

2005

Trimestrale

Anno X

Numero 29

ENCO

JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

ShFC

MAI PIÙ PAVIMENTI COSÌ!

ShFC (leggi: esse-acca-effe-ci):

Shrinkage-Free Concrete ➔ Calcestruzzo Senza Ritiro



CEMENTI PORTLAND E D'ALTOFORNO



PERFORMANCE

BELLEZZA

FORZA

DURABILITA'



Prodotto da
MICRON
MINERAL

Via del Bragozzo 11
48100 RAVENNA Italy
Tel 0544 431411 Fax 0544 435330
granCem@micronmineral.it



BOLOGNA SAIE - SALA ITALIA

SABATO - 15 OTTOBRE
ORARIO 9:30 - 12:30

Conferenza

INNOVAZIONI TECNOLOGICHE NELLE OPERE IN C.A.

Relatori:

Michele Valente (G.A. SpA)

Il ruolo della G.A.: innovazione e sistema

Mario Collepari (Enco srl)

Additivi su misura del CLS
preconfezionato e prefabbricato

Roberto Troli (Enco srl)

Calcestruzzi senza ritiro

Franco Mola (Politecnico di Milano)

SCC: proprietà ed applicazioni

SCHEDE DI PARTECIPAZIONE

(da inviare per conferma via fax al num. 0422 969740)

La consegna della documentazione è garantita solo alle persone che daranno conferma della partecipazione almeno 7 giorni prima del seminario

NOME/COGNOME _____

SOCIETA'/ENTE _____

VIA _____ N _____

LOCALITA' _____ CAP _____

TEL. _____ FAX _____ E-MAIL _____

INGEGNERE

ARCHITETTO

GEOMETRA

PROGETTISTA

PREFABBRICATORE

PRECONFEZIONATORE

IMPRESA

Autorizzo la G.A. SpA a utilizzare questi dati per l'invio di aggiornamenti
periodici (Dichiarazione ai sensi della Legge 675/96)

Firma: _____

Innovazione e Sistema

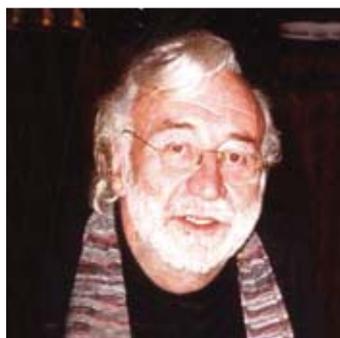
ADDITIVI



CALCESTRUZZO



Ing. Michele Valente
Presidente e Amministratore Delegato
di General Admixtures (G.A.) Spa



Prof. Mario Collepari
Presidente di Enco Srl

GENERAL **G.A.** ADMIXTURES

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Trimestrale - Anno X - Numero 29

Direttore Mario Collepari

CALCESTRUZZI INNOVATIVI

Il calcestruzzo è considerato un materiale tradizionale che tutti ritengono di poter fare. Ho conosciuto perfino un magistrato che - avendo impastato calcestruzzo a mano e trasportato l'impasto con una cariola per il giardino della sua casa - riteneva di poter essere esperto in calcestruzzo nei processi di sua competenza su questo argomento.

In verità, in seguito alle ricerche degli ultimi decenni, il calcestruzzo oggi disponibile è un materiale multiforme. Intendo dire che esso è disponibile in tante versioni che vanno dal "normale" calcestruzzo durabile in accordo alle normative europee (EN) al calcestruzzo fibro-rinforzato (*Fiber-Reinforced Concrete, FRC*); dal calcestruzzo ad alte prestazioni, (*High-Performance Concrete, HPC*) a quello ad alto contenuto di ceneri volanti (*High-Volume Fly Ash Concrete, HVFAC*); dal calcestruzzo auto-compattante (più noto come *SCC, Self-Compacting Concrete*) al calcestruzzo a ritiro compensato (noto anche come *Shrinkage Compensating Concrete, ShCC*); dal calcestruzzo a ritiro ridotto grazie agli additivi *SRA, Shrinkage Reducing Admixture*, al calcestruzzo senza ritiro (*ShFC, Shrinkage-Free Concrete*) per l'effetto sinergico tra nuovi polimeri superfluidificanti ed agenti espansivi.

Accanto a questa proliferazione di calcestruzzi innovativi, l'applicazione pratica stenta a decollare per diverse ragioni: la prima delle quali è l'ignoranza sulle proprietà di questo materiale come conseguenza di una dissennata politica didattica negli istituti tecnici e nelle Università italiane che relega lo studio della Scienza dei Materiali - e del calcestruzzo in particolare - ad un ruolo subalterno rispetto alla Scienza delle Costruzioni. Ne consegue che i nostri Geometri, Architetti ed Ingegneri Civili poco o nulla sanno su queste innovazioni e - ciò che è più grave - neppure sulle vigenti normative, frutto postumo di alcune di queste innovazioni.

Stante questa situazione, si può prevedere che tra una scoperta scientifica nel settore dei calcestruzzi e la sua applicazione pratica debbano passare uno o più decenni. Per esempio, i superfluidificanti attualmente sono impiegati (oltre 200 milioni di litri/anno in Italia) quasi da tutti i produttori di calcestruzzo preconfezionato per forniture di calcestruzzo a prestazione; tuttavia la loro invenzione risale agli inizi degli anni '70 del secolo scorso. Con questa premessa, mi chiedo quanto tempo debba trascorrere per evitare gli inconvenienti evidenziati in copertina mediante l'adozione di calcestruzzi senza ritiro (*ShFC*) per i pavimenti industriali o per le pavimentazioni autostradali ed aeroportuali. Intendo dire quanto tempo trascorrerà prima che l'impiego di questi calcestruzzi diventi una prassi e non l'eccezionale avanguardia di qualche illuminata impresa specializzata nel settore delle pavimentazioni, delle gallerie, delle opere autostradali ed aeroportuali.

Mario Collepari

In copertina: una composizione di Fabio Santos

Copie stampate: 18.000 delle quali 17.000 distribuite a mezzo posta

SOMMARIO

**CALCESTRUZZO A RITIRO
RIDOTTO O NULLO**
di A.Borsoi, P.Birane,
W.Parente e M.Collepari

(pag. 6)

**ADERENZA MATRICE AGGREGATO
IN CALCESTRUZZO RICICLATO**
di M.Casuccio, G.Giaccio
e R.Zerbino

(pag. 10)

IL MOSAICO
di E.Croce e G.Fazio

(pag. 15)

**HENRY LOUIS CHATELIER
DIALOGO TRA UN ALLIEVO E IL
SUO EX-PROFESSORE DI CHIMICA**
di S.Meriani

(pag. 21)

**UM IMPALCATO RIGIDO:
IL SOLAIO LEGNO-LEGNO**
di F.Favero, F.Simonelli
e A. Pianizzolla

(pag. 25)

SCC CON ACQUA VISCOSA
di S.Collepari, J.O.Olagot,
M.P.Birelli e R.Troli

(pag. 28)

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

**Direttore
Responsabile**
MARIO COLLEPARDI

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

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

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

Grafica e Stampa
GRAFICHE TINTORETTO
di Rino Lucatello & C. S.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

CALCESTRUZZO A RITIRO RIDOTTO O NULLO



Antonio Borsoi, Pape Birane,
Walter Parente e Mario Collepari
Enco - Engineering Concrete
Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

Il ritiro igrometrico: cause e conseguenze

Il calcestruzzo - a differenza di altri materiali come l'acciaio, il vetro, la ceramica, ecc - oltre a subire una contrazione di origine termica a seguito del raffreddamento ambientale, subisce anche una contrazione di origine igrometrica determinata dall'essiccazione indotta da un ambiente insaturo di vapore ($U:R < 95\%$). Questa seconda contrazione - solitamente chiamata "ritiro" - risulta essere molto più pericolosa in quanto può raggiungere valori molto più elevati (fino a $500-1000\mu\text{m/m}$) che non le contrazioni legate alle variazioni termiche ambientali in servizio¹.

La ragione per la quale il ritiro è molto temuto in una struttura in c.a. è dovuto al fatto che in realtà il calcestruzzo non è libero di contrarsi, ma risulta essere impedito dalla presenza di vincoli quali i ferri di armatura, gli attriti per il contatto con sottofondi, ed i collegamenti con altre strutture. Ne consegue che il ritiro (ϵ), che si sarebbe verificato se la struttura fosse libera di muoversi, si trasforma in realtà in una sollecitazione a trazione (σ_t) secondo l'equazione [1]:

$$\sigma_t = E \epsilon \quad [1]$$

dove E è il modulo elastico del calcestruzzo. In realtà la sollecitazione σ_t può essere in parte mitigata dal rilassamento della tensione provocata dallo scorrimento viscoso a trazione (C):

$$\sigma_t = E (\epsilon - C) \quad [2]$$

Si può stabilire se la sollecitazione a trazione σ_t è in grado o meno di fessurare il calcestruzzo se si conosce l'andamento nel tempo di σ_t e di R_t (resistenza a trazione). In Fig. 1 sono mostrate tre situazioni in corrispon-

denza delle quali si verifica:

A) una mediocre stagionatura che favorisce lo sviluppo del ritiro ϵ , e quindi l'instaurazione di una forte sollecitazione a trazione (σ_t) che supera la resistenza a trazione R_t con conseguente fessurazione al tempo t_1 ;

B) una stagionatura umida iniziale (1-2 giorni) che ritarda lo sviluppo del ritiro ϵ , e quindi della tensione di trazione σ_t : la fessurazione viene ritardata al tempo $t_2 > t_1$;

C) una stagionatura umida così accurata e prolungata (almeno 7 giorni) da favorire un forte rallentamento iniziale nello sviluppo del ritiro e nell'insorgere della

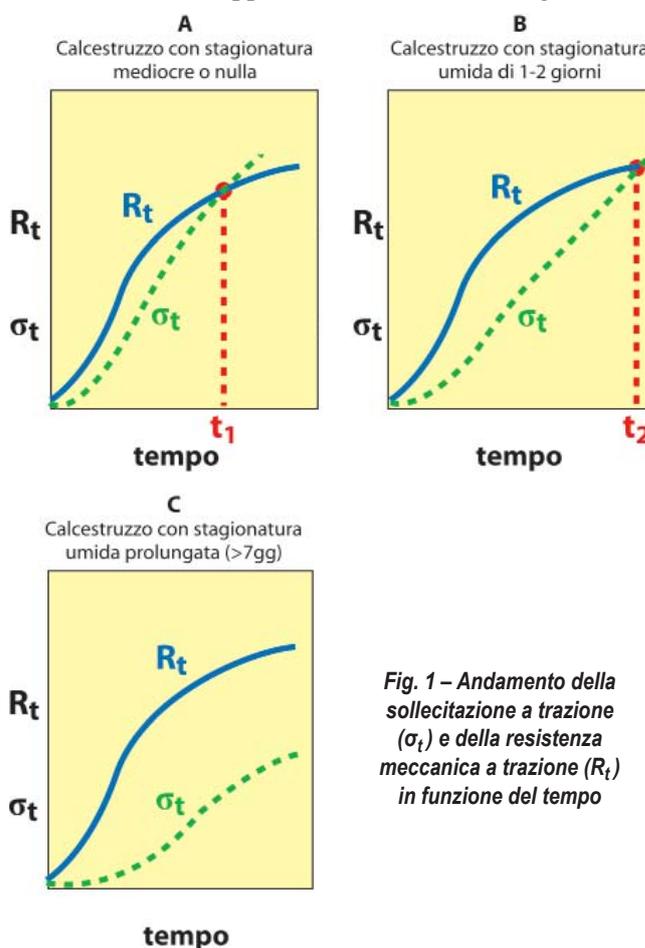


Fig. 1 - Andamento della sollecitazione a trazione (σ_t) e della resistenza meccanica a trazione (R_t) in funzione del tempo

¹ Non rientrano in questa categoria le contrazioni differenziali che si instaurano in un getto massivo a seguito del gradiente termico tra nucleo più caldo e periferia più fredda.

tensione σ_t , al punto che la resistenza a trazione R_t - favorita invece dalla stagionatura umida - non viene più raggiunta dalla tensione di trazione σ_t : in questo caso la fessurazione non avviene mai.

La situazione rappresentata dalla situazione C) in Fig. 1 è piuttosto rara perchè comporta una stagionatura umida prolungata durante il cui periodo cresce R_t mentre ε e σ_t rimangono nulli. La stagionatura umida, o quanto meno la protezione della superficie con teli o membrane anti-evaporanti, dovrebbe essere attuata immediatamente al momento della scasseratura soprattutto quando l'ambiente si presenta asciutto, caldo e ventilato. Nel caso dei pavimenti la situazione è ancora più grave perchè la superficie del calcestruzzo rimane subito e sempre in balia delle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente, a meno che non venga immediatamente protetta nella fase di presa e/o bagnata subito dopo il suo indurimento.

Le fessure indotte dal ritiro igrometrico rappresentano un attentato alla durabilità delle opere in c.a. in quanto - nonostante il basso rapporto a/c adottato in conformità della norma UNI EN 206 - la presenza delle fessure consente agli agenti aggressivi ambientali di penetrare il calcestruzzo e di raggiungere eventualmente i ferri di armatura. Inoltre, nel caso dei pavimenti industriali, in corrispondenza delle fessure le sollecitazioni meccaniche dovute al transito di carrelli possono ulteriormente aggravare la situazione di degrado. Per eliminare le fessure indotte dal ritiro sono possibili due approcci:

- **ridurre il ritiro** e in modo che la curva della tensione di trazione σ_t in funzione del tempo t non raggiunga mai la resistenza a trazione R_t come si verifica per il caso A di Fig.2;
- **annullare il ritiro** e in modo che la curva della tensione di trazione σ_t in funzione del tempo t rimanga

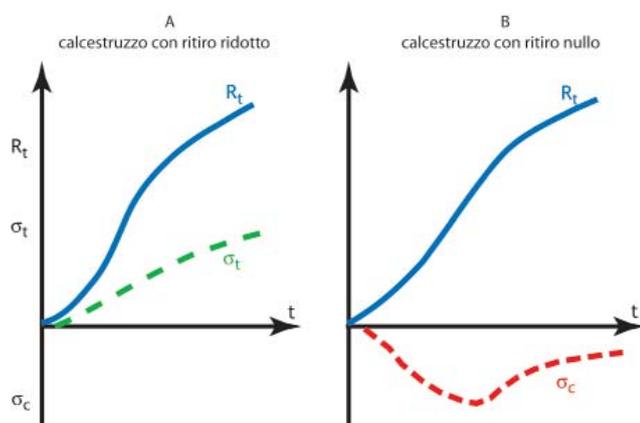


Fig. 2 – Andamento della resistenza meccanica a trazione (R_t) e della sollecitazione a trazione σ_t (caso A) o della sollecitazione a compressione σ_c (caso B)

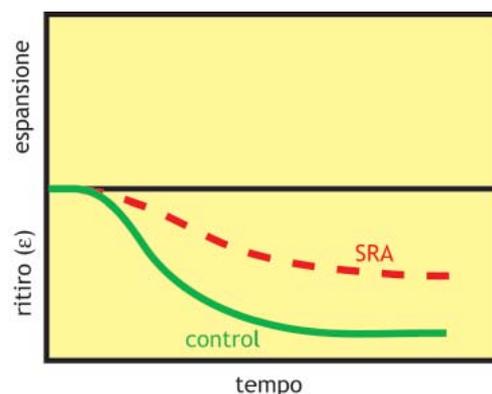


Fig. 3 - Andamento nel tempo del ritiro (ε) in un calcestruzzo normale ed in uno additivato con SRA

sempre adagiata sull'ascissa o addirittura risulti in posizione opposta a quella della sollecitazione di trazione, e cioè in condizione di una sollecitazione di compressione σ_c estremamente favorevole ad una situazione di stabilità dimensionale (caso B di Fig 2): questa situazione è simile a quella che si instaura nel calcestruzzo precompresso caratterizzato, appunto, da una sollecitazione di compressione σ_c nel calcestruzzo e di trazione σ_t nei ferri di armatura.

