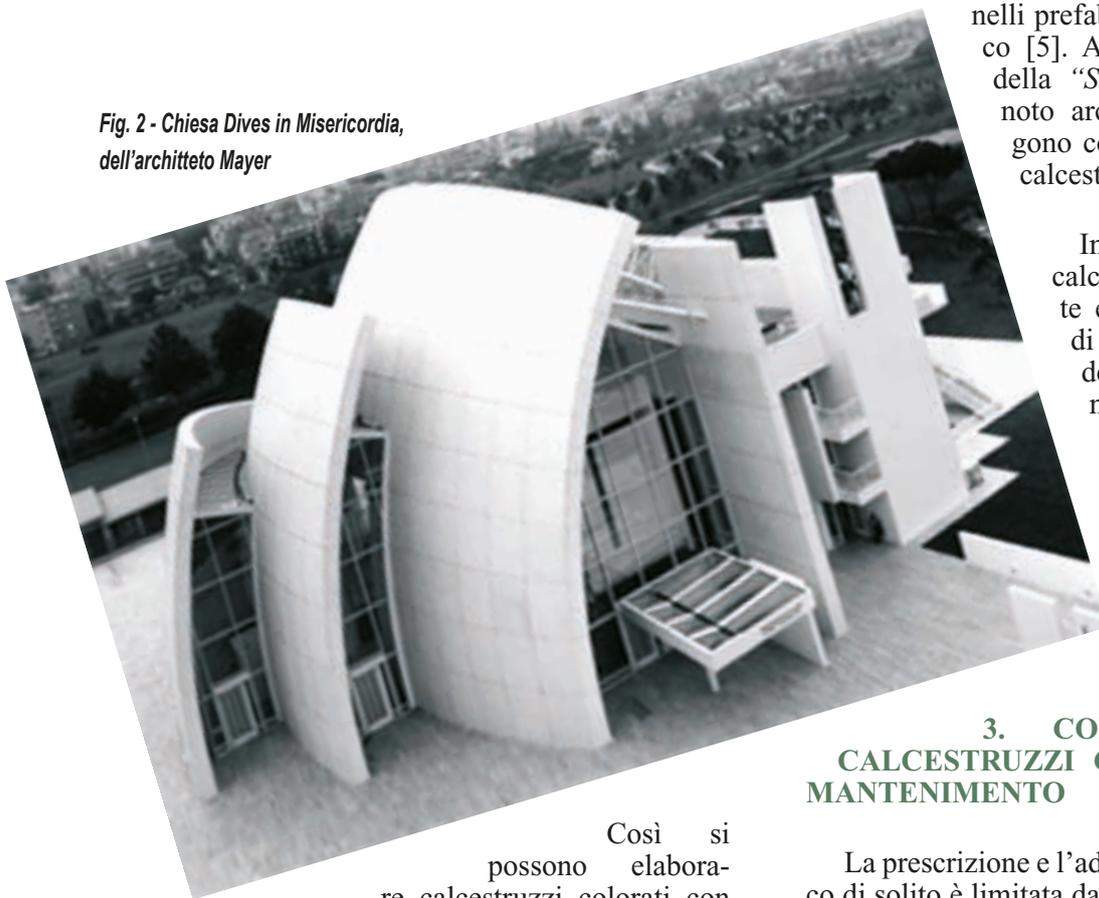
I calcestruzzi colorati possono essere fabbricati se-

condo le tre seguenti procedure: tingendo la superficie del calcestruzzo indurito; aggiungendo pigmenti nella miscela [Figura 1]; selezionando aggregati e leganti diversi dal colore comune [4].



Fig. 1 - Provini di calcestruzzo bianco con aggiunte di pigmenti

Fig. 2 - Chiesa Dives in Misericordia,  
dell'architetto Mayer



Così si possono elaborare calcestruzzi colorati con qualsiasi tipo di cemento ed aggregati. Tuttavia, il cemento Portland convenzionale si caratterizza per tonalità scure rendendo impossibile il confezionamento di calcestruzzi di colore chiaro. Inoltre, i colori dei calcestruzzi confezionati con questi cementi non riproducono fedelmente i colori dei pigmenti aggiunti, perché il colore soffre dell'influenza della tonalità grigia del cemento.

Con lo sviluppo della tecnologia di produzione del cemento Portland esiste oggi la possibilità di produrre calcestruzzi colorati grazie all'impiego del cemento bianco con il quale si ottiene una migliore riproduzione dei colori dei pigmenti originali. Questo tipo di cemento permette, inoltre, la produzione di calcestruzzi di tonalità abbastanza chiare, denominati "calcestruzzi bianchi", senza l'aggiunta di pigmenti.

Attualmente, esiste una nuova tendenza in forte crescita nella progettazione di opere in calcestruzzo colorato e, soprattutto, di calcestruzzi bianchi. I produttori di cemento stanno lavorando intensamente in questa nuova tecnologia: numerosi cementifici e centri di ricerca sono stati aperti in vari parti del mondo con l'obiettivo principale di confezionare e studiare questo tipo di materiali.

Recentemente, qui in Italia, è stata inaugurata la chiesa "Dives in Misericordia" (Figura 2), dell'architetto americano Mayer, opera costruita con pan-

nelli prefabbricati di calcestruzzo bianco [5]. A Barcellona, diversi pilastri della "Sagrada Familia", opera del noto architetto Antoni Gaudí, vengono costruite con lo stesso tipo di calcestruzzo [6].

In Brasile, alcune opere in calcestruzzo bianco sono già state erette, oppure sono in corso di costruzione, come l'opera del "Museo Iberê Camargo", nella quale abbiamo avuto il piacere di lavorare in fase di progetto preliminare. Quest'opera, di maggiore significato per il paese, ha la firma dell'architetto portoghese Alvaro Siza e la sua conclusione è prevista per il 2006.

### 3. CONFEZIONAMENTO DI CALCESTRUZZI COLORATI: COLORE E MANTENIMENTO

La prescrizione e l'adozione del calcestruzzo bianco di solito è limitata da tre condizioni fondamentali: soddisfazione nel senso plastico oppure estetico; eliminazione del rivestimento; garanzia di durabilità [7]. Benché questi requisiti possano essere considerati attributi fondamentali di un calcestruzzo facciavista di buona qualità, l'esperienza finora ottenuta rivela che la loro riuscita è resa possibile solo nel caso si adotti un sistema di controllo di esecuzione e mantenimento delle opere abbastanza efficace, e che consideri un gruppo diversificato di fattori.

Oltre alle cure convenzionali, a pari prestazioni meccaniche e di durabilità, le miscele di calcestruzzo colorato, specialmente per quanto riguarda il calcestruzzo bianco, devono verificare l'effetto di tutti i loro componenti nella riuscita del colore finale [8]. Quando si conoscono i fattori che influiscono sul colore finale del calcestruzzo, è possibile ottenere, con maggiore facilità, risultati di buona qualità [9]. È importante sottolineare che, dopo la selezione dei materiali della miscela del calcestruzzo colorato, il cambiamento del tipo, della fonte e del *mix-design* non devono verificarsi dopo l'inizio dell'opera. La mancata esecuzione di questa raccomandazione porterebbe a problemi di uniformità del colore finale [10].

Gli aggregati occupano, di solito, circa due terzi del volume del calcestruzzo. È evidente che essi influenzano direttamente il suo comportamento. Di solito le caratteristiche degli aggregati che sono importanti per la tecnologia del calcestruzzo includono la porosità,

l'assorbimento d'acqua, la resistenza alla compressione, il modulo elastico, la distribuzione granulometrica, la forma e l'aspetto superficiale delle particelle, e i tipi di sostanze dannose [11]. Tuttavia, quando il colore è un parametro di qualità dei calcestruzzi, la scelta del tipo più appropriato di colore dell'aggregato per la confezione del calcestruzzo colorato diventa un parametro fondamentale, diversamente da ciò che succede nei calcestruzzi comuni di colore grigio, dove il giudizio di selezione degli aggregati non include una loro valutazione colorimetrica.

Quanto al mantenimento del colore nel tempo, bisogna considerare che tutti i materiali sono soggetti all'azione dell'ambiente e subiscono un processo d'invecchiamento naturale. Nel momento in cui un'opera di calcestruzzo in facciavista è finita, questa costruzione reagisce con l'ambiente in cui è esposta. La forma e le condizioni d'esposizione determinano i cambiamenti della struttura nel tempo.

Il calcestruzzo, per le sue caratteristiche di porosità e aspetto superficiale, è abbastanza sensibile al fessaggio delle particelle atmosferiche e allo sviluppo di funghi e di muffa. Se il colore del calcestruzzo è bianco, un aspetto fondamentale per la sua qualità estetica, tutte queste patologie producono un impatto dannoso sull'estetica del manufatto. Pertanto, dopo tutta la cura nel confezionamento di questo materiale, bisogna adottare appropriate strategie affinché l'aspetto superficiale sia mantenuto nel tempo. Una speciale attenzione speciale deve essere posta nella scelta del sistema di protezione e nella previsione di una strategia di mantenimento.

#### 4. SISTEMI COLORIMETRICI

La nascita del calcestruzzo bianco come elemento attivo del progetto architettonico aggiunge considerazioni estetiche che fino ad ora non erano state rilevanti nelle opere convenzionali. Sotto questa prospettiva, il controllo colorimetrico delle miscele di calcestruzzo diventa fondamentale. Sorge così la necessità di rispondere alle richieste sul colore e sull'aspetto del calcestruzzo, oltre agli altri fattori prestazionali tradizionalmente considerati. Perché sia possibile analizzare il comportamento colorimetrico del calcestruzzo bianco bisogna avere una conoscenza appropriata della variabile di controllo, che in questo caso è il colore.

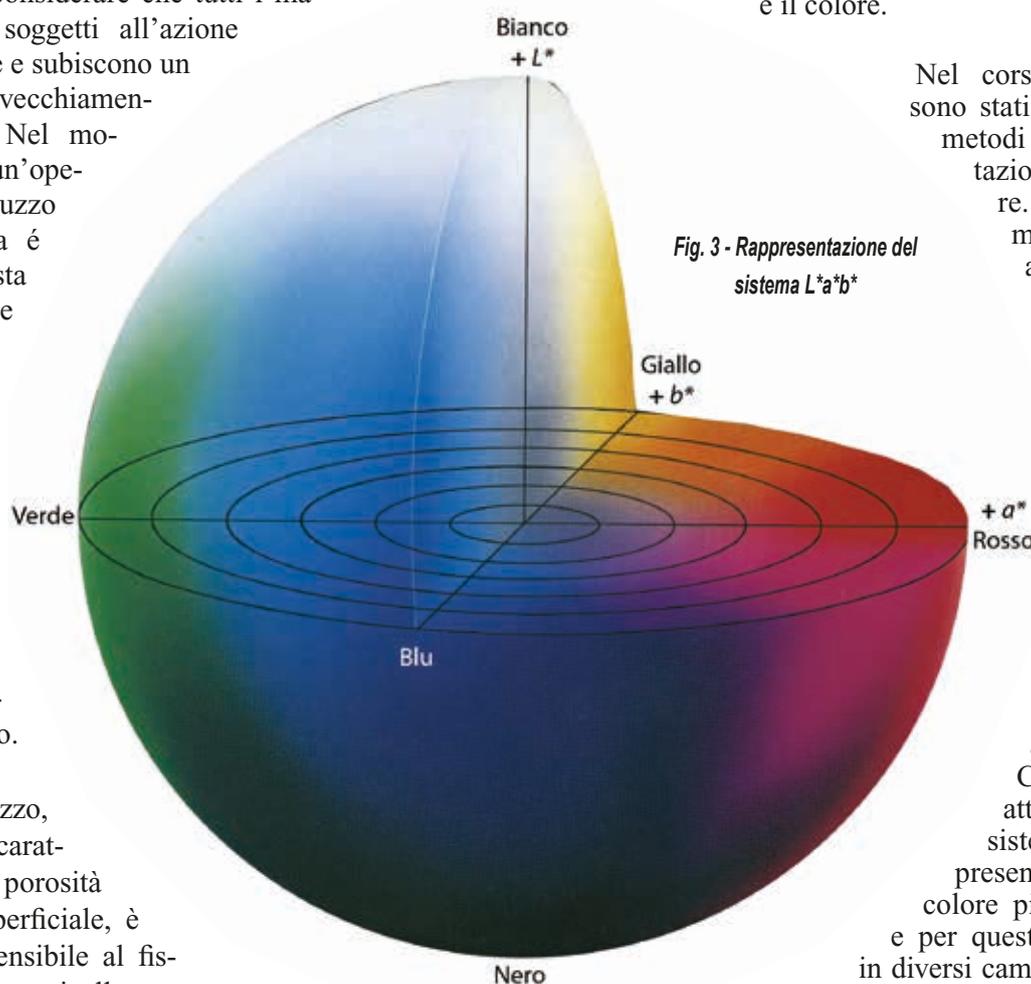


Fig. 3 - Rappresentazione del sistema  $L^*a^*b^*$

Nel corso degli anni sono stati creati diversi metodi per la valutazione del colore. Tutti questi metodi hanno avuto lo scopo di misurare e comunicare numericamente il colore, per rendere il linguaggio dei colori più facile e più corretto. Il sistema  $L^*a^*b^*$ , conosciuto anche come CIELAB, è attualmente il sistema di rappresentazione del colore più conosciuto, e per questo è utilizzato in diversi campi della scienza. Questo sistema è rappresentato graficamente da una sfera piena,

che rappresenta lo spazio tridimensionale del colore [Figura 3].

In questo sistema,  $L^*$  indica la luminosità, mentre  $a^*$  e  $b^*$  sono le coordinate colorimetriche che rappresentano la dimensione della tonalità di colore in un piano bidimensionale. La coordinata  $a^*$ , quando si trova nella parte positiva (+), indica una inclinazione al rosso, e nella direzione negativa (-) indica una tendenza di deviazione nella direzione del verde. Invece



Fig. 4 - Prova delle misure colorimetriche

la coordinata  $b^*$  nella direzione (+) devia al giallo, mentre in quella negativa (-) va nella direzione dell'azzurro. La differenza del colore,  $\Delta E^*$ , tra due punti della sfera, può essere ottenuta dall'equazione (1), dove  $\Delta L^*$  rappresenta la differenza del parametro  $L^*$ ,  $\Delta a^*$  la variazione del parametro  $a^*$ , e  $\Delta b^*$  la variazione del parametro  $b^*$  [12].

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

## 5. PARTE SPERIMENTALE

Nella ricerca è stato usato un cemento, Portland bianco di fabbricazione brasiliana, originario di un unico lotto di fabbricazione con l'obiettivo di restringere la possibilità di variazioni colorimetriche causate dal processo di produzione. Sono stati confezionati calcestruzzi con tre rapporti acqua/cemento diversi (0,42 e 0,51 e 0,60). La classe di consistenza S4 è stata raggiunta con l'aiuto di additivi superfluidificanti a base di poli-carbossilati.

Due tipi di ghiaie sono state analizzate, una basaltica e l'altra calcarea, entrambe di tipo frantumato. La ghiaia basaltica è quella più usata nella presente ricerca per il fatto di essere caratterizzata da una tonalità scura che richiede studi approfonditi per verificare la possibilità della sua utilizzazione nella produzione di calcestruzzi bianchi. Quanto agli aggregati fini si è scelto una sabbia frantumata proveniente dalla frantumazione di rocce calcaree, ed una sabbia alluvionale trovata nella regione, caratterizzata per una tonalità gialla dovuta alla presenza di materia organica e di minerali argillosi. Per tutte le combinazioni di aggregati è stata adottata una granulometria conforme all'equazione di Fuller.

I provini, prima di essere sottoposti ad analisi, sono

stati stagionati in una camera climatica ad umidità e temperatura controllata: UR 75% a 25°C.

La metodologia delle prove colorimetriche ha seguito le raccomandazioni della norma americana ASTM D 2244/84 [13], effettuando le analisi per confronto dei parametri  $L^*a^*b^*$ . L'apparecchio usato per le misure del colore è uno spettrofotometro modello Minolta CM-508 (Figura 4).

Per le prove di misura del colore sono stati confezionati provini di misura 15 x 15 x 8 cm, stagionati per 30 giorni e dopo 1 anno d'esposizione atmosferica.

