2007
Trimestrale
Anno XII
Numero 39

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

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

MASSETTO MONOSTRATO AUTOLIVELLANTE PRONTO PER LA POSA DEL PAVIMENTO

AGGREGATO RICICLATO 100% CONFORME UNI 10667-14

FONOPRONTO è un massetto autolivellante leggero isolante termico e acustico. Grazie all'aggregato polimerico riciclato al 100% con cui viene confezionato, permette di realizzare in una sola applicazione il massetto di supporto della pavimentazione assicurando un ottimo isolamento termo-acustico. I vantaggi dell'autolivellamento e della lavorazione monostrato permettono di dimezzare i tempi di posa con conseguente risparmio di risorse e costi. L'aggregato plastico utilizzato è conforme alle specifiche della norma **UNI 10667-14 ed è protetto da brevetto europeo.** La metodologia di posa coniuga la massima celerità nell'applicazione al minimo ingombro, permettendo l'ottimizzazione degli spazi e la massima pulizia in cantiere.

FONOPRONTO è ideale per la realizzazione di massetti autolivellanti con spessore fino a 12 cm. Grazie alla natura scaglioso - fibrosa dell'aggregato plastico con cui viene confezionato FONOPRONTO rende minimo il rischio di formazione di cavillature o fessure e permette di incrementare l'isolamento termico e del rumore dovuto al calpestio sul solaio.

S.C. TRADE srl - Via Dell'Industria, 4 - Località Casumaro - 44041 Cento (FE)
Tel. +39 051 6849962 - Fax +39 051 6846845 - info@sctrade.net - www.sctrade.net

S.C.TRADE®
Soluzioni Tecnologiche per Costruire

l'impronta dello stile

MANINI PREFABBRICATI

progetto grafico e illustrazione MARINI

Sede Generale:
S. Maria degli Angeli - ASSISI / PG
Tel. 075-8041018 - Fax 075-8040447
e-mail: com@manini.it
http: www.manini.it

Centri produttivi:
BASTIA UMBRA / PG
APRILIA / LT
PERUGIA
SOMAGLIA / LO

MC-MANINI PREFABBRICATI

Certificazione FPC

Albo consulenti ATECAP

Per affrontare l'iter del Sistema di Controllo e di Certificazione (FPC) sul calcestruzzo, l'ATECAP ha messo a punto un elenco di consulenti ai quali rivolgersi.

Consulenti Enco suggeriti dall'ATECAP:

- *Prof. Mario Collepardi*
- *Ing. Silvia Collepardi*
- *Geol. Emanuela N. Croce*
- *Dott.ssa Glenda Fazio*
- *Ing. J. Jacob Ogoumah Olagot*
- *Ing. Roberto Troli*

Enco - Via delle Industrie 18 - 31050 Ponzano Veneto (TV) Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963 237
www.encosrl.it - info@encosrl.it

enco
Laboratorio per prove e ricerche sui materiali da costruzione

ENCO JOURNAL

enco
Società di Ricerca Software House

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Trimestrale - Anno XII - Numero 39

Direttore Mario Collepardi

PERCHÉ UN MASTER IN INGEGNERIA DEL CALCESTRUZZO?

La maggior parte degli Ingegneri ed Architetti che operano come progettisti appare impreparata nella gestione delle strutture in c.a. e c.a.p. quando si tratta di prescrivere correttamente le specifiche prestazionali del calcestruzzo da mettere in opera. Ci si limita a prescrivere soltanto la **classe di resistenza** (cioè la resistenza caratteristica), senza neppure precisare se si deve adottare un controllo statistico di tipo B, oppure un controllo meno impegnativo come è quello di tipo A, ancorché la scelta tra i due tipi di controllo influenza significativamente la costanza di qualità del calcestruzzo fornito ed il suo costo. Si ignora completamente la problematica della durabilità delle opere in c.a. e c.a.p., nonostante le specifiche su questa proprietà (nota come **classe di esposizione**) siano ben note nella letteratura tecnica, e siano precisate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni che prevedono una vita utile di servizio per almeno 50 o 100 anni a seconda della importanza della costruzione. Neppure si precisa la **classe di consistenza** (lavorabilità) del calcestruzzo fresco nonostante questa proprietà dipenda dalle difficoltà esecutive dell'opera che dovrebbero essere ben note al progettista. Ed infine non si precisa neanche lo spessore di copriferro la cui dimensione (importantissima per la curabilità dell'opera) condiziona la scelta del **diametro massimo dell'aggregato** da parte del produttore di calcestruzzo.

Non migliore appare la preparazione della maggior parte dei Direttori dei Lavori ai quali le Norme Tecniche per le Costruzioni affidano un importante e responsabile incarico di verificare la rispondenza del calcestruzzo messo in opera alle proprietà sopra menzionate. Ci si dimentica spessissimo di prelevare i provini cubici o cilindrici al momento del getto, in assenza dei quali diventa problematico contestare l'eventuale carenza della resistenza del calcestruzzo in opera attraverso l'estrazione di carote dalle strutture.

Non risulta neppure attiva l'azione di molti Collaudatori nell'accertamento di tutta la documentazione del materiale impiegato in relazione alle specifiche del progetto che, come si è già detto, sono carenti se non addirittura inesistenti.

Per ovviare a queste significative carenze nella preparazione dei giovani neolaureati nel settore delle costruzioni in c.a e c.a.p., un gruppo di Docenti Accademici e di Tecnici del mondo industriale costruzioni hanno organizzato un Master in Ingegneria del Calcestruzzo (MIC), sul quale in questo numero sono forniti dettagli sui contenuti, date, costi, e modalità per conseguire il diploma in MIC.

Mario Collepardi

In copertina: Fotomontaggio Enco

SOMMARIO

DALL'SCC AL MIC PASSANDO PER L'FPC
di Mario Collepardi (pag. 7)

MASTER IN INGEGNERIA DEL CALCESTRUZZO (MIC) (pag. 8)

INTERVENTI DI RESTAURO SU STRUTTURE LIGNEE. PARTE II: CASISTICA DI STRUTTURE LIGNEE
di Maurizio Piazza (pag. 11)

CONTESTAZIONI SUL CALCESTRUZZO PER INSUFFICIENTE RESISTENZA MECCANICA DELLE CAROTE
di S. Collepardi, F. Simonelli e R. Troli (pag. 17)

CONTROLLO RAPIDO DELLE MATERIE PRIME PER LA PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO
di E. Croce, G. Fazio, J.J. Ogoumah Olagot (pag. 21)

ZERO WASTE ESPERIENZA DI UN'ACCIAIERIA ELETTRICA - Parte II
di L. Bianco (pag. 26)

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

Direttore Responsabile
MARIO COLLEPARDI

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

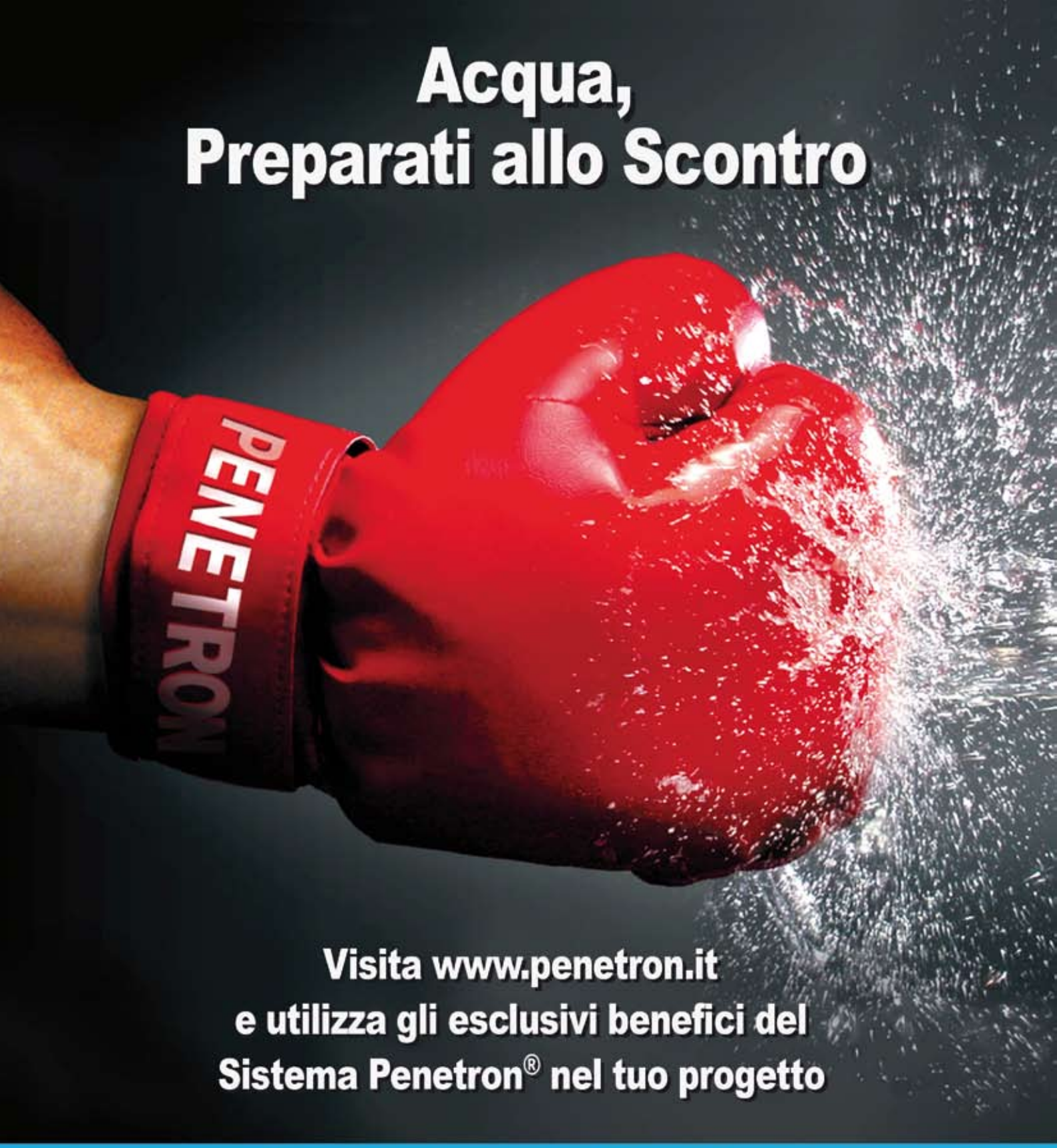
EDITORE
FOCUS
Ponzano V.to (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@encosrl.it

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

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

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

Acqua, Preparati allo Scontro



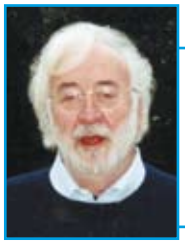
Visita www.penetron.it
e utilizza gli esclusivi benefici del
Sistema Penetron® nel tuo progetto

PENETRON® ADMIX è un' esclusiva formulazione per l'impermeabilizzazione e la protezione del calcestruzzo. Aggiunto al "mix-design" in fase di confezionamento genera un processo di cristallizzazione che diventa parte integrante della struttura

DITRON s.r.l.

Distributore Esclusivo per l'Italia del "Sistema Penetron®"
Crs. Peschiera, 336/D – 10139 Torino Tel. 011 7740744 Fax. 011 7504341
sito web: www. penetron.it email: info@penetron.it

DALL'SCC AL MIC PASSANDO PER L'FPC



Mario Collepardi
Enco srl, Ponzano Veneto (TV)
collepardi@encosrl.it

Tutti convengono sulla osservazione che il calcestruzzo è da sempre il materiale da costruzione più impiegato nel mondo.

Inoltre, in questi ultimi due decenni sono state introdotte alcune straordinarie innovazioni da rendere ***nuovo*** questo ***antico*** materiale. Si pensi, ad esempio, ai calcestruzzi ad alte ed altissime prestazioni, ai calcestruzzi fibro-rinforzati, a quelli a ritiro compensato e auto-compattanti (*Self-Compacting Concrete*, ***SCC***), come è mostrato in Fig. 1.

Infine, più recentemente, sono state attivate significative variazioni nelle norme sul calcestruzzo a seguito della costituzione di una normativa Europea (EN 197, EN 206, ecc.), che si è riflessa anche nelle nostre *Norme Tecniche per le Costruzioni* (***NTC***) emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in ottemperanza del Decreto Ministeriale del 14 Settembre 2005.