Calcestruzzo con ritiro ridotto

Esistono oggi materiali capaci di ridurre il ritiro anche in condizioni sfavorevoli di mancata stagionatura umida del calcestruzzo dopo la rimozione delle casseforme. Si tratta di additivi denominati SRA (*Shrinkage-Reducing Admixtures*) capaci di attenuare il ritiro igrometrico di circa il 50% nel periodo iniziale e di circa il 30% a tempi più lunghi (> 1 mese) come è schematicamente illustrato in Fig. 3.

In una versione più moderna, la molecola degli additivi SRA si presenta incorporata nella struttura degli additivi superfluidificanti di tipo policarbossilico capaci anch'essi di contribuire alla riduzione del ritiro grazie al loro effetto di riduzione dell'acqua di impasto per una data lavorabilità. Nel caso di questi superfluidificanti particolari, con la molecola di SRA incorporata nella struttura molecolare dei policarbossilati, come si verifica negli additivi della serie GiNIUS della GA General Admixtures, la molecola di SRA entra in azione gradualmente, rilasciata nella fase acquosa dagli additivi di tipo GiNIUS, con un'ulteriore riduzione del ritiro grazie a due distinti effetti benefici:

- trattengono l'umidità all'interno del calcestruzzo anche in ambienti insaturi di vapore (**effetto anti-evaporante**);
- riducono la tensione superficiale dell'acqua (**effetto tensioattivo**) che rimane nei pori capillari e fanno quindi diminuire la pressione capillare che spinge l'una verso l'altra le particelle di cemento idratato.

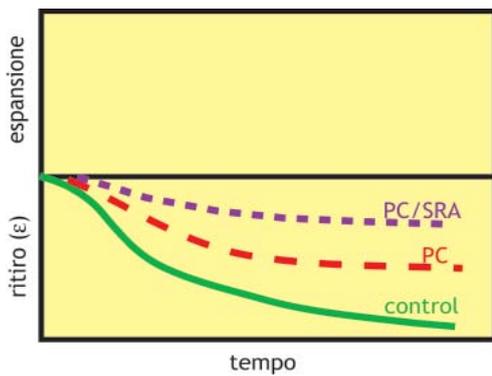


Fig. 4 – Influenza sul ritiro di un additivo policarbossilico (PC) e di un additivo policarbossilico (PC/SRA) che, oltre a ridurre l'acqua, riduce anche il ritiro

La Fig. 4 mostra schematicamente il comportamento del ritiro in:

- un calcestruzzo non additivato (control);
- un calcestruzzo con meno acqua di impasto a seguito dell'aggiunta di un superfluidificante acrilico policarbossilico capace di ridurre l'acqua di impasto (come per esempio gli additivi della serie PRiMIUM della GA);
- un calcestruzzo con superfluidificante di tipo GiNIUS che, oltre a ridurre l'acqua di impasto, agisce anche sulla riduzione del ritiro grazie all'effetto anti-evaporante ed a quello tensioattivo.

Calcestruzzo a ritiro ridotto per pavimenti senza rete metallica

Una versione ulteriormente migliorata di calcestruzzo a ritiro ridotto prevede l'aggiunta di fibre polimeriche (Fig. 5), tipo quelle FIBER-COLL della GA che, grazie al loro rapporto d'aspetto (lunghezza/diametro) molto elevato ed al comportamento post-fessurativo a trazione (Fig. 6), possono bloccare lo sviluppo delle eventuali micro-fessure iniziali. In queste condizioni (additivo tipo GiNIUS più fibre tipo FIBER-COLL) il rischio di una propagazione delle fessure è ridotto dalla presenza delle fibre che intercettano e bloccano le eventuali poche fessure appena formate. Questa strategia si sta rivelando particolarmente favorevole nel settore delle pavimentazioni industriali, dove l'impiego di calcestruzzo a ritiro ridotto e fibro-rinforzato ha portato a ridurre e perfino ad eliminare le armature

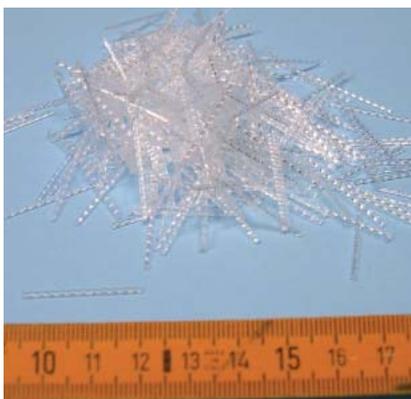


Fig. 5 – Fibre polimeriche per ridurre/bloccare la crescita delle fessure del ritiro

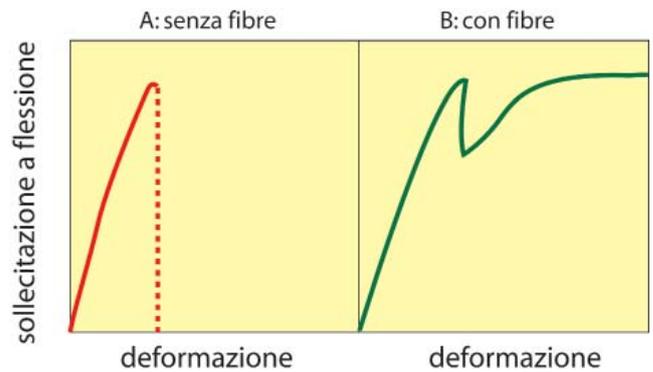


Fig. 6 – Curva di sforzo-deformazione in travetti di calcestruzzo (10x10,50 cm) senza e con fibre FIBER-COLL (GA)

metalliche con grandi vantaggi nella esecuzione pratica delle pavimentazioni.

Il calcestruzzo a ritiro nullo

Il precursore del calcestruzzo a ritiro nullo (ShFC, *Shrinkage-Free Concrete*) è noto con il nome di calcestruzzo a ritiro compensato (ShCC, *Shrinkage-Compensating Concrete*). Tuttavia, nel settore delle nuove costruzioni questo calcestruzzo ha avuto uno scarso successo per la difficoltà operativa di dover bagnare con acqua la superficie del manufatto subito dopo la presa.

La difficoltà a realizzare questa operazione risiede nel fatto che la maggior parte dei manufatti - ad eccezione delle pavimentazioni industriali - non sono scassabili e pertanto diventa impossibile bagnare con acqua la superficie del calcestruzzo subito dopo la presa. La necessità di bagnare risiede nel fatto che, nel calcestruzzo a ritiro compensato ShCC, è presente un agente chimico capace di provocare un'azione opposta al ritiro, cioè un'azione espansiva. Se l'espansione si verifica dopo la presa, quando il calcestruzzo ha cominciato ad indurire e ad aderire ai ferri di armatura, si verifica un benefico effetto di co-azione che consiste nella messa in trazione delle armature metalliche ed in una compressione del calcestruzzo. Questo principio di funzionamento richiede però che il materiale venga costantemente bagnato in superficie durante l'espansione (Fig. 7A) nel periodo compreso tra la presa e il termine dell'espansione (da uno a sette giorni a seconda del particolare agente espansivo). Questa operazione è praticamente possibile solo nel caso di calcestruzzo per pavimenti industriali o di conglomerato spruzzato come per esempio si verifica nel restauro del calcestruzzo degradato riparato mediante applicazione a spruzzo di malte premiscelate a ritiro compensato. Anche in queste situazioni, dove la tecnologia dell'ShCC è potenzialmente applicabile, si sono talvolta verificati frustranti insuccessi (pavimenti fessurati e malte distaccate) per il mancato rispetto da parte dell'impresa a mantener bagnata la superficie tra

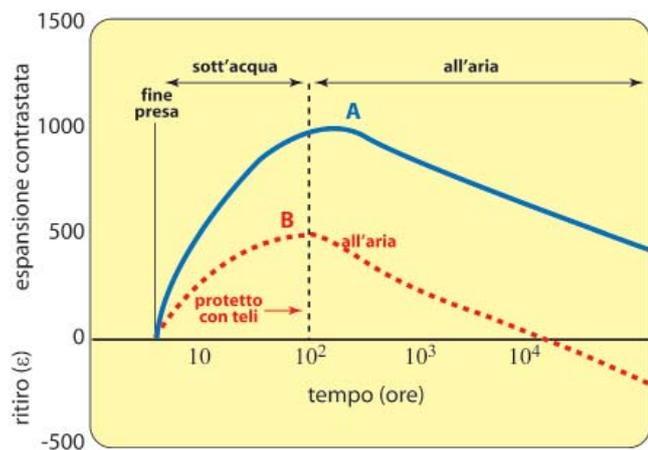


Fig. 7 – Espansione contrastata dello stesso calcestruzzo con agente espansivo in caso di stagionatura sotto acqua per tre giorni (A) oppure di protezione con teli (B)

il tempo di presa e la fine dell'espansione (Fig. 7B).

Con la nuova tecnologia del calcestruzzo a ritiro nullo ShFC, la bagnatura della superficie del calcestruzzo non è più necessaria nè subito dopo la presa, nè a tempi successivi. Questa novità rende agevole l'adozione di questa tecnologia per la possibilità di eliminare alla radice qualsiasi forma di ritiro nella quale si possa manifestare (ritiro plastico, ritiro autogeno e ritiro igrometrico). Il principio dell'ShFC risiede nella combinata applicazione dell'additivo SRA, del quale si è parlato nel precedente paragrafo, con un agente espansivo capace di esplicitare l'espansione dopo la presa e prima della sformatura delle cassaforme (1-2 giorni). L'ossido di calcio, CaO , purchè cotto ad una temperatura di 1000°C e macinato in modo da avere un assortimento granulometrico tra 10 e $200\ \mu\text{m}$, si presta molto bene a questa tempistica giacchè, reagendo con l'acqua di impasto, si trasforma in calce idrata, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ generando una espansione della matrice cementizia ormai indurita. Questa espansione, come si è già detto non può avvenire, se non in modo trascurabile, in assenza di una bagnatura. Essa si manifesta, invece, anche in assenza di qualsiasi stagionatura umida se la calce è accompagnata dalla presenza di SRA per il summenzionato **effetto anti-evaporante**. Inoltre, a seguito dell'**effetto tensioattivo**, il ritiro che segue l'espansione risulta fortemente ridotto con la conseguenza di lasciare il sistema acciaio-calcestruzzo in uno stato di permanente coazione favorevole all'assenza di ritiro nel calcestruzzo (Fig. 8).

La tecnologia del calcestruzzo a ritiro nullo anche in assenza di stagionatura raggiunge il massimo della prestazione se l'agente riduttore del ritiro SRA è incorporato nella molecola dell'additivo superfluidificante polycarbossilico (PC) - come si verifica nell'additivo di tipo GiNIUS della GA - per la somma sinergica di tre effetti che partecipano alla eliminazione del ritiro:

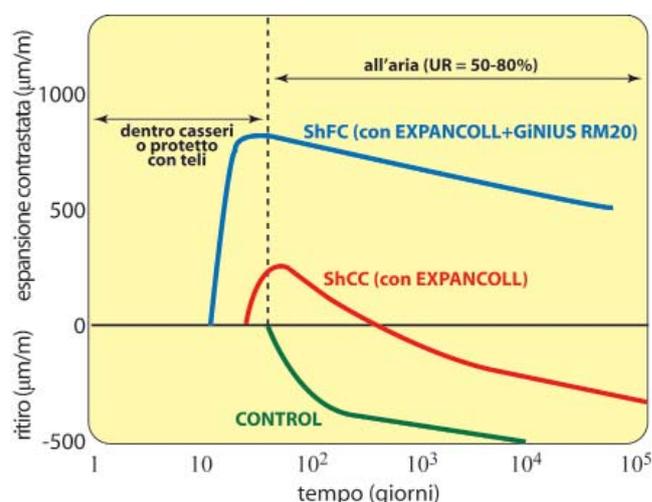


Fig. 8 – Comportamento del calcestruzzo senza ritiro (ShFC) in confronto al calcestruzzo a ritiro compensato (ShCC) ed al calcestruzzo ordinario (control)

- riduzione dell'acqua di impasto e riduzione del ritiro igrometrico;
- rilascio graduale della molecola di SRA da parte del polimero polycarbossilico (PC/SRA) ed eliminazione del ritiro plastico, autogeno ed igrometrico per l'**effetto tensioattivo**;
- presenza dell'agente espansivo che, anche in assenza di stagionatura umida, provoca un'azione opposta a quella del ritiro igrometrico grazie all'**effetto anti-evaporante** della molecola di SRA.

Calcestruzzo a ritiro nullo per costruzioni senza giunti

Questa strategia si presenta particolarmente interessante in tutte le costruzioni (solai, gallerie, muri, pavimentazioni industriali) dove l'assenza di stagionatura umida al momento della sformatura è fonte di indesiderati problemi fessurativi provocati dal ritiro: normalmente per ovviare a questi difetti si provvede al taglio del manufatto per programmarne la fessurazione in corrispondenza dei cosiddetti giunti di contrazione. Con la tecnologia del calcestruzzo a ritiro nullo è possibile aumentare la distanza fra i giunti di contrazione senza ulteriori trattamenti stagionanti delle superficie scasserate almeno dopo 1 giorno dal getto. Inoltre, è possibile realizzare pavimentazioni industriali fino a 800-1000 metri quadrati senza giunti di contrazione, ma lasciando soltanto il giunto di costruzione al termine della giornata lavorativa per la ripresa della pavimentazione nei giorni successivi. L'unico accorgimento da adottare consiste nel proteggere con teli impermeabili, per almeno 1 giorno, la superficie del pavimento al termine dell'applicazione dello spolvero indurente: questa operazione è equivalente alla stagionatura che si realizza nelle strutture scasserate e sformate ad 1 giorno.

ADERENZA MATRICE-AGGREGATO IN CALCESTRUZZO RICICLATO



*Marcia Casuccio**, *Graciela Giaccio***, *Raúl Zerbino****
**Becaria CIC - LEMIT, **Investigador CIC-LEMIT - Prof. UNLP,*
**** Investigador CONICET-LEMIT - Prof. UNLP*
zerbino@ing.unip.edu.ar

RIASSUNTO

In questo lavoro viene presentato uno studio comparativo sull'aderenza alla matrice cementizia degli aggregati naturali e di quelli riciclati da calcestruzzo demolito. L'obiettivo principale è quello di ottenere informazioni sui livelli di aderenza matrice-aggregato per analizzare a posteriori i meccanismi di frattura nel calcestruzzo con inerti riciclati. Questo studio fa parte di un progetto più ampio che tiene conto del crescente interesse nel riutilizzo dei materiali da costruzione. Le variabili analizzate includono, tra le altre, la superficie di aderenza (fratturata o liscia) ed i livelli di resistenza meccanica della nuova matrice cementizia e quella del calcestruzzo riciclato per produrre gli aggregati.

INTRODUZIONE

Il calcestruzzo è un materiale eterogeneo in cui una matrice cementizia porosa circonda un complesso di materiali lapidei (aggregati) di diversa rigidità e dimensione, e distribuito in forma aleatoria. Tra la matrice e gli aggregati esistono zone di transizione (interfaccia) le cui proprietà sono diverse da quelle della matrice. Queste zone di transizione costituiscono le zone di maggior debolezza del calcestruzzo, che controlla il processo di frattura del materiale sollecitato.

Vari lavori hanno dimostrato il ruolo delle zone di transizione nel comportamento meccanico del calcestruzzo e la influenza della resistenza delle materie prime che compongono il conglomerato (malta e aggregato).

Gli effetti della zona di transizione giustificano le differenze nel meccanismo di rottura del calcestruzzo convenzionale e di quello ad alta resistenza (1-2).

L'adesione tra matrice ed aggregato dipende dalle caratteristiche della matrice. Questa influenza dipende anche dal tipo di aggregato e dalla sua tessitura superficiale, dalla presenza di aggiunte minerali e additivi chimici, dall'aria inglobata, ecc. Nel caso degli

aggregati con superficie liscia le fessure, a seguito di sollecitazione, si propagano principalmente lungo la superficie degli aggregati stessi. Nel caso di aggregati con tessitura superficiale più ruvida, le fessure possono svilupparsi anche attraverso la matrice e, in alcuni casi, anche attraverso i granuli dell'aggregato. Le superfici degli aggregati frantumati hanno, in genere, maggiore adesione alla matrice cementizia che non quelle lisce degli aggregati alluvionali, anche se i valori variano ampiamente con il tipo di roccia (3-5).

