

2005

Trimestrale

Anno X

Numero 31

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

**DURABILITA'
MILLENARIA
del PONT DU GARD
(19 A.C., Augusto
Imperatore)**

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



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14-09-2005)

**Dalla
durabilità**

**potenziale
del provino
in laboratorio**



**alla
durabilità**

**reale
della struttura
in servizio**

www.iceasas.it



INDUSTRIA CALCESTRUZZI
AFFINI E PREMISCELATI

icea

dei F.lli DI FEDE S.p.A.

I PREMISCELATI LAVICI DELL'ETNA

Azienda presente sul mercato da oltre 30 anni, leader nella produzione di inerti lavici e conglomerati cementizi. Da sempre il nostro obiettivo primario è stato quello di coniugare "tecnologia e tradizione" per immettere sul mercato la più ampia gamma di prodotti con alti standard qualitativi, nel rispetto dell'ambiente e con l'obiettivo di migliorare sempre più la qualità della vita. Nell'anno 2000, forti dell'esperienza maturata sul campo e sensibili alle mutate esigenze tecnico-ambientalistiche, lancia la "Linea premiscelati".

I nostri premiscelati secchi pronti all'uso, sono gli unici presenti sul mercato confezionati rigorosamente a base di inerti lavici. I rigorosi controlli del nostro ciclo produttivo e le continue prove di laboratorio, ci permettono di offrire

e garantire alla nostra clientela un prodotto costante nel tempo e di facile utilizzo e applicazione.

Infatti, la posa in opera di tutti i nostri prodotti, può avvenire indifferentemente sia col sistema tradizionale "a mano" con cazzuola, sia con le moderne macchine intonacatrici a pompa. Le diverse tipologie dei nostri premiscelati, soddisfano tutte le esigenze dei clienti. Produciamo, infatti, dalla malta per muratura agli intonaci, finiture e rasature per interni ed esterni: dalle malte per restauro al calcestruzzo secco per inghisaggi ecc.

Tutti i nostri premiscelati vengono forniti in sacchi da kg. 25.

Dall'anno 2002 l'azienda ha adottato il Sistema di Qualità Certificata a norma UNI EN ISO 9001:2000



S.P. n. 3 - Km 0,300 Zona Industriale - Piano Tavola 95032 Belpasso (CT)

Tel. 095.391095 - 095.391037 PBX - FAX 095.7131670



ENCO JOURNAL

Dal prossimo numero
avrete la possibilità di
scegliere se ricevere via
e-mail oppure via po-
sta

Enco Journal

Compilate il modulo
qui a fianco e speditelo
al numero di fax

Titolo: Architetto Geometra Ingegnere Dott. Altro

Nome _____ Cognome _____

Società / Ente _____

Indirizzo _____

Cap _____ Città _____ Prov. _____

E-mail _____

SI PREGA DI SCRIVERE IN MAIUSCOLO

Via E-mail

Via Posta

Autorizzo la Enco Srl a utilizzare questi dati per l'invio di aggiornamenti periodici
(Dichiarazione ai sensi della Legge 196/2003)

Firma _____



COPREM srl (BG)

Impianto a torre modello HS 675 completo di n. 2 mescolatori AM 3000 da 2 m³ resi vibrati con doppio scarico

Ciascun mescolatore è dotato di 2 sportelli di scarico:

- 1 a servizio di n. 2 autobetoniere per il calcestruzzo preconfezionato;
- 1 a servizio di n. 2 carrelli aerei Conflex modello CF 3000 che alimentano 5 stazioni fisse e 2 mobili per la produzione di calcestruzzo prefabbricato.

SKAKO[®]
-more than a partner

SKAKO Italia srl • Via Discesa Galatina, 10 • I - 81024 Maddaloni (CE)
Tel.: +39 08 23 435 998 • Fax +39 08 23 203 970 • e-mail: skako@skako.it • www.skako.com

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Trimestrale - Anno X - Numero 31

Direttore Mario Collepari

**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
(D.M. 14.09.2005)**

Sulla copertina di questo numero è sintetizzato un concetto più volte ribadito sul calcestruzzo ed ormai familiare ai lettori di questa rivista: il cubetto non è la struttura. Che si tratti di resistenza meccanica, di permeabilità all'acqua, o di durabilità rimane questa fondamentale differenza tra le prestazioni **convenzionali** del provino e quelle **attuali** della struttura ancorché entrambi confezionati con lo stesso identico calcestruzzo. La ragione di questa differenza sta nelle condizioni di **posa in opera** e **maturazione** che sono standardizzate (dalle norme) per il provino, mentre sono incerte per le strutture. Ciò non di meno, in occasione di contestazioni nei Tribunali, si trovano ancora fior di "Professoroni" che ignorano questa sostanziale differenza e che vorrebbero trovare nelle carote estratte dalle strutture le stesse caratteristiche stabilite in capitolato per i provini, senza che in capitolato ci sia però rimasta alcuna traccia su come queste strutture avrebbero dovuto essere trattate.

Anche le nuove **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)** emanate con D.M. sulla Gazzetta Ufficiale del 14 settembre 2005, si occupano - tra l'altro - anche di questi argomenti (posa in opera e maturazione del conglomerato cementizio) e stabiliscono innanzitutto che il **Progettista**, di concerto con il committente, **deve** precisare nel progetto la **vita utile di servizio**. Inoltre, per le opere in c.a. e c.a.p., accanto alla R_{ck} scelta anche in funzione della classe di esposizione dove l'opera è destinata a sorgere, il Progettista **deve** indicare le regole esecutive di **posa in opera** e di **maturazione** in relazione alla particolarità dell'opera, al clima ed alla tecnologia costruttiva. Per facilitare il compito del Progettista su queste scelte e queste regole, le NTC segnalano che si **può** fare riferimento alle Linee Guida del Ministero sul calcestruzzo strutturale o alla norme UNI-EN disponibili sull'argomento, o altre norme nazionali-internazionali presenti e future.

Mi sono reso conto, dalle prime telefonate ed email ricevute dopo la pubblicazione sulla G.U. del 23 Settembre delle NTC, che molti Progettisti "seri" (cioè quelli che hanno letto queste NTC) sono stati presi dal panico: accanto al calcolo strutturale, secondo le nuove NTC debbono infatti indicare quale calcestruzzo adottare in termini di:

- **maturazione** in relazione al *clima* esistente al tempo della costruzione;
- **posa in opera** in relazione alle difficoltà che si incontrano nella *fase esecutiva* della costruzione;
- **durabilità** in relazione alla *classe di esposizione*, cioè dell'*ambiente* cui la struttura sarà esposta un servizio.

Molti di questi Progettisti mi hanno espresso la loro difficoltà a comprendere l'esatto significato di questi termini. Li rimando alla lettura dell'articolo "Durabilità delle opere in c.a. secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni" a pagina 17 di questo numero. Per i progettisti più frettolosi, potrei sintetizzare con tre quesiti le ragioni per le quali le nuove NTC, oltre al calcolo strutturale, chiedono al Progettista di occuparsi di questi aspetti:

- la **maturazione** di una struttura realizzata in inverno può essere la stessa di quella realizzare in estate ?
- la **posa in opera** di un pavimento richiede la stessa difficoltà esecutiva di un nodo-trave pilastro ?
- la **durabilità** di un porto marittimo nel Mediterraneo richiede gli stessi requisiti di quelli per la soletta di un ponte sulle Alpi?

E chi meglio del Progettista deve conoscere queste tematiche. Ecco, direi che da oggi, con le nuove NTC, i progettisti debbono cominciare a pensare **anche** a questi aspetti finora molto trascurati se non del tutto disattesi, e per questo responsabili della scarsa durabilità delle opere in c.a. Con le nuove NTC, invece il progettista è chiamato a progettare strutture nella cosiddetta *Classe 2* che debbono rimanere integre in servizio per 100 anni.

Ma le nuove NTC chiedono anche una maggiore assunzione di responsabilità da parte dei Direttori dei Lavori chiamati a controllare l'Appaltatore affinché tutti i dettagli esecutivi presenti nel progetto sopra menzionati siano realmente messi in atto.

Mario Collepari

In copertina: Pont du Gard, Francia

Copie stampate: 18.000 delle quali 17.400 distribuite a mezzo posta

SOMMARIO

L'INFLUENZA DEL MESCOLAMENTO SULLE PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO IN PRESENZA DI ADDITIVI SUPERFLUIDIFICANTI

di A. Borsoi, S. Collepari, E.N. Croce, G. Sforza

(pag. 7)

L'UTILIZZO DI CENERI DA BIOMASSA PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL CALCESTRUZZO

Parte I - Caratterizzazione delle ceneri
di G. Sforza, G. Moriconi, O. Favoni

(pag. 11)

DURABILITA' DELLE OPERE IN C.A. SECONDO LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

di M. Collepari, R. Troli

(pag. 17)

RICICLAGGIO DEI MATERIALI DA DEMOLIZIONE NELLA PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO

Parte I - Principi generali ed applicazioni sui cantieri
di V. Corinaldesi, G. Moriconi

(pag. 21)

MONITORAGGIO PER LA MANUTENZIONE PREVENTIVA E PROGRAMMATA DELLE STRUTTURE IN C.A.

Parte I - Illustrazione del sistema
di F. Tittarelli, G. Moriconi

(pag. 27)

ENCO Journal

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Ponzano V.to (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@enco.srl

Direttore Responsabile

MARIO COLLEPARDI

Redazione

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

EDITORE

FOCUS

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

COMPOSIZIONE

ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

Grafica e Stampa

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

➤ CORSO DI FORMAZIONE ENCO

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

PROGRAMMA DEL CORSO

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

23-24 Marzo 2005 oppure 11-12 Aprile 2005

Docenti: Prof. M. Collepari, Ing. F. Favero, Ing. F. Simonelli, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepari, Geol. E. Croce

Orario: Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-12.30

Costo: €300,00 + IVA

Materiale Didattico: Nuova Edizione del libro "IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni;

CD Easy & Quick per le prescrizioni secondo Norme Tecniche per le Costruzioni; copia elettronica delle Norme Tecniche per le Costruzioni, pp. 406 del Servizio Tecnico Centrale

➤ Titolo _____ ➤ Cognome _____ ➤ Nome _____
➤ Societa' / Ente _____ ➤ P.IVA _____
➤ Via _____ n° _____ ➤ CAP _____ ➤ Citta' _____ (____)
➤ Tel _____ ➤ Fax _____ ➤ Mail _____

23-24 Marzo 2005

11-12 Maggio 2006

Autorizzo la Enco Srl a utilizzare questi dati per l'invio di aggiornamenti periodici

(Dichiarazione ai sensi della Legge 196/2003)

➤ Firma _____

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

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



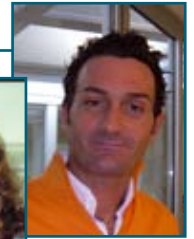
**Informazioni
utili**

L'INFLUENZA DEL MESCOLOAMENTO SULLE PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO IN PRESENZA DI ADDITIVI SUPERFLUIDIFICANTI



Antonio Borsoi, Silvia Collepari,
Emanuela N. Croce, Giuseppe Sforza*
Enco - Engineering Concrete, Ponzano Veneto (TV)
info@encosrl.it

*General Admixtures SpA, Ponzano Veneto (TV)
info@gageneral.com



INTRODUZIONE

L'impiego di additivi superfluidificanti è ormai entrato nella pratica comune anche di calcestruzzi di medie prestazioni caratterizzate da R_{ck} di 25-30 MPa. Durante gli ultimi decenni ci sono state notevoli progressi nel settore degli additivi superfluidificanti, passando dal primo introdotto sul mercato a metà degli anni '70 del secolo scorso (poli-naftalen-solfonato, PNS) per passare a quelli della ultima generazione come il policarbossilato a base di etere etilenico PE [1].

Nella Fig. 1 è schematicamente mostrato il meccanismo di azione del PNS basato sulla **repulsione elettrostatica** tra i granuli di cemento per effetto della carica negativa che si instaura su tutte le superfici dei granuli. Nella Fig. 2 è mostrato il meccanismo di azione del PE basato sull'ostacolo fisico (noto come **impedimento sterico**) tra i granuli di cemento per l'ingombro rappresentato dai "pendagli" a base di catene laterali molto lunghe.

Qualunque sia il meccanismo di azione, l'effetto che ne consegue è documentato dalla Fig.3 che mostra i granuli di cemento in presenza di acqua ed in assenza di additivo (agglomerati in una sorta di "microgrumi" che contengono centinaia di granuli di cemento* e la loro dispersione in agglomerati più piccoli o in singoli granuli di cemento quando alla pasta di cemento è aggiunto un additivo superfluidificante.

A questo effetto a livello microscopico mostrato in Fig.3, corrisponde una variazione straordinaria a livello macroscopico: a seguito della rottura dei *microgrumi* di cemento, per effetto del fluidificante, la dispersione che ne deriva fa aumentare enormemente la fluidità dell'im-

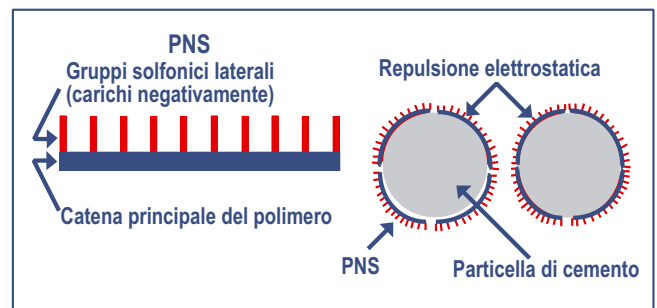


Fig. 1 - Deflocculazione per repulsione elettrostatica.

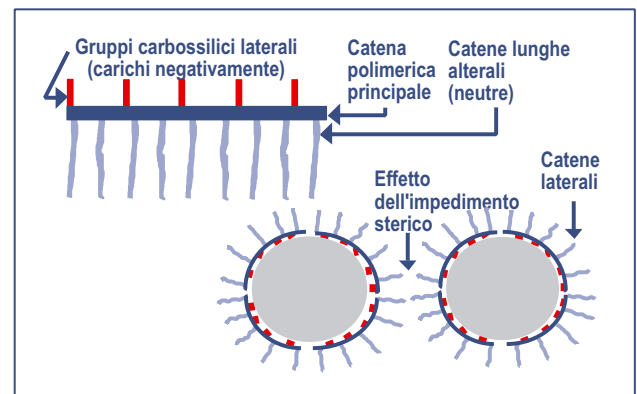


Fig. 2 - Deflocculazione per impedimento sterico.

pasto sia se si tratta di una semplice pasta cementizia (Fig.4) sia se si tratta del più complesso calcestruzzo (Fig.5). Se nell'impasto additivato si riduce l'acqua, in modo da mantenere la lavorabilità originale dell'impasto senza additivo, si può ridurre il rapporto acqua-cemento (a/c) migliorando la resistenza meccanica, la durabilità, la impermeabilità, ecc.: in questo caso il nome più appropriato per questi additivi sarebbe quello di riduttori d'acqua. Esiste infine una terza possibilità di impiego degli additivi superfluidificanti: ridurre sia l'acqua che il cemento a pari a/c ed a pari lavorabilità in modo da ridurre il dosaggio di cemento, aumentare il contenuto di aggregato e favorire quindi la formazione di calcestruzzi con meno

*L'agglomerazione dei granuli di cemento in acqua dipende dal fatto che, durante la macinazione del cemento nel mulino della cementeria, si vengono a creare delle cariche elettrostatiche di segno opposto su ogni singolo granulo a causa della frattura delle particelle più grosse che rompe i legami chimici di carattere coulombiano esistenti tra gli atomi dei composti del cemento.