Nonostante queste considerevoli innovazioni e variazioni, l'insegnamento del calcestruzzo seguita ad essere pressoché ignorato in quasi tutte le Facoltà di Ingegneria Civile-Edile e di Architettura. Con l'obbligo della certificazione sul processo produttivo del calcestruzzo -noto anche come ***FPC***, *Factory Process Control* - si passerà da una produzione di tipo "artigianale" a quella di un processo industrializzato.

Si presentano, quindi, notevoli opportunità di progresso tecnico, oltre che di carattere commerciale, per i produttori di calcestruzzo preconfezionato capaci di strutturarsi in accordo a questa nuova normativa di legge ***NTC*** in accordo al summenzionato DM.

Aumentano anche le responsabilità delle imprese di costruzioni che debbono ordinare il calcestruzzo in ottemperanza dei criteri illustrati nelle Linee Guida del Ministero dei Lavori Pubblici per la prescrizione del calcestruzzo a prestazione o a composizione richiesta.

Fig. 1 – Calcestruzzo auto-compattante a ritiro compensato prodotto dalla Calcestruzzi SpA per un muro privo di giunti: Museo delle Arti Contemporanee, Roma, Progetto di Zaha Hadid-Londra, Impresa: Italiana Costruzioni

Aumentano anche gli oneri e le responsabilità dei professionisti che giocano un importante ruolo nella progettazione, nella direzione dei lavori o nel collaudo delle opere in c.a o c.a.p. Per fare solo un esempio, non si può più delegare all'ultimo degli operai – come spesso avviene sui cantieri- la scelta della **classe di consistenza** (lavorabilità) del tutto ignorata nella catena che va dal progettista all'impresa. Neppure si può più ignorare la **classe di esposizione** (durabilità) delle strutture in relazione all'ambiente cui sono esposte o la vita utile di servizio in relazione alle esigenze della proprietà e dell'importanza sociale dell'opera.

Per tutti questi motivi è stato messo a punto un programma per il *Master in Ingegneria del Calcestruzzo* (***MIC***) con la collaborazione di esperti in questo settore appartenenti al mondo universitario, a quello industriale e professionale.

Master in Ingegneria del Calcestruzzo (MIC)

6 Moduli con 60 lezioni tra Gennaio a Novembre 2008

CONTENUTO DEI MODULI

Primo Modulo (12 lezioni): Tecnologia del calcestruzzo in conformità alle Norme Tecniche per Costruzioni
Secondo Modulo (6 lezioni): Strutture in calcestruzzi speciali
Terzo Modulo (12 lezioni): Diagnosi del degrado e restauro delle strutture in c.a.
Quarto Modulo (12 lezioni): Mix-design del calcestruzzo preconfezionato e prefabbricato
Quinto Modulo (6 lezioni): Pavimentazioni industriali in calcestruzzo
Sesto Modulo (12 lezioni): Certificazione del processo produttivo del calcestruzzo industrializzato (FPC)

Calendario delle lezioni del MIC

Gennaio-Marzo 2008

28-29 Gennaio: Modulo 1
30 Gennaio: Modulo 2
31 Gennaio-1 Febbraio: Modulo 3
3-4 Marzo: Modulo 4
5 Marzo: Modulo 5
6-7 Marzo: Modulo 6

Ottobre-Novembre 2008

6-7 Ottobre: Modulo 1
8 Ottobre: Modulo 2
9-10 Ottobre: Modulo 3
17-18 Novembre: Modulo 4
19 Novembre: Modulo 5
20-21 Novembre: Modulo 6

DOCENTI DEL MIC

Mario Collepardi, già Professore del Politecnico di Milano, coordinatore del corso
Ing. Silvia Collepardi, Enco, Engineering Concrete
Geol. Nunzia Emanuela Croce, Enco, Engineering Concrete
Prof. Romeo Fratesi, Università Politecnica delle Marche
Ing. Giuseppe Marchese, Calcestruzzi SpA, Gruppo Italcementi, Bergamo
Prof. Alberto Meda, Facoltà di Ingegneria, Università di Bergamo
Prof. Giacomo Moriconi, Università Politecnica delle Marche
Ing. Francesca Simonelli, Enco, Engineering Concrete
Ing. Roberto Troli, Enco, Engineering Concrete

Sede del corso: ENCO, Ponzano Veneto (TV), Via delle Industrie 18/20

Segreteria del Corso: Mara Meneghel, Tel. 0422 963 771, Fax 0422 963 237, info@encosrl.it

ARGOMENTI TRATTATI

1° Modulo:

- Cementi. Inerti. Additivi chimici ed aggiunte minerali. Calcestruzzo fresco: lavorabilità, perdita di lavorabilità, bleeding e segregazione. Calcestruzzo indurito: resistenza caratteristica, durabilità, ritiro, deformazione viscosa. Messa in opera e stagionatura del calcestruzzo. Influenza della temperatura sulle proprietà del calcestruzzo: getti in climi freddi e caldi. Maturazione a vapore. Prescrizioni di capitolato in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

2° Modulo:

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

3° Modulo:

- Prove in sito ed in laboratorio. Il degrado del calcestruzzo armato. Calcestruzzi speciali per il restauro. Diagnosi del degrado nelle strutture in calcestruzzo. Il restauro delle opere in calcestruzzo. Introduzione ai materiali FRP. Le fibre in carbonio, in aramide ed in vetro. Le resine epossidiche. I materiali compositi e determinazioni delle caratteristiche meccaniche. L'impiego dell'FRP nel restauro delle opere in c.a.. Calcolo del rinforzo degli elementi inflessi con il metodo agli stati limite. Esempi di applicazione degli FRP nel rinforzo strutturale. Applicazione dei rinforzi in FRP nel restauro degli edifici danneggiati dal sisma.

4° Modulo:

- Lavorabilità e calcolo della perdita di lavorabilità in funzione delle condizioni ambientali, dell'umidità degli inerti e dell'impiego di additivi. Proprietà meccaniche a compressione, flessione e trazione alle brevi ed alle lunghe stagionature. Influenza della temperatura sul decorso della resistenza meccanica. Proprietà elastiche. Durabilità del calcestruzzo. Prevenzione del degrado in accordo alle Norme Europee EN 206 ed UNI 11104. Il ritiro del calcestruzzo come materiale e calcolo del ritiro nella struttura. Deformazione viscosa del calcestruzzo e calcolo dello scorrimento viscoso delle strutture in c.a. Combinazione degli inerti. Esercitazioni con il software CMD 2007 per l'elaborazione automatica del mix-design.

5° Modulo:

- Modello di interazione terreno-sottofondo. Classifizazione dei terreni. Resistenza a trazione per flessione: normativa per il calcolo del modulo di rottura. Resistanza a fatica e fattori di sicurezza per il progetto delle pavimentazioni. Classificazione dei carichi uniformemente distribuiti e carichi concentrati su piedritti e ruote veicolari. Dimensionamento dei giunti di contrazione: ritiro plastico e igrometrico. Esempi pratici di giunti di contrazione: calcolo dell'armatura metallica, imbarcamento dei pavimenti, barriera a vapore. Giunti di isolamento e di costruzione. Esame dei difetti nei pavimenti

6° Modulo:

- Il processo produttivo del calcestruzzo preconfezionato: dal mescolamento alla posa in opera. Depositi dei componenti: tramogge, sili e cisterne. Dosatori per le materie prime: cementi, cenere volane, inerti, additivi. Impianto di produzione. La preparazione del Manuale di Controllo del Processo Produttivo in accordo con le Linee Guida sulle "famiglie" di Calcestruzzo Preconfezionato. Software per il mix design finalizzato ai tecnologi del calcestruzzo preconfezionato: dalle caratteristiche del calcestruzzo fresco ed indurito alla elaborazione delle ricette. Software per i responsabili della produzione: controllo della umidità degli inerti e correzione delle pesate; vagliatura degli inerti e loro combinazione. Software per i venditori: prescrizione del calcestruzzo in accordo alla norma UNI 11104

Materiale didattico: copia informatica delle Norme Tecniche sulle Costruzioni e cinque libri tutti editi da ENCO:

- Il nuovo calcestruzzo
- Il calcestruzzo logico
- Il calcestruzzo vulnerabile
- Pavimentazioni industriali in calcestruzzo
- Controllo del processo produttivo del calcestruzzo

Materiale informatico: Software Easy & Quick 2007 per il Modulo 1, CMD 2007 per i Moduli 4 e 6.

Requisiti per la partecipazione ai Moduli del MIC

Tutti possono partecipare a uno o più Moduli del MIC; tuttavia il numero dei partecipanti è limitato. Verrà rilasciato un attestato di partecipazione per ciascun Modulo.

Requisiti per conseguire il Master in Ingegneria per il Calcestruzzo

- Si richiede una Laurea di primo o secondo livello in una delle seguenti discipline: Ingegneria, Architettura, Geologia, Fisica, Chimica, Chimica Industrial, Scienza e Tecnologia dei Materiali.
- Per i diplomati in discipline tecniche il conseguimento del MIC è subordinato ad una preliminare valutazione del loro curriculum professionale.
- Per il conseguimento del MIC è necessario partecipare a tutti i 6 Moduli anche se la frequenza è distribuita nell'arco dei mesi tra Gennaio e Novembre: è possibile, cioè, frequentare parte dei Moduli nel periodo Gennaio-Marzo completando la frequenza nel periodo Ottobre-Novembre.
- La partecipazione ad alcuni Moduli nell'anno 2008 potrà essere riconosciuta in forma di crediti a chi completerà la partecipazione dei 6 Moduli nel 2009.

Recupero dei crediti

Se il candidato al Diploma del MIC ha già frequentato nel periodo 2006-2007 corsi omologhi, in lingua italiana o inglese, presso ENCO o altri Organismi di consolidata qualificazione (come per esempio ASCI e ATECAP, AIMAT) sugli argomenti di alcuni moduli del MIC, verranno riconosciuti i relativi crediti e non è necessaria la partecipazione a questi Moduli. Rimane, tuttavia, l'obbligo dell'esame per il conseguimento del diploma in MIC secondo le modalità sopra indicate.

Diploma di Master in Ingegneria per il Calcestruzzo (MIC)

Il diploma di MIC sarà rilasciato a chi sostiene e supera un esame in date da concordare, dopo aver partecipato a tutti i 6 Moduli del corso.

Costo (IVA esclusa):

- 350 € per ciascuno dei Moduli da 12 lezioni;
- 200 € per ciascuno dei moduli da 6 lezioni;
- 350 € di supplemento per il Modulo 4 e 6 solo se si acquista il software CMD 2007;
- 1600 € per il corso completo di 6 Moduli + 350 € per il software CMD 2007;

sconto del 10% per ogni partecipante in più della stessa azienda.

Servizi inclusi nel costo: bus navetta albergo-sede del corso e ritorno, 2 coffee break e 1 pranzo a buffet per ogni giorno, lezioni in aula, esercitazioni in laboratorio.

Alloggi: cerca la lista sul sito www.encosrl.it

INTERVENTI DI RESTAURO SU STRUTTURE LIGNEE. PARTE II: CASISTICA DI STRUTTURE LIGNEE

Maurizio Piazza
Università degli Studi di Trento - maurizio.piazza@unitn.it

Sommario. *Nella Parte I di questo articolo, pubblicato sul numero di Settembre 2007 di Enco Journal,sono stati esaminati i recenti documenti normativi nei quali sono stati introdotti i principali criteri da seguire per la valutazione preventiva, l'elaborazione dei progetti e l'esecuzione di interventi volti alla conservazione, manutenzione, restauro di manufatti lignei costituenti elementi portanti di edifici di interesse culturale.*

In questa Seconda Parte dell'articolo si riportano i casi delle strutture lignee dei solai, per i quali ampio spazio è stato dato alla ricerca, soprattutto sperimentale, a partire dai primissimi anni '80, nonché gli studi effettuati sui collegamenti tradizionali (unioni di carpenteria) nelle strutture lignee di copertura.

La numerazione dei paragrafi, dei riferimenti bibliografici e delle Figure procede di seguito alla Prima Parte dell'articolo.

4. CONSOLIDAMENTO DI CAPRIATE LIGNEE

4.1 Il caso studio

Una importante tipologia di interventi riguarda tutte quelle operazioni volte alla conservazione, manutenzione o restauro degli elementi portanti delle coperture lignee degli edifici. Anche in questo caso l'apporto della sperimentazione diretta può contribuire a meglio comprendere il comportamento statico delle strutture lignee tradizionali e dei possibili apporti migliorativi in sede di manutenzione o restauro.

Una completa sperimentazione su una capriata lignea di notevole dimensione è stata svolta presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture dell'Università di Trento, in occasione del recente intervento di ristrutturazione (1998 - 2001) del Teatro Sociale di Trento. Una porzione di struttura lignea di copertura della scena è stata, infatti, sostituita con altri elementi e differenti materiali mettendo così a disposizione del citato Laboratorio le capriate lignee costituenti la struttura principale della copertura originaria (Fig. 4). Trattasi di incavallature di notevoli dimensioni (lunghezza 25,4 m, altezza 6,4 m), risalenti all'inizio dell'Ottocento (1819), di valore storico-culturale decisamente elevato, un esempio di struttura lignea

Fig. 4 - Smontaggio delle capriate lignee dalla copertura del Teatro Sociale di Trento

tradizionale ancora in buono stato, eccezion fatta per l'elemento di catena ed i nodi puntone-catena "sostituiti" negli anni '50 con elementi metallici. É stata ricomposta una sola capriata utilizzando le membrature meglio conservate di due incavallature originali, e per essa è stato impostato un programma a lunga scadenza, volto ad analizzarne ogni aspetto, anche allo scopo di mostrare in dettaglio l'applicazione di una procedura di analisi di strutture lignee antiche sufficientemente esaustiva ed aderente ai criteri richiamati nella citata UNI 11138 [1].

Sulla struttura sono state dunque eseguite le seguenti operazioni: indagine storico-tipologica; esame degli elementi strutturali; esame delle connessioni; operazioni di consolidamento, con particolare riguardo alla tecnica utilizzata per ristabilire la continuità longitudinale tra pezzi

diversi di un medesimo elemento, e sui collegamenti, con la massima attenzione per garantire un comportamento in esercizio simile a quello originario; operazioni di messa in opera, condotte in Laboratorio; prove sperimentali di carico; analisi numerica della struttura, svolta con modello ad elevato grado di discretizzazione, considerando le effettive caratteristiche geometriche e meccaniche dei singoli elementi, nonché l'effettivo funzionamento semirigido dei collegamenti; verifiche statiche. Nel seguito si descrivono sinteticamente solo alcuni aspetti di notevole interesse relativi alla sperimentazione svolta, rimandando per eventuali approfondimenti alla memoria [8].

4.2 Indagini preliminari

La capriata oggetto dello studio è una classica capriata tradizionale composta (Fig. 5), ottenuta inserendo, al fine di raggiungere luci maggiori e per rispondere ad esigenze di servizio nella zona della scena, una "sottostruttura" lignea all'interno di una capriata palladiana semplice. I collegamenti sono realizzati mediante classiche connessioni a dente cuneiforme, ovvero con giunti a tenone e mortasa, eccezion fatta per le zone di aggancio della catena e della controcatena al monaco centrale o ai colonnelli laterali, dove si è fatto ricorso a perni metallici bloccati inferiormente con dado e rondella.

Fig. 5 - La capriata tradizionale composta oggetto di studio, con telaio di carico e ponteggio metallico assemblati in laboratorio

Dopo lo smontaggio delle capriate dalla copertura del Teatro Sociale, le prime fasi di lavoro hanno riguardato la pulitura e la rimozione completa di elementi metallici (chiodi, bulloni, perni), in gran parte ossidati, presenti nella zona superficiale delle membrature lignee. Alcune delle travi costituenti le capriate (35 elementi aventi lunghezza compresa fra 1,8 m e 8,5 m, con sezione variabile da 25x25 cm a 30x30 cm) presentavano stati di diffuso e profondo degrado causato da attacchi di funghi ed insetti. Quindi, dopo un accurato rilievo geometrico, si è proceduto ad una sommaria rifilatura dei singoli elementi, per ridurre l'influenza di zone con evidente degrado sui risultati delle numerose prove non distruttive eseguite in seguito.

Durante la prima fase di indagine le caratteristiche del legname sono state valutate con classificazione a vista secondo le indicazioni fornite dai documenti: DIN 4074 [9], UNI 11035 [10] e criterio per la classificazione "secondo Giordano" (come richiamato in [10]).

Dopo la determinazione della specie legnosa (Abete bianco, *Abies alba Mill.*, e Abete rosso, *Picea abies Karst.*) e la misura di altre caratteristiche del legname (geometria di sezione, posizione ed estensione di difetti, degradi e danni), il legname è stato esaminato con prove non distruttive strumentali, eseguendo: 960 prove con igrometro elettrico (Hydroette® HT 95); 2052 indagini con sclerometro da legno (Pilodyn® 2J); 1640 indagini con la macchina d'impronta [3]; 91 indagini con il trapano strumentato (Resistograph® 1410); 60 prove dinamiche (martello, accelerometro ed analizzatore di frequenze); 180 prove ultrasoniche (Sylvatest®). Scopo di queste prove (esclusa quella dell'umidità) è stato quello di tentare di definire il modulo elastico dei singoli elementi, parametro fondamentale per poi valutare e simulare numericamente il comportamento statico dell'intera capriata [11].

La bontà delle risultanze sperimentali fornite dalle prove indirette è stata indagata sottoponendo poi gli elementi lignei alla prova a flessione statica cosiddetta "su quattro punti" ISO 8375. Identificati i parametri meccanici del legname, si è proceduto al consolidamento degli elementi, alcuni dei quali erano stati manomessi anche dai tagli effettuati nella fase di smontaggio e trasporto. Il consolidamento, effettuato sui puntoni di falda e sulla catena, è consistito in unioni di tipo innovativo, mediante l'utilizzo di quattro barre metalliche filettate Ø 24 mm, inserite longitudinalmente all'interno dell'elemento, ed incollate mediante idoneo formulato epossidico bicomponente (Fig. 6). Durante la fase di assemblaggio, inoltre, si sono ricostruite le connessioni catena-puntone, catena – contropuntone nonché le mensole di sacrificio, seguendo

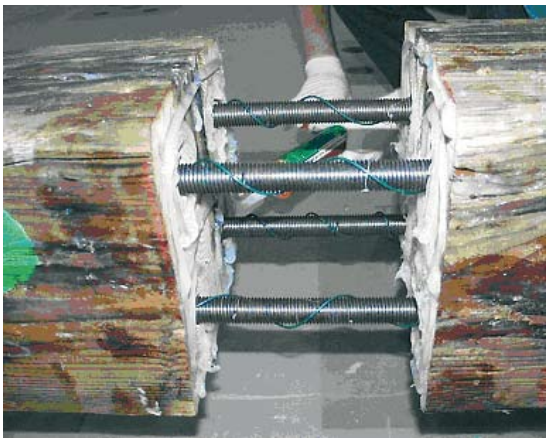


Fig. 6 - Consolidamento statico per ristabilire la continuità di un elemento

le geometrie dell'originale, in modo da potere riprodurre in laboratorio per la capriata le medesime condizioni in opera.

4.3 Prove di carico sulla capriata riassemblata in laboratorio

La fase successiva ha riguardato il montaggio, nel nuovo Laboratorio Prove Materiali e Strutture presso la Facoltà di Ingegneria di Trento, della capriata e delle strutture ausiliarie necessarie alla esecuzione delle prove di carico (Fig. 5). Per le successive prove di carico si sono utilizzati due telai di carico, ancorati alla struttura del laboratorio, cui sono trasferite le azioni dei martinetti idraulici che, tramite interposizione di cella di carico e traversa di ripartizione, impongono due carichi concentrati su ciascun puntone. Durante le prove di carico, le azioni sono state fatte variare sia in termini di valore che di tipologia (simmetrica o non simmetrica) e sono stati misurati gli spostamenti in punti significativi della struttura (abbassamenti, scorrimenti, chiusure/aperture dei nodi); essi sono stati acquisiti tramite 30 trasduttori LVDT ancorati ad elementi fissi (ponteggio per gli strumenti a quote elevate, aste metalliche con basamenti in calcestruzzo per i rimanenti) e a piastrine metalliche fissate alla struttura. Per ciascuna prova sono stati eseguiti un certo numero di cicli di carico - scarico.

Allo scopo di definire i valori delle azioni da utilizzare nelle varie prove, sono state analizzate le originarie condizioni di esercizio della capriata in opera. Determinati i valori dei carichi in gioco (peso proprio, permanente portato, carico da neve, sovraccarico accidentale), si sono ricercate le azioni necessarie da imporre ai martinetti al fine di generare nelle membrature più significative, per quanto possibile, le stesse sollecitazioni ottenibili, appunto, in esercizio. Tale passaggio è stato reso possibile mediante modellazione numerica con l'utilizzo di un codice di calcolo di facile utilizzo e molto diffuso a livello professionale.

I valori sperimentali rilevati sono stati organizzati, per ciascun punto di misura, sotto forma di diagramma *F-d* (*F* forza agente su un martinetto, *d* spostamento letto per ciascun trasduttore). Tali diagrammi presentano tutti andamento simile, con l'eccezione degli strumenti relativi a punti particolari della capriata, quali appoggi e zone di contatto. Si notano curve di carico sostanzialmente coincidenti per i vari cicli effettuati, con un modesto e trascurabile allontanamento del percorso di scarico da quello di carico. Non è stato evidenziato alcun fenomeno di decadimento delle caratteristiche di rigidezza dell'incavallatura soggetta a carichi ripetuti.

Il comportamento generale della capriata sotto carico si è rivelato quindi molto prossimo a quello previsto a livello teorico, salvo alcuni scostamenti riconducibili a normali fenomeni caratteristici delle strutture lignee tradizionali, quali imperfezioni nelle membrature e negli incastri, differenti condizioni agli appoggi, imprecisioni in fase di montaggio.

4.4 Validazione e taratura del modello numerico

I modelli utilizzati sono bidimensionali, realizzati tramite l'utilizzo di appositi elementi frame, nella definizione e nella schematizzazione dei quali si è tenuto conto di tutte le variazioni geometriche che caratterizzano le membrature lignee, nonché delle loro diverse proprietà in termini di modulo elastico e massa volumica. Le varie aste risultano collegate mediante elementi a comportamento non lineare (costituiti da tre molle, una per ciascun grado di libertà, essendo il sistema piano), che simulano il comportamento di tutte le connessioni lignee interne [12], nonché dei cunei lignei interposti fra puntone e contropuntone e di quelle zone nelle quali le membrature adiacenti poggiano "di piatto" una sull'altra, dove è stato simulato il comportamento del legno caricato ortogonalmente alla direzione di fibratura.

Appare evidente l'importanza, per una valida modellazione della capriata pur con codici non eccessivamente sofisticati, di una corretta valutazione del comportamento semi-rigido dei nodi che, essendo collegamenti di carpenteria tradizionali, risultano abbastanza lontani dalle usuali schematizzazioni. Tali nodi, in campi di esercizio, sfruttando un funzionamento per attrito, garantiscono un vincolo interno tra le membrature collegate non riconducibile agli schemi classici di cerniera o incastro [13]. Questi aspetti riguardano in particolare la rigidezza flessionale del collegamento: per quanto riguarda il collegamento puntone - catena, ad esempio, ci si può riferire a quanto riportato nel riferimento [14].

Preme sottolineare due aspetti che evidenziano l'importanza delle indagini sperimentali: da un lato la validazione dei modelli numerici e dall'altro la loro corretta taratura. In un contesto di completa sinergia tra studi numerici e prove sperimentali, queste ultime assumono dunque una importanza fondamentale nel quadro complessivo della ricerca effettuata.

Il processo di confronto sperimentale-numerico è avvenuto a diversi livelli, utilizzando il modello numerico realizzato senza l'ausilio del processo di taratura fisica, oppure utilizzando il modello numerico calibrato mediante le risultanze sperimentali corrispondenti alla condizione di carico simmetrica massima.

I risultati prodotti da tutti i confronti che si sono instaurati tra le diverse modellazioni sono apparsi estremamente chiari: l'adozione di una schematizzazione semi-rigida dei collegamenti (errore ~17%) comporta un notevole guadagno in termini di affidabilità del modello numerico nei confronti dei dati sperimentali, rispetto sia ad una modellazione con cerniere ideali (errore massimo ~37%), sia, ancor più, ad una che faccia ricorso ad incastri perfetti (errore massimo ~44%). Ovviamente, ciò non vale nel calcolo delle sollecitazioni (in particolare lo sforzo nor-

male) che risentono meno delle caratteristiche di rigidezza al nodo. Ciò conferma, tra l'altro, la bontà dell'approccio di analisi strutturale consigliato nell'Eurocodice 5 [15], dove viene ammesso l'utilizzo di un modello semplificato "a cerniera" per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), mentre si impone una schematizzazione della struttura di tipo semi-rigido per la trattazione della struttura agli stati limite di esercizio (SLE).

Con riguardo alle cosiddette *verifiche statiche*, si deve osservare come tutte le verifiche degli elementi risultano soddisfatte, mentre altrettanto non si può dire a livello locale nei collegamenti, dove emergono i maggiori problemi. Si citano, tra le altre, la situazione a livello dell'intaglio in catena e della insufficiente lunghezza del tallone, nonché nelle due zone dove sono presenti elevate concentrazioni di azioni ortogonali alla fibratura, ossia in prossimità della testa dei due colonnelli (Fig. 7).

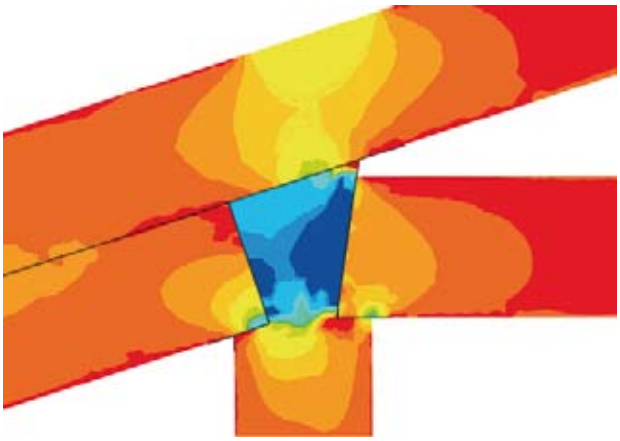


Fig. 7 - Modellazione di dettaglio (Abacus®): stato tensionale di compressione (ortogonale alla fibratura) in sommità del colonnello

5 CONCLUSIONI

Alcuni recenti documenti normativi hanno portato definitivamente all'attenzione dei Progettisti le problematiche legate al restauro dei manufatti lignei costituenti strutture portanti che, nel passato, sono stati oggetto di interventi non sempre corretti.

Gli esempi riportati, riguardanti il consolidamento dei solai e delle strutture di copertura, mettono in evidenza la stretta correlazione esistente tra analisi sperimentale e analisi numerica: da una parte l'analisi sperimentale conferisce validità a quella numerica e ne consente la taratura, dall'altra lo studio numerico completa e amplia quello sperimentale, permettendo anche altre differenti valutazioni.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] UNI 11138:2004 – Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici. Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano

[2] Piazza M., Lavisci P. – Load bearing timber structures in buildings: criteria for the preliminary evaluation, the design and the execution of works – "Interactions between Science, Technology and Architecture in Timber Construction ", Elsevier, Paris, ISBN 2-84299-605-4, 2004, pagg. 301-318

[3] Piazza M., Turrini G. – Una tecnica di recupero statico dei solai in legno – Recuperare, n. 5, PEG Editrice, Milano, 1983, pagg. 224-237

[4] Mettem C. – Structural timber-concrete composites - Advantages of a little known innovation – The Structural Engineer, 18, 2003

[5] Piazza M., Tomasi R., Modena R. – Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee – Biblioteca Tecnica Hoepli, Milano, ISBN 88-203-3583-2, 2005

[6] Piazza M. – Interventi di consolidamento con l'uso di elementi meccanici di collegamento: solai misti legno - legno – "Il manuale del legno strutturale, vol. IV: Interventi sulle strutture", Ed. Mancosu, ISBN 88-87017-41-7, 2004, pagg. 108 - 127

[7] Piazza M., Turrini G. – Il comportamento statico della struttura mista legno - calcestruzzo – Recuperare, n. 6, PEG Editrice, Milano, 1983, pagg. 214-225

[8] Piazza M., Il contributo della sperimentazione alla progettazione degli interventi di restauro su strutture lignee, Convegno Internazionale "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni", CIAS Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale - Scientifico, Ciprus, April 21-28, 2007, pagg. 215-234

[9] DIN 4074:2003 – Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz – Berlin

[10] UNI 11035-2:2003 – Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per tipi di legname strutturale italiani – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano

[11] Schlagenauf W. – Le capriate lignee del Teatro Sociale di Trento. Prove non distruttive, consolidamento, verifiche sperimentali e numeriche – Tesi di Laurea, Università degli Studi di Trento, Facoltà di Ingegneria, 2001

[12] Parisi M. A., Piazza M. – Mechanics of plain and retrofitted traditional timber connections – Journal of Structural Engineering, J. Struct. Engrg., ASCE, 126 (12), 2000, pagg.1395-1403

[13] Parisi M. A., Piazza M. – Seismic Behavior and Retrofitting of Joints in Traditional Timber Roof Structures – Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 9-12, 2002, pagg. 1183-1191

[14] Piazza M., Candelpergher L. – Meccanica delle connessioni tradizionali con elementi metallici nelle capriate in legno – L'Edilizia, n. 9/10, 2000, pagg. 42-51

[15] EN 1995-1-1:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General rules and rules for building – CEN

ProCom

idealhard®
the best solution for your concrete floor

IDEAL JOINT SYSTEM®
giunto di costruzione – construction joint

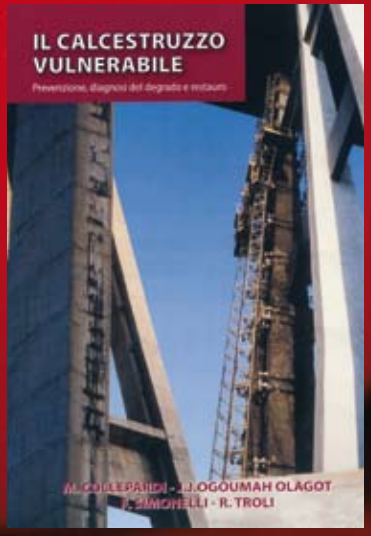
IDEAL HARD è un'esclusiva soluzione chimica incolore che incrementa la resistenza superficiale delle superfici in calcestruzzo soggette ad alto traffico pedonale e veicolare. IDEAL HARD penetra in profondità nelle superfici in calcestruzzo per sigillarle, densificarle, indurirle e renderle meno permeabili all'acqua. I pavimenti trattati con IDEAL HARD si mantengono più a lungo, costano meno per la manutenzione e sono antipolvere per moltissimi anni.
IDEAL HARD è il miglior prodotto sul mercato (richiedi la copia del test comparativo svolto dal laboratorio indipendente CTL - Illinois). Le caratteristiche primarie sono quelle di essere antipolvere, facile da mantenere e soprattutto resistente all'abrasione. E' il solo prodotto ad essere sigillante, densificante e corazzante chimico per calcestruzzo. GARANZIA ANTIPOLVERE 10 ANNI

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

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

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

A Natale regala un libro



Enco
Tel. 0422 963 771
Fax 0422 963 237
www.encosrl.it
info@encosrl.it

Additivi eccezionali per opere d'eccezione

Viadotto di Millau (Francia), Ponte di Rion-Antirion (Grecia), Miniera di Moab Khotsong (Sudafrica), Stadio Croke Park (Irlanda), Ikea di Roma (Italia), Tunnel di Nancy Creek (USA), Strada dei Tamarindi (La Réunion), Porto di Tangeri (Marocco)...

Da oltre 60 anni, **CHRYSO** offre la sua esperienza a professionisti dell'edilizia ed a progettisti, nella formulazione di calcestruzzi, collaborando al successo dei più prestigiosi cantieri internazionali.

La nostra competenza tecnica, le nostre gamme di prodotti innovativi ed il nostro personale vi permetteranno di soddisfare le esigenze tecniche più avanzate, i capitolati più rigorosi, le condizioni geografiche e climatiche più estreme, in tutti gli angoli del mondo.

CHRYSO: Abbiamo le soluzioni per costruire il futuro che immaginate.

CHRYSO

LA CHIMICA AL SERVIZIO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

CHRYSO ITALIA SPA · 24040 Lallio (BG) · Via Madonna · Tel. 035 693331 · Fax 035 693684 · info@chrysoitalia.com

www.chrysoitalia.com

CONTESTAZIONI SUL CALCESTRUZZO PER INSUFFICIENTE RESISTENZA MECCANICA DELLE CAROTE

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

INTRODUZIONE

Le contestazioni prese in esame in questo articolo sono certamente tra le più diffuse e nascono per una incredibile impreparazione da parte di molti tecnici delle costruzioni sul significato della resistenza del calcestruzzo fornito in cantiere, valutata mediante la R_{ck} misurata su provini cubici al momento del getto, e la resistenza (R_{ca}) del calcestruzzo in opera determinata su carote (cilindriche) estratte dalla struttura. Di seguito sono descritte in dettaglio le correlazioni tra le due determinazioni (R_{ck} e R_{ca}) e le responsabilità del fornitore di calcestruzzo e dell'impresa.

CASISTICA DELLE CONTESTAZIONI

In questa sede ci si limita ad osservare che:

A) la resistenza caratteristica del calcestruzzo fornito in cantiere, secondo il controllo di accettazione che deve essere eseguito a cura del direttore dei lavori (DL), è misurato su provini cubici (R_{ck}) e più raramente su provini cilindrici (f_{ck}) con rapporto altezza diametro h/D = 2; tra questi due valori, entrambi riferiti ai prelievi del calcestruzzo al momento del getto, esiste la seguente correlazione in funzione della diversa "snellezza" dei due provini:

$$\mathbf{f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}}$$

Per esempio, un calcestruzzo con R_{ck} = 30 MPa presenta una f_{ck} = 25 MPa. Questa prestazione meccanica viene sintetizzata con il simbolo **C 25/30** nota come classe di resistenza che riporta i valori della resistenza caratteristica "cubica" e "cilindrica". Se però i provini cilindrici presentano un rapporto *h/D* = 1 la resistenza "cilindrica" coincide con quella cubica per effetto della stessa "snellezza".

B) la resistenza meccanica del calcestruzzo in opera, che è ben diversa da quella misurata sul calcestruzzo al momento del getto, si misura su carote (necessariamente cilindriche per la loro estrazione dalla struttura) e la si indica con R_{ca}: la resistenza media delle carote estratte da una struttura (R_{ca}) può essere comparata direttamente con la resistenza media a 28 giorni (R_{cm}) dei provini cubici se le carote estratta presentano la stessa "snellezza" e cioè un rapporto *h/D* = 1:

per carote con h/D = 1

$$\mathbf{R_{ca} \Rightarrow \text{confronto con } R_{cm}}$$

Se invece le carote estratte dalla struttura presentano un rapporto *h/D* = 2 la R_{ca} può essere comparata direttamente con la resistenza dei provini cilindrici (R_{cil}) o con la resistenza cubica penalizzata per la diversa "snellezza":

per carote con h/D = 2

$$\mathbf{R_{ca} \Rightarrow \text{confronto con } R_{cil} = 0.83 \cdot R_{cm}}$$

C) la resistenza meccanica media della struttura misurata su carote risulta quasi sempre inferiore a quella misurata sui provini di calcestruzzo (destinato al getto della stessa struttura) secondo il controllo di accettazione eseguito del calcestruzzo al momento del getto. A causa della diversa compattazione con la quale si può più agevolmente trattare il calcestruzzo per confezionare i provini rispetto a quello gettato nelle strutture in opera, soprattutto se queste sono molto armate e la classe di consistenza del calcestruzzo fresco (lavorabilità) è troppo bassa, si verifica inevitabilmente un diminuzione della resistenza meccanica del calcestruzzo in opera (R_{ca}) rispetto al valor medio della resistenza misurata sui provini cubici (R_{cm}). Questa diminuzione è ammessa dalle **Norme Tecniche delle Costruzioni** (paragrafo 11.2.6) emanate in conformità del DM del 14 Settembre 2005 del Ministero dei Lavori Pubblici purché non superiore al 15% della

resistenza cubica dei provini. Deve quindi valere la seguente disequazione:

per carote con h/D = 1

$$R_{ca} \geq 0.85 \cdot R_{cm}$$

Nelle Tabelle 1 e 2 sono riportate alcune tipiche casistiche che frequentemente sfociano in contestazioni della fornitura di calcestruzzo; in queste Tabelle i simboli adottati per rappresentare le resistenze meccaniche sono:

- R_{ca}: resistenza meccanica media del calcestruzzo in opera delle carote con h/D = 1;
- R_{cm}: resistenza meccanica media a 28 giorni effettivamente ottenuta su provini cubici;
- R_{ck}: resistenza caratteristica effettivamente ottenuta su provini cubici.
- R_{cmpr}: resistenza meccanica media di progetto da verificare a 28 giorni su provini cubici;
- R_{ckpr}: resistenza caratteristica di progetto da verificare a 28 giorni su provini cubici.

Tra i valori caratteristici e quelli medi esistono le seguenti correlazioni:

$$R_{cm} \geq R_{ck} - 1.48 \cdot s$$

$$R_{cmpr} \geq R_{ckpr} - 1.48 \cdot s$$

dove s è lo scarto quadratico medio determinato sulla fornitura del calcestruzzo messo in opera in una determinata struttura. Per forniture di calcestruzzo omogeneo inferiori a 1500 m^3, si può adottare il controllo di tipo A che comporta per **1.4 • s** un valore di 3.5 MPa.

La valutazione di queste grandezze ricade sotto la responsabilità di tre figure:

- il direttore dei lavori (DL) che deve far prelevare il calcestruzzo con una frequenza che è in relazione al volume della fornitura;
- il produttore di calcestruzzo che deve fornire un conglomerato che nei controlli di accettazione sia conforme alla resistenza caratteristica di progetto (R_{ckpr});
- l'impresa che deve eseguire la messa in opera compattando adeguatamente il calcestruzzo fresco in modo tale che $R_{ca} \geq 0.85 \cdot R_{cmpr}$ e stagionando la superficie del calcestruzzo appena scasserato.

Quando una o più di queste figure è inadempiente si verificano inevitabilmente contestazioni sulla qualità del calcestruzzo fornito o sulla efficienza della messa in opera o sulla carente verifica da parte del DL.

La Tabella 1 riassume i risultati di quattro esempi, tutti con resistenza caratteristica di progetto (R_{ckpr}) eguale a 30 MPa e con controllo di tipo A, indicando di volta in volta le responsabilità del fornitore di calcestruzzo e/o dell'impresa.

1. Resistenza media effettivamente ottenuta (R_{cm} = 36 MPa) è maggiore di quella di progetto (R_{cmpr} = 33.5 MPa); la resistenza media del calcestruzzo in opera misurata su carote con h/D = 1 (R_{ca} = 30 MPa) è maggiore di quella accettabile (0.85 • R_{cmpr} = 0.85 • 33.5 = 28.5 MPa) secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → nessuna infrazione.
2. Resistenza media effettivamente ottenuta (R_{cm} = 36 MPa) è maggiore di quella di progetto (R_{cmpr} = 33.5 MPa); la resistenza media del calcestruzzo in opera misurata su carote con h/D = 1 (R_{ca} = 27 MPa) è inferiore a quella accettabile (0.85 • R_{cmpr} = 0.85 • 33.5 = 28.5

Tabella 1 - Casistiche di controlli di accettazione (R_{ck}) e in opera (R_{ca})

Cls con R_{ckpr} = 30 MPa (controllo tipo A: R_{cmpr} ≥ 33.5 MPa

Esempio n°	Controllo tipo A (in MPa)	Controllo su carote con h/d = 1 (in MPa)	Implicazioni strutturali	Implicazioni legali
1	R_{cm}=36>33.5 R_{ck}=32.5>30	R_{ca}=30>28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5	Nessun altra verifica	Nessuna infrazione
2	R_{cm}=36>33.5 R_{ck}=32.5>30	R_{ca}=27<28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5	Nuova verifica di sicurezza con R_{ck} ridotta	Non conformità: impresa
3	R_{cm}=30<33.5 R_{ck}=26.5<30	R_{ca}=27<28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5 R_{ca}>25.5=0.85•R_{cm}= =0.85•30	Nuova verifica di sicurezza con R_{ck} ridotta	Non conformità: fornitore cls
4	R_{cm}=30<33.5 R_{ck}=26.5<30	R_{ca}=24<28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5 R_{ca}<25.5=0.85•R_{cm}= =0.85•30	Nuova verifica di sicurezza con R_{ck} ridotta	Non conformità: fornitore cls e impresa

MPa) secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → nuova verifica della sicurezza della struttura se si adotta il valore di R_{ck} (desunto dalla R_{ca})* inferiore a quello di progetto (R_{ckpr} = 30 MPa) → responsabilità dell'impresa.

3. Resistenza media effettivamente ottenuta (R_{cm} = 30 MPa) è inferiore a quella di progetto (R_{cmpr} = 33.5 MPa); la resistenza media del calcestruzzo in opera misurata su carote con h/D = 1 (R_{ca} = 27 MPa) è inferiore a quella accettabile (0.85 • R_{cmpr} = 0.85 • 33.5 = 28.5 MPa) secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → nuova verifica della sicurezza della struttura se si adotta il valore di R_{ck} (desunto dalla R_{cm} - 3.5 = 30 - 3.5 = 26.5 MPa) → responsabilità del produttore di calcestruzzo.

4. Resistenza media effettivamente ottenuta (R_{cm} = 30 MPa) è inferiore a quella di progetto (R_{cmpr} = 33.5 MPa); la resistenza media del calcestruzzo in opera misurata su carote con h/D = 1 (R_{ca} = 24 MPa) è inferiore a quella accettabile (0.85 • R_{cmpr}) = 0.85 • 33.5 = 28.5 MPa) secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → nuova verifica della sicurezza della struttura se si adotta il valore di R_{ck} (desunto dalla R_{ca} = 24 MPa*) inferiore a quello di progetto R_{ckpr}) → responsabilità del fornitore di cls e dell'impresa.

La Tabella 2 mostra due esempi che si riferiscono a casistiche per le quali i valori di R_{ck} non sono disponibili per la inadempienza del DL nel prelievo dei provini:

1. Resistenza media R_{cm} non disponibile per assenza di prelievi; la resistenza media del calcestruzzo in opera (R_{ca}) superiore o eguale a quella accettabile (0.85• R_{cmpr}) in base alla resistenza media di progetto secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → DL inadempiente → nessuna ulteriore verifica.

2. Resistenza media R_{cm} non disponibile per assenza di prelievi; la resistenza media del cls in opera (R_{ca}) inferiore a quella accettabile (0.85• R_{cmpr}) in base alla resistenza media di progetto secondo il paragrafo 11.2.6 delle NTC → DL inadempiente → impossibile attribuire la responsabilità al fornitore del calcestruzzo o all'impresa in mancanza della R_{cm}.

CONCLUSIONI

Sono state esaminate alcune casistiche di contestazioni che potrebbero essere facilmente risolte individuando la responsabilità del fornitore di calcestruzzo, dell'impresa o di entrambi, se il DL, o un suo rappresentante, in ottemperanza alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (DM 14-09-05) emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici, adempisse alle sue responsabilità nel prelievo del calcestruzzo, nella corretta preparazione dei "cubetti" da compattare a rifiuto, e nella spedizione ad un Laboratorio Ufficiale che provvederà alla determinazione della resistenza meccanica del prelievo di calcestruzzo. Queste casistiche sono riassunte nella Tabella 1 e consentono un accertamento delle responsabilità mediante:

- la verifica della resistenza caratteristica effettiva (R_{ck}) che deve essere almeno eguale a quella di progetto (R_{ckpr});
- il confronto della resistenza meccanica media di progetto (R_{cmpr}) con quella della carota (R_{ca}) che deve essere almeno eguale all'85% di R_{cmpr} in ottemperanza alle summenzionate *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

In caso di inadempienze del DL (Tabella 2) per il mancato controllo di accettazione del calcestruzzo fornito (che deve possedere una effettiva R_{ck} almeno eguale a quella di progetto R_{ckpr}), diventa impossibile accertare le responsabilità del produttore di calcestruzzo o dell'impresa. Si può solo stabilire se si debba o meno procedere ad una nuova verifica della sicurezza della struttura in caso di un inadeguata resistenza del calcestruzzo in opera, quando cioè si verifica che $R_{ca} < 0.85 \cdot R_{cmpr}$.

* Il calcolo della R_{ck} desunto dalla R_{ca} può essere eseguito utilizzando le correlazioni tra R_{ck} e R_{ca} indicate nella norma EN 13791.

Tabella 2 - Casistiche di controlli di accettazione (R_{ck}) e in opera (R_{ca})

Cls con R_{ckpr} = 30 MPa (controllo tipo A: R_{cmpr} ≥ 33.5 MPa

Esempio n°	Controllo tipo A (in MPa)	Controllo su carote con h/d = 1 (in MPa)	Implicazioni strutturali	Implicazioni legali
1	Non eseguito	R_{ca}=29>28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5	Nessun altra verifica	Inadempienza DL
2	Non eseguito	R_{ca}=26<28.5= =0.85•R_{cmpr}=0.85•33.5	Nuova verifica di sicurezza con R_{ck} ridotta	Indempienza DL; impossibilire attribuire resp. a fornitore di cls o impresa◊

◊ Per tutelare il suo operato l'impresa deve formalizzare per iscritto l'inadempienza del DL ed eseguire i prelievi alla consegna del cls in contraddittorio con il fornitore di cls. D'altra parte, in assenza del DL, è opportuno che il fornitore di cls verifichi che i provini prelevati in contraddittorio con l'impresa vengano confezionati correttamente e conservati provvisoriamente in cantiere in ambiente adeguato in attesa di essere consegnati al laboratorio ufficiale

CONTROLLO RAPIDO DELLE MATERIE PRIME PER LA PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO

Emanuela Croce, Glenda Fazio, J.J. Ogoumah Olagot
Enco, Ponzano Veneto
info@encosrl.it www.encosrl.it

INTRODUZIONE

Il controllo e la verifica dell'accettabilità delle materie prime nella produzione del calcestruzzo industrializzato, in ottemperanza alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (***NTC***) emanate in conformità al DM del 14 Settembre 2005, deve avvenire in accordo con le *Linee Guida* (***LLGG***) del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore del Lavori Pubblici.

Nel paragrafo 7.2 delle summenzionate ***LLGG*** è indicata la frequenza con cui le verifiche devono essere eseguite su tutte le materie prime del calcestruzzo industrializzato; in assenza di questi controlli non è possibile ottenere la certificazione ***FPC*** (*Factory Process Control*) rilasciata da un Organismo Ispettivo, terzo ed indipendente oltre che autorizzato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Conseguentemente il Direttore dei Lavori, in assenza di questa certificazione, non deve autorizzare il getto del calcestruzzo per strutture in calcestruzzo armato (*CA*) e calcestruzzo armato precompresso (*CAP*).

Quasi tutti i controlli consistono nella verifica dei documenti di consegna e nell'accertamento della marcatura *CE* e dei documenti di consegna. Tuttavia questi controlli, benché necessari, non sono sufficienti per garantire un'effettiva costanza composizionale delle materie prime. Si pensi all'aggregato, ad esempio: la documentazione suddetta relativa alla marcatura *CE* rappresenta spesso solo le prove iniziali (*ITT*) a seguito delle quali il controllo di produzione di fabbrica, parte integrante della marcatura *CE*, prevede una ripetizione delle prove con cadenza variabile (valutazione delle particelle fini frequenza settimanale, determinazione della forma dei granuli frequenza mensile, massa volumica e assorbimento d'acqua frequenza annuale, impurezze organiche leggere frequenza semestrale). Spesso tale verifica periodica non compare nella "carta d'identità" del materiale quindi quest'ultimo, pur essendo marcato *CE* in quanto possiede le prove *ITT*, è manchevole dei risultati delle prove periodiche di aggiornamento.

Esistono controlli più specifici e soprattutto più agili, in funzione dei sempre ristrettissimi tempi dell'imprenditoria edile, per garantire la costanza della composizione delle materie prime? Ed ancora: la verifica che queste posseggano effettivamente il marchio *CE* può garantire, come si richiede per un calcestruzzo industrializzato, una costanza di prestazione del prodotto finito? La risposta a questi quesiti è:

- sì, esistono controlli specifici e rapidi per accertare la costanza di qualità nelle caratteristiche delle materie prime che arrivano sull'impianto produttivo, attraverso il monitoraggio della presenza e della variazione quantitativa dei composti inorganici cristallini in esse contenuti;
- no, la marcatura *CE* non garantisce che in **tutte** le forniture non esistano variazioni, talvolta anche significative, delle caratteristiche delle materie prime.

In sostanza, la marcatura *CE* si basa su prove iniziali di caratterizzazione dei prodotti che vengono periodicamente verificate con frequenze diverse per ogni tipologia di prova in modo tale che tra un controllo di una fornitura e l'altra non si verifichino variazioni sostanziali nelle caratteristiche del prodotto. Tuttavia, sebbene la marcatura *CE* rappresenti statisticamente un notevole progresso, rispetto al passato, **essa non può fornire una puntuale garanzia di identità qualitativa e quantitativa delle materie prime per ogni specifica fornitura**, pur potendone garantire la qualità in senso lato.

CONTROLLO RAPIDO E PUNTUALE DI OGNI FORNITURA

Lo scopo di questo articolo è quello di descrivere una tecnica strumentale nota come diffrazione dei raggi X (*XRD*) per il controllo rapido e puntuale delle caratteristiche per ogni fornitura di ciascuna materia prima solida inorganica cristallina per la produzione di un calcestruzzo industrializzato.

Di seguito sono descritte le modalità per utilizzare questa tecnica strumentale nell'accertamento delle caratteristiche di ogni fornitura di cemento e di aggregati. La stessa tecnica può essere altrettanto vantaggiosamente adottata per caratterizzare rapidamente ogni fornitura di cenere volante, loppa d'altoforno macinata, filler calcareo.

Val la pena di evidenziare che, sebbene questa strumentazione non sia disponibile in ogni centrale di betonaggio, tuttavia essa è presente in molti dei laboratori sperimentali delle facoltà di chimica, fisica, mineralogia, ingegneria o in laboratori privati di ricerca sui materiali da costruzione. Con questa tecnica strumentale è possibile ricevere risposte sulle caratteristiche delle materie prime a costi più che ragionevoli (da 100 a 200 Euro) e in tempi piuttosto brevi. Questo tipo di accertamento diventa molto utile quando, in caso di contestazione nei confronti di un fornitore di materia prima, il produttore di calcestruzzo può dimostrare, in modo inoppugnabile, la variazione qualitativa che si è verificata nella fornitura oggetto della contestazione rispetto alle forniture precedenti.

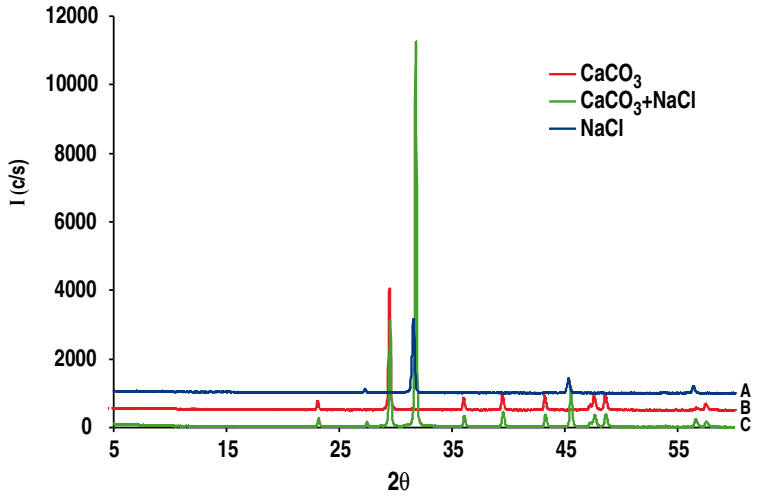


Fig. 1 - Diffrattogrammi dei raggi X su due composti puri (A per il cloruro di sodio e B per il carbonato di calcio) e quello di una miscela (C) contenenti i due prodotti

L'IMPRONTA DIGITALE DEI SOLIDI CON LA TECNICA XRD

L'utilizzazione della tecnica *XRD* consente di registrare una sorta di impronta digitale tipica di ogni sostanza solida cristallina presente in un cemento, in una tipologia di aggregato o in un'aggiunta minerale.

Nel caso della *XRD*, un fascio di raggi X colpisce il solido ridotto in polvere e pressato in forma di una pasticca alloggiata in un portacampione. I raggi X che vengono riflessi (più precisamente "diffratti") sono inviati ad un sensore che registra l'intensità della radiazione ricevuta in funzione dell'angolo di incidenza tra il fascio dei raggi X e la superficie del campione in polvere pressato. Si fa variare progressivamente, a velocità costante, l'angolo di incidenza dei raggi da 5° a 60° e, mediante un goniometro, si registrano gli angoli in corrispondenza dei quali il sensore mostra un segnale di intensità (*I*) più o meno forte, sotto forma di picchi più o meno alti. Il risultato è un diagramma, detto "diffrattogramma" o spettro *XRD*, dove sono riportati in ordinata le intensità (*I*) in colpi/secondo dei raggi *X* diffratti e sull'ascissa l'angolo di emissione dei raggi.

Il diffrattogramma *XRD* è tipico di ogni composto solido cristallino e non esistono due cristalli diversi che abbiano lo stesso diffrattogramma, così come non esistono due uomini con la stessa impronta digitale. I diffrattogrammi di tutti i minerali solidi cristallini sono archiviati in una banca dati, come se tutte le persone venissero schedate attraverso la loro inconfondibile impronta digitale.

La Fig. 1 mostra il diffrattogramma del cloruro di sodio (*A*) e del carbonato di calcio (Calcite) (*B*); si può notare che i due composti presentano picchi di diffrazione diversi per la loro posizione sulla scala degli angoli e per la loro intensità. L'impronta digitale del cloruro di sodio è ben diversa da quella della Calcite!

Sulla stessa Fig. 1 è mostrato un diffrattogramma (*C*) che si riferisce ad una miscela dei due suddetti composti attraverso la registrazione contemporanea dei picchi sia del cloruro di sodio che del carbonato di calcio. L'interpretazione del diffrattogramma (*C*) della miscela è possibile solo grazie alla conoscenza dei diffrattogrammi, (delle impronte digitali!) dei composti puri del cloruro (*A*) e del carbonato (*B*).

Purtroppo però quasi mai ci si trova ad analizzare un composto puro o costituito da due soli minerali; in realtà il riconoscimento dei vari composti presenti in una miscela avviene attraverso un confronto tra "l'impronta digitale" della miscela registrata sperimental-

mente e quella di tutti i prodotti la cui impronta digitale è già presente nella banca dati. Tali operazioni di confronto sono attualmente rese estremamente veloci grazie all'ausilio delle tecnologia informatica che mette a disposizione banche dati estremamente complete e software che rendono molto veloce la ricerca dei singoli minerali. C'è da dire però, ad onor del vero, che una parte fondamentale dell'indagine è svolta da un operatore che abbia buona esperienza nell'analisi delle materie prime del calcestruzzo: sebbene sia vero che le impronte digitali sono caratteristiche di ciascun minerale è pur vero che in una miscela complessa la disponibilità di una banca dati, seppur vastissima, sarebbe un mezzo inutile in mano ad un operatore, pur competente in diffrazione, ma poco esperto nello studio dei calcestruzzi.

Nel caso del cemento si può accertare la presenza dei quattro componenti mineralogici presenti nel cemento Portland (noti come C_3S, C_2S, C_3A e C_4AF), il solfato di calcio che funge da regolatore della presa (presente in forma di gesso bi-idrato, semi-idrato e anidro) ed eventuali componenti presenti nei cementi di miscela come per esempio il calcare.

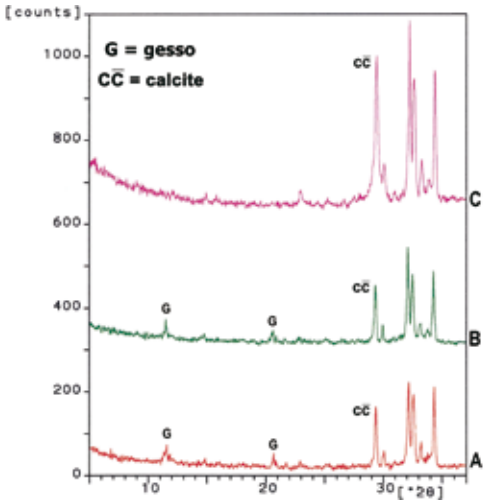


Fig. 2 - Diffrattogramma dei raggi X su tre forniture di cemento: A, B e C

LA TECNICA XRD APPLICATA AL CONTROLLO DELLA COSTANZA DI QUALITA' DELLE FORNITURE DI CEMENTO

A titolo di esempio si riporta un tipico controllo diffrattometrico che si svolge su diverse forniture di cemento anidro.

Nella Fig. 2 sono riportati i diffrattogrammi di una fornitura di cemento (*C*) che presenta alcune anomalie (perdita di lavorabilità più accentuata) rispetto a due precedenti forniture *A* e *B*. I diffrattogrammi delle forniture di cemento *A* e *B*, entrambe con una lavorabilità che si protrae per un tempo accettabile nei corrispondenti calcestruzzi freschi, sono tra loro molto simili al punto che i due diffrattogrammi sono quasi sovrapponibili. Essi però si differenziano significativamente dal diffrattogramma della fornitura di cemento *C*, il cui corrispondente calcestruzzo presenta una maggiore perdita di lavorabilità durante il trasporto dall'impianto al cantiere, con conseguente necessità di ri-aggiunte d'acqua sul cantiere e possibili contestazioni da parte dell'impresa per la minore resistenza del calcestruzzo. Il diffrattogramma della fornitura di cemento *C*, se registrato immediatamente alla consegna nella centrale di betonaggio, consente di aprire una non-conformità della materia prima cemento, di prendere immediatamente adeguate misure per gestire la non-conformità del calcestruzzo (variazione nel dosaggio di additivo, cambio nel tipo di additivo, oppure blocco nell'impiego della fornitura *C*, ecc.), di dimostrare al produttore del cemento la significativa variazione nella qualità dell'ultima fornitura (*C*) il cui diffrattogramma presenta rispetto a quelli delle due precedenti forniture (*A* e *B*) la mancanza dei picchi del gesso contraddistinti dal simbolo *G*. Insomma si è trattato nel caso specifico di una fornitura di cemento impropria, comunque diversa dalle precedenti, e documentabile in modo inoppugnabile dalla diversa "impronta digitale" del cemento della fornitura *C* rispetto a quelle precedenti.

LA TECNICA XRD APPLICATA AL CONTROLLO DELLA COSTANZA DI QUALITA' DEGLI AGGREGATI

La stessa tecnica *XRD* si applica ancor meglio nell'evidenziare variazioni mineralogiche nelle forniture di aggregato. Queste variazioni, qualora rilevate, non necessariamente si ripercuotono su un diverso comportamento reologico e prestazionale del calcestruzzo a breve e medio termine (lavorabilità, resistenza meccanica, ritiro igrometrico, ecc.), purché le caratteristiche granulometriche degli aggregati siano molto vicine Tuttavia non si dovrebbe prescindere dal controllo di ogni fornitura, al fine di scongiurare il pericolo che comporterebbe la presenza di sostanze quali il gesso o prodotti minerali reattivi agli alcali con conseguenti grossi rischi di degrado per il calcestruzzo a medio e lungo termine.

Per chiarire meglio il concetto, ancora un esempio di un controllo diffrattometrico, questa volta per diver-

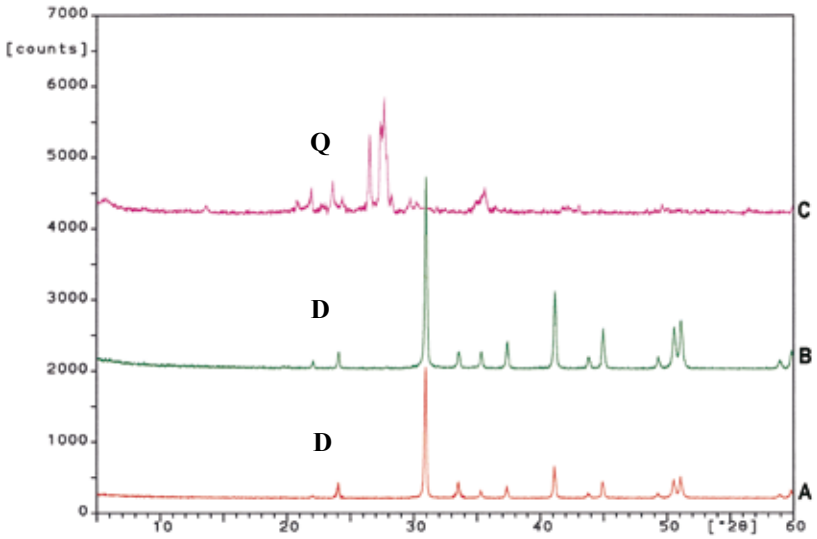


Fig. 3 - Diffrattogrammi dei raggi X su tre forniture di aggregati: A, B, entrambi a base di dolomite (D) e C a base di quarzo (Q)

se forniture di aggregati.

I diffrattogrammi della Fig. 3 evidenziano la significativa differenza nella composizione mineralogica di aggregati costituenti le forniture A e B (entrambe basate sulla presenza di roccia dolomitica, ed entrambe accettabili ai fini della certificazione dell'***FPC***), rispetto alla composizione di una terza fornitura di aggregato a base di silicati (C). Questa variazione comporta la verifica della conformità di quest'ultima fornitura di aggregato prima di essere impiegato con assoluta sicurezza, e comunque l'adozione di una procedura per produrre una nuova "famiglia" di calcestruzzi, diversa da quella finora prodotta.

CONCLUSIONI

L'impiego della diffrazione dei raggi X, nota come *XRD*, consente in tempi relativamente brevi di verificare che il cemento o l'aggregato di nuova fornitura siano conformi o meno alle precedenti forniture. In caso di difformità occorre aprire una pratica di non-conformità della materia prima che si traduce, generalmente, in qualche variazione del processo di certificazione del calcestruzzo nell'ambito del controllo del processo di produzione (***FPC***).

Questa variazione, ad esempio nel caso di diverse caratteristiche del cemento appena consegnato, può consistere comunque nell'utilizzo del cemento non-conforme, purché si adotti qualche modifica nella composizione del calcestruzzo (per esempio: aumento del dosaggio di additivo o cambio del tipo di additivo). Nel caso in cui la gestione della non-conformità si presenti di difficile soluzione, si può arrivare fino al blocco dell'impiego del cemento difforme, per non incorrere in variazioni inaccettabili per le prestazioni che ci si attende dal calcestruzzo.

La variazione di composizione mineralogica di un aggregato, rispetto alle precedenti forniture valutate accettabili per l'assenza di sostanze pericolose, non necessariamente comporta una variazione delle prestazioni a breve-medio termine del calcestruzzo (lavorabilità e resistenza caratteristica), purché il materiale lapideo presenti la stessa distribuzione granulometrica delle precedenti forniture. Tuttavia rimane un grosso interrogativo sulla gestione della non-conformità di questo aggregato in relazione al comportamento a medio-lungo termine, soprattutto per il rischio di una possibile reazione alcali-aggregato che deve essere assolutamente esclusa prima di impiegare questo aggregato nella produzione del calcestruzzo industriale attraverso test petrografici e chimico-fisici.

ZERO WASTE: ESPERIENZA DI UN'ACCIAIERIA ELETTRICA

PARTE SECONDA

Loris Bianco - Responsabile Ambiente di Ferriere Nord S.p.A.
LBianco@pittini.it

INTRODUZIONE:

Sono aumentati gli stake holders delle imprese siderurgiche: dalla società, dall'ambiente oltre che dalla economia provengono attese e richieste sempre più pressanti. Sviluppo sostenibile significa dare risposte a queste attese. E' indispensabile una modifica del modello di comportamento: da sistema aperto orientato al prodotto a sistema chiuso che considera tutti i materiali e le energie utilizzate. Nell'articolo viene illustrata l'esperienza in una acciaieria elettrica: all'inizio degli anni '90 è stato lanciato un progetto, denominato "zero waste", che aveva come obiettivo la valorizzazione di tutti i materiali precedentemente gestiti come rifiuti. Esso ha riguardato i materiali principali di una acciaieria: le scorie EAF.

Viene illustrato il quadro generale riepilogativo dei "sistemi chiusi" attivati. A oltre dieci anni di distanza dall'avvio, viene tracciato un bilancio che lo vede in gran parte realizzato.

In un precedente articolo (Parte Prima) pubblicato sul N:° 38 di Enco Journal (Settembre 2007) abbiamo esaminato il caso della scoria EAF, in questa seconda parte vedremo il completamento del programma con le scorie LF, cioè la scaglia delle polveri da abbattimento fumi.

SCORIA LF E REFRATTARI

Si tratta di materiali spesso eterogenei, di difficile gestione soprattutto perché in breve tempo si trasformano in una polvere molto fine. Anche in questo caso siamo partiti da una analisi sistematica.

Abbiamo visto che il loro tenore in calcio e magnesio sono costantemente elevati e quindi potenzialmente sono dei sostituti della calce. I clienti potenziali in questo caso eravamo noi!

Non è stato semplice. Sono sorti dubbi sugli effetti possibili nel processo di produzione dell'acciaio. Il primo passo è stato uno studio teorico che simulava l'effetto del re-impiego in sostituzione parziale della calce. Poi è seguita una serie di prove pilota che hanno dimostrato la fattibilità. Anche in questo caso abbiamo collaborato anche con Demolizioni Industriali (l'azienda specializzata nell'handling delle scorie) per la messa a punto del processo di preparazione ("sfioritura" del materiale, separazione magnetica delle parti metalliche, macinazione dei refrattari, stoccaggio e trasporto pneumatico al forno). Nel 2001 è stato costruito l'impianto definitivo che consente di riutilizzare tutta la scoria LF e tutti i refrattari. In questo modo si risparmia l'equivalente della calce contenuta.

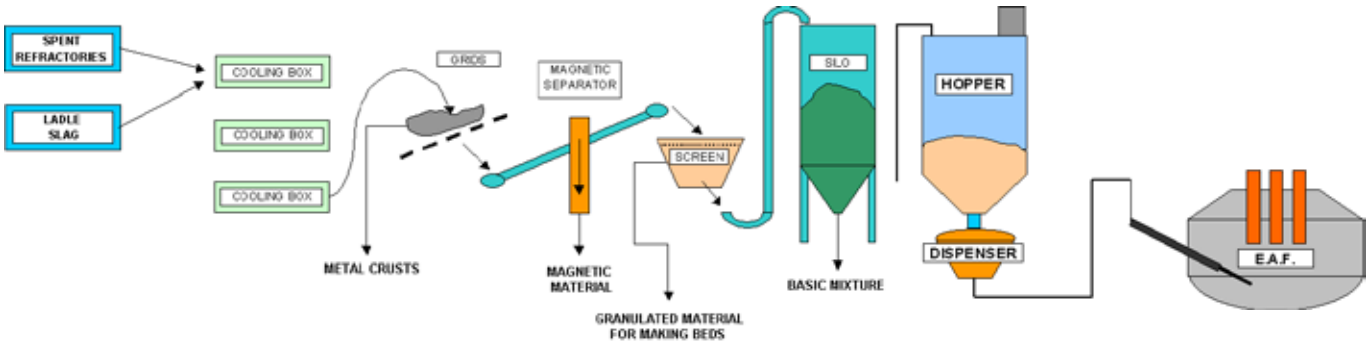
Le paure sui possibili effetti negativi sul processo di produzione acciaio sono svaniti. Dall'avvio dell'impianto tutta la scoria siviera ed i refrattari sono riutilizzati nel processo.

Scoria siviera liquida: fase di rovesciamento

Scoria siviera e refrattari sfioriti

Analisi chimica scoria siviera

FeO %	MnO %	SiO_2 %	Al_2O_3 %	CaO %	Mg %	P_2O_5 %	S %	Cr_2O_3 %	B_2O_3 %
2,5	1,5	18,4	10,1	60,4	5,5	0,0	0,5	0,0	0,1



Impianto riciclo: visione d'insieme

Impianto riciclo: iniettore scoria dentro il forno

SCAGLIA

E' noto che il ferro metallico non è stabile: esso si combina con l'ossigeno per ritornare nella forma di ossido. Tutte le superfici dei prodotti d'acciaio sono ricoperte da uno strato di ossido che è più consistente se si è formato a temperature elevate. Alla fine del processo in questa maniera in Ferriere Nord "produciamo" circa 20.000 t/anno di scaglie. Anche in questo caso si tratta di materiali particolarmente interessanti perché molto ricchi di Ferro. Nel nostro caso > 98% sottoforma di ossidi: nessun minerale è così ricco! A dire il vero già in passato veniva riutilizzato in altoforno, ma con molti vincoli. In questo caso il lavoro è stato più semplice: standardizzare il prodotto per poterlo valorizzare.

Sono stati migliorati i processi di separazione dai fluidi di raffreddamento sono stati cercati nuovi clienti. In effetti negli ultimi tempi anche per questo materiale sono state individuate strade e clienti interessanti: dall'industria chimica ai cementifici.

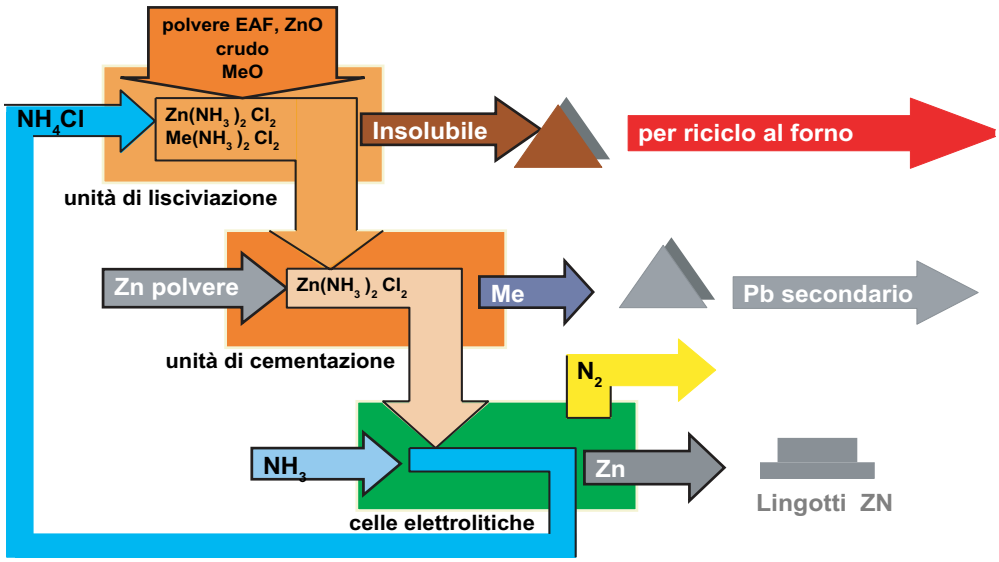
POLVERI D'ABBATTIMENTO FUMI

Le analisi ci hanno detto che si tratta di un "minerale ricco di zinco (20-30%) e di Piombo (5%), molto più ricco dei minerali naturali. Perché non produrre lo Zinco che viene immesso sul mercato? Assieme ad una società di engineering, la Engitec di Milano, abbiamo percorso la strada delle prove di laboratorio, l'impianto pilota e quindi nel 1998 il primo impianto industriale di produzione di zinco in catodi a partire da polveri d'acciaieria. Il processo Ezinex è rimasto in funzione presso di noi per due

anni, era in grado di trattare tutta la produzione di polveri EAF di Ferriere Nord per una produzione finale di zinco di 2000 ton/anno.

Il processo ha dimostrato la sua validità ed è stato inserito tra le migliori tecnologie disponibili (BREF). Ezinex da solo non rappresenta la soluzione definitiva perché di taglia troppo piccola, e perché non prevede il trattamento della parte ferrosa. Questi aspetti sono stati studiati e definiti per la versione finale dell'impianto industriale. Non abbiamo percorso l'ultima fase del processo perché nel frattempo i produttori di zinco sono diventati particolarmente competitivi nella produzione di zinco a partire dalle polveri EAF ed abbiamo deciso di seguire la strada più semplice del conferimento delle nostre polveri a quella filiera.

E' mia opinione che il processo Ezinex integrato con un processo pirometallurgico, quale l'Indutec, potrà in futuro prendere di nuovo il cammino: essi sono nati con la filosofia "zero waste" cioè si occupano di tutti i materiali valorizzandoli senza quindi abbandonarne una parte in discarica.



EZINEX, flow sheet del processo

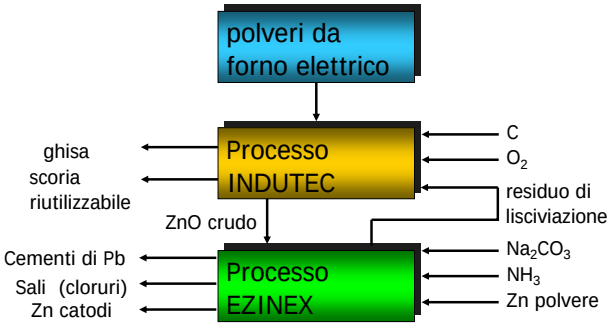
Se diamo uno sguardo definitivo alla distanza di 15 anni da quando è stato avviato il progetto "zero waste" possiamo dire che tutti i materiali secondari che, secondo la logica del "sistema aperto", sarebbero stati destinati all'abbandono o ad un utilizzo povero ora sono stati rivisti, rivalutati ed hanno trovato utile impiego in sostituzione di altri materiali che altrimenti sarebbero stati estratti dalle miniere o dalle cave. Basalti, porfidi, calcare, minerali di ferro, minerali di zinco e piombo.

EZINEX, estrazione dei catodi di zinco dalle celle lettrolitiche

Considerare i materiali secondari come prodotti significa preoccuparsi anche dell'economia. Tutti i nuovi prodotti sono considerati anche sotto l'aspetto economico: il loro contributo al processo globale è positivo. Una buona parte del contributo positivo deriva dalla valorizzazione delle caratteristiche che questi materiali hanno potuto manifestare e che li hanno resi appetibili ai potenziali clienti.

E' necessario tener conto che l'alternativa, oltre a non essere più sostenibile a lungo per motivi ambientali non è più nemmeno economicamente interessante: essa rappresenta solo un costo che è destinato a crescere nel tempo.

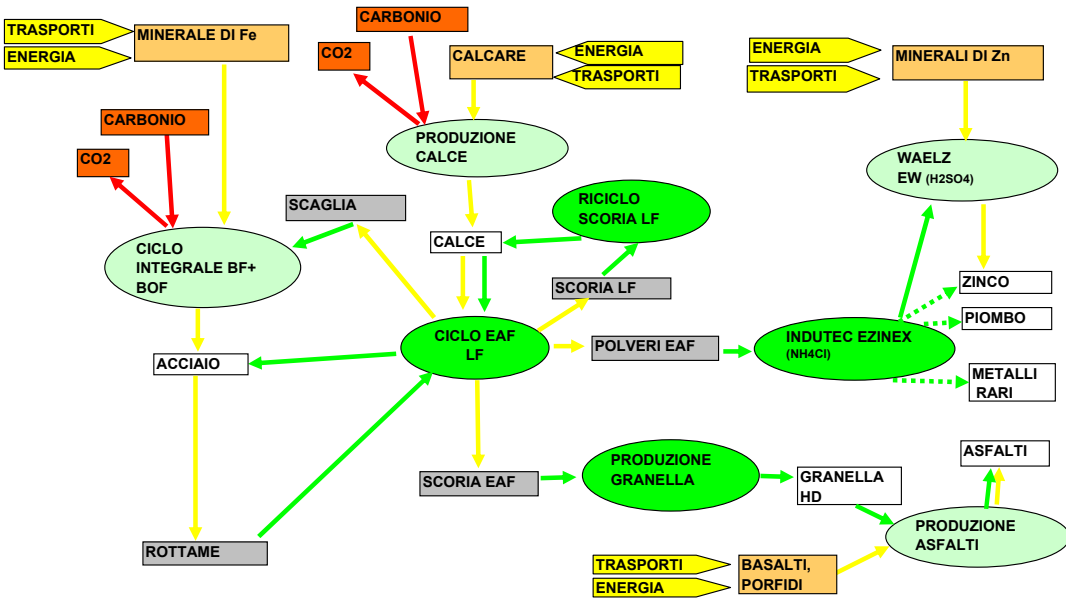
Inoltre non dobbiamo dimenticare che il processo all'EAF nasce per recuperare la materia e l'energia che il rottame ferroso contiene rispetto al materiale proveniente dall'altoforno, e quindi già si configura nell'ottica che in Ferriere Nord 15 anni fa abbiamo chiamato, forse un po' esageratamente, "zero waste".



EZINEX-INDUTEC schema processo completo

RIFERIMENTI WEB E ARTICOLI

- Processo Ezinex and Indutec: www.engitec.com
- S. Porisiensi – "Recycling of ladle slag and spent refractories by injection into an EAF" – Iron & Steel Technology June 2004 pp.63-66
- F. Memoli, C Mapelli M Guzzoni - "Recycling of ladle slag in EAF: a way to improve environmental conditions



Interazione del processo di produzione acciaio al EAF con altri processi destinatari dei nuovi prodotti

and reduce variable costs in steel plants" – Iron & Steel Technology February 2007 pp.68-76

- Del Fabbro M., Stefanutti M., Ceschia C., "Impiego di derivati delle scorie di forno ad arco elettrico come materiale eco-compatibile nella sovrastruttura stradale", www.buildup.it (tecnologie stradali)
- S. Porisiensi, M Maschietto, P Grandesso "Scorie di acciaieria: un nuovo aggregato ad elevate caratteristiche per conglomerati bituminosi speciali", www.buildup.it (tecnologie stradali)

Certificazione di processo del calcestruzzo?

Certificazione CE di: aggregati, prefabbricati, conglomerati bituminosi, malte, ...?

Scegli l'ente di certificazione con cui puoi parlare, perché è fatto di persone competenti che come Te hanno lavorato sul cantiere e comprendono i Tuoi problemi.

ABICert è organismo abilitato ed autorizzato dai Ministeri delle Infrastrutture (decreti n. 57170/A, n. 57170/B) e dell'Interno (DD n.075)
ABICert è l'unico organismo abilitato dai Ministeri delle Infrastrutture e dell'Interno per Bitumi e Conglomerati bituminosi

Verifica GRATIS con noi se sei pronto alla certificazione!

ABICert

085 9039330 085 9039077
Ente di Certificazione e Ispezione Milano Roma Ortona
www.abicert.it email: info@abicert.it

persone competenti - esperienza pratica di cantiere - servizio celere - rilascio tempestivo

ENCO

Tel. 0422 963 771 Fax 0422 963 237 www.encosrl.it

RICERCA NUOVI PRODOTTI

Silvia Collepardi
collepardi@encosrl.it

BENI CULTURALI

Emanuela N. Croce
croce@encosrl.it

DIAGNOSTICA E PROGETTAZIONE

Francesca Simonelli
simonelli@encosrl.it

DIDATTICA EDITORIA

Mara Meneghel
info@encosrl.it

CERTIFICAZIONI MATERIALI

J. Jacob O. Olagot
olagot@encosrl.it

ASSISTENZA TECNICO LEGALE

Roberto Troli
troli@encosrl.it

colabeton

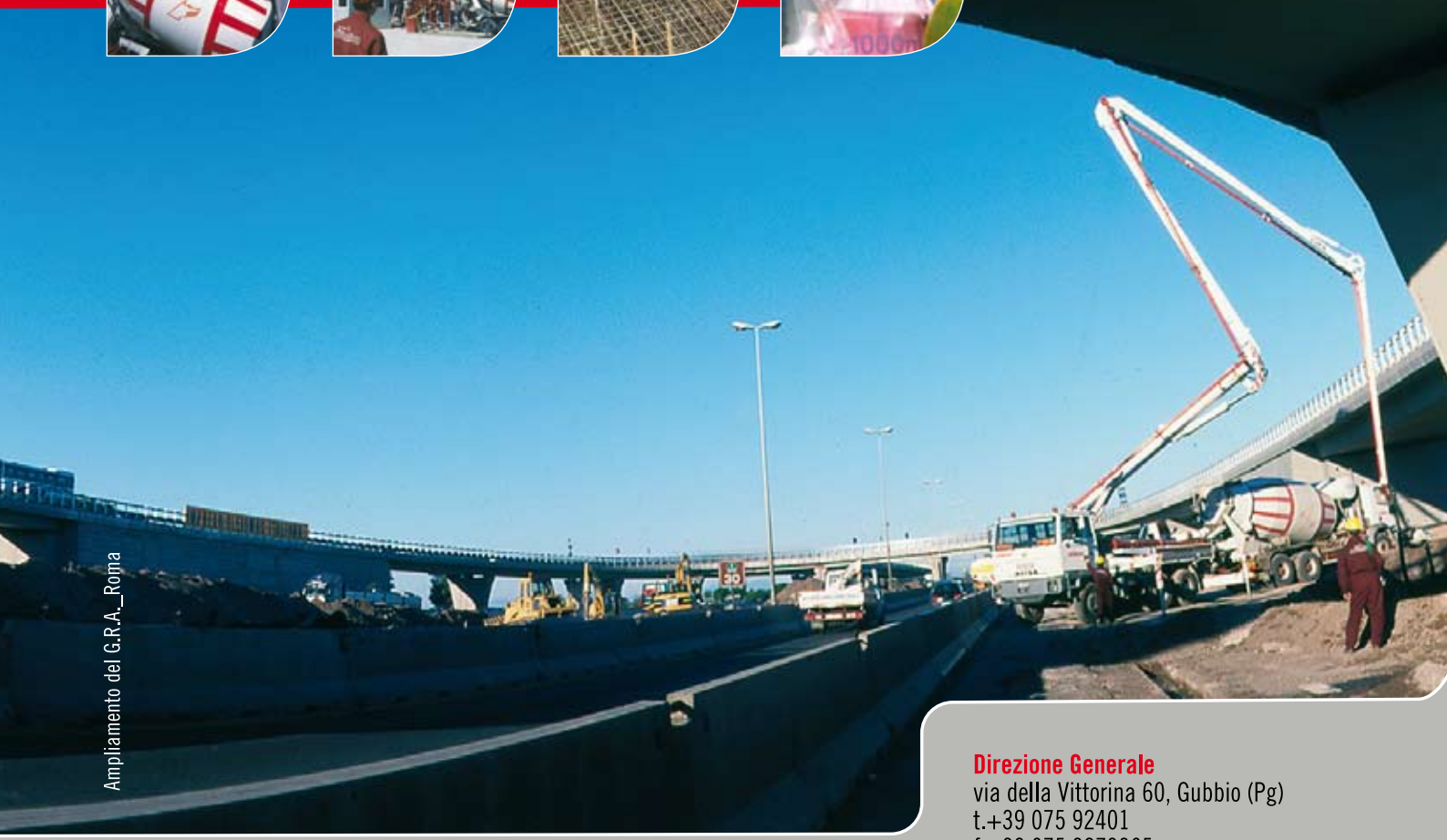
il futuro del calcestruzzo

servizio tempestivo

assistenza in cantiere

sistema qualità

ricerca e sviluppo



Ampliamento del G.R.A._Roma

L'ArteGrafica

Direzione Generale
via della Vittorina 60, Gubbio (Pg)
t.+39 075 92401
f.+39 075 9273965

Numero Verde
800-102102

www.colabeton.it
info@colabeton.it

Colabeton progetta, realizza e distribuisce calcestruzzi durabili a prestazione garantita e una vasta gamma di prodotti speciali.

Oltre 150 impianti di betonaggio completamente informatizzati distribuiti su tutto il territorio nazionale.

Una capillare rete commerciale integrata dai laboratori di area per la ricerca e lo sviluppo dei prodotti con un servizio tecnologico centrale che è punta avanzata e base dell'innovazione tecnologica.

Tra i leader del calcestruzzo in Italia c'è Colabeton.

STABIL-tec®

technology

Formulati per calcestruzzo per la stabilità volumetrica e fisico-chimica in diversificate condizioni di esposizione ambientale

TECNOCHEM® ITALIANA SpA
TECNO ECO LOGIC CHEM

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