In aggregati con maggiori assorbimento, come la pietra quarzifica o le argille espanse, l'adesione può aumentare in forma considerevole. Rispetto a questo argomento, gli aggregati ottenuti a partire dal calcestruzzo riciclato presentano un maggiore assorbimento di acqua per la presenza di malta che aderisce all'aggregato originale (6-7). Per questo motivo si è trovato che l'adesione alla nuova matrice cementizia degli aggregati da calcestruzzo riciclato è molto elevata (8).

Lo studio del comportamento del calcestruzzo con aggregati riciclati acquista interesse in quanto la migliore adesione alla nuova matrice cementizia nella zona di transizione è controbilanciata dalla minore resistenza meccanica degli aggregati riciclati. Alcuni ricercatori indicano che nel calcestruzzo con aggregati riciclati, le fessure si propagano con pari frequenza attraverso le interfacce malta-aggregato o attraverso la stessa. Nei calcestruzzo con basso rapporto a/c la resistenza meccanica e l'adesione del giunto malta-aggregato con la nuova matrice cementizia supera la resistenza della vecchia malta riciclata e delle interfacce malta-aggregato, provocando la formazione di fessure attraverso gli aggregati riciclati (8).

L'obiettivo di questo lavoro è quello di ottenere informazioni sui livelli di adesione ottenibili con aggregati riciclati al fine di analizzare i meccanismi di frattura nel calcestruzzo con riciclati aggregati rispetto a quelli conseguibili con aggregati naturali.

ESPERIENZE

In accordo all'obiettivo del lavoro, si è valutata l'adesione di una malta di resistenza normale e di una malta ad alta resistenza meccanica a diversi aggregati riciclati, tenendo conto delle varie tessiture superficiali. Inoltre gli aggregati sono stati caratterizzati in termini di resistenza meccanica, assorbimento e densità.

Metodologia di prova

Per la determinazione dell'adesione matrice-aggregato, sono stati impiegati prismi di sezione da 25 mm, formati da matrice (malta) e aggregato naturale o riciclato con differenti tessiture superficiali; i prismi sono

stato sottoposti a flessione con carico centrale, con una luce fra appoggi di 63 mm. Nella Fig. 1 è mostrato lo schema della prova del carico applicato (3-5).

Il provini sono stati stagionati in acqua satura di calce fino al tempo della prova (14 giorni). Inoltre, allo stesso tempo delle prove di aderenza si è misurata la resistenza a flessione della malta (matrice). Precedentemente era stata determinata la resistenza dell'aggregato usando prismi di uguali dimensioni. Tutte le prove sono state realizzate applicando una deformazione controllata impiegando una velocità di deflessione di 0,2 mm/min.

Materiali e miscele

Gli aggregati sono stati ottenuti a partire dal calcestruzzo riciclato e da pezzi di roccia (granito). Sono stati selezionati aggregati naturali e diversi aggregati riciclati. Fra loro questi: un calcestruzzo riciclato di origine sconosciuta; due calcestruzzi riciclati con rapporto a/c di 0,30 e 0,50; due malte riciclate con rapporto a/c di 0,35 e 0,50. Sono state inoltre determinate la resistenza meccanica, l'assorbimento di acqua a 24 ore, la densità dei materiali in condizione di saturazione a superficie asciutta (s.s.a.). Nella Tabella 1 sono mostrate le caratteristiche dei diversi tipi di aggregati utilizzati.

Per quanto attiene ai valori di assorbimento e di densità (s.s.a.), si osserva un maggiore assorbimento di acqua negli aggregati riciclati ed una maggiore densità nell'aggregato naturale (granito). Analizzando gli aggregati riciclati, si osserva che l'assorbimento è minore nel calcestruzzo che nella malta, mentre il contrario avviene per la densità. Come era prevedibile si osserva un maggiore modulo di rottura nell'aggregato granitico.

Nel caso dei calcestruzzi e delle malte riciclate i prismi con sezione da 25 mm sono stati ottenuti per mezzo di un taglio con sega diamantata. Anche i blocchi di granito sono stati così riprodotti per ottenere i provini prismatici.

I prismi di roccia di calcestruzzo o di malta riciclata sono stati successivamente selezionati con il proposito di ottenere le differenti tessiture superficiali. Per ottenere una determinata tessitura superficiale sono state applicate differenti tecniche: taglio, sabbiatura e frattura. Per i calcestruzzi sono stati utilizzate superfici tagliate e fratturate. Le superfici tagliate (T), ottenute per mezzo di taglio con disco diamantato, sono caratterizzate da una superficie

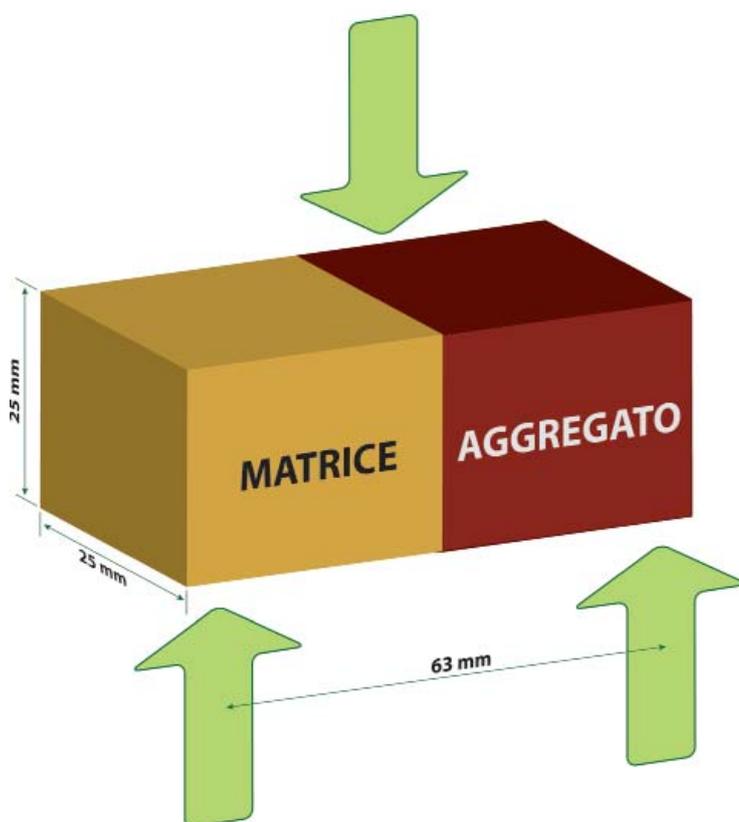


Fig. 1 - Prove di aderenza matrice-aggregato

Tabella 1 - Caratteristiche degli aggregati			
Aggregato	Assorbimento (%)	Densità	Modulo Rottura (MPa)
Granito (G)	0,4	2,60	11,7
Calcestruzzo riciclato sconosciuto (Cs)	5,1	2,50	4,8
Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,3$ (Ca)	4,8	2,53	7,2
Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,5$ (Cb)	5,0	2,38	6,0
Malta riciclata $a/c = 0,3$ (Ma)	2,2	2,18	8,8
Malta riciclata $a/c = 0,5$ (Mb)	4,4	2,23	7,4

liscia. I provini fratturati (F) sono stati ottenuti dalla prova di flessione dei prismi. Nel caso dei calcestruzzi riciclati sono state osservate superfici con tessitura ruvida che cambiava per la presenza degli aggregati originali. Nel caso delle malte sono stati utilizzati provini con superfici fratturate, anche essi risultanti dalla prova di flessione; non si sono registrati gradi di ruvidità molto diverse. Nel caso del granito (3) sono state ottenute superfici con una ruvidità simile alla pietra originale per mezzo della sabbatura delle superfici dei provini previamente tagliati con sega (S).

Per la confezione dei provini formati da aggregato sono state utilizzate due tipi di malta: uno con rapporto $a/c = 0,50$ (malta di resistenza normale) e altro con rapporto $a/c = 0,35$ (malta di alta resistenza). In entrambi i casi si è usato un cemento con filler calcareo. Nel caso della malta con rapporto a/c di 0,35, si è raggiunta la fluidità desiderata utilizzando un additivo

superfluidificante, ed un agente viscosizzante destinato alla produzione di calcestruzzo autocompattante.

La Tabella 2 mostra le composizioni delle malte per ogni rapporto a/c . Sono state impiegate una sabbia fina (modulo di finezza di 1,49) ed una sabbia grossa (modulo di finezza di 2,69). Nella malta convenzionale è stata utilizzata una miscela con 80% di sabbia grossa e 20% di sabbia fina, per ottenere un modulo di finezza di 2,45. Nella malta più fluida si è utilizzata una proporzione di 60% di sabbia grossa e 40% di sabbia fina.

Programma di prove

Sono stati prodotti i provini di malta M1 (resistenza convenzionale) e di tutti gli aggregati disponibili, per valutare sia il diverso comportamento degli aggregati naturali e di quelli riciclati, sia l'influenza sul comportamento delle diverse tessiture superficiali (principalmente T/F). Analogamente sono stati prodotti i provini con malta di elevata fluidità (M2-1 ed M2-2) ed i diversi tipi di aggregati (G, Cs, Ca e Cb), senza valutare in questo caso l'effetto della tessitura superficiale. La Tabella 3 mostra il programma di prove.

Malta	Rapporto a/c	Rel. sabbia/cemento	% additivo utilizzato
M1	0,50	2,2	-
M2-1	0,35	1,5	0,75
M2-2	0,35	1,8	0,40

Matrice	Aggregato	Tessitura
M1	Granito (G)	Sabbatura (S)
M1	Calcestruzzo riciclato sconosciuto (Cs)	Tagliata (T)
M1	Calcestruzzo riciclato sconosciuto (Cs)	Tagliata (T)
M1	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,3$ (Ca)	Fratturata (F)
M1	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,3$ (Ca)	Fratturata (F)
M1	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,5$ (Cb)	Tagliata (T)
M1	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,5$ (Cb)	Fratturata (F)
M1	Malta riciclata $a/c = 0,3$ (Ma)	Fratturata (F)
M1	Malta riciclata $a/c = 0,3$ (Ma)	Fratturata (F)
M2-1	Granito (G)	Sabbatura (S)
M2-1	Calcestruzzo riciclato sconosciuto (Cs)	Tagliata (T)
M2-2	Granito (G)	Sabbatura (S)
M2-2	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,3$ (Ca)	Tagliata (T)
M2-2	Calcestruzzo riciclato $a/c = 0,5$ (Cb)	Tagliata (T)

RISULTATI ED ANALISI

Aderenza matrice-aggregato

Nella Tabella 4 sono mostrati i risultati di resistenza meccanica a flessione delle malte (MMR), di modulo di rottura delle interfacce (IMR), e l'adesione tra le interfacce che è calcolata come il modulo di rottura dell'interfaccia (IMR) diviso il modulo di rottura delle malte (MMR). I valori sono la media di un minimo di 10 determinazioni. E' mostrato il coefficiente di variazione (COV), che è sotto il 10% nel caso di MMR e molto maggiore nel caso delle interfacce. Sono anche mostrati i rapporti dei valori di adesione sulle superfici tagliate rispetto a quelle fratturate (T/F).

I valori indicati evidenziano la maggiore debolezza dell'interfaccia tra le due fasi componenti (malta ed aggregato), evidenziata attraverso un minore modulo di rottura (IMR): Per quanto concerne il tipo di aggregato, si osservano maggiori valori di adesione all'interfaccia nel caso degli aggregati riciclati.

Tabella 4 - Aderenza Matrice-Aggregato

Matrice	Aggregato	Tessitura	Matrice			Interfaccia			IMR/MMR	T/F
			MMR(MPa)	N° prove	COV(%)	IMR(MPa)	N° prove	COV(%)		
M1	(G)	(S)	6,6	22	9	2,3	16	27	0,35	-
M1	(Cs)	(T)	6,6	22	9	2,4	16	26	0,36	0,69
M1	(Cd)	(T)	6,6	22	9	3,5	20	13	0,53	0,69
M1	(Ca)	(F)	6,6	22	9	4,0	10	23	0,61	0,80
M1	(Ca)	(F)	6,6	22	9	5,0	13	8	0,76	0,80
M1	(Cb)	(T)	6,6	22	9	3,3	14	21	0,50	0,72
M1	(Cb)	(F)	6,6	22	9	4,6	11	19	0,70	0,72
M1	(Ma)	(F)	6,6	22	9	3,0	17	16	0,45	-
M1	(Mb)	(F)	6,6	22	9	3,9	30	17	0,59	-
M2-1	(G)	(S)	8,8	17	5	4,4	19	30	0,50	-
M2-1	(Cd)	(T)	8,8	17	5	5,8	10	12	0,66	-
M2-2	(G)	(S)	8,1	30	7	3,0	20	24	0,37	-
M2-2	(Ca)	(T)	8,1	30	7	3,7	20	7	0,46	-
M2-2	(Cb)	(T)	8,1	30	7	3,2	20	15	0,40	-

Valutando i rapporti IMR/MMR si evidenzia che l'adesione matrice-aggregato oscilla fra 0,35 e 0,76 a seconda della natura dell'aggregato e della loro tessitura superficiale. Con gli aggregati riciclati le superfici fratturate sviluppano una maggiore adesione che non quelle tagliate, e ciò è dovuto alla maggiore ruvidità delle prime rispetto alle seconde. I valori tra l'adesione delle superfici tagliate (T) e quelle fratturate (F) si trovano fra 0,69 e 0,80, e questi valori risultano maggiori di quelli determinati (0,40) con l'aggregato granitico naturale in un precedente lavoro (5).

CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale ha evidenziato che la adesione matrice cementizia-aggregato da calcestruzzo riciclato è maggiore o uguale a quelle determinata con gli aggregati naturali maggiormente impiegati nella regione (granitici). Con le superfici tagliate si sono trovati valori di adesione minori rispetto a quelli delle superfici fratturate, e questa differenza è maggiore di quella incontrata per gli aggregati di granito naturale.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Zerbino, R. "Adherencia matriz-agregado, mecanismos de deformación y rotura en hormigón", 1er Cong. Int. Tecnología del Hormigón, Argentina, AATH, 1998, pp. 135-148.
- (2) Giaccio, G. and Zerbino, R., "Failure mechanism of concrete: Combined effects of coarse aggregates and strength level", Advanced Cement Based Materials, Evanston Illions, Elsevier Ed., USA, vol. 7, N° 1, 1998, pp. 41-48.
- (3) Giaccio, G., Giovambattista, A. y Zerbino, R., "Adherencia en las interfaces agregado-matriz", Revista Hormigón 18, AATH, 1990, pp. 19-30.
- (4) Giaccio, G. y Zerbino, R., "Interfaces en el hormigón: Efecto de la textura del agregado", Revista Hormigón 31, AATH, 1997, pp. 23-33.
- (5) Giaccio, G., Zerbino, R. y Giovambattista, A., "Adherencia agregado-matriz", Colloquia 85, Memorias "A", Tecnología de Materiales, Tomo I, 1985, pp. 251-262.
- (6) Cúneo Simián, H. y Durán, G., "Propiedades mecánicas y físicas de hormigones con agregados reciclados", Proc. XII Reunión Técnica AATH, La Plata, 1995, pp. 291-304.
- (7) Di Maio, A., Giaccio, G. y Zerbino, R. "Hormigones con agregados reciclados", Ciencia y Tecnología del Hormigón, N° 9, 2002, pp. 5-10.
- (8) Rasheeduzzafar and Khan, A., "Recycled Concrete - A Source for New Aggregate", Journal Cement, Concrete and Aggregates, ASTM Journal, Vol. 6, N° 1, 1984, pp. 17-27.