Per analizzare il comportamento del colore nel tempo sono stati scelti due tipi di protettivi polimerici: una vernice acrilica a base acquosa ed un prodotto a base di silani, da applicare sulla superficie del materiale. La quantità applicata è stata scelta secondo le raccomandazioni dei produttori ed è stata controllata per pesata.

Successivamente i provini sono stati divisi in due gruppi: il primo è stato mantenuto in ambiente interno (laboratorio) e protetto dalle intemperie; l'altro è stato conservato in ambiente esterno soggetto all'azione della pioggia e dell'inquinamento.

## 6. RISULTATI

Nei paragrafi che seguono vengono mostrati i risultati sperimentali ottenuti dalla misura del colore.

### 6.1 Influenza del tipo di aggregato sul colore del calcestruzzo

Nelle Figure 4 e 5 si può vedere che l'utilizzo di aggregati differenti produce una variazione colorimetrica nel calcestruzzo indurito. Le miscele con ghiaia e sabbia calcarea producono calcestruzzi con maggior luminosità e con parametri di tonalità più vicini dell'asse centrale dei colori della Figura 3.

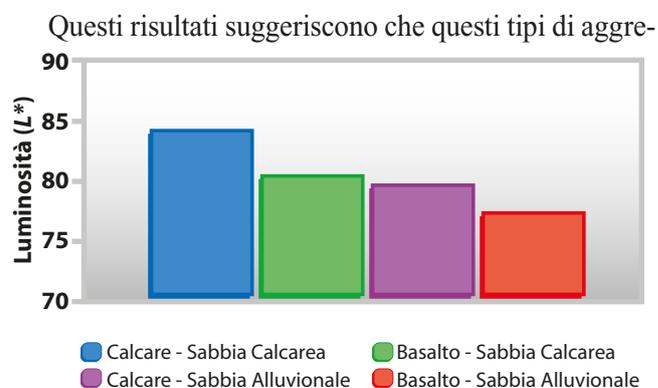


Fig. 5 - Risultati di Luminosità (L\*) ottenuti con diversi tipi di ghiaie e di sabbie

gato, dal punto di vista colorimetrico, sono più adatti per la fabbricazione di calcestruzzi bianchi.

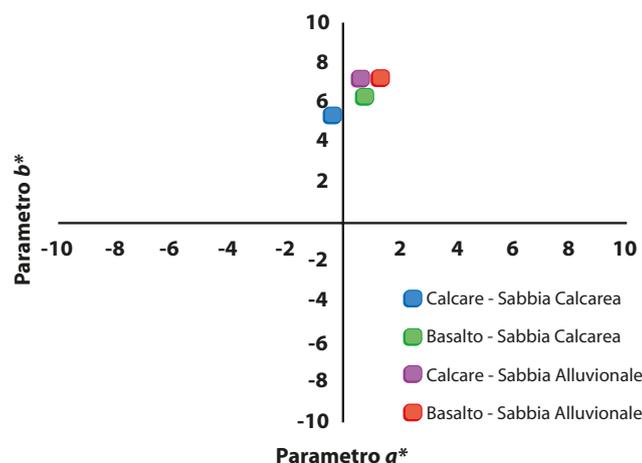


Fig. 6 - Risultati dei parametri  $a^*$  e  $b^*$  ottenuti con diversi tipi di ghiaie e di sabbie

Al contrario, è possibile vedere che l'uso del basalto ha provocato un cambiamento colorimetrico nel calcestruzzo, sia in termini di minore luminosità (Figura 5), sia in termini di maggiore distanza dell'asse centrale dei colori (Figura 6). Si può ipotizzare che questo effetto sia legato alla presenza di polvere sulla superficie di questi aggregati oppure ad un loro effetto-ombra sulla superficie.

I parametri di luminosità ( $L^*$ ) più bassi e le maggiori deviazioni dei parametri di tonalità  $a^*$  e  $b^*$  sono stati misurati nelle miscele con sabbia alluvionale. Questo risultato dimostra che è la frazione fine degli aggregati la principale responsabile del colore finale del calcestruzzo.

Rispetto alla miscela Calcare-Sabbia calcarea i valori di ottenuti per le miscele di Basalto-Sabbia calcarea, Calcare-Sabbia alluvionale e Basalto-Sabbia alluvionale sono rispettivamente: 4,03; 4,82; 7,14.

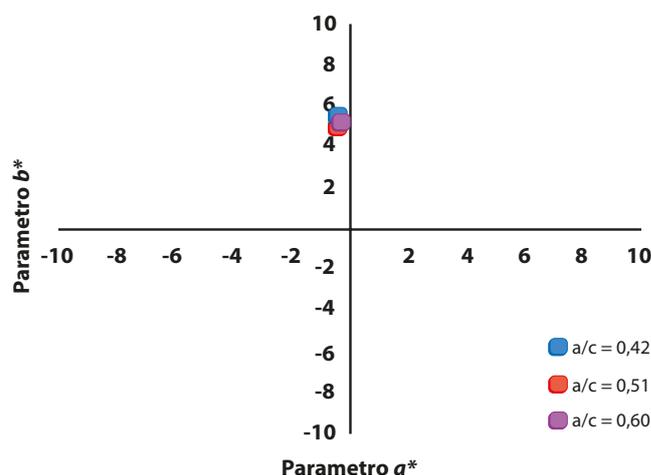


Fig. 7 - Risultati dei parametri  $a^*$  e  $b^*$  ottenuti diversi rapporti a/c

## 6.2 Influenza del rapporto a/c sul colore del calcestruzzo indurito

Vengono presentati e analizzati i risultati ottenuti solo per le miscele confezionate con aggregati di tipo calcareo poichè l'influenza di  $a/c$  sulla proprietà colorimetriche del calcestruzzo non è cambiata con le altre miscele. La Figura 7 evidenzia che i parametri di tonalità  $a^*$  e  $b^*$  non variano particolarmente con il cambio del rapporto  $a/c$ . Invece il parametro di luminosità  $L^*$  subisce un incremento con l'aumento di  $a/c$ , producendo una superficie più riflettente, e creando così una maggiore sensazione di bianchezza (Figura 8). Le differenze di colore ( $\Delta E^*$ )

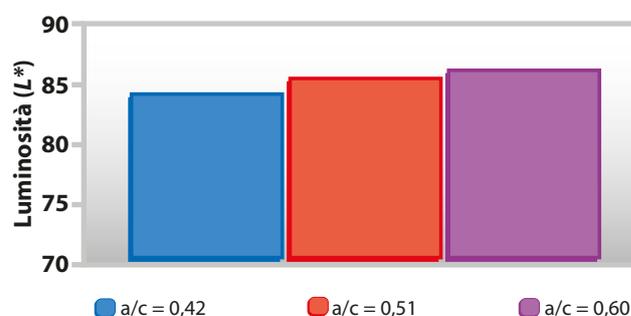


Fig. 8 - Risultati di Luminosità ( $L^*$ ) ottenuti diversi rapporti a/c

TABELLA 1 - RISULTATI DELLE COORDINATE COLORIMETRICHE NEL TEMPO								
Sistema di Protezione	Ambiente	Prima dell'esposizione			Dopo 1 anno			$\Delta E$
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
Nessuno	Interno	84,70	-0,23	5,37	87,80	0,23	4,73	<b>3,20</b>
	Esterno	83,90	-0,41	5,24	88,12	0,34	4,55	<b>4,34</b>
Vernice acrilico	Interno	82,73	-1,02	6,85	85,60	-0,90	6,49	<b>2,89</b>
	Esterno	83,42	-0,96	6,20	88,09	0,30	4,26	<b>5,21</b>
Silano	Interno	85,86	-0,05	6,52	86,65	0,09	6,30	<b>0,83</b>
	Esterno	83,13	-0,31	6,86	84,88	0,02	5,63	<b>2,17</b>

rispetto alla miscela con rapporto  $a/c=0,42$  sono di 2,60 e 3,22 rispettivamente poi i calcestruzzi con  $a/c$  di 0,51 e 0,60. Questo risultato è importante perché il cambiamento della quantità di acqua in cantiere, oltre a danneggiare la prestazione meccanica, potrebbe creare una non uniformità del colore delle superfici. Questo può essere una delle ragioni della grande difficoltà fino adesso incontrate, per quanto riguarda le opere in calcestruzzo bianco, nel produrre un'uniformità del colore tra i giunti di getti diversi.

### 6.3 Mantenimento del colore nel tempo

Come nel paragrafo 6.2 i risultati qui presentati sono solo quelli delle miscele confezionate con aggregato del tipo calcareo e con rapporto  $a/c=0,42$ . La Tabella 1 presenta i valori delle coordinate colorimetriche ottenuti prima e dopo 1 anno di esposizione atmosferica. Si può vedere che le differenze di colore ( $\Delta E$ ) inferiori sono quelle relative ai provini trattati con i prodotti a base di silani. Questo suggerisce la possibilità che questo sistema di protezione superficiale possa essere una soluzione abbastanza efficace per il mantenimento del colore di opere in calcestruzzo bianco.

I provini trattati con vernice acrilica ed esposti all'esterno hanno presentato differenze colorimetriche maggiori di quelle senza sistema di protezione, probabilmente a causa dell'azione dei raggi UV sulla pellicola di vernice.

Questi risultati non sono conclusivi in quanto i provini di calcestruzzo sono tuttora esposti all'ambiente e nuove misure sono previste a lungo termine.

## 7. CONCLUSIONI

1 - L'effetto degli aggregati sul colore finale del calcestruzzo, probabilmente è dovuto alla contaminazione della matrice cementizia con le particelle fini che accompagnano gli aggregati sulla loro superficie. Pertanto, per quanto riguarda il basalto, un sistema di lavaggio speciale potrebbe limitare il problema, ma aggiungerebbe un costo ulteriore e la sua efficacia dovrebbe essere investigata.

2 - La presenza di una maggiore quantità d'acqua nella miscela ha causato l'aumento della luminosità e conseguentemente una maggiore sensazione di bianchezza del calcestruzzo. Quindi il controllo del rapporto  $a/c$ , che è previsto per le prestazioni meccaniche e di durabilità, è valido anche per il controllo del colore. L'esecuzione delle opere in calcestruzzo bianco deve considerare questa variabilità, soprattutto quando in una stessa opera vengono usati diversi getti di calcestruzzo dove il rapporto  $a/c$  può cambiare da un getto all'altro.

3 - Infine si è trovato che i prodotti silanici possono essere una buona soluzione per realizzare opere in calcestruzzo bianco belle, durevoli, e con modeste variazioni cromatiche. Tuttavia, un anno di esposizione naturale non è sufficiente per trarre conclusioni definitive.

## 8. BIBLIOGRAFIA

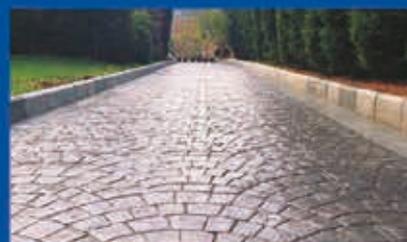
- [1] COLLEPARDI, M. "Innovative concretes for civil engineering structures: SCC, HPC and RPC".
- [2] POMEROY, C. D. "Benefits of concrete as a construction material". In: International Conference on Protection of Concrete. London: E & F.N. Spon, 1990.
- [3] COELHO, F. C. de A. "A cor como principal elementos estéticos nas estruturas de concreto aparente". In: Construir Nordeste, 2003.
- [4] HENAO CELEDÓN, M. L.; AVENDAÑO VELASQUEZ, C. "Hormigon arquitectónico: como realizar un buen acabado". Asocreto – Asociación Colombiana de Productores de Concreto. 1999.
- [5] ITALCEMENTI. "Chiesa Dives in Misericordia". Italcementi Group, 2003. In: [http://www.italcementigroup.com/newsite/files/brochure/Chiesa\\_it-en.pdf](http://www.italcementigroup.com/newsite/files/brochure/Chiesa_it-en.pdf).
- [6] BETTOR MBT. "Obras: La Sagrada Familia de Barcelona". Número 2, 2000.
- [7] NERO, J. M. G.; NUNES, A. "Betão Branco: Fundamentos para a prescrição e utilização do betão branco". Portugal: SECIL, 1999.
- [8] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. "What is white cement?" In: Concrete Technology Today. Portland Cement Association. Illinois: 1999. vol. 20, n° 1. [www.cement.org](http://www.cement.org)
- [9] CARVALHO, F.C.A.; CALAVERA, J. Estabilidade colorimétrica e influência da incorporação de pigmentos em concretos submetidos a diferentes estados de exposição ambiental. In: 44° Congresso Brasileiro. Instituto Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte: 2002.
- [10] BRITISH CEMENT ASSOCIATION. Coloured Concrete. Specifying concrete to BS EM206-1/BS 8500. British Cement Association (BCA), 2000. [www.bca.org.uk](http://www.bca.org.uk)
- [11] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. "Concreto: Estrutura, propriedades e materiais". São Paulo: Pini, 1994. 573p.
- [12] MINOLTA. "Precise color communication: Color control from perception to instrumentation". Japão: Minolta Co. Ltd., 1998.
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for calculation of colour differences from instrumentally measured colour coordinates – ASTM D 2244/84. Pennsylvania: ASTM, 1984.

# DECORATIVE CONCRETE CALCESTRUZZO STAMPATO



IDEAL WORK inventa il concetto di "Decorative Concrete": Pavimentazioni in Calcestruzzo stampato, acidificato e nuvolato per rispondere alle esigenze del mercato moderno.

Ideale per pavimentazioni esterne di spazi pubblici, zone turistiche, centri commerciali, parchi divertimento e abitazioni private, il Pavimento Stampato IDEAL WORK, offre ai progettisti grande libertà creativa e ottime caratteristiche di durata nel tempo. Il calcestruzzo colorato e stampato "a fresco" permette di realizzare pavimentazioni pedonabili e veicolari dal grande effetto scenico. Scegliere i Pavimenti Stampati IDEAL WORK è una scelta obbligata per chi cerca una pavimentazione innovativa, dalla grande personalità, ma con prezzi accessibili a tutti.



IDEAL WORK inoltre offre soluzioni innovative anche per gli ambienti interni. I pavimenti Acidificati e Nuvolati creano ambienti accoglienti e moderni. Belli da vedere e da vivere, i Pavimenti IDEAL WORK sono facili da pulire e sono una valida alternativa ai pavimenti in resina. Sono particolarmente indicati per spazi espositivi, show-room, locali pubblici, abitazioni private.



visita il sito [www.idealwork.it](http://www.idealwork.it)

ideal  
**WORK**

Via Kennedy, 52 - 31030 Vallà di RIESE PIO X (TV)  
 Tel. 0423 748430 - Fax 0423 748429 - info@idealwork.it



Azienda associata  
**CONPAVIPER**  
 Associazione di Categoria Italiani Produttori di Cemento e Calcestruzzo

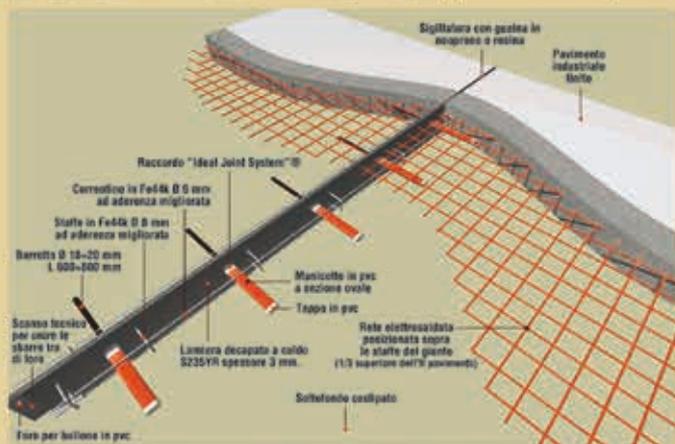
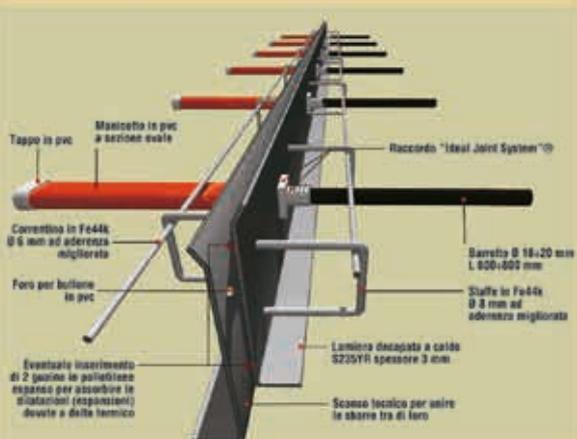
**IDEAL JOINT SYSTEM**

## GIUNTI DI COSTRUZIONE PER PAVIMENTI IN CALCESTRUZZO



IDEAL WORK è pronta ad affrontare la problematica dei giunti di costruzione nelle pavimentazioni in calcestruzzo, presentando ai progettisti ed ai costruttori di pavimenti il proprio sistema brevettato **IDEAL JOINT SYSTEM**.