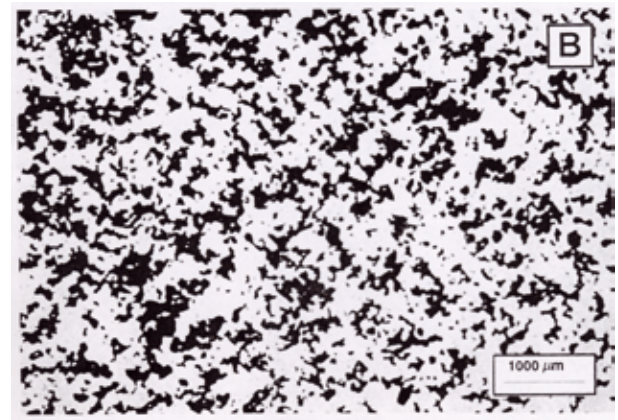
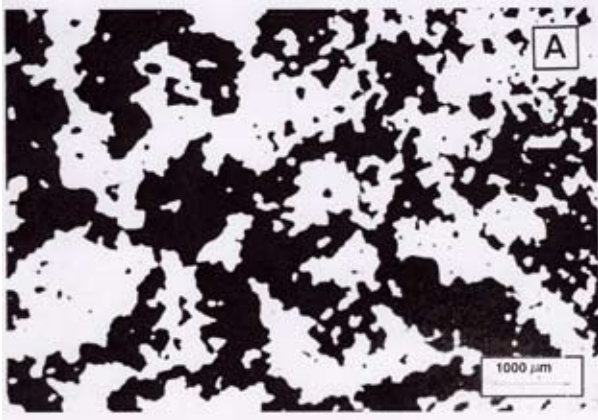


Fig.3 - Pasta di cemento flocculata al microscopio ottico (A) ; pasta di cemento dispersa al microscopio ottico (B).

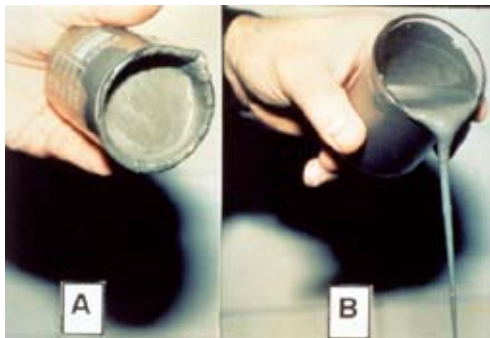


Fig. 4 - Pasta di cemento con rapporto $a/c = 0.35$ in assenza ed in presenza di additivo superfluidificante.

ritiro igrometrico e minori tensioni di origine termica provocate dal calore di idratazione del cemento [2]. Si può anche fare una combinazione di questi effetti “*spalmando*” l’effetto degli additivi superfluidificanti sulla riduzione del rapporto a/c e sulla riduzione del dosaggio di cemento.

SCOPO DELLA RICERCA

Lo scopo principale della ricerca è stato quello di valutare se i vantaggi sopra descritti derivanti dall’impegno degli additivi superfluidificanti potessero o meno essere enfatizzati da un mescolamento più efficace di quello usualmente adottato in una autobetoniera, cui si affida il compito di miscelare il calcestruzzo fresco anche se essa



Fig. 5 - Calcestruzzo con rapporto $a/c = 0.45$ in assenza (a destra) ed in presenza di additivo superfluidificante.

sia in effetti destinata al solo trasporto del calcestruzzo. Pertanto sono stati mescolati alcuni calcestruzzi, tutti additivati con superfluidificanti, in autobetoniera o in un mescolatore cosiddetto *controcorrente* nel quale alcune pale rotanti si muovono ad alta velocità e con movimento ciclico contrario al flusso dei materiali (Fig.6) .

RISULTATI E DISCUSSIONE

E’ stato impiegato un cemento di miscela al calcare CEM II-L 32.5 N ed inerti alluvionali con diametro massimo di 32 mm. Le composizioni dei quattro calcestruzzi studiati sono mostrate nelle Tabelle 1 e 2. Sono stati impiegati due additivi superfluidificanti: uno a base di PNS in forma di una soluzione acquosa contenente il 40 % di sostanza attiva; il secondo a base di PE in forma di una soluzione acquosa contenente il 20% di sostanza attiva. Il mix realizzato in autobetoniera è contrassegnato con ABT. Quelli prodotti nel mescolatore controcorrente sono contrassegnati da MCC seguito da una lettera (A-B-C)

Il primo impasto (Mix ABT) è stato realizzato in au-

Tabella 1 - Composizione dei calcestruzzi in autobetoniera (ABT) e mescolatore controcorrente (MCC/A).

COMPOSIZIONE	ABT	MCC/A
CEM II B/L 32.5 N	292	290
Acqua	175	174
Aggregato (32 mm D_{max})	1946	1947
PE	----	----
PNS	2.9	2.9
Slump (mm)	80	200
a/c	0.60	0.60
i/c	6.7	6.7
R_{ck}	25	25
Ritiro a 1 mese ($\mu m/m$)	245	250
Impermeabilità	NO	NO



Fig. 6 - Rappresentazione schematica del mescolatore controcorrente con 3 pale rotanti che girano nel senso opposto al movimento del contenitore.

tobetoniera con l'obiettivo di raggiungere una classe di consistenza plastica S2, impiegando circa 300 kg/m³ di cemento con un rapporto *a/c* di 0,60 e adottando come superfluidificante un additivo del tipo PNS a base di naftalina solfonata dosato all'1% sul peso del cemento (Tabella 1). Questo stesso calcestruzzo replicato nel mescolatore controcorrente è indicato in Tabella 1 come Mix MCC-A.

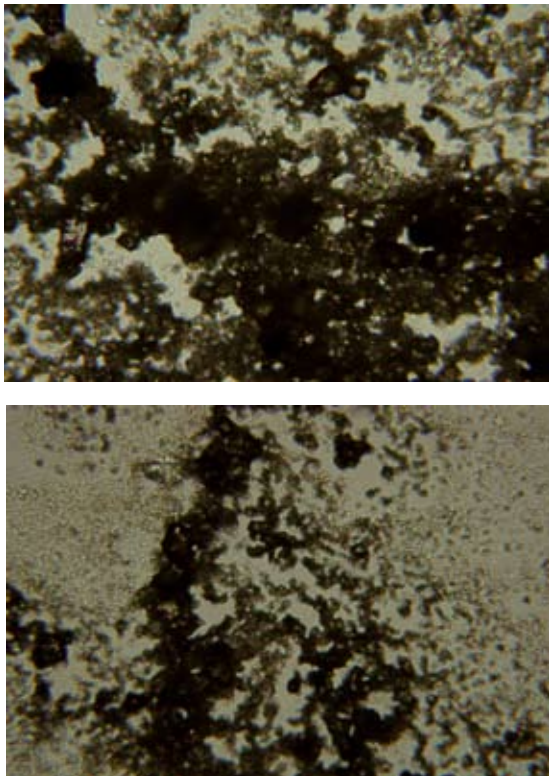


Fig. 7 - Pasta cementizia prelevata dal Mix-ABT (in alto) e dal Mix-MCC-A (in basso).

La principale differenza nelle prestazioni del Mix ABT e del Mix MCC-A consiste nella classe di consistenza che passa da S2 ad S4. L'aumento di *slump* da 80 a 200 mm è ovviamente dovuto ad un maggior effetto disperdente del superfluidificante PNS quando la miscelazione avviene in un sistema più efficace quale è il mescolatore controcorrente rispetto all'autobetoniera. La Fig. 7 mostra comparativamente due porzioni di pasta cementizia prelevate dal Mix ABT e dal Mix MCC-A e collocate su un vetro trasparente per essere osservate al microscopio ottico : si può osservare come il cemento nella pasta prelevata dal calcestruzzo del mescolatore controcorrente si presenti molto più disperso che non quello presente nella pasta del calcestruzzo mescolato in autobetoniera. Poiché il tipo di mescolamento è il solo parametro cambiato per passare dal Mix-ABT al Mix-MCC-A si deve concludere che il maggior effetto fluidificante è collegato ad un maggior effetto disperdente che si genera con il mescolamento controcorrente: è come se, per effetto del movimento

Tabella 2 - Composizione dei calcestruzzi confezionati con il mescolatore controcorrente ed additivo naftalinico o acrilico.

COMPOSIZIONE	MCC/B	MCC/C
CEM II B/L 32.5 N	273	275
Acqua	150	150
Aggregato (32 mm D _{max})	2022	2020
PE	----	1.5
PNS	2.7	----
Slump (mm)	80	80
<i>a/c</i>	0.55	0.55
<i>i/c</i>	7.4	7.3
R _{ck}	30	30
Ritiro a 1 mese (µm/m)	200	200
Impermeabilità	SI	SI

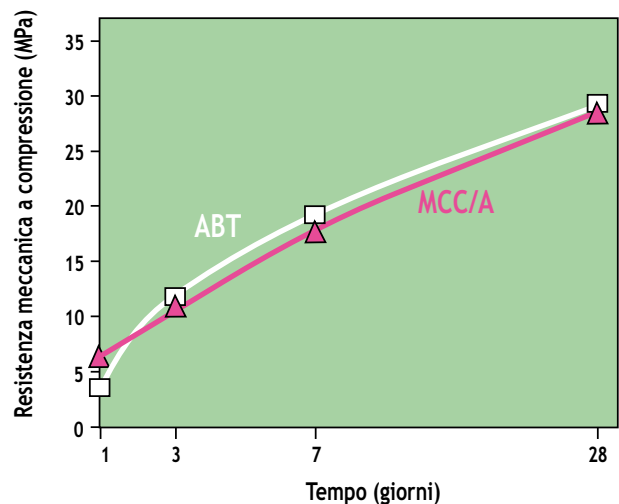


Fig. 8 - Sviluppo della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo confezionato in autobetoniera (Mix-ABT) e nel mescolatore controcorrente (Mix-MCC-A).

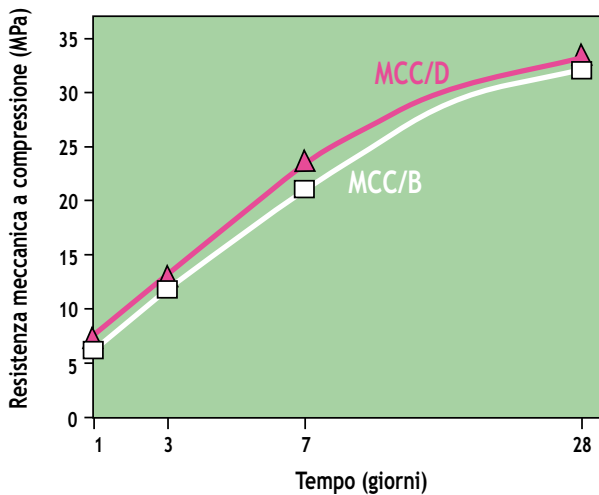


Fig. 9 - Sviluppo della resistenza meccanica a compressione di calcestruzzi confezionati nel mescolatore controcorrente con additivo PNS dosato all'1% sul cemento (Mix-MCC-C) o con PE dosato allo 0.55% sul cemento (Mix-MCC-D).

delle pale in controcorrente al movimento dell'impasto, si generassero sforzi di taglio capaci di rompere più efficacemente i *microgrumi* di cemento.

Le prestazioni dei calcestruzzi ABT ed MCC-A non presentano significative differenze per l'adozione dello stesso rapporto *a/c*. Nella Fig. 8 è mostrata la resistenza meccanica a compressione in funzione del tempo per i due calcestruzzi: non si registrano significative differenze ed entrambi i calcestruzzi potrebbero essere assegnati alla classe di resistenza C15/20. Anche la prova di penetrazione all'acqua in pressione secondo la norma UNI EN 12390-8 mostra che si tratta di due calcestruzzi permeabili (Tabella 1).

Sono stati confezionati altri due impasti, entrambi in mescolatore controcorrente, differenziati per il tipo di additivo: quello a base di PNS nel Mix-MCC-B e quello a base di PE nel Mix-MCC-C (Tabella 2). Entrambi i calcestruzzi presentano, rispetto al calcestruzzo di riferimento ABT a pari lavorabilità di circa 80 mm di slump, i seguenti vantaggi:

- una leggera riduzione nel dosaggio di cemento di circa il 5% (da circa 290 a circa 275 kg/m³);
- una significativa riduzione nel rapporto *a/c* di circa l'8% (da circa 0,60 a 0,55);
- una minore di penetrazione di acqua in pressione (da 30 a 20 mm) proprio in considerazione della riduzione nel valore di *a/c*;
- una riduzione nel ritiro igrometrico a 1 mese in ambiente con U.R. del 55% da circa 250 a circa 200 mm/m per la diminuzione di *a/c* e per l'aumento nel rapporto inerte/cemento (*i/c*) da circa 6,7 a circa 7,3.

Entrambi i calcestruzzi (Mix-MCC-B e Mix-MCC-C) miscelati nel mescolatore controcorrente presentano anche un discreto aumento nella resistenza caratteristica da 25 a 30 MPa come è testimoniato dai risultati mostrati in Fig. 9.

Per evidenziare la migliore prestazione del superfluidificante PE rispetto al PNS i dosaggi dei due additivi sono stati adeguatamente fissati per avere la stessa classe di consistenza (S2), e lo stesso valore di *a/c* (0,55): l'additivo PNS pur essendo più concentrato dell'additivo PE (40% contro 20%) richiede un maggior dosaggio di additivo (2,7 kg/m³ contro 1,5 kg/m³) per compensare la sua intrinseca minore prestazione.

CONCLUSIONI

Sono stati confezionati calcestruzzi (tutti di media prestazione per la R_{ck} di 25-30 MPa) in una tradizionale autobetoniera e in un mescolatore che funziona sul principio della controcorrente. Quelli prodotti con questo mescolatore presentano significativi vantaggi rispetto al calcestruzzo miscelato in autobetoniera:

- maggior lavorabilità (da consistenza plastica S2 a consistenza fluida S4), quando il confronto è fatto a parità di composizione;
- maggiori prestazioni in termini di resistenza meccanica e di impermeabilità, oltre che risparmio nel dosaggio di cemento, quando il confronto è fatto a parità di consistenza (*slump* di 80 mm).

L'effetto del tipo di miscelazione è stato attribuito alla maggiore dispersione dei granuli di cemento che si realizza nel mescolatore controcorrente con una azione che enfatizza quella dei superfluidificanti.

Sarebbe molto interessante estendere questo tipo di indagine a calcestruzzi più prestazionali con rapporti *a/c* molto più bassi per confermare i risultati ottenuti in questa ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Mario Collepari, "Admixture-Enhancing Concrete Performances", Proceedings of the 6th International Congress «Global Constructions : Ultimate Concrete Opportunities», Dundee, Scotland, pp.217-230, 2005.
- [2] Mario Collepari, "Il Nuovo Calcestruzzo", Terza Edizione, pp. 190-205, Edizioni Tintoretto Villorba, 2003.

