

2003

Quadrimestrale

Anno VIII

Numero 23

ENCO

JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE



**SCC:
Bello è
possibile!**

Focus - Via Lazzaris, 11/6 - 31027 Spresiano (TV). Spedizione in abbonamento postale 45% (art. 2 comma 20/B - Legge 662/96)

IN CASO DI MANCATO RECAPITO INVIARE ALL'UFFICIO DI TREVISO CPO PER LA RESTITUZIONE AL MITTENTE PREVIO PAGAMENTO RESIDUO



MANINI
PREFABBRICATI

dal 1962

l'Evoluzione continua

Sede Generale:
S. MARIA DEGLI ANGELI
Tel. 075-8041018
e-mail: com@manini.it
<http://www.manini.it>

Centri produttivi:
BASTIA UMBRA / PG
APRILIA / LT
PERUGIA

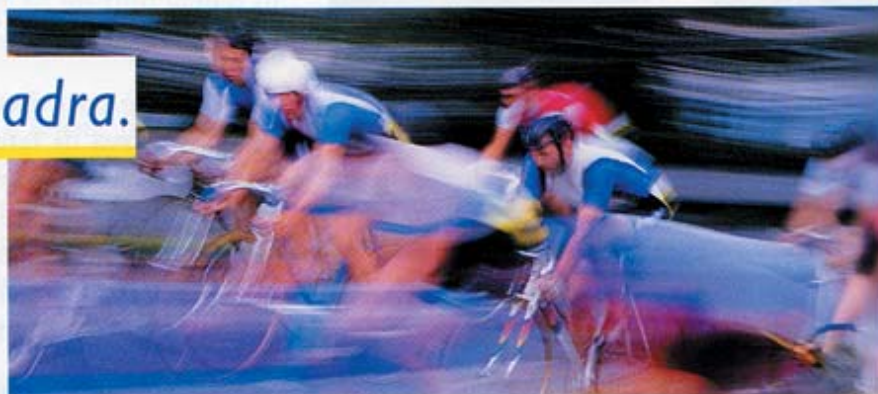


SOMAGLIA / LO



Calcestruzzi Zillo

Il gioco di squadra.



carella&poietto/Unitas/Venezia

IMPIANTI CALCESTRUZZO:

- Ronchi dei Legionari (GO)
- Savogna d'Isone (GO)
- Buia (UD)
- Codroipo (UD)
- Flagogna di Forgaria (UD)
- Gonars (UD)
- Martignacco (UD)
- Pradamano (UD)
- Premariacco (UD)
- Fontanafredda (PN)
- Montereale Valcellina (PN)
- Pordenone (PN)
- S. Vito al Tagliamento (PN)
- Zoppola (PN)
- Cavarzere (VE)
- S. Michele al Tagliamento (VE)
- Postioma di Paese (TV)
- Verona loc. Marzana (VR)
- S. Martino Buon Albergo (VR)
- Bedizzole (BS)
- Brescia San Polo (BS)
- Castegnato (BS)
- Cazzago San Martino (BS)
- Manerba del Garda (BS)
- Montichiari (BS)
- Sabbio Chiese (BS)
- Casalmaggiore (CR)
- Dosolo (MN)
- Viadana (MN)

La nostra è una grande squadra.

La sua forza è in ciascuno dei suoi componenti, ognuno con un ruolo diverso che viene svolto con competenza, serietà, professionalità. Questo ci porta ad essere un vero partner per il Gruppo, un'organizzazione che conosce le proprie potenzialità e che lavora per il raggiungimento di un unico obiettivo: il successo aziendale.

Puntiamo sulla qualità e sull'esperienza.

Siamo certi di avere una buona tattica per produrre un efficace gioco di squadra.

Cementizillo

CRESCERE INSIEME PER VIVERE MEGLIO



ISO 9002 ○



Calcestruzzi Zillo

www.calcestruzzizillo.it
E-mail: info@calcestruzzizillo.it

Sede Operativa nord est :
33170 PORDENONE
Via Tesa, 1
Tel. 0434 383511 Fax 0434 383555

Sede Operativa nord ovest :
25013 CARPENEDOLO (BS)
Via A. Pozzi 15/F
Tel. 030 9983006 Fax 030 9984854

Sede Secondaria:
25018 MONTICHIARI (BS)
Via Aeroporto, 18
Tel. 030 9657947 Fax 030 9657357

Sede Amministrativa:
35042 ESTE (PD)
Via Caldeviso, 14
Tel. 0429 601700 Fax 0429 600471



Betonrossi. Nessun problema, solo soluzioni.



Betonrossi: Tecnologia, Impianti, Servizi e Prodotti. Un modello produttivo per il settore dei calcestruzzi e per tutto il mondo delle costruzioni: orientato alla qualità totale, che si basa sulla ricerca, sullo sviluppo, su continui controlli della produzione, ma anche sull'evoluzione commerciale, tecnologica e distributiva del calcestruzzo. Un nuovo modello competitivo che affronta il tema della produzione a 360°. Un partner affidabile con prodotti innovativi e servizi efficienti. Perché

Betonrossi è all'avanguardia nell'assistenza a progettisti e imprese:

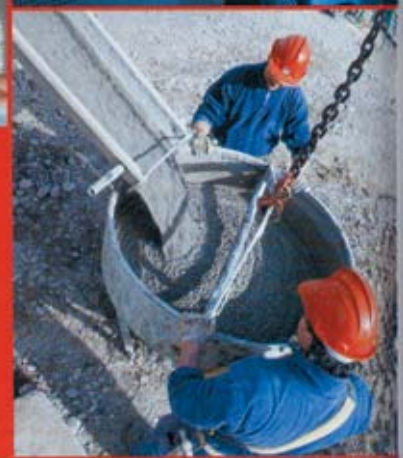
competente, agile e scattante. Nessun problema per il cantiere!

Betonrossi: Uomini, Tecnologie, Mezzi e... Soluzioni!



COSTRUIAMO CON VOI

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



PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Quadrimestrale - Anno VIII - Numero 23

Direttore Mario Collepari

BELLO È POSSIBILE!

Parafrasando la canzone di Gianna Nannini abbiamo dedicato il titolo e la copertina di questo numero all'SCC (acronimo di *Self-Compacting Concrete*) meno noto in italiano come calcestruzzo autocompattante. Sì, anche il calcestruzzo, se di tipo SCC, può essere forte, durabile, stabile e, soprattutto, bello come il David di Michelangelo.

Già in passato (N° 12 di Enco Journal, 1999: www.enco-journal.com) abbiamo dedicato un articolo a questo straordinario calcestruzzo il cui successo in Italia arriva dopo aver attraversato con estusiasmo (soprattutto tra i ricercatori) il solito Giappone ed i soliti paesi Scandinavi (qui l'entusiasmo si è diffuso anche tra le imprese ed i produttori di calcestruzzo). La straordinarietà dell'SCC consiste nel fatto che ci si può aggranciare dalla qualità della manodopera disponibile sui cantieri per realizzare opere anche molto difficili per la loro forma e/o per la congestione dei ferri di armatura.

La mia personale esperienza - documentata anche dall'articolo qui riportato a pagina 13 di questo numero - mi porta a dire che sono soprattutto gli architetti ad entusiasinarsi per questo materiale che consente di esprimere la loro creatività libera dai soliti vincoli esecutivi nella realizzazione dei getti. Insomma, con l'SCC, anche il calcestruzzo può essere bello.

Per chi non conosce ancora l'SCC, si può dire in sintesi che viene colato all'interno dei casseri (anche se molto armati, anche se di forma contorta e di spessore relativamente sottile) e consente il giorno dopo di scasserare senza problemi la struttura in c.a..

Seguitiamo in questo numero la nostra battaglia per un progresso sostenibile con l'articolo di **Mohan Malhotra** che insieme ad altri suoi colleghi nord-americani ed europei sarà a Milano il 17/18 Ottobre per il Seminario Internazionale sullo "Sviluppo Sostenibile nelle industrie del cemento e del calcestruzzo".

Anche l'articolo di **Lo Presti** intitolato "Teletrasporto Sole-Terra" è in linea con il recupero di energia naturale rinnovabile oltre che interessante per l'approccio alla problematica delle saline trapanesi.

Gli ingegneri della Enco (**Collepari, Olagot, Simonelli e Troli**) presentano un articolo sulle pavimentazioni industriali in c.a. ed uno sulla tecnica di progettazione dell'FRP.

Segnaliamo, infine, un articolo su un materiale tanto tradizionale quanto innovativo, "Legno Lamellare Armato", di **Cattich, Gottardi e Piazza** che presentano le prestazioni di questo straordinario materiale.

Mario Collepari

In copertina: Una colata di SCC per far "crescere" il David di Michelangelo

Copie stampate: 17.500 delle quali 16.500 distribuite a mezzo posta

SOMMARIO

RUOLO DEI MATERIALI SUPPLEMENTARI CEMENTIZI E DEI SUPERFLUIDIFICANTI NEL RIDURRE L'EMISSIONE DEI GAS SERRA VERSO L'AMBIENTE <i>di V.M. Malhotra</i>	(pag. 7)
MA IN EUROPA E' DIVERSO GRAZIE AI CEMENTIERI <i>di M. Collepari</i>	(pag. 11)
SCC: BELLO, FORTE E STABILE <i>di M. Collepari, A. Borsoi e J.J. Olagot</i>	(pag. 13)
TELETRASPORTO SOLE-TERRA <i>di S. Lo Presti</i>	(pag. 18)
STRUTTURE INNOVATIVE IN LEGNO LAMELLARE ARMATO <i>di C. Cattich, L. Gottardi e M. Piazza</i>	(pag. 23)
FISICA DELL'ATOMO <i>di A. Zammarchi</i>	(pag. 29)
SCORIE METALLURGICHE NON FERROSE PER LA PRODUZIONE DI CALCESTRUZZI <i>di G. Fava, I. Marconi e S. Monosi</i>	(pag. 31)
PAVIMENTAZIONI INDUSTRIALI IN CALCESTRUZZO <i>di S. Collepari e R. Troli</i>	(pag. 36)
TRAVI RINFORZATE A FLESSIONE CON MATERIALI FRP <i>di F. Simonelli e R. Troli</i>	(pag. 39)

ENCO Journal
PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE
Spresiano (Treviso) - Via Lazzaris, 9
Tel. 0422.881350 - Fax 0422.881332
info@enco.srl

Direttore Responsabile
MARIO COLLEPARDI

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

EDITORE
FOCUS
Via Lazzaris, 11 Spresiano (TV)
Tel. 0422.881350 - Fax 0422.881332
info@encosrl

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

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

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



un partner
di qualità nel calcestruzzo
preconfezionato

Lavori di ampliamento 3ª corsia del G.R.A. di Roma

colabeton

www.colabeton.it



RUOLO DEI MATERIALI SUPPLEMENTARI CEMENTIZI E DEI SUPERFLUIDIFICANTI NEL RIDURRE L'EMISSIONE DEI GAS SERRA VERSO L'AMBIENTE



V. M. Malhotra, LHO, Canada - vmalhotr@nrca.nrc.ca

Introduzione

I summit mondiali tenutisi a Rio de Janeiro (Brasile) nel 1992 ed a Kyoto (Giappone) nel 1997 hanno chiarito in modo inequivocabile che per uno sviluppo sostenibile a lungo termine è essenziale che sia ridotta la velocità di emissione dei gas serra. Per sviluppo sostenibile si può dare la definizione, accettata da molti, del Primo Ministro norvegese Gro Harlem Brundtland: "La capacità da parte del genere umano di assicurare che i bisogni attuali siano soddisfatti senza compromettere le necessità delle generazioni future".

I gas serra che maggiormente influiscono sullo sviluppo sostenibile sono: l'anidride carbonica (CO₂), gli ossidi nitrosi (NOx) ed il metano (CH₄), ma la quantità di questi ultimi è molto minore di quella della CO₂.

A parte gli USA, quasi tutti gli altri paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre i gas serra imponendosi una emissione del 6% inferiore a quella del 1990 per gli anni 2010-2012. Lo scopo di questo articolo è di sottolineare la necessità di impiegare maggiore volumi di cenere volante e di altri materiali cementizi unitamente ai superfluidificanti per ridurre le emissioni di CO₂.

Tabella 1 - Emissione di CO₂ in tonnellate per uomo per anno*

U.S.A.	20
Canada	20
Europa	9
Cina	3
America Latina	3
India	1

* I numeri sono solo approssimativi e sono stati raccolti dalle pubblicazioni disponibili

Anidride carbonica: emissione pro capite e per anno in diversi paesi

Gli Stati Uniti ed il Canada sono i maggiori responsabili per l'emissione della CO₂ nel mondo e le loro emissioni si approssimano a circa 20 tonnellate per uomo, per anno seguite dai paesi europei con circa 9 tonnellate (Tabella 1). I paesi in via di sviluppo, come la Cina e l'India, hanno attualmente delle emissioni basse ma la loro rapida

industrializzazione porterà ad aumentare la emissione di gas serra nel prossimo futuro.

Produzione di cemento Portland

Il cemento Portland ordinario è il maggior materiale da costruzione in tutto il mondo, e rimarrà così per un futuro molto prossimo (Tabella 2). La produzione di cemento aumenterà da circa 1,7 miliardi di tonnellate nel 2000 a circa 2 miliardi di tonnellate nel 2010. Il maggior aumento avverrà in Cina ed in India, ed in minor misura nella ex Unione Sovietica. Negli USA ci si attende che la produzione di cemento aumenterà da circa 100 milioni di tonnellate nell'anno 2000 a circa 130 milioni di tonnellate nel 2010. In vista di queste enormi quantità di materiale coinvolte è assolutamente necessario che la produzione del cemento sia fatta nel modo più rispettoso per l'ambiente. Il programma sostenibile dell'industria del cemento (*World Cement, Vol. 34, N° 4, Aprile 2003, p. 42*) che è stato sviluppato dalla *Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* ha portato ad una agenda per il 2002. Il protocollo è stato firmato da un comitato che raggruppa i maggiori dieci produttori di cemento del mondo. E questa agenda contiene un impegno per un periodo di 5 anni a migliorare tra le altre cose:

- la protezione del clima
- combustibili e materie prime
- riduzione delle emissioni
- impatto ambientale

Il produttore di cemento HOLCIM, membro del WBCSD, ha avuto un ruolo leader nel dare una risposta allo sviluppo sostenibile e si è impegnato a ridurre nel 2010 le emissioni di CO₂ del 20% della sua produzione mondiale rispetto al 1990 (*ACI Concrete International, Vol. 25, N° 3, Marzo 2003, p. 16*).

Emissione di gas serra nella produzione di cemento Portland nel mondo

La produzione di cemento Portland non solo è un processo che consuma molta energia, ma è anche un forte contributore all'emissione di gas serra. Si calcola che per la produzione di una tonnellata di cemento si emetta circa una tonnellata di CO₂ nell'atmosfera, con minori quantità di NOx e CH₄. L'emissione totale di CO₂ in realtà può variare tra 1,1 nei processi a umido sino a circa 0,8 tonnellate nei processi con i pre-calcinatori. La metà dell'emissione

Tabella 2 - Produzione di cemento regionale e mondiale prevista per l'anno 2010 in milioni di tonnellate*

	1995	2000	2005	2010	% sul Totale del 1995	% sul Totale del 2010
Unione Europea	168,1	187,9	194,1	189,3	12,1	9,4
Resto Europa	65,8	80,8	90,2	94,7	4,7	4,9
Ex Unione Sovietica	58,1	80,3	110,1	128,2	4,2	6,6
Nord America	92,9	94,9**	94,8	94,7**	6,6	4,9
America Latina	89,4	106,6	127,4	145,0	6,4	7,5
Africa	64,8	74,3	80,7	85,5	4,6	4,4
Medio Oriente	63,5	75,6	76,9	73,4	4,6	3,8
Est Asiatico	623,4	732,7	798,8	844,3	44,6	43,4
Sud Est Asiatico	161,2	219,1	255,0	279,2	11,6	14,4
Oceania	8,0	10,6	11,1	11,8	0,6	0,6
Totale	1396,1	1662,1	1839,1	1946,1	100,0	100,0

* Dal World Cement Annual Review, World Cement, Vol. 28, N° 7, July 1997, pp.2-60

** I dati recentemente pubblicati indicano che in Nord America abbia già ecceduto 120 milioni di tonnellate nell'anno 2002 e che raggiungerà 130 milioni di tonnellate

della CO₂ è dovuta alla decomposizione del calcare e l'altra metà ai gas di combustione dei combustibili fossili. Secondo Cahn et al. (Cahn, D., et al., "Atmospheric CO₂ and the U.S. Cement Industry") le emissioni dalla decomposizione del calcare sono quasi costanti ed ammontano a circa 0,54 tonnellate di CO₂ per tonnellata di cemento Portland; le emissioni dalla combustione dipendono dal contenuto di carbone nel combustibile che viene usato e dalla efficienza della combustione stessa.

Nel 1995 la produzione globale di cemento Portland ammontò a circa 1,4 miliardi di tonnellate, portando ad una emissione di circa 1,4 miliardi di tonnellate di CO₂ nell'atmosfera. Secondo la *International Energy Authority (IEA)*, l'emissione di CO₂ nel mondo dalle varie sorgenti ammontava a circa 21,6 miliardi di tonnellate. Sulla base di queste cifre si può dire quindi che la produzione di anidride carbonica che proviene dal cemento è circa il 7% di tutta la emissione totale. Dalle proiezioni fatte dalle compagnie cementifere, questa produzione dovrebbe rimanere costante nel prossimo decennio. Nonostante quindi gli impegni dell'agenda presi dal *WBCSD*, questo implica che le compagnie cementifere non adotteranno delle variazioni per un rispetto dell'ambiente durante la produzione del cemento, almeno nell'immediato futuro.

Paesi in via di sviluppo

Le necessità delle infrastrutture nei paesi in via di sviluppo stanno portando ad un aumento enorme nel consumo di cemento Portland (Tabella 2) e questo ha portato alla installazione di un numero considerevoli di impianti di cemento in Cina ed in India. Per esempio, è già stata

commissionato un nuovo impianto con una capacità di 2 milioni di tonnellate di clinker in India (*Anantharaman, C.J., "India's Largest", World Cement, Vol. 33, N° 23*), e i piani futuri prevedono di raddoppiare la capacità delle cementerie, fino a 4 milioni di tonnellate per anno, nel prossimo futuro, così arrivando a produrre il più grande impianto di clinker nel mondo. Paradossalmente, queste due grandi nazioni sono anche quelle che stanno installando impianti termo-elettrici basati sulla combustione del carbone al fine di soddisfare le crescenti necessità delle loro popolazioni e delle industrie manifatturiere. Per esempio si sa già che per il 2010 l'India dovrà raddoppiare la capacità della produzione di energia elettrica rispetto a quella attuale e tutto ciò provocherà un aumento di ceneri da carbone sino ad arrivare a 160 milioni di tonnellate per anno. In quell'anno la produzione di cemento Portland attesa dovrà raggiungere i 130 milioni di tonnellate. Sfortunatamente le necessità industriali in questi grandi paesi, Cina ed India, stanno influenzando negativamente l'ambiente in due direzioni. Da una parte l'installazione di nuovi impianti cementieri fa aumentare enormemente la emissione di CO₂, dall'altra la costruzione di stazioni termo-elettriche di grandi capacità provocherà grandi quantità di ceneri volanti e di ceneri pesanti che si accumuleranno se non verranno riciclate in modo significativo. Molta della cenere che viene prodotta verrà portata a discarica in miniere abbandonate. Così risorse cementizie potenzialmente valide sono portate a discarica proprio in questi paesi che hanno maggiore bisogno di ridurre le emissioni di gas serra e di produrre strutture in calcestruzzo durabili ed in modo economico.

Ruolo della cenere volante e di altri materiali cementizi per ridurre l'emissione di CO₂

Come si è già detto prima, non vi sono all'orizzonte nuove tecnologie per ridurre l'emissione della CO₂ nella produzione di cemento Portland. Tutto ciò porterà alla conclusione che la risposta a questo problema ambientale sta nella riduzione della produzione di clinker, e la riduzione della produzione di clinker potrà essere compensata dall'uso di cenere volante o da altri materiali cementizi come la loppa granulata d'altoforno o la cenere di pula di riso.