"IL" 6 GIORNI DI PALERMO

2° Corso Nazionale del:

"Tecnologo del Calcestruzzo"

Palermo: 26-28 Settembre ; 24-26 Ottobre 2005

Coordinatore Scientifico: **Prof. Ing. Salvatore Lo Presti**



Associazione
Sperimentatori



MURO DI
SOSTEGNO IN
LATTINE DI
ALLUMINIO
APPESANTITE
CON FANGHI
DI MARMO

AGGREGATO
LEGGERO
STRUTTURALE
IN POLISTIRENE
ESPANSO
SINTERIZZATO
RIVESTITO

Calcestruzzi
Innovativi

Elenco dei Docenti

Ing. Dario **ALMESBERGER**.....(Sercotec s.r.l.)
Ing. Vincenzo **CANZONERI**.....(Laboratorio Metro s.r.l.)
Ing. Antonino **CASANO**.....(C.P.C. Costr. Pref. Cem. S.p.A.)
Prof. Mario **COLLEPARDI**.....(Politecnico Milano)
Prof. Luigi **COPPOLA**.....(Università di Bergamo)
Ing. Valeria **CORINALDESI**.....(Univ. Politecnica delle Marche)
Ing. Giuseppe **DI NATALE**.....(Libero Professionista)

Prof. Giovanni **FATTA**.....(Università di Palermo)
Prof. Lidia **LA MENDOLA**.....(Università di Palermo)
Prof. Salvatore **LO PRESTI**.....(Università di Palermo)
Ing. Giuseppe **MARCHESE**.....(Calcestruzzi s.p.a.)
Dott. Roberto **MARINO**.....(Calcestruzzi s.p.a.)
Prof. Giuseppe **MASCOLO**.....(Università di Cassino)
Prof. Sergio **MERIANI**.....(Università di Trieste)

Prof. Saveria **MONOSI**.....(Univ. Politecnica delle Marche)
Prof. Giacomo **MORICONI**.....(Univ. Politecnica delle Marche)
Dott. Francesco **SURICO**.....(Mapei s.p.a.)
Ing. Roberto **TROLI**.....(Laboratorio ENCO s.r.l.)
Ing. Rosario **URSO**.....(Libero Professionista)
Ing. Vincenzo **VENTURI**.....(Laboratorio Sidercem s.r.l.)

Programma del corso:

1° Parte: Storia - Tecnologia - Prestazioni - Produzione

Lunedì 26/09/2005

Prof. M. **COLLEPARDI**..... I calcestruzzi antichi
Ing. G. **MARCHESE**..... I componenti
Prof. S. **MERIANI**..... I componenti
Dott. F. **SURICO**..... I componenti

Martedì 27/09/2005

Prof. M. **COLLEPARDI**..... Il degrado del calcestruzzo
Prof. M. **COLLEPARDI**..... La durabilità delle strutture in calcestruzzo cementizio armato
Prof. M. **COLLEPARDI**..... Il mix design del calcestruzzo
Prof. M. **COLLEPARDI**..... Prescrizioni delle prestazioni del calcestruzzo e delle modalità esecutive

Mercoledì 28/09/2005

Ing. V. **VENTURI**..... La normativa
Dott. R. **MARINO**..... La tecnica e la gestione della produzione del calcestruzzo
Ing. A. **CASANO**..... La Produzione industriale degli elementi costruttivi
Prof. G. **FATTA**..... Le malte storiche

2° Parte: cls Speciali - Controllo di qualità - Risanamento - Ricerca

Lunedì 24/10/2005

Prof. G. **MASCOLO**..... Il ruolo della chimica nel risanamento strutturale
Ing. R. **TROLI**..... I calcestruzzi speciali
Prof. L. **COPPOLA**..... Le opere massive in cls
Prof. G. **MORICONI**..... Il calcestruzzo autocompattante
Ing. V. **CORINALDESI**..... I calcestruzzi ed i materiali riciclati

Martedì 25/10/2005

Ing. V. **CANZONERI**..... I controlli di laboratorio
Ing. R. **URSO**..... I controlli strutturali
Ing. D. **ALMESBERGER**..... Il monitoraggio in tempo reale delle strutture in calcestruzzo cementizio armato
Prof. L. **LA MENDOLA**..... Il risanamento strutturale gestione e sintesi dei risultati
Ing. G. **DI NATALE**..... Le esperienze di cantiere

Mercoledì 26/10/2005

Prof. S. **MONOSI**..... Le nuove tecnologie per i nuovi calcestruzzi
Prof. S. **LO PRESTI**..... La ricerca sperimentale

Sponsorizzato da:

ASI - AITEC - BETONTEST S.R.L. - COLLEGIO GEOMETRI PALERMO - SOMAC S.R.L. - CPC PREFABBRICATI S.p.A.
- ENCO S.R.L. - GATTOCEL S.p.A. - I.STRA.TEL S.R.L. - MAPEI S.p.A. - METRO S.R.L. - SIDERCEN S.R.L.

Con il patrocinio di:

Area Sviluppo Industriale Palermo
Collegio dei Geometri Palermo - Consorzio Universitario Agrigento
Ordine Architetti Palermo - Facoltà Ingegneria Palermo
Ordine Ingegneri Palermo
Ordine Ingegneri Trapani - Università degli Studi di Palermo

Quota dell'iscrizione:

	ENTRO IL: 30/07/2005	DOPO IL: 30/07/2005
Singola	€ 800	€ 1000
Multipla	€ 700	€ 900
Parziale (1° o 2° Parte)	€ 500	€ 600
Studenti	€ 500	€ 600

Per ulteriori informazioni:

ASCI: via L. Da Vinci 302 - 90135 Palermo - Tel: +39.091.321738 - Fax: +39.091.6120582 - E-mail: info@asciweb.it

Sito web: <http://www.asciweb.it> - Segretaria Comitato Organizzatore: Maria Grazia Croce

La quota di iscrizione al corso oltre le 50 ore di lezione comprende: n° 10 coffee break, n° 5 pranzi, la borsa con gli accessori, il libro di testo "Il nuovo calcestruzzo" di M. Collepardi, il cd-rom con tutte le lezioni, il pranzo di fine corso con consegna degli attestati di partecipazione.

Il possesso di entrambi gli attestati di frequenza del corso (1° e 2° parte) è condizione necessaria per essere ammessi agli esami per il conseguimento del titolo di "Tecnologo del Calcestruzzo"

La quota non comprende né l'eventuale iscrizione al corso di recupero, né l'eventuale iscrizione agli esami finali

Durante il corso saranno disponibili spazi per poster e stand espositivi a cura delle ditte fornitrici di materiali e servizi, al costo di €/mq 500 per i poster e di € 2000 per gli stand



*Emanuela Croce,
Glenda Fazio
Enco srl, Ponzano Veneto (TV)
info@encosrl.it*

INTRODUZIONE

La storia del mosaico è riassumibile ed interpretabile come una serie di rinascite e di tramonti dovuti ad esigenze artistiche, religiose politiche, tecniche, economiche. Attualmente, oramai liberato dalla visione che lo voleva “antica arte” legata ai fasti decaduti del passato, il mosaico si ripropone più vitale che mai quale soluzione decorativa che sviluppa potenzialità funzionali in continua evoluzione.

La tradizione musiva è particolarmente viva in Italia, soprattutto là dove è presente un importante patrimonio storico: a Ravenna e Venezia con i mosaici bizantini, a Firenze con il commesso fiorentino, a Roma con la scuola cosmatesca. Qui l’esperienza acquisita nel restauro è vantaggiosamente utilizzata in realizzazioni contemporanee in tutto il mondo. In diverse regioni italiane esiste comunque una produzione di mosaico, che spazia dal settore prettamente industriale a quello artigianale.

PRINCIPALI TAPPE STORICHE

- Mesopotamia IV millennio a.C. – I mosaici sono costituiti da tessere in terracotta a forma di cono della lunghezza di 15-20 cm che vengono infissi nell’argilla cruda delle murature degli edifici: tali coni ceramici fungono sia da decorazione che da rinforzo alla muratura. Prima di essere inseriti nella muratura, i coni vengono rivestiti di bitume naturale. Nello stesso periodo viene utilizzato un tipo di decorazione parietale che vede l’utilizzo di lastre di scisto bituminoso (un tipo di roccia che si riduce facilmente in lastre sottili ed è impregnata di idrocarburi e bitume), rivestite di madreperla scolpita per mezzo di bitume.

- Nel 2124-2116 a.C. la capitale del regno dei Sumeri, la città di Ur, diviene un centro importante per la diffusione delle arti. E’ di questo periodo la fabbricazione dello stendardo di Ur, attualmente conservato al British Museum, mosaico costituito da madreperla scolpita, frammenti di rocce calcaree colorate e pietre dure semipreziose, il tutto incollato su tavole di legno per mezzo di resine vegetali.

- In Egitto si hanno esempi di arte musiva sin dal III millennio, anche qui con coni di argilla cotti o seccati al sole, infissi nella muratura; una ulteriore variante dell’arte musiva in Egitto é la tecnica “cloisonné”, per

la decorazione dei sarcofagi con l’utilizzo di pietre preziose e semi preziose, smalti e vetri colorati. In Egitto si è avuta una costante evoluzione dell’arte musiva fino a raggiungere l’acme nel periodo che va dal I sec. a.C. al I sec d. C. con la produzione del mosaico alessandrino o ellenistico che può essere considerato la massima espressione di arte musiva pavimentale dell’antichità.

- I Fenici hanno lasciato testimonianze musive nel Bacino del Mediterraneo sin dal II millennio a.C.. La massima espressione del mosaico fenicio-punico è l’opus signinum (foto 1), tecnica musiva pavimentale dalla decorazione molto semplice ed essenziale con l’utilizzo di pochissime tessere prevalentemente monocromatiche disposte quasi sempre per delineare una figurazione geometrica, ma che esige la perfetta conoscenza delle malte di allettamento di tipo idraulico: questo tipo di mosaico, pur nella sua essenzialità figurativa, e’ la testimonianza di un elevato livello tecnologico di questo popolo mediterraneo.

- Nella Frigia sono stati rinvenuti mosaici pavimentali (VIII sec. a.C.) costruiti con un repertorio decorativo molto simile a quello dei tappeti annodati, arte quest’ultima nella quale i Frigi sono stati maestri. I Greci ed i Romani hanno continuato ad utilizzare, arricchendolo



*Foto 1 -
Opus signinum*

straordinariamente, tale repertorio decorativo.

- Sin dal V sec. a.C. in Macedonia, in Grecia e nelle isole greche si costruivano pavimenti musivi con ciottoli di fiume scelti in base a dimensioni e colore (opus lapilli).

- Anche la civiltà Maya ha utilizzato il mosaico, soprattutto per la decorazione di piccoli oggetti, sviluppando tecniche simili alla civiltà mesopotamica di Ur: pietre dure, corallo, conchiglie incollate a supporti di legno per mezzo di resine vegetali.

- A Roma il mosaico pavimentale si afferma, proveniente dalla scuola di Alessandria d'Egitto (mosaico alessandrino o ellenistico), in tarda Età Repubblicana sotto Silla, con il nome di lithostrota. Tra gli esempi più rappresentativi di questo tipo di lithostrota vi è il cosiddetto "mosaico del Nilo", attualmente conservato presso il Museo Archeologico di Palestrina in provincia di Roma. Utilizzata presso greci ed egiziani sin dal secondo secolo a.C., tale arte fu ulteriormente migliorata fino alla perfezione durante l'Impero Romano:

- Dopo Augusto, a Roma si diffuse l'utilizzo di tessere vitree colorate dette obsidiana vitra. Nella villa di Adriano a Tivoli si ha una vastissima varietà di opere musive di diverso impegno tecnologico e materico utilizzate in base alla funzione e all'importanza degli edifici e delle sale della villa (opus signinum, opus sectile (foto 2), opus vermiculatum, opus tessellatum).

- Dopo una parziale decadenza dell'arte musiva a Roma nella tarda età imperiale, questo tipo di decorazione riprende piede prepotentemente nel III e IV sec. d.C.; cominciò ad affermarsi e diffondersi il mosaico parietale, prima di allora utilizzato solo per la decorazione di piccole superfici, che nelle basiliche paleocristiane divenne l'elemento decorativo principale delle superfici interne escludendo però i pavimenti. Il mosaico infatti, sia per la riluttanza dei cristiani a calpestare le immagini sacre, sia per le specificità dei contenuti del messaggio evangelico si sposta, dai pavimenti, ai muri ed alle volte. Tale passaggio prettamente decorativo si è verificato senza prendere in prestito i canoni della pittura classica, alla quale spesso il mosaico è stato ed è paragonato, bensì sviluppando un impianto figurativo, decorativo e scenografico del tutto indipendente, tanto che questo tipo di mosaico prende il nome di opus musivum (foto 3).

- Un ulteriore impulso all'arte musiva viene dato dall'arte islamica, a partire dal VI-VII sec., che fonde esperienze ellenistiche, romane, bizantine, siriano-palestinesi con un impianto decorativo ispirato dalla nuova religione.

-Con le crociate, in particolare la IV crociata (1201-

1204), si potenziò a Venezia l'arte di produrre vetro ed a partire dalla seconda metà del XIII sec Venezia si attesta come capitale occidentale del vetro e del vetro per mosaico.

-A partire dalla seconda metà del XVII sec. la capitale del vetro si sposta in Francia contestualmente ad un lento, ma inesorabile, decadimento quantitativo e qualitativo di tale produzione a Venezia. Il periodo più critico si ha con la fine della Repubblica di Venezia e la forte tassazione delle materie prime da parte degli Austriaci.

-Attualmente il mosaico gode di un momento di particolare favore entrando prepotentemente in molti ambiti: dall'architettura alla decorazione alla forma di espressione artistica fino addirittura ad elementi di arredamento. I principali centri di produzione e studio del mosaico artistico sono a Ravenna e a Spilimbergo.

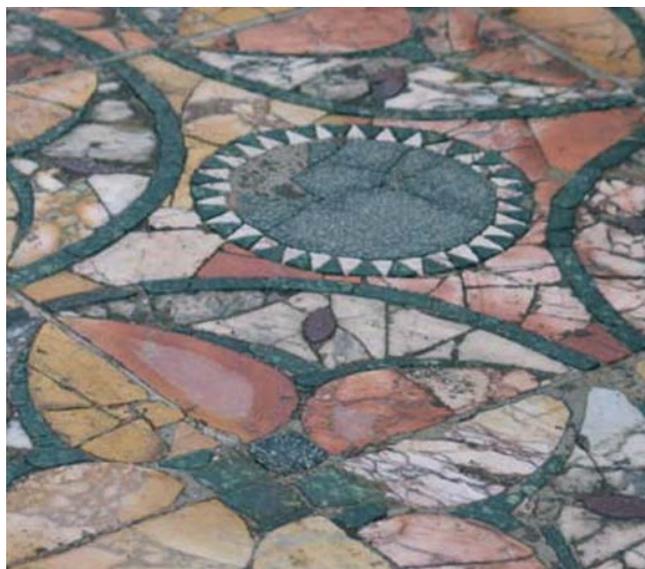


Foto 2 - Opus sectile

TECNOLOGIA E TECNICA

Quella del mosaico è un'arte tradizionale che viene trasmessa di generazione in generazione, tanto che i vari declini dell'arte musiva, oltre che a fattori storico-economici, spesso sono legati anche alle frequenti epidemie dell'antichità che hanno sterminato intere generazioni di artigiani tanto da non permettere l'istruzione delle generazioni future. In ogni caso le tecniche e la tecnologia non hanno subito trasformazioni sostanziali se non, specie negli ultimi due secoli, per la disponibilità di nuovi tipi di leganti (cemento, adesivi complessi, materie plastiche) e di materiali lapidei provenienti da tutto il mondo grazie alla circolazione planetaria delle materie prime. Alcune indicazioni per l'antica tecnica di costruzione di un mosaico pavimentale ci vengono fornite da Vitruvio e da Plinio, ma sicuramente la maggior parte delle informazioni sui mosaici del passato ci derivano dalle osservazioni dirette sui manufatti giunti fino a noi.

La realizzazione di un mosaico, pavimentale o parietale, prevede numerose fasi esecutive: dalla preparazione del sottofondo all'impasto delle malte, dalla ideazione della composizione all'allettamento delle tessere. Secondo le fonti storiche (Vitruvio), la struttura del mosaico pavimentale antico (figura 1) doveva essere composta da tre strati preparatori diversi: sul suolo accuratamente spianato, asciugato e consolidato, bisognava innanzitutto stendere lo statumen, insieme di grossi ciottoli o rottame di laterizi non legati tra loro; esso costituiva una sorta di vespaio del pavimento. Un secondo strato, il rudus, era alto non più di 20 cm, costituito da frammenti grossolani di pietre e/o laterizi e/o vasellame legati con poca calce (rapporto legante/inerti di circa 1/3). Si passava poi alla stesura del nucleus, di spessore non superiore ai 10 cm, composto di calce e inerti di sabbia e/o coccopesto, più fine del materiale ceramico presente nel rudus e con un rapporto legante aggregato da 1/2 a 1/3. La superficie del nucleus veniva spianata accuratamente e su di essa si applicava lo strato di malta di allettamento (sovrannucleus), costituita da malta senza inerti o con inerti macinati finissimi, in questo caso con quantità di legante pari o superiore alla metà dell'impasto; talvolta alla malta venivano aggiunti dei pigmenti. Nella malta di allettamento, fresca e distesa su piccole porzioni della superficie del nucleus, si inserivano le tessere in base ad un disegno guida. Il disegno poteva essere inciso nelle sue linee principali sulla superficie del nucleus o dipinto sulla malta di allettamento a fresco (sinopia). Talvolta venivano usate sagome e lamiere di piombo per creare i contorni di motivi geometrici modulari, inoltre potevano essere utilizzati dei chiodi che, infissi nel nucleus, segnavano i punti di incrocio fondamentali del disegno geometrico.

Rispetto ai mosaici pavimentali, i mosaici parietali non hanno un'autorevole codificazione storica; i metodi utilizzati per realizzarli, la scelta dei materiali, il numero e la qualità degli strati, non seguono uno schema fisso. Ciò a causa di una serie di motivi di ordine prima di tutto economico, ma anche tecnico: non era necessaria una grande resistenza ai cedimenti visto che i mosaici parietali non erano calpestabili inoltre, per lo stesso motivo, le tessere potevano avere caratteristiche meccaniche inferiori tanto che, proprio per i mosaici parietali, si diffonde l'uso delle delicatissime tessere vitree a foglia d'oro; potevano essere esposti sia all'interno che all'esterno, contrariamente ai mosaici pavimentali sempre interni; la copertura di elementi verticali (muri) e inclinati (volte) spesso fino all'orizzontalità, imponevano, anche nell'ambito della stessa opera, una differenziazione fisico-meccanica delle malte per consentirne un ancoraggio stabile alla muratura di sottofondo e contemporaneamente una leggerezza proporzionata alla posizione.

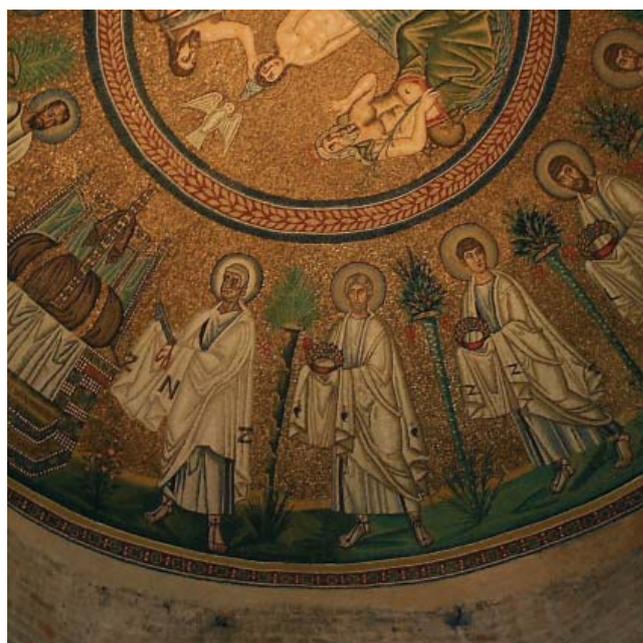
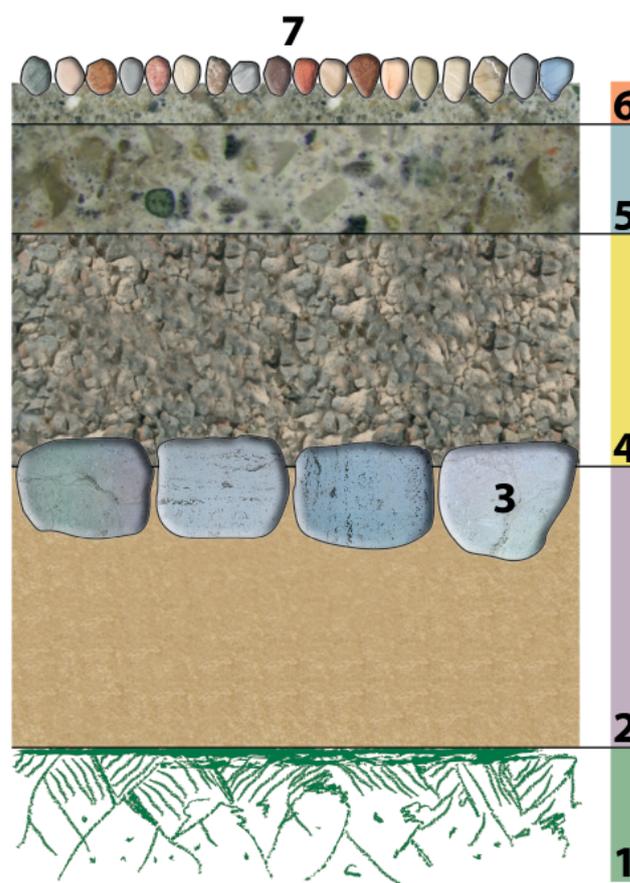


Foto 3 - Opus musivum



- 1 - Suolo spianato, asciugato e consolidato
- 2 - Sabbia
- 3 - Massi e ciottoli
- 4 - Impasto di cola con ghiaia e cocco pesto e/o pozzolana
- 5 - Impasto di cola con sabbia e/o cocco pesto e/o pozzolana
- 6 - Impasto con gli stessi componenti di 5), ma più fini
- 7 - Tessere musive lapidee

Figura 1 - Sezione tipo di un mosaico pavimentale antico

In ogni caso la casistica ci dimostra che i mosaici parietali venivano posati, prevalentemente, su almeno due strati di sottofondo: un primo strato, o arriccio, aderente alla muratura ed un secondo strato di allettamento delle tessere. Il primo doveva avere prestazioni meccaniche tali da consentire l'aggancio alla muratura da un lato e alla malta di allettamento dall'altro. Questo effetto poteva essere raggiunto grazie ad una malta pozzolanica o sabbia grossolana e coccio pesto; in tutti i casi era frequente l'aggiunta di fibre vegetali. Era in uso anche

l'infissione di chiodi a testa larga che fungevano sia da ancoraggi che da testimoni per il giusto spessore dello strato in opera (figura 2); spesso tali ancoraggi metallici, alterandosi nel tempo, hanno determinato situazioni di degrado compromettendo la stabilità chimico fisica dell'intero manufatto.

La superficie esterna scabra dell'arriccio era la base di adesione per il successivo strato di malta di allettamento delle tessere, che generalmente seguiva gli stessi criteri del mosaico pavimentale sia per i materiali che per la messa in opera.

La posa delle tessere rappresenta l'ultima fase del lavoro musivo, ma sicuramente la più importante, se non altro a livello estetico. Le tecniche di posa nel mosaico antico si riducevano sostanzialmente ad una cioè l'infissione delle singole tessere nella malta di allettamento (metodo diretto); talvolta nel mosaico pavimentale di tipo ellenistico o alessandrino si preparavano fuori dal cantiere gli emblemata, cioè le scene figurative da inserire solitamente nelle parti centrali del pavimento. Gli emblemata venivano preparati con metodo diretto in casse forme trasportabili dopodichè venivano messi in opera su un allettamento di malta fresca mentre il resto del pavimento veniva composto con l'infissione delle tessere nella stessa malta fresca, formando una cornice a motivi geometrici che andava a riempire la restante superficie da decorare. In genere gli emblemata avevano, lungo il loro perimetro esterno, degli spazi vuoti che venivano riempiti con le tessere durante la posa sul pavimento per formare una "cerniera" che rendeva l'insieme più stabile dal punto di vista fisico e più armonico dal punto di vista estetico.

Il metodo indiretto della posa delle tessere è molto più recente.

A partire dalla seconda metà del XIX secolo assistiamo a una progressiva rinascita del mosaico. Prima d'allora infatti, con esclusione del periodo Bizantino, il mosaico era una tecnica subordinata al servizio della pittura: il mosaico era la pittura eterna, metodo attraverso il quale riprodurre grandi capolavori pittorici per preservarli dalle ingiurie del tempo. Questo, se da una parte ha permesso all'arte musiva di sopravvivere, dall'altra ne ha limitato fortemente e per lungo tempo, gli sviluppi tecnici ed estetici. Ad opera di alcuni maestri-mosaicisti, verso la fine dell'800, arriva l'impulso decisivo verso un rinnovamento che fu in prima istanza tecnico e successivamente artistico-culturale. Gian Domenico Facchina crea la tecnica così detta "a rovescio" cioè eseguita su supporti di carta (metodo indiretto). Questo metodo consiste nel preparare un disegno su un supporto di tela o carta, sul quale vengono incollate le tessere; il mosaico così composto viene allettato direttamente sulla malta stesa in situ sulla superficie da decorare, dopodichè vie-

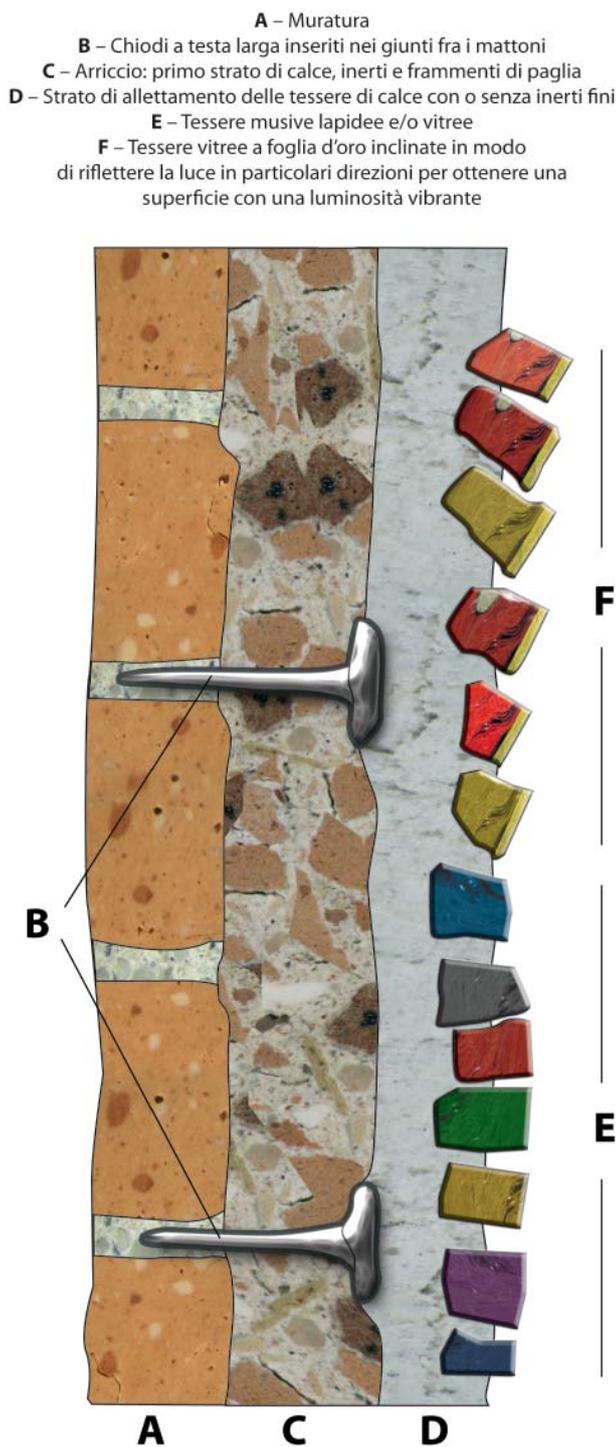


Figura 2 - Sezione tipo di un mosaico parietale antico

ne eliminata la tela o la carta. Tale procedimento è estremamente più veloce rispetto al metodo indiretto, quindi notevolmente più economico. Splendido esempio di realizzazione parietale con metodo indiretto si può ammirare: all'Operà di Parigi, nella della Basilica del Rosario a Lourdes (foto 4).

IL MOSAICO MODERNO

Attualmente il mosaico viene prodotto sostanzialmente secondo due filoni principali: mosaico tradizionale artistico e mosaico industriale

Il mosaico artistico utilizza prevalentemente tessere lapidee di forma varia sia per i pavimenti che per le pareti o le decorazioni; in questi ultimi due casi è molto diffuso l'utilizzo di tessere vitree sia da sole che insieme a quelle lapidee, ottenute a spacco manuale con martellina, o al massimo con trancetta manuale o motorizzata. La messa in posto è sia con metodo diretto che con metodo indiretto. Il mosaico industriale si esplica principalmente nella produzione di composizioni geometriche (greche, fasce, rosoni, tappeti ecc.). Le tessere sono ottenute con dischi diamantati o con segatrici multidisco. Dopo il taglio le tessere, specialmente quelle in materiale lapideo, possono essere sottoposte a trattamenti quali per esempio l'anticatura, che consiste nel rendere scabra la superficie mediante abrasione con materiale lapideo a granulometria fine o con trattamenti chimici acidi. A questo punto il mosaico può essere composto manualmente e successivamente incollato su rete di carta o di fibra di vetro mediante macchine semiautomatiche o può essere assemblato in modo completamente automatico, dalla composizione figurativa all'incollaggio.

ROCCE DELLE TESSERE LAPIDEE

Già in passato le rocce utilizzate nella produzione di tessere musive comprendevano una grande varietà di litotipi, spesso provenienti da regioni anche molto distanti dal luogo di utilizzo, inoltre specialmente durante il Medioevo, ma non solo, il materiale lapideo era di reimpiego; non è quindi infrequente che accanto a moltissime rocce carbonatiche di provenienza locale, si trovino litotipi silicatici, quali il Porfido Rosso Antico proveniente dall'Egitto e il Porfido Verde Antico estratto in Grecia, due tra i materiali più costosi dell'antichità.

Attualmente i mosaicisti hanno a disposizione migliaia di rocce provenienti dal mercato internazionale, tra queste comunque prevalgono ancora di gran lunga



Foto 4 - Basilica del Rosario a Lourdes (Francia)

le rocce carbonatiche, commercialmente indicate come marmi e travertini.

Un'analisi condotta da Fiori et al. (1998), ha visto il campionamento di 14 siti archeologici nel bacino del Mediterraneo, risalenti al periodo compreso tra il II secolo a.C. ed il XII sec. d.C.. E' stata riscontrata la predominanza di rocce sedimentarie carbonatiche (circa il 60%), seguite dalle rocce metamorfiche (circa il 35%) e dalle magmatiche (circa 5%). Un'indagine simile è stata condotta da Fiora (2003) prendendo in esame le diverse ditte produttrici di tessere per mosaico contemporaneo e riscontrando la presenza, in ordine decrescente di abbondanza, di rocce

sedimentarie (calcari, calcari organogeni, travertini, alabastri, calcareniti), rocce metamorfiche (marmi puri e impuri, rocce oficarbonatiche, quarziti, slates), molto più rare rocce magmatiche (pegmatiti a sodalite, sieniti a sodalite, graniti ad amazonite, rocce granitoidi, microgabbri, dioriti, rioliti, ignimbriti, basalti).

Ancora una volta si conferma il fatto che l'arte musiva è arrivata, nonostante lunghi periodi di declino, a livelli di perfezione tali che, nonostante gli enormi vantaggi tecnici e tecnologici della nostra epoca, attualmente si procede alla creazione di un mosaico con differenze pressoché nulle rispetto al passato. Invece ciò che fortunatamente è cambiato rispetto al passato, è la relativa facilità di approvvigionamento delle materie prime e dei semilavorati, con un conseguente abbattimento dei costi che permettono le realizzazioni musive con sempre maggiore frequenza.

BIBLIOGRAFIA

- 1) I. Fiorentini Roncuzzi; Il mosaico. Materiali e tecniche dalle origini a oggi. Longo Editore 1984.
- 2) C. Fiori, M. Vandini; Teoria e tecniche per la conservazione del mosaico. Collana i Talenti. Editore Il prato.
- 3) C. Fiori, R. Barboni, L. Saragoni; Marmi e altre pietre nel mosaico antico e moderno. Quaderni IRTEC C.N.R. - Istituto Ricerche Tecnologiche per la Ceramica, Faenza Ravenna.
- 4) L. Fiora; I lapidei nel mosaico contemporaneo. Marmor n. 79 Gennaio/Marzo 2003; Giorgio Zusi Editore Sas.
- 5) L. Derosa; Storia dell'arte Medievale - Pavimenti musivi figurati di chiese romaniche pugliesi. www.storiamedievale.net
- 6) M.Farneti; Glossario tecnico-storico del mosaico - Technical-historical glossary of mosaic art. Longo Editore, Ravenna 1993.

Soluzioni di Durabilità



CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC	Corrosione delle armature indotta da carbonatazione del calcestruzzo
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XD	Corrosione delle armature indotta dai cloruri
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XS	Corrosione delle armature indotta dai cloruri dell'acqua di mare
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XA	Attacco chimico
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XF	Attacco dei cicli gelo/disgelo

www.grafocom.it 06/05



Calcestruzzi
Italcementi Group

A world class local business

www.calcestruzzi.it

HENRY LOUIS CHATELIER UN UOMO DI PRINCIPIO

DIALOGO TRA UN ALLIEVO E IL SUO EX-PROFESSORE DI CHIMICA



Sergio Meriani - Università di Trieste - meriani@univ.trieste.it



Oggi, durante la lezione del corso di Tecnologie di Chimica Applicata, ci sono state spiegate alcune prove di stabilità del cemento, dopo la presa. Mi ha colpito molto la prova di espansione, quella per verificare l'effetto dell'idratazione ritardata degli ossidi alcalino-terrosi. Il professore l'ha descritta e definita come la "Prova della pinza di Le Chatelier". Non ha potuto dire molto di più sulla sua origine, cioè sul nome che porta, perché non abbiamo molto tempo. Non ho voluto fargli domande, anche per non divagare. Però la cosa mi ha incuriosito. Ricordo bene che nel corso di Chimica, lei aveva insistito molto sul "Principio di Le Chatelier"! Ero rimasto sotto l'impressione, evidentemente sbagliata, che Le Chatelier si fosse occupato solo dell'equilibrio chimico e della termodinamica. Sono rimasto sorpreso che si fosse occupato del cemento e dei metodi per valutare le sue caratteristiche. Così ho pensato di chiederle qualcosa di più di questo scienziato e della sua opera. Spero di non darle troppo disturbo.

Nessun disturbo, anzi, mi fa piacere che la tua curiosità sia emersa ora, perché ricordo di aver fatto qualche cenno sulla straordinaria biografia di questo "ingegnere minerario" che è diventato un "chimico applicato" talmente importante che dovrebbe essere considerato il fondatore di questa branca della chimica.

Capisco. Ma come si è realizzato il suo passaggio dall'ingegneria mineraria alla chimica applicata? Ho sentito dire che il percorso culturale procede più facilmente dalla scienza

pura a quella applicata, e non viceversa.

Va bene, per cominciare questo è il suo ritratto, eseguito probabilmente a fine della sua carriera accademica (Fig.1). Nato a Parigi, 8 Ottobre 1850, da una famiglia di architetti ed ingegneri, ricevette in casa la prima formazione in matematica e chimica, a cura dal padre Louis Le Chatelier, affermato ingegnere minerario.

Allora è comprensibile che sia stato avviato agli studi di ingegneria per seguire le tradizioni di famiglia; invece, dopo ha seguito la propria inclinazione per la chimica applicata ai problemi dell'industria.

Probabilmente sì. Egli ebbe l'opportunità di essere a fianco del padre mentre questi era impegnato ad avviare la prima industria dell'alluminio in Francia. In questo modo Henry Louis assorbì molte informazioni di prima mano sulla metallurgia e la chimica industriale. Dopo aver concluso la formazione scolastica all'Ecole Polytechnique, all'Ecole des Mines e al College de France, con un curriculum di ingegneria industriale, fu impiegato nel Corpo delle Miniere francesi. Dopo un paio d'anni di servizio a Besancon, con sua grande sorpresa, nel 1880 gli fu offerta una posizione accademica di docente di chimica all'Ecole des Mines a Parigi, dov'era stato studente.

Assunto questo incarico, lasciata l'attività di ingegnere, trascorse il resto della propria vita a Parigi, insegnando alternativamente al Politecnico e al College de France. Giunse alla posizione di professore di chimica alla Sorbona nel



Fig. 1 - Foto di Le Chatelier

1887. Lo stesso anno riprese l'insegnamento all'Ecole des Mines come professore di chimica industriale e metallurgia. Nel 1889 ritornò al College de France dove rimase fino al 1908, titolare della cattedra di chimica inorganica. Grazie a quel provvidenziale incarico del 1880, egli ha potuto esprimere tutto il proprio ingegno chimico, fino a formulare il famoso enunciato nel 1888, noto come "principio di Le Chatelier".



Ci sono notizie dei suoi interessi, dopo il periodo "minerario" a Besancon?

La sua prima ricerca consistette nel riprodurre gli esperimenti di Lavoisier, che certamente ricorderai, e di Payen, per la preparazione del "gesso di Parigi". Egli dimostrò che il "buon gesso da presa" era costituito dalla forma emi-idrata del solfato di calcio e non dalla forma anidra (anidrite) come si riteneva allora. Va notato che queste ricerche furono fatte negli anni 1882-1883 quando non esistevano sistemi di analisi strumentali, salvo le bilance e i termometri a gas e a mercurio.



Le analisi del gesso e delle argille si basano sulla tecnica della analisi termica, quando venne introdotto questo metodo sperimentale?

Le Chatelier sviluppò il metodo dell'analisi termica che era stato inizialmente proposto da Regnault, ma che aveva avuto scarso seguito. Le Chatelier lo perfezionò, lo rese affidabile al punto che divenne determinante quando fu applicato allo studio dell'acciaio e delle leghe metalliche. La Fig. 2, che riproduce quella che si trova a pag. 20 del testo di Makenzie riproduce i risultati sperimentali dell'analisi termica di alcune argille. E' molto interessante vedere come le variazioni di temperatura



siano state registrate con un galvanometro scrivente e che gli effetti endo- esotermici siano evidenziati dalla diversa spaziatura delle tracce in funzione del tempo.



Allora, ciò vuol dire che usava le termocoppie per misurare temperature fin oltre i 1000 °C?



Fig. 2 - Pinza di Le Chatelier

Proprio così. I metodi noti all'epoca per misurare temperature elevate si basavano sui termometri a gas e sulle termocoppie, entrambi erano poco affidabili e davano risultati poco riproducibili. Le Chatelier comprese le cause della scarsa affidabilità dei termometri del tempo. Studiò una termocoppia specifica, la cui risposta fosse quasi lineare in un ampio intervallo di temperatura e soprattutto inerte e duratura. Questo studio portò alla realizzazione della coppia Pt/Pt-Rh10%, probabilmente ancora la più usata per le temperature fino a 1500°.



Come arrivò allo studio della idratazione del cemento?

Probabilmente, lo studio del gesso da presa stimolò il suo interesse per i materiali leganti, come il cemento Portland. Egli espresse la teoria secondo la quale i componenti anidri del cemento formano i prodotti idrati, insolubili in acqua, secondo il meccanismo della soluzione-saturazione-precipitazione del prodotto insolubile. Con questo meccanismo, Le Chatelier spiegò la formazione della massa interconnessa dei cristalli dei vari silicati idrati e la ragione della resistenza meccanica crescente nel tempo. Scopri e sostenne che i componenti mineralogici del "clinker" anidro (silicato bicalcico, tricalcico e alluminato) reagiscono con l'acqua con la stessa velocità di quando reagiscono da soli. Questa osservazione è stata confermata anche con i moderni mezzi di indagine e costituisce la base teorico-sperimentale sulla quale sono formulati i cementi con diverse velocità di presa.



Le Chatelier si sarà certamente dotato di un laboratorio tecnologico, a fianco di quello chimico, per studiare il comportamento dei materiali in opera.

Certamente deve essere stato così. Le Chatelier ha dimostrato una straordinaria abilità nel progettare e costruire gli strumenti per la sperimentazione e la misura. Uno di questi, che ha superato il secolo di vita, è proprio lo strumento che avete citato a lezione: la "pinza di Le Chatelier" che, come noto, serve a misurare la dilatazione del cemento dovuta all'idratazione posticipata degli ossidi CaO ed MgO liberi.



Trattando di questioni tecnologiche, come giunse a definire il suo famoso "principio"?

Le sue ricerche sull'impiego dell'analisi termica si estesero al calore coinvolto nelle reazioni in generale, cioè alla termodinamica. Egli sosteneva che la termodinamica deve fornire valide spiegazioni e previsioni sui fenomeni chimici, come la combustione, la soluzione-precipitazione in fase acquosa, così come avviene nel caso dell'idrata-



zione del cemento.



Nel momento in cui studiava i materiali con metodi di analisi termica, qual era lo stato delle conoscenze sulla termodinamica?

Certamente i concetti della termodinamica erano già consolidati anche se non alla portata di tutti. Il grande chimico-fisico Josiah Willard Gibbs, fondatore della termodinamica classica, aveva trattato in modo matematico e quantitativo le leggi dell'equilibrio chimico. La pubblicazione dei lavori di Gibbs sulle "Transaction of the Connecticut Academy", un giornale negli Stati Uniti di scarsa diffusione, e il modo piuttosto astratto di presentare l'argomento, impedirono la diffusione delle sue teorie sulla termodinamica che rimasero circoscritte ad un limitato numero di giovani fisici di profonda cultura matematica. Le Chatelier venne in contatto con la versione in tedesco di alcuni dei suoi lavori e contribuì alla loro traduzione in francese, favorendo la loro diffusione.

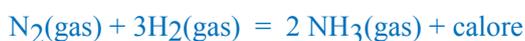


Ci sono esempi di applicazione del "principio di Le Chatelier" da parte di Le Chatelier stesso? Mi scuso per la domanda!

C'è un riscontro molto importante sull'uso della teoria dell'equilibrio termodinamico. Egli affrontò nel 1901 la questione della sintesi dell'ammoniaca dagli elementi gassosi, azoto e idrogeno.



È noto che nella reazione



l'aumento della pressione favorisce la formazione dell'ammoniaca, a causa della riduzione del numero di moli gassose nel passaggio dai reagenti (4 moli) ai prodotti (2 moli): secondo le previsioni del principio di Le Chatelier.

Inoltre, come per ogni reazione esotermica, la temperatura deve essere mantenuta la più bassa possibile, per evitare di favorire la reazione contraria, la dissociazione dell'ammoniaca nei propri reagenti azoto e idrogeno, compatibilmente con la cinetica della sintesi.

Con queste ipotesi e sulla base delle osservazioni sperimentali, in presenza di ferro metallico come catalizzatore, alla T di 600°C era stata osservata la completa dissociazione dell'ammoniaca. Le Chatelier decise di utilizzare un calorimetro, detto "bomba di Berthelot", per tentare la sintesi dell'ammoniaca a temperature prossime, ma inferiori a quella della dissociazione.

La miscela dei due gas fu compressa a 200 atmosfere nella "bomba di Berthelot", in presenza di ferro metallico ridotto, e riscaldata verso i 500°C con una spirale di platino. Probabilmente, la presenza di una quantità non trascurabile di ossigeno nella miscela produsse la

combustione esplosiva dell'idrogeno che fece del calorimetro una vera bomba, tanto che Le Chatelier abbandonò il progetto. Solo pochi anni dopo George Claude fece decisivi progressi nella sintesi dell'ammoniaca, che fu definitivamente raggiunta da Fritz Haber su scala industriale in Germania. Per loro stessa ammissione, questi ricercatori avevano avuto un punto di riferimento nei tentativi di Le Chatelier e nel suo modo di vedere l'equilibrio mobile.

Verso la fine della carriera Le Chatelier scrisse, a proposito delle proprie ricerche, testualmente: "Mi sono lasciato scivolare tra le mani la scoperta della sintesi dell'ammoniaca: questo è stato il più grande errore della mia carriera".



Certamente, vedere il successo delle proprie intuizioni essere realizzato in casa d'altri, al punto da determinare l'assegnazione di un premio Nobel, dev'essere stato un forte rammarico per Le Chatelier!

Certamente, ma la personalità del ricercatore Le Chatelier fu sempre molto attiva e determinata. Un'area importante del suo interesse scientifico fu quella della combustione e dei processi esplosivi. Ancora una volta la ricerca era derivata dalla preoccupazione di comprendere e fornire le soluzioni per la sicurezza delle miniere francesi che in quegli anni erano state teatro di numerosi disastri, a causa degli incendi ed esplosioni di gas. Egli affrontò il problema studiando i fondamenti della combustione e quella del metano in particolare, essendo quest'ultimo il componente maggiore del gas di miniera "grisou". Insieme al prof. E.F. Mallard della Ecole des Mines, realizzò sistemi di misura della concentrazione e delle temperature di accensione e esplosione delle miscele di metano e aria. Con queste ricerche pionieristiche Le Chatelier realizzò apparecchiature specifiche che gli consentirono di affrontare anche altri sistemi gassosi, potenzialmente combustibili ed esplosivi, quali l'idrogeno, il monossido di carbonio, l'acetilene e il cianogeno. L'episodio dell'ammoniaca fu un vero incidente di percorso che, comunque, ha stimolato ulteriori ricerche!



E' vero, il suo interesse per il "grisou" delle miniere fece riemergere la sua iniziale formazione di ingegnere minerario che deve garantire la sicurezza degli impianti nella miniera.

Certamente, ma la sua frequentazione con il prof. Mallard gli fece apprezzare la mineralogia, la cristallografia e le trasformazioni strutturali in fase solida. Insieme studiarono le transizioni di fase del quarzo, e per averle in evidenza, Le Chatelier dovette realizzare di un microscopio polarizzatore riscaldante che potesse vedere a che temperature le fasi cristalline cambiano struttura. Ma non



tutti i minerali sono trasparenti o facilmente riducibili in sezioni sottili, perciò, per estendere il campo di misura delle transizioni di fase oltre che per via ottica, realizzò uno strumento dilatometrico differenziale che gli permise di seguire la dilatazione termica di un materiale a confronto con il refrattario che lo sostiene nello strumento durante la misura. Proprio come possiamo vedere oggi nei dilatometri moderni.

Si può ben affermare che Le Chatelier è stato il fondatore dell'analisi termica, sia differenziale che dilatometrica, perché applicò sistematicamente questi metodi alle materie prime, ai vetri e ceramiche, per arrivare anche nel campo della metallurgia fisica.



Interessante il cenno sullo studio dei metalli; ma in che settore fu più assiduo?

Nell'analisi microstrutturale egli migliorò molto l'osservazione metallografica, grazie al microscopio polarizzatore con il quale riuscì a vedere la formazione dei composti tra il ferro e il carbonio e dare i parametri di base per i trattamenti termici degli acciai. Questi dati, affiancati alla teoria termodinamica e alla regola della fasi di Gibbs, furono un contributo fondamentale per lo sviluppo dell'industria chimica e metallurgica su basi saldamente scientifiche.

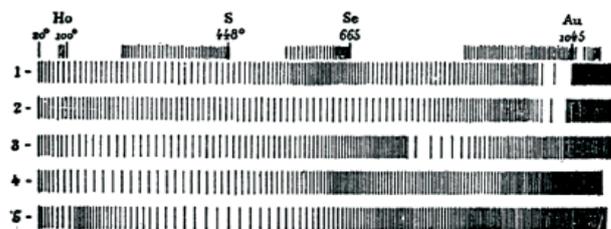


Fig. 3 - TDA di Le Chatelier

Nel 1904 egli contribuì alla fondazione della Revue de Metallurgie di cui fu il principale referente scientifico fino al 1914.

Gli interessi di Le Chatelier nella matematica e nella termodinamica potrebbero sorprendere chi ha guardato al suo principio come uno strumento esclusivamente qualitativo del trattamento dell'equilibrio chimico. Viceversa, un più approfondito esame della sua vita e delle sue ricerche rivelano una personalità scientifica rigorosa che ha voluto e saputo integrare costantemente la teorica con la pratica, con interessi sempre diretti ai problemi della chimica applicata e industriale: si può certamente sostenere che egli sia stato il fondatore della "chimica applicata... ai materiali da costruzione".

H.L. Le Chatelier chiuse la propria esistenza in nel 1936 a Miribel-les-Echelles in Val d'Isère, Francia.

ENIG_CRETE

?

Concorso a premi per chi
calcola la corretta composizione
del calcestruzzo

Per un'opera in c.a. si richiede un calcestruzzo con:

- Classe di resistenza: Rck= 25 MPa;
- Classe di esposizione: XC4;
- Classe di consistenza: S4;
- Aggregato alluvionale con Dmax di 32 mm.

Si vuole conoscere il dosaggio di cemento, l'acqua di impasto, il dosaggio di additivo ed il contenuto di aggregato in kg/m³ sapendo che:

- si impiega un cemento II B/L 32.5;
- si impiega un additivo superfluidificante a base acrilica (1% sul cemento) capace di ridurre l'acqua di impasto del 20%;
- l'aria intrappolata nel calcestruzzo fresco è circa 1% in volume sul calcestruzzo.

SUGGERIMENTO: sfogliando i numeri 25-26-27-28 di Enco Journal, consultabili anche sul sito www.enco-journal.com sono disponibili tutti gli elementi per risolvere il quesito.

Al primo classificato saranno offerti questi tre libri sul calcestruzzo; al secondo due libri a scelta; al terzo un libro a scelta.

A parità di risposta corretta, vince chi invia per primo la risposta corretta per email info@encosrl.it o per fax (0422-963237) purché entro il 15 Luglio 2005.

UN IMPALCATO RIGIDO: IL SOLAIO LEGNO-LEGNO



*Francesco Favero, Francesca Simonelli
e Angelo Pianizzolla*

*Enco - Engineering Concrete
Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it*

Introduzione

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003, n. 3274, propone una nuova classificazione sismica del territorio italiano eliminando la dicotomia presente tra zone "classificate sismiche" e "zone non classificate" di fatto interpretata come "zone sismiche" e "zone non sismiche". Nell'allegato alla nuova norma si suddivide l'intero territorio in quattro classi dichiarando ogni zona a rischio sismico con gradi diversi.

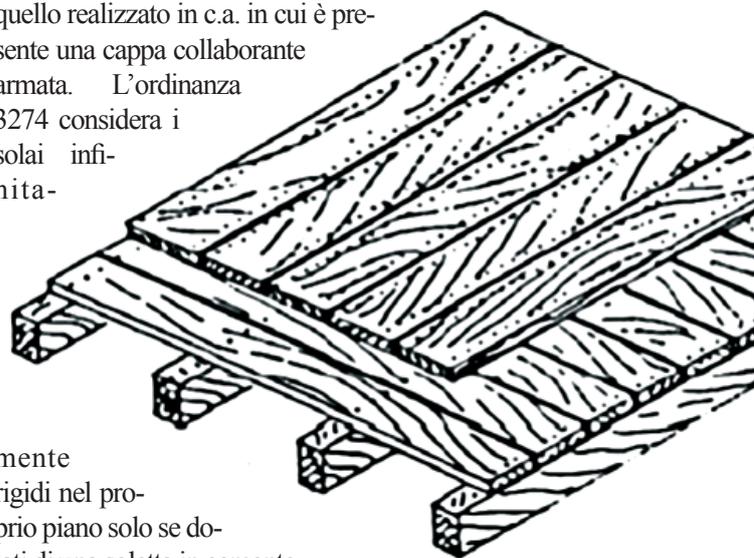
I criteri da adottare per una corretta progettazione antisismica sono:

- la regolarità in pianta che prevede forme pressoché "compatte" in cui il baricentro della massa (su cui agisce il sisma) non sia troppo distante dal baricentro delle rigidezze (determinato in base alla disposizione degli elementi portanti sismo-resistenti) in modo da non indurre effetti torcenti dannosi;
- non vi siano irregolarità degli elementi in elevazione, per esempio aumento significativo di resistenza passando da un piano a quello superiore o aumento di massa sempre da un piano a quello successivo;
- non vi siano piani sfalsati o edifici contigui non sufficientemente distanti tali da indurre effetti di martellamento;
- non vi sia la presenza di spinte indotte da archi senza catene o da coperture spingenti;
- gli impalcati orizzontali abbiano una rigidezza sufficiente per ripartire le forze sismiche tra gli elementi verticali.

Quest'ultimo aspetto è molto importante in quanto, se verificato, le azioni di piano vengono distribuite in funzione della rigidezza degli elementi verticali: elementi più rigidi (per esempio setti) "assorbono" una quantità maggiore di sollecitazione sismica, elementi di rigidezza inferiore (per esempio pilastri di ridotte dimensioni) sono interessati da spinte minori. Se invece ci si trova in presenza di solai molto deformabili nel proprio piano accompagnati da un collegamento alle strutture verticali inefficace, l'azione sismica, a cui sarà

soggetto ciascun elemento verticale, sarà determinata dalla massa presente nell'area di competenza dell'elemento; di conseguenza esisterebbe la possibilità che elementi molto rigidi tipo setti siano soggetti a spinte irrisorie mentre pilastri di piccola dimensione siano interessati da forze notevolmente superiori. Inoltre nel caso di edifici in muratura la rigidezza di un impalcato sommata a un collegamento efficace con i setti, riduce il rischio di ribaltamento dei muri stessi causa spesso di crollo.

In quest'ottica è indispensabile verificare che il solaio considerato sia effettivamente rigido. Un tipico solaio rigido è quello realizzato in c.a. in cui è presente una cappa collaborante armata. L'ordinanza 3274 considera i solai infinitamente



mente rigidi nel proprio piano solo se dotati di una soletta in cemento armato di almeno 5 cm di spessore. Di conseguenza un solaio realizzato con travetti in legno e soletta in c.a. adeguatamente collegata con connettori a taglio è considerata una struttura infinitamente rigida nel proprio piano.

Esistono però altri sistemi per realizzare impalcati rigidi senza dover ricorrere all'uso del calcestruzzo. In questo articolo viene analizzato il sistema "legno-legno".

Il sistema "legno-legno"

Questo sistema consiste nella disposizione di un doppio tavolato incrociato sopra l'orditura delle travi di legno.

I due tavolati vanno collegati sia reciprocamente sia con le travi sottostanti.

Rispetto ad una soletta in c.a., ha il vantaggio della leggerezza: essendo le azioni sismiche proporzionali alla massa, la spinta che ne risulterà sarà sicuramente di intensità inferiore. Negli interventi sul patrimonio edilizio esistente, che nella maggior parte dei casi è costituito da elementi portanti in muratura, la necessità di creare un impalcato rigido unito all'esigenza di non incrementare troppo i carichi, che sia staticamente che dinamicamente potrebbero compromettere le strutture, può trovare una soluzione in questo sistema.

Poiché questo sistema non è normalizzato (anche se esso è riportato come solaio effettivamente rigido in alcune indicazioni regionali), risulta necessario dimostrare la capacità di questo impalcato di trasferire il tagliante sismico di piano agli elementi sismo-resistenti verticali.

Esempio di calcolo

Si propone di seguito un metodo di calcolo che abbiamo adottato per un impalcato legno-legno nel progetto di realizzazione di una cantina nella provincia di Udine. Tale opera sorge in un comune con grado di sismicità massimo ($S=12$ secondo la vecchia classificazione) e il progetto, sorteggiato, è stato approvato dalla commissione tecnica della provincia di Udine. Il sistema è costituito da travi di legno 12×18 cm poste ad interasse di 40 cm e da un doppio tavolato avente spessore $2.5+2.5$ cm.

Il dimensionamento dei connettori di collegamento tra il doppio tavolato e le travi di legno viene effettuato in condizioni statiche secondo il metodo Turrini-Piazza. La verifica del doppio tavolato nei confronti dell'azione sismica viene eseguita realizzando due modelli piani per ogni direzione principale di applicazione del sisma con un programma agli elementi finiti: si genera una mesh con elementi piani riproducenti il doppio tavolato e si dispongono i vincoli esterni alla traslazione in corrispondenza degli elementi sismo-resistenti interessati per quella direzione di applicazione del tagliante sismico.

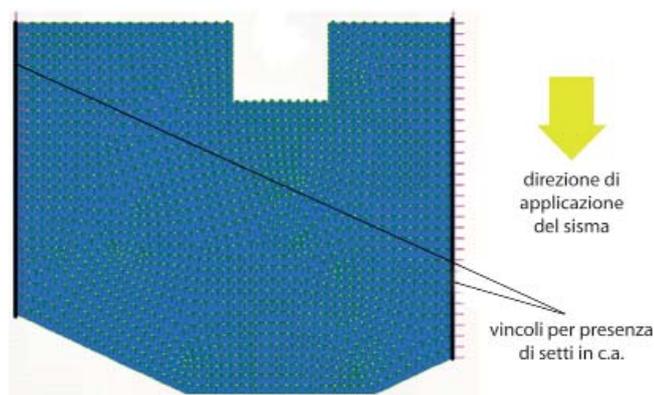


Fig. 1 - Modello FEM dell'impalcato per azione sismica in direzione X

Il tagliante sismico si determina con la medesima procedura che si adotta nel caso di un'analisi statica equivalente e si distribuisce sull'intera superficie.

Il passo successivo è dimostrare che il sistema costituito dal doppio tavolato collegato da chiodi è in grado di resistere ad azioni taglianti e non è consentita alcuna rotazione di un tavolato rispetto all'altro. A tal fine, nell'esempio citato, si sono disposti chiodi $\varnothing 4$ aventi lunghezza 4 cm e passo 5 cm come da figura 2:

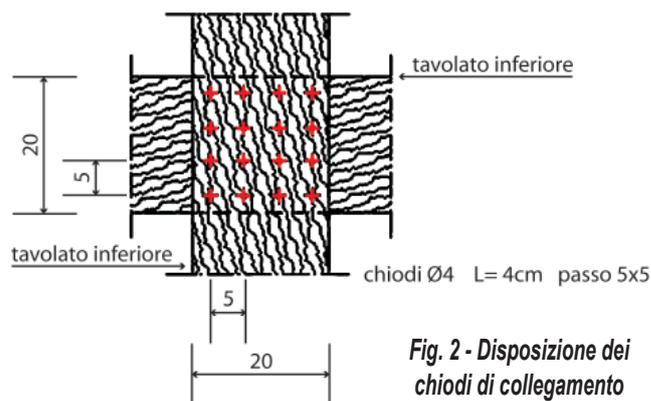
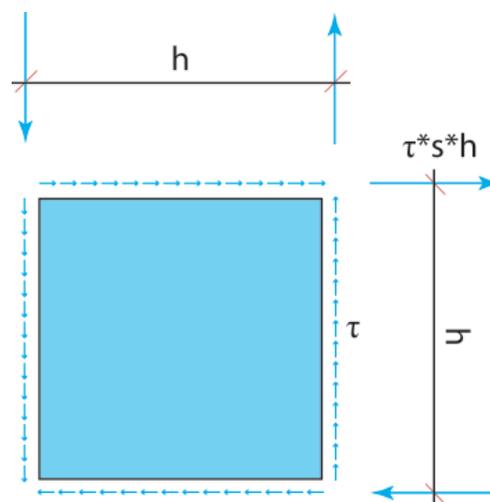


Fig. 2 - Disposizione dei chiodi di collegamento

Analizzando la maglia 20×20 cm (larghezza delle tavole di legno) si determina il momento torcente secondo lo schema seguente (nell'ipotesi che la tensione di taglio massima determinata sia uniforme lungo la superficie):



Si ripartisce la sollecitazione tra i chiodi della maglia e si determina la forza massima verificando che i chiodi siano in grado di resistere.

Una volta dimostrato che il sistema è in grado di fornire una resistenza a taglio per l'azione sismica applicata nelle due direzioni principali, si esegue la verifica del tavolato per azioni assiali nelle due direzioni.

L'efficacia di tale sistema è condizionata infine dalla progettazione dei collegamenti con gli elementi verticali. Nel nostro caso tale connessione è stata ottenuta disponendo

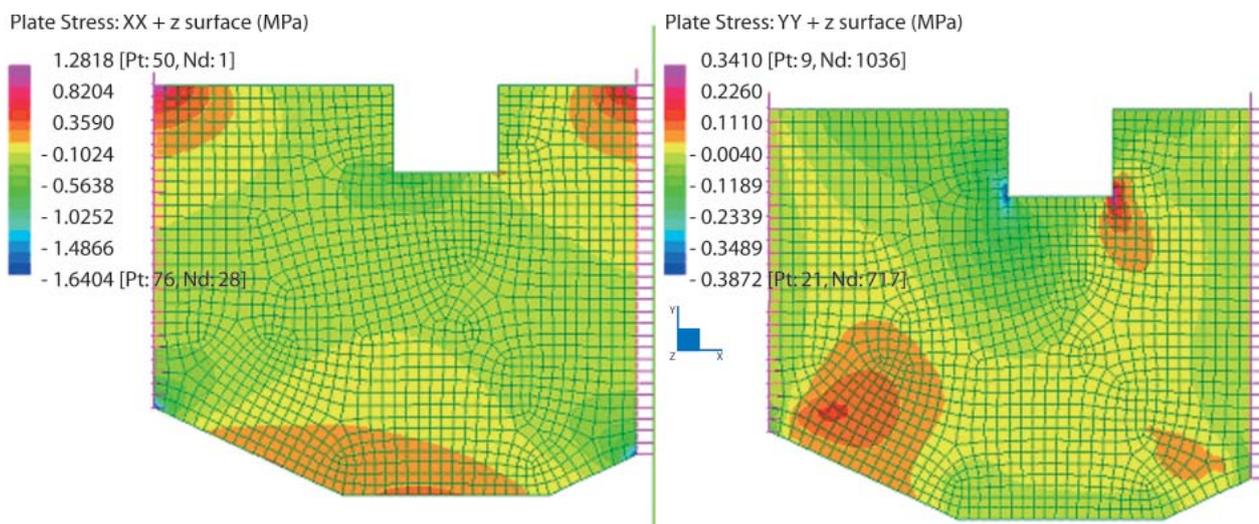


Fig. 3 - Tensioni assiali nelle due direzioni principali per sisma lungo X

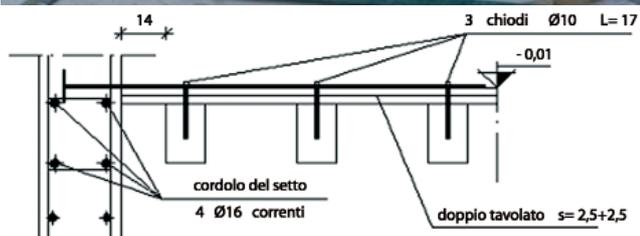


Fig. 4 - Disposizione delle lame di collegamento ai setti in c.a.

lame di acciaio da una parte inchiodate al doppio tavolato e alle travi di legno (ciascuna lama viene collegata almeno con tre travi di legno) e dall'altra parte annegate nel getto dei setti in c.a. con una contro-piastra resistente.

Nel caso di murature è necessaria la realizzazione di cordoli armati perimetrali collegati efficacemente all'impalcato per assicurare l'effetto "scatolare".

Conclusioni

Il sistema esplicito ha il pregio della leggerezza e risulta effettivamente rigido secondo la disposizione dei chiodi scelta. E' sicuramente da preferirsi nel caso di strutture in muratura, specialmente quando si interviene sul patrimonio edilizio esistente. Per contro però comporta tempi di realizzazione più lunghi e maestranze molto attente. Risulta necessario porre attenzione alla scelta dei tramezzi e della pavimentazione in relazione alla diversa rigidità che un sistema con soletta in calcestruzzo fornisce rispetto ad un impalcato completamente di legno.



Fig. 5 - Distribuizione dei chiodi

Ringraziamento

Si ringrazia per la consulenza l'ing. Roberto Scotta, studio 3R – Preganziol (TV).

Bibliografia

- M.Piazza, G.Turrini; "Consolidamento e restauro di strutture portanti lignee"; L'Edilizia n°4; pagg. 195-202; 1991.
- E.Giuriani; "L'organizzazione degli impalcato per gli edifici storici"; L'Edilizia n°134; pagg. 30-43; 2004.
- Regione Toscana – Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali – Settore Servizio Sismico Regionale; "Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura"; versione Novembre 2003.

SCC CON ACQUA VISCOSA



Silvia Collepari, Jacob Ogoumah Olagot,
Marta Pellizon Birelli, Roberto Troli
Enco - Engineering Concrete
Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

Introduzione : la segregazione dell'SCC

La produzione del calcestruzzo autocompattante (SCC) ricco in parti fini ed in superfluidificante si contraddistingue da quella di un calcestruzzo superfluido ($slump > 210$ mm) per una maggiore fluidità ($slump\ flow > 600$ mm) senza che venga però compromessa la stabilità del materiale nello stato fresco, senza cioè che si verifichi la raccolta di acqua sulla sommità del getto (*bleeding*) accompagnata da una sedimentazione degli aggregati più grossi verso il fondo del getto. L'insieme di questi due fenomeni, che prende il nome di segregazione, rappresenta la maggiore difficoltà alla produzione dell'SCC su scala industriale rispetto a quella di laboratorio dove tutti i parametri che influiscono su questo problema - in particolare la granulometria delle polveri e l'umidità degli aggregati - sono ovviamente ben controllati e mantenuti costanti.

Nella pratica del processo produttivo, invece, la variazione di umidità della sabbia e dell'inerte grosso è la regola più che l'eccezione perché i materiali lapidei sono esposti alla variazione delle condizioni climatiche. Un aumento anche modesto dell'umidità degli aggregati, rispetto a quella sperimentata in laboratorio, comporta un forte rischio di segregazione. D'altra parte, una riduzione della parte fine della sabbia provoca anch'essa un maggior rischio di segregazione. Un'ulteriore causa di segregazione può essere determinata da un eccesso anche lieve di additivo superfluidificante.



Fig. 1 - SCC segregato

Perché temere la segregazione nell'SCC

La segregazione è assolutamente da evitare in generale per la mancata uniformità della composizione del calcestruzzo (diversi rapporti acqua/cemento, a/c , ed

inerte/cemento, i/c) con conseguenti variazioni *in situ* della resistenza meccanica, del modulo elastico, del ritiro, del comportamento viscoso e talvolta anche dell'aspetto nella struttura appena sformata (Fig. 1). In particolare, nel caso dell'SCC la segregazione è ancora più temibile perché blocca il processo produttivo durante il pompaggio, nella caduta libera lungo uno scivolo, ecc.. Inoltre, in un calcestruzzo segregabile la pasta cementizia fluida, che funge da fluido trasportatore, viene sospinta in avanti e gli aggregati grossi che rimangono indietro collidono tra loro provocando l'arresto del conglomerato dove maggiore è la congestione delle armature metalliche (Fig. 2).

La "polvere fine" per ridurre la segregazione

Per ovviare a questo tipo di inconvenienti si deve impiegare un sistema cementizio molto ricco di "polvere fine" come il cemento, arrivando ad un volume compreso tra 170 e 200 L/m³: si è trovato sperimentalmente che se si supera il volume di 200 L/m³ il calcestruzzo diventa troppo "colloso" e presenta difficoltà di pompaggio; se, invece, il volume della "povere fine" scende al di sotto di 170 L/m³ aumenta, appunto, il rischio di segregazione. Se le parti fini fossero tutte di cemento, il volume minimo di 170 L/m³ espresso in dosaggio di cemento (che ha un peso specifico di 3,1 kg/L) corrisponderebbe a oltre 525 kg/m³, un dosaggio quasi sempre proibitivo per strutture di spessore superiore a 30 cm per i problemi di eccessivo calore di idratazione, e quindi di gradienti termici tra nucleo e periferia con conseguenti elevate probabilità di fessurazione. Né si può ignorare il rischio di fessurazione indotta dal ritiro igrometrico e da quello autogeno provocati anch'essi da un eccessivo dosaggio di cemento ed in particolare da



Fig. 2 -
Armatura
metallica da
riempire con
SCC (ponte
Calatrava)

un basso rapporto i/c .

Naturalmente questi rischi diventano ancora maggiori se il volume dei fini si sposta da 170 L/m³ verso il valore massimo di 200 L/m³. Per questi motivi il volume di parti fini deve essere solo in parte costituito da cemento (diciamo non più di 400 kg/m³, preferibilmente 350 kg/m³ e comunque in accordo al rapporto a/c prescelto in base ai criteri di resistenza caratteristica o di durabilità); il resto della “polvere fine” deve essere costituito soprattutto da filler calcareo o da cenere volante o da fumo di silice o anche di sabbia ricca in materiale fine (< 125 µm). Una “polvere fine” costituita da 350 kg/m³ di cemento e 200 kg/m³ di filler calcareo (con peso specifico di 2,7 kg/m³) rappresenta un tipico *mix* da SCC con un volume di “polvere fine” pari a: $350/3,1 + 200/2,7 = 113 + 74 = 187$ L/m³, compreso quindi entro l’intervallo raccomandato di 170-200 L/m³. Nella Tabella 1 è mostrata la composizione completa di un SCC, con questi contenuti di cemento e filler calcareo, e le caratteristiche reologiche del conglomerato (*slump flow* = 650 mm; segregazione assente).

Con questo accorgimento diventa possibile produrre SCC privi di segregazione purché il rapporto in volume tra acqua di impasto (a) e “polvere fine” (V_f) sia circa pari a 1 e rimanga comunque entro l’intervallo di 0,85-1,20: con rapporti di a/V_f al di sotto di 0,85 diventa difficoltoso pompare e trasportare l’SCC in quanto diventa troppo “colloso”; con rapporto di a/V_f oltre 1,20 aumenta nuovamente il rischio di segregazione. Questo rischio, che è ovviamente nullo quando si lavora in condizioni controllate di laboratorio, diventa invece altissimo nella produzione su scala industriale per la esposizione degli aggregati alle oscillazioni delle condizioni atmosferiche e del contenuto di umidità introdotte nel calcestruzzo attraverso gli inerti.

La “polvere fine” ed un pò di VMA per prevenire la segregazione

La soluzione al problema della segregazione e quindi il decollo su scala industriale del processo produttivo dell’SCC sono avvenuti con la scoperta dei cosiddetti

ti agenti modificatori di viscosità (VMA in inglese, da *Viscosity Modifying Agents*). Questi additivi consistono sostanzialmente in prodotti capaci di far aumentare la viscosità della pasta cementizia grazie alla dissoluzione nella fase acquosa di sostanze viscosizzanti come la cellulosa, l’amido, o i biopolimeri poliglucosidici come il Welan, noto anche come Welan Gum. L’aggiunta di VMA (circa 0,6% sul peso del cemento, pari a circa 2kg/m³ di calcestruzzo), in forma di additivo liquido predisciolto in acqua o in altri solventi adatti a mantenere il prodotto in fase liquida facilmente dosabile, comporta sostanzialmente una maggiore stabilità del sistema contro gli inevitabili aumenti di umidità degli inerti nella stagione piovosa e/o di riduzione nella finezza della “polvere fine”.

In sostanza, la combinazione di un adeguato volume di “polvere fine” (170-200 L/m³) con un pò di additivo VMA (circa 0,5%), è capace di migliorare la coesione della matrice cementizia, e rende il sistema SCC meno sensibile alle inevitabili oscillazioni igrometriche e granulometriche di un materiale come l’inerte del calcestruzzo preconfezionato prodotto in grossi quantitativi su scala industriale. Nella Tabella 2 sono mostrate comparativamente due composizioni di SCC :

- la prima, con solo “polvere fine” già mostrata in Tabella 1, è sensibile alle variazioni di umidità e di granulometria della “polvere fine”;
- la seconda composizione di SCC contiene “polvere fine” (187L/m³) ed additivo VMA (2L/m³), e risulta molto meno sensibile alle inevitabili variazioni di umidità degli inerti e di granulometria della “polvere fine”.

Questo approccio alla soluzione dei vari problemi che possono mettere a repentaglio una produzione continua e di successo dell’SCC ha comportato alcune complicazioni sull’impianto di betonaggio che possono essere così riassunte :

- i) installazione di almeno un silo addizionale rispetto ad un impianto tradizionale per lo stoccaggio di uno

**TABELLA 1
COMPOSIZIONE DELL’SCC A**

INGREDIENTI/PROPRIETA'	kg/m ³	L/m ³
CEMENTO (II B/L 32.5 R)	350	113
FILLER CALCAREO	200	74
SABBIA (0-4mm)	805	298
GHIAIA (4-16mm)	810	300
ACQUA	190	190
ARIA	-	20
SUPERFLUIDIFICANTE	5.5	5
VISCOSIZZANTE	-	-
SLUMP-FLOW*	650 mm	
SEGREGAZIONE**	assente	

*Tipo Primum PM 20/2 **Tipo Magma-Flow

**TABELLA 2
CONFRONTO TRA DUE SCC: A e B**

INGREDIENTI/PROPRIETA'	A		B	
	kg/m ³	L/m ³	kg/m ³	L/m ³
CEMENTO (II B/L 32.5 R)	350	113	350	113
FILLER CALCAREO	200	74	200	74
SABBIA (0-4mm)	805	298	804	298
GHIAIA (4-16mm)	810	300	810	300
ACQUA	190	190	190	190
ARIA	-	20	-	17.5
SUPERFLUIDIFICANTE*	5.5	5	6	5.5
VISCOSIZZANTE**	-	-	2	2
SLUMP-FLOW	650 mm		700 mm	
SEGREGAZIONE	assente		assente	

*Tipo Primum PM 20/2 **Tipo Magma-Flow

o più filler non mescolabili tra loro per il diverso peso specifico e quindi per il diverso contributo al volume della “polvere fine”; per esempio 100 kg di filler calcareo corrispondono a 37 litri, mentre 100 kg di cenere volante corrispondono a oltre 45 litri;

- ii) controllo della granulometria del filler e della sabbia per evitare che variazioni eccessive di questi parametri possano provocare la segregazione;

- iii) controllo in tempo reale dell’umidità degli aggregati, e della sabbia in particolare, per evitare che introduzioni surrettizie di una eccessiva umidità degli aggregati bagnati comporti un eccessivo aumento nel rapporto a/V_f e quindi un maggior rischio di segregazione nonostante la presenza di VMA;

-iv) installazione di un dosatore addizionale per l’additivo liquido VMA oltre a quello, anch’esso indispensabile, di additivo superfluidificante.

Tutte queste complicazioni del processo produttivo costituiscono un ostacolo allo sviluppo dell’SCC sugli impianti di calcestruzzo preconfezionato soprattutto in quelli dove si deve iniziare la produzione di SCC. D’altra parte, esiste anche il rischio che qualche insuccesso iniziale presso il cantiere di costruzione, a seguito di questi fenomeni di segregazione, comporti una sorta di definitiva sfiducia da parte degli utenti (imprese) e dei prescrittori (progettisti).

SCC con “acqua viscosa” che agisce da “filler liquido”

La soluzione al problema della segregazione dell’SCC, che ne semplifica la produzione su scala industriale, è rappresentata dalla sostituzione della normale acqua di impasto con una acqua speciale, così viscosa da ostacolare la sedimentazione degli aggregati grossi a seguito del maggior impedimento al loro movi-

mentazione in accordo alla nota legge di Stokes (Fig. 3):

$$V_s = [(D_s - D_f) \cdot r^2 \cdot g] / \eta \quad [1]$$

dove: V_s è la velocità di sedimentazione di una sfera con raggio r e densità D_s in un fluido con densità D_f e viscosità η . In base all’equazione [1], una maggiore viscosità (η) del fluido comporta una minore velocità di sedimentazione (V_s) delle particelle solide di raggio r . D’altra parte, la maggiore viscosità della fase acquosa presente nell’SCC comporta anche un ostacolo alla risalita dell’acqua, e quindi del *bleeding*: si consegue, quindi, un ulteriore elemento in favore di una segregazione nulla o comunque trascurabile.

Come raggiungere questa situazione dell’ “acqua viscosa” con un valore di η molto maggiore di quella di una normale acqua di impasto? Si può impiegare un dosaggio di VMA molto maggiore di quello usualmente adottato in combinazione con un adeguato volume di “polvere fine” (170-200 L/m³). La colonna C della Tabella 3 mostra che un dosaggio di 1,8% sul cemento pari a circa 7 kg/m³ di additivo VMA consente di fare a meno di qualsiasi filler e di ottenere un SCC non segregabile anche con un dosaggio di cemento di 400 kg/m³ e quindi con un volume di “polvere fine” (V_f) che arriva appena a $400/3,1 = 129$ L/m³. In sostanza, una concentrazione circa tre volte maggiore dell’additivo VMA (7 contro 2 Kg/m³) consente di ottenere un calcestruzzo più resistente alla segregazione che non l’SCC senza VMA (composizione A in Tabella 3), o l’SCC contenente “polvere fine” (187 L/m³) ed additivo VMA in misura di 2 kg/m³ (composizione B in Tabella 3).



Fig. 3 - George Gabriel Stokes, matematico irlandese

CONCLUSIONI

L’impiego di un dosaggio “generoso” di agente viscosizzante (circa 7 L/m³) consente di fare a meno del filler in polvere: è come se invece di acqua normale si impiegasse un’acqua viscosa”. Questa tecnologia per produrre SCC senza dover aggiungere anche filler in polvere (composizione C della Tabella 3) presenta alcuni vantaggi:

- I) eliminazione del silo del filler della “polvere fine” sull’impianto di betonaggio;

- II) affidabilità del sistema nella completa eliminazione della segregazione anche in presenza di solo cemento;

- III) possibilità di produrre in modo discontinuo l’SCC senza dover investire nel silo del filler e del suo stoccaggio quando non si produce l’SCC.

TABELLA 3
CONFRONTO TRA TRE SCC: A, B e C

INGREDIENTI/PROPRIETA'	A		B		C	
	kg/m ³	L/m ³	kg/m ³	L/m ³	kg/m ³	L/m ³
CEMENTO (II B/L 32.5 R)	350	113	350	113	400	129
FILLER CALCAREO	200	74	200	74	-	-
SABBIA (0-4mm)	805	298	804	298	910	337
GHIAIA (4-16mm)	810	300	810	300	810	300
ACQUA	190	190	190	190	200	200
ARIA	-	20	-	17,5	-	20
SUPERFLUIDIFICANTE*	5,5	5	6	5,5	8	7
VISCOSIZZANTE**	-	-	2	2	7	7
SLUMP-FLOW	650 mm		700 mm		750 mm	
SEGREGAZIONE	assente		assente		assente	

*Tipo Primium PM 20/2 **Tipo Magma-Flow

Forza di Gruppo

Colacem e **Colabeton** sono tra i leader nella produzione di cementi e calcestruzzi preconfezionati in Italia. Gli stabilimenti e gli impianti di betonaggio distribuiti su tutto il territorio nazionale assicurano un servizio capillare e tempestivo in ogni momento della giornata, grazie all'ottimizzazione della produzione ed un efficace sistema di trasporti, con un unico obiettivo: **la piena soddisfazione dei nostri clienti.**

www.colacem.it

www.colabeton.it

G R U P P O

FINANCO



COLACEM



colabeton



Crea il tuo pavimento con ... Portal**Terrazzo.com**

PortalTerrazzo.com nasce dall'idea che ogni scelta sia il risultato di un percorso interiore, l'espressione di un modo d'essere, di una visione personale della realtà. Tue sono le

idee, tuo il gusto, la creatività e la libertà di progettare il pavimento che hai in mente. Nostra l'esperienza, gli strumenti e le conoscenze maturate in anni di attività nel settore

delle pavimentazioni. Un'unione sinergica resa finalmente possibile dalla tecnologia web, perché siamo convinti che nessuno meglio di te possa interpretare il tuo mondo.

Sponsored by:

