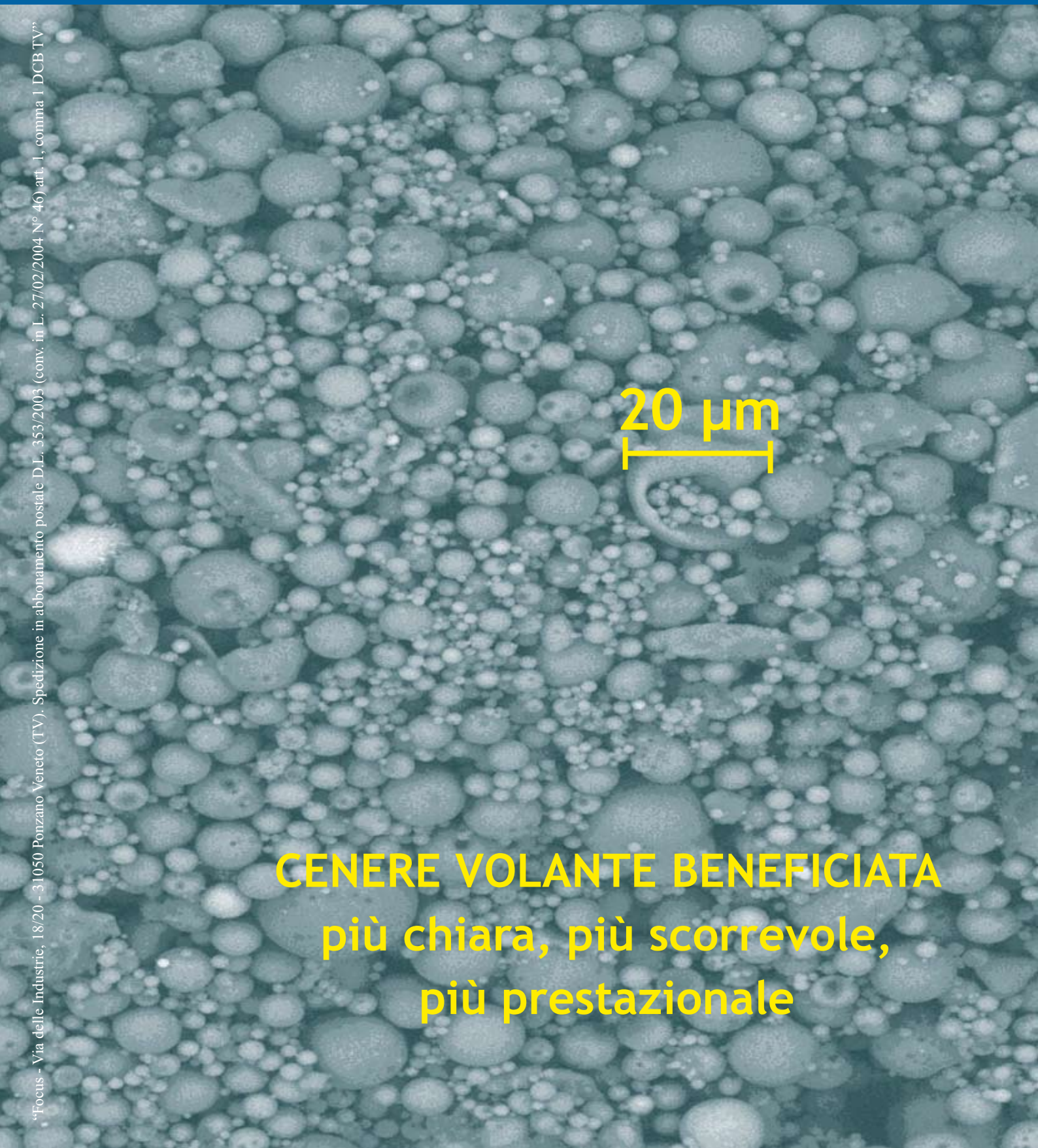
2006
Trimestrale
Anno XI
Numero 33

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE



CENERE VOLANTE BENEFICIATA
più chiara, più scorrevole, più prestazionale

"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"

Etna style

Dalla forza del vulcano siciliano
materiali tutta natura
per l'edilizia contemporanea.

scena - ph. A. Saffo

I premiscelati lavici Icea

Estratti e confezionati secondo la tradizione etnea e le più severe norme per la produzione di materiali di qualità (UNI EN 998-1:2004 e UNI EN 998-2:2004) sono l'ideale per chi richiede prodotti naturali, durevoli, di grande tenuta ed effetto estetico.

INDUSTRIA CALCESTRUZZI AFFINI E PREMISCELATI
icea® s.r.l.
dei F.lli DI FEDE

S.P. n. 3 - Km 0,300 Zona Industriale
Piano Tavola 95032 Belpasso (CT)
Tel 095 391095/391037 (PBX) - Fax 095 7131670
www.iceasas.com
info@iceasas.com info@iceasas.it

Calcestruzzi, malte, intonaci e finiture.
Pronti all'uso, facili da usare.

SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001:2000
SINCERT DNV

"IL" 6 GIORNI DI PALERMO

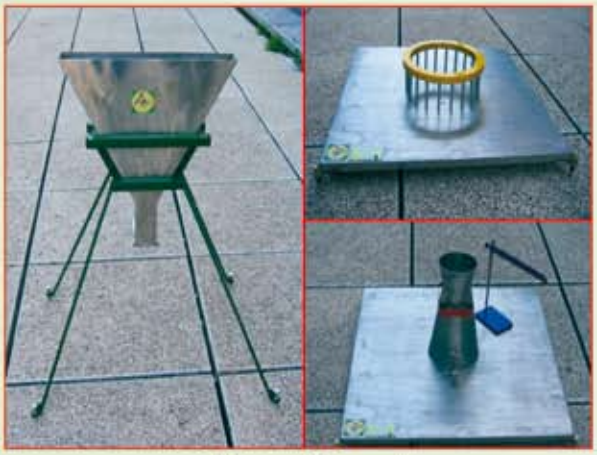
3° Corso Nazionale del:

"Tecnologo del Calcestruzzo"

Palermo: 18-20 Settembre 2006; 16-18 Ottobre 2006

Coordinatore Scientifico Prof. Ing. Salvatore Lo Presti

Associazione
Sperimentatori



Calcestruzzi
Innovativi

Elenco Docenti

Ing. Vincenzo CANZONERI.....(Laboratorio Metro s.r.l.)
Ing. Antonino CASANO.....(C.P.C. Costr. Pref. Cem. s.p.a.)
Prof. Mario COLLEPARDI.....(Laboratorio ENCO s.r.l.)
Ing. Giuseppe DI NATALE.....(Libero Professionista)
Prof. Andrea FAILLA.....(Università di Palermo)
Prof. Salvatore LO PRESTI.....(Università di Palermo)
Dott. Giovanni MANTEGAZZA.....(Ruredil s.p.a.)
Ing. Giuseppe MARCHESE.....(Calcestruzzi s.p.a.)
Dott. Roberto MARINO.....(Calcestruzzi s.p.a.)
Prof. Giuseppe MASCOLO.....(Università di Cassino)
Prof. Sergio MERIANI.....(Università di Trieste)
Prof. Corrado MONACA.....(Laboratorio Betontest s.r.l.)
Prof. Giacomo MORICONI....(Univ. Politecnica delle Marche)
Ing. Roberto TROLI.....(Laboratorio ENCO s.r.l.)
Geom. Nicola URSI.....(Pizzarotti s.p.a.)
Ing. Rosario URSO.....(Libero Professionista)
Ing. Vincenzo VENTURI.....(Laboratorio Sidercem s.r.l.)