Tabella 3 - Produzione di cenere volante ed utilizzazione nel 2000*

Stato	Produzione in milioni di Tonnellate	Utilizzo nel calcestruzzo in milioni di Tonnellate
Cina	>200	>15
India	>80	15%
USA	>60	10%
Russia	60	5
Germania	30	12
UK	10	10

* Questi dati includono la cenere volante, la cenere pesante e la loppa. Per ogni 100 tonnellate di cenere vi sono approssimativamente 25 tonnellate di cenere pesante e di loppa. I dati sulla produzione ed utilizzazione sono stati raccolti da pubblicazioni e da comunicazioni personali. Essi sono basati su stime e perciò il margine di errore può essere assunto fino al 10%.

Disponibilità della cenere volante

Sulla base delle informazioni frammentate disponibili, la produzione annuale attuale di cenere volante si aggira sui 600 milioni di tonnellate per anno in tutto il mondo. I maggiori produttori sono la Cina, l'India e gli Stati Uniti (Tabella 3). In aggiunta a queste quantità vi sono anche milioni di tonnellate di cenere che sono state portate a discarica negli anni scorsi. È stato riportato (*Sear Lindon, "The Futur of Pulverized Fuel Ash Concrete", Concrete, Col. 37, N° 2, 2003, pp 50-51*) che nel Regno Unito da solo stanno per essere recuperate 120 milioni di tonnellate da queste discariche. La produzione della Società Wisconsin Power a Milwaukee, USA, sta già facendo altrettanto (Comunicazione personale da Bruce Tamme, Wisconsin Power, Milwaukee, USA).

Nonostante che gli impianti termo-elettrici a carbone producano enormi quantità di emissioni di CO₂ e non siano favorevoli all'impatto ambientale, si dovrebbe tenere a mente che per il prossimo futuro, le necessità di energia nel mondo, soprattutto per Cina, India e Stati Uniti, saranno soddisfatte proprio dagli impianti a carbone a causa delle enormi riserve di carbone di buona qualità disponibili in tutto il mondo, e anche per il fatto che l'energia prodotta con queste sorgenti è ancora la più economica rispetto ad altre sorgenti. Inoltre, nel nord Europa gli

impianti nucleari per la produzione di energia stanno per essere bloccati e le riserve di gas naturali nel mondo sono molto limitate rispetto a quelle di carbone. Così si può prevedere che la cenere volante sarà disponibile in grandi quantità almeno fino al 2050.

La maggior parte della cenere volante usata nel calcestruzzo è del tipo silicico seconda la ASTM C 618, classe F ed è sostanzialmente il sottoprodotto della combustione dell'antracite o del carbone bituminoso. Questa cenere di per sé non contiene alcuna proprietà cementizia ma, grazie alla elevata finezza, in presenza di acqua può reagire già a temperatura ambiente con l'idrossido di calcio e formare dei prodotti che hanno proprietà cementanti: si comporta cioè come una vera e propria pozzolana. Negli anni recenti anche una cenere ad alto tenore di calcio (ASTM C 618, Classe C) è stata posta sul mercato negli Stati Uniti, Canada, Polonia, Grecia e qualche altra nazione. Questa cenere è il sottoprodotto che si ottiene bruciando la lignite o carbone sub-bituminoso ed essa possiede di per sé proprietà cementizie oltre ad essere un materiale pozzolanico.

Va subito detto che non tutta la cenere disponibile è adatta per l'impiego nel calcestruzzo. Tuttavia le tecnologie disponibili possono bonificare tutte queste ceneri che non soddisfano i requisiti di finezza e di contenuto di carbonio incombusto, i due parametri maggiormente importanti perché una cenere possa essere usata insieme al cemento per produrre il calcestruzzo. Questi metodi prevedono la rimozione del carbonio mediante metodi elettrostatici e di flottazione. La macinazione e la classificazione con aria sono stati usati per produrre delle ceneri volanti con alta finezza.

Tecnologia del calcestruzzo ad alto volume di cenere volante

Uno dei maggiori sviluppi nell'area della utilizzazione della cenere nel calcestruzzo è stata la tecnologia del calcestruzzo ad alto contenuto di cenere (*High Volume Fly Ash - HVFA*) sviluppata da Malhotra e collaboratori al CANMET, Ottawa, Canada (*Malhotra, V.M., and Mehta, P.K., "High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportions, Construction Practice, and Case Histories", 2002, 101 pp., - Available from: Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, K1Y 2B3*). Si ritiene che negli anni a venire questo sviluppo potrà modificare profondamente l'impiego del cemento nel calcestruzzo. Un lavoro della pubblicazione sopra menzionata descrive anche degli esempi interessanti negli Stati Uniti con l'impiego dei calcestruzzi HVFA.

Altri materiali cementizi supplementari

Oltre alla cenere, gli altri materiali cementizi supplementari che sono disponibili in grande quantità che possono essere utilizzati per rimpiazzare il cemento nel calcestruzzo includono la loppa d'altoforno granulata, le pozzolane naturali e la cenere di pula di riso. La produzione mondiale

di loppa granulata d'altoforno è attualmente solo di 25 milioni di tonnellate per anno. La cenere di pula di riso non è ancora commercialmente disponibile sebbene la potenziale disponibilità in tutto il mondo ammonti a circa 20 milioni di tonnellate. L'uso di loppa granulata d'altoforno nel calcestruzzo è aumentato considerevolmente negli anni recenti e questo processo ci si augura possa continuare. La cenere di pula di riso, quando sarà commercialmente disponibile, potrà affiancarsi alla cenere volante ed alla loppa granulata d'altoforno come un significativo materiale cementizio supplementare da impiegare a parziale sostituzione del cemento Portland per produrre calcestruzzo riducendo l'emissione di CO₂. L'uso di pozzolane naturali è piuttosto limitato per la maggiore richiesta di acqua nel calcestruzzo e per la necessità, in alcuni casi, di calcinazione delle pozzolane. Messico, Turchia ed Italia producono miscele di cemento Portland e pozzolana naturale con sostituzione di cemento che arrivano fino al 30%.

Il ruolo dei superfluidificanti nel ridurre l'emissione di CO₂

Vi sono due possibili modi di usare il superfluidificante in modo da ridurre il contenuto di cemento e così di contribuire alla riduzione di emissione di CO₂.

- a) *Produrre calcestruzzo con rapporto acqua/cemento molto basso.* Per ottenere calcestruzzi ad alta resistenza meccanica, l'acqua di impasto deve essere ridotta mantenendo lo stesso contenuto di cemento. La ridotta lavorabilità conseguente alla diminuzione dell'acqua è compensata dall'impiego dei superfluidificanti. In questo modo le riduzioni di acqua che arrivano sino al 30% portano a calcestruzzi con rapporti acqua/cemento bassi fino a 0,28 e che sono stati messi in opera con successo. Così calcestruzzi ad alta resistenza ed a alta prestazione possono essere realizzati senza aumentare il contenuto di cemento.
- b) *Produrre calcestruzzi con dosaggi di cemento ridotti.* I superfluidificanti possono essere usati per produrre calcestruzzi con quantitativi di acqua ridotti. A pari rapporto acqua/cemento anche il cemento può essere ridotto nella stessa misura in cui si riduce l'acqua. Come nel metodo a) sopra descritto, la diminuzione di lavorabilità del calcestruzzo - per la riduzione di acqua - è compensata dall'impiego dei superfluidificanti.

I superfluidificanti sono un componente fondamentale dei calcestruzzi HVFA nei quali più del 50% del cemento può essere sostituito da cenere mentre rimangono o si migliorano le resistenze meccaniche e la durabilità di questi calcestruzzi.

Diritti commerciabili sull'emissione dei gas serra e utilizzazione della cenere volante

Le emissioni "commerciabili" si riferiscono ai meccanismi economici che dovrebbero in futuro aiutare le nazioni in tutto il mondo per adottare riduzioni significative nell'emissione dei gas serra stabilite dal protocollo di Kyoto nel 1997. Si ritiene che, in un futuro non molto lontano,

una tonnellata di gas serra avrà un valore commerciale di circa 10 dollari USA. Così, per esempio, se una nazione può sostituire il 50% del cemento Portland con cenere volante o loppa, questa nazione avrà risparmiato un 50% nella emissione di CO₂ a seguito del minor consumo di cemento Portland. Per una nazione che produce annualmente 100 milioni di tonnellate di cemento, questo 50% di sostituzione cemento Portland con cenere volante ammonterà ad un risparmio nella emissione di CO₂ di 50 milioni di tonnellate. Questo a sua volta si trasforma in un valore commerciale di 500 milioni di dollari USA ogni anno. Si deve tenere a mente che il valore dei diritti commerciabili delle emissioni è solo una stima che può fluttuare abbastanza largamente. Tuttavia, date le pressioni politiche ed ambientali, la utilizzazione della cenere porterà a pagare dei ricchi dividendi. I paesi industrializzati hanno un maggior premio in questa faccenda. Se questi paesi possono trasferire le tecnologie di utilizzazione della cenere ai paesi in via di sviluppo e dimostrare che ci sono state delle effettive riduzioni nella installazione di nuovi impianti di cemento in questi paesi, i primi (cioè i paesi industrializzati) potranno richiedere l'accreditamento dovuto alla ridotta emissione di CO₂.

Allo scopo di dare un'idea dei premi finanziari coinvolti, si è stimato che costerà 100 miliardi di dollari in Canada per i prossimi 15 anni tagliare le emissioni di gas serra secondo gli impegni presi nel Protocollo di Kyoto. Da allora il Canada ha approvato il protocollo di Kyoto per ridurre l'emissione dei gas serra del 6% al di sotto del 1990 entro l'anno 2010-2012.

Conclusioni

Gli argomenti ambientali associati con la emissione di CO₂ nella produzione del cemento Portland richiede che i materiali cementizi supplementari in generale, ed in particolare la cenere volante, la loppa d'altoforno e la cenere di pula di riso, siano usati in quantità sempre maggiore per sostituire il cemento Portland nel calcestruzzo. Date le quantità illimitate di cenere di buona qualità nel mondo e tenendo conto dello sviluppo di tecnologie, come ad esempio quella dell'HVFA, si è proposto che la installazione di nuovi impianti per la produzione di cemento sia evitata il più possibile. Inoltre, con l'invecchiamento degli attuali impianti di cemento Portland e la loro obsolescenza, si dovrebbero usare questi materiali supplementari cementizi per compensare la minore produzione di cemento Portland.

L'uso combinato di superfluidificanti e materiali supplementari cementizi può portare alla produzione di calcestruzzi ad alte prestazioni in modo economico con caratteristiche di durabilità migliori. Si spera che l'industria del calcestruzzo sappia mostrare la leadership e risolvere il problema della emissione dei gas serra e quindi dare un contributo ad uno sviluppo sostenibile della propria industria nel XXI secolo adottando le nuove tecnologie per ridurre le emissioni dei gas serra, e contribuire così al raggiungimento degli obiettivi e degli scopi del protocollo di Kyoto nel 1997.

MA IN EUROPA E' DIVERSO GRAZIE AI CEMENTIERI

*Mario Collepari
collepari@polimi.it*



Nell'articolo in questo numero di Mohan Malhotra ("Ruolo dei materiali supplementari cementizi e dei superfluidificanti nel ridurre l'emissione dei gas serra verso l'ambiente"), è presentata la situazione sul riutilizzo delle ceneri e delle scorie dell'altoforno in Nord-America ed in alcuni Paesi orientali – come Cina ed India – dove la maggior parte di queste preziose risorse giace inutilizzata a discarica.

In Europa ed in Italia in particolare, invece, la situazione è completamente diversa: solo il 35% dei cementi prodotti in Europa è di tipo Portland "puro" e questo dato scende virtuosamente al 9% in Italia. In altre parole i 2/3 dei cementi in Europa ed il 90% in Italia sono prodotti "tagliando" il clinker di cemento Portland con altri ingredienti (fra i quali in maggior misura: cenere volante, loppa d'altoforno, pozzolana naturale e calcare). Questa operazione è doppiamente vantaggiosa per l'ambiente: perché riduce la CO₂ emessa conseguente al risparmio di clinker e perché riutilizza le scorie (cenere, loppa) di altri processi, altrimenti destinate a discarica.

Questa operazione giova anche alle prestazioni del legante e soprattutto del calcestruzzo cui il legante è destinato. E' ben noto, infatti, che l'impiego di cementi con cenere, pozzolana o loppa riduce il degrado del calcestruzzo in ambienti marini, in terreni solfatici o nelle autostrade esposte a salatura nei periodi invernali; ed inoltre riduce significativamente il rischio fessurazioni di origine termica nei getti massivi (1).

A chi il merito di questa saggia operazione? Formalmente al profitto. I produttori di cemento europeo, infatti, si sono dati delle norme (EN 197-1); grazie a queste norme, sono potenzialmente standardizzati in Europa qualcosa come 150 cementi e solo 6 di questi sono cementi Portland; i rimanenti

144 sono cementi di miscela producibili aggiungendo qualche altro ingrediente (dal 6% al 95%) al clinker. Poiché tutti questi ingredienti costano meno del clinker, mentre il prezzo dei cementi di miscela – a parità di resistenza meccanica – è molto simile a quello del cemento Portland, ne deriva un maggior profitto nella produzione e distribuzione dei cementi di miscela rispetto al cemento Portland. Ci si deve scandalizzare? Assolutamente no! Perché l'impiego dei cementi di miscela non nuoce alle prestazioni del calcestruzzo (anzi, nella maggior parte dei casi queste sono migliorate), ed è vantaggioso per l'ambiente a seguito della riduzione di CO₂ emessa nell'atmosfera e del riutilizzo delle scorie di altri processi industriali: esso, quindi, deve essere assolutamente incoraggiato.

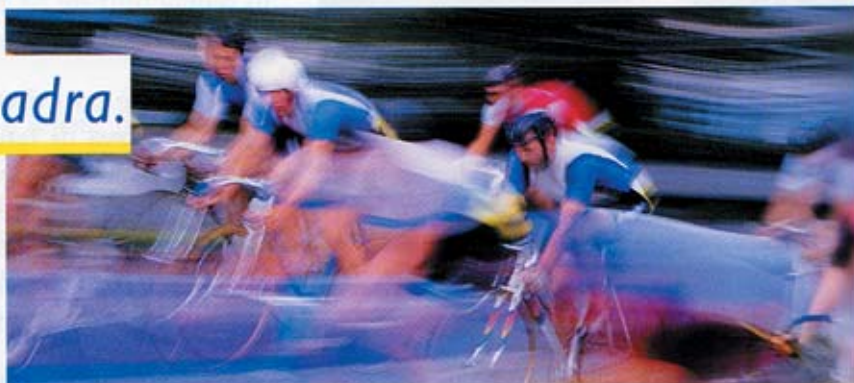
Il maggior profitto per i cementieri incoraggia moltissimo questa operazione che è a vantaggio di tutta la comunità. In Cina, in India (ed in minor misura anche in Nord America), le scorie in forma di cenere e di loppa non sono utilizzate attraverso il canale del cemento, come in Europa, e finiscono in gran parte a discarica: non solo, ma finiscono spesso per essere guardate come sottoprodotti di minor valore anziché come preziosi materiali cementizi: di qui l'indignazione e lo sforzo di Mohan Malhotra ad incoraggiare le aggiunte di cenere volante. Per fare solo un esempio: nella costruzione della diga delle Tre Gole in Cina (Enco Journal N° 22) ho provato senza successo a convincere i responsabili cinesi della diga di tagliare il cemento Portland con più del 20% di cenere volante al fine di ridurre ulteriormente lo sviluppo del calore di idratazione ed eliminare le ultime conseguenti fessurazioni. La mancanza di una normativa e di una cultura in proposito ha fatto accettare con riserva la sostituzione del cemento Portland solo fino al 20% di cenere.

Bibliografia

- (1) M. Collepari; "Il nuovo calcestruzzo"; 2^a Ed; pp 173-183; Edizioni Tintoretto; 2002

Calcestruzzi Zillo

Il gioco di squadra.



caremb&poletto/Unihap/icanza

IMPIANTI CALCESTRUZZO:

- Ronchi dei Legionari (GO)
- Savogna d'Isonzo (GO)
- Buia (UD)
- Codroipo (UD)
- Flagogna di Forgaria (UD)
- Gonars (UD)
- Martignacco (UD)
- Pradamano (UD)
- Premariacco (UD)
- Fontanafredda (PN)
- Montereale Valcellina (PN)
- Pordenone (PN)
- S. Vito al Tagliamento (PN)
- Zoppola (PN)
- Cavarzere (VE)
- S. Michele al Tagliamento (VE)
- Postioma di Paese (TV)
- Verona loc. Marzana (VR)
- S. Martino Buon Albergo (VR)
- Bedizzole (BS)
- Brescia San Polo (BS)
- Castegnato (BS)
- Cazzago San Martino (BS)
- Manerba del Garda (BS)
- Montichiari (BS)
- Sabbio Chiese (BS)
- Casalmaggiore (CR)
- Dosolo (MN)
- Viadana (MN)

La nostra è una grande squadra.

La sua forza è in ciascuno dei suoi componenti, ognuno con un ruolo diverso che viene svolto con competenza, serietà, professionalità. Questo ci porta ad essere un vero partner per il Gruppo, un'organizzazione che conosce le proprie potenzialità e che lavora per il raggiungimento di un unico obiettivo: il successo aziendale.

Puntiamo sulla qualità e sull'esperienza.

Siamo certi di avere una buona tattica per produrre un efficace gioco di squadra.

Cementizillo

CRESCERE INSIEME PER VIVERE MEGLIO



ISO 9002 ○



Calcestruzzi Zillo

www.calcestruzzizillo.it
E-mail: info@calcestruzzizillo.it

Sede Operativa nord est :
33170 PORDENONE
Via Tesa, 1
Tel. 0434 383511 Fax 0434 383555

Sede Operativa nord ovest :
25013 CARPENEDOLO (BS)
Via A. Pozzi 15/F
Tel. 030 9983006 Fax 030 9984854

Sede Secondaria:
25018 MONTICHIARI (BS)
Via Aeroporto, 18
Tel. 030 9657947 Fax 030 9657357

Sede Amministrativa:
35042 ESTE (PD)
Via Caldeviso, 14
Tel. 0429 601700 Fax 0429 600471

SCC: bello, forte e stabile

M. Collepari*, A. Borsoi**, J.J. Ogoumah Olagot**

*Politecnico di Milano - collepari@polimi.it

**Enco srl, Spresiano - info@encosrl.it



L'SCC (acronimo di *Self-Compacting Concrete*) noto anche come calcestruzzo auto-compattante, sarà il

conglomerato del futuro per una serie di ragioni:

- la difficoltà nel reperire manodopera qualificata sui cantieri per un lavoro faticosissimo e poco remunerativo;
- l'affidabilità che il materiale prescritto sia messo in opera senza che si debbano registrare deviazioni tra teoria e pratica per la difficoltà di compattare il conglomerato;
- il miglioramento delle condizioni di lavoro, soprattutto in prefabbricazione, consistenti in un ambiente significativamente meno rumoroso;
- la rapidità di esecuzione dei getti soprattutto se si riorganizza adeguatamente il *team* lavorativo;
- il miglioramento del facciavista apprezzato soprattutto nelle opere architettoniche.

IL BEL FACCIAVISTA

Cominceremo da quest'ultima caratteristica per illustrare la realizzazione delle prime strutture – più esattamente della “vela” esterna (Fig. 1) – della Chiesa San Pietro Apostolo di Pescara (Architetti: Dal Re e colleghi). Il requisito estetico prevedeva l'ottenimento



Fig. 1 - Le vele bianche in SCC in fase di esecuzione per la Chiesa di S. Pietro Apostolo di Pescara

di un calcestruzzo bianco con facciavista liscio.

Nella Tabella 1 è riportata la composizione che prevede, oltre al cemento bianco, anche gli inerti bianchi in forma di marmo frantumato.

Tabella 1 - SCC durabile (ambiente marino) per la Chiesa di S. Pietro Apostolo a Pescara

Componente	kg/m ³
CEM II/B-L 32.5 R bianco	400
Filler calcareo	100
Pietrisco 2-16 mm	875
Sabbia 0-2 mm	440
Sabbia fine 0-5 mm	430
Acqua	180
Superfluidificante acrilico	9,6
Viscosizzante	0,12
a/c ⇒ ambiente marino	0,45

Nella Tabella 2 sono riportate le prestazioni dell'SCC allo stato fresco ed indurito inclusa una prova di penetrazione d'acqua (6 mm sotto una pressione di 5 atmosfere per tre giorni) per valutare la durabilità in ambiente marino.