L'UTILIZZO DI CENERI DA BIOMASSA PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE DEL CALCESTRUZZO



Parte I - Caratterizzazione delle ceneri

Giuseppe Sforza - General Admixtures SpA, Ponzano Veneto (TV)
Giacomo Moriconi, Orlando Favoni - Università Politecnica delle Marche, Ancona



1. SVILUPPO SOSTENIBILE

La prima definizione di “sviluppo sostenibile” in ordine di tempo risale al 1992 quando Brundtland, alla Conferenza svoltasi a Rio de Janeiro nel giugno 1992 su “*Ambiente e Sviluppo*”, così l’enunciava: “...è quello sviluppo che consente di conciliare le esigenze del Mondo attuale senza compromettere quelle delle generazioni future”.

Il concetto di sviluppo sostenibile prevede, prima di tutto e soprattutto, un uso giudizioso delle risorse naturali; infatti nel 2002 Collepari [1] indicava quali cardini di uno sviluppo sostenibile i seguenti:

- massimo risparmio delle risorse energetiche e delle materie prime non rinnovabili;
- minimo inquinamento dell’ambiente, riutilizzando scorie provenienti anche da altri processi quali nuove risorse per una produzione eco-compatibile.

Per Mehta [2] vi è la possibilità di legare intimamente i principi-cardine indicati da Collepari assumendo che il danno ambientale “*D*” sia espresso dalla seguente funzione:

$$D = f (P, I, W)$$

dove *P* = popolazione; *I* = indice di industrializzazione; *W* = rendimento di utilizzo delle risorse naturali.

Stime attendibili parlano di una crescita da 6 ad 8 miliardi della popolazione mondiale nel 2036 fino a raggiungere i 9,2 miliardi nel 2050; a ciò si aggiunga una corrispondente crescita a livello industriale. Sicché, volendo minimizzare il danno ambientale “*D*”, non si può che intervenire sul termine “*W*”. Hawken e collaboratori [3] sostengono che solo il 6% del totale dei materiali in circolazione finisce con il diventare bene di consumo, mentre gran parte del materiale vergine ritorna all’ambiente sotto forma di rifiuto sia esso liquido, solido o gassoso. Infatti fino a qualche decennio fa, influenzati dalla rivoluzione industriale, si è data enfasi esclusivamente alla produttività visto che le risorse naturali erano abbondanti e l’ambiente in buona salute. Tale scenario è purtroppo cambiato e necessariamente si deve ricorrere ad un aumento del rendimento dei materiali vergini si da ottenere un triplice beneficio:

- 1) annientare lo spreco di risorse utilizzando solo lo stretto necessario;
- 2) diminuire l’impatto ambientale dei processi produttivi;
- 3) fornire basi solide per un incremento di forma lavoro a livello mondiale.

Sulla scia della definizione data in precedenza, e sempre a Rio de Janeiro all’ “*Earth Summit*” del 1992, si pone la definizione di sviluppo sostenibile come “un’attività economica in armonia con l’ecosistema terrestre”. In quest’ottica una sfida dei ricercatori operanti nel settore dei materiali da costruzione è rappresentata dal riciclo di scorie provenienti da altri processi industriali con l’obiettivo di produrre prodotti più economici e magari più prestanti.

2. IMPATTO AMBIENTALE DEL CALCESTRUZZO

Il cemento Portland, il principale legante utilizzato nel moderno calcestruzzo, non solo richiede un grosso utilizzo di energia per la sua produzione ma è anche responsabile di una notevole emissione di CO₂. L’industria del cemento [4,5] è responsabile per circa il 5-7% dell’emissione globale di CO₂; la produzione di una tonnellata di clinker di cemento Portland implica l’emissione in atmosfera di una tonnellata di anidride carbonica.

Mediamente un calcestruzzo ordinario contiene circa il 12% di cemento, l’8% di acqua e l’80% di aggregati. Ciò significa che oltre a 1,5 miliardi di tonnellate di cemento, nel Mondo, l’industria del calcestruzzo consuma annualmente 10 miliardi di tonnellate di sabbia e roccia unitamente ad un miliardo di tonnellate d’acqua. L’estrazione, la trasformazione ed il trasporto di tali enormi quantità di aggregati, in aggiunta ai circa 3 miliardi di tonnellate di materiale grezzo di cui annualmente necessita la produzione di cemento, rappresentano un ingente consumo di fonti non rinnovabili.

E’ possibile ridurre l’impatto ambientale dell’industria del calcestruzzo con un duplice approccio a breve e lungo termine.

In questo articolo è presa in considerazione una delle tante possibili soluzioni a breve termine attraverso l’utilizzo di sottoprodotti di altri processi industriali, quali le

ceneri da biomassa, in parziale sostituzione del clinker di cemento Portland al fine di ridurre l'impatto ambientale legato allo smaltimento di un rifiuto e quello legato alle emissioni di anidride carbonica connesse con la produzione di clinker in cementeria.

3. ENERGIA DA BIOMASSA

In termini di produzione energetica la biomassa [6] consiste in tutto quell'insieme di materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili oppure trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell'industria della trasformazione del legno (trucioli, segatura, ecc.), scarti delle aziende zootecniche, gli scarti mercatali, i rifiuti solidi urbani (limitatamente alla sola parte organica), residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia) o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Il principale vantaggio ambientale conseguente allo sfruttamento della risorsa biomassa [7] per fini energetici consiste nel limitare l'emissione di anidride carbonica in atmosfera poiché quella rilasciata durante la decomposizione, sia che essa avvenga naturalmente sia per effetto della conversione energetica, è equivalente alla quantità di anidride carbonica assorbita durante la crescita della biomassa stessa.

TABELLA 1 - MASSA VOLUMICA DI ALCUNI CEMENTI E DELLE CENERI IN ESAME

Tipo di materiale	Massa Volumica (g/cm ³)
Cenere 1	2,405
Cenere 2	2,044
Cenere 3	2,554
Cenere 4	2,460
Cenere 6	2,227
Cenere 7	2,468
Cenere 8	2,565
Cenere VES	2,803
Cenere BRI	2,789
CEM II/A-L 32.5 R	2,883
CEM II/A-L 42.5 R	2,909
CEM III/A 32.5 R	2,904
CEM IV/A 32.5 R	2,848
CEM IV/A 42.5 R	2,854

TABELLA 4 - VALORI DEL BLAINE MISURATO PER LE CENERI ED I CEMENTI

Tipo di materiale	Blaine (cm ² /g)
Cenere 1	6279
Cenere 2	1347
Cenere 3	2937
Cenere 4	1353
Cenere 6	4636
Cenere 7	-----
Cenere 8	2117
Cenere VES	4696
Cenere BRI	4020
CEM II/A-L 32.5 R	4539
CEM II/A-L 42.5 R	4503
CEM III/A 32.5 R	3725
CEM IV/A 32.5 R	4310
CEM IV/A 42.5 R	6031

TABELLA 2 - PERCENTUALE DI INCOMBUSTI NELLE CENERI

Tipo di cenere	p.a.f. (%)
Cenere 1	6,24
Cenere 2	2,94
Cenere 3	17,91
Cenere 4	9,79
Cenere 6	21,80
Cenere 7	8,64
Cenere 8	11,76
Cenere VES	6,17
Cenere BRI	6,45

TABELLA 3 - FINEZZA DELLE CENERI

Tipo di cenere	Trattenuto a 45 µm (%)
Cenere 1	26,0
Cenere 2	83,5
Cenere 3	41,0
Cenere 4	76,5
Cenere 6	45,5
Cenere 7	95,0
Cenere 8	66,5
Cenere VES	30,1
Cenere BRI	34,3

Attualmente [8,9] la popolazione mondiale soddisfa il 12-15% del proprio fabbisogno di energia primaria grazie all'impiego di biomassa. In Europa il contributo di questa fonte al soddisfacimento del fabbisogno totale di energia è del 3-4%, mentre tale contributo sale al 35-38% nei paesi in via di sviluppo, dove tuttavia viene utilizzata con tecnologie a bassissimo rendimento energetico. Infatti, in tali paesi, spesso la biomassa sottratta all'ambiente non viene rinnovata con nuove coltivazioni; ad esempio in Asia il rapporto tra ettari disboscati e rimboscati annualmente è ad oggi di 25 a 1.

I **processi di conversione biochimica** permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, i quali si formano nella biomassa sotto particolari condizioni; tali processi vengono impiegati nel caso di biomasse in cui il rapporto carbonio/azoto (C/N) è inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonei alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, olive, patate, ecc...), i reflui zootecnici ed alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, ecc...), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate. Le tecnologie adatte a questo tipo di processi sono la digestione anaerobica e quella aerobica.

I **processi di conversione termochimica** sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulose e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc...), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligneo-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc...) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc...). Le tecnologie che appartengono a questo tipo di processo sono: *co-firing*, pirolisi, massificazione, combustione, carbonizzazione.

4. CENERI DA BIOMASSA

In Italia la diffusione degli impianti energetici basati sulla biomassa [10] rende significativo il problema dello smaltimento delle ceneri residue che sono prodotte in quantità elevate. Per queste ceneri [11] l'attuale legislazione sui rifiuti offre le seguenti possibilità:

- conferimento in discarica;
- recupero in cementifici e nell'industria dei laterizi;

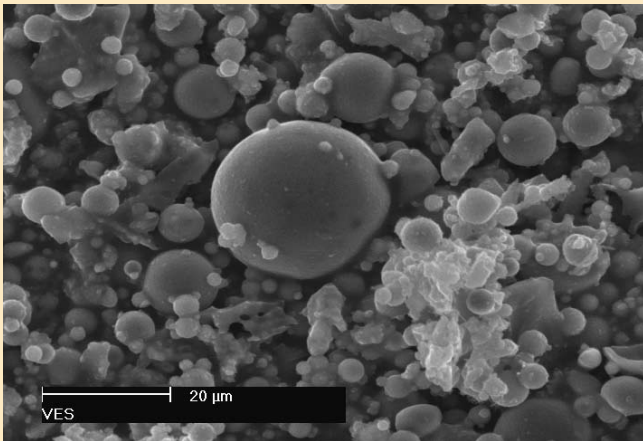


Fig.1 - Cenere VES da carbone.

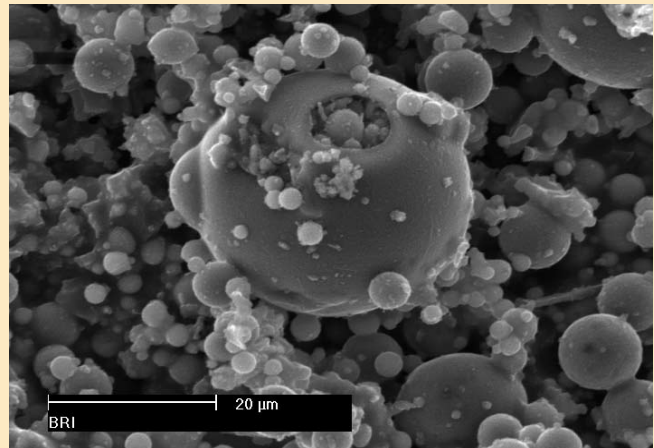


Fig. 2 - Cenere BRI da carbone: al centro una plenosfera.

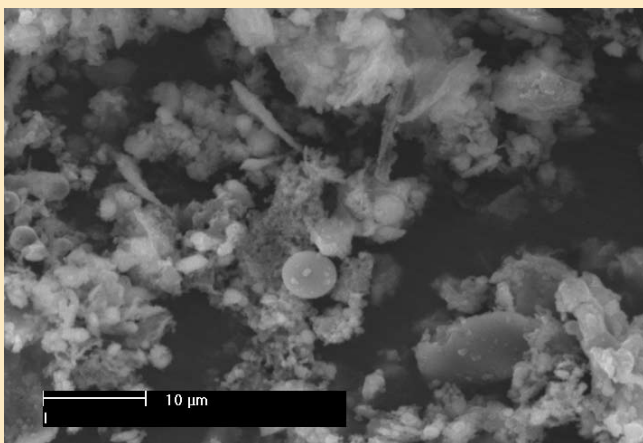


Fig. 3 - Cenere 1 da biomassa: particelle sferiche.

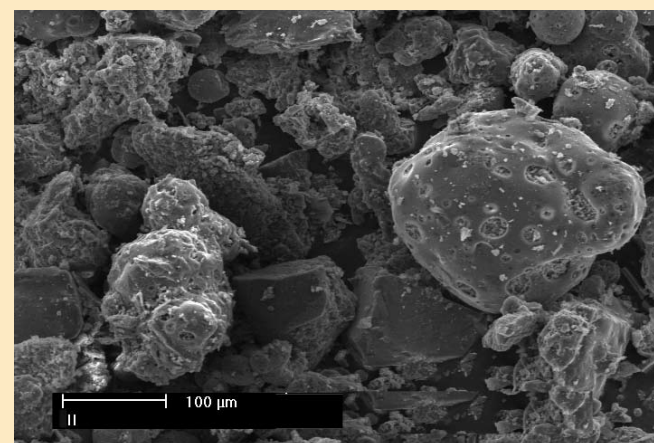


Fig. 4 - Cenere 2 da biomassa con bassa superficie Blaine.

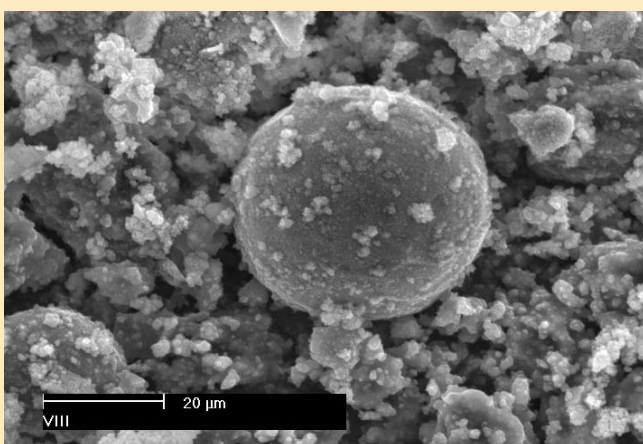


Fig. 5 - Cenere 8 con poche particelle sferiche ma ricca di particelle geometricamente regolari.

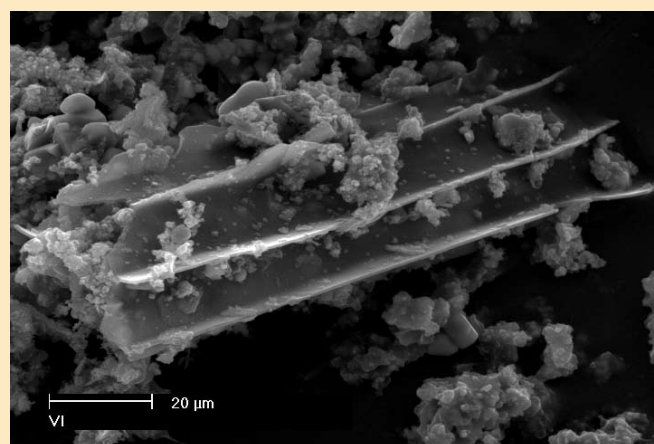


Fig. 6 - Cenere 6 da biomassa.

- produzione di compositi;
- produzione di fertilizzanti;
- autorizzazione allo spandimento a scopo agricolo.

Il recupero in cementifici e nell'industria dei laterizi è previsto dal D.M. 5 Febbraio 1998; quindi tale operazione è sottoposta a procedura semplificata (comunicazione anziché autorizzazione). La scheda 13 del suddetto decreto si occupa appunto delle ceneri da impianti di combustione di biomasse ed affini, fanghi di cartiera inclusi. Purtroppo nella realtà gli impianti che producono questo tipo di ceneri incontrano non poche difficoltà nel trovare qualcuno disposto ad attuare il loro recupero; ciò è dovuto a problemi legati esclusivamente alla mancanza di figure professionali competenti, tanto nei processi industriali legati alla loro produzione, quanto nei processi industriali legati alla produzione di cemento. Infatti, l'eterogeneità che caratterizza la qualità delle ceneri è correlabile, come ovvio, con la natura della biomassa utilizzata, ma anche con lo specifico processo di conversione da cui le ceneri derivano.