Il giunto IDEAL WORK è stato studiato e realizzato per offrire ai progettisti un moderno e scientifico sistema per riprendere il trasferimento dei carichi tra le piastre di calcestruzzo, ed agli operatori in cantiere una semplice e poco costosa applicazione in opera.



**Errata Progettazione,  
 Difficile Esecuzione.  
 RISOLVI il PROBLEMA  
 in un colpo solo!**



**IDEALE PER:**

- Pavimenti Industriali
- Industria Pesante
- Logistica
- Padiglioni Fieristici
- Centri Distribuzione
- Centri Commerciali
- Ipermercati
- Aeroporti
- Piazzali Esterni
- Banchine Portuali

**BREVETTATO - l'unico BIDIREZIONALE**



visita il sito [www.giunto.it](http://www.giunto.it)



# I DUE PILASTRI DEL CALCESTRUZZO LOGICO

Mario Collepardi, Silvia Collepardi e Roberto Troli  
Enco srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

Il Calcestruzzo Logico è il titolo dell'ultimo libro edito da Tintoretto, Villorba (TV), per conto della Enco, firmato dagli autori di questo articolo. In questo articolo, del calcestruzzo logico, verranno esaminati i due pilastri che sostengono e sorreggono la logica del calcestruzzo: la *legge di Abrams* e la *regola di Lyse*. Senza questi due pilastri crollerebbero le connessioni del *mix design*, cioè di quella tecnologia che mira a conoscere preliminarmente la composizione del calcestruzzo partendo dalle proprietà richieste per la struttura. Insomma, sembra dirci il *mix design*: "dimmi cosa ti serve per la  $R_{ck}$ , per la durabilità (classe di esposizione), per la messa in opera (lavorabilità), e per altre prestazioni (ritiro, *creep*, ecc.) ed io ti determino la composizione del calcestruzzo (la ricetta) per soddisfare questi requisiti prestazionali, purchè siano noti il cemento (tipo e classe) e l'aggregato (al-



Duff A. Abrams

luvionale o frantumato e diametro massimo) disponibili nell'area della costruzione".

Il grande Abrams pubblicò agli inizi del secolo scorso (1919) un lavoro di ricerca fondamentale sulla dipendenza della resistenza meccanica dalla composizione del calcestruzzo. Egli stabilì, un secolo fa, che **non è il dosaggio del cemento (da solo) a fare la qualità del calcestruzzo in termini di resistenza meccanica ( $R$ ), ma piuttosto il rapporto tra l'acqua ( $a$ ) immessa nell'impasto ed il dosaggio di cemento ( $c$ ), cioè il cosiddetto rapporto  $a/c$ . Tra  $R$  ed  $a/c$ , Abrams trovò *sperimentalmente***

che esiste questa relazione:

$$R = \frac{K_1}{K_2^{(a/c)}} \quad [1]$$

dove  $K_1$  e  $K_2$  sono due costanti che dipendono dal tempo (1 giorno - 1 settimana - 1 mese - 1 anno - ecc.), dalla temperatura (5°C - 20°C - 80°C - ecc.) e dalla classe-tipo di cemento (Portland, pozzolanico, 32.5, 42.5, ecc.). Dalla [1] si evince chiaramente che, al diminuire di  $a/c$ , aumenta esponenzialmente la resistenza meccanica ( $R$ ).

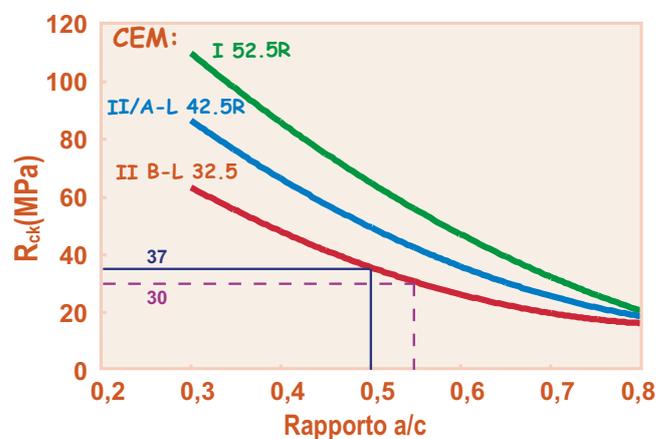


Fig. 1 - Correlazione della  $R_{ck}$  con il rapporto  $a/c$  per tre diversi cementi

Se per semplicità si fa riferimento alla temperatura di 20°C ed al tempo di 28 giorni - condizioni alle quali si determina la  $R_{ck}$  - l'equazione [1], riferita a tre tra i moderni cementi "europei" previsti dalla norma UNI EN 197-1, può essere rappresentata nella Fig. 1 dalle tre curve - una per ogni cemento - le quali mostrano come la  $R_{ck}$  aumenta al diminuire del rapporto  $a/c$  da 0,80 a 0,30.

Non è quindi con il solo aumento del dosaggio di cemento che necessariamente si può incrementare la re-

sistenza meccanica; piuttosto, questo aumento di  $c$  deve avvenire a parità di acqua di impasto ( $a$ ) se si vuole aumentare  $R$ . D'altra parte, sempre secondo la legge di Abrams, si può aumentare la resistenza meccanica ( $R$ ) anche senza modificare il dosaggio di cemento purché si riduca il valore di ( $a$ ). Insomma, non è prefissando una soglia minima di  $c$ , al di sotto della quale non si può andare, che si salvaguarda la qualità del calcestruzzo. Oltre alla illogicità tecnico-scientifica di correlazione tra  $R$  e  $c$ , ribadita anche dagli studi di T.C. Powers\* (1932, *Journal of American Concrete Institute* 28, pg. 419), occorre precisare che il dosaggio di cemento non è assolutamente determinabile, soprattutto dopo l'avvento dei nuovi e numerosi cementi di miscela "europei"; ed allora perché imporre un dosaggio minimo di cemento se poi non esistono gli strumenti analitici per determinarlo con precisione?

Qualcuno potrà ribattere che nelle norma europea EN 206-1 in realtà, accanto al dosaggio minimo del cemento ( $c$ ), si raccomanda anche un valore di  $a/c$  massimo da non superare, e con questo ci si può sentire la coscienza tecnologica a posto, perché si può ritenere di aver rispettato la sostanza della legge di Abrams. E invece no! E' proprio in quell'anche che sta la inconsistenza scientifica di questa posizione assunta dai normatori della EN 206-1: infatti, oltre ad infrangere il primo pilastro del calcestruzzo logico (la legge di Abrams), si finisce con l'ignorare anche il secondo pilastro della tecnologia del calcestruzzo (la regola di Lyse) nel senso che ci si va a sbattere contro.



Inge M. Lyse

Nel 1932 il norvegese Inge Martin Lyse (A.S.T.M., 32, Part II, pg. 629) trovò sperimentalmente che:

- all'aumentare del diametro massimo dell'aggregato, diminuisce l'acqua di impasto ( $a$ ) necessaria raggiungere una determinata lavorabilità del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal dosaggio di cemento;
- oppure: fissato il diametro massimo di un determinato aggregato (naturale o di frantumazione), è neces-

\* Powers dimostrò che la resistenza meccanica ( $R$ ) di un sistema cementizio aumenta al diminuire del rapporto  $a/c$  secondo l'equazione  $R = K (0,6790 / 0,3175 + a/c)^n$ , dove  $K$  è una costante che vale circa 250 MPa,  $n$  è un esponente che vale circa 3, ed  $a/c$  è la frazione di cemento idratato.

sario aumentare l'acqua di impasto per aumentare la lavorabilità del calcestruzzo fresco (espressa come *slump*, abbassamento al cono di Abrams).

- ne consegue che, dato un determinato inerte (per tipo e diametro massimo), l'acqua che occorre per ottenere una certa lavorabilità del calcestruzzo è fissa, a meno - come si vedrà più avanti - che non si impieghino additivi riduttori di acqua di impasto, noti anche come *fluidificanti* e *superfluidificanti* a seconda della loro efficacia.

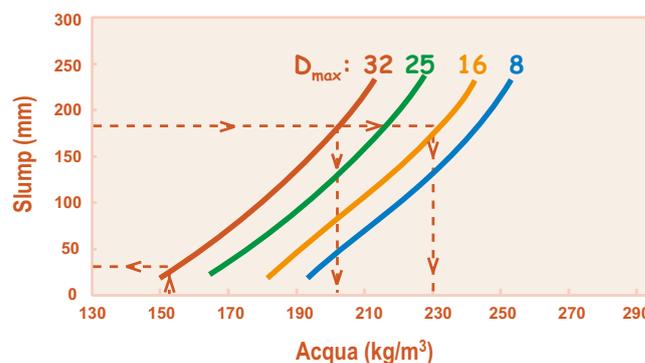


Fig. 2 - Lavorabilità (*slump*) in funzione dell'acqua di impasto per calcestruzzi confezionati con aggregati alluvionali

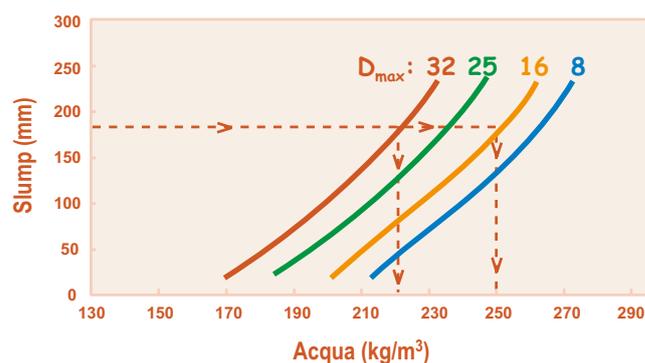


Fig. 3 - Lavorabilità (*slump*) in funzione dell'acqua di impasto per calcestruzzi confezionati con aggregati di frantumazione

Nella Fig. 2 sono mostrate quattro curve di correlazioni (una per ogni diametro massimo) per l'inerte tondo alluvionale\*\*: attraverso queste curve, ricavate sperimentalmente, si può prevedere l'acqua di impasto che occorre immettere nel calcestruzzo per raggiungere un determinato valore di *slump*, in accordo alla regola di Lyse. Nella Fig. 3 le curve si riferiscono a calcestruzzi confezionati con inerti di frantumazione\*\* per i quali

\*\* Gli inerti tondi o frantumati sono intesi in condizione di saturi a superficie asciutta (s.s.a.), in modo tale che non assorbano né cedano l'acqua di impasto: in assenza di questa precisazione non è assolutamente possibile determinare il valore dell'acqua di impasto; d'altra parte, se gli inerti non si trovano nella situazione di s.s.a. - come avviene nella quasi totalità dei casi pratici - si può sempre apportare la correzione nell'acqua da immettere effettivamente in betoniera tenendo presente l'acqua ceduta o assorbita dagli inerti a seconda che gli inerti siano rispettivamente bagnati o insaturi di umidità.

si richiede un maggior quantitativo di acqua di impasto (circa 20 kg in più per metro cubo di calcestruzzo) rispetto ai corrispondenti calcestruzzi con inerti naturali mostrati in Fig. 2. Si supponga, per esempio, che si debba confezionare un calcestruzzo con slump di 180 mm impiegando inerti alluvionali con diametro massimo di 32 mm: si osserva, dalla Fig. 2, che l'acqua di impasto è 200 kg/m<sup>3</sup>; se invece si adottano inerti di frantumazione occorre un maggior quantitativo di acqua (210 kg/m<sup>3</sup>) per raggiungere lo stesso livello di lavorabilità (slump eguale a 180 mm) a causa del maggior attrito tra pasta cementizia ed aggregati derivante dalla ruvidità e spigolosità degli inerti di frantumazione.

Di seguito sono evidenziate, con due esempi, alcune *illogicità* insite nella norma europea EN 206-1 in chiara contraddizione con i due pilastri del calcestruzzo *logico*.

**PRIMO ESEMPIO.** Applicando in pratica la *legge di Abrams* e la *regola di Lyse* al caso di una struttura in c.a. per la quale si richiede una  $R_{ck}$  di 30 MPa impiegando cemento al calce (II B-L) di classe 32.5, adottando una lavorabilità di 180 mm di *slump* con inerti alluvionali ( $D_{max}=32\text{mm}$ ), si ricava (dalla Fig. 1) che occorre adottare un rapporto  $a/c$  di 0,55 e dalla Fig. 2 che occorrono 200 kg/m<sup>3</sup> di acqua. Ne consegue pertanto che:

$$a/c = 0,55 = 200/c \quad c = 200/0,55 \approx 365 \text{ kg/m}^3$$

Come si può notare il dosaggio di cemento, calcolato in base alla *legge di Abrams* ed alla *regola di Lyse*, è la conseguenza *sia* el rapporto  $a/c$  richiesto per soddisfare il requisito della  $R_{ck}$ , *sia* del valore dell'acqua di impasto ( $a$ ) richiesta per soddisfare - con quel particolare inerte a disposizione - il requisito della lavorabilità.

Nella norma UNI EN 206-1, invece, viene prescritto *sia* il rapporto massimo  $a/c$  da non superare per soddisfare il requisito della durabilità, in base alla classe di esposizione ambientale, *sia* il dosaggio minimo di cemento ( $c$ ) anch'esso imposto per ragioni di durabilità: ne consegue che l'acqua di impasto per confezionare il calcestruzzo è conseguentemente bloccato. Infatti, supponendo per esempio di dover costruire una struttura in c.a. in classe di esposizione XC3, per la quale la norma EN 206-1 impone di non superare il valore di 0,55 per  $a/c$  e di non andare al di sotto di 280 kg/m<sup>3</sup> per  $c$ , ne deriva che :

$$a/c = a/280 = 0,55 \quad a = 280 \times 0,55 = 154 \text{ kg/m}^3$$

Ciò significa che - con 280 kg/m<sup>3</sup> di cemento - non si deve impiegare più di 154 kg di acqua per 1 metro cubo di calcestruzzo per non superare il valore di  $a/c$  di 0,55. Se, per esempio, è disponibile un inerte naturale con diametro massimo di 32 mm, ne deriva dalla Fig. 2 che non è possibile confezionare un calcestruzzo assolutamente lavorabile poichè secondo la *regola di Lyse* con 154 kg/m<sup>3</sup> di acqua di impasto ed un inerte naturale con  $D_{max}$  di 32 mm si arriva al massimo ad uno *slump* di 30 mm (Fig. 2) e quindi assolutamente insoddisfacente rispetto alla

richiesta di uno *slump* eguale a 180 mm.

**SECONDO ESEMPIO.** Altre *illogicità* tecnico-scientifiche si potrebbero evidenziare adottando un valore di  $a/c = 0,50$  per ragioni di durabilità (classe di esposizione XC4), che corrisponde ad una  $R_{ck}$  di 37 MPa con cemento di classe 32.5 (Fig. 1) ed un dosaggio minimo di cemento ( $c = 300 \text{ kg/m}^3$ ), valori entrambi indicati dalla norma EN 206-1 per questa classe di esposizione. Si supponga di dover adottare un inerte di frantumazione con diametro massimo di 16 mm e che si richieda di mettere in opera un calcestruzzo fluido con slump di 180 mm all'interno di una cassaforma congestionata dai ferri di armatura con interferro di circa 20 mm: dalla Fig. 3 si ricava che, in base alla *regola di Lyse*, occorrono 250 kg/m<sup>3</sup> di acqua per raggiungere questa lavorabilità con l'inerte disponibile; pertanto il dosaggio di cemento può essere calcolato in 500 kg/m<sup>3</sup> (!) con possibili disastrose conseguenze sul quadro fessurativo provocato dalle tensioni indotte dal ritiro igrometrico e/o dai gradienti termici, inconvenienti entrambi correlati con l'eccessivo dosaggio di cemento nel caso di un getto massivo; infatti:

$$a/c = 0,50 = 250/c \quad c = 250/0,50 = 500 \text{ kg/m}^3$$

E' pur vero che a nessuno - dotato di un minimo di conoscenza della tecnologia del calcestruzzo - verrebbe in mente di adottare questa composizione (500 kg/m<sup>3</sup> di cemento e 250 kg/m<sup>3</sup> di acqua) per un getto massivo, poichè sono fortunatamente disponibili additivi riduttori di acqua, a pari lavorabilità, con i quali è oggi possibile abbattere  $a$  e - a pari  $a/c$  - anche  $c$  fino a oltre il 30%, senza alcuna penalizzazione nella lavorabilità del calcestruzzo fresco al momento del getto e nella resistenza meccanica del calcestruzzo in servizio. Rimane il fatto, però, che con la summenzionata norma EN 206-1 non si scoraggia a commettere una grave *illogicità* (dosaggio di cemento pari a 500 kg/m<sup>3</sup> per raggiungere una  $R_{ck}$  di 37 MPa) senza porre un limite nel dosaggio *massimo* di cemento, come sarebbe *augurabile* attendersi da normatori che conoscano la tecnologia del calcestruzzo (fessure indotte dal ritiro igrometrico, o dai gradienti termici generati dall'eccessivo calore di idratazione, ecc.) e la sua *logica*.

Le fessurazioni indotte dai gradienti termici - derivanti dal calore di idratazione - potrebbero essere ridotte anche lasciando immutato il dosaggio di cemento, ma scegliendo un tipo di cemento che liberi molto meno calore: per esempio i cementi CEM III B, CEM IV B, CEM V B sviluppano circa la metà del calore di idratazione, rispetto ai cementi Portland al calce (CEM II A L, CEM II B L) generalmente offerti dal mercato, con enormi benefici nella riduzione delle fessure di origine termica. Purtroppo è pressochè impossibile trovare i cementi d'altoforno, pozzolanici e compositi per affrontare soprattutto questa problematica nelle strutture in c.a. massive (con spessore >30 cm).



CORSO DI AGGIORNAMENTO SULLA

## TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

Data: 10 e 11 marzo

Costo: €600,00 (inclusi coffe break e lunch) - Materiale Didattico: Il nuovo calcestruzzo (3a ed) + software + DVD

PROGRAMMA DEL CORSO

- Normativa dei cementi in accordo alla norma UNI EN 197; caratteristiche principali dei cementi.
- Criteri di accettazione degli inerti. Granulometria ideale ed ottimale degli inerti.
- Il ruolo dell'acqua : influenza sulla classe di consistenza (Regola di Lyse) e sulla resistenza meccanica (Legge di Abrams).
- Lavorabilità del calcestruzzo e grado di compattazione. Bleeding e segregazione.
- Porosità e permeabilità. Resistenza caratteristica, resistenza meccanica a flessione ed a trazione. Modulo elastico.
- Degradamento del calcestruzzo e corrosione dei ferri di armature: classi di esposizione secondo la UNI EN 206.
- Prevenzione del degrado e durabilità del calcestruzzo armato.
- Additivi per calcestruzzi.
- Prescrizione delle specifiche del materiale e nella realizzazione della struttura : impiego del CD "Easy&Quick EN 206"
- Influenza della temperatura sulla resistenza meccanica iniziale. Deformazioni e tensioni di origine termica.
- Ritiro igrometrico e deformazione viscosa del calcestruzzo.

CORSO DI SPECIALIZZAZIONE SUL

## MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Data: 17 e 18 marzo

Costo: €600,00 (inclusi coffe break e lunch) - Materiale Didattico: Il calcestruzzo logico + software CMD

PROGRAMMA DEL CORSO

- Lavorabilità e perdita di lavorabilità. Influenza dell'umidità degli inerti sulla richiesta d'acqua.
- Influenza degli additivi riduttori di acqua e degli agenti aeranti.
- Proprietà meccaniche dei calcestruzzi :previsione della resistenza caratteristica e della resistenza di sfonatura.
- Influenza della temperatura sulla resistenza meccanica. CORSO DI AGGIORNAMENTO SULLA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO.
- Progettazione di un calcestruzzo durabile.
- Calcolo del ritiro standard e della deformazione viscosa del calcestruzzo e delle strutture reali in c.a.
- Proprietà termiche del calcestruzzo: dilatazione, conducibilità termica, calore specifico, calore di idratazione.
- Programmazione del getto e della stagionatura in climi caldi e freddi.
- Calcolo dell'isolamento termico, del raffreddamento e del riscaldamento del calcestruzzo.
- Programmazione della maturazione a vapore del calcestruzzo.
- Distribuzione granulometrica degli inerti. Combinazione degli inerti con metodi numerici e grafici.
- Esercizi numerici con il software CMD (Computerized Mix Design) per cls preconfezionato e prefabbricato.

CORSO DI SPECIALIZZAZIONE SUL

## DEGRADO E RESTAURO DEL CALCESTRUZZO

Data: 21 - 23 marzo

Costo: €650,00 (inclusi coffe break e lunch) - Materiale Didattico: Il calcestruzzo vulnerabile + DVD

PROGRAMMA DEL CORSO

- La fisica dell'acqua: tensione di vapore, condensazione capillare.
- Corrosione dei ferri per carbonatazione e danneggiamento del calcestruzzo.
- Esame visivo ed analisi dei dati storici per la emissione della diagnosi del degrado.
- Prove distruttive (in laboratorio) e non-distruttive (in situ) per la conferma della diagnosi del degrado.
- Materiali cementizi e polimerici per il restauro Tecnologie applicative.
- Interventi di ripristino e di consolidamento di strutture degradate con materiali cementizi e polimerici.
- Introduzione ai materiali FRP. Le fibre in carbonio, in aramide ed in vetro. Le resine epossidiche.
- I materiali compositi e determinazioni delle caratteristiche meccaniche.
- Calcolo del rinforzo degli elementi inflessi con il metodo agli stati limite.
- Esempi di applicazione degli FRP nel rinforzo strutturale.
- Applicazione dei rinforzi in FRP nel restauro degli edifici danneggiati dal sisma.
- Potenzialità e limiti. Calcolo del rinforzo e taglio.
- Fasciatura dei pilastri e degli elementi compressi. Analisi elastica e comportamento post fessurativo.

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

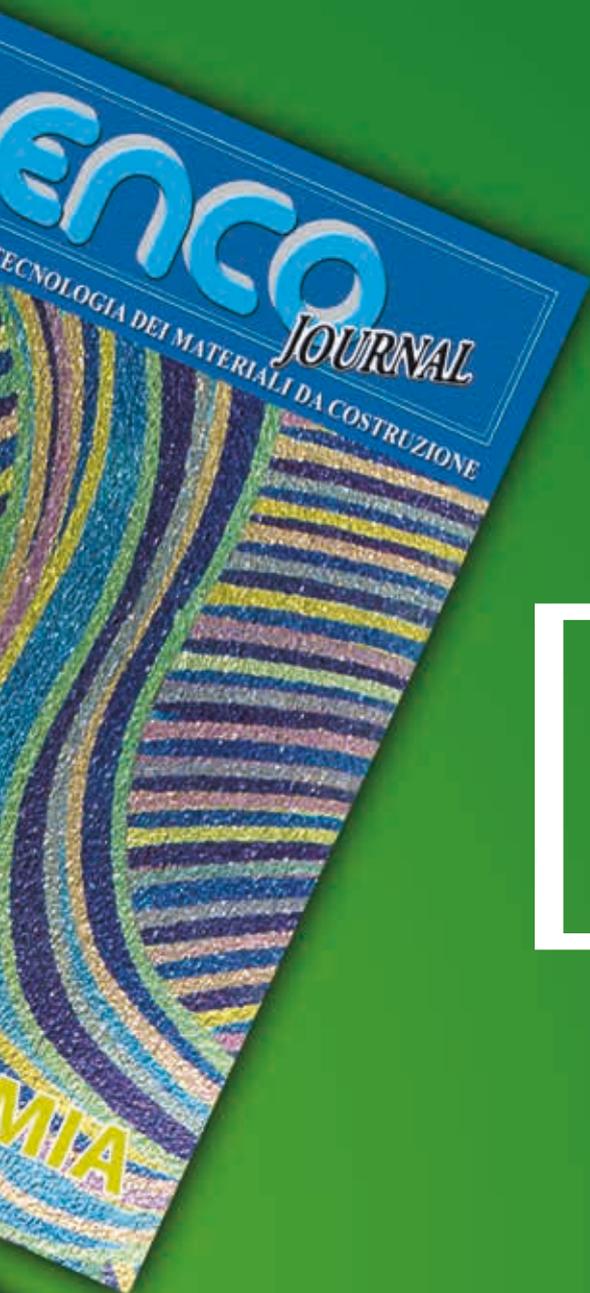
PAGAMENTO: da effettuarsi prima dell'inizio del corso mediante bonifico bancario sul c/c 000001085060 (Codice CIN: J Codice ABI 03069 - Codice CAB12031) intestato a Enco SRL presso Banca Intesa, Filiale 525 Treviso.

➤ **SCONTI** ◀

**15%** PER DUE CORSI

**30%** PER TRE CORSI





# ENCO JOURNAL

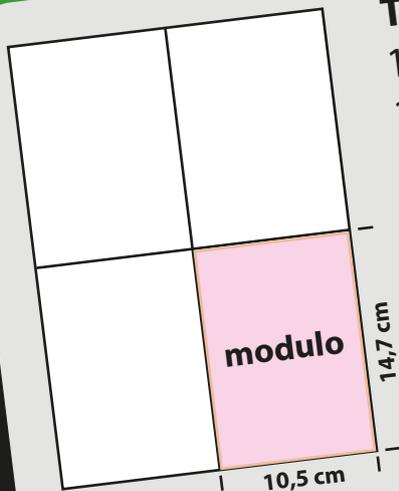
Informazione ed attualità.

Ora in 4 edizioni annuali.

## TARIFE PUBBLICITÀ 2005

- 1 modulo = € 350,00
- 1 pagina = € 1.350,00
- 2 pagine = € 2.400,00
- 3 pagine = € 3.400,00

Oltre  
**17.000**  
contatti!



### Per informazioni:

Isabella Capogna  
Tel 0422 963 771 - Fax 0422 963 237  
capogna@encosrl.it



# RICORDO DI BRUNO MAZZA

*Pietro Pedefferri - Politecnico di Milano - [pietro.pedefferri@polimi.it](mailto:pietro.pedefferri@polimi.it)*

Il modo più semplice per ricordare Bruno Mazza è quello di raccontare i suoi quarantasette anni al Politecnico. Arriva nel nostro Ateneo nel 1957 proveniente da Pavia dove è stato allievo del Collegio Ghislieri. Nel 1961 si laurea in ingegneria nucleare e ottiene la medaglia d'oro come miglior laureato dell'anno. Grazie a una borsa di studio 'De Nora' entra nell'Istituto di Chimica-Fisica. Il suo talento e la sua impressionante capacità di lavoro attirano subito l'attenzione del professor Piontelli di cui diviene l'allievo prediletto. In breve tempo la collaborazione che si instaura tra i due porta frutti copiosissimi.

Gli anni sessanta sono per lui anni di successi scientifici. Con le sue ricerche nel campo dei sali fusi e delle soluzioni acquose si impone subito all'attenzione degli elettrochimici. Sono anche anni di successi accademici: nel 1962 vince il concorso di assistente, nel 1964 subentra al professor Piontelli nel prestigioso insegnamento di 'Elettrochimica', nel 1967 diviene libero docente. Nel 1968 la considerazione nei suoi confronti è tale che il Consiglio di Facoltà di Ingegneria chiede e ottiene dal Ministero una cattedra di 'Chimica Fisica' destinata a lui.

Ma nel '68 arriva appunto il 'sessantotto' e tutto cambia. Nell'autunno di quell'anno l'associazione degli assistenti del Politecnico, di cui Mazza è presidente, proclama uno sciopero. È l'inizio della rottura con le autorità accademiche che si completerà nella primavera successiva quando gli studenti occuperanno l'Ateneo per parecchi mesi e Mazza sosterrà pubblicamente alcune loro richieste e per di più farà loro lezione. Il Consiglio di Facoltà decide di punirlo e per prima cosa cancella il termine 'chimica' dal titolo della cattedra ottenuta dal ministero e la fa passare dal nostro Istituto a quello di Fisica. 'Non è che l'inizio', gli si dice, facendo il verso agli studenti del maggio francese. 'Quest'anno non le abbiamo tolto il corso perché il suo incarico è biennale. Lo faremo l'anno prossimo.' Per fortuna dopo qualche mese vie-

ne emanata una legge di riconferma automatica degli incarichi di insegnamento e quindi la minaccia non si concretizza, anche se l'emarginazione rimane.

Mazza non fa nessuna recriminazione - come non ne farà in seguito - ma, se possibile, si impegna ancora di più soprattutto nel lavoro con gli studenti che lo ammirano per la sua bravura e lo amano per la sua disponibilità. Le sue lezioni sono perfette e il suo corso splendido. Ma si rende conto - siamo agli inizi degli anni settanta - che la materia che sta insegnando è solo la parte nobile dell'elettrochimica e che ce n'è un'altra, violenta e intollerabile, di cui non si parla nelle università. È quella che colpisce la salute e a volte ruba la vita di chi lavora negli impianti cloro-soda con celle a mercurio; in quelli galvanici con bagni cianidrici o a base di cromati; nei reparti di decapaggio; nell'industria degli accumulatori al piombo o al cadmio; o in quella dell'estrazione e della raffinazione dei metalli pesanti.

A questo punto fa una scelta rivoluzionaria: porta la sua scuola in questi luoghi. D'accordo con i Consigli di Fabbrica entra con i suoi allievi alla Elettrosolfuri di Tavazzano, alla Tudor di Melzo, alla Marelli e alla Scaini di Sesto, alla Tonolli di Paderno, alla Montedison di Marghera, (e con l'amico Sinigaglia docente di Metallurgia anche alla Falck, alla Breda, alla SAMIM). E lì, con l'aiuto dei medici della Clinica del Lavoro dell'Università di Milano e con la collaborazione dei sindacati documenta e denuncia le condizioni di lavoro inaccettabili e, successivamente nelle aule del Politecnico, assieme agli studenti, le analizza e le contrappone a possibili soluzioni alternative rispettose della dignità e della salute di chi lavora.

Quelle situazioni di drammatica nocività non ci sono più. Anzi, proprio nel dicembre 2004 è finito anche il processo per le centinaia di morti e malati di cancro alla Montesidon di Marghera dove anche

Mazza ha operato. Un'epoca è dunque terminata. Il merito è della crescita civile e tecnologica avvenuta negli ultimi trent'anni; ma una spinta a questa crescita l'ha data soprattutto chi, come Mazza, ha messo in gioco se stesso per cambiare le cose.

Vorrei ricordare anche l'incidente all'ICMESA di Seveso del 1976. Mazza è uno dei primi a correre sul posto e, per mettere in guardia la popolazione sul pericolo imminente, interviene in assemblee infuocate contro la maggioranza delle autorità che cerca di minimizzare. Per capire quello che è successo, entra una decina di volte nel reparto maledetto dove si è sviluppata la diossina e dà un contributo importante per definire le responsabilità della multinazionale proprietaria dell'impianto.

Quando penso ad un eroe civile penso proprio al Mazza di quegli anni: incurante dei richiami delle autorità accademiche, delle minacce di interventi giudiziari o polizieschi, delle lusinghe dei potenti, dei pericoli cui si espone, delle pressioni degli amici preoccupati per quanto gli potrebbe succedere, continua a tirar dritto seguendo senza alcuna esitazione quello che ritiene sia il suo dovere di docente e di uomo di scienza.

Siamo arrivati all'inizio degli anni ottanta e qui c'è una seconda svolta. L'Istituzione Politecnico si riavvicina a lui (per la verità lui non se ne era mai allontanato). Il nuovo Direttore gli chiede di collaborare. Mazza accetta e per parecchi anni dà un apporto determinante alla gestione dell'Istituto. Finalmente nel 1987 è nominato professore di prima fascia ed eletto direttore; nel 1990 è riconfermato direttore e designato coordinatore dei direttori; poi dal 1995 fa parte del Consiglio di Amministrazione e ha la delega per il Personale. In pochi anni in grado di ricreare rapporti di collaborazione, di stima e, in qualche caso, di amicizia anche con gli avversari di un tempo.

Intanto continua con le sue lezioni magistrali. Pur restando la parte teorica dell'elettrochimica quella a lui più congeniale, è sempre aggiornato sulle nuove tecnologie o sulle ultime applicazioni grazie anche ai rapporti personali che ha con diversi protagonisti della ricerca e dello sviluppo del settore, come prova anche la sua presenza nella Fondazione De Nora. Trova pure il tempo per impegnarsi nella gestione del corso di Laurea in Ingegneria Meccanica e Chimica, Orientamento energetico-idrocarburi, che ha contribuito a far nascere e per seguire personalmente ogni singolo studente.

Molti di noi conservano nella memoria e nel cuore l'immagine di Mazza che si affretta con una borsa a volte quasi più grande di lui, verso il rettorato o verso un'aula di lezione.

Molti di noi ricordano la sua cultura elettrochimica, la sua figura di scienziato, il suo fascino di docente, il suo impegno civile, la sua onestà intellettuale, il suo disinteresse personale, il suo coraggio, la sua coerenza, la sua disponibilità, la sua mitezza, la sua attitudine a considerare con lo stesso rispetto ogni persona, la competenza, la serietà e l'impegno nei tanti ruoli che ha ricoperto.

Alcuni di noi hanno sperimentato, in scontri spesso molto duri, la sua determinazione nel difendere principi che ritiene sacrosanti e la sua inflessibilità nel non accettare situazioni o imposizioni che non gli paiono corrette.

Nessuno l'ha mai visto impegnato in recriminazioni o in favoritismi. Nessuno l'ha mai visto fare o accettare una raccomandazione. Nessuno l'ha mai sentito annoiato o distratto quando si è rivolto a lui.

Anche se in questa sede parliamo solo dell'uomo 'pubblico' e non di quello 'privato', non possiamo non ricordare quanto fosse schivo soprattutto nel tenere i suoi sentimenti per sé; come non desiderasse né apparire né mostrarsi; come operasse lasciando il merito agli altri. E così pure non possiamo non ricordare la sua presenza attiva e riservata di amico, di collega, di consigliere, di confidente e quella, tenerissima, di figlio, di marito e di padre.

Gli ultimi anni sono quelli della sofferenza. Il dolore va via via crescendo ma la sua voglia di vivere e la sua dedizione al Politecnico rimangono quelle di sempre. E così pure il suo sorriso.

Lunedì 2 agosto 2004, alle prime ore del mattino, se ne è andato. Per lasciarci ha aspetta che sia passato il week-end in cui si parte per le vacanze in modo da non dare fastidio con le sue faccende personali. Proprio come ha fatto per tutta la vita.



# SIPE

Contacts Info Profile Home Page



## PRODUCTS



Building construction plants



Concrete mixing plants



Pan mixers

## BUSINESS FIELDS

— Choose yours —

## SERVICES



After Sales Service



Customer Service



Renting

## PROJECT, DEVELOPMENT AND ASSISTANCE SINCE 1979



Concrete Technology

## New products

- PanMixer 2100 (1500 Lts.)
- Concrete Mobile Plants
- R.C.C. Plants

## News

- S.C.C. TECHNOLOGY
- SAIE 2004 FAIR Oct. 13 - 17 2004



[www.sipeitalia.com](http://www.sipeitalia.com)

# SIPE

SIPE S.r.l. 25018 MONTICHIARI  
(BS) ITALIA Tel. +39.030.9962231  
Fax. +39.030.9659638  
[www.sipeitalia.com](http://www.sipeitalia.com) [info@sipeitalia.com](mailto:info@sipeitalia.com)

## TOP QUALITY CONCRETE





# CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DELLE MURATURE

Francesca Simonelli e Francesco Favero - Enco srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

## PREMESSA

Il patrimonio architettonico italiano è costituito in gran parte da edifici e strutture in muratura. E' probabile, quindi, che almeno una volta nella vita, il progettista si trovi a lavorare con questo tipo di strutture, molto particolari e per alcuni aspetti insidiose.

La presentazione della nuova Ordinanza sismica, n. 3274 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" (ancora in fase di definizione), ha ulteriormente evidenziato la necessità di conoscere dettagliatamente le caratteristiche dei costituenti la struttura prima di procedere alle operazioni di verifica ed eventualmente al progetto di adeguamento.

Il paragrafo 11.2.3.3 della suddetta Ordinanza recita: "Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei coefficienti parziali di sicurezza vengono definiti i tre livelli di conoscenza seguenti:

**LC1:** conoscenza limitata;

**LC2:** conoscenza adeguata;

**LC3:** conoscenza accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria, caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dettagli strutturali, quantità e disposizione delle armature (c.a.), collegamenti (acciaio), collegamenti tra elementi strutturali diversi, consistenza degli elementi non strutturali collaboranti, materiali, proprietà meccaniche dei materiali."

La caratterizzazione dei materiali e della struttura dei fabbricati è quindi necessaria per procedere alla verifica degli edifici e all'eventuale progetto di adeguamento.

Meno dettagliata è la diagnosi, più penalizzanti sono i coefficienti di sicurezza da applicare e quindi le rispettive verifiche. Cioè una campagna di analisi finalizzata all'ottenimento di un livello di conoscenza LC1 (livello minimo di conoscenza) sarà meno dispendiosa in fase preliminare ma in fase di progetto obbligherà ad usare coefficienti di sicurezza più restrittivi e quindi gli eventuali interventi di ripristino saranno più onerosi.

A titolo esemplificativo, in questa relazione si descrivono le prove eseguite in sito ed in laboratorio al fine di caratteriz-

zare in maniera completa i setti murari di un edificio scolastico ubicato nella provincia di Treviso.

Sulle pareti portanti del fabbricato sono state eseguite prove con un martinetto piatto singolo e con due martinetti piatti. Sono stati inoltre misurati in laboratorio il modulo elastico mediante ultrasuoni e la resistenza meccanica per compressione diagonale su campioni di muratura prelevati dalla struttura.

Nei paragrafi che seguono si commentano le modalità di prova ed i risultati ottenuti.

## MATERIALI

La muratura è costituita dall'assemblaggio di due componenti base: mattone o pietra e letti di malta. Si tratta, per-



*Fig. 1 - Preparazione del provino di muratura per il trasporto in laboratorio*

tanto, di un materiale composito. Oltre ad altre conseguenze dovute proprio alla sua disomogeneità, alle quali non si farà riferimento in questa relazione, la eterogeneità del materiale impone che le prove necessarie alla caratterizzazione della struttura debbano essere eseguite su un campione di dimensioni piuttosto grandi.

La difficoltà di prelevare, trasportare ed analizzare un campione di dimensioni notevoli (Fig. 1) fa sì che, dove possibile, le prove siano eseguite in sito piuttosto che in laboratorio.

## INDAGINI ESEGUITE IN SITO

Sulla muratura portante centrale del fabbricato, che divide le aule dal corridoio, è stata eseguita una verifica dello stato tensionale attuale, mediante una prova con un martinetto piatto. La prova consiste nell'esecuzione di un taglio orizz-

zontale sulla muratura, nel nostro caso lungo il letto di malta, all'interno del quale viene inserito un martinetto piatto. A cavallo di questo taglio vengono fissati tre comparatori, a debite distanze, che rilevano l'abbassamento della muratura in seguito al taglio. Successivamente il martinetto viene portato in pressione fino a ripristinare la distanza iniziale fra i due lembi del taglio. Una volta ripristinate le condizioni iniziali, la pressione letta sul manometro ( $p$ ), opportunamente corretta (con i coefficienti  $K_a$  e  $K_m$ ) rappresenta la tensione di esercizio della muratura in quel punto.

$$\sigma = K_a * K_m * p$$

$K_a$  = area martinetto/area taglio

$K_m = 0.96$ , costante fornita dal produttore del martinetto, in funzione della geometria del martinetto

Nella stessa posizione in cui è stata eseguita la verifica

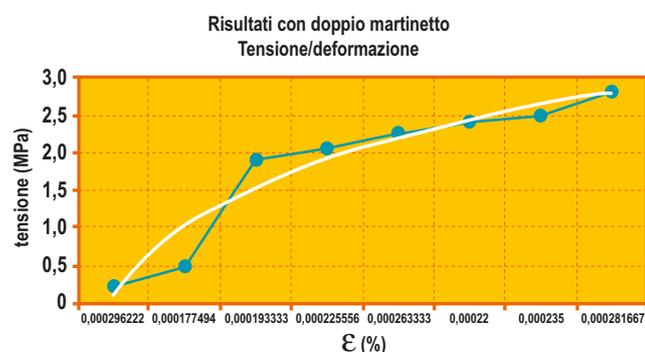


Fig. 2 - Deformazione ( $\epsilon$ ) in funzione della tensione di compressione

con un martinetto si è poi proceduto ad eseguire la prova con doppio martinetto. Questo tipo di indagine consiste nel portare a rottura la porzione di muratura compresa fra i due martinetti, ottenendo così indicazioni sul valore della resistenza a compressione ultima e sul modulo elastico. L'indagine con il doppio martinetto è eseguita facendo un secondo taglio, parallelo al primo circa 50 cm sopra questo, all'interno del quale è stato posizionato il secondo martinetto.

Entrambi i martinetti sono messi in pressione in modo tale da provocare uno stato di tensione monoassiale sulla porzione di muratura compresa fra i due martinetti: così facendo si esegue una prova in condizioni simili a quelli di un test uniassiale convenzionale. In questa prova i comparatori per la misura degli spostamenti vengono posizionati fra i due tagli e permettono di monitorare gli spostamenti al crescere del carico applicato.

La prova è proseguita fino al raggiungimento della pressione corrispondente ad un appiattimento del diagramma sforzi-deformazioni, indice della rottura del setto (Fig. 2).

Nelle Tabelle 1 e 2 sono riportati in dettaglio i risultati delle due prove eseguite in accordo all'ASTM C 1196 - 92 e ASTM C 1197 - 92.

## INDAGINI ESEGUITE IN LABORATORIO

In laboratorio sono state eseguite le prove relative alla misura della velocità di propagazione degli ultrasuoni e della compressione diagonale.

La misura della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche sui campioni di muratura prelevati non era prevista nel programma di indagini proposto. Tuttavia, si è deciso di procedere a questo tipo di misura (Fig. 3) per conoscere, prima delle altre prove in situ sulla muratura, alcuni parametri essenziali per stabilire le modalità di carico (passi e velocità di applicazione del carico) sia delle prove in situ con i martinetti che delle prova di compressione diagonale in laboratorio.



Fig. 3 - Misura della velocità di propagazione degli ultrasuoni

La velocità con cui le onde ultrasoniche si trasmettono nella muratura, infatti, è funzione della rigidità del mezzo, cioè del suo modulo elastico. Nell'interpretazione dei risultati va considerato che un valore particolarmente basso della velocità di propagazione degli ultrasuoni potrebbe essere indice di difetti nel campione analizzato in forma di fessure o macrovuoti.

Il modulo elastico dinamico ( $E_d$ ), è stato calcolato attraverso l'equazione [1] misurando la velocità di propagazione delle onde ( $V$ ), la massa volumica ( $\rho$ ) del campione ed il coefficiente di Poisson ( $\nu$ ):

$$V = \left[ \frac{E_d}{\rho} \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \right]^{1/2} \quad [1]$$

La prova di compressione diagonale (Fig. 4) è interessante in quanto consente la determinazione della resistenza a taglio in laboratorio di una porzione rappresentativa di muratura, che contenga quindi un certo numero di giunti orizzontali e verticali.

La prova è eseguita in accordo alla norma americana ASTM E519-81. Il campione murario da sottoporre a prova deve essere approssimativamente quadrato. Le raccomandazioni LUM B.6 specificano che il campione dovrebbe contenere almeno quattro file di mattoni. Maggiori sono le dimensioni del campione più impegnativo risulta l'estrazione e il trasporto del campione senza arrecare danni al campione da analizzare.

È importante che il contenuto di umidità durante la pro-



Fig. 4 - Prova di compressione diagonale

va in laboratorio sia il più prossimo possibile alle condizioni reali della struttura. Durante la prova vengono misurati gli allungamenti lungo le diagonali del pannello. Il campione viene inserito sotto la pressa in diagonale in modo che il giunto di malta sia inclinato di 45° rispetto alla direzione del carico. Il campione, di dimensioni 45 cm x 45 cm, è stato posizionato verticalmente con l'aiuto di filo a piombo. Sugli spigoli di questo campione, a contatto con i piatti della pressa, sono state interposte delle selle in acciaio in modo tale da limitare i picchi di tensione nelle zone di carico. Il provino è stato quindi caricato e portato a rottura. Durante la prova sono stati misurati gli allungamenti lungo la diagonale del pannello.

La resistenza a trazione  $S_p$  viene calcolata con l'equazione [2]

$$S_p = 0.707 \frac{P}{A_n} = 0.707 \frac{P}{dt} \quad [2]$$

dove  $P$  è il carico impresso ed  $A_n$  è il prodotto  $dt$  con  $d$  e  $t$  che indicano rispettivamente la diagonale e lo spessore del campione murario. Il valore di  $S_p$  è pari alla resistenza a trazione della muratura lungo la diagonale, e può essere utilizzato come stima della resistenza al taglio della muratura della prova.

Nella Fig. 5 sono diagrammati i risultati e la stima della resistenza a taglio del paramento murario.

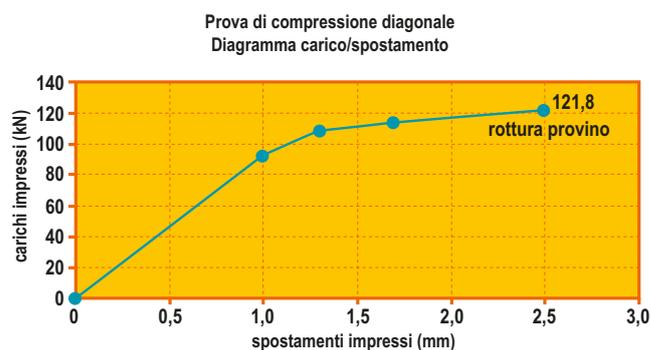


Fig. 5 - Spostamento del campione murario in funzione del carico applicato

## CONCLUSIONI

Le prove in situ con i martinetti piatti e quelle eseguite in laboratorio per la determinazione della velocità delle onde ultrasoniche e della compressione in diagonale consentono di caratterizzare il comportamento meccanico delle murature in mattoni. Con qualche cautela queste prove possono essere estese anche alle murature in pietra.

TABELLA 1 - RISULTATI DELLE PROVE IN SITO CON MARTINETTO SINGOLO						
ka=(area mart.)/(area taglio)= 0,886939571 Km= 0,96						
		"pres. strum. (MPa)"	"pres. corretta (MPa)"	mis. 1 (µm)	mis. 2 (µm)	mis. 3 (µm)
T0 prima del taglio						
T1 (taglio appena eseguito)						
T2	I lettura	0,5		142	64	89
	valori medi	0,5	0,425730994	124	53	75
	II lettura	0,7		128	56,8	79
T3	I lettura	0,7		132,4	59	83
	valori medi	0,7	0,596023392			
T4	I lettura	1,2		139	66	90,3
	valori medi	1,2	1,021754386			

TABELLA 2 - RISULTATI DELLE PROVE IN SITO CON MARTINETTO DOPPIO											
ka=(area mart.)/(area taglio)= 0,886939571 Km= 0,96											
martinetti scarihi		"pres. strum. (MPa)"	"pres. corretta (MPa)"	mis. 1 (µm)	mis. 2 (µm)	mis. 3 (µm)	def. 1	def. 2	def. 3	def. Media	Etan=σi/ei (MPa)
T1	I lettura	0		132	70	130,8					
	valori medi	0,3		88	64	124,6	0,000293333	0,000213333	0,000415333	0,000307333	
	II lettura	0,6		72	40	75,1	0,00024	0,000133333	0,000250333	0,000207889	831,1451079
T2	I lettura	0,6		62,8	2,39	67,2	0,000209333	7,96667E-06	0,000224	0,0001471	
	valori medi	0,6	0,510877193							0,000177494	2310,555817
T3	I lettura	1		54,2	33,8	55,9	0,000180667	0,000112667	0,000186333	0,000159889	
	valori medi	1	0,851461988							0,000159889	22720,10098
T4	I lettura	1,4		68	33	53	0,000226667	0,00011	0,000176667	0,000171111	
	valori medi	1,4	1,192046784							0,000171111	35643,56436
T5	I lettura	2		50	31	50,3	0,000166667	0,000103333	0,000167667	0,000145889	
	valori medi	2	1,702923977							0,000145889	23788,54626
T6	I lettura	2,7		38	27,6	41,2	0,000126667	0,000092	0,000137333	0,000118667	
	valori medi	2,7	2,298947368							0,000118667	25714,28571
T7	I lettura	3,2		33,8	22,7	36,5	0,000112667	7,56667E-05	0,000121667	0,000155	
	valori medi	3,2	2,724678363							0,000155	13761,46789
T8	I lettura	3,5		29,7	18	32	0,000099	0,00006	0,000106667	8,33333E-05	
	valori medi	3,5	2,980116959							8,33333E-05	4186,046512
T9	I lettura	3,7		23	13	27,5	7,66667E-05	4,33333E-05	9,16667E-05	7,05556E-05	
	valori medi	3,7	3,150409357							7,05556E-05	10198,30028
T10	I lettura	4,2		12,1	4	13	6,66667E-05	2,96667E-05	7,43333E-05	3,23333E-05	
	valori medi	4,2	3,576140351							3,23333E-05	15929,20354
T11	I lettura	4,6		-4	-6,5	1	1,33333E-05	2,16667E-05	3,33333E-06	1,27778E-05	
	valori medi	4,6	3,916725146							1,27778E-05	20454,54545



# IL NUOVO CALCESTRUZZO.

IL CALCESTRUZZO AL PRIMO POSTO. E IN TERZA EDIZIONE.

ENCO S.R.L. - Via delle Industrie, 18 - Ponzano Veneto (TV)  
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237 - [www.encosrl.it](http://www.encosrl.it) - [info@encosrl.it](mailto:info@encosrl.it)



# LA MARCATURA CE DEGLI AGGREGATI PER CALCESTRUZZO

Emanuela Croce - Enco srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

## PREMESSA

La corretta applicazione delle norme europee nel caso della marcatura CE degli aggregati per calcestruzzi, assume un'importanza proporzionale alla complessità del quadro normativo vigente. L'insieme delle norme è rappresentato dalla convivenza e la rapida successione di circolari informative, disposizioni e normative emanate da livelli legislativi a diversa competenza (Europa, Stato, Regioni), cui fanno seguito provvedimenti attuativi da parte dei Ministeri di pertinenza e degli Enti preposti alla normativa tecnica. Tale quadro normativo pone in difficoltà gli operatori del settore che devono adeguare la produzione, i controlli e la vendita facendo riferimento a norme spesso complesse e, talvolta, contraddittorie. Un aiuto agli operatori viene fornito dalle associazioni di categoria che, numerose, si sono attivate per offrire ai propri associati una serie di Linee Guida per affrontare una valida attuazione delle norme.

Questo articolo è un contributo alla comprensione dei riferimenti normativi relativi alla marcatura CE degli aggregati per calcestruzzi.

Tra le normative di riferimento, funge da base di partenza la direttiva 89/106, che impone a tutti i prodotti immessi sul mercato e destinati alle costruzioni, la marcatura CE. Il mandato della UE M/125 stabilisce che anche gli aggregati per calcestruzzo siano sottoposti a tale direttiva e, in particolare, che tutti gli inerti messi in commercio dopo il 1 giugno 2004 debbano avere la marcatura CE.

Tutto questo è regolato a livello nazionale dai DPR 21 aprile 1993, n.246, di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione e 10 dicembre 1997, n. 499 Regolamento recante norme di attuazione della direttiva 93/68/CEE per la parte che modifica la direttiva 89/106/CEE in materia di prodotti da costruzione.

La marcatura CE verrà assegnata secondo due diversi livelli di severità:

- Livello 4 : (più semplice) per gli inerti impiegati in uso a basso rischio di sicurezza. In questo caso è necessario avere un Sistema di Controllo del Processo, in pratica un Sistema Qualità, anche non certificato, eseguire tutte le prove previste dalla norma, rispettare i valori limite imposti dalla norma stessa.

- Livello 2 + : (più complesso) per gli inerti impiegati in uso ad alto rischio di sicurezza. In questo caso è necessario avere un Sistema di Controllo del Processo, certificato, eseguire tutte le prove previste dalla norma, rispettare i valori limite imposti sempre dalla norma.



Anche se non formalmente comunicato, è stata data indicazione che il livello di attestazione (2+ o 4) sarà definito direttamente o dalle Direzioni Lavori, o dai progettisti o nei contratti e nei capitolati di appalto.

Sarà quindi il Committente che definirà quale livello di attestazione dovrà avere il fornitore di inerti; il livello 2+ sarà richiesto in tutte le opere pubbliche di un certo impegno.

Al produttore di inerti che commercializza il suo prodotto si chiede di:

- applicare un Sistema di controllo del Processo, molto simile al Sistema Qualità, in Azienda;
- capire a quali usi questo può essere destinato per individuare le norme da rispettare e le prove minime da eseguire;
- certificarsi con un organismo notificato per il sistema 2+;
- sottoscrivere un'auto dichiarazione per il sistema 4.

#### DALLA NORMATIVA EUROPEA A QUELLA ITALIANA

Al fine di eliminare gli ostacoli relativi al libero scambio delle merci in Europa, rappresentati dalle diverse normative tecniche in vigore nei Paesi membri dell'Unione Europea, dal 1985 il Consiglio delle Comunità Europee ha optato per un sistema flessibile di normative tecniche che concentra l'attenzione sui soli aspetti essenziali del prodotto. In questo contesto le direttive europee in tema di libera circolazione sono state caratterizzate da:

- definizione dei requisiti essenziali cui i prodotti devono conformarsi;
- predisposizione di norme europee armonizzate al fine di trasformare i requisiti essenziali in requisiti di prestazione;
- attestazione di conformità di ciascun prodotto alla sua norma specifica attraverso un sistema di marcatura: il marchio CE.

Per quanto riguarda la categoria dei prodotti da costruzione, il processo di armonizzazione della normativa tecnica ha previsto l'emanazione, nel 1989, della Direttiva 89/106. Nella direttiva si prevede che i prodotti da costruzione abbiano caratteristiche tali da garantire che l'opera, o parte di essa, risponda a requisiti generali di sicurezza. Tali requisiti essenziali sono stati poi oggetto di ulteriori precisazioni attraverso i "documenti interpretativi" che hanno armonizzato la terminologia ed i concetti di base, i metodi di calcolo e quelli di prova, creando un riferimento per una successiva emanazione di norme armoniz-

zate. L'attività di predisposizione di norme armonizzate vere e proprie è svolta dal CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) che agisce sulla base di un preciso incarico ricevuto dalla Commissione Europea. Tale incarico è il cosiddetto Mandato attraverso il quale si stabiliscono le caratteristiche di prestazione che dovranno essere prese in considerazione dalle norme armonizzate per ogni prodotto ed il sistema di attestazione di conformità relativo.

Nel caso degli aggregati la Direttiva 89/106 ha dato vita al Mandato M125. Il CEN, nell'ambito dell'M125, ha individuato nella norma relativa ad ogni famiglia di prodotti, le caratteristiche essenziali per quei tipi particolari di aggregati, non tenendo in considerazione le caratteristiche prestazionali irrilevanti.

Il CEN ha individuato come rilevanti, ai fini del rispetto dei requisiti essenziali, le seguenti proprietà:

<b>DIMENSIONE, FORMA E MASSA DELLE PARTICELLE</b>
<b>RESISTENZA ALLA FRAMMENTAZIONE/FRANTUMAZIONE</b>
<b>PULIZIA</b>
<b>RESISTENZA ALLA LEVIGABILITÀ/ABRASIONE/USURA</b>
<b>COMPOSIZIONE CHIMICA</b>
<b>STABILITÀ VOLUMETRICA</b>
<b>ASSORBIMENTO D'ACQUA</b>
<b>SOSTANZE PERICOLOSE</b>
<b>DURABILITÀ AL GELO</b>
<b>DURABILITÀ CONTRO LA REAZIONE ALKALI-AGGREGATO</b>

Fig. 1 - UNI-EN 993-1  
(analisi granulometrica per stacciatura)



In base alle proprietà essenziali suddette ed in base al Mandato ricevuto, il CEN ha elaborato le seguenti norme:

- EN 12620 Aggregati per il calcestruzzo
- EN 13043 Aggregati per miscele bituminose
- EN 13055-1 Aggregati leggeri per calcestruzzi e malte
- EN 13055-2 Aggregati leggeri per miscele bituminose
- EN 13139 Aggregati per malta
- EN 13242 Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile
- EN 13383 Aggregati per opere di protezione
- EN 13450 Aggregati per massicciate ferroviarie

Le norme armonizzate sono state redatte tenendo conto delle esigenze, delle condizioni ambientali e della pratica d'uso delle diverse nazioni europee. Esse non escludono che a livello nazionale siano emanate, con un provvedimento ministeriale, delle istruzioni complementari allo scopo di adeguare alcune parti della norma alla pratica d'uso consolidata e valida ove gli aggregati sono utilizzati; ad esempio in Italia le istruzioni complementari per l'applicazione delle norme armonizzate potrebbero prevedere di non considerare obbligatoria l'esecuzione della prova di valutazione della percentuale di conchiglie negli aggregati, in quanto in Italia a differenza di altri Paesi del Nord Europa, non si usano aggregati di origine marina. Allo stesso modo in Italia non è obbligatoria la prova di usura agli pneumatici chiodati dal momento che nel nostro Paese non è previsto l'utilizzo di tali pneumatici; quindi pur trattandosi di una caratteristica armonizzata, cioè che si riferisce alle norme EN, non viene misurata perché non contemplata dalla legislazione nazionale del prodotto (NPD: nessuna prestazione determinata). Ci sono inoltre delle categorie dette NR (nessun requisito) che possono essere utilizzate per quelle proprietà che non sono richieste per tutte le destinazioni d'uso. Ad esempio il valore della prova Los Angeles è richiesto solo per calcestruzzi ad elevata resistenza, e quindi per le altre applicazioni può essere dichiarata la categoria NR.

#### ATTESTAZIONE DI CONFORMITÀ (MARCHIO CE)

E' la procedura mediante la quale viene dichiarata la conformità del prodotto alle specificazioni tecniche delle norme armonizzate che lo riguardano.

Nel caso degli aggregati, come si è già detto, i sistemi

di attestazione di conformità sono due e sono stabiliti in base alla sicurezza dell'opera:

- livello 2+ è il più restrittivo ed è destinato a trovare applicazione nelle opere che richiedono un elevato grado di sicurezza: In questo caso è richiesta la dichiarazione di conformità rilasciata dal produttore sulla base di prove iniziali; inoltre è previsto l'intervento di un organismo notificato che effettui la sorveglianza sul controllo del processo di produzione;
- livello 4 viene applicato per tutti gli altri casi che non siano rientrati nell'ambito del livello 2+. In questo caso è richiesta la sola dichiarazione di conformità rilasciata dal produttore, sulla base di prove iniziali e del controllo del processo di produzione effettuato sotto la propria responsabilità.

In Italia il Ministero competente non ha ancora definito le modalità di individuazione delle opere ad elevati requisiti di sicurezza; è quindi il produttore che sceglie di adottare l'uno o l'altro sistema; mentre in alcuni paesi, come ad esempio in Spagna e ed Austria, è stato stabilito di attenersi solo all'attestazione di conformità più restrittiva (2+).

#### IL CONTROLLO DELLA PRODUZIONE DI AGGREGATI

Con l'entrata in vigore del nuovo quadro normativo i produttori sono tenuti a dichiarare le caratteristiche degli aggregati che producono, e a garantirne la rispondenza ai requisiti dichiarati. Il presupposto perché il produttore possa rilasciare la dichiarazione di conformità, è rappresentato da:

- realizzazione di prove iniziali;
- avvio di un sistema di controllo del processo di produzione.

**Le prove iniziali** hanno lo scopo di caratterizzare e designare il prodotto in funzione della sua possibile destinazione d'uso. Al fine di garantire, in maniera costante nel tempo, la rispondenza degli aggregati ai requisiti previsti dalla norma, esse devono essere ripetute in caso di ogni:

- nuova fonte di estrazione di aggregato;
- variazione della natura delle materie prime;
- variazione delle condizioni di lavorazione tale da far variare le proprietà dell'aggregato.

**Il controllo del processo di produzione**, indicato tecnicamente come CPF (Controllo di Produzione in Fabbrica), è descritto in 9 punti ai quali il produttore deve

conformarsi per poter applicare la marcatura CE alla propria produzione:

1	ORGANIZZAZIONE
2	PROCEDURE DI CONTROLLO
3	GESTIONE DELLA PRODUZIONE
4	CONTROLLI E PROVE
5	REGISTRAZIONE
6	CONTROLLO DEI PRODOTTI NON CONFORMI
7	MOVIMENTAZIONE, STOCCAGGIO E CONDIZIONAMENTO SUL SITO
8	TRASPORTO E IMBALLAGGIO
9	FORMAZIONE DEL PERSONALE

Di seguito vengono approfonditi i punti che interessano, oltre che il produttore, gli eventuali laboratori subappaltati.

Punto 2: ogni produttore deve redigere e tenere aggiornato un manuale di controllo della produzione che definisca le procedure per soddisfare le esigenze dei 9 punti. I documenti che costituiscono il CPF sono, in genere:

- il manuale di qualità;
- il piano di controllo dei prodotti;
- le procedure operative e di controllo;
- le schede di istruzione;
- i moduli di registrazione.

**Se il fornitore decide di subappaltare una o più operazioni, dovrà definire le modalità di gestione del subappalto: definizione dell'operazione subappaltata, preventivo, buono d'ordine, modalità di ricezione, etc. In ogni caso il produttore conserva la responsabilità di tutte le prestazioni appaltate.**

Punto 4: il produttore deve pianificare l'esecuzione delle prove rispettando le frequenze minime e i piani di controllo definiti dalla norma. Sia che realizzi direttamente le prove, o che le subappalti parzialmente o totalmente, il produttore deve conservare le registrazioni dei risultati e dare evidenza del controllo della loro conformità. Naturalmente il produttore è responsabile della corretta metodologia dei prelievi, delle prove e dei sistemi di controllo adottati. Il fornitore deve precisare per ciascuno dei suoi prelievi: il luogo, la data, il nome della persona che ha effettuato il prelievo, la denominazione del prodotto. La frequenza delle prove è comunque necessariamente definita in un piano di controllo; la norma prevede la pos-

sibilità di variare le frequenze specificate sotto riserva di giustificare tecnicamente queste modifiche. Le frequenze potranno sia essere aumentate nel caso siano riscontrate anomalie di produzione, che diminuite nel caso in cui si constati un elevato grado di costanza nella produzione.

Punto 6: per "non conformità" di un aggregato si intende uno scostamento rispetto ai valori caratteristici e prestazionali previsti dalla norma e/o dai valori dichiarati alla vendita e/o richiesti dal cliente. Quando un controllo o una prova, rivelano che un prodotto è non conforme occorre:

- sottoporlo ad una diversa metodologia di produzione;
- destinarlo ad un utilizzo per il quale risulti conforme;
- rigettarlo ed identificarlo come non conforme.

**Il produttore deve registrare tutti i casi di non conformità, ricercarne la causa e, se necessario, intraprendere un'azione correttiva**

I RISVOLTI OPERATIVI DELLA NORMA UNI EN 12620 AGGREGATI PER CALCESTRUZZO.

Per l'applicazione in Italia della EN 12620 sono in corso di elaborazione due norme:

- la UNI 8520-1 che definisce le caratteristiche che devono essere dichiarate e garantite dal produttore di aggregati;
- la UNI 8520-2 che definisce i requisiti minimi necessari che l'aggregato deve possedere in funzione della destinazione finale del calcestruzzo.



Fig. 2 - UNI-EN 993-9 (valutazione dei fini: prova del blu di metilene)

Gli aggregati destinati alla produzione di calcestruzzi possono provenire da giacimenti naturali e rocce frantumate (**secondo la nuova norma sia i materiali tal quali, che quelli frantumati vengono designati come “naturali”**), idonee scorie industriali, materiale di riciclo, da demolizione e artificiale ottenuto mediante specifiche lavorazioni.