Tabella 2 - Prestazioni dell'SCC realizzato per la chiesa di Pescara (Fig. 1)

Massa volumica a fresco (kg/m ³)	2417	
Aperto del calcestruzzo	Coesivo	
Slump Flow nel tempo a 30°C (cm)	0'	70
	30'	68
	60'	68
Resistenza meccanica a compressione a 20°C (MPa)	1 g	17,2
	7 gg	35,3
	14 gg	39,4
	28 gg	43,0
Penetrazione d'acqua ISO-DIS 7031	6 mm	



Fig. 2 - Facciavista marmorizzato. Confronto tra calcestruzzo S5 (a sinistra) ed SCC (a destra) entrambi gettati senza vibrazione



Fig. 3 - Esempio di casseforme a perfetta tenuta per getto di SCC

Un aspetto di primaria importanza per l'ottenimento di un facciavista così pregiato e di tipo marmorizzato (Fig. 2) consiste nella qualità delle casseforme a perfetta tenuta e supportate da adeguati rinforzi (Fig. 3).

LA GRANDE RESISTENZA MECCANICA

Per il *World Trade Center* di San Marino, il progettista (*Norman Foster and Partners*, London) richiedeva una resistenza meccanica di 90 MPa a 28 giorni per “snellire” i pilastri che avrebbero dovuto sostenere l'alta costruzione del Centro (Fig. 4). Lo “snellimento”, consistente non tanto nella riduzione della sezione quanto nella riduzione del loro numero, ha comportato una maggiore distanza tra i pilastri e quindi una maggiore usufruibilità tanto al piano terreno (per il transito delle autovetture nel parcheggio), quanto ai piani superiori destinati al centro commerciale: la Fig. 5 mostra le distanze tra i pilastri caratterizzati da una R_{ck} di 90 MPa e capaci di sostenere tutto l'edificio.

L'impiego dell'SCC (Fig. 6) è giustificato dalla presenza delle armature molto congestionate (Fig. 7) attraverso le quali solo un calcestruzzo autocompattante poteva scorrere facilmente assicurando un completo riempimento delle strutture.



Fig. 4 - Vista d'insieme del World Trade Center di San Marino nella fase costruttiva



Fig. 5 - Pochi pilastri ($R = 90\text{MPa}$) per grandi spazi nel parcheggio a piano terra del World Trade Center di San Marino



Fig. 6 - L'SCC impiegato a San Marino per il Trade World Center



Fig. 7 - Esempio di congestione di armature metalliche nel getto dei solai nel Trade World Center di San Marino

Nella Tabella 3 sono mostrate la composizione e le prestazioni dell'SCC impiegato per questa impegnativa costruzione. Grazie al bassissimo rapporto acqua/legante di 0,33 (con la presenza di fumo di silice) accanto alla grande resistenza meccanica si registra anche un ritiro tutto sommato modesto e paragonabile a quello di un calcestruzzo ordinario (380 $\mu\text{m}/\text{m}$ a 60 giorni con UR del 60%).

Tabella 3 - Composizione e prestazioni del calcestruzzo ad alta resistenza meccanica per il Trade World Center di San Marino (prove di laboratorio)

Cemento CEM II A/L 42.5R	(kg/m ³)	465
Fumo di silice	(kg/m ³)	65
Acqua	(kg/m ³)	175
Ghiaia 15-22 mm	(kg/m ³)	195
Ghiaia 6-15 mm	(kg/m ³)	720
Sabbia 0-6 mm	(kg/m ³)	710
Superfluidificante acrilico (% di cem+fs)		4,6
a/(c+fs)		0,33
Slump flow a 5 e 60 min (mm) a 30°C		730-600
Resistenza meccanica a compressione (MPa) su cubi a:	1 g	50
	28 gg	95
Ritiro da essiccamento ($\mu\text{m}/\text{m}$) a 60 gg con UR del 60%		380

Un aspetto tipico dell'SCC consiste nella prestazione uniforme all'interno della struttura: una carota lunga 1 m è stata estratta dalla struttura e sezionata in vari provini cilindrici per misurarne la resistenza meccanica. Nella Fig. 8 sono riportati i valori (su cilindri) tipicamente ottenuti dopo 21 giorni dal getto che sono compresi tra 76 e 83 MPa confermando quindi la uniformità del conglomerato in servizio ancorché non compattato.

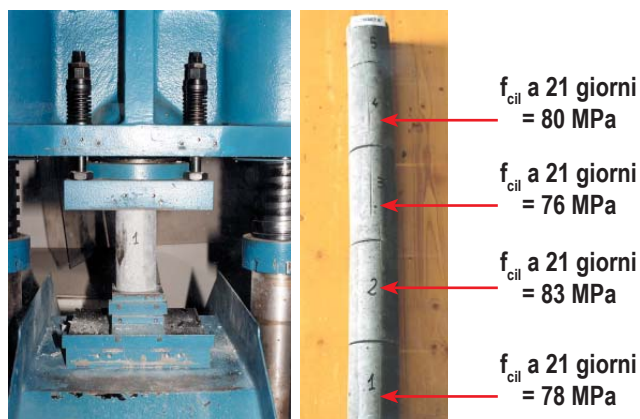


Fig. 8 - Misura di resistenza meccanica (f_{cil}) a 21 giorni su provini cilindrici ricavati da una carota lunga 1 m /sulla destra)

LA STABILITA' VOLUMETRICA: CALCESTRUZZO A RITIRO COMPENSATO DI TIPO SCC

E' possibile anche produrre SCC particolari caratterizzati da un ritiro nullo o basso. Si tratta in sostanza di accoppiare le caratteristiche dell'SCC con quelle del calcestruzzo a ritiro compensato. I vantaggi di questo particolare SCC consistono nel fatto che pur in assenza di stagionatura umida (che quasi sempre viene trascurata nella pratica di cantiere) non si formano le fessurazioni indotte del ritiro igrometrico.

Un'applicazione pratica di un calcestruzzo a ritiro compensato di tipo SCC è mostrata nelle Fig. 9 e 10 per il restauro ed il consolidamento delle pile di un ponte degradato. Dopo aver rimosso lo strato corticale di calcestruzzo degradato ed applicato i nuovi ferri ad integrazione delle vecchie armature (Fig. 9), il conglomerato SCC viene pompato nei casseri rampanti che vengono rimossi il giorno dopo per essere spostati più in alto (Fig. 10).



Fig. 9 - Vista d'insieme delle pile dei ponti scarificate prima di applicare l'SCC a ritiro compensato come in Fig. 7



Fig. 10 - Fase di getto dell'SCC a ritiro compensato pompato e gettato entro casseri

La composizione dell'SCC a ritiro compensato è mostrata in Tabella 4, mentre le prestazioni sono riportate nella Tabella 5.

Tabella 4 - Composizione tipica di un SCC a ritiro compensato

Cemento CEM II A/L 42.5R	350 kg/m ³
Filler calcareo	150 kg/m ³
Espansivo	35 kg/m ³
Additivo antiritiro	4 kg/m ³
Sabbia 0-4 mm	900
Ghiaietto 4-10 mm	475
Ghiaia 10-16 mm	415
Superfluidificante acrilico	6,5

Tabella 5 - Prestazioni dell'SCC a ritiro compensato

Slump flow (cm) nel tempo a 30°C	0' 75
	30' 75
	60' 75
Resistenza meccanica (MPa) a 20°C	1 g 20
	7 gg 40
	28 gg 50
Espansione contrastata (µm/m) in funzione del tempo in ambienti con UR ≈ 65%	1 g 480
	7 gg 450
	28 gg 400

L'ottimo comportamento nella conservazione dell'espansione contrastata da una barra metallica è dovuto alla combinazione dell'agente espansivo con l'additivo *SRA* (*Shrinkage Reducing Admixture*) che favorisce la conservazione dell'umidità all'interno del calcestruzzo anche in ambienti insaturi di vapore.

CONCLUSIONI

L'SCC rappresenta un'eccellente opportunità per costruire opere in c.a. che sappiano coniugare la facilità di messa in opera (soprattutto per opere fortemente armate) con la resistenza meccanica, la stabilità volumetrica, la durabilità e soprattutto la bellezza delle strutture in calcestruzzo.

Bibliografia

- (1) *Self-Compacting Concrete*; Proceedings of the 2nd International RILEM Symposium; Ed. Wallevik e I. Nielsson; 2003
- (2) *Calcestruzzo autocompattante*; Capitolo XIII; "Il Nuovo Calcestruzzo"; Mario Collepardi; Ed. Tintoretto; 2^a Ed.; pg. 217-227
- (3) A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC); Mario Collepardi; 3^o CANMET/ACI International Symposium Sustainable Development of Cement and Concrete; San Francisco; U.S.A.; pg. 431-450

Si ringrazia la Mapei per la concessione delle foto (Fig. 4/7, 9 e 10) sui lavori qui presentati.



A ROMA A SETTEMBRE IL SECONDO CONGRESSO DEI PRODUTTORI DI CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO (ATECAP)

Venerdì 26 Settembre p.v. si terrà a Roma il II Congresso Nazionale dei produttori di calcestruzzo preconfezionato.

La manifestazione si svolgerà presso l'Auditorium della Tecnica (Centro Congressi - Viale Umberto Tupini, 65) e sarà preceduta, il giorno 25 Settembre, dall'Assemblea annuale dell'ATECAP (Associazione Tecnico Economica del calcestruzzo preconfezionato).

All'apertura del Congresso verrà presentato il primo Rapporto Congiunturale e Previsionale sul mercato del calcestruzzo preconfezionato predisposto dal CRESME.

Si succederanno relazioni sui diversi profili, economici e normativi attinenti il settore.

Le differenti posizioni delle categorie di operatori pubblici e privati coinvolti nel processo produttivo del calcestruzzo preconfezionato saranno messe a confronto nel corso di una "Tavola Rotonda" che precederà la conclusione dei lavori affidata al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Il pomeriggio sarà invece dedicato a fare il punto sugli sviluppi di carattere tecnico e tecnologico del settore con la partecipazione di esperti del mondo della progettazione e della produzione.

NON PERDERE TEMPO! PRENOTA SUBITO L'ISCRIZIONE ALL'EVENTO DELL'ANNO SEMINARIO INTERNAZIONALE "SVILUPPO SOSTENIBILE NELLE INDUSTRIE DEL CEMENTO E DEL CALCESTRUZZO"

17-18 Ottobre 2003
Politecnico di Milano - Sala Conferenze S01
Piazza Leonardo da Vinci 32 - Milano

Il seminario si terrà in lingua inglese con
traduzione simultanea in italiano



Name:

(Please type or print clearly)

Company/Organization:

Mailing Address:

FEE ENCLOSED: Cheque or Credit Card

REGISTRATION FEES

	BEFORE June 30, 2003	AFTER June 30, 2003
Delegates:.....	300 US\$	400 US\$
Students:.....	150 US\$	200 US\$

PAYMENT:

Bank draft

Community Bank, N.A. 320 Ford Street - Ogdensburg, NY 13669-1626 U.S.A.
Routing Number: ABA-021307559 Account Name: MILAN SEMINAR
Account Number: 0782011647

Cheque enclosed

Make cheque payable to "Creative Association Management". Cheques must be in
U.S. funds drawn on a U.S. bank

Charge to my MasterCard/Visa Card

Card No.

Expiry Date

Inviare a mezzo fax a:

**CREATIVE ASSOCIATION
MANAGEMENT/ACI
P.O. Box 9094
Farmington Hills, MI
48333-9094 - USA
Tel.: 001 248 848 3800
Fax : 001 248 848 3801**

Sponsorizzato da:

**ACI Council, Canada-CANMET,
Canada-ACI, USA-Center For By-
Products Utilization, USA-ATECAP,
Italia-ASSOBETON, Italia-AICAP,
Italia-AIMAT, Italia-CMIC, Italia**

Coordinatori:

**V. Mohan Malotra, CANMET,
Canada
Mario Collepari, Politecnico di
Milano, Italia**

**Si raccomanda di prenotare al più presto la
sistemazione alberghiera considerato che Mi-
lano è sede di fiere, in particolare in Ottobre**

TELETRASPORTO SOLE-TERRA

Salvatore Lo Presti

Facoltà di Ingegneria di Palermo - lopresti@dpce.ing.unipa.it

1. PREMESSA



Circa ventitrè anni fa ho pubblicato, con i tipi di “ILA PALMA”, un libretto dal titolo “Saline: fonti di energia” (Fig. 1); eravamo in piena crisi energetica e tutto ciò che riguardava la produzione di energia

alternativa, soprattutto se ottenuta con fonti rinnovabili, “faceva notizia”. Mi ero imbattuto in un articolo di W.C. Dickinson, pubblicato sulla rivista “Solar Energy”, dove illustrava un suo studio su una possibile applicazione in Arizona dei “solar ponds” e man mano che leggevo trovavo sempre più interessante l’idea di trasformare in “stagni solari” quelli che da noi in Sicilia da secoli sono “stagni salari”; le saline di Trapani. Basta cambiare la “a” in “o” ed il gioco è fatto! Tuttavia, malgrado l’abbondanza di sale e di sole, e la divulgazione dell’idea anche dalla stampa nazionale, la trasformazione non è stata possibile per la levata di scudi da parte dei “fans” delle saline che purtroppo dormivano o erano in vacanza allorquando queste, in notevole parte, sono state interrato per utilizzare in qualche modo le notevoli superfici. Recentemente pare si sia risvegliata l’attenzione verso le fonti di energia pulita e, ricordandosi di quel mio libretto, qualcuno mi ha invitato ad un seminario (Agrigento – 25 ottobre 2002) per illustrare il mio progetto in merito alle saline di Trapani; rileggendo ciò che avevo scritto tanto tempo fa mi accorsi che col tempo non è cambiato molto, le considerazioni fatte nel 1980 sono ancora attuali; da qui l’interesse a questo articolo.

Il fabbisogno di energia, nei Paesi industrializzati, è in continuo aumento; se poi a questo si aggiunge la richiesta, sempre maggiore, dei Paesi in via di sviluppo che ospitano la gran parte della popolazione mondiale, si può prevedere che in un prossimo futuro la richiesta di energia sarà incontenibile. Di contro, ancora oggi, per soddisfare tale domanda si sfruttano le cosiddette fonti energetiche tradizionali, cioè i combustibili fossili.

Questa fonte, come è noto, non è inesauribile; prevedere per il futuro prossimo un regresso tecnologico per mancanza di fonti energetiche non appare peregrino. Prescindendo dal nucleare, non più proponibile,

occorre ricercare lungo la via della semplice trasformazione delle energie esistenti al fine di ottimizzarne l’uso nel sostanziale rispetto dell’ambiente.

L’utilizzazione dell’energia “pulita”, rispetto a quelle inquinanti, presenta l’ulteriore vantaggio di non dipendere da motivazioni politiche, che porterebbero, inevitabilmente, i Paesi poveri di materie prime a dipendere dalla volontà dei Paesi produttori. L’energia eolica, elioterica e delle maree è ovunque presente. Il nostro Paese, poi, ed in particolare la Sicilia, si trova nelle condizioni ideali per impostare un serio programma di sfruttamento dell’energia eolica e solare. Appare quindi attuale l’idea di utilizzare il sole ai fini industriali su grande scala per la produzione d’energia elettrica che può avvenire per:

- 1) Trasformazione diretta;
- 2) Tramite produzione di calore ad alta temperatura;
- 3) Tramite produzione di calore a bassa temperatura.

Il primo punto si riferisce alle “celle fotovoltaiche” che costituiscono l’optimum; tuttavia allo stato attuale, e probabilmente anche per il prossimo avvenire, non se ne prevede uno sviluppo sostanziale a causa degli alti costi di produzione.

Il secondo punto prevede l’utilizzo di collettori a concentrazione, che richiedono una sofisticata tecnologia al fine di renderli sempre normali all’insolazione tramite il movimento dei concentratori che devono seguire il moto apparente del sole. Questo sistema è pure molto oneroso.

Il terzo punto si riferisce agli stagni solari o “solar ponds” ed è opportuno considerare con la dovuta attenzione questo sistema che utilizza l’energia solare in modo alternativo a quella tradizionale e con costi accettabili.

2. STAGNI SOLARI

È noto che nei bacini d’acqua, a forte concentrazione salina, si riscontra un’inversione di temperatura; l’acqua degli strati più bassi risulta più calda di quella in superficie. Il bacino funziona quindi da accumulatore di calore grazie alla diversa concentrazione salina dei suoi strati, superficiale e di fondo dove è contenuta una quantità superiore di sale. Essendo evitati i moti convettivi, dal momento che la salamoia ristagna sul fondo, il calore



Fig. 1 - Pubblicazione del 1980

accumulato dagli strati inferiori può propagarsi solo per conduzione: quindi, la perdita di calore può avvenire verso l'alto e verso il basso. Gli strati superiori, a concentrazione salina più bassa, fungono da isolante termico mentre la perdita di calore verso il basso è evitata trattando opportunamente il fondo con adeguati materiali isolanti.

Gli stagni solari possono essere distinti in due tipi: quello "statico" ove l'acqua è stagnante e quello "dinamico" dove l'acqua è in movimento; lo schema di funzionamento di un impianto a "solar pond" del secondo tipo, è quello illustrato in Fig. 2. Gli stagni, suddivisi in moduli, sono collegati tra loro mediante una rete di tubi e valvole che regolano il flusso dell'acqua. A loro volta i moduli sono in comunicazione con un serbatoio di

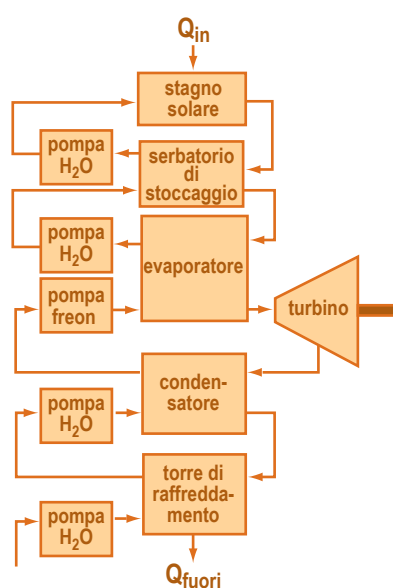


Fig. 2 - Schema di stagno solare

stoccaggio interrato contenente acqua calda alla temperatura di 70 °C; essa è mandata a ciascun modulo ed incrementa la propria temperatura di 50 °C nell'attraversarlo, uscendo quindi a 75 °C. La velocità d'attraversamento è funzione dell'intensità della radiazione solare ed è regolata automaticamente da dispositivi termosensori. Quando l'intensità radiante scende al di sotto di un dato

valore, la circolazione cessa; quando poi il sole tramonta l'acqua è pompata nel serbatoio di stoccaggio al fine d'eliminare la perdita di calore durante la notte. Dickinson mostra una possibilità di sistemazione dei solar ponds (Fig. 3) dove i collettori sono stagni modulari della larghezza di 4 m per una lunghezza di 200 m coperti da 2 o 3 strati di plastica resistente agli agenti atmosferici. L'impianto composto da 1.600 moduli, per una superficie di 1,33 km², consente una produzione di 10 Mwe/h, 24 ore al giorno, se si pensa di realizzarlo in Arizona, dove su una superficie orizzontale la caduta di radiazione solare è di 250 W/m² h. Si nota il serbatoio centrale dal quale si dipartono i canali (a) di distribuzione dell'acqua sollevata mediante pompe, ed al quale affluiscono i canali (r) di ritorno dagli stagni che perdono acqua per gravità. Sia il serbatoio che i canali di andata e di ritorno devono essere ottimamente isolati su tutta la superficie e sulla copertura. Il rendimento totale del sistema è del 3 %.

Dickinson, al fine di ottimizzare il rendimento durante le conversioni di energia da termica a meccanica e da meccanica a elettrica, per rendere minima l'area dei collettori suggerisce lo schema di conversione con un ciclo di Rankine.

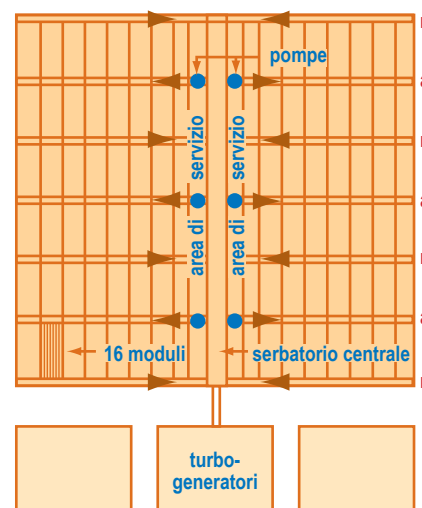


Fig. 3 - Sistemazione proposta dal Dickinson

In tale sistema l'acqua stoccata viene utilizzata per portare ad ebollizione il Freon 11 in un evaporatore. Il fluido, espanso in una turbina a gas, viene successivamente fatto passare attraverso un condensatore ad acqua fredda e quindi nuovamente pompato a pressione nell'evaporatore per un nuovo ciclo. È stato preferito il Freon 11 ad altri 10 fluidi studiati perché presenta vantaggi di tipo ecologico, meccanico, termodinamico ed economico.

3. LA PRIMA REALIZZAZIONE

Un'applicazione pienamente riuscita, del tipo statico, che ha consentito una produzione di energia elettrica di 150 KWe/h, è stata realizzata alla fine degli anni '70 ad Ein Bokek, in Israele, località che, prima nel mondo, ospita un impianto a stagni solari per la produzione di energia elettrica (Fig. 4). Il funzionamento dell'impianto, a parte l'acqua stagnante, è essenzialmente analogo a quello descritto da Dickinson; la differenza sostanziale è che qui siamo in presenza di un unico bacino. L'impianto, costato all'epoca due miliardi di lire, ha il vantaggio, rispetto a quello proposto da Dickinson, di essere più facilmente realizzabile ed a più bassi costi, però con un rendimento dimezzato rispetto al sistema "dinamico". Per raggiungere gli stessi risultati occorre dunque una superficie di terra pari al doppio; ciò è proponibile in regioni in cui sia più conveniente acquistare una quantità doppia di terreno piuttosto che ricorrere ad impianti più complessi.

4. LA PROPOSTA

La ricchezza, di cui gode Israele, non è comunque esclusiva di quel Paese; l'Italia, in special modo la Sicilia, è nelle condizioni ottimali per la realizzazione di impianti a stagni solari. Occorre pertanto rivolgersi alle fonti alternative in generale, al sole in particolare, di cui la Sicilia abbonda, ed al quale gli isolani, già in tempi passati, si sono rivolti per sottrarre al mare il

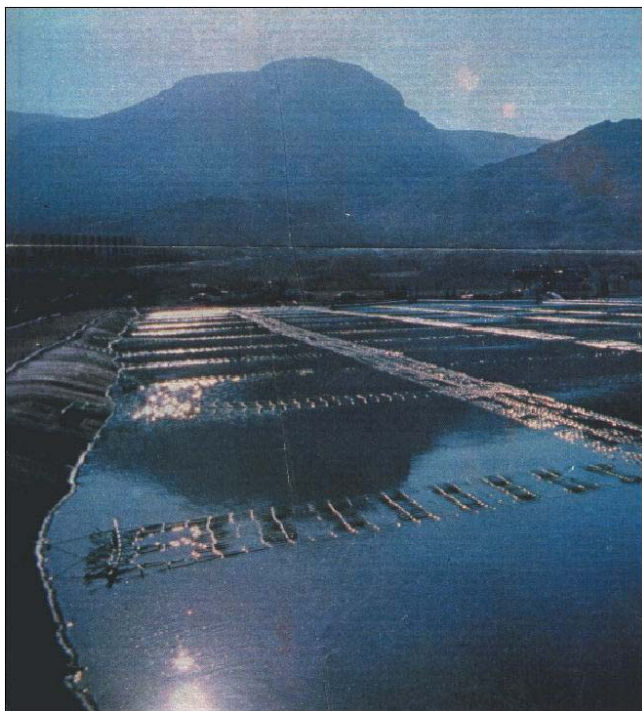


Fig. 4 - Stagno solare in Israele

sale: le saline di Trapani.

Potrebbero essere dunque le saline, già in crisi di produzione, a muovere le turbine del futuro, lasciando inalterato l'aspetto ambientale. Attualmente l'area interessata dalle saline è di circa 7,8 km² e la loro trasformazione in stagni solari non sembra presentare eccessive difficoltà. Come mostra la Fig. 5, le saline si estendono a sud della città di Trapani e sono state realizzate in forme geometriche semplici, pur non avendo una regolare disposizione.

La trasformazione delle saline in stagni solari comporta dei costi necessari per il migliore utilizzo delle superfici e non appare opportuno il sistema adottato dal Bronicki in Israele, stagno solare statico, che, certamente valido in altre località, qui comporterebbe la distruzione definitiva delle saline. Queste dovrebbero essere scavate per una profondità non inferiore ai tre metri, per ottenere un unico grande lago salato, che renderebbe possibile una produzione di energia elettrica inferiore a quella ottenibile col sistema a stagni solari dinamici.

La soluzione, dunque, che si mostra più conveniente è quella di utilizzare i bacini esistenti dopo un intervento "leggero" al fine di realizzare i moduli, comunque orientati, e soltanto impermeabilizzati e coibentati.

L'insolazione a Trapani, su superficie orizzontale, è tra le più alte d'Italia, come risulta dai rilevamenti dell'Aeronautica Militare che a Trapani ha una stazione eliofanografica. Il valore dell'insolazione, mediamente nell'arco dell'anno, è 178 W/h mq.

Confrontando le condizioni ipotizzate da Dickinson con quelle reali di Trapani, si osserva che le due località

si trovano quasi alla stessa latitudine (la località dell'Arizona presa in esame si trova a 38° latitudine nord, e l'area interessata dalle saline a 38° latitudine nord), mentre differisce il valore della radiazione al suolo su superficie orizzontale che è 250 W/mq•h per l'Arizona contro 178 W/mq•h di Trapani. Se ne deduce che a parità di potenza erogata dall'impianto, la superficie interessata dalle saline dovrà essere maggiore. Volendo realizzare un impianto da 10 MWe occorrerebbero a Trapani: 1,87 km² di superficie contro 1,33 km² dell'Arizona.

Sulla scorta delle considerazioni precedenti, ciò non costituisce un grosso ostacolo avendo a disposizione una superficie di 7,8 km² che consentirebbero la produzione teorica di 40 MWe/h. Per quanto riguarda la profondità dei moduli, la situazione trapanese è assai conveniente poiché la profondità media delle saline è di circa 50 cm (Fig. 6) e prevedendo un'adeguata sistemazione del fondo, peraltro necessaria, si perviene a quello spessore di 5 cm previsto per l'acqua circolante nei collettori piani.

Dallo studio particolareggiato di un'area campione è emerso che le aree di servizio impegneranno circa il 10% della superficie trattata, quindi utilizzando l'intera estensione delle saline (7,8 km²), si può dire, con buona approssimazione, che la produzione globale di energia elettrica potrebbe essere di:

- superficie utile: $7.800.000 \times 0,9 = 7.020.000 \text{ m}^2$;
- energia elettrica totale prodotta: $7.020.000 \times 3\% \times 178 = \text{circa } 37,5 \text{ MWe/h}$.



Fig. 5 - Planimetria delle saline di Trapani



Fig. 6 - Saline di Trapani

Ancora in linea di massima si può pure prevedere una spesa d'impianto globale di circa 75.000.000 €.

5. CONCLUSIONI

L'idea delle saline di Trapani come fonte energetica può sembrare affascinante ed è indubbiamente simbolica, ma la quantità d'energia prodotta in relazione alla vastità dell'intervento e soprattutto alla singolarità tipologica la confina più nel mondo della poesia tecnologica che non in quello della produzione industriale. Tuttavia in sé ha l'embrione di ciò che può essere sviluppato in modo industriale attraverso la costruzione di moduli prefabbricati collocabili ovunque. Ciò è proponibile sia tecnologicamente, essendo possibile costruire vasche

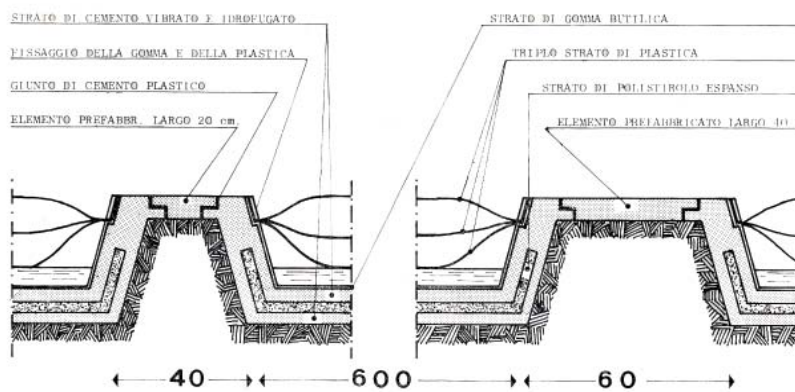


Fig. 7 - Sezione di un modulo prefabbricato

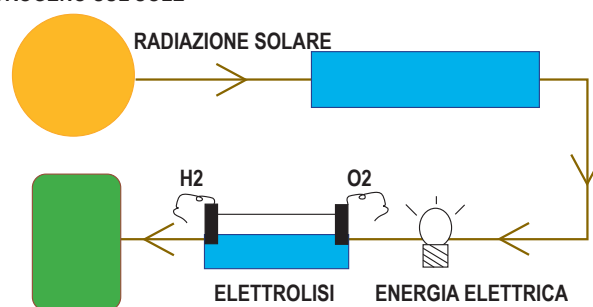
coibentate ed impermeabilizzate, sia industrialmente, trattandosi di produzione quantitativamente cospicua ed a carattere ripetitivo. Una possibile soluzione per le vasche può essere quella di Fig. 7 che rappresenta la sezione trasversale di un modulo prefabbricato.

Vorrei, in conclusione, introdurre un aspetto che ritengo innovativo e che possa prendersi in considerazione: è quello di utilizzare l'energia elettrica prodotta dalle saline non per essere dispersa, come goccia nel

mare, nella rete di distribuzione globale dell'energia elettrica, ma molto più proficuamente per produrre altra fonte di energia che sia questa stoccabile ed utilizzabile in altro tempo. L'energia del futuro sarà l'idrogeno; perché dunque non trasformare l'energia prodotta dalle saline o da altro tipo di stagno solare in idrogeno?

Anche questa è un'idea, ritengo, affascinante, si può, infatti, pensare il sistema descritto come un sistema di teletrasporto che spilla con continuità l'idrogeno dal Sole

IDROGENO SUL SOLE



IDROGENO SULLA TERRA

Fig. 8 - Teletrasporto di idrogeno Sole-Terra

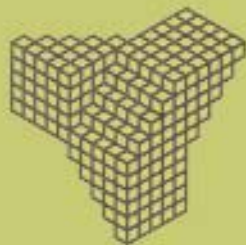
per portarlo sulla Terra secondo lo schema di Fig. 8: idrogeno sul sole – energia solare – radiazione solare - stagno solare – energia elettrica – elettrolisi - idrogeno sulla terra.

Il processo di teletrasporto può essere continuo, ecologico ed economico soprattutto se pensato in località dove il sole abunda, i terreni sono vasti, in prossimità del mare, pianeggianti e poco cari. Considerando che attraverso il processo di elettrolisi si può ottenere 1 m³/h di idrogeno ogni 5 Kwe/h forniti, si può affermare che le saline di Trapani potrebbero fornire 7.400 m³/h di idrogeno a costi bassissimi e con continuità. Se l'idea venisse poi applicata in quei Paesi del terzo mondo non produttori di petrolio ma molto ricchi di sole si potrebbe riequilibrare l'aspetto economico-sociale di quei diseredati rendendoli produttori del carburante del futuro.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Tabor, *Solar ponds*, Solar Energy, 7, 189 (1963)
- [2] A.Rabl, Nielsen C.E., *Solar ponds for space heating*, Solar Energy, n. 1, vol. 17, April, 1975
- [3] Aurelio C. Robotti, *Impieghi dell'energia solare*, UTET (1976)
- [4] W.C. Dickinson et al., *The shallow solar pond energy conversion system*, Solar Energy, vol. 18 (1976)
- [5] Aldo Patellani, *Impariamo ad imprigionare il sole*, Oggi n. 5 – 1980
- [6] Salvatore Lo Presti, *Saline: fonti di energia*, Ila Palma – 1980
- [7] Aurelio C. Robotti, *L'energia solare e l'idrogeno*, UTET (1982)

Sede e Stabilimento
Loc. Porticello di acquacalda
98050 LIPARI (ME)
Tel. 090.9821126
Fax 090.9821044
www.pumex.it
e-mail : pumex@pumex.it



Pumex S.p.A.

Società italiana per la lavorazione e la commercializzazione della
Pomice di Lipari

Uffici Commerciali
Via M. Macchi, 26
20124 MILANO
Tel. 02.6671019
Fax 02.66713062
e-mail : pmxcomm@tin.it

Vi invita a partecipare al convegno organizzato in occasione del

SAIE

**SALONE INTERNAZIONALE
DELL'INDUSTRIALIZZAZIONE
EDILIZIA**

BOLOGNA, 15-19 OTTOBRE

2003

**STAND A 132
PAD. 24**

IL CALCESTRUZZO LEGGERO STRUTTURALE CON INERTE LEGGERO NATURALE POMICE

MERCOLEDÌ 15 OTTOBRE 2003

h. 10,30

**BOLOGNA - QUARTIERE FIERISTICO - INGRESSO MICHELINO
SALA ARMONIA**

PROGRAMMA

- h. 10,30 : Registrazione dei partecipanti**
- h. 11,00 : Saluto ai partecipanti e presentazione della Società.....F. LO SCHIAVO - Sales manager PUMEX S.p.A.**
- h. 11,15 : La pomice ed il mercato dei calcestruzzi leggeri.
Esperienze sul campo ed opportunità.....L. CISONDI - Agente PUMEX S.p.A.**
- h. 11,30 : Risultati della ricerca per la caratterizzazione di un calcestruzzo
leggero strutturale a base di pomice. Obiettivi prestazionali.
Proprietà. Materiali impiegati. Composizione.....R. TROLI - ENCO Engineering S.r.l.**
- h. 12,00 : Approfondimento e dibattito.**
- h. 12,30 : Riscoperta della pomice da parte della moderna bioedilizia.
Vecchia e nuova collocazione della PUMEX S.p.A. sui mercati
mondiali. Saluto di congedo ai partecipanti.....V. D'AMBRA - Presidente PUMEX S.p.A.**

Gli atti del convegno saranno disponibili facendone richiesta alla Segreteria del convegno stesso, all'atto della registrazione.

Con la partecipazione di

ENCO Engineering Concrete

Via Lazzaris 7
31027 Spresiano (TV)

STRUTTURE INNOVATIVE IN LEGNO

LAMELLARE ARMATO

Claudio Cattich*, Luca Gottardi**, Maurizio Piazza***

*Trentino Legno S.p.A., **Libero Professionista,

***Facoltà di Ingegneria di Trento

www.armalam.it



PREMESSA

La costruzione in legno lamellare incollato si è ormai da tempo affermata in Italia e, soprattutto nel settore delle grandi coperture, può vantare realizzazioni che, per dimensioni e valenza statica, sono del tutto paragonabili a quelle dei Paesi in cui la pratica costruttiva con il legno possiede esperienze più consolidate.

L'avvento del legno lamellare ha, senza dubbio, risolto alcune carenze tipiche del legno massiccio (limitazioni dimensionali e di forma, prestazioni meccaniche estremamente variabili, instabilità dimensionale, tendenza alla fessurazione, ecc.) ma non ha, ovviamente, rappresentato un punto di arrivo per la ricerca tecnologica e l'innovazione. Sono già state proposte, infatti, travi in legno lamellare armate, per esempio, con vari materiali, quali lamine metalliche, lamine di materiale composito, fibre plastiche, fibre di vetro, barre di acciaio, e simili, che, pur assicurando un certo miglioramento nelle prestazioni della trave con aumenti delle caratteristiche meccaniche del 10÷20%), si sono dimostrate non del tutto soddisfacenti dal punto di vista della loro produzione industriale e, talvolta, delle prestazioni in opera.

È stato recentemente proposto dagli Autori una nuova tecnologia di produzione di trave in legno armata, con la quale si riesce a fornire un metodo di produzione di una *lamella armata* realizzabile industrialmente in una produzione di serie e che assicura l'ottenimento di *travi di legno armate*, con un comportamento in esercizio analogo a quello del cemento armato (in regime non fessurato), di elevate prestazioni per quanto riguarda sia la rigidità che la resistenza (incrementi dell'ordine del 100% rispetto alla trave non armata di identica sezione). Una trave armata di questo tipo presenta, infatti, una tensione ammissibile (equivalente) a flessione fino a 28 MPa ed un modulo

elastico (equivalente) fino a 28 GPa, caratteristiche meccaniche queste che permettono un effettivo risparmio in altezza rispetto ad una trave equivalente in legno lamellare tradizionale con identica base (fino a circa il 40%) e che consentono, in pratica, di paragonare una trave armata a due travi affiancate in lamellare delle stesse dimensioni (Tabella 1).

La ricerca, sviluppata lungo le due direzioni dello studio teorico e della sperimentazione diretta, ha permesso di mettere a punto un modello analitico di comportamento, validato sulla base di un'ampia campagna di prove, e un metodo semplificato di calcolo in grado di porgere risultati sempre a favore di sicurezza rispetto a quelli registrati nella sperimentazione fisica e/o numerica.

ASPETTI PRODUTTIVI

In estrema sintesi, l'innovazione prevede il rinforzo del legno lamellare con l'inserimento di una o più barre di acciaio o di composito CFRP in apposite fresature praticate in alcune lamelle ed ad esse solidarizzate con un apposito adesivo epossidico, parte integrante della medesima tecnologia.

PRESTAZIONI DEGLI ELEMENTI DI LEGNO ARMATO

Le principali caratteristiche dell'elemento strutturale armato rispetto ad analogo elemento di legno lamellare

- o massiccio si possono così sinteticamente riassumere:
- fino a 2,5 volte più rigido e fino a 2,5 volte più resistente (il valore 2,5 non deriva da limitazioni teoriche ma dipende da motivate scelte progettuali e di possibilità produttive);
- resistenza al fuoco dell'elemento classe R 30 o R 60 (il risultato è ottenuto garantendo le adeguate distanze dell'armatura dai bordi di sezione);
- rottura a flessione con formazione di cerniera pseu-

Tabella 1 - Confronto tra sezioni di travi inflesse in legno lamellare (BS11 e armato), sulla base del modulo elastico equivalente (base x altezza in cm)

LAMELLARE BS11	ARMATO
10 x 16,3	10 x 12,9
10 x 19,6	10 x 12,9
12 x 19,6	12 x 12,9
12 x 23,0	12 x 19,6
14 x 26,3	14 x 19,6
14 x 39,7	14 x 29,7
16 x 29,7	16 x 19,6
16 x 46,4	16 x 33,0
16 x 70,2	16 x 50,1
20 x 50,1	20 x 36,4
20 x 70,2	20 x 50,1
20 x 100,3	20 x 70,2
20 x 120,4	20 x 86,9

do-plastica (caratteristica particolarmente interessante per applicazioni in zone sismiche);

- minore incidenza della difettosità del legno sulle caratteristiche meccaniche e conseguente minore variabilità delle caratteristiche meccaniche tra differenti elementi con identica sezione;
- limitato effetto delle variazioni di umidità e della durata del carico sul comportamento reologico globale;
- risparmio in altezza sulla sezione della singola membratura e risparmio complessivo di materiale;
- mantenimento dell'aspetto di trave in legno lamellare tradizionale, a fronte di resistenze e prestazioni molto superiori;
- armatura e relativo adesivo completamente inglobati nel legno, senza alcun contatto con l'ambiente.

I grafici riportati nelle figure evidenziano sinteticamente, ma con particolare efficacia, quanto appena affermato. Il diagramma mostrato in Fig. 1 riguarda il confronto effettuato, in termini di resistenza, sull'altezza equivalente di differenti travi al variare del tipo di armatura, essendo sempre presente la limitazione di 11 MPa per la tensione massima nel legno. Il diagramma di Fig. 2 riporta, invece, un analogo confronto, questa volta in termini di rigidezza cioè di modulo di elasticità equivalente, di una trave tipo armata con dimensioni 120×230 mm e differenti armature con una trave di medesima sezione in legno lamellare BS 11 (non armata).

A proposito del confronto in termini di rigidezza, nella figura le barre colorate a tratteggio riportano i valori desunti mediante elaborazione teorica, mentre quelle a colore pieno riportano i valori ricavati nella sperimentazione diretta. Si può, tra l'altro, notare come il valore reale risulta sempre superiore rispetto al valo-

re teorico previsto, confermando anche la validità del metodo di calcolo semplificato proposto.

Durante l'ampia campagna di sperimentazione su travi armate con barre metalliche, si è potuto notare anche come la rottura delle fibre di legno in zona tesa non abbia mai portato al collasso immediato dell'elemento, grazie alla deformazione in campo non elastico delle barre. La fotografia riportata in Fig. 3 si riferisce ad una prova a flessione su una trave armata in fase prossima alla rottura.

Per completezza della ricerca sia teorica sia sperimentale, è stata presa in considerazione anche un'armatura costituita da "barre" di CFRP. Anche le risultanze sperimentali dei provini armati con barre in fibra di carbonio sono state assolutamente conformi alle previsioni teoriche fornite dal modello di calcolo che si presenterà nel seguito. Tuttavia, il tipo di rottura sicuramente fragile, la difficoltà attuale di reperire sul mercato barre CFRP con diametri elevati, nonché il costo (di gran lunga superiore rispetto alle barre metalliche) ne sconsigliano attualmente l'utilizzo: è però possibile che tali barre o altri materiali innovativi possano divenire – in un futuro non lontano – convenienti in applicazioni di legno armato.

ASPETTI PROGETTUALI

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla progettazione di elementi di legno lamellare armato, si assumono innanzitutto le seguenti caratteristiche dei materiali componenti:

- lamelle in legno di abete di classe S 10 o superiore (secondo le vigenti normative DIN);
- barre di acciaio ad aderenza migliorata, tipo FeB 44 k o simili;
- adesivo strutturale bicomponente a base epossidica

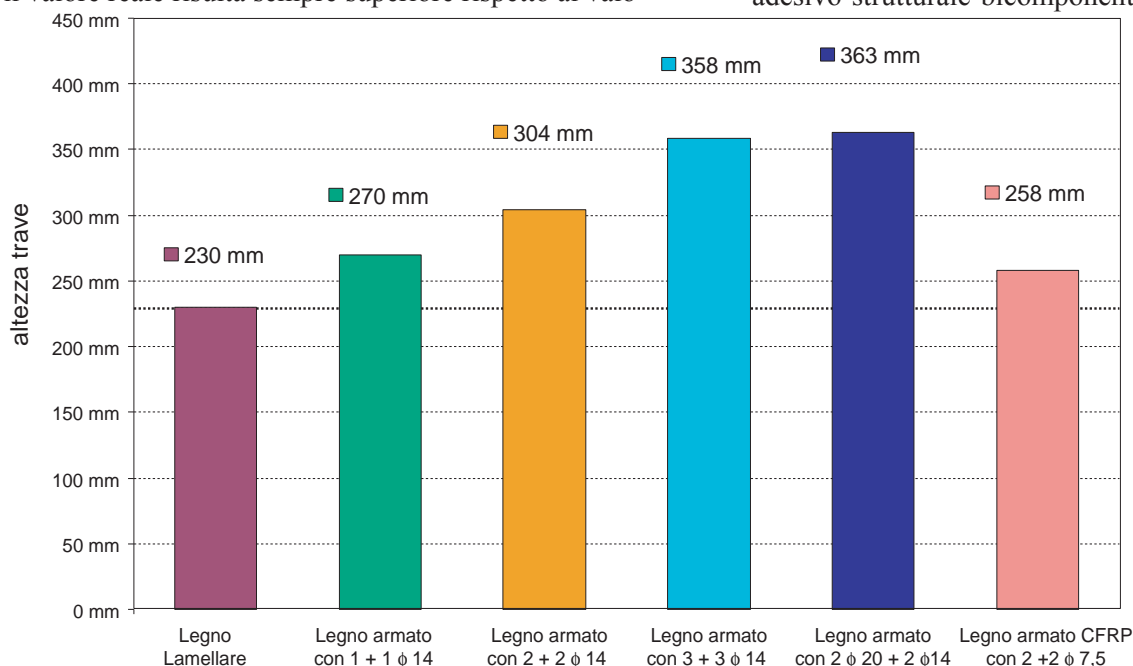


Fig. 1 - Confronto di resistenza in termini di altezze equivalenti (mm) di una trave con differenti armature (barre con diametro di 14 mm), assumendo una tensione massima nel legno di 11 MPa.

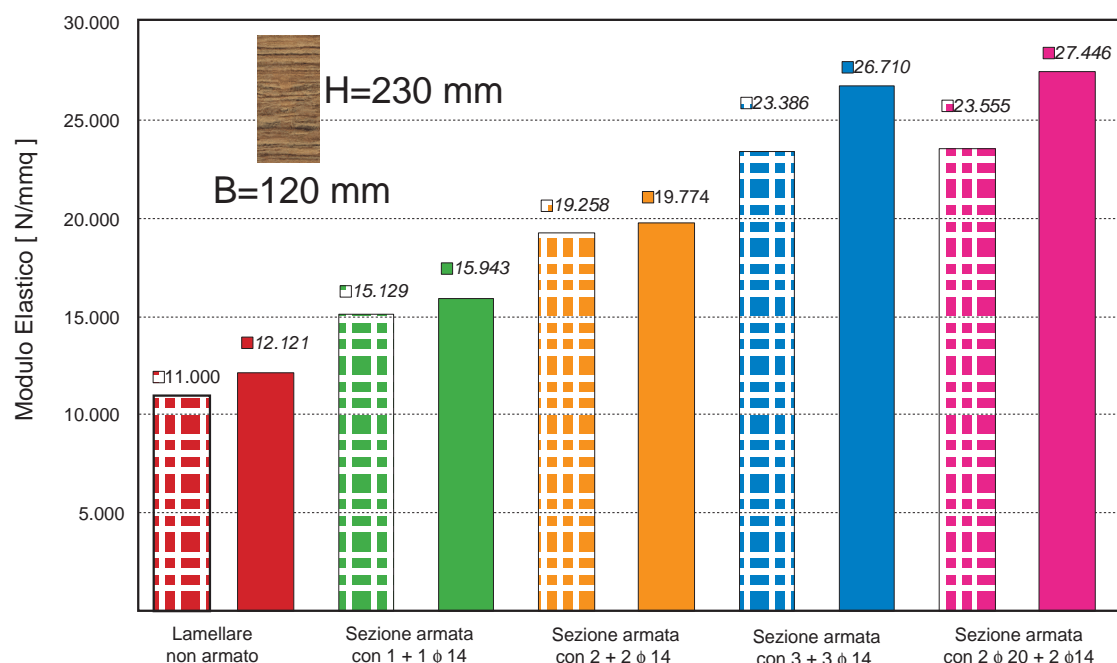


Fig. 2 - Confronto in termini di deformabilità: valori E_0 eq (MPa) ricavati sulla base di prove sperimentali (colori pieni) o elaborazioni teoriche (a tratteggio)

appositamente formulato per questa tecnologia.

Le ipotesi fondamentali alla base della progettazione e verifica degli elementi di legno lamellare armato secondo il metodo semplificato di calcolo sono quindi:

- comportamento elastico lineare del legno e dell'acciaio, adesivo infinitamente rigido;
- perfetta aderenza tra legno e acciaio (garantita dall'adesivo epossidico bicomponente);
- trasferimento di sforzi di trazione/compressione tra acciaio e legno tramite tensioni tangenziali nell'adesivo;
- mantenimento delle sezioni trasversali piane;
- lunghezze di ancoraggio delle barre incollate tali da non produrre mai perdita di aderenza per rottura nell'adesivo; a questo riguardo, accurate e numerose prove sperimentali svolte sull'adesivo adottato hanno evidenziato che lunghezze di ancoraggio pari a circa $10 \div 12$ volte il diametro della barra causano o l'inizio di snervamento dell'acciaio o lo sfilamento della barra associata ad una corona di legno.

Il comportamento complessivo della sezione mista legno – acciaio è così assimilabile a quella di una sezione (non parzializzata) in cemento armato, con barre di armatura “annegate” in una matrice lignea anziché cementizia. Il contributo del complesso barre di armatura – adesivo può essere quindi preso in considerazione tramite un adeguato coefficiente di omogeneizzazione n : il valore di n può essere assunto pari al rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio e quello E_0 del legno. In modo analogo potranno essere trattati anche altri materiali utilizzati come armature (ad esempio le barre in CFRP).

Dipendendo, in buona sostanza, le prestazioni meccaniche del legno armato dal rapporto tra i moduli elastici dei materiali oltre che, ovviamente, dalla per-

centuale di armatura, si evince che un elemento ligneo armato presenterà anche un migliore comportamento - rispetto ad un analogo elemento non armato - nei confronti delle variazioni di umidità e di carichi di lunga durata. In tali casi, infatti, il comportamento del materiale legno può essere “interpretato” mediante una riduzione progressiva del modulo elastico; il valore del coefficiente di omogeneizzazione n per la trave armata “appare” quindi aumentato, visto che il modulo elastico del materiale di armatura non varia.

Il metodo di calcolo semplificato proposto consiste quindi nella “soluzione” della sezione rettangolare composta legno – armatura, ricercando i valori equivalenti di area, momento di inerzia e modulo resistente omogeneizzati ad uno dei materiali componenti (usualmente il legno).

Sono utili, a questo punto, alcune precisazioni su dimensioni e disposizione delle barre nonché sul metodo



Fig. 3 - Comportamento tipico della trave in legno lamellare armata inflessa in fase di collasso



Fig. 4 - Trave principale portante con limitazione dell'altezza di sezione

semplificato di dimensionamento, affinché - soprattutto - i risultati ottenuti si mantengano sempre dal lato della sicurezza. È innanzitutto ragionevole, nello spirito della semplificazione, trascurare nel calcolo il contributo dell'inerzia propria delle barre e dell'adesivo che le avvolge e tenere ovviamente in conto la sezione di legno ridotta per la presenza dei fori. Nella disposizione in sezione delle barre di armatura è bene prevedere sempre un interfero e un copriferro laterale pari almeno a $2 \div 3$ volte il diametro delle barre stesse. Si osservi pure che il copriferro all'intradosso della trave è imposto anche dalla eventuale resistenza al fuoco richiesta. Un possibile diametro ottimale della barra metallica individuato dagli Autori per la classica lamella di 33 mm è quello di 16 mm. Le cosiddette verifiche "sezionali" devono poi essere completate dai controlli sull'aderenza delle barre e sulle tensioni tangenziali massime nella parte lignea di sezione mista. A proposito di quest'ultima importante verifica, gli Autori hanno proposto alcuni criteri di disposizione e di limitazione dell'armatura in modo tale che l'usuale verifica della sezione sottoposta a sollecita-



Fig. 5 - Trave principale in legno armato di copertura

zione tagliante mantenga significato (vale a dire sia dal lato della sicurezza) se effettuata sulla sezione di legno lorda, ignorando quindi l'armatura presente.

CAMPI DI APPLICAZIONE

Gli elementi strutturali in legno lamellare armato, essendo caratterizzati da elevati valori di resistenza e modulo elastico (apparente) oltre che da un comportamento a rottura in flessione con formazione di cerniera pseudoplastica (dissipativa), risultano vincenti, rispetto all'elemento di legno lamellare tradizionale o legno massiccio, nei seguenti casi:

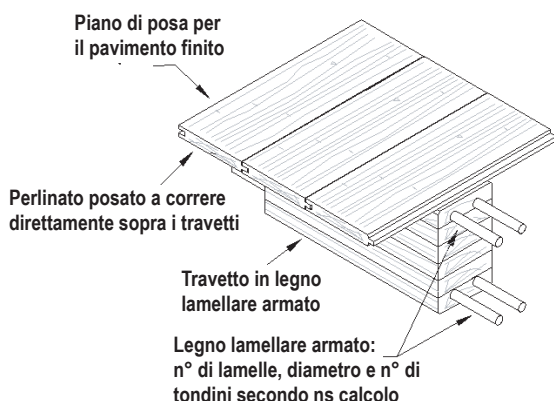
- quando l'altezza di sezione dell'elemento portante debba essere il più possibile contenuta per esigenze progettuali, funzionali, architettoniche;
- quando lo spessore massimo dell'intero pacchetto strutturale risulti vincolato;
- quando ciascun elemento portante di solaio e/o di copertura debba garantire un efficace vincolo bilatero alle strutture verticali (solitamente di muratura) da stabilizzare;
- quando si operi in zona sismica, potendosi quindi sfruttare sia la presenza di barre metalliche per un efficace collegamento al cordolo perimetrale di solaio, sia il tipo di rottura (mai fragile) della membratura in legno lamellare armato;
- quando le strutture in legno siano destinate ad ambienti con umidità molto elevata e/o con forti variazioni della medesima ed inoltre siano soggette a notevoli azioni permanenti, casi nei quali il dimensionamento dell'elemento di legno lamellare tradizionale risulta molto più penalizzato rispetto all'utilizzo di legno lamellare armato.

Non si ha, al contrario, alcun vantaggio in termini di maggiori prestazioni meccaniche da una trave in legno lamellare armato quando il dimensionamento dell'ele-



Fig. 6 - Soluzione per l'appoggio di travetti armati di solaio in zona sismica

SOLAIO IN LEGNO LAMELLARE ARMATO SENZA SOLETTA COLLABORANTE IN C.A.



SOLAIO IN LEGNO LAMELLARE ARMATO CON SOLETTA COLLABORANTE IN C.A.



mento di legno è determinato dalla verifica per azioni taglianti (caso peraltro assai raro nella pratica costruttiva). Gli Autori, inoltre, sconsigliano l'uso di elementi lignei armati quando questi siano semplicemente compressi o l'utilizzo di elementi armati curvi, a meno che le configurazioni geometrica e di carico siano tali da provocare tensioni di compressione ortogonali alla fibra all'interfaccia barra - legno. Nel caso di elementi pressoinflessi, è ancora possibile utilizzare la trave in legno lamellare armato se la flessione risulta prevalente rispetto allo sforzo normale di compressione.

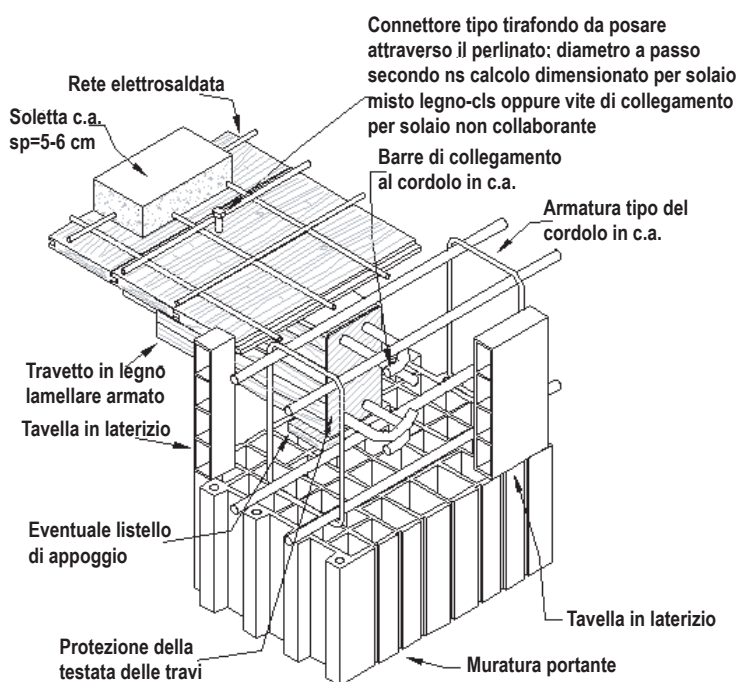
Le figure qui riportate illustrano alcune recenti realizzazioni nelle quali l'utilizzo di elementi in legno lamellare armato si è rivelato particolarmente appropriato.

I SOLAI IN LEGNO LAMELLARE ARMATO

L'utilizzo delle travi in legno lamellare armato, per le intrinseche caratteristiche di rigidità e resistenza, si presenta infine particolarmente interessante per formare i solai negli edifici civili, sia in assenza che in presenza di soletta collaborante. Esse garantiscono un'elevata rigidità del solaio con spessori strutturali ridotti rispetto a quelli ottenibili con normali travi di legno massiccio o lamellare. Inoltre, la maggiore rigidità della trave in legno lamellare armato consente un dimensionamento economicamente più vantaggioso per la connessione: ci si può infatti affidare ai classici connettori per solai collaboranti (con adesivo oppure a secco) passanti attraverso il perlinato oppure, al limite, a semplici viti di collegamento rinunciando alla *collaborazione statica* travi - soletta. In ogni caso, è quasi sempre possibile posare il perlinato a correre direttamente sopra i travetti, senza necessità di lavorazioni particolari delle perline in corrispondenza di ogni travetto.

Una particolarità molto importante dei solai realizza-

SOLUZIONE DELL'APPOGGIO DI UN SOLAIO IN LEGNO LAMELLARE ARMATO IN ZONA SISMICA



ti con elementi in legno lamellare armato, che può essere vantaggiosamente sfruttata nelle zone sismiche, è la possibilità di avere le barre di armatura sporgenti dalla testa di ciascuna trave ed opportunamente sagomate. Risulta così di semplicissima realizzazione il vincolo bilatero efficace tra le singole travi e le murature perimetrali (si veda la figura). Si noti che, in tal modo, il vincolo trave - muratura risulta intermedio tra il semplice appoggio e l'incastro: anche se in sede di verifica statica di resistenza è conveniente non tenere conto - in via prudenziale - di un vincolo diverso dal semplice appoggio, il beneficio in termini di rigidità del solaio è notevole.



dalla **A** alla **Z** nel restauro strutturale delle opere in c.a. e degli edifici storici

1 - Prove di campo



Ing. J. Jacob O. Olagot

2 - Prove di laboratorio



Dr. Glenda Fazio

3 - Diagnosi del degrado



Ing. Silvia Collepari

4 - Calcolo strutturale



Ing. Francesca Simonelli

5 - Intervento di restauro

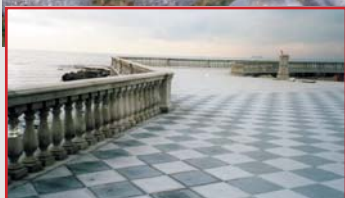


Ing. Roberto Troli
Team Manager

**Dalle PROVE DI CAMPO all'INTERVENTO
per tutto il lavoro o, anche, per una sola fase**



Prima



Dopo

Terrazza Mascagni
Committente: Cooperativa Muratori di Livorno
Lavoro eseguito: diagnosi del degrado,
studio del conglomerato per il restauro,
costruzione dei prototipi restaurati

Ponte sul fiume Monticano
Committente: Comune di Conegliano
Lavoro eseguito: diagnosi del degrado,
progetto del restauro in FRP e
direzione lavori



Prima



Dopo



Ai lettori

In uno dei tanti banchetti di uno dei tanti mercatini di antiquariato della “Marca Gioiosa” in cui vivo (Treviso), ho acquistato un bel libro del 1946 sulla fisica dell’atomo, attratto, non lo nego, soprattutto dalla bella carta ingiallita dal tempo e dalle belle foto di scienziati, più o meno noti, che hanno accompagnato i miei studi. Leggendolo, sono rimasto colpito dall’importanza che Mons. Zammarchi ha dato alle persone oltre che alle loro scoperte. Dopo aver chiesto l’autorizzazione alla casa editrice La Scuola, ve ne ripropongo alcune pagine. Questa volta cominciamo con il grande Lavoisier (m.c.).

FISICA DELL'ATOMO

di Angelo Zammarchi*

Per tutte le reazioni chimiche, a cui Lavoisier mette mano, e a cui applica la bilancia, il risultato è sempre identico. Alla sua bilancia non sfuggono le arie inafferrabili: sono pesate con maggior precisione (la più delicata bilancia usata dal Lavoisier era sensibile al quattrocentesimo di grano, cioè a circa un decimo di milligrammo). Lavoisier enunciò allora la prima legge della Chimica: *la legge della conservazione della massa, o, come suol dirsi, del peso, o della materia:*

« In qualunque reazione chimica, il peso totale dei corpi che vi prendono parte rimane costante ».

E ne dà comunicazione all’Accademia di Francia.

La Chimica nasce con questa legge.

Il Priestley aveva detto, dubitando egli pure, forse, sulla fine delle vite, della verità dell’ipotesi del flogisto: « La confutazione di un’ipotesi erronea, e specie di un’ipotesi tanto fondamentale, non può non essere di grande importanza per il progresso futuro della scienza. E’ come se si spegnesse una falsa luce, che inganni il marinaio all’ingresso del porto ». Proprio così: per il merito di Antonio Lorenzo Lavoisier! (Tavola III).

E’ la prima tappa del cammino della Chimica dall’er-

rore alla verità!

Ed è una delle prime rivelazioni di ordine nel mondo della materia!

SULLA LUMINOSA VIA APERTA.....

La via aperta dal Lavoisier viene percorsa rapidamente.

Lo scienziato francese Claudio Luigi Berthollet (1748-1822), analizzando vari composti ben noti, e pesando i componenti di ciascun composto, aveva riscontrato che i componenti conservano fra di loro un rapporto ponderale quasi costante.

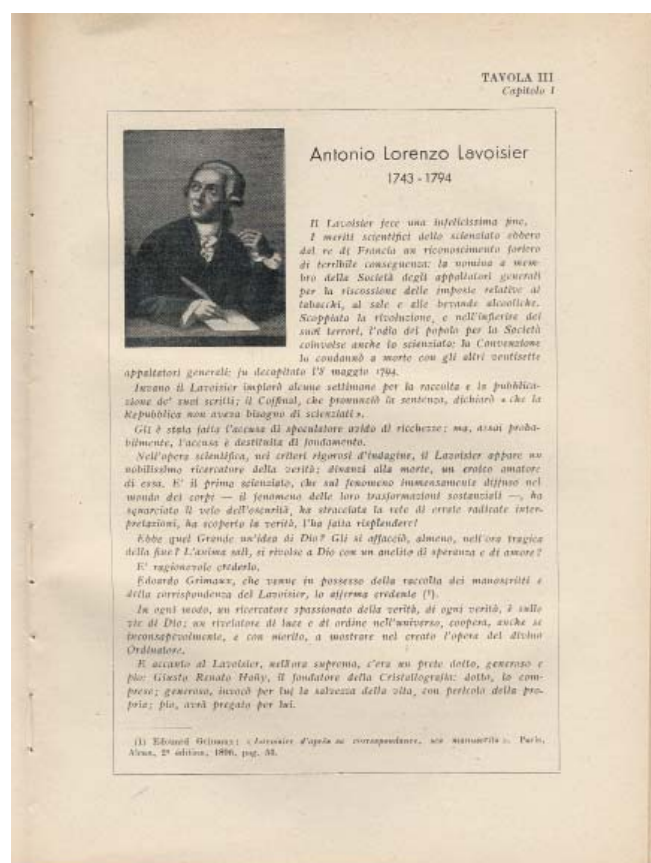
Era la verità, ma insidiata da quel.... *quasi*.

Lo scienziato connazionale Giuseppe Luigi Proust (1761-1826), dalla Spagna, dove si trovava a studiare le ricchezze minerarie di quel paese, afferma, invece e recisamente, che il rapporto ponderale dei componenti in ciascuno composto, non è *quasi* fisso e costante, ma è *rigorosamente* fisso e costante. Berthollet ne ha dubitato perché ha commesso degli errori sperimentali. Se il composto è allo stato di purezza, e composto e componenti si pesano con rigorosità, il rapporto ponderale dei componenti risulta rigorosamente fisso e costante.

Si accende una polemica cortese ma vivacissima, che dura qualche anno, e finisce col riconoscimento, da parte dello stesso Berthollet, della verità delle cose. E i mezzi moderni d'indagine e di misura non hanno fatto che confermarla. Ad esempio: si provochi con la scintilla elettrica la sintesi chimica dell'idrogeno e dell'ossigeno a formar acqua: i due gas si combinano sempre nel rapporto, in peso, di 1 a 7,94. Si decomponga l'acqua con la corrente elettrica: l'acqua, qualunque sia la sua origine materiale, ha sempre la stessa identica composizione segnata da quei numeri.

Una nuova legge si aggiunge a quella della conservazione della materia, *la legge delle proporzioni costanti*, che si enuncia così:

« Per ogni composto determinato, è fisso e costante il rapporto in peso, secondo il quale i corpi semplici, componenti, entrano a formarlo».



ANTONIO LORENZO LAVOISIER

1743 - 1794

Il Lavoisier fece una infelicissima fine. I meriti scientifici dello scienziato ebbero dal re di Francia un riconoscimento foriero di terribile conseguenza: la nomina a membro della Società degli appaltatori generali per la riscossione delle imposte relative ai tabacchi, al sale e alle bevande alcoliche. Scoppiata la rivoluzione, e nell'inferi-

re dei suoi terrori, l'odio del popolo per la Società coinvolse anche lo scienziato: la Convenzione lo condannò a morte con gli altri ventisette appaltatori generali: fu decapitato l'8 maggio 1794.

Invano il Lavoisier implorò alcune settimane per la raccolta e la pubblicazione de' suoi scritti; il Coffinal, che pronunciò la sentenza, dichiarò «che la Repubblica non aveva bisogno di scienziati».

Gli è stata fatta l'accusa di speculatore avido di ricchezze, ma, assai probabilmente, l'accusa è destituita di fondamento.

Nell'opera scientifica, nei criteri rigorosi d'indagine, il Lavoisier appare un nobilissimo ricercatore della verità; dinanzi alla morte, un eroico amatore, di essa. E' il primo scienziato, che sul fenomeno immensamente diffuso nel mondo dei corpi - il fenomeno delle loro trasformazioni sostanziali - ha squarciato il velo dell'oscurità, ha stracciato la rete di errate radicate interpretazioni, ha scoperto la verità, l'ha fatta risplendere!

Ebbe quel Grande un'idea di Dio? Gli si affacciò, almeno, nell'ora tragica della fine? L'anima salì, si rivolse a Dio con un anelito di speranza e di amore?

E' ragionevole crederlo.

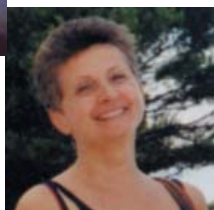
Edoardo Grimaux, che venne in possesso della raccolta dei manoscritti e della corrispondenza del Lavoisier, lo afferma credente (1).

In ogni modo, un ricercatore spassionato della verità, di ogni verità, è sulle vie di Dio; un rivelatore di luce e di ordine nell'universo, coopera, anche se inconsapevolmente, e con merito, a mostrare nel creato l'opera del divino Ordinatore.

E accanto al Lavoisier, nell'ora suprema, c'era un prete dotto, generoso e pio: Giusto Renato Haüy, il fondatore della Crsitallografia: dotto, lo comprese; generoso, invocò per lui la salvezza della vita, con pericolo della propria; pio, avrà pregato per lui.

(1) *Edouard Grimaux: «Lavoisier d'après sa correspondance, ses manuscrits». Paris, Alcan, 2^a édition, 1896, pag. 53.*

***SI RINGRAZIA LA CASA EDITRICE "LA SCUOLA" DI BRESCIA PER AVER PERMESSO LA PUBBLICAZIONE (www.lascuola.it)**



Scorie metallurgiche non ferrose per la produzione di calcestruzzi. Meccanismi di rilascio di metalli pesanti

*G. Fava, I. Marconi, S. Monosi - Università Politecnica delle Marche, Ancona
fava@univpm.it, monosi@univpm.it*

INTRODUZIONE

L'industria del cemento e del calcestruzzo occupa i primi posti nell'ambito dei settori di applicazione dei rifiuti. Sotto questo profilo essa ricopre un ruolo di grande importanza in relazione all'elevato livello tecnologico e al considerevole fabbisogno di materie prime ed energia che le impongono una costante ricerca di materiali e combustibili a basso costo. Per quanto riguarda il recupero dei rifiuti sia come componenti delle materie prime sia come costituenti dei prodotti finiti, l'industria cementiera è stata sempre all'avanguardia: la loppa d'altoforno, sottoprodotto della produzione della ghisa, e la cenere volante, derivante dalla combustione del carbone nelle centrali termoelettriche, costituiscono gli esempi più rilevanti di rifiuti di primario interesse per l'industria cementiera sia sotto l'aspetto qualitativo che quantitativo. La sperimentazione oggetto della presente ricerca è volta a verificare la possibilità di reimpiego di una scoria metallurgica non ferrosa prodotta dall'impianto Kivcet, nella produzione di cemento e calcestruzzo. I conglomerati cementizi dovranno esibire buone caratteristiche meccaniche ed essere non pericolosi per l'ambiente secondo l'attuale ottica del recupero delle materie prime che consente il risparmio di energia ed evita il conferimento a discarica.

PREPARAZIONE DEI MATERIALI E SPERIMENTAZIONE

I calcestruzzi impiegati per la realizzazione dei provini da sottoporre alle diverse prove sperimentali sono stati realizzati usando tre tipi di cemento: il CEM I, il CEM II/A-S ottenuto dalla miscela dell'85% di cemento Portland 52.5R e il 15% di loppa d'altoforno e il CEM II/A-Q ottenuto con l'85% di cemento Portland e il 15% di scoria Kivcet finemente macinata (nella Tabella 1 è riportata la composizione chimica).

Gli aggregati lapidei di frantumazione con D_{max} di 15 mm, riproducono una distribuzione di tipo bolomeyano. Per alcune tipologie di calcestruzzi, la scoria Kivcet tal quale è stata utilizzata in sostituzione parziale della sabbia (20% in volume).

E' stato anche impiegato un additivo superfluidificante di tipo acrilico per mantenere costante la lavorabilità e il dosaggio di cemento anche nel caso del minor rapporto acqua/cemento.

Sono state confezionate 10 tipologie di calcestruzzi di cui una metà con rapporto acqua/legante pari 0.6 e l'altra metà con rapporto acqua/legante 0.4. Nella Tabella 2 è riportata la composizione delle miscele.

Come si può notare la scoria Kivcet compare sia come costituente (macinato) del legante (PK/IN), sia come componente (tal quale) dell'aggregato (P/IK), sia, infine, come costituente del legante e dell'aggregato (PK/IK). Infatti essa è stata impiegata sia in sostituzione del cemento Portland per l'ottenimento del CEM II/A-Q, sia in sostituzione di una parte della sabbia (20% in volume).

Tutti i provini realizzati sono stati scasserati ad un giorno dal getto e la successiva stagionatura della durata di 4 mesi è avvenuta in ambiente mantenuto alla temperatura di 20°C e umidità relativa del 95%. Su tali provini sono state eseguite prove di resistenza meccanica a compressione (a 1, 3, 7, 28, 90 e 120 gior-

Tabella 1 - Composizione chimica della scoria Kivcet in percentuali

CaO = 22,44	SiO ₂ = 20,58	FeO = 17,36
Zn = 9,54	Al ₂ O ₃ = 8,63	Pb = 3,14
Na ₂ O = 2,20	MgO = 1,37	K ₂ O = 1,34
SrO = 0,79	MnO = 0,59	BaO = 0,42
PO ₄ ³⁻ = 0,16	Cu = 0,15	TiO ₂ = 0,13
SO ₄ ²⁻ = 0,11	B = 0,05	Cd = 0,02

ni) per poter valutare gli eventuali effetti sulle prestazioni meccaniche derivanti dalla presenza della scoria Kivcet. E' noto infatti che i metalli pesanti, presenti nella scoria Kivcet, possono fungere da ritardanti di idratazione con effetti penalizzanti sullo sviluppo della resistenza meccanica.

Inoltre, per valutare il potenziale pericolo dovuto alla cessione delle sostanze inquinanti sono state effettuate prove di cessione in accordo con le prescrizioni del DM del 5 febbraio 1998.

Tabella 2 - Composizione degli impasti in kg/m³ di calcestruzzo

Codice	Acqua/ legante	Componenti del cemento			Componenti dell'aggregato		
		Cem.	loppa	Kivcet	ghiaia	sabbia	Kivcet
P/IN	0,60	400	-	-	902	725	-
P/IK	0,60	400	-	-	902	580	182
*PL/IK	0,60	340	60	-	902	725	-
**PK/IN	0,60	340	-	60	902	725	-
**PK/IK	0,60	340	-	60	902	580	182
P/IN	0,40	400	-	-	1031	820	-
P/IK	0,40	400	-	-	1031	656	206
*PL/IK	0,40	340	60	-	1031	725	-
**PK/IN	0,40	340	-	60	1031	725	-
**PK/IK	0,40	340	-	60	1031	656	206

* il legante equivale al CEM II A/S secondo la UNI EN 97-1

** il legante equivale al CEM II A/Q secondo la UNI EN 97-1

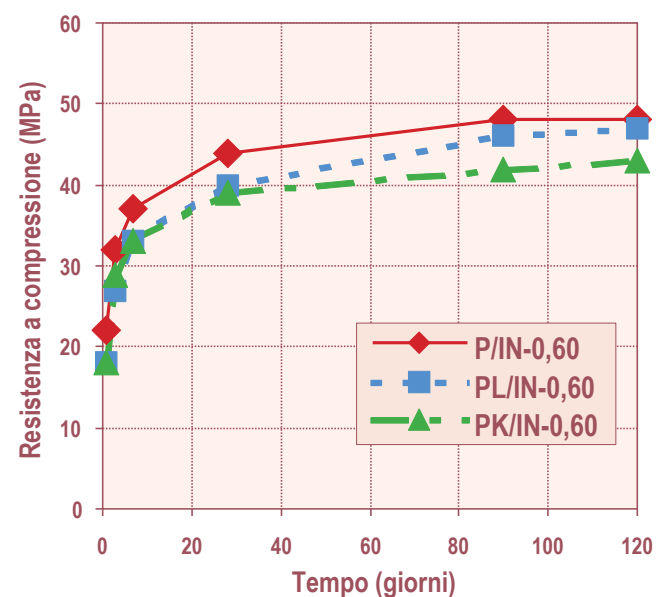


Fig. 1 - Resistenza meccanica dei calcestruzzi con cemento Portland e cementi di miscela tutti con inerti naturali; a/l=0,60

Per il test di cessione il campione monolitico è stato immerso per 16 giorni in acqua deionizzata in un recipiente in polietilene ad alta densità (HDPE) chiuso ermeticamente. L'agente lisciviante, avente un volume pari a cinque volte in volume del campione, è stato rinnovato ad intervalli di tempo prescritti dalla Norma (2, 8, 24, 48, 72, 102, 168 e 384 ore) per mantenerne inalterata la concentrazione. Sui campioni di liquido, prelevati a ciascun intervallo, sono state fatte le analisi di concentrazione di alcali (Ca, Na, K), di metalli pesanti (Cd, As, Fe, Cr, Cu, Pb, Zn), e misure di conducibilità elettrica. La concentrazione di metalli pesanti è stata analizzata con spettrometro induttivo al plasma (Perkin Elmer Optima 3200XL).

RISULTATI DELLE PROVE MECCANICHE

Di seguito sono riportati i grafici relativi agli andamenti della resistenza a compressione dei calcestruzzi confezionati con la scoria Kivcet a confronto con quelli dei calcestruzzi di riferimento. In particolare, sono stati messi a confronto i calcestruzzi al variare del tipo di legante utilizzato ed i calcestruzzi contenenti la scoria nelle diverse modalità di aggiunta.

Nel grafico della Fig. 1 sono riportati gli andamenti della resistenza a compressione al variare della stagionatura di tre serie di calcestruzzi con rapporto a/l=0.6 che differiscono per il tipo di legante. Si può notare che impiegando il cemento Portland CEM I si ottengono resistenze meccaniche più elevate. Con l'impiego dei cementi di miscela CEM II/A-S e CEM II/A-Q si risente della minore velocità di idratazione dovuta alla presenza delle aggiunte minerali sui valori di resistenza meccanica alle brevi stagionature.

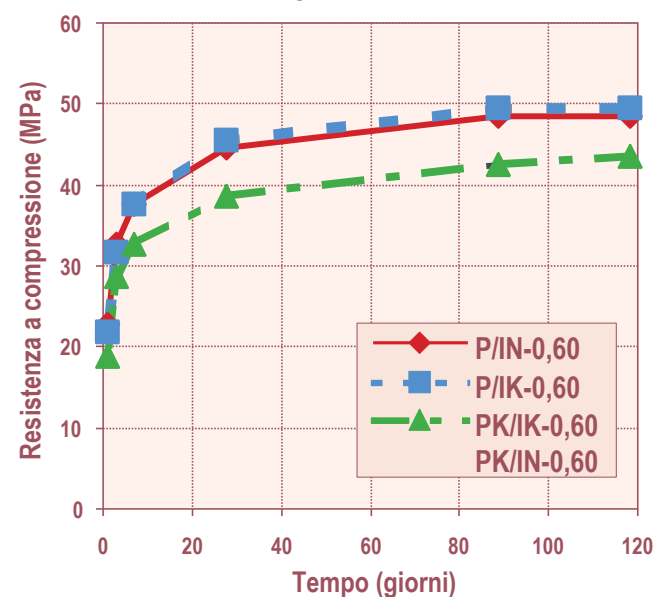


Fig. 2 - Resistenza meccanica dei calcestruzzi con cemento Portland ed inerti naturali e cementi con la scoria Kivcet; a/l=0,6

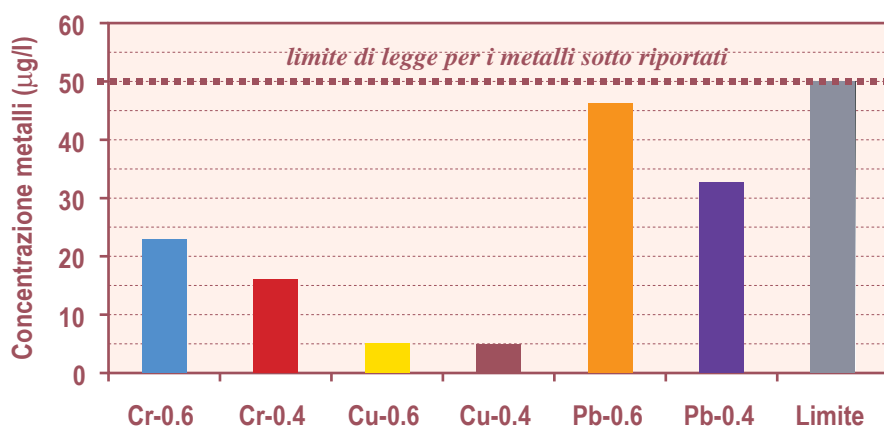


Fig. 3 - Concentrazione di metalli in PK/IK - 0.6-0.4

Alle lunghe stagionature si osserva un recupero delle prestazioni meccaniche, pressoché totale in presenza di loppa d'altoforno.

Nel grafico della Fig. 2 sono raffrontati gli andamenti della resistenza meccanica dei calcestruzzi contenenti la scoria Kivcet o nel legante o nell'inerte o in entrambi con il calcestruzzo di riferimento (CEM I e inerte naturale).

I calcestruzzi prodotti con il CEM I anche nel caso contengano la scoria, in sostituzione parziale della sabbia, presentano prestazioni meccaniche del tutto equivalenti a tutte le stagionature. Quelli confezionati con il CEM II/A-Q presentano delle resistenze meccaniche più modeste a tutte le stagionature, anche se la penalizzazione è molto contenuta e passa da un iniziale 15% ad un valore di circa il 10%. C'è da sottolineare che la scoria influenza lo sviluppo della resistenza meccanica solo se è presente nel legante, cioè sotto forma di polvere molto fine, mentre non ha nessun effetto se è presente come aggregato, in forma granulare. Probabilmente nel caso di elevata superficie specifica la scoria cede all'impasto una quantità maggiore di ioni metallici quali Zn, Pb, Cu noti come agenti ritardanti di idratazione del cemento.

Per quanto riguarda i calcestruzzi prodotti con rapporto acqua/legante pari a 0,40 si registrano comportamenti del tutto simili (qui non mostrati per ragioni di brevità), dal punto di vista qualitativo, con una sola eccezione del calcestruzzo confezionato con il cemento Portland puro e inerti naturali. Si può osservare che quando il calcestruzzo è di migliore qualità (rapporto acqua/legante più basso) la presenza di scoria risulta leggermente penalizzante anche se essa è impiegata in sostituzione della sabbia, cioè in forma granulare. Si può ipotizzare che quando aumenta il rapporto scoria/acqua in conseguenza del minor rapporto acqua/

legante si raggiungano delle concentrazioni di metalli pesanti nella fase acquosa tali far sentire un certo effetto ritardante sull'idratazione.

RISULTATI DEL TEST DI CESSIONE

I risultati ottenuti mostrano che le quantità più elevate di rilascio sono relative ai campioni con il maggior rapporto acqua/legante (0,60). D'altra parte è a tutti noto che all'aumentare del rapporto acqua/legante aumenta la porosità della pasta cementizia e di conseguenza ci si deve ragionevolmente aspettare una maggiore mobilità dei metalli pesanti.

Per quanto riguarda la cessione di rame e cromo, la presenza della scoria nell'impasto non aumenta i rilasci di tale sostanze, anzi si può perfino pensare ad un beneficio dell'impiego della scoria. Per quanto riguarda invece la cessione del piombo, utilizzando la scoria finemente macinata in sostituzione del cemento (PK/IK e PK/IN), la concentrazione totale, seppur sempre al di sotto del limite di legge, aumenta considerevolmente, triplicando rispetto ai casi in cui la scoria o non è presente (P/IN, PL/IN) o è presente in forma granulare (P/IK). Questo risultato è da imputare alla maggiore quantità totale disponibile e ad una maggiore mobilità dello ione piombo nei calcestruzzi contenenti la scoria finemente macinata. In Fig. 3 sono riportate le concentrazioni totali del cromo, rame e piombo rilasciati dai calcestruzzi aventi la scoria sia in forma macinata che in forma granulare (PK/IK-0,6-0.4). Tutti i valori sono al di sotto del limite di legge, si può quindi affermare che la matrice cementizia ha la capacità di incapsulare gli ioni dei metalli pesanti.

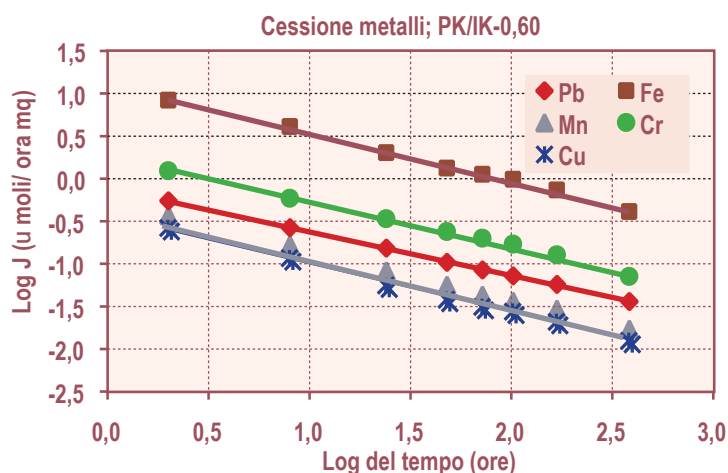


Fig. 4 - Cessione di metalli nel tempo da PK/IL con 0,60

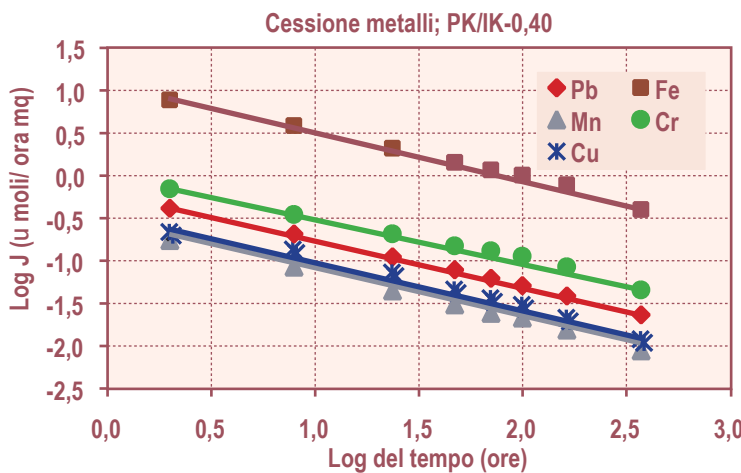


Fig. 5 - Cessione di metalli nel tempo da PK/IL con 0,40

MECCANISMO DI RILASCIO

La concentrazione dei metalli riportata in funzione del tempo su scala logaritmica ha un andamento lineare con pendenza prossima a 0,50 (Fig. 4 e Fig. 5). Lo stesso andamento si registra per la conducibilità elettrica (Fig. 6 e Fig. 7) che rappresenta la cessione di tutti gli elementi più solubili: questo fa ipotizzare che la diffusione sia il principale meccanismo di rilascio come già osservato da altri autori.

CONCLUSIONI

- La resistenza meccanica a compressione dei calcestruzzi con rapporto acqua/legante 0,60 mostra una leggera penalizzazione quando la scoria Kivcet è presente in forma finemente macinata in sostituzione parziale del cemento (15%) mentre non si rileva nessun effetto se la scoria è in sostituzione dell'aggregato cioè in forma granulare.
- I calcestruzzi con rapporto acqua/legante 0,40 fanno

registrare una leggerissima penalizzazione anche se la scoria è presente solo al posto dell'aggregato fine.

- Il meccanismo prevalente di cessione è un processo in controllo di diffusione e quindi dipendente dalla porosità della matrice cementizia, dalla tortuosità dei pori capillari e dalla maggiore o minore interconnessione tra essi.

- La cessione dei metalli pesanti è molto bassa e decisamente al di sotto dei limiti ammessi dalla attuale normativa italiana; si può dunque ammettere che la matrice cementizia ha un'ottima capacità di bloccare gli ioni dei metalli presenti nella scoria.

Bibliografia

- *G.Fava, I.Marconi, S.Monosi* "Non ferrous slag as cementitious material and fine aggregate for concrete – Heavy metals leaching Behaviour" atti del III Congresso VARIREI, Aquila 2001
- *Collepari, G.Fava, S.Monosi, I.Marconi* "Realizzazione di calcestruzzi mediante l'impiego di scorie metallurgiche non ferrose", Ancona 2001
- *C.Atzeni, L.Massidda, U.Sanna* "Use of granulated slag from lead and zinc processing in concrete technology", Cement and Concrete research, 1996
- *P.Schiessl, I.Hohberg* "Environmental compatibility of cement-based building materials", processing of "Mario Collepari Symposium", Roma 1997
- *F.Delpiano, A.Cincotti, L.Massidda, U.Sanna* "Valutazione del potenziale impiego di scorie della metallurgia del piombo aggiunte ai cementi comuni", atti del "IV Congresso Nazionale AIMAT", Cagliari 1998

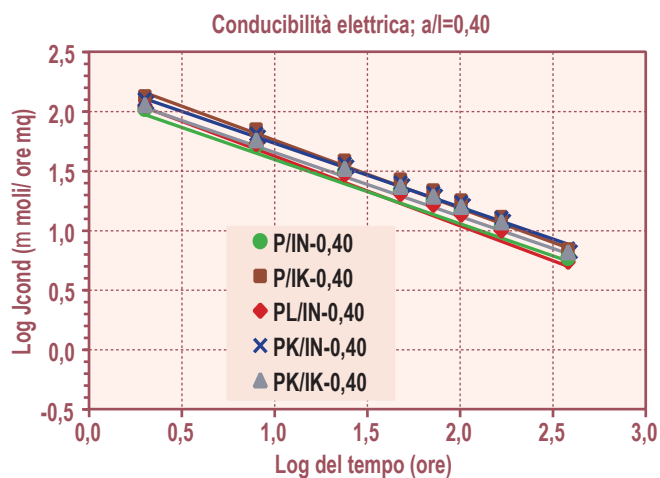


Fig. 6 - Conducibilità elettrica nel tempo dai calcestruzzi con a/l=0,40

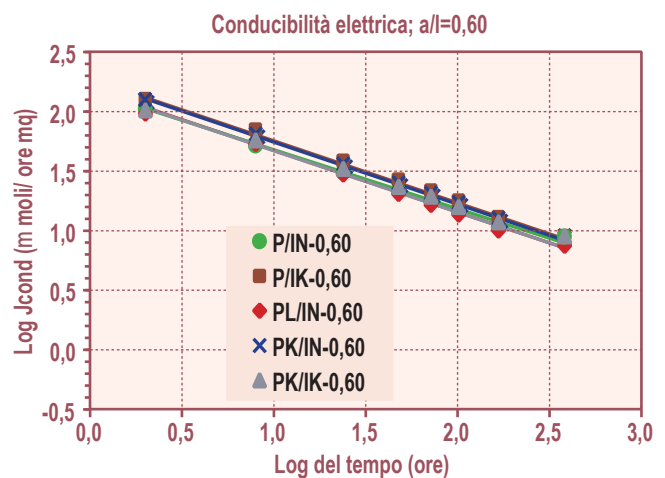


Fig. 7 - Conducibilità elettrica nel tempo dai calcestruzzi con a/l=0,60



Laboratorio ufficiale
autorizzato dal
Ministero LL.PP.

per prove certificate sui materiali da costruzione
(acciaio, calcestruzzo, mattone, pietra, ecc.)

Laboratorio
iscritto all'albo del
MIUR

(Ministero dell'Istruzione,
dell'Universit e della Ricerca)
per l'esecuzione di ricerche finanziate dal MIUR
per conto di industrie ed imprese



ATTIVITA' SCIENTIFICA E TECNOLOGICA: Ricerche e sviluppo di nuovi materiali, per l'ottimizzazione dei cicli produttivi e per la riutilizzazione di materie seconde.

ANALISI DEL DEGRADO E DEL DISSESTO DI STRUTTURE IN C.A. E IN MURATURA: attraverso indagini in situ e di laboratorio.

ARBITRATI TECNICO LEGALI: Enco risolve imparzialmente controversie tra le parti operanti nel mondo delle costruzioni in in tempi ridotti .

Per maggiori informazioni:
Enco srl Via Lazzaris 7 - 31027 Spresiano
Tl. 0422 881 350 Fax 0422 881 332 - info@encosrl.it - www.encosrl.it

PAVIMENTAZIONI INDUSTRIALI IN CALCESTRUZZO

Dissesti e degradi provocati da una non corretta realizzazione del vespaio di sottofondo

Silvia Collepari, R. Troli - Enco srl, Spresiano (TV)

silvia.collepari@encosrl.it - troli@encosrl.it



I dissesti provocati nelle pavimentazioni industriali in calcestruzzo da una non corretta esecuzione del vespaio sono generalmente da ascrivere:

- ad una disuniforme o incompleta compattazione che determina cedimenti e conseguenti rotture della lastra in calcestruzzo;
- all'utilizzo di materiale lapideo non monogranulare e ricco di sostanze limo-argillose che non è in grado di esplicare la funzione drenante che gli compete.

DISUNIFORME COMPATTAZIONE DEL SOTTOFONDO

I dissesti dovuti ad una disuniforme compattazione del sottofondo, ad esempio, si riscontrano spesso in corrispondenza delle zone dove vengono allocate le tubazioni per la raccolta delle acque di scarico. In queste aree, se il materiale utilizzato per il reinterro non viene accuratamente costipato, si manifestano in servizio dei cedimenti del sottofondo che provocano l'innesco di fessurazioni nella lastra in calcestruzzo. Queste fessure seguono generalmente l'andamento delle pareti dello scavo (Fig. 1) realizzato per allocare le tubazioni stesse.



Fig. 1 - Dissesto della pavimentazione per inefficace compattazione del terreno nello scavo effettuato per il posizionamento dei tubi di raccolta dell'acqua

Questo difetto, inoltre, si riscontra in prossimità dei basamenti delle macchine o dei tombini dove solitamente non viene effettuato un costipamento efficace del sottofondo. Pertanto, allorché la pavimentazione entra in servizio, possono crearsi al di sotto della stessa dei vuoti a causa del cedimento del sottofondo. La lastra in calcestruzzo, quindi, in prossimità di queste zone si può schematizzare come una mensola che per effetto dei carichi applicati tenderà a fessurarsi nella zona di massimo momento, coincidente con la sezione in cui essa appoggia sul sottofondo.

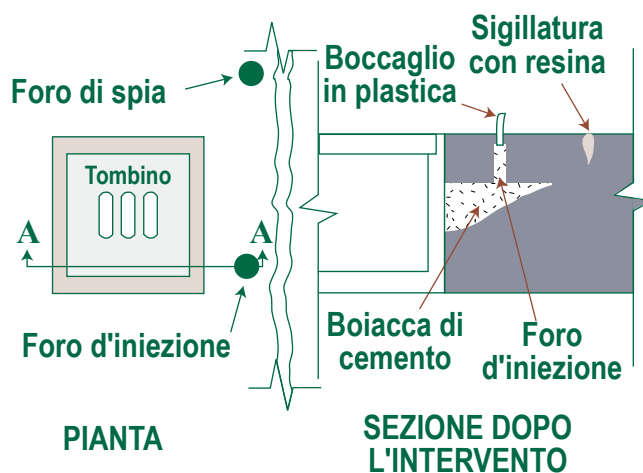


Fig. 2 - Intervento di consolidamento in una pavimentazione fessurata per cedimento del sottofondo in prossimità di un tombino

Se il cedimento della lastra è modesto, un possibile intervento di consolidamento consiste nell'iniettare al di sotto della pavimentazione una boiaccia di cemento. L'intervento si esegue praticando due fori (o più a seconda dell'estensione dell'area interessata dal cedimento) del diametro di 32 mm sui quali verranno predisposti dei boccagli in plastica fissati con malta cementizia a pronta presa. Attraverso uno dei suddetti fori verrà iniettata la miscela cementizia; l'iniezione proseguirà fino a quando la stessa fuoriuscirà dal foro di spia a testimonianza del completo riempimento della cavità (Fig. 2).

Ovviamente, la miscela cementizia da utilizzare per questo intervento, oltre a possedere una sufficiente

fluidità (ad esempio il tempo di svuotamento di un litro della miscela al cono di Marsh dovrà risultare <30 secondi), dovrà allo stesso tempo essere caratterizzata da totale assenza di *bleeding*. L'impiego di una boiaccia segregabile, infatti, consentirebbe all'acqua di *bleeding* di formare delle "risacche" al di sotto della pavimentazione che si trasformeranno in vuoti allorché l'acqua stessa tenderà ad evaporare oppure ad essere assorbita dal calcestruzzo della lastra. E' evidente che in questa situazione la lastra sarebbe soggetta ad ulteriori cedimenti con conseguente comparsa di nuove soluzioni di continuità sul pavimento. Inoltre, per evitare che nuove fessure possano formarsi per differenti comportamenti deformazionali della zona del pavimento poggiante sull'iniezione di boiaccia cementizia e di quelle adiacenti a contatto diretto con il sottofondo, è opportuno limitare il modulo elastico, e quindi la resistenza meccanica a compressione della boiaccia di cemento, ad un valore di 3-4 N/mm² (misurato su provini maturati per 28 giorni a 20°C).

Quando il cedimento della lastra di calcestruzzo dovesse risultare consistente (maggiore di 1 cm) si rende necessario, oltre che intasare il vuoto creatosi nel sottofondo, riportare il livello della pavimentazione alla quota originaria. In tal caso, l'intervento può essere realizzato ricorrendo all'impiego di resine espansive in grado di sollevare la porzione di pavimentazione interessata dal cedimento.

L'intervento si realizza con la stessa tecnica già descritta per le iniezioni di cemento, fatto salvo, ovviamente, il materiale impiegato. L'iniezione viene proseguita sin quando il pavimento raggiunge la quota originaria controllando il sollevamento della lastra mediante un livello laser (Fig. 3).

Indipendentemente dall'impiego di resine o di boiacche di cemento, l'intervento va completato con la

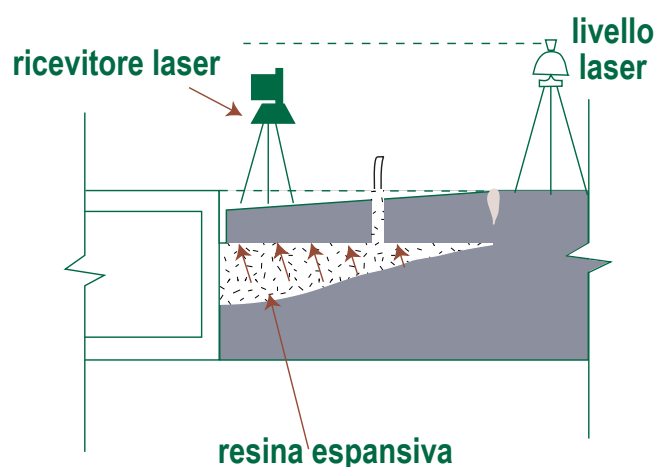


Fig. 3 - Sollevamento della porzione di lastra interessata dal cedimento mediante iniezione di resine espansive

sigillatura delle lesioni del pavimento con resina epossidica come già descritto nel paragrafo precedente.

ERRATA GRANULOMETRIA DEL VESPAIO

I problemi connessi con la realizzazione di vespai in elementi lapidei non monogranulari misti a terre fini di natura limo-argillosa sono riconducibili alla presenza



Fig. 4 - Chiazze di umidità per risalita di acqua dal sottofondo in presenza di un vespaio realizzato con materiale non idoneo

di chiazze di umidità e di acqua risalente dal sottofondo sulla superficie del pavimento (Fig. 4).

In questo suo movimento ascensionale l'acqua trasporta con sé le sostanze solubili e le particelle leggere che dovessero essere presenti nel terreno creando sulla superficie efflorescenze ed antiestetiche macchie. Fortunatamente, questo problema non è frequente, ma è stato registrato per alcune pavimentazioni poggiante direttamente su sottofondi (in assenza di vespaio) realizzati mescolando il terreno di riporto con rifiuti organici (idrocarburi, peci, etc.), in forma di vistose macchie di colore scuro (Fig. 5).



Fig. 5 - Vistose macche nere determinate dalla presenza nel terreno di sottofondo di rifiuti organici trasportati sulla superficie dall'acqua risalente

TRAVI RINFORZATE A FLESSIONE CON MATERIALI FRP

Analisi del contributo esplicito dal rinforzo

Francesca Simonelli, Roberto Troli - Enco, Treviso

simonelli@encosrl.it, troli@encosrl.it



Il rinforzo a flessione di travi e solai rappresenta una delle applicazioni più diffuse dei materiali FRP nel campo del restauro strutturale. In questo tipo di interventi vengono utilizzati rinforzi costituiti da *tessuti uniassiali* (Enco Journal n°19) o *lamine pultruse* (Enco Journal n°22) i quali vengono incollati alla zona tesa della trave in modo da costituire una armatura esterna, aggiuntiva rispetto a quelle ordinarie presenti all'interno.

L'ampia diffusione di queste tecniche di ripristino ha richiesto e stimolato la realizzazione di numerose campagne di indagini sperimentali tese ad individuare un modello di comportamento delle travi in c.a. rinforzate con FRP con il fine di mettere a punto algoritmi di calcolo necessari per il progetto e la verifica del ripristino. Oggetto di studio delle campagne sperimentali è stato, soprattutto, l'analisi del comportamento meccanico delle giunzioni FRP-calcestruzzo, realizzate mediante incollaggio. Vale la pena far notare che gli adesivi utilizzati per l'incollaggio sono dotati di un modulo di elasticità non molto elevato (circa un quarto di quello di un medio calcestruzzo). Per questo motivo, a rigore, un modello di comportamento della trave rinforzata con FRP incollati all'esterno dovrebbe prendere in conto la deformazione tangenziale che si produce nello strato di adesivo, al crescere delle deformazioni

flessionali, per effetto della trasmissione degli sforzi tra rinforzo e trave.

La messa in conto della deformabilità dello strato di adesivo comporta la perdita di uno dei requisiti fondamentali della teoria tecnica delle travi, ossia, il mantenimento della planarità della generica sezione trasversale per qualsiasi livello di deformazione. Ne consegue l'impossibilità di trattare la trave rinforzata come un solido di De Saint Venant e la necessità di imporre condizioni di congruenza tra trave e rinforzo basate su un modello di comportamento $\tau = \tau(\gamma)$ dello strato di adesivo. Un problema di questo tipo, anche nell'ipotesi semplificativa di linearità della funzione $\tau = \tau(\gamma)$, risulta risolvibile in forma chiusa solo per geometrie di vicolo molto semplici come la trave semplicemente appoggiata o la trave continua su tre appoggi simmetrici. Per geometrie più complesse bisogna ricorrere ad una soluzione numerica del problema con evidenti complicazioni che scoraggerebbero molti progettisti che si accingono ad adottare queste tecniche di ripristino.

Fortunatamente, varie indagini sperimentali sia su modelli in scala ridotta che su simulacri in dimensioni normali, hanno evidenziato che, nel caso in cui si faccia uso di strati di adesivo di spessore non elevato, come è nella norma, non si commettono errori rilevanti se si trascura la deformabilità dell'adesivo. Questa semplificazione del problema reintroduce l'ipotesi di manteni-

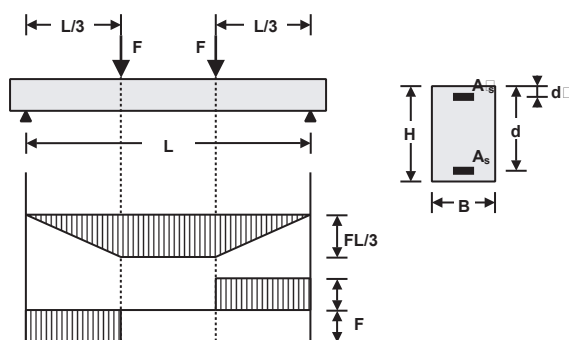


Fig. 1a - Trave in c.a. sottoposta ad una sollecitazione flettente

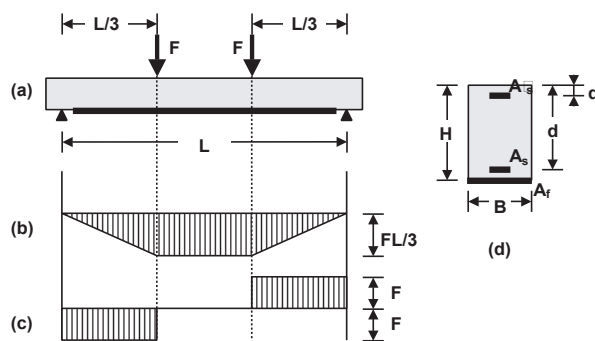


Fig. 1b - Trave rinforzata con FRP e sottoposta alla stessa sollecitazione flettente della trave in Fig. 1a

mento delle sezioni piane e consente di utilizzare, nelle operazioni di progetto e di verifica delle travi rinforzate con FRP, gli stessi metodi di calcolo, opportunamente modificati, utilizzati per le travi ordinarie in c.a.

Tra i vari metodi di calcolo disponibili in letteratura e nelle normative sono assolutamente da privilegiare quelli che esaminano il comportamento della trave in corrispondenza del collasso (metodo agli stati limite, calcolo e rottura), mentre bisogna evitare l'utilizzo di metodi di calcolo basati su ipotesi di comportamento lineare dei materiali e delle sezioni. Si può dimostrare, infatti, che questi metodi (alle tensioni ammissibili) non consentono una stima adeguata del contributo offerto dal rinforzo alla portanza flessionale della trave.

A titolo di esempio, si consideri una trave in cemento armato semplicemente appoggiata su una luce L e sottoposta ad una sollecitazione flettente prodotta da due forze concentrate F applicate a $1/3$ e $2/3$ della sua luce (Fig. 1-a). Si consideri, inoltre, una trave avente la stessa geometria e le stesse caratteristiche elasto-meccaniche di quella in Fig. 1-a ma rinforzata con una lamina in FRP incollata al lembo inferiore, per tutta la lunghezza della luce L (Fig. 1-b).

Si faccia crescere il carico flettente monotonamente fino a portare entrambe le travi al collasso. Riportando

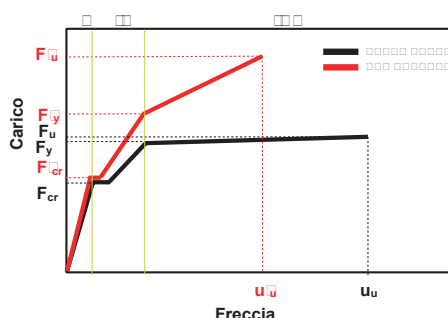


Fig. 2 - Diagramma carico-fraccia delle due travi

in un diagramma i valori del carico applicato in funzione della freccia, si ottengono le curve schematizzate in Fig. 2 dove la curva in nero è quella relativa alla trave tal quale e quella in rosso alla trave rinforzata.

Dall'analisi delle due curve si evidenzia come, sia per la trave tal quale che per quella rinforzata, la curva carico-freccia, sia è schematizzabile in tre tratti, indicati con I, II e III, corrispondenti a tre diverse fasi nel comportamento delle travi. Di seguito si analizzano le tre fasi:

I. Fase pre-fessurativa per $F < F_{cr}$ = valore del carico in corrispondenza del quale appaiono le prime fessure flessionali. In questa fase la sezione in calcestruzzo è interamente reagente e vale la nota formula:

$$\sigma = \frac{M}{J} y$$

essendo M è il momento flettente, y la generica ordinata nella sezione a partire dall'asse neutro e J il momento d'inerzia della sezione interamente reagente che, per la trave tal quale, vale:

$$J = \frac{b h^3}{12}$$

mentre per la trave rinforzata vale:

$$J = \frac{b h^3}{12} + n_f n x^2$$

Nella [2] e [3] n è il coefficiente di omogeneizzazione tra acciaio e calcestruzzo e x è l'ordinata dell'asse neutro della sezione dove n_f è il coefficiente di omogeneizzazione tra FRP e calcestruzzo.

Fase fessurativa per $F_{cr} < F < F_y$, essendo F_y il carico in corrispondenza del quale le armature tese raggiungono lo snervamento (yield). In questa fase appaiono ed aumentano in ampiezza le fessure flessionali (Fig. 3) e la sezione in calcestruzzo, in suddette sezioni, risulta parzializzata. Con buona approssimazione, vale ancora la [1] ma, per il calcolo di J , occorre fare delle distinzioni: se ci si pone in una sezione non fessurata (sez. A-A di Fig. 3) il calcestruzzo è ancora reagente a trazione e i valori di J sono dati dalla [2] e dalla [3], rispettivamente, per la trave tal quale e per quella rinforzata. Se, invece, ci si pone in una sezione fessurata (sez. B-B di Fig. 3), occorre escludere il contributo del calcestruzzo in zona tesa e, quindi, il momento d'inerzia sarà dato dalle equazioni [4] e [5], rispettivamente per trave tal quale e per quella rinforzata.

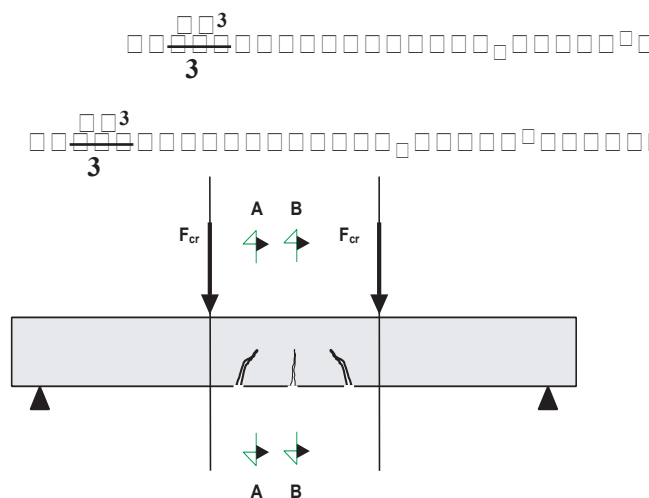


Fig. 3 - Trave nella fase fessurativa

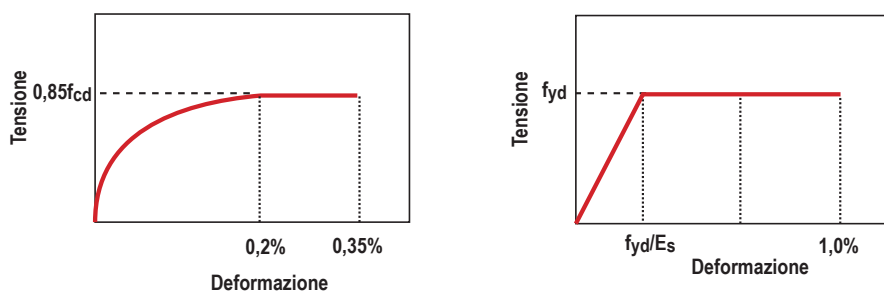


Fig. 4 - Legami costitutivi non lineari assunti per l'acciaio e il calcestruzzo nella fase III

A parità di geometria i valori di J forniti da queste ultime due formule sono inferiori a quelli forniti dalle equazioni [2] e [3], ne consegue che le due travi saranno dotate di una rigidezza flessionale inferiore a quella che caratterizza la fase I. Questo spiega il perché il segmento di retta che caratterizza la fase II, dopo un primo tratto quasi orizzontale dovuto al riassetto della trave causato dall'apertura delle lesioni, assume una pendenza inferiore a quello della fase I.

Fase post-fessurativa per $F_y < F < F_u$, essendo F_u il carico che provoca il collasso della trave. In questa fase le armature tese sono svervate e le deformazioni in gioco sono tali per cui non è più possibile schematizzare come lineare il comportamento del calcestruzzo e dell'acciaio. Il comportamento del rinforzo in FRP, invece (Enco Journal n° 19) resta lineare fino a rottura.

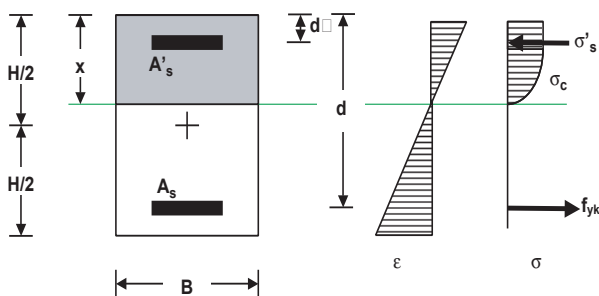


Fig. 5 - Schematizzazione nella fase III della generica sezione parzializzata

Utilizzando per il calcestruzzo e per l'acciaio i legami costitutivi riportati in Fig. 4, corrispondenti a quelli suggeriti dalla normativa italiana per il calcolo agli stati limite delle travi in c.a. si ottiene un comportamento della generica sezione fessurata del tipo schematizzato in Fig. 5

Come è noto, la trave non rinforzata può raggiungere il collasso per schiacciamento del calcestruzzo compresso o per raggiunta defor-

mazione limite nell'acciaio teso. I meccanismi di collasso possibili per la trave rinforzata verranno invece discussi in un prossimo articolo. In questa sede vale la pena far notare che (Fig. 2):

- 1) il contributo del rinforzo in FRP alla portanza della trave è praticamente irrilevante prima della fessurazione e nella fase fessurativa ma si esplica, soprattutto, in quella post-fessurativa;
- 2) la trave rinforzata con FRP sopporta a rottura un carico decisamente più elevato di quella non rinforzata ma con una deformazione ultima più limitata.

Il metodo delle tensioni ammissibili prende in esame il comportamento della trave rinforzata nelle fasi I e II. Per questo motivo, tale metodo sottostima l'effettivo contributo che l'armatura esterna in FRP è in grado di fornire alla portanza flessionale della trave. Tale metodo, quindi, come già detto, risulta inadeguato nelle operazioni di calcolo e di verifica delle travi in conglomerato cementizio armato rinforzate con FRP. Di seguito viene riportato un breve esempio numerico che conferma quanto fin qui affermato con considerazioni di carattere qualitativo.

Esempio numerico

Si consideri una trave semplicemente appoggiata su una luce di 5 metri e sottoposta ad un carico uniformemente distribuito su tutta la luce. La sezione trasversale della trave è riportata in Fig 6.

Calcolando con le formule note, che qui non si riportano per brevità, il valore del momento flettente che produce la prima fessurazione, quello in corrispondenza del quale avviene lo snervamento delle armature tese e il momento ultimo a collasso si ottengono i seguenti valori:

M_{cr} = momento di prima fessurazione = 39282 Nm;

M_y = momento che provoca lo snervamento nell'ar-

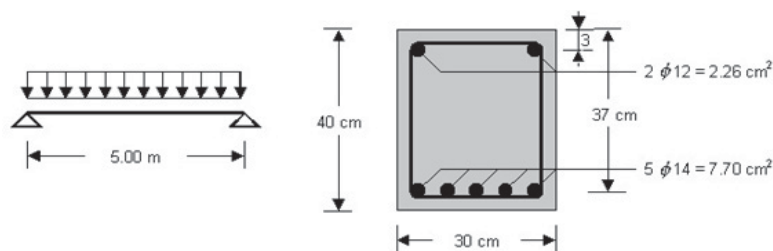


Fig 6 - Trave in c.a. dell'esempio numerico: (a) schema di carico e (b) sezione trasversale

matura tesa = 95119 Nm;

M_u = momento di collasso = 95755 Nm

Supponiamo ora di applicare all'intradosso della trave un rinforzo in fibra di carbonio ad alta resistenza costituito da un tessuto avente grammatura pari a 300 gr/m² esteso su tutta la luce e per tutta la larghezza della trave. Si considerino le seguenti caratteristiche fisico - meccaniche del rinforzo:

A_f = sezione del rinforzo = 0.50 cm²

E_f = modulo di elasticità del rinforzo = 230 GPa

n_f = 17.16 = coefficiente di omogeneizzazione tra carbonio e calcestruzzo

Eseguendo gli stessi calcoli effettuati per la trave non rinforzata si ottengono, ripetitivamente, i seguenti valori del momento di fessurazione, di quello di snervamento e del momento ultimo:

vamento e del momento ultimo:

M'_{cr} = 40731 Nm;

M'_y = 103888 Nm;

M'_u = 140413 Nm;

Confrontando, infine, il comportamento delle due travi sempre in termini di momento flettente portato si ottiene:

M'_{cr}/M_{cr} = 1.037 (+ 3.7%)

M'_y/M_y = 1.092 (+ 9.2%)

M'_u/M_u = 1.46 (+ 46%)

Si conferma, quindi, che il contributo dell'armatura esterna in FRP alla portanza flessionale della trave si esplica, soprattutto, e in misura notevole, in corrispondenza del collasso.

DA SALONICCO A BUCAREST: per il calcestruzzo anche ballando



(1) Organizzate dal *CANMET* e dall'*American Concrete Institute*, si sono svolti in Giugno due conferenze: la prima a Salonicco, sulla durabilità delle strutture in c.a.; la seconda a Bucarest, sui progressi nella tecnologia del calcestruzzo.

A Salonicco il Prof. **Giacomo Moriconi** (1) della Facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche di Ancona, ha ricevuto un *Award* alla sua carriera di ricercatore sulla durabilità del calcestruzzo. L'Ing. **Valeria Corinaldesi** (a sinistra nella foto (2)) e la D.ssa **Francesca Tittarelli** (a destra) hanno simpaticamente festeggiato il Prof. Moriconi durante la cena in onore dei premiati con l'*Award*.



(2)



(3)

A Bucarest, nell'ambito della conferenza *CANMET/ACI*, si è tenuto un Simposio in onore del Dr. **Nelu Spiratos** (3), rumeno di origine greca ma, soprattutto, Presidente della *Handy Chemicals*, Canada.

Durante la cena in onore di Nelu Spiratos il nostro Direttore (4) si è lanciato dapprima in un ballo solitario, coinvolgendo poi con il solito "trenino" tutti i partecipanti incluso **Mohan Malhotra** (a sinistra in piedi nella foto (5) e persino **Kumar Metha** in primo piano nella foto (6).

(i.c.)



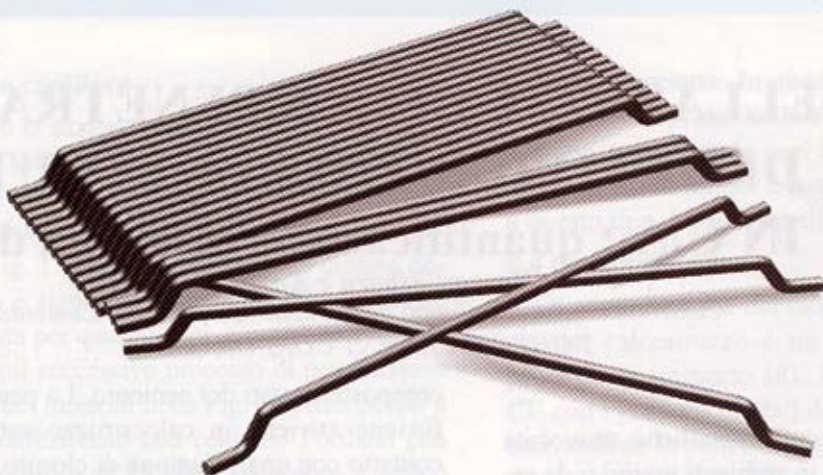
(4)



(5)



(6)



Dramix®

FIBRA D'ACCIAIO TRAFILATO

LA DIFFERENZA

Dramix®, la fibra d'acciaio trafilato, costituisce il rinforzo per eccellenza nella realizzazione di **pavimentazioni industriali** di alte prestazioni e grandi campiture "jointless".

Le fibre **Dramix®** si miscelano facilmente ed in maniera omogenea nel calcestruzzo rendendolo un **materiale totalmente isotropo** e facilmente pompabile grazie alla placchetta idrosolubile.



Inoltre il perfetto ancoraggio fibra-matrice di calcestruzzo garantisce il raggiungimento dei migliori risultati prestazionali. **Bekaert**, leader mondiale nelle fibre per calcestruzzo, **sinonimo di qualità**, è in grado di fornire alla clientela una corretta progettazione delle pavimentazioni con **note di calcolo**, oltre ad una valida assistenza di cantiere.

BEKAERT

LEON BEKAERT SPA

Via Boccaccio, 25

20123 Milano

Tel.: 02 / 48 567 244

Fax: 02 / 48 00 82 98

<http://www.bekaert.com/building>

Per richiedere documentazione tecnica inviateci il presente coupon al nr. 02 / 48 00 82 98.

NOME

SOCIETA'

INDIRIZZO

TEL.

FAX

DUROCEM[®]
 ★ ★ ★ ★ **ITALIA** S.p.A.

PAVIMENTAZIONI
 INDUSTRIALI • COMMERCIALI • RESINE

Il successo di Durocem
 ha solide basi

come i suoi Pavimenti.

Nasce da una grande forza: le sue risorse umane. Tecnici, ingegneri e operai scelti per la loro voglia di fare, formati per crescere insieme all'azienda e a lei fedeli a lungo. Persone che lavorano con serietà e rigore, grazie a due armi preziose: tecnologia e rapporti umani.

L'esperienza e la professionalità dei tecnici Durocem sono il valore aggiunto di una competenza tecnologica che dal 1962 detta le regole al mercato della pavimentazione. Non è un caso, infatti, che Durocem sia stata la prima azienda italiana del settore ad ottenere la certificazione di Qualità UNI EN ISO 9002 con ICMQ.

Sono state le persone a far diventare Durocem ciò che è oggi.

Persone speciali.



DUROCEM ITALIA S.p.A.

42010 Cavola (RE) • Italy • Via Roma, 9 • Tel. +39.0522.806521 • Fax +39.0522.806260 • www.durocem.it • durocem@durocem.it



Per ricevere informazioni più dettagliate e materiale illustrativo sui nostri prodotti, spedire questo coupon debitamente compilato. Nel rispetto della legge 675/96, i dati forniti saranno utilizzati solo per l'invio di nostra documentazione.

Nome _____ Cognome _____ Professione/Società _____
 Indirizzo _____ e-mail _____
 Città _____ Cap _____ Prov. _____ Tel. _____ Fax _____

Riduzione
dei tempi di posa

Riduzione
dei tempi
di costruzione

Riduzione
dell'inquinamento

Qualità
estetica dell'opera

REOCAL S.C.C.

Calcestruzzo Autocompattante

Tecnica ed
Innovazione



Calcestruzzi
Italcementi Group

www.calcestruzzi.it