5. CARATTERIZZAZIONE FISICA, CHIMICA E MORFOLOGICA DELLE CENERI

In precedenza si è visto come la produzione delle ceneri da biomassa avvenga a mezzo di diversi processi tecnologici sì da ottenere ceneri estremamente eterogenee dal punto di vista delle caratteristiche fisico-chimiche. A ciò si aggiunga l'eterogeneità del materiale di partenza tanto che T.R. Naik e collaboratori [12], a proposito di ceneri derivanti dalla combustione di legno, notano forti influenze sul buon esito delle loro applicazioni in calcestruzzi strutturali imputabili, tanto al diverso metodo di trattamento, quanto a differenti caratteristiche fisico-chimiche dettate dalla specie arborea e persino dalle diverse condizioni e zone di crescita. Pertanto, nella ricerca oggetto di questo articolo sono state studiate dieci ceneri complessivamente, di cui sei provenienti esclusivamente dall'incenerimento di biomassa. Va precisato che il termine "*fly ash*" (cenere volante) può essere impiegato per tutte le suddette ceneri tranne una (classificata come cenere 7) che risulta essere una "*bottom ash*" (letteralmente cenere di fondo ovvero cenere più grossolana).

Le ceneri oggetto di studio (Tabella 1) sono state così denominate:

- **CENERE 1**, provenienza biomassa, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante 100% in peso);
- **CENERE 2**, provenienza biomassa, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante 100% in peso);
- **CENERE 3**, provenienza biomassa, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante medio 97% in peso);
- **CENERE 4**, provenienza non specificata, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante medio 98% in peso), nel trattenuto sono stati rinvenuti rametti di legno e foglie privi di segni di combustione;
- **CENERE 6**, provenienza non specificata, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante medio 98% in peso), nel trattenuto sono stati rinvenuti chiodi e materiale di tipo vetroso con segni di combustione;
- **CENERE 7**, provenienza biomassa, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante medio 58% in peso), nel trattenuto sono stati rinvenuti chiodi e rottami di ferro con segni di combustione;
- **CENERE 8**, provenienza biomassa, essiccata in forno 24 ore e setacciata al setaccio UNI 2 (passante 100% in peso).

Inoltre, a scopo comparativo si è scelto di affiancare alle ceneri in esame due *fly ash* (provenienti dalla combustione del carbone) già in uso per il confezionamento di calcestruzzo e quindi con comprovate e note caratteristiche chimico-fisiche sia proprie sia conferite al calcestruzzo (lavorabilità, a/c, reologia, ecc.). Le due *fly ash* da carbone sono classificate come:

- **CENERE VES**, proveniente dalla combustione di carbone in centrale termoelettrica;
- **CENERE BRI**, proveniente dalla combustione di carbone in centrale termoelettrica.

Nella Tabella 1 vengono riportati i valori della massa volumica di ogni singola cenere misurata seguendo le indicazioni della UNI EN 1097 parte 7. Questi dati sono stati in seguito utilizzati per il calcolo del valore della superficie specifica Blaine.

Durante la determinazione della massa volumica le ceneri 2, 3, 6 e 8 hanno messo in evidenza la risalita di parte del materiale incombusto che rimaneva poi in galleggiamento sul solvente contenuto nel picnometro. Nella Tabella 2 è quantificata la presenza di materiale incombusto contenuto nelle ceneri in esame attraverso la determinazione della perdita al fuoco (p.a.f.) secondo le indicazioni della EN 196 parte 2. A tal proposito va la pena notare come il valore della p.a.f. per alcune ceneri da biomassa (nello specifico la cenere 1, 2 e 7) risulti comparabile con i valori mostrati dalle ceneri provenienti dalla combustione di carbone.

Oltre alla misura della massa volumica e della p.a.f. è stata effettuata una setacciatura a umido con lo scopo di caratterizzare granulometricamente la parte più fina delle ceneri in esame. Infatti tale prova, eseguita secondo le indicazioni della UNI 451 parte 2, quantifica il trattenuto al setaccio con apertura di 45 µm. I risultati sono riportati nella Tabella 3.

Si può notare come la cenere 1 (da biomassa) risulti ricca di particelle inferiori a 45 micron tanto quanto le ceneri

provenienti dalla combustione di carbone. Estremamente grossolana risulta invece la cenere 7, com'era lecito aspettarsi visto che si tratta di una bottom ash (da biomassa), e piuttosto povera in fine risulta anche la cenere 2 anche se risulta nominalmente classificata come *fly ash*. L'analisi granulometrica delle ceneri è stata ulteriormente approfondita attraverso la determinazione della finezza Blaine effettuata secondo le indicazioni della UNI EN 196 – 6.

In questo modo si è ulteriormente qualificata la parte più fina delle ceneri in esame; infatti il valore della finezza Blaine si rileva sul materiale passante al setaccio di 150 µm. I risultati della finezza Blaine sono riportati nella Tabella 4.

Il valore della finezza Blaine della cenere 1 (da biomassa) è decisamente superiore tanto a quello dei cementi più fini quanto a quello delle ceneri da carbone. Il valore della finezza Blaine della cenere 7 non è stato misurato in quanto risultava troppo grossolana per questa determinazione.

Alla caratterizzazione fisica delle ceneri è stata affiancata anche una caratterizzazione chimico-morfologica eseguita attraverso un'analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM). La caratterizzazione morfologica delle ceneri usate per la produzione di calcestruzzo viene indicata da P.K. Mehta e V.M. Malhotra come fondamentale per la spiegazione di alcuni comportamenti fisici, meccanici e reologici di calcestruzzi di tipo *HVFA (High Volume Fly Ash)* tanto allo stato fresco quanto a quello indurito [13]. L'utilizzo del *SEM* ha permesso di avvalersi della tecnologia *EDXA (Energy Dispersion X-ray Analyzer)* che consente di effettuare un'analisi chimica di tipo qualitativo e semi-quantitativo del campione in esame all'interno del microscopio. Per l'analisi al *SEM* sono stati utilizzati due campioni per ognuna delle ceneri, preparati rispettivamente con la cenere tal quale (essiccata in stufa per 24 ore e passante al setaccio UNI 2) e con la cenere finemente macinata a mezzo di mortaio (sempre previa essiccazione in forno) fino ad ottenere il completo passaggio al setaccio UNI 0,063. Con questa procedura, il primo campione di cenere manteneva pressoché inalterate le sue caratteristiche morfologiche mentre nel secondo avveniva una omogeneizzazione del materiale utile all'analisi chimica.

Lo studio delle composizioni chimiche mediante *EDXA* (qui non riportate per mancanza di spazio) ha evidenziato come diverse ceneri, tutte provenienti da biomassa, possano risultare chimicamente eterogenee; per esempio, nella cenere 1 è presente una rilevante presenza di Silicio ed una notevole quantità di Alluminio, Ferro, Calcio e Potassio, mentre nella cenere 3 si nota solo presenza di Calcio, Potassio e Ferro. La diversa composizione chimica è ovviamente collegata alla diversa tecnica di conversione energetica ed all'eterogeneità dei materiali che ricadono all'interno della definizione di biomassa. D'altro canto nelle ceneri 1 e 2 da biomassa si registra una composizione chimica simile a quella delle ceneri da carbone.

Passando all'analisi dei risultati dello studio morfolo-

gico si evidenzia una netta differenza tra le ceneri da biomassa e quelle da carbone; a tal proposito basta osservare la quasi totale presenza di cianosfere e plenosfere dimensionalmente assortite nel caso delle foto delle Fig.1 e 2 e l'assenza, o quasi, di forme geometricamente regolari nelle foto delle Fig. 3, 4 e 5.

L'origine delle ceneri identificate con i numeri 4 e 6 non è ben precisata salvo che si tratta di materiale "misto": queste ceneri da biomassa si differenziano nettamente da tutte le altre ceneri (siano esse da biomassa o da carbone) tanto a livello chimico quanto a livello morfologico. Si confronta per esempio la morfologia della cenere 8 (Fig.5) con quella della cenere 6 (Fig.6) : infatti, mentre nella cenere 8 (Fig.5) prevalgono particelle geometricamente regolari anche se non sferiche, nella cenere 6 (Fig.6) si registra la presenza di particelle geometricamente irregolari.

Infine, è degno di nota che la cenere 7 da biomassa ma di tipo bottom ash risulta chimicamente simile alle ceneri 1 e 2 da biomassa di tipo fly ash .

Ringraziamento. Questo articolo è stato ricavato da una ricerca condotta come tesi sperimentale dell'Ing. Giuseppe Sforza presso i laboratori della Calcestruzzi Spa sotto la guida dell'Ing. Giuseppe Marchese.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Collepari: "Sviluppo sostenibile" Enco Journal" n° 21, anno VIII, pag. 5.
- [2] P.K.Mehta: "Reducing the environmental impact of concrete"; Concrete International, Ottobre 2001, pag. 61 – 66.
- [3] P. Hawken, E. Lovins, H. Lovins: "Natural capitalism- Creating the next Industrial Revolution", Little Brown and Co., 1999.
- [4] P.K. Mehta, V.M. Malhotra: "High Volume Fly Ash Concrete", Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2002.
- [5] P.K. Mehta: "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development"; Concrete International, July 2002, pag. 23 – 28.
- [6] www.energielab.it
- [7] Atti della IIA Conferenza Mondiale ed Esposizione Tecnologica sulla Biomassa per l'Energia, l'Industria e la Tutela del Clima, Palazzo dei Congressi Roma, 10 - 14 Maggio 2004.
- [8] P. Caputo, PhD in Energetica, Politecnico di Milano ed Accademia di Mendrisio.
- [9] A. Romer, direttore Elettricità Svizzera Italiana..
- [10] M. Alberti: "La gestione delle ceneri da biomassa: un problema da risolvere"; Progetto Fuoco, Verona, 23 Marzo 2002, M. Alberti CTI Energia Ambiente.
- [11] Regione Lombardia & Comitato Termotecnica Italiano: "Attività PROBIO della regione Lombardia", Gennaio 2004.
- [12] T.R.K. Naik: "Greener Concrete for Sustainable Construction", Two Days International Seminar on Sustainable Development in Cement and Concrete Industries, 17 – 18 Ottobre 2003, Politecnico di Milano.
- [13] V.M. Malhotra, P.K. Mehta: "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete"; Supplementary Cementing materials for Sustainable Development I.N.C., Ottawa, Canada, 2002.

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.graficom.it 06/05



Calcestruzzi
Italcementi Group

A world class local business

www.calcestruzzi.it

DURABILITA' DELLE OPERE IN C.A. SECONDO LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI



Mario Collepari, Roberto Troli,
Enco - Engineering Concrete, Ponzano Veneto (TV) info@encosl.it

INTRODUZIONE

La durabilità del materiale, intesa come rispetto della composizione ed in particolare del massimo rapporto acqua-cemento (a/c) e del minimo dosaggio di cemento (c), come viene intesa nella norma UNI EN 206-1, è solo condizione necessaria ma non sufficiente per la durabilità della struttura. Questa, infatti, risente moltissimo della cura o dell'incuria con cui viene realizzata la posa in opera e la maturazione della struttura dopo la scasseratura.

Anche nelle *Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)*, emanate con D.M. del 14 Settembre 2005 e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale del 23 Settembre 2005, si fanno ripetuti riferimenti alla **posa in opera** ed alle regole di **maturazione** che il progettista **deve** indicare per la realizzazione della struttura accanto alle indicazioni sulla classe di resistenza del materiale che tenga conto anche dell'ambiente dove sorgerà l'opera (*classe di esposizione*) e del tempo di **vita utile di progetto** previsto per la struttura.

VITA UTILE DI PROGETTO

Secondo le nuove NTC (paragrafo 2.5) il Committente ed il Progettista, di concerto, **debbono dichiarare** nel progetto la vita utile della struttura. La scelta di questa importante caratteristica – che rappresenta un significativo cambiamento rispetto alle precedenti norme di legge sulle costruzioni in c.a. – è facilitata dalla Tabella 2.5.1 nel testo originale della G.U. e riportata qui come Tabella 1.

Tabella 1 - Vita utile di progetto per diverse tipologie strutturali

VITA UTILE DI PROGETTO (anni)	TIPOLOGIA DI STRUTTURA
10	Strutture provvisorie o temporanee in fase costruttiva
≥ 10	Componenti strutturali sostituibili (giunti, appoggi, ecc.)
50	Strutture in Classe 1
100	Strutture in Classe 2

A parte le strutture provvisorie ed i componenti strutturali sostituibili di immediata interpretazione, le costruzioni vengono suddivise nelle due classi in base ai seguenti criteri:

- **Classe 1:** con vita utile di 50 anni include le normali costruzioni viarie o ferroviarie la cui eventuale interruzione non provoca situazioni di emergenza, le costruzioni per industrie con attività non pericolose, edifici e costruzioni con normali affollamenti, costruzioni senza funzioni pubbliche e sociali di rilevante importanza.
- **Classe 2:** con vita utile di 100 anni include costruzioni con affollamenti significativi in esercizio, reti ferroviarie e viarie le cui interruzioni possono provocare situazioni di emergenza, industrie con attività pericolosa per l'ambiente.

Le NTC non escludono che in casi straordinari possano essere previste costruzioni con una vita utile maggiore di 100 anni, purché si valutino le azioni con appositi studi: si pensi ad esempio ad opere come il MOSE a Venezia o il Ponte sullo Stretto di Messina.

Se il Committente è una pubblica amministrazione, un ente pubblico o un'industria non avrà certo problemi nell'indicare al Progettista con quale Classe di costruzione debba essere identificata la struttura in corso di progettazione. Se il Committente è, invece, un privato o un'azienda non esperta nel settore delle costruzioni, si deve intendere che sia il Progettista ad intervistare il Committente per interpretarne la volontà circa la vita attesa di servizio in base alle esigenze espresse sull'attività destinata a queste costruzioni.

IMPORTANZA DELLA POSA IN OPERA

Si è più volte discusso (1-3) della importanza della posa in opera intesa come getto e compattazione del conglomerato fresco all'interno delle casseforme: un' inadeguata compattazione del calcestruzzo in opera può provocare macrovuoti dentro e sulla superficie del calcestruzzo con pesanti penalizzazioni della resistenza "attuale" del calcestruzzo in opera (R_c) rispetto alla resistenza caratteristica (R_{ck}) che si riferisce alla resistenza "convenzionale" dei provini cubici compattati al massimo della densità possibile. Se si definisce g_c il grado di compattazione, inteso come rapporto tra la densità della carota estratta dalla struttura (D_s) e quella del provino (D_p) costipato al massimo della densità possibile, si trova la seguente equa-

zione sperimentale (3):

$$\Delta R (\%) = 100 (R_{ck} - R_c) / R_{ck} = 500 (1 - g_c) \quad [1]$$

dove g_c vale D_s/D_p , R_c è la resistenza “cubica” della carota, e ΔR è la caduta percentuale della **resistenza attuale nella struttura** rispetto alla **resistenza convenzionale del provino**. Per esempio, in una struttura che presenti una densità di 2300 kg/m³ contro una densità del provino di 2370 kg/m³, il grado di compattazione g_c è $2300/2370 = 0,97$ che inserito nella [1] porta ad una caduta della resistenza attuale ΔR del 15 % rispetto a quella convenzionale R_{ck} . Un grado di compattazione di 0,97 è spesso registrato nella gran parte delle strutture reali realizzate con calcestruzzo in *classe di consistenza* S4 (fluida) o S5 (superfluida); questo dato sembra essere confermato dalla proposta delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di considerare “accettabile” una resistenza cubica del calcestruzzo nella struttura pari all’85% della resistenza caratteristica del provino. Vale la pena di precisare che solo con un conglomerato autocompattante SCC si può teoricamente raggiungere una densità nella struttura pari a quella del provino ($g_c=1$) e quindi in questo caso non si dovrebbero registrare cadute di resistenza meccanica (ΔR) passando dal materiale (provino) alla struttura. Se, d’altra parte, si impiega un calcestruzzo meno lavorabile (per esempio in *classe di consistenza* S3) la caduta di resistenza nella struttura rispetto a quella convenzionale del provino può arrivare fino al 35% (considerata inaccettabile dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni*) in corrispondenza di una inadeguata posa in opera quantificata da un grado di compattazione di 0,93. Val la pena di segnalare che, oltre alla caduta prestazionale nella struttura in termini di minore resistenza meccanica, un difetto di questo tipo che si manifesta in forma di macrovuoti nel calcestruzzo (Fig.1) comporta anche un più facile accesso degli agenti aggressivi verso i ferri della struttura con conseguente carenza di durabilità rispetto alla vita utile di progetto.



Fig. 1 - Presenza di macrovuoti d'aria intrappolata nel calcestruzzo per incompleta compattazione.

IMPORTANZA DELLA MATURAZIONE

La maturazione del calcestruzzo è intesa come protezione del materiale in opera dopo la rimozione delle casseforme. Si

tratta di un argomento tanto importante, per l’influenza sulla durabilità della struttura, quanto disatteso dalle imprese sui cantieri di tutto il mondo per l’assenza nel progetto di specifici che su questo aspetto.



Fig. 2 - Copriferro fessurato da tensioni di trazione dovute al ritiro differenziale.

Val la pena di ricordare che la qualità del calcestruzzo in opera cresce con il tempo purché il materiale sia conservato in ambiente umido. La crescita va intesa in tutti gli aspetti delle prestazioni del conglomerato: non solo della resistenza meccanica, che come tutti sanno a 1 giorno è molto minore che a 28 giorni, ma anche della permeabilità e della durabilità. Un calcestruzzo a 1 giorno non è né resistente meccanicamente né durabile chimicamente come quello che diventerà per esempio a 28 giorni purché venga maturato adeguatamente in funzione delle condizioni ambientali e della sua composizione. Il punto debole della struttura è rappresentato dal copriferro che, per proteggere adeguatamente le sottostanti armature metalliche, deve innanzitutto rimanere integro. In altre parole una struttura con il copriferro fessurato (Fig. 2) non sarà in grado di esercitare la sua funzione protettiva anche se il rapporto a/c dovesse essere molto basso e se il grado di compattazione g_c fosse eguale a 1.

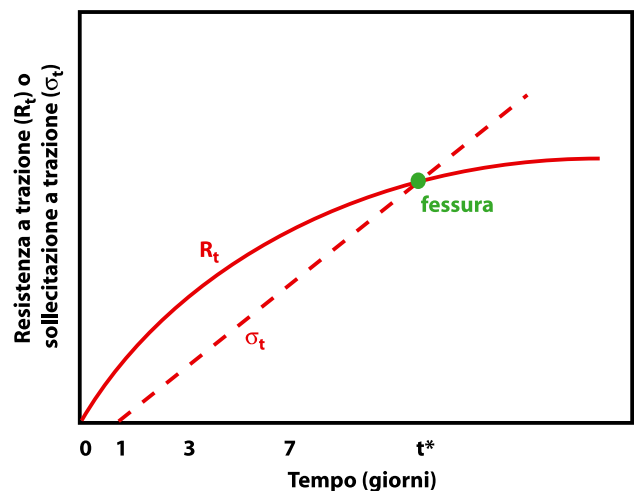


Fig. 3 - Calcestruzzo esposto all’aria dopo la sformatura a 1 giorno: la fessurazione avviene al tempo t^* quando $\sigma_t > R_t$.

La causa di questa fessurazione dipende in gran parte dal ritiro igrometrico ϵ_r che può coinvolgere la superficie della struttura quando si asciuga subito dopo la rimozione dei casseri e l'ambiente è insaturo di umidità ($UR < 95\%$) mentre la parte più interna rimane ancora umida e non si ritira. Questa situazione si tramuta, come è noto, in uno stato tensionale di trazione (σ_t) nella parte corticale del calcestruzzo che può provocare la fessurazione del copriferro (Fig 3) se il calcestruzzo sulla superficie non ha raggiunto nel frattempo una resistenza a trazione R_t superiore a σ_t :

$$\sigma_t = \epsilon_r \cdot E > R_t \quad [2]$$

dove E è il modulo elastico del calcestruzzo scontato del rilassamento viscoso.

Per evitare questo fenomeno che comprometterebbe la durabilità della struttura per la esposizione dei ferri di armatura occorre prolungare il tempo della rimozione dei casseri fino a quando la superficie del copriferro non ha raggiunto una resistenza a trazione R_t che sia maggiore di σ_t . Se l'impresa vuole recuperare subito le casseforme, in alternativa alla scasseratura al tempo t_1 dovrà aggiungere un trattamento supplementare di maturazione che duri t_2 durante il quale la superficie non si asciughi in clima insaturo di umidità. Per raggiungere questo obiettivo si può ricorrere alla protezione della superficie con

Tabella 2 - Tempo di maturazione della superficie del calcestruzzo in funzione delle condizioni climatiche, del tipo di cemento e del rapporto a/c

SVILUPPO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO*	RAPIDO			MEDIO			LENTO		
Temperatura del calcestruzzo (°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Condizioni ambientali durante la stagionatura	Tempi espressi in giorni								
I) Non esposto ad insolazione diretta; UR dell'aria circostante $\geq 80\%$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
II) Insolazione diretta media o vento di media velocità o UR > 50%	4	3	2	6	4	3	8	5	4
III) Insolazione intensa o vento di forte velocità o UR < 50%	4	3	2	8	6	5	10	8	5

* consultare la Tabella 3 per individuare la velocità di sviluppo della resistenza

Tabella 3 - Influenza del rapporto a/c e del tipo di cemento sullo sviluppo della resistenza

VELOCITA' DI SVILUPPO DELLA RESISTENZA	a/c	CLASSE DI RESISTENZA DEL CEMENTO
RAPIDA	< 0,5	42,5 R
MEDIA	0,5-0,6	42,5 R
LENTO	< 0,5	32,5 R - 42,5 R
	In tutti gli altri casi	

teli impermeabili, con sacchi umidi di iuta, o anche con spruzzi di acqua nebulizzata. Esistono raccomandazioni (UNI EN 13670), o *Linee Guida per il Calcestruzzo Strutturale*, richiamate anche dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (rispettivamente al paragrafo 11.1.1 o 1.1.11) come *utili possibili* (ma non obbligatori) riferimenti, che indicano quale ha da essere il tempo di maturazione complessivo (t_1+t_2) per far crescere adeguatamente il livello di resistenza a trazione R_t e ridurre il ritiro ϵ_r in modo tale che risulti:

$$R_t > \sigma_t = \epsilon_r \cdot E \quad [3]$$

ed impedire che la σ_t sul copriferro ne provochi la fessurazione (Fig. 4) e la sua dequalificazione nella protezione dei ferri

con conseguenti interventi di restauro già in corso d'opera. La Tabella 2 mutuata dalle "Linee Guida sul calcestruzzo strutturale" indica quale ha da essere il tempo t eguale a t_1+t_2 per maturare la superficie del calcestruzzo in funzione dei parametri che possono condizionare il raggiungimento di $R_t > \sigma_t$: tipo di cemento, rapporto a/c, condizioni climatiche (Tabella 2).

Val la pena di sottolineare che le *Norme Tecniche per le Costruzioni*, mentre fanno obbligo al progettista di indicare le **regole di maturazione** lasciano alla libera responsabilità del progettista la specifica misura da adottare nel progetto ed im-

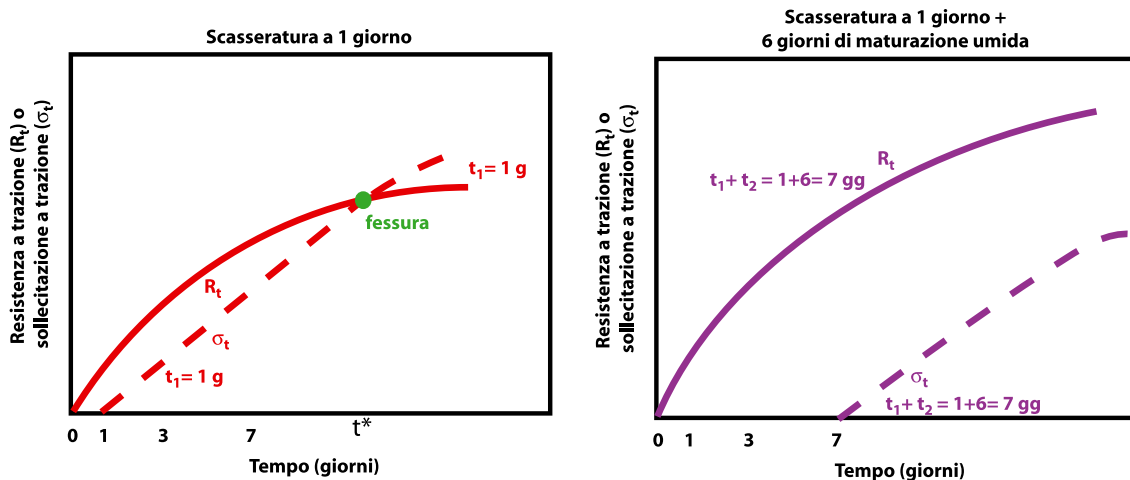


Fig. 4 - Calcestruzzo scasserato a 1 giorno e fessurato al tempo t^* (a sinistra). Assenza di fessurazione nello stesso calcestruzzo sformato a 1 giorno e protetto per altri 6 giorni (a destra).

porre all'Appaltatore sotto il controllo del Direttore dei Lavori che è responsabile della corretta applicazione della misura protettiva.

Questa flessibilità nella scelta del progettista, circa la precisa norma applicativa da adottare per la maturazione, consente di scegliere anche tra altre norme internazionali collaudate (tipo ACI, ASCE, BS, ecc.), o di avvalersi di nuove norme pubblicate dopo l'emanazione delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* o perfino di nuove tecnologie innovative che servano a risolvere il problema che nel caso specifico è la **eliminazione delle fessure sul copriferro**: a questo scopo, per esempio, l'impiego di additivi antiritiro (*Shrinkage Reducing Admixture*, SRA) e/o di macro-fibre polimeriche "strutturali", di recente segnalati con successo nella letteratura tecnica (4-6), potrebbe risolvere il problema della fessurazione anche con una semplice maturazione all'aria dopo la scasseratura a 1 giorno (Fig. 5). L'importante è che nel progetto sia indicata la tecnica scelta per la maturazione, tra le varie disponibili, e che questa sia capace di risolvere il problema a giudizio del Direttore dei Lavori, prima, e del Collaudatore dopo.

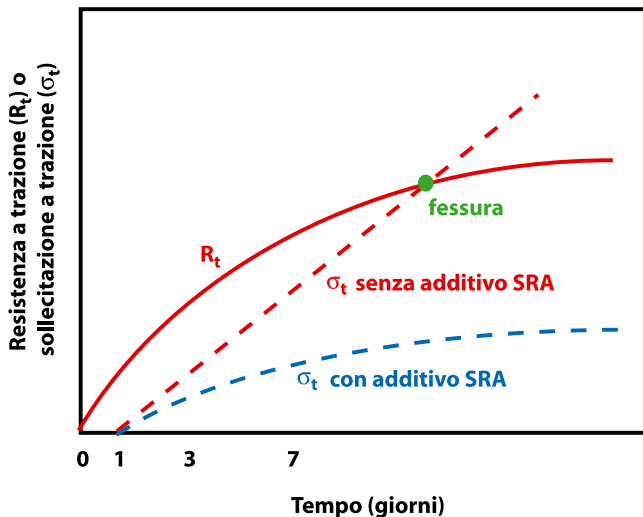


Fig. 5 - Mancata fessurazione del calcestruzzo se viene mitigato il ritiro e conseguentemente la σ_t per la presenza di additivo SRA.

CONCLUSIONI

Le nuove **Norme Tecniche per le Costruzioni** hanno evidenziato per la prima volta due aspetti, finora trascurati nei progetti e per questo disattesi dall'Impresa, che possono compromettere la **durabilità** della struttura ancorché il materiale calcestruzzo sia di ottima qualità in termini di rapporto **a/c** e di dosaggio di cemento.

Il primo aspetto riguarda la messa in opera del calcestruzzo per il quale si può accettare un **grado di compattazione** tale che la resistenza cubica **attuale** (R_c), cioè quella della struttura, non sia inferiore all'85% della resistenza caratteristica convenzionale (R_{ck}) del provino cubico. In questo articolo si suggerisce un metodo molto semplice per imporre un'accettabile compattazione all'Impresa, consistente nella richiesta che

nel progetto sia indicato che il rapporto (g_c) tra la densità del calcestruzzo della struttura (D_s) e quella del provino compattato a rifiuto (D_p), cioè alla massima densità possibile, sia almeno eguale a 0,97. La presenza di questa indicazione nel progetto consentirebbe al Direttore dei Lavori di contestare all'Impresa una carente compattazione in termini semplici ed immediati, cioè già il giorno successivo al getto senza dover attendere i 28 giorni per determinare R_c ed R_{ck} . Una compattazione adeguata è una prima condizione necessaria per evitare la presenza di macrovuoti nella struttura che rendono i copriferri più penetrabili dagli agenti aggressivi con grave pregiudizio per la durabilità dell'opera. Allo stato attuale del progresso tecnologico, il problema della carente compattazione del calcestruzzo in opera è assolutamente inaccettabile per la disponibilità di additivi superfluidificanti che rendono possibile una posa in opera anche di calcestruzzi con rapporto a/c molto basso senza dover ricorrere a pericolose riaggiunte d'acqua sul cantiere. Ciò che è mancato finora è la indicazione da parte del progettista sulla *classe di consistenza*, cioè del livello di lavorabilità da adottare, senza riaggiunte di acqua, in relazione alle difficoltà esecutive dell'opera (geometria complessa, sezione sottile, alta densità dei ferri) che nessuno come il **progettista deve conoscere**.