Gli aggregati devono essere designati come segue:

a) provenienza (nome della cava o del punto di estrazione) e produttore. Se il materiale è stato ripreso in un deposito o lavorato meccanicamente, sia la fonte che il deposito devono essere dichiarati;

b) indicazioni sulla natura petrografia. Descrizione sintetica delle caratteristiche petrografiche (UNI EN 932-3);

c) dimensione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 12620. Tutti gli aggregati devono essere designati in base alla loro dimensione inferiore (d) e superiore (D), con la seguente denominazione: aggregato d/D. I filler, aggregati prevalentemente passanti allo staccio 0.063, sono classificati in funzione dei tratti sugli stacci 2, 0.125, 0.063. **Il produttore oltre a fornire la designazione d/D deve dichiarare la relativa categoria granulometrica G, definita in funzione della granulometrica dell'aggregato e della percentuale passante agli stacci D e d (UNI 12620 4.3).**

L'aggregato può essere designato mediante una descrizione di questo tipo:

(granulometria) (categoria) (origine) (frantumazione) costituito da (petrografia) proveniente da (giacimento) ed eventualmente rimaneggiato in (deposito); esempi:

- Aggregato 0/31.5 mm, GA 85 naturale non frantumato, costituito da ghiaie e sabbie fluviali con litologia mista prevalentemente calcarea e dolomitica proveniente dalla cava “Sabbione”.
- Aggregato 0/2 mm, GF85 naturale frantumato, costituito da frammenti di rocce calcaree provenienti da dalla cava “Calcarea” e di rocce plutoniche provenienti dalla cava “Plutone”.
- Aggregato 4/10 GC85/20 GT15 mm naturale/riciclato frantumato, costituito da calcestruzzi strutturali demoliti e calcari selciferi provenienti dalla cava “Selci”.

Tutti gli aggregati devono essere designati in base alla loro dimensione inferiore (d) e superiore (D), le dimensioni dell'aggregato devono essere specificate da una coppia di stacci scelti dalla serie di base o dalla serie di base più la serie 1, oppure dalla serie di base più la serie 2. La desi-

gnazione dell'aggregato secondo la UNI 12620, in base al diametro minimo e massimo di una frazione di aggregato differisce dal sistema precedentemente usato in Italia: la UNI 12620 richiede la presenza di granuli sopravaglio e sottovaglio rispetto alle dimensioni nominali; da questo scaturisce la seguente terminologia:

<b>AGGREGATO GROSSO</b>
<b><math>d \geq 2 \text{ mm}</math> e <math>D \geq 4 \text{ mm}</math></b>
<b>AGGREGATO FINE (SABIA)</b>
<b><math>D \leq 4 \text{ mm}</math></b>
<b>MISTO GRANULOMETRICO NATURALE 0/8</b>
<b><math>D \leq 8 \text{ mm}</math></b>
<b>AGGREGATO MISTO</b>
<b><math>d = 0 \text{ mm}</math> e <math>D \leq 45 \text{ mm}</math></b>
<b>FILLER</b>
<b>granuli prevalentemente passanti allo staccio 0,063 mm</b>

Queste definizioni non considerano semplicemente il diametro massimo e minimo dei vagli di selezione, ma richiedono anche un attento controllo delle cosiddette “code” cioè delle percentuali di prodotti trattenuti e passanti dai vagli ai due estremi e delle caratteristiche intermedie.

Quando si verifica la produzione almeno il 90% delle granulometrie, esaminando lotti diversi in un periodo massimo di 6 mesi, dovrà rientrare nei limiti specificati per le tolleranze rispetto alle granulometrie tipiche dichiarate dal fornitore.

Il contenuto dei fini, ovvero la percentuale passante allo staccio 0.063 mm, deve essere dichiarata dal fornitore.

Quei prodotti che pur provenendo da depositi alluvionali, sono il risultato sia di un processo di selezione, sia di frantumazione, devono essere considerati, al fine di valutare il contenuto di passante, come aggregati frantumati solamente se prevale la parte frantumata.

## BIBLIOGRAFIA

- Linee guida per la marcatura CE degli aggregati. A cura di: ATECAP e A.N.E.P.L.A. Ed. Edizioni Pei srl.

- Raccolta di linee guida su calcestruzzo preconfezionato, calcestruzzo strutturale ad alta resistenza, calcestruzzo strutturale. A cura di: Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale. Progetto Ulisse, AITEC, ASSOBETON, ATECAP. Ed La Fiaccola srl.

Riduzione  
dei tempi di posa

Riduzione  
dei tempi  
di costruzione

Riduzione  
dell'inquinamento

Qualità  
estetica dell'opera

# REOCAL S.C.C.

Calcestruzzo Autocompattante

Tecnica ed  
Innovazione



**Calcestruzzi**  
Italcementi Group

[www.calcestruzzi.it](http://www.calcestruzzi.it)



# SCIENZA ED ARTE DEL TITANIO

Pietro Pedferri - Politecnico di Milano - [pietro.pedferri@polimi.it](mailto:pietro.pedferri@polimi.it)

Il titanio è stato uno degli ultimi metalli a trovare impiego nel mondo industriale. Utilizzato dapprima nel campo aerospaziale per scopi militari, a partire dagli anni '70 trova sbocchi nell'industria chimica, aeronautica, meccanica, per poi entrare negli ultimi decenni nei settori energetico, biomedico, architettonico, del restauro, dello sport e del tempo libero.

Finora sono state sfruttate soprattutto le sue caratteristiche di leggerezza, di resistenza meccanica, di resistenza alla corrosione e di biocompatibilità. È possibile che nei prossimi anni si sviluppino altre applicazioni legate alle proprietà del velo di ossido che si può ottenere sulla sua superficie o ai colori cui dà origine. Ed è proprio del titanio ricoperto da questo velo e delle sue tinte che vogliamo parlare.

Diciamo subito che solo due metalli sono di per sé colorati: l'oro e il rame. Tutti gli altri, una sessantina, titanio compreso, presentano tonalità più o meno chiare, tra il grigio e il bianco. Spesso, tuttavia, le loro superfici appaiono colorate. A volte questo si verifica perché, si ricoprono di patine di prodotti di corrosione; altre volte perché si rivestono di un velo di ossido sottilissimo e trasparente, in

grado di riflettere e rifrangere la luce e quindi di produrre il fenomeno noto con il nome di 'interferenza'. È quello che succede al titanio ossidato.

Infatti se sulla superficie di questo metallo si produce una pellicola di ossido, facendo ad esempio passare una corrente continua dal titanio ad una soluzione (cioè ossidando anodicamente il metallo), la superficie assume colori che dipendono dallo spessore di questo film. Più precisamente portando il potenziale applicato nel processo di ossidazione da qualche volt a 140 volt, questo spessore passa da qualche nanometro, cioè da qualche milionesimo di millimetro, a più di 300 nanometri, e i colori cambiano secondo la sequenza: giallo – porpora – blu – azzurro – argento – giallo – rosa – violetto – turchese – verde – verdegiallo – rosa – verde con un'infinità di tinte intermedie (Fig. 1). Sono colori altrettanto belli di quelli dei fiori, degli animali, dei minerali o degli spettacoli naturali come l'arcobaleno, le aurore, i tramonti. Purtroppo c'è una lacuna in questa scala: ci sono diverse tinte rossastre, diversi tipi di rosa (rosa shocking, rosa antico, rosa quarzo), diversi tipi di porpora, ma manca il rosso vivo.

I film di ossido che danno colori di interferenza non si producono solo per ossidazione anodica, anche se questa rimane la via maestra per ottenerli. Film colorati di questo tipo si possono produrre anche ad alta temperatura per reazione con l'ossigeno; e non solo su titanio ma su molti altri metalli. Sono di interferenza, ad esempio, le tinte che si vedono spesso in vicinanza delle saldature, sulla superficie dei trucioli prodotti dalla lavorazione al tornio, sui pezzi sottoposti a trattamenti termici o che operano ad alta temperatura. E, se lasciamo il campo dei metalli, sono di interferenza anche i colori iridescenti dei film di olio sull'acqua, delle bolle di sapone, delle piume di certi uccelli (quelle del pavone ad esempio), delle ali di certe farfalle, del corpo di certi pesci o insetti.

Vediamo di illustrare questo fenomeno molto brevemente per non correre il rischio di togliere incanto o poesia ai colori che produce come pare sia successo a Keats quando gli venne proposta la spiegazione dei colori dell'arcobaleno.

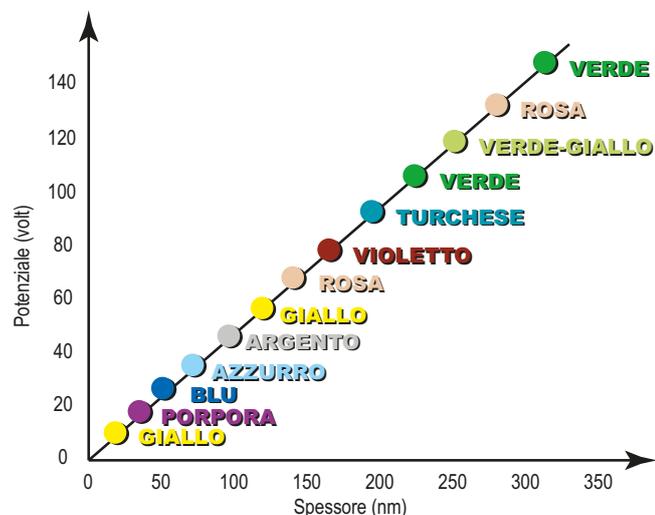


Fig. 1 - Potenziale elettrico e spessori della pellicola d'ossido e colori della prima scala su titanio

## L'interferenza da film sottile

Quando osserviamo una superficie di titanio ricoperta da una pellicola di ossido, il nostro occhio è raggiunto da due onde luminose sovrapposte: una riflessa dalla faccia superiore del film che è a contatto con l'atmosfera e l'altra dalla faccia inferiore che invece è a contatto con il metallo (Fig. 2). La seconda onda luminosa effettua in più, rispetto alla prima, un doppio attraversamento dell'ossido. Se supponiamo che la superficie del titanio sia illuminata con luce monocromatica, quest'onda esce in fase con l'altra solo se tale percorso addizionale contiene un numero intero di lunghezze d'onda; in caso contrario risulta fuori fase, oppure, addirittura, in opposizione di fase se il percorso contiene un numero dispari di mezza lunghezze d'onda.

Consideriamo i due casi estremi. Quando fra le due oscillazioni vi è una perfetta sincronia - a cresta corrisponde cresta, a valle corrisponde valle - le due onde sovrapponendosi si rafforzano. Quando invece le due oscillazio-

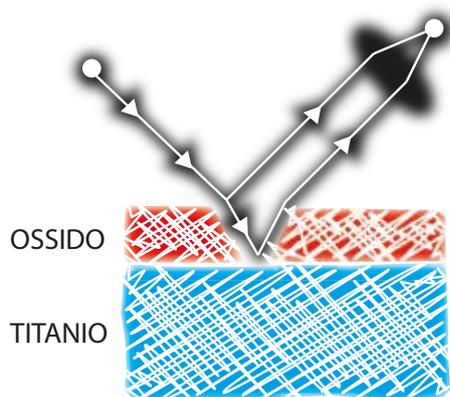


Fig. 2 - L'interferenza alla superficie del titanio ossidato

ni sono in opposizione di fase, sommandosi si annullano. Naturalmente nelle situazioni intermedie si potrà avere, a seconda dei casi, un'interferenza additiva o invece sottrattiva e quindi rafforzamento o invece affievolimento di certe bande di colori.

Di conseguenza, se illuminiamo la lastra ricoperta da un film di un certo spessore con luce bianca, che contiene tutti i colori, le due onde per un determinato colore, cioè per una certa lunghezza d'onda, arrivano al nostro occhio in concordanza di fase e quindi vi è un rafforzamento, mentre per un altro colore risultano in opposizione di fase e quindi vi è estinzione. Per tutti gli altri colori si verifica una situazione intermedia e, a seconda dei casi, si ha un loro rafforzamento o un loro affievolimento. Naturalmente al variare dello spessore del film variano sia i colori che si rafforzano sia quelli che si indeboliscono o

addirittura si annullano, e pertanto varia la tinta che l'osservatore percepisce.

## La memoria del titanio

Ritorniamo al titanio. Per ottenere colori intensi e preziosi e per le applicazioni di cui diremo più avanti le cose sono un po' più complicate di come le abbiamo esposte sopra. Per chiarirle è necessario ricordare un particolarissimo comportamento del titanio che è stato messo in evidenza molti anni fa.

Si tratta di un comportamento che si ricollega più al mondo vivente che a quello inorganico e che può essere visto come una sorta di *imprinting*. Come il primo oggetto in movimento che gli anatrocchi di Lorenz vedono appena usciti dal guscio ne condiziona il comportamento per tutta la vita, così il valore del potenziale che il titanio 'vede' negli istanti iniziali della sua ossidazione condiziona le proprietà dell'ossido con cui verrà poi ricoperto. E come quello degli anatrocchi, anche questo *imprinting* è precoce, nel senso che il codice di comportamento che il potenziale trasmette al metallo può essere registrato solo nei primissimi istanti della crescita dell'ossido, anche se manifesta i suoi effetti a crescita ultimata; ed è irreversibile, perché non può essere variato una volta inserito.

Si possono così avere tre situazioni a seconda che negli istanti iniziali (cioè nei primi millesimi di secondo) l'ossidazione si produca a potenziali uguali, superiori o inferiori ad un valore critico che dipende dall'ambiente in cui si opera.

Se l'ossidazione inizia proprio al valore critico si ottiene un film il cui spessore cresce con il potenziale fino a superare i 300 nanometri quando si raggiungono i 140 volt attraverso tutta la scala dei colori prima descritta. Al microscopio si può osservare che i colori sono perfettamente uniformi e distribuiti su tutta la superficie. Questa scala di colori è la più ricca di tinte e presenta i colori più intensi, per questo la chiamiamo 'prima' o 'principale'. Gli spettri di diffrazione ai raggi X e quelli Raman provano che i film di ossido di questa scala hanno una struttura amorfa come quella del vetro anche agli spessori più elevati. I film amorfi portati a 400°C oppure a 600°C si trasformano in film cristallini di anatasio o rispettivamente di rutilo.

Se l'ossidazione inizia a valori inferiori al valore critico solo alcune facce dei grani cristallini che costituiscono il metallo si ricoprono dello stesso film amorfo. Sulle altre si forma invece un film bianco di struttura non ben definita. Si ottiene quindi ancora la scala cromatica principale ma più sbiadita della precedente e tanto più sbiadita quanto più il potenziale iniziale si discosta da quello critico.

Infine se l'ossidazione inizia al valore critico si formano ossidi cristallini. Questi film danno luogo ai colori della 'seconda' scala cromatica, meno ricca di tinte della prima, con colori che passano dal rossastro, al turchese, al bianco per assumere una tonalità marrone oltre i 100 volt. I film della seconda scala hanno sempre uno spessore che non supera mai i 10-20 nanometri.



Dopo l'istante iniziale, è dunque possibile cambiare i colori ma solo all'interno della prima o, rispettivamente, della seconda scala, ma non è possibile passare da tinte dell'una a tinte dell'altra scala. Questo comportamento può a prima vista sembrare addirittura una limitazione come quella di un pianoforte che attiva soltanto i tasti bianchi o soltanto quelli neri a seconda che la prima nota sia prodotta da un tasto bianco o invece nero. Ma non è affatto così. Diverse applicazioni sono basate su quanto la 'memoria' del titanio preclude non meno che su quanto consente.

### Alcune applicazioni ingegneristiche

Prima di illustrare l'utilizzazione delle scale cromatiche accenniamo a una serie di applicazioni del titanio ossidato anodicamente sviluppate nel nostro Dipartimento. Alcune si basano sulla maggior resistenza alla corrosione del titanio ricoperto con film amorfi rispetto al titanio naturale. Altre sulla maggior durezza e

resistenza all'usura che si è in grado di conferire a questi film con trattamenti laser. Altre sulle loro caratteristiche foto-elettrochimiche. Altre ancora sulle proprietà del titanio ricoperto da anatasio prodotto per riscaldamento a 400°C dei film amorfi. Per queste ultime è opportuna qualche precisazione in più.

Dell'anatasio sono ben note le proprietà catalitiche e le applicazioni nel campo del disinquinamento ambientale legate alla sua attività foto-ossidativa soprattutto in presenza di raggi ultravioletti. I primi risultati, relativi a misure della capacità di superfici di titanio ricoperte dal velo di anatasio di degradare composti aromatici, sono promettenti. Se questa attività catalitica varrà anche per altri composti e risulterà stabile nel tempo le applicazioni nel settore del disinquinamento non mancheranno. Ad esempio una lampada di titanio ossidato, oltre a svolgere la sua funzione specifica e a presentare un aspetto piacevole, potrà anche contribuire a mantenere pulito l'ambiente.



Dell'anatasio è poi nota l'attività antibatterica. Nel laboratorio 'BioCell' del nostro Dipartimento questa proprietà è stata documentata. Il titanio ricoperto dal film amorfo e poi trattato a 400°C può pertanto trovare impiego nel campo biomedicale sia per protesi (ad esempio per il trattamento degli impianti dentali osteointegrati dove l'adesione della placca batterica è considerata una delle principali cause di insuccesso; oppure per impianti chirur-

gici dove il problema delle infezioni batteriche è importante), sia per realizzare ambienti asettici (le pareti di una camera operatoria ad esempio).



Un'ultima applicazione riguarda l'ossidazione anodica con produzione di un film di anatasio che facilita l'osteointegrazione di impianti dentali e di protesi ortopediche evitando la formazione di tessuto connettivo fibroso all'interfaccia osso-impianto, condizione necessaria per avere impianti stabili e durevoli. Questo trattamento si ottiene ad alti potenziali in corrispondenza ai quali si verifica la perforazione del film di ossido con innesco di scariche elettriche localizzate che consentono di produrre una superficie microporosa e di inglobare all'interno del film specie chimiche presenti nel mezzo in cui il trattamento è realizzato, in particolare calcio e fosforo.

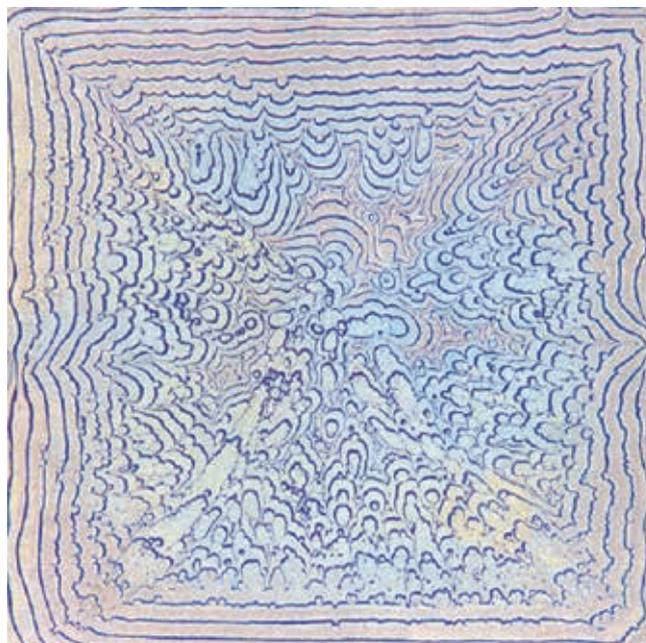
Negli ultimi due anni il Politecnico di Milano ha depositato diversi brevetti su queste applicazioni e ha fatto nascere una società *spin-off* specializzata nella realizzazione di trattamenti di finitura superficiale del titanio che contribuirà alla valorizzazione dei risultati della ricerca sviluppata dal Dipartimento in questo settore.

### I colori e le 'apparenze'

Passiamo ora alle forme e ai colori. La disponibilità di film amorfi che danno origine ai colori della prima scala e di quelli cristallini con i colori della seconda, la possibilità di ottenere superfici con colorazioni perfettamente uniformi o con gradazioni continue in una gamma molto ampia di tinte, la possibilità di localizzare il colore sulla superficie del titanio per esempio ricorrendo a un pennello imbevuto di soluzione salina e opportunamente adattato per trasportare la corrente elettrica, fanno sì che l'ossidazione anodica del titanio possa diventare una tecnica di pittura

che potremmo dire 'tradizionale', o quasi.

Il titanio, peraltro, consente di ottenere immagini di origine diversa per definire le quali è giusto ricorrere al nome glorioso di 'apparenze' introdotto nel 1827 ai primordi dell'elettrochimica da Leopoldo Nobili, l'inventore della metallocromia. Queste apparenze mostrano aspetti invisibili di fenomeni già avvenuti o mentre si producono sulla superficie del titanio. Abbiamo chiamato le prime 'di campo', le seconde 'di movimento'. Le apparenze del primo tipo si ottengono quando si ossida il titanio con correnti distribuite in modo non uniforme. Esse costituiscono la mappa degli spessori degli ossidi prodotti e della carica scambiata. In condizioni particolari e con qualche approssimazione danno la distribuzione della corrente sulla superficie del titanio e il campo elettrico nelle sue immediate vicinanze: in questi casi, rappresentano la 'soluzione cromatica' dell'equazione di Laplace relativa al campo elettrico che li ha generati. Queste apparenze 'fotografano' quindi il 'paesaggio' nanostrutturato degli ossidi e i vari colori, come le curve di livello, ne danno l'orografia'. Possono ovviamente essere variate nelle forme e nei colori cambiando la distribuzione di corrente, le condizioni operative o quelle al contorno ma sempre portano a 'paesaggi' immobili, eterei, stupefatti e, anche se descrivono il mondo infinitamente piccolo e complesso ove operano le nanotecnologie, trasmettono visioni astrali e 'sensazioni di levità, di sospensione, di calmo incantesimo' come direbbe Calvino.



Le apparenze di movimento si ottengono invece applicando a una lastra di titanio potenziali oscillanti tra il valore critico e un potenziale superiore mentre la lastra stessa viene a contatto con una soluzione. Ogni volta che il potenziale si allontana dalla soglia critica o vi fa ritorno, per cui cambia la scala cromatica, sulla superficie del titanio rimane impressa la posizione del liquido. Queste

apparenze sono quindi cronofotografie: il fenomeno ripreso è il movimento del liquido e la frequenza degli scatti è quella delle oscillazioni del potenziale. Apparenze simili possono descrivere processi chimico-fisici. Ad esempio immergendo nel liquido conduttore una lastra previamente 'bagnata' con un liquido non conduttore e operando in modo analogo a quello appena descritto, si possono fissare le successive posizioni del fronte di avanzamento della soluzione mentre sposta dalla superficie il liquido che la ricopre, lo porta in soluzione, si miscela o reagisce con questo.

Le apparenze di movimento dipendono ovviamente dalle modalità con cui hanno luogo i processi che le producono e quindi ci sono molti modi per variarle. Ad esempio è possibile farlo curvando, intagliando, forando, piegando le lastre e dando al loro contorno forme particolari; ponendo ostacoli sulla loro superficie o modificandone la rugosità; cambiando le modalità di immersione nella soluzione: velocemente o lentamente, in modo continuo o discontinuo, con mano ferma o tremolante, con giacitura orizzontale, verticale, inclinata, con la faccia rivolta verso l'alto o verso il basso; cambiando la natura, la composizione, gli additivi della soluzione conduttrice e dei liquidi non conduttori; facendo correre la soluzione in un canale o agitandola in modo da creare onde, scie, vortici o increspandone la superficie con tutti i trucchi che abbiamo imparato da bambini nel giocare con l'acqua della vasca da bagno e delle pozzanghere; o ancora ricorrendo a getti, zampilli o cascate. Con tutto questo e altro ancora, ad esempio variando la frequenza, il ritmo e il potenziale applicato, è possibile far sì che la natura si riveli in un numero praticamente illimitato di forme, superando con

le sue infinite possibilità l'immaginazione dell'uomo. Proprio come sosteneva Pascal: 'L'imagination se lassera plutôt de concevoir que la nature de fournir'. A differenza delle apparenze di campo dove prevalgono i paesaggi fuori dal tempo e dove le modulazioni dei colori organizzano lo spazio, quelle di movimento raccontano 'la storia' di come particolari processi fisici o chimici si sono prodotti e le discontinuità cromatiche, generate dal pulsare ciclico del potenziale, scandiscono il tempo, come il ritmo in musica. Verrebbe da dire, parafrasando Klee, che mentre le prime pongono ordine alla quiete, le seconde lo pongono al movimento. Le apparenze di campo e quelle di movimento sono dunque diverse e trasmettono sensazioni diverse. C'è una cosa però che fanno in egual misura e altrettanto bene. È quella di mostrare che il lato nascosto della natura reso da loro visibile non cede per bellezza a quello che si offre quotidianamente al nostro sguardo.

A volte chi fa nascere le apparenze, oltre che essere l'operatore alla 'macchina da presa', è lo sceneggiatore e il regista nel senso che dapprima immagina la 'storia' idraulica o chimico-fisica da mettere in scena, poi la fa avvenire sulla superficie del titanio - sulla ribalta del titanio verrebbe voglia di dire - e ne registra la magia e le leggi evolutive. Il momento più intenso è quello in cui, immaginato il fenomeno, si accinge a produrlo. Qui inizia lo stato di attesa, la suspense, 'il segreto magnetismo che hanno le soglie, i passaggi, l'intravedere, il contatto con l'inconosciuto', per usare le parole del poeta e collega Giancarlo Consonni, e da questo momento tra operatore e fenomeno naturale scatta una sorta di comunanza creativa.

Il metodo cronofotografico proposto non è quindi sol-



tanto un mezzo per svelare, ammirare o studiare un mondo di fenomeni naturali spesso altrimenti invisibile. È anche uno strumento per interagire, modificare, giocare con questo mondo e per utilizzarlo, attraverso le risorse della fantasia e dell'inventiva, al fine di crearne un altro fatto di forme che non riproducono più quelle della natura, anche se ne rispettano fedelmente le leggi. Insomma 'un immaginario progettato', scrive Lodovico Meneghetti, 'fuori le casuali forme fantastiche della natura, ma dentro le sue regole fenomeniche'.



### Altre potenzialità

Ci siamo soffermati a lungo sulle apparenze ma un'identica attenzione avremmo potuto dedicarla ad altri effetti grafici e cromatici che è possibile ottenere su titanio e dei quali ci limitiamo a ricordare il modo di produrli.

Uno consiste nell'applicare tra un pennello mosso alla superficie del titanio e la superficie stessa una successione di impulsi elettrici tali da portare quest'ultima a potenziali oscillanti attorno alla soglia critica, così da ottenere un'alternanza di colori della prima e della seconda scala che fissa le successive posizioni del fronte avanzante del pennello con lo stesso ritmo con cui vengono inviati gli impulsi.

Un secondo consiste nell'attaccare selettivamente gli ossidi e quindi i colori della seconda scala e rimpiazzarli per successiva ossidazione con altri della prima.

Un terzo nel trattare con soluzioni particolari le lastre di titanio ossidato per passare dal colore al bianco e nero.

Un quarto nel produrre colori perfettamente stabili e altri invece a decadimento programmato. E infine un altro ancora nell'incidere selettivamente la superficie del titanio e creare rugosità differenziali oppure zone riflettenti o al contrario opache, e quindi effetti di profondità, di tridimensionalità e giochi cromatici speciali anche utilizzando illuminazioni che alternano luce bianca e colorata.



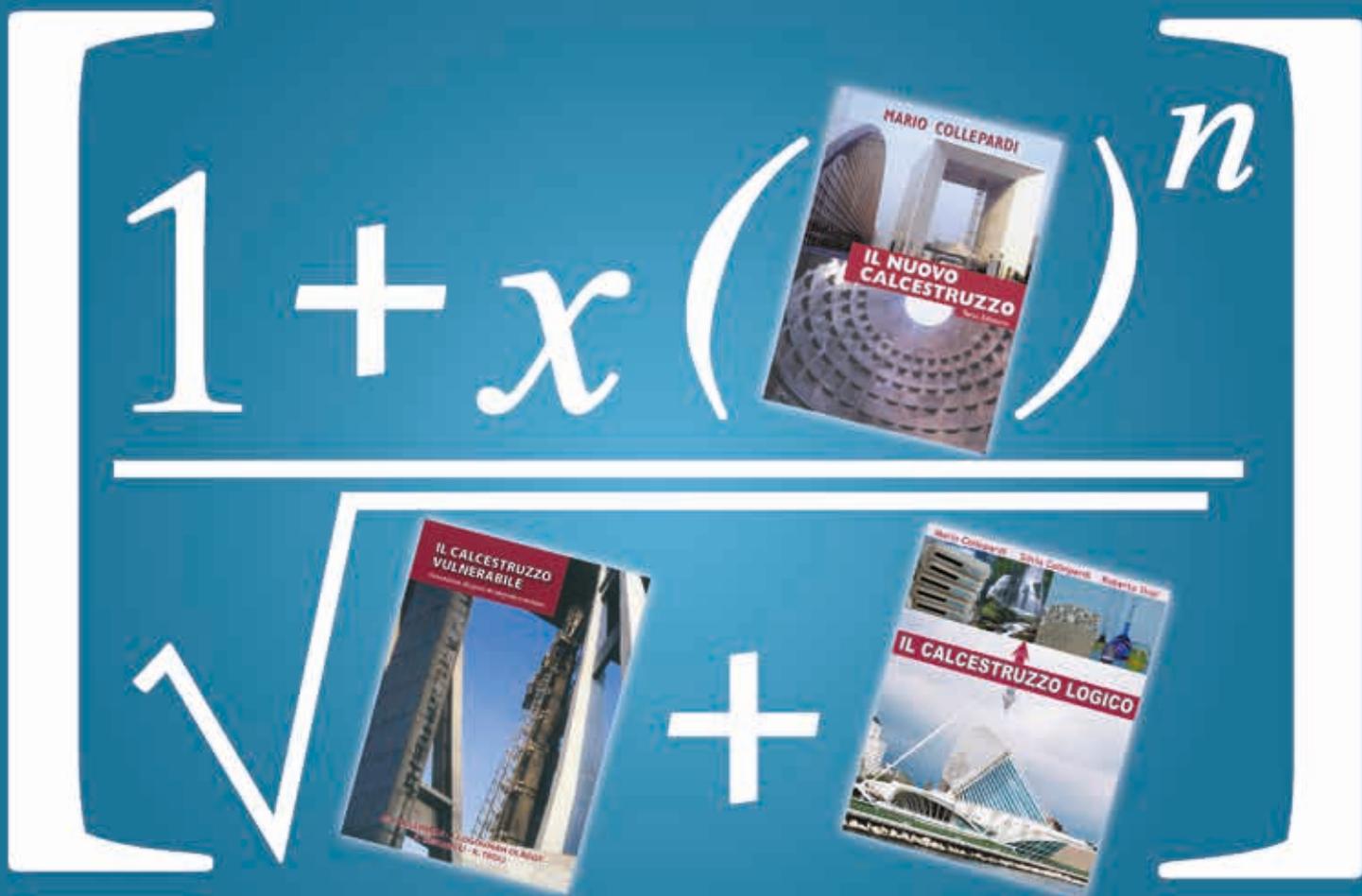
### CONCLUSIONI

Abbiamo visto alcune possibili applicazioni del titanio ossidato anodicamente. Si può notare che il titanio, mentre trent'anni fa ci portava sulla luna, è stata infatti con capsula di titanio che si è raggiunto il nostro satellite, oggi ci sta spingendo nel mondo dei film sottili e quindi dei nanomateriali. Questo per quanto riguarda l'ingegneria.

Ma è evidente che questo materiale con i suoi colori, le sue apparenze, la sua luce non può non interessare anche il mondo dell'architettura e quello del design in tutte le sue declinazioni, dall'arredamento, ai prodotti, alla comunicazione visiva, alla moda: insomma il mondo del 'made in Italy'.

D'altra parte, come scrive Consonni, la disponibilità di un materiale straordinario, che permette di ottenere 'colori preziosi e forme non imitate ma fatte produrre dalla natura stessa in tutta la loro perentoria eleganza, non può che tradursi in una sfida al suo uso artistico'.

Io spero proprio che qualche studente raccolga questa sfida.



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

**Forza di Gruppo**

**COLACEM**

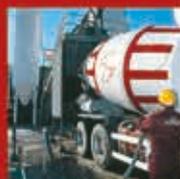
**colabeton**



12 impianti in Italia e all'estero per la produzione di leganti idraulici



120 centrali di betonaggio



22 impianti di frantumazione, lavaggio e selezione aggregati



310 mezzi per un servizio tempestivo



una divisione centrale di ricerca e 7 laboratori di area a disposizione della clientela



**DIREZIONE GENERALE**  
Via della Vittorina, 60 Gubbio - Perugia  
[www.colacem.it](http://www.colacem.it)  
[www.colabeton.it](http://www.colabeton.it)