Programma del corso:

1° Parte: Storia - Tecnologia - Prestazioni - Produzione

Lunedì 18/09/2006

Prof. M. COLLEPARDI..... Introduzione e cenni storici
Ing. G. MARCHESE..... Componenti
Prof. S. MERIANI..... Componenti
Prof. G. MASCOLO..... Componenti

Martedì 19/09/2006

Prof. M. COLLEPARDI..... Degrado del calcestruzzo
Prof. M. COLLEPARDI..... Durabilità delle strutture in calcestruzzo cementizio armato
Prof. M. COLLEPARDI..... Mix design del calcestruzzo
Prof. M. COLLEPARDI..... Prescrizioni delle prestazioni del calcestruzzo e delle modalità esecutive

Mercoledì 20/09/2006

Ing. V. VENTURI..... Normativa tecnica
Dott. R. MARINO..... Tecnica e la gestione della produzione del calcestruzzo
Geom. N. URSI..... Corretta messa in opera del cls
Ing. A. CASANO..... Prefabbricazione e precompressione: aspetti tecnologici dei cls e modalità esecutive

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

Lunedì 16/10/2006

Ing. R. TROLI..... Calcestruzzi speciali ed innovativi
Ing. R. TROLI..... Calcestruzzi ed opere massive
Ing. R. TROLI..... Calcestruzzi del prossimo futuro
Dott. G. MANTEGAZZA..... Pavimentazioni in cls fibrorinforzato
Ing. V. CANZONERI..... Strumentazioni e prove di laboratorio

Martedì 17/10/2006

Prof. C. MONACA..... Prove non distruttive per cls
Ing. R. URSO..... Edifici storici in cls armato
Ing. R. URSO..... Diagnostica strutturale del c.a.
Prof. G. MORICONI..... Monitoraggio dei manufatti in c.a.
Prof. A. FAILLA..... Risanamento strutture in c.a.

Mercoledì 18/10/2006

Ing. G. DI NATALE..... Esperienze di cantiere
Prof. S. LO PRESTI..... Sostenibilità e ricerca sperimentale

Sponsorizzato da:

ASI Consorzio Area Sviluppo Industriale di Palermo - BETONTEST s.r.l. - CPC PREFABBRICATI s.p.a. - ENCO Journal - ICEA s.r.l. Calcestruzzi - METRO s.r.l. - RICCOBONO Simone costruzioni edili - RUREDIL s.p.a. - SIDERCEM s.r.l.

Con il patrocinio di:

Provincia Regionale di Palermo - Università degli Studi di Palermo - Facoltà di Ingegneria di Palermo - Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia - Consulta Ingegneri della Sicilia - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo - ATECAP (Associazione Tecnico Economica del Calcestruzzo Preconfezionato)

Importo dell'iscrizione:

	ENTRO IL: 31/07/2006	DOPO IL: 31/07/2006
Singola	€ 1000	€ 1100
Multipla	€ 900	€ 1000
Parziale (1° o 2° modulo)	€ 700	€ 800
Studenti	€ 500	€ 600

Per ulteriori informazioni:

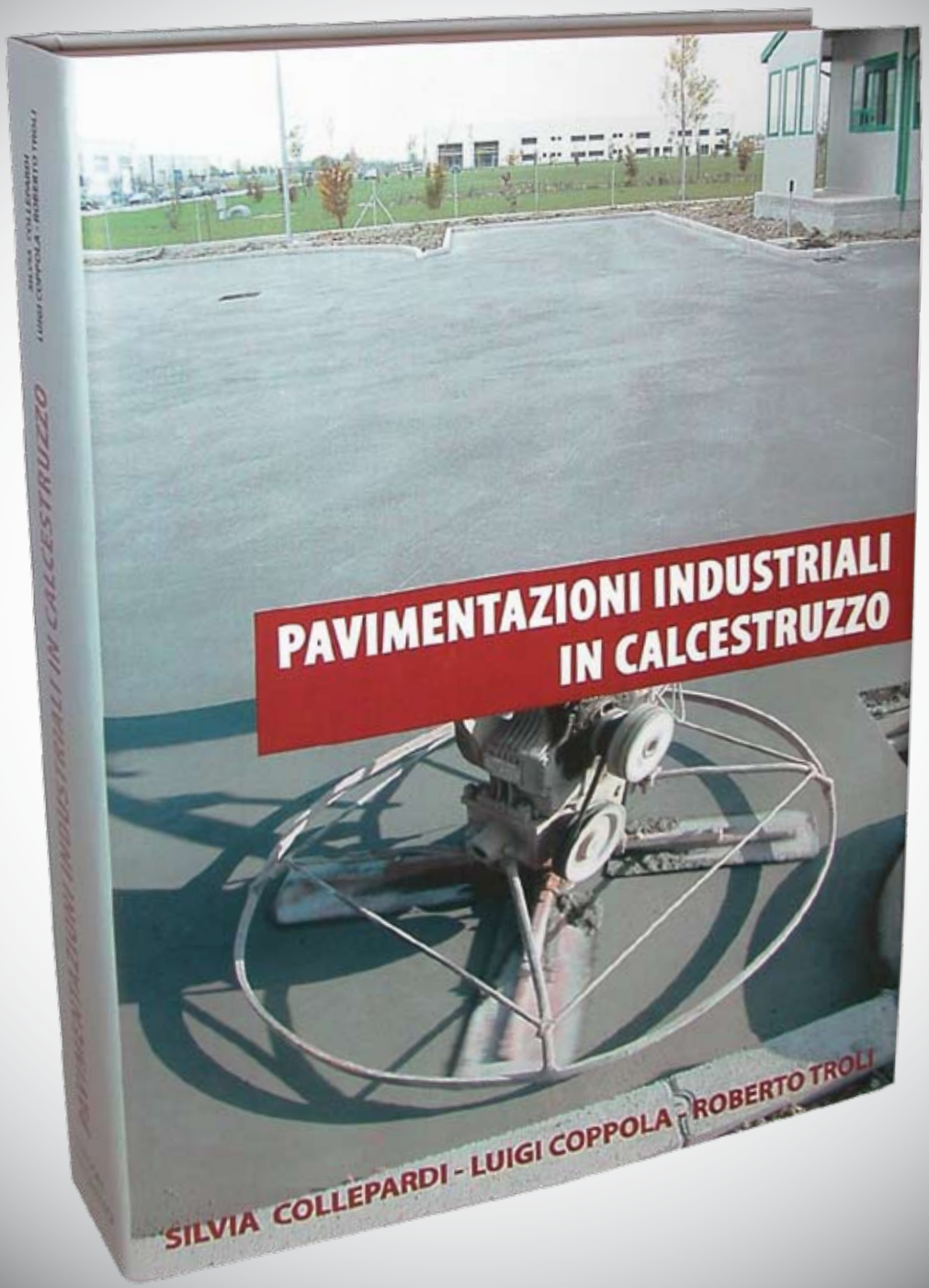
ASCI: via L. Da Vinci 302 - 90135 Palermo - Tel: +39.091.321738 - Fax: +39.091.6120582 - E-mail: info@asciweb.it
Sito web: http://www.asciweb.it - Segretaria Comitato Organizzatore: Maria Grazia Croce - E-mail: segreteria@asciweb.it

La quota di iscrizione al corso oltre le 50 ore di lezione comprende: n° 11 coffee break, n° 5 pranzi, la borsa con gli accessori, il libro di testo "Il nuovo calcestruzzo" 4ª edizione di M. Collepardi, i cd-rom con tutte le lezioni in PDF, il pranzo di fine corso con consegna degli attestati di partecipazione.

Il possesso di entrambi gli attestati di frequenza del corso (1° e 2° modulo) è condizione necessaria per essere ammessi agli esami per l'ottenimento del titolo di "Tecnologo del Calcestruzzo"
La quota di iscrizione non comprende né l'eventuale quota di iscrizione al corso di recupero, né l'eventuale iscrizione agli esami finali

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

... saperle costruire è un'arte ....



Enco Srl - Via delle Industrie, 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it

Acquistabile tramite il sito internet www.encosrl.it oppure telefonando al 0422 963771

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 XI - Numero 33
Direttore Mario Collepardi

CENERE VOLANTE "BENEFICIATA"

Nella pagina di copertina è mostrata un' immagine al microscopio elettronico a scansione di una cenere volante speciale proveniente da impianti termici a carbone, ottenuta a seguito di un trattamento consistente nella rimozione delle particelle più grosse di forma irregolare, incluse quelle ricche in carbone incombusto. Essa si presenta in colore chiaro e con particelle tutte in forma spettacolarmente sferica e di dimensione compresa tra 1 e 10 μm. L'unico svantaggio si questa cenere volante speciale, risiede nel fatto che in Italia deve essere importata a costi molto maggiori della normale cenere volante.

Nell'articolo a pagina 7 di questo numero si evidenziano alcuni interessanti vantaggi di questa speciale cenere volante, nota nella letteratura tecnica come "*beneficiated fly ash*", rispetto al fumo di silice ormai pressochè introvabile se non a prezzi stratosferici. Il trattamento di *beneficiation* è qualcosa di sofisticato: rimozione del carbone incombusto con metodi elettrostatici, e flottazione in aria per rimuovere i granuli di maggior dimensione. Tuttavia, si tratta di una tecnologia accessibile a chi questa cenere produce (per esempio, ENEL) o a chi questa cenere vorrebbe utilizzare o distribuire (per esempio cementerie). Nella situazione attuale, però, non mi sembra che la cenere "beneficiata" interessi a nessuno dei due interlocutori.

Eppure la richiesta di calcestruzzi ad alta resistenza meccanica (R_{ck} = 85 MPa) o ad alta prestazione con durabilità a lungo termine (vita utie di servizio di 50 o 100 anni), entrambi previsti nelle *NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI*, emanate con DM del 14 settembre 2005, dovrebbe stimolare la ricerca su questa interessante innovazione come è appunto la cenere volante "beneficiata". L'innovazione nella tecnologia del calcestruzzo passa ormai attraverso la ricerca sul miglioramento dei materiali supplementari, come è la cenere volante da carbone o la loppa d'altoforno, e la messa a punto di additivi specifici che rendano più prestazionali i cementi di miscela da impiegare nei seguenti campi di applicazione:

- getti di massa (spessore > 40 cm) per ridurre al minimo le tensioni di origine termica;
- opere marittimi per una migliore resistenza all'attacco solfatico ed alla penetrazione dei cloruri;
- opere autostradali per minimizzare la penetrazione dei sali disgelanti applicati nella stagione invernale.

Mario Collepardi

In copertina: Immagine al microscopio elettronico di Cenere Volante "Beneficiata"

SOMMARIO

CENERE VOLANTE "BENEFICIATA" A CONFRONTO CON CENERE VOLANTE NORMALE E FUMO DI SILICE
di A. Borsoi, M. Collepardi, S. Collepardi e E. N. Croce (pag. 7)

PET-LAT
Solaio leggero ecologico
di S. Lo Presti (pag. 11)

REALIZZAZIONE DEL NUOVO IMPALCATO SULL'AUTOSTRADA TORINO-SAVONA CON CALCESTRUZZO A RITIRO NULLO
di R. Troli, G. Sforza, A. Allasia (pag. 17)

DIAGNOSI DEL DEGRADO DELLE STRUTTURE IN C.A.
Parte II - Prove non distruttive
di J.J. Ogoumah Olagot, F. Simonelli, R. Troli (pag. 20)

IL PASSANTE DI MESTRE
Comunicato Stampa
di M. Canal (pag. 25)

DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA "IDEALE" RIFERITA A TUTTI I SOLIDI DEL CALCESTRUZZO
di M. Collepardi, V. Maniscalco (pag. 27)

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

Direttore Responsabile
MARIO COLLEPARDI

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

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

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

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

Ponzano Veneto, 25-26 Settembre 2006

CORSO DI FORMAZIONE ENCO

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

PROGRAMMA DEL CORSO

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

Docenti: Prof. M. Collepardi, Ing. F. Favero, Ing. F. Simonelli, Ing. R. Troli, Ing. S. Collepardi, Geol. E. Croce
Orario: Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-13.30 - **Costo: € 300,00** + IVA
Materiale Didattico: Quarta Edizione del libro "IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni; CD Easy & Quick per le prescrizioni secondo Norme Tecniche per le Costruzioni; copia elettronica delle Norme Tecniche per le Costruzioni, pp. 406 del Servizio Tecnico Centrale

Ponzano Veneto, 23-24 Ottobre 2006

CORSO DI SPECIALIZZAZIONE ENCO

STRUTTURE IN CALCESTRUZZI SPECIALI

PROGRAMMA DEL CORSO

- Calcestruzzi al alta resistenza meccanica
- Calcestruzzi autocompattanti
- Calcetruzzi leggeri strutturali
- Calcestruzzi fibrorinforzati
- Calcestruzzi a ritiro compensato
- Calcestruzzi proiettati (Spritz Beton - Shotcrete)
- Calcestruzzi polimero-impregnati (PIC)
- Calcestruzzi a durabilità secolare
- Calcestruzzi riciclati
- Calcestruzzi leggeri

Docenti: Prof. M. Collepardi, Ing. S. Collepardi, Ing. R. Troli
Orario: Primo giorno: 10.30-12.30 ; 14.00-18.30 - Secondo giorno: 8.30-13.30 - **Costo: € 250,00** + IVA
Materiale Didattico: Quarta Edizione del libro "IL NUOVO CALCESTRUZZO" in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni; CD Easy & Quick per le prescrizioni secondo Norme Tecniche per le Costruzioni; copia elettronica delle Norme Tecniche per le Costruzioni, pp. 406 del Servizio Tecnico Centrale

Titolo_____ Cognome_____ Nome_____

Societa' / Ente _____ P.IVA_____

Via_____n°_____ CAP _____ Citta'_____(___)

Tel_____ Fax_____ Mail_____

☐ 25-26 Settembre 2006 ☐ 23-24 Ottobre 2006

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

Firma_____

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

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

Informazioni utili

CENERE VOLANTE "BENEFICIATA" A CONFRONTO CON CENERE VOLANTE NORMALE E FUMO DI SILICE

Antonio Borsoi, Mario Collepardi,
Silvia Collepardi, Emanuela N. Croce
Enco Srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

INTRODUZIONE

La cenere volante da carbone (*CV*) è un materiale pozzolanico largamente usato in tutto il mondo per sostituire una parte del cemento Portland al fine di migliorare alcune prestazioni del calcestruzzo in termini di:

a) minor sviluppo di calore e quindi di minor rischio di fessurazioni di origine termica;

b) maggiore impermeabilità particolarmente apprezzata nelle opere idrauliche;

c) maggiore durabilità soprattutto nei confronti del cloruro che, nelle opere marittime ed in quelle autostradali, provocherebbe la corrosione dei ferri di armatura.

Fig. 1 - Aspetto cromatico della cenere volante da carbone (a sinistra) e di quella "beneficiata".

L'unico inconveniente del calcestruzzo con cemento parzialmente sostituito da cenere volante è la minore resistenza meccanica alle brevi stagionature (1-7 giorni).

In Italia la sostituzione parziale del cemento Portland con la cenere volante può essere messa in pratica impiegando i cementi alla cenere II A/V e II B/V o, in mancanza di questi, sostituendo il cemento Portland con cenere volante da un minimo del 10% fino ad un massimo del 35%.

Il fumo di silice (*FS*) si comporta molto meglio della cenere volante ed il suo impiego è solitamente riservato ai calcestruzzi ad alte prestazioni, per il costo relativamente elevato di questo materiale pozzolanico. La sostituzione del cemento con fumo di silice è generalmente limitata ad un massimo del 10%.

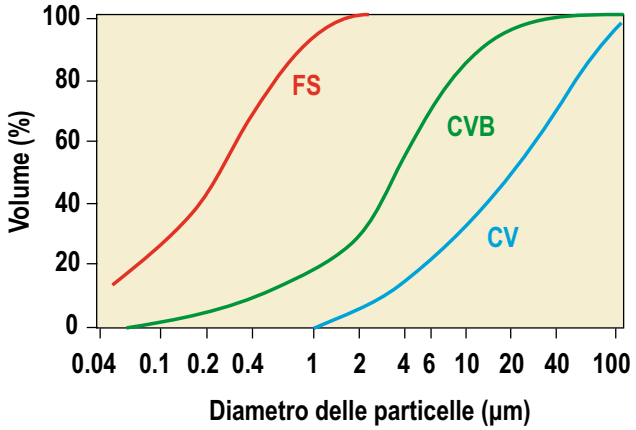


Fig. 2 - Distribuzione granulometrica del fumo di silice (FS), della cenere volante normale (CV) e di quella "beneficiata" (CVB).

In questo articolo viene descritto un lavoro di ricerca sull'impiego di una particolare cenere volante "beneficiata" (*CVB*) attraverso due processi:

- rimozione del carbone incombusto mediante la tecnologia tribo-elettrostatica [1];
- rimozione delle particelle di ceneri più grosse e di forma irregolare mediante un processo di flottazione all'aria [2].

Entrambi i processi sono finalizzati ad ottenere un calcestruzzo più fluido nello stato fresco fino a diventare autolivellante, ed un calcestruzzo meno poroso nello stato indurito.

Tabella 1 - Composizione Chimica della Cenere Volante (CV), della Cenere Volante Beneficiata (CVB) e del Fumo di Silice (FS).

ANALISI CHIMICA	MASSA (%) CV	CVB	FS
SiO_2	54.1	53.7	94.4
Al_2O_3	28.9	34.2	0.2
CaO	2.0	4.1	0.8
Fe_2O_3	3.7	3.8	0.7
K_2O	0.7	0.7	0.3
Na_2O	0.4	0.3	0.2
MgO	0.5	0.9	0.6
p.a.f.	6.6	0.8	2.0

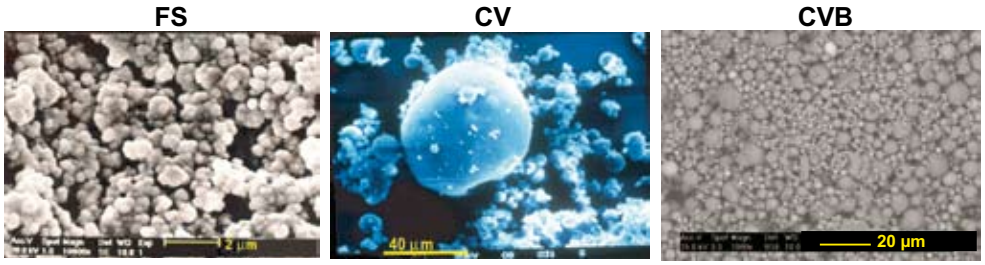


Fig. 3 - Microscopia elettronica del fumo di silice (FS), della cenere volante normale (CV) e di quella "beneficiata" (CVB).

PARTE SPERIMENTALE: MATERIALI E METODI

I materiali *CVB*, *CV* ed *FS* sono stati impiegati per produrre due distinte serie di calcestruzzi. Nella Tabella 1 sono riportate le composizioni chimiche delle tre pozzolane. In particolare la *CVB* si distingue dalla *CV* per la minore perdita al fuoco (p.a.f.) dovuta alla rimozione del carbone incombusto. Il fumo di silice si presenta molto più ricco in silice amorfa rispetto alla *CV* ed alla *CVB*.

Nella Fig. 2 sono mostrate le caratteristiche granulometriche delle tre pozzolane ottenute con la tecnica della laser-granulometria. Il fumo di silice si presenta come un materiale sub-micronico con un diametro medio (corrispondente al flesso della curva granulometrica) di circa 0.4 µm. La cenere volante (*CV*) si presenta con un diametro medio di circa 30-40 µm. La cenere volante (*CVB*) da un punto di vista granulometrico è un prodotto intermedio tra l'*FS* e la *CV*, con un diametro medio di circa 4 µm.

Sono stati preparati due serie di calcestruzzi:

I) il primo riguarda calcestruzzi ordinari in classe di consistenza fluida (slump=170 mm) contenenti 80 kg/m^3 di *CVB* a confronto con 40 kg/m^3 di *FS*;

II) il secondo riguarda calcestruzzi auto-compattanti (SCC) nei quali il 50% di cemento è stato sostituito da cenere volante normale (*CV*) o "beneficiata" (*CVB*).

Le Tabelle 2 e 3 mostrano la composizione dei calcestruzzi ordinari a consistenza fluida S3 e dei calcestruzzi SCC rispettivamente. Sono riportati sia i rapporti acqua-cemento (*a/c*) riferiti al solo cemento Portland CEM I 52.5R, sia i rapporti acqua-legante (*a/l*) riferiti alla somma del cemento Portland con i vari materiali pozzolanici.

Come inerte è stato impiegato sabbia naturale e ghiaia con diametro massimo di 32 mm per i calcestruzzi ordinari e di 16 mm per i calcestruzzi autocompattanti SCC.

Il superfluidificante di tipo policarbossilico (SP) per i calcestruzzi con FS e CVB (Tabella 2) è stato impiegato in modo da ottenere circa lo stesso slump oppure lo stesso dosaggio di additivo (2.6 kg/m^3) e lo stesso slump.

Nei calcestruzzi autocompattanti (Tabella 3) il dosaggio di superfluidificante SP è stato adeguatamente variato per ottenere lo stesso slump-flow (750 mm) a parità di rapporto *a/c* (circa 0.67) ed *a/l* (circa 0.34). Si può notare come in presenza di cenere volante "beneficiata" (*CVB*) il dosaggio di additivo sia un terzo (3 entro 9 kg/m^3) rispetto a quello impiegato per l'SCC con la cenere volante normale (*CV*).

Sui conglomerati SCC sono state eseguite anche misure consistenti nella determinazione dei tempi (in secondi) necessari a completare le vari prove reologiche (V-funnel, U-box, L-box, slump-flow) in accordo alle raccomandazioni della Sicietà di Ingegneria Civile Giapponese [3].

Per ogni calcestruzzo sono stati preparati provini cubici (150 mm) stagionati a 20°C con umidità relativa del 100%. Inoltre, per i soli calcestruzzi ordinari in classe di consistenza S3, sono stati maturati alcuni provini a vapore (55°C) dopo una pre-stagionatura di 3 ore a 20°C, ed un riscaldamento da 20°C a 55°C in 4 ore.

Tabella 2 - Composizione della miscela di calcestruzzo con FS o CVB a parità di slump.

MIX	LEGANTE			AGGREGATO		Acqua (kg/m^3)	Additivo SP (kg/m^3)	a/l	a/c	Slump (mm)
	Cemento Portland (kg/m^3)	FS (kg/m^3)	CVB (kg/m^3)	Ghiaia 4-30 mm (kg/m^3)	Sabbia 0-4 mm (kg/m^3)					
FS	360	40	0	1074	795	157	2.6	0.39	0.43	160
CVB	320	0	80	1074	796	157	1.2	0.39	0.48	170
CVB*	325	0	81	1090	810	127	2.6	0.31	0.39	170

Tabella 3 - Composizione dell'SCC con CV e CVB.

MIX	Cemento (kg/m^3)	Sabbia 0-4 mm (kg/m^3)	Ghiaia 4-16 mm (kg/m^3)	Acqua (kg/m^3)	Additivo SP