Un secondo aspetto altrettanto importante per il conseguimento della durabilità della struttura riguarda la **integrità del copriferro**, spesso compromessa per mancanza di prescrizioni nel progetto sulle **regole di maturazione** del calcestruzzo in opera. Con le nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* è **fatto obbligo al progettista** di indicare nel progetto come la superficie deve essere stagionata in relazioni alle condizioni ambientali al momento della sformatura; tuttavia è lasciata alla libera responsabilità del progettista la indicazione di una norma piuttosto che un'altra, purché efficace nel raggiungimento della prestazione (assenza di fessure nel copriferro) del cui controllo è responsabile il Direttore dei Lavori. Nello spirito di queste Norme è anche consentito di adottare nuove tecnologie, nel frattempo apparse nella letteratura tecnica (impiego di additivi SRA e/o fibre polimeriche strutturali), per una semplice stagionatura all'aria dopo la formatura delle strutture purché queste innovazioni tecnologiche siano efficaci nel raggiungimento della prestazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) M. Collepari, "L come Lavorabilità", Enco Journal n. 10, 1998.
- (2) M. Collepari, A. Borsoi, S. Collepari, F. Simonelli e R. Troli, "3-Self-Concrete (3SC): La prossima sfida. Parte I - Calcestruzzo Autocompattante", Enco Journal n. 24, pp. 15-21, 2003.
- (3) M. Collepari, "Il Nuovo Calcestruzzo" - Terza Edizione, pp. 329-339, Ed. Tintoretto, Villorba, 2003.
- (4) A. Borsoi, P. Birane, W. Parente e M. Collepari, "Calcestruzzo a ritiro ridotto o nullo", Enco Journal n. 29, pp. 6-9, 2005.
- (5) G. Mantegazza, "Innovazione nella progettazione delle pavimentazioni civili ed industriali: fibre polimeriche ibride strutturali e software di calcolo", Pavimenti, pp. 30-38, 9, 2005.
- (6) E. Allievi e R. Magnaghi, "Pavimentazioni in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre d'acciaio giunti con additivo antiritiro per un centro di logistica nel salernitano", Pavimenti, pp. 40-43, 9, 2005.

RICICLAGGIO DEI MATERIALI DA DEMOLIZIONE NELLA PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO



Parte I - Principi generali ed applicazioni sui cantieri

Valeria Corinaldesi, Giacomo Moriconi

Università Politecnica delle Marche, Ancona - v.corinaldesi@univpm.it

1. CALCESTRUZZO E SOSTENIBILITA'

In questi ultimi anni si è manifestata con crescente evidenza la necessità da parte dell'uomo di concepire in modo diverso la propria presenza e lo svolgimento delle proprie attività all'interno dell'ambiente naturale. In questa ottica l'attività di riciclaggio sta assumendo un ruolo sempre più importante estendendosi ad un numero crescente di ambiti produttivi, tra i quali quello delle costruzioni. In particolare appare sempre più preoccupante il problema della collocazione delle macerie derivanti dalla demolizione di opere civili, in continuo aumento a seguito di interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente e dell'adeguamento a nuove esigenze abitative. A ciò si contrappone il progressivo esaurimento delle aree disponibili per l'ubicazione di discariche, che rende lo smaltimento di tali materiali di scarso sempre più difficile ed oneroso. Inoltre, la crescente attenzione riservata alle questioni ambientali comincia ad influenzare le scelte politiche nel settore delle attività estrattive e conseguentemente ad incidere sulla disponibilità e sui costi di reperimento degli inerti naturali, dato che il numero di siti adibiti all'estrazione di tali aggregati si sta man mano riducendo.

Risulta quindi evidente come il riciclaggio dei materiali

da demolizione possa non solo costituire una soluzione al problema legato ad ingenti volumi di rifiuti da smaltire in discarica, ma anche una via alternativa al consumo di risorse naturali non rinnovabili. D'altra parte, l'ingresso nel XXI secolo ha segnato definitivamente l'affermazione del concetto di sviluppo sostenibile nei riguardi di tutti i processi produttivi di beni, che devono essere necessariamente strutturati secondo una logica di risparmio energetico e di controllo della produzione di scorie o

rifiuti, prevedendone un loro riutilizzo in altri settori o un loro smaltimento senza provocare danni all'ambiente [1,2]. Anche l'industria del cemento e del calcestruzzo è chiamata a svolgere il proprio ruolo per contribuire ad un miglior bilancio ecologico globale indirizzando la ricerca verso le possibilità d'impiego di materiali "innovativi" che siano in grado di sostituire parzialmente o totalmente l'uso di materie prime non rinnovabili, tenendo conto dell'enorme

richiesta futura di infrastrutture, soprattutto nei paesi in via di sviluppo [3-9].

2. ASPETTI LEGISLATIVI

Il problema della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) non si limita ad ambiti ristretti, quali

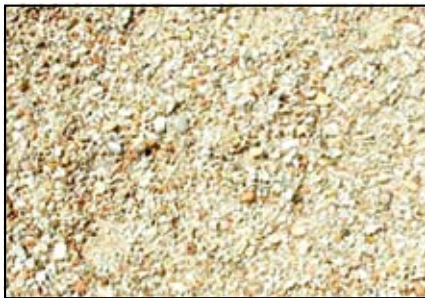


Fig.1 - Sabbia naturale (0-5 mm) e frantumato naturale (5-15 mm).



Fig. 2 - Frazione fine (0-5 mm) e frazione grossa (5-15 mm) di aggregato riciclato da macerie di demolizione.

quello regionale o nazionale. La Comunità Europea, infatti, ha intrapreso numerose azioni in tale materia al fine di sensibilizzare gli stati membri a adottare strumenti ed iniziative finalizzati ad attuare una corretta politica di gestione dei rifiuti da C&D. Il 4 aprile 2000 la Commissione Europea, Direzione generale Ambiente, ha elaborato un documento di analisi (DG ENVE.3 – Management of Construction and Demolition Waste), propedeutico alla definizione di una proposta di strategia comunitaria, nel quale si danno una serie di indicazioni (10) come, ad esempio, l'introduzione in maniera sinergica di:

- restrizioni allo smaltimento in discarica;
- incentivi per la promozione della selezione alla fonte e del riciclaggio dei rifiuti;
- specifiche condizioni per lo sviluppo dei materiali riciclati;
- inserimento della gestione dei rifiuti come parte integrante delle licenze edilizie e dei permessi di demolizione;
- incentivi per l'uso di materiali riciclati nelle opere pubbliche.

La Comunità Europea ha avviato la predisposizione di una Direttiva sui rifiuti da C&D, anche se in considerazione della incidenza fortemente territoriale di tale tipologia di rifiuti la loro gestione sarebbe maggiormente inquadrabile con accordi volontari e strumenti di concertazione.

Al fine di studiare le potenzialità di impiego dell'aggregato riciclato, di definirne le caratteristiche prestazionali minime e soprattutto di sensibilizzare le pubbliche autorità e gli operatori del settore, nel 1981 la RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de recherche sur les Matériaux et les constructions) istituì un comitato tecnico 37-DRC (Demolition and Reuse of Concrete) che lavorò fino al 1988 dopo di che, nel 1989, fu rimpiazzato da un nuovo comitato tecnico RILEM 121-DRG (Demolition and Reuse Guidelines), che aveva come obiettivo quello di redigere una guida per la demolizione ed il riutilizzo nei calcestruzzi degli aggregati ottenuti dal riciclaggio dei materiali da demolizione. I lavori di tale comitato sono terminati nel 1993 con la pubblicazione di una Linea Guida [11]. Durante tale lasso di tempo la RILEM organizzò tre congressi: uno in Olanda, a Rotterdam, nel 1985; uno in Giappone, a Tokyo, nel 1988 ed uno in Danimarca, ad Odense, nel 1993. I risultati dei lavori di ricerca concernenti le proprietà degli aggregati riciclati sono stati raccolti in tre successivi rapporti per opera di Nixon [12] nel 1977 e di Hansen nel 1986 [13] e nel 1992 [14].

Negli Stati Uniti l'ASTM (American Society for Testing Materials) definì nel 1979 (ASTM C 125) e nel 1982 (ASTM C 33) alcuni requisiti per l'accettazione del materiale proveniente da demolizioni strutturali, quale aggregato per il confezionamento di nuovi calcestruzzi. Successivamente l'United States Army Corps of Engineers modificò le proprie specifiche e raccomandazioni al fine di promuovere l'impiego degli aggregati riciclati. La conseguenza di ciò è che negli

Stati Uniti non esistono particolari limiti per l'impiego degli aggregati riciclati nel calcestruzzo [15].

Anche in Giappone l'impiego degli aggregati riciclati è stato oggetto di una serie di raccomandazioni e proposte di legge [16-19]. La Building Contractors Society of Japan (B.C.S.J.), nel 1977, con una "Recommendation of Standard Use of Recycled Aggregate for Concrete and Commentary" ha definito con precisione i requisiti fisico-meccanici ed il contenuto massimo di sostanze pericolose per l'inerte riciclato; inoltre, ha proposto l'impiego differenziato degli aggregati riciclati fini e grossi in funzione del tipo di struttura cui il calcestruzzo è destinato ed ha fissato anche un valore massimo per il rapporto acqua/cemento e per il contenuto minimo di cemento per il confezionamento di calcestruzzi con inerti di riciclo. Nel 1994 il Ministry of Construction del Giappone emanò una proposta di legge "Tentative quality standards for reusing materials from demolished concrete" che intendeva stabilire i requisiti degli aggregati riciclati a seconda del tipo di applicazione cui erano destinati. Il Japan Concrete Institute nel 1998 formò un comitato tecnico per stabilire un nuovo disegno di legge per i materiali riciclati nel calcestruzzo; per il momento l'attività del comitato ha dato origine ad un rapporto tecnico (JIS/TR) che rappresenta lo stadio preliminare di tale disegno di legge [17].

Per quanto concerne l'attività di ricerca in Giappone nel settore del riciclaggio dei rifiuti da C&D, non soltanto essa è stata fiorente durante il corso degli ultimi venticinque anni, ma continua tuttora con un vasto progetto sponsorizzato dalla "Japan Society for the Promotion of Science", intitolato "Research for the Future (RFTF)", condotto dall'Università di Niigata insieme con altre università ed istituti di ricerca sparsi un po' per tutto il Giappone, che a partire dal 1996 fino a tutto il 2001 si occupa di mettere a punto metodi pratici per la produzione di calcestruzzi strutturali a partire da aggregati di riciclo, di pezzatura sia grossa sia fine, e per la messa a punto di un sistema di riciclaggio al fine di ridurre i costi connessi con il ciclo di vita dei materiali da costruzione [20, 21].

Relativamente ai paesi europei, per l'Olanda [22] il C.U.R. (Commissie voor Uitvoering van Research) nel 1986, per la Russia il NIIZbh (Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete) nel 1984 e per la Danimarca [23] il D.C.A. (Danish Concrete Association) nel 1989 hanno sviluppato ed emanato raccomandazioni tecniche relative all'impiego degli aggregati riciclati: le norme olandesi (CUR n° 4 e 5) e quelle danesi (DCA n° 34) sembrano orientate a consentire l'impiego degli aggregati riciclati anche per il confezionamento dei calcestruzzi strutturali.

Altri paesi, come la Gran Bretagna, ritengono che la ricerca e la sperimentazione in questo settore non siano ancora sufficientemente approfondite e limitano pertanto l'utilizzo degli aggregati riciclati solo alla produzione di calcestruzzi per pavimentazioni stradali e industriali o per opere di sottofondazione e rivestimento non particolarmente impegnate da un punto di vista statico [24].

Una situazione analoga si registra in Germania dove at-

tualmente non è consentito l'impiego degli aggregati riciclati per la produzione di calcestruzzo strutturale, ma dove dal 1998 sono disponibili delle linee guida per opera del DafStb (German Committee for Reinforced Concrete [25].

Infine in Spagna è stato creato un gruppo di studio finalizzato al riciclaggio di materiali da demolizione come aggregati per nuovi calcestruzzi nell'ambito dello Spanish Standard Technical Committee AEN/CTN-146 "Aridos" [Aggregati] e nel frattempo è stato avviato, ed è attualmente allo stato di bozza, un vasto progetto "National Construction and Demolition Waste Plan (PNRCD 2001-2006)" riguardante la pianificazione, la gestione e l'incentivazione delle attività di riciclaggio in Spagna [26].

2.1 La legislazione in Italia

Negli ultimi tre anni la legislazione italiana ha fatto importanti passi avanti in tema di riutilizzo di macerie da demolizione come aggregati per nuovi calcestruzzi.

Infatti, nel 2002 il Comitato Tecnico CEN/TC 154 sotto il mandato M/125 conferito al CEN dalla Commissione Europea, ha redatto la norma EN 12620 "Aggregates for concrete", recepita in Italia con la UNI EN 12620-2002 "Aggregati per calcestruzzo". Questa norma è di fondamentale importanza perché riguarda "...gli aggregati ed i filler, di origine naturale, artificiale o di riciclo e le miscele di questi destinate alla produzione di calcestruzzo...", a differenza della precedente UNI 8520 che contemplava i soli inerti naturali, di origine alluvionale o ottenuti per frantumazione di materiale estratto da cava.

La UNI EN 12620 fornisce i criteri di classificazione del materiale secondo le caratteristiche geometriche, fisiche e chimiche e prescrive un sistema di controllo della produzione mirato a soddisfare la conformità ai requisiti necessari alla marcatura CE (obbligatoria da giugno 2004). In particolare, prevede due diversi sistemi di attestazione della conformità: sistema 4 (basato sulla autodichiarazione del produttore) e sistema 2+ (più severo, basato sulla certificazione del controllo di produzione in fabbrica).

In giugno 2003, per l'applicazione in Italia della UNI EN 12620 sono stati elaborati due documenti: UNI 8520-1, che definisce i requisiti che devono essere dichiarati e garantiti dal produttore di aggregato, e UNI 8520-2, che definisce i requisiti minimi necessari che l'aggregato deve possedere in relazione alla destinazione finale del calcestruzzo. In particolare riporta la seguente affermazione: "... Per gli aggregati di riciclo in attesa di una regolamentazione europea è permesso:

- l'utilizzo totale o parziale di aggregati di riciclo provenienti da demolizioni di edifici solo per calcestruzzi con classe di resistenza < C12/15;
- l'utilizzo totale o parziale di aggregati di riciclo provenienti da frantumazione di solo calcestruzzo per calcestruzzi con classe di resistenza < C20/25..."

Tabella 11.1.III

Origine del materiale da riciclo	R_{ck} del calcestruzzo (N/mm ²)	Percentuale di impiego
Demolizioni di edifici (macerie)	< 15	fino al 100%
Demolizioni di solo calcestruzzo e c.a.	≤ 35 ≤ 25	≤ 30% fino al 60%
Riutilizzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati	≤ 55	fino al 5%

Un ulteriore importante passo avanti è stato fatto con il recente documento pubblicato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Norme Tecniche per le Costruzioni", Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale G.U. 23/09/2005. Infatti, al § 11.1.9.2 "Aggregati per conglomerati cementizi", oltre a ribadire che "...sono idonei alla produzione di conglomerato cementizi gli aggregati di cui alla UNI EN 12620...", si parla esplicitamente di aggregati riciclati: "... è consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti di cui alla Tabella 11.1.III, a condizione che la miscela di conglomerato cementizio confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata attraverso prove di laboratorio ...".

Le novità introdotte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni riguardano quindi la possibilità di realizzare calcestruzzi strutturali con classe di resistenza fino a 35 MPa impiegando fino al 30% aggregati riciclati di solo calcestruzzo e quella di realizzare in prefabbricazione calcestruzzi con classe di resistenza fino a 55 MPa impiegando fino al 5% gli scarti di lavorazione (costituiti da calcestruzzi con classe di resistenza di 50-55 MPa secondo la produzione corrente). Va aggiunto che tali Norme fanno riferimento al solo "aggregato grosso" quindi, presumibilmente, a frazioni con pezzatura maggiore di 5 mm (la Norma risulta ambigua a tal proposito).

3. AGGREGATI RICICLATI DA DEMOLIZIONI DI EDIFICI

Le 'Norme Tecniche per le Costruzioni' prevedono l'impiego di macerie miste provenienti dalla demolizione di edifici per la realizzazione di conglomerati cementizi appartenenti ad una classe di resistenza minore di 15 MPa; in pratica, relegano questi materiali ad impieghi non strutturali. Di seguito sono riportati i risultati di una sperimentazione in cui tali materiali sono stati impiegati per confezionare calcestruzzi con classe di resistenza di 30 MPa.

3.1 Impiego dell'aggregato riciclato al 100%

Una prima fase ha riguardato la preparazione di miscele contenenti aggregati riciclati da demolizioni in sostituzione

completa dell'inerte naturale impiegando sia la frazione grossa (5-15 mm) sia la frazione più fine (0-5 mm) paragonabile ad una sabbia per quanto riguarda la distribuzione granulometrica (Figg. 1 e 2).

Le frazioni di aggregato riciclato riportate in Fig. 2 sono state prodotte in un impianto di riciclaggio delle macerie da demolizione sito a Villa Musone (AN) e sono costituite per il 70% da calcestruzzo, per il 27% da laterizio e per il restante 3% da materiale vario (vetro, gomma, bitume, legno...). Le frazioni fine e grossa sono caratterizzate rispettivamente da una massa volumica pari a 2,20 e 2,23 g/cm³ (per gli inerti ordinari varia tra 2,60 e 2,70 g/cm³) e da un assorbimento d'acqua pari rispettivamente al 8,8 e 7,5% (per gli inerti ordinari varia tra 2,0 e 3,0%).

Sono stati impiegati vari rapporti acqua/cemento (0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,7) mantenendo la stessa consistenza fluida (slump S4) per tutti i calcestruzzi (Tabella 1).

Sono stati preparati quattro calcestruzzi di riferimento con soli inerti naturali (Nat-0.40, Nat-0.50, Nat-0.60 e Nat-0.70), quindi sono stati confezionati quattro calcestruzzi contenenti solo inerte riciclato in completa sostituzione delle frazioni fina e grossa di inerte naturale, anch'essi con rapporto acqua/cemento variabile e pari a 0,4, 0,5, 0,6 e 0,7 rispettivamente per i calcestruzzi indicati come Ric-0.40, Ric-0.50, Ric-0.60 e Ric-0.70.

Poi sono stati confezionati ulteriori calcestruzzi sempre con i quattro rapporti acqua/cemento citati, contenenti esclusivamente aggregato riciclato, ma con un'aggiunta di additivo superfluidificante (S) pari all'1.8% in peso del cemento (tali calcestruzzi sono stati indicati con le sigle: Ric+S-0.40, Ric+S-0.50, Ric+S-0.60 e Ric+S-0.70). Tale additivo ha consentito una riduzione del dosaggio d'acqua mantenendo la stessa lavorabilità dell'impasto allo stato fresco, e conseguentemente una riduzione del dosaggio di cemento per mantenere gli stessi rapporti acqua/cemento precedentemente stabiliti per l'altra serie di calcestruzzi senza additivo. La conseguenza è stata un aumento del volume di aggregato rispetto alla pasta di cemento che lo avvolgeva.

Il grafico riportato in Figura 3 mostra l'andamento delle resistenze meccaniche a compressione dopo 28 giorni di stagionatura in funzione del diverso rapporto acqua/cemento.

Per ciascuna tipologia di calcestruzzo (Nat, Ric oppure Ric+S) si è tentato di disegnare una curva che rappresenti la correlazione esistente tra il rapporto acqua/cemento ed il valore della resistenza meccanica a compressione dopo 28 giorni di stagionatura.

Tabella 1 - Ricette delle miscele preparate con aggregato riciclato (dosaggi in kg/m³).

Miscela	a/c	Acqua	Cemento	Sabbia Naturale	Frantumato Naturale	Fine riciclato (0-5)	Grosso riciclato (5-15)
Nat-0.4	0.40	255	635	363	1002	---	---
Nat-0.5	0.50	255	520	548	911	---	---
Nat-0.6	0.60	255	420	717	824	---	---
Nat-0.7	0.70	255	365	785	800	---	---
Ric-0.4	0.40	255	635	---	---	216	931
Ric-0.5	0.50	255	520	---	---	378	850
Ric-0.6	0.60	255	420	---	---	529	768
Ric-0.7	0.70	255	365	---	---	611	724
Ric+S-0.4	0.40	170	420	---	---	667	882
Ric+S-0.5	0.50	170	345	---	---	783	759
Ric+S-0.6	0.60	170	275	---	---	839	751
Ric+S-0.7	0.70	170	240	---	---	884	730

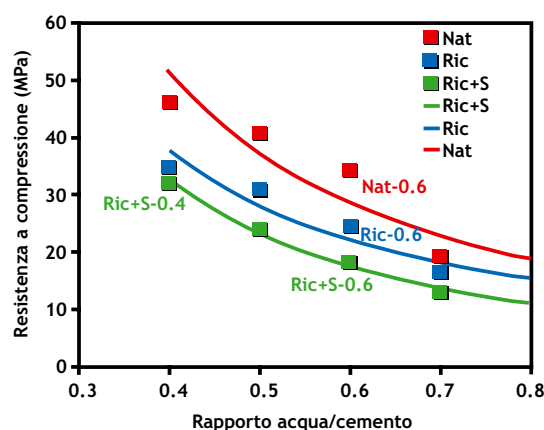


Fig. 3 - Confronto tra gli andamenti della resistenza meccanica a compressione ai 28 giorni di stagionatura dei calcestruzzi con inerte naturale (Nat), con inerte di riciclo senza additivo (Ric) e con inerte di riciclo più additivo superfluidificante (Ric+S) in funzione del rapporto acqua/cemento.

Si può notare come la perdita di resistenza relativa all'impiego di aggregato riciclato al posto dell'inerte naturale è sempre più contenuta, man mano che il rapporto/acqua cemento dei due tipi di calcestruzzo tende a crescere. La ragione potrebbe risiedere nel fatto che una matrice cementizia più porosa, relativa ad un maggiore rapporto acqua/cemento, tenderebbe ad attenuare l'effetto negativo causato dalla presenza di un aggregato più debole da un punto di vista meccanico, poiché probabilmente in questo caso "l'anello debole della catena" sarebbe rappresentato dalla matrice cementizia stessa e, com'è noto, il valore della resistenza meccanica viene determinato da quel componente che per primo tende ad andare in crisi.

Nei calcestruzzi ordinari preparati con inerti naturali la matrice cementizia rappresenta sempre "l'anello debole della catena", per quanto robusta essa possa essere in virtù di un rapporto acqua/cemento molto basso.

Questo fatto sembra non essere altrettanto vero nel caso di calcestruzzi preparati con aggregato riciclato. Infatti, confrontando i risultati di resistenza ottenuti per i calcestruzzi Ric e Ric+S, che sono stati preparati con lo stesso rapporto acqua/cemento, e quindi con una matrice cementizia di pari qualità, ed un diverso dosaggio di aggregato fine (vedi Tabella 1), si nota come vi sia stata una perdita di resistenza meccanica dovuta alla presenza di un maggior volume di aggregato di riciclo a

scapito del volume di matrice cementizia; questo fatto sta ad indicare che in tal caso “l’anello debole della catena” era rappresentato proprio dall’inerte. L’introduzione di additivo superfluidificante nell’impasto ha prodotto una diminuzione del volume della matrice cementizia ed un conseguente aumento del volume di aggregato; per questo motivo a parità di rapporto acqua/cemento i calcestruzzi con additivo (Ric+S) sono risultati sempre meno resistenti dei relativi calcestruzzi con inerti riciclati senza alcun tipo di aggiunta (Ric). Tale differenza è tanto più evidente quanto minore è il rapporto acqua/cemento. Diversa cosa sarebbe stata se tale additivo fosse stato utilizzato come riduttore d’acqua mantenendo lo stesso dosaggio di cemento e quindi diminuendo il rapporto acqua/cemento del calcestruzzo. Infatti, confrontando le resistenze meccaniche a compressione dopo 28 giorni di stagionatura per i calcestruzzi Nat-0.60, Ric-0.60 e Ric+S-0.40 che erano stati preparati tutti con lo stesso dosaggio di cemento pari a 420 kg/m³ (vedi Tabella 1), si è potuto notare chiaramente come la perdita di resistenza conseguente alla presenza di inerte riciclato (evidente dal confronto dei risultati ottenuti per i calcestruzzi Nat-0.60 e Ric-0.60) sia stata quasi completamente compensata in seguito alla diminuzione del rapporto acqua/cemento determinata dalla presenza di additivo superfluidificante.

3.2 Impiego della sola frazione grossa riciclata

Una seconda fase ha riguardato il confezionamento di calcestruzzi preparati con lo stesso rapporto acqua/cemento pari a 0,60 e varie combinazioni di aggregati, partendo da una miscela di riferimento realizzata con solo aggregato naturale ottenuto da attività estrattiva (NAT) fino ad arrivare ad un calcestruzzo preparato con una combinazione di sabbia naturale ed una frazione grossa di aggregato riciclato (AR) che va a sostituire completamente l’inerte frantumato grosso (vedi Figg. 1 e 2 e Tabella 2). Tale frazione grossa (5-15 mm) di aggregato riciclato è la stessa già descritta nel precedente paragrafo 3.1 e riportata in Fig. 2.

Inoltre, sempre in combinazione con una sabbia naturale,

Tabella 2 - Ricette delle miscele preparate con aggregato riciclato (dosaggi in kg/m³).

Miscela	Acqua	Cemento	Additivo Superfluidif.	Sabbia Naturale (0-5)	Frantumato Naturale (5-15)	Cls riciclato (0-12)	Aggregato riciclato (5-15)
NAT	200	340	2.0	710	1060	---	---
NAT+AR (5%)	200	340	2.0	710	970	---	77
NAT+AR (10%)	200	340	2.0	710	880	---	155
NAT+AR (20%)	200	340	2.0	710	710	---	310
NAT+AR (30%)	200	340	2.0	710	530	---	465
NAT+AR (60%)	200	340	2.0	710	---	---	930
NAT+CR (10%)	200	340	2.0	710	880	165	---
NAT+CR (20%)	200	340	2.0	710	710	330	---
NAT+CR (30%)	200	340	2.0	710	530	495	---

è stato impiegato un aggregato costituito da solo calcestruzzo riciclato (CR) appartenente ad una classe di resistenza di 50 MPa (prodotto in prefabbricazione), avente una massa volumica pari a 2,47 g/cm³ ed un assorbimento d’acqua pari al 7,3%. Per questo tipo di aggregato proveniente da demolizione di solo calcestruzzo, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, è prevista la possibilità di un suo impiego per la preparazione di calcestruzzi strutturali con classe di resistenza fino a 35 MPa purché venga sostituito all’inerte naturale con percentuali fino al 30%.

Con queste miscele sono stati preparati diversi cubetti in calcestruzzo, che sono stati sottoposti a prove di resistenza a compressione a varie stagionature dopo il getto. Nell’istogramma di Fig. 4 sono riportati i risultati ottenuti dopo 28 giorni di stagionatura.

Come si può notare dai risultati riportati in Fig. 4, la penalizzazione della resistenza meccanica conseguente all’impiego di aggregato riciclato da macerie di demolizione è

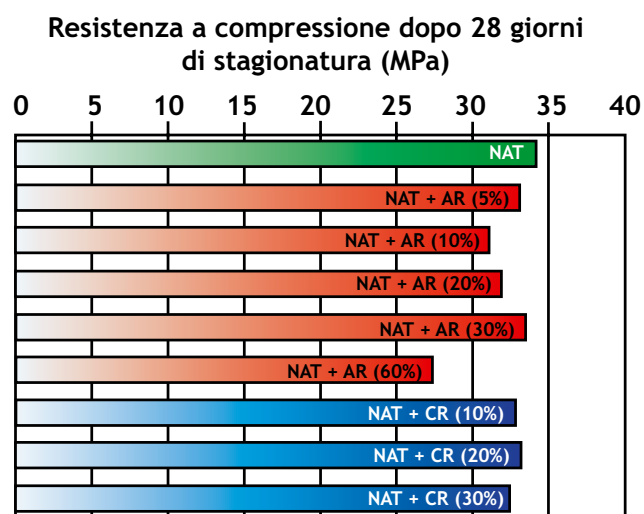


Fig. 4 - Effetto dell’impiego di aggregato riciclato sulla resistenza a compressione di calcestruzzi preparati con a/c pari a 0.60.

contenuta entro il 10% per dosaggi di aggregato riciclato fino al 30% sull'inerte totale. Quando si è tentato di sostituire completamente l'aggregato naturale grosso con l'aggregato riciclato (miscela 'NAT+AR(60%)') la penalizzazione è salita al 20%.

Invece, quando è stato impiegato calcestruzzo riciclato fino al 30% sull'inerte totale la penalizzazione è rimasta entro il limite del 5%.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Pearce, D.W. Sustainable Development after Rio 1992, New York and Kyoto 1997, *Agribusiness Paesaggio & Ambiente*, 2, 1997-1998, nn. 2-3, pp. 133-148.
- [2] Mebratu, D. Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review, *Environ. Impact Asses. Rev.*, 18, Elsevier Science Inc., 1998, pp. 493-520.
- [3] P.K. Metha, Bringing the concrete industry into a new era of sustainable development, *Proceedings of the Mario Collepardi Symposium on Advances in Concrete Science and Technology*, P.K. Metha ed., Roma, 1997, pp. 49-67.
- [4] Mehta, P.K. Concrete technology for sustainable development – An overview of essential principles, *Proceedings of the International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*, Hyderabad, India, February, 1999, pp.1-22.
- [5] Penttala, V. Concrete and Sustainable Development, *ACI Materials Journal*, September-October 1997, pp. 409-416.
- [6] V.M. Malhotra, V. Penttala and A. Bilodeau, The concrete solution for sustainable development, *Proceedings of the International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*, Hyderabad, India, 1999, pp. 43-64.
- [7] Schuurmans-Stehmann, M.Sc.A.M. Environmental life cycle analysis of construction products with and without recycling, *Proceedings of the International Conference on Environmental Implication of Construction Materials and Technology Developments*, Maastricht, The Netherlands, 1-3 June 1994, *Environmental Aspects of Construction with Waste Materials*, Ed. J.J.J.M. Goumans, H.A. van der Sloot and Th.G. Aalbers, Elsevier Science B.V., pp. 709-718, 1994.
- [8] O'Brien, K. Using RCA as a part of an overall approach to sustainable construction, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 459-470.
- [9] Desai, S.B. Sustainable development and recycling of concrete aggregate, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 381-388.
- [10] European Commission, Directorate-General Environment, DG ENV. E.3, Management of Construction and Demolition Waste, Working Document N°1, 4 April 2000, pp. 1-26.
- [11] RILEM Specification for concrete with recycled aggregates, Draft by RILEM TC 121, 1993.
- [12] Nixon, P.J. Recycled concrete as an aggregate for concrete – a review, *RILEM TC-37-DRC, Materials and Structures*, 65, 1977, pp.371-378.
- [13] Hansen, T.C. Recycled Aggregates and Recycled-Aggregate Concrete. Second state-of-the-art report, developments 1945-1985, RILEM Technical Committee 37-DRC (Demolition and Recycling of Concrete), *Materials and Structures*, Vol. 19, N° 111, May-June, pp. 201-246, 1986.
- [14] Hansen, T.C. Recycling of Demolished Concrete and Masonry, Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete – RILEM, Report 6, Part I, E. & F.N. Spon/Chapman & Hall, London, 1992.
- [15] O'Brien, K. Using Recycled Aggregate Concrete as part of an overall approach to sustainable construction, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 459-470.
- [16] B.C.S.J. Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled aggregate concrete, Building Contractors Society of Japan, Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste, 1981.
- [17] Kawano, H. Outline of JIS/TR on Recycled Concrete using Recycled Aggregate, *Proceedings of the International Seminar on Recycled Concrete*, September 29, Niigata, Japan, 2000, pp. 9-14.
- [18] Kasai, Y. Barriers to the reuse of construction by-products and the use of recycled aggregate in concrete in Japan, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 433-444.
- [19] Kawano, H. Outline of JIS/TR on Recycled Concrete using Recycled Aggregate, *Proceedings of the International Workshop on Recycled Concrete*, September 26, Tokyo, Japan, 2000, pp.43-48.
- [20] Nagataki, S. New Recycle Method of Building Materials. Taking into Consideration of Life Cycle of Structures – Outline of the Project, *Proceedings of the International Workshop on Recycled Concrete*, September 26, Tokyo, Japan, 2000, pp.49-52.
- [21] Nagataki, S. and Iida, K. Recycling of Demolished Concrete, *Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference*, Singapore, July 29 - August 1, 2001, Ed. by V.M. Malhotra, ACI International SP-200, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A., SP 200-01, pp. 1-20, 2001.
- [22] Hendriks, C.F. Certification System for Aggregates Produced from Building Waste and Demolished Buildings, *Proceedings of the International Conference on Environmental Implication of Construction Materials and Technology Developments*, Maastricht, The Netherlands, 1-3 June 1994, *Environmental Aspects of Construction with Waste Materials*, Ed. J.J.J.M. Goumans, H.A. van der Sloot and Th.G. Aalbers, Elsevier Science B.V., pp. 821-834, 1994.
- [23] Henrichsen, A. Use of Recycled Aggregates in Europe, *Proceedings of the International Seminar on Recycled Concrete*, September 29, Niigata, Japan, 2000, pp. 1-8.
- [24] Trevorrow, A. and Lyne, T.J. Recycled Aggregate Markets: Where to Start?, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 492-504.
- [25] Grübl, P. and Rühl, M. German Committee for Reinforced Concrete (DafStb) Code: Concrete with Recycled Aggregates, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 409-418.
- [26] Barra, M. and Vázquez, E. Properties of Concretes with Recycled Aggregates: Influence of Properties of the Aggregates and Their Interpretation, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Aggregate Concrete*, London, UK, November 11-12, 1998, Ed. R.K. Dhir, N.A. Henderson and M.K. Limbachiya, Thomas Telford Publishing, 1998, pp. 19-30.

MONITORAGGIO PER LA MANUTENZIONE PREVENTIVA E PROGRAMMATA DELLE STRUTTURE IN C.A.

Parte I - Illustrazione del sistema

Francesca Tittarelli, Giacomo Moriconi

Università Politecnica delle Marche, Ancona - f.tittarelli@univpm.it



Il costo per ripristinare le strutture in calcestruzzo armato degradate [1,2] aumenta esponenzialmente con lo stato di degrado al momento dell'intervento (Fig. 1), pertanto appare ovvio l'interesse per un sistema di monitoraggio capace di rilevare quanto prima possibile l'instaurarsi di condizioni favorevoli al degrado di una struttura.

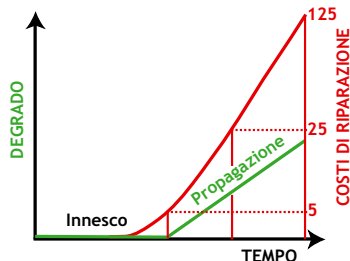


Fig. 1 - La legge del "Cinque" di De Sitter nel diagramma di Tutti [1,2].

D'altra parte, il principale fattore che influenza la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato è l'ingresso dell'acqua ambientale dal momento che l'acqua rappresenta sia il mezzo in cui avvengono le reazioni di degrado sia il principale mezzo di trasporto degli agenti aggressivi capaci di minare l'integrità della struttura [3]: gli ioni solfato, solo se trasportati dalla pioggia o dall'acqua che risale per capillarità, reagiscono con la pasta cementizia per formare prodotti espansivi, la silice amorfa di alcuni aggregati solo in presenza di acqua può reagire con gli alcali della pasta cementizia per causare il ben noto effetto di *pop-out*; solo l'anidride carbonica disciolta in acqua è in grado di carbonatare il calcestruzzo riducendo l'alcalinità che protegge le armature dalla corrosione; in ambiente marino i cloruri solo se disciolti nell'acqua possono penetrare attraverso il copriferro per innescare il processo corrosivo delle armature, ed in ambiente montano è l'acqua piovana a sciogliere i cloruri dei sali disgelanti promuovendo lo stesso processo corrosivo.

Ebbene, la misura del potenziale di libera corrosione delle armature [4] è un metodo efficace per monitorare la durabilità di una struttura in calcestruzzo armato (Fig. 2) proprio perché il suo valore è influenzato non solo dallo stato corrosivo dell'armatura (Fig. 3), ma anche dalla presenza di umidità nel calcestruzzo che circonda l'armatura e, in particolare, dal grado di saturazione del calcestruzzo compreso tra il tratto di armatura monitorata e l'elettrodo di riferimento (Fig. 4).

Il progetto **Co.S.Mo.Net** [5], acronimo di *Concrete Structures Monitoring Network*, protetto da brevetto [6], rappresenta un efficace sistema di monitoraggio in continuo della durabilità di strutture in calcestruzzo armato, sia di nuova costruzione sia già esistenti, per la loro manutenzione preventiva e programmata, basato proprio sulla semplice misura del potenziale di libera corrosione delle armature (Fig. 5). Il sistema è particolarmente economico, implicando costi aggiuntivi molto ridotti, ed è facilmente applicabile a qualsiasi tipo di struttura in calcestruzzo armato come ponti, gallerie ed edifici.

A questo scopo, il sistema proposto fornisce dei segnali rivelati in continuo da elettrodi di lavoro e di riferimento opportunamente immersi nella struttura da monitorare. Ogni punto di lettura è composto da un elettrodo di riferimento inserito nel getto di calcestruzzo tra le armature e da uno o due elettrodi di lettura collegati alle armature stesse (Figura 6). Nel caso di strutture di nuova costruzione, la localizzazione degli elettrodi viene scelta valutando la probabilità di fessurazione di ogni elemento strutturale in base alla distribuzione degli sforzi di trazione presenti al suo interno tenendo però anche conto della deformabilità e delle condizioni di esposizione dell'elemento per eventuali fenomeni di ritiro termico, igrometrico o di fatica. Invece, nel caso di strutture già esistenti, gli elettrodi vengono inseriti preferibilmente in quelle zone che sono risultate le più danneggiate

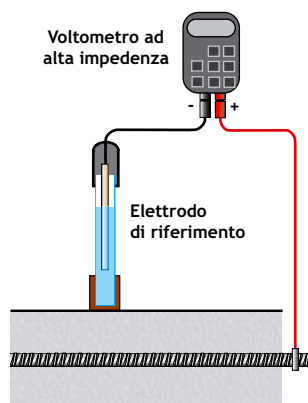


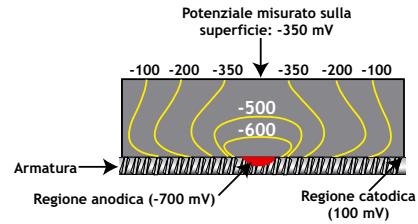
Fig. 2 - Misura del potenziale di libera corrosione di un'armatura [4].

da osservazioni effettuate prima dell'intervento di restauro e che quindi saranno probabilmente le più vulnerabili anche durante la futura esposizione all'ambiente aggressivo.

Per monitorare in continuo il potenziale di libera corrosione delle armature in modo da aumentare la probabilità di rilevare ogni significativa variazione del suo valore capace di indicare l'instaurarsi di condizioni favorevoli per l'inizio del processo di degrado, i segnali vengono convogliati in una unità periferica di telelettura dove le misure memorizzate vengono opportunamente elaborate da una centralina di telecontrollo. In caso di notevoli distanze tra il punto di lettura e la centralina, o quando sono concentrati più punti di lettura che si sviluppano nella struttura in direzione orizzontale o verticale, viene inserito un convertitore di segnale dal quale parte in direzione della centralina un sistema semplificato di comunicazione (RS 485 BUS). In particolare, la centralina di telecontrollo TC2000 è una centralina programmabile anche da una postazione centrale ed ha le funzioni di lettura, catalogazione ed immagazzinamento dei dati, oltre che di trasmissione di segnali d'allarme quando la variazione dei valori misurati supera una certa soglia precedentemente fissata. La centralina è anche dotata di un programma per la gestione di comandi e segnali e può essere pertanto utilizzata, per esempio, nelle stazioni di pompaggio, nelle camere di manovra ed in tutti i sistemi di controllo ed automazione che prevedono la gestione di misure, comandi e segnali.

I dati vengono quindi inviati, via rete commutata o via GSM, dalla centralina di telerilevamento ad una stazione di monitoraggio in modo da monitorare contemporaneamente dalla stessa stazione di monitoraggio più strutture in

CALCESTRUZZO BAGNATO



CALCESTRUZZO ASCIUTTO

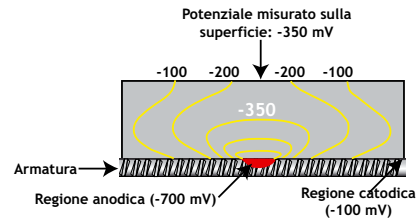


Fig. 4 - La misura del potenziale di libera corrosione delle armature dipende dall'umidità del calcestruzzo che le circonda [4].

calcestruzzo armato, indipendentemente dalla loro geometria strutturale e localizzazione geografica, così da ridurre drasticamente la periodica presenza di operatori competenti in situ. In particolare, la stazione di monitoraggio **Co.S.Mo. Net** è inserita nel Dipartimento di Fisica e Ingegneria dei Materiali e del Territorio dell'Università Politecnica delle Marche che già da molti anni ha in atto ricerche sulla durabilità delle strutture in calcestruzzo armato. Le competenze maturate e la dimensione della struttura offrono all'ente gestore la necessaria garanzia per la continuità e lo sviluppo del sistema di monitoraggio.

Attraverso il sito internet: <http://www.ing.unian.it/strutture/fimet/cosmonet/index.htm>, disponibile sul portale dell'Università Politecnica delle Marche, l'ente gestore riceve comunicazioni e rapporti grafici sul regolare comportamento della struttura o sulla presenza di eventuali fenomeni di degrado che potrebbero richiedere un intervento di manutenzione mirato. In breve tempo si possono così conoscere tutti i dati più interessanti della struttura monitorata evitando trasmissioni cartacee e difficili catalogazioni. È possibile anche dialogare direttamente con il centro di interpretazione dati per avere spiegazioni e suggerimenti.

Il sistema proposto risulta particolarmente utile per le strutture di pubblico interesse dove potrebbe nascere un'utile collaborazione tra la pubblica amministrazione e le strutture di ricerca universitarie. Gli enti pubblici potrebbero delegare la loro responsabilità sulla supervisione delle strutture a tecnici particolarmente competenti in questo campo che, control-

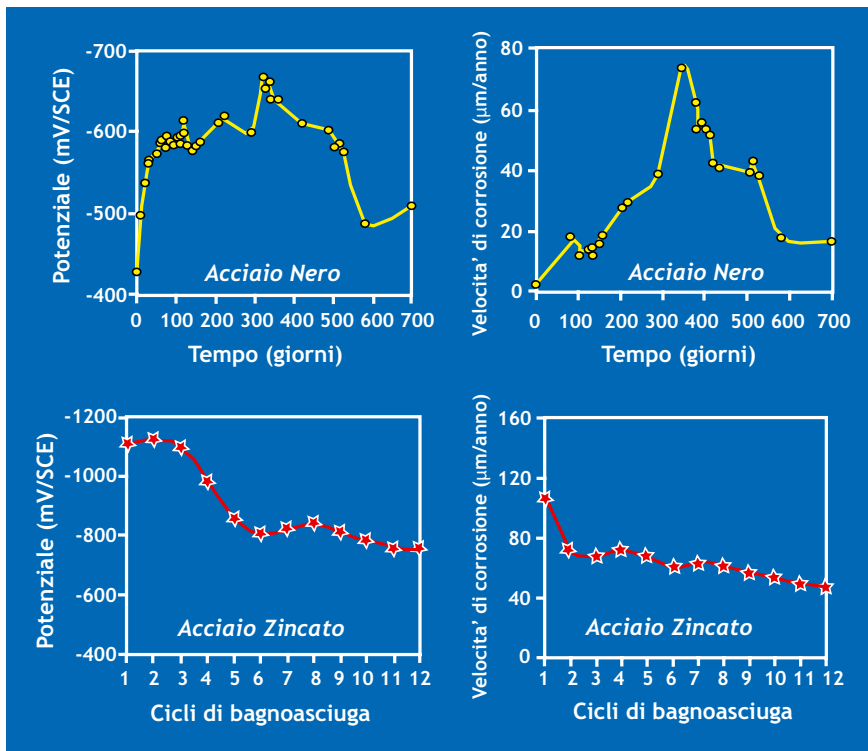


Fig. 3 - Il potenziale di libera corrosione si sposta verso valori più negativi all'aumentare della velocità di corrosione sia per armature in acciaio nero sia per armature in acciaio zincato.



Fig. 5 - Il sistema di monitoraggio Co.S.Mo.Net.

lando le strutture con continuità, possono allertare la pubblica amministrazione ogni qualvolta il sistema proposto riveli un'anomalia nelle misure. L'applicazione di questo sistema consente così tempestivi, e quindi più economici, interventi di manutenzione preventiva che, se affrontati nella fase di induzione del processo di degrado, permettono di ricondurre la gestione dell'opera nell'ambito della manutenzione programmata abbattendo significativamente i costi della manutenzione straordinaria.



Fig. 6 - Elettrodi di lettura collegati alle armature metalliche della struttura in c.a.

BIBLIOGRAFIA

- [1] De Sitter Jr., W.R., *Costs for Service Life Optimisation, the Law of Fives*, Proceedings of the CEB-RILEM International Workshop on "Durability of Concrete Structures", Copenhagen, Denmark, (CEB Bulletin d'Information, No. 152, 1984), pp. 131-134, 1983.
- [2] K. Tuutti, *Corrosion of Steel in Concrete*, Swedish Foundation for Concrete Research, Stoccolma, 1982.
- [3] M. Colleparidi, *Il Nuovo Calcestruzzo*, Terza Edizione, Editore Tintoretto, Castrette Villorba (TV), 2003.
- [4] P. Pedferri, L. Bertolini, *La durabilità del calcestruzzo armato*, Editore McGraw-Hill, Milano, 2000.
- [5] V. Corinaldesi, G. Moriconi e F. Tittarelli, *A monitoring system for preventive and programmed maintenance of concrete structure*, Proceedings of the 2nd International RILEM workshop on Life Prediction and Management of Concrete Structures, Edited by D.J.Naus, pp. 149-155, 2003.
- [6] F. Tittarelli e G. Moriconi, *Sistema di monitoraggio per la manutenzione preventiva e programmata delle strutture in calcestruzzo armato*, Domanda di brevetto per invenzione industriale N° AN2005A000045 depositata presso la C.C.I.A.A. di Ancona, Cod. 42, in data 08 settembre 2005.

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



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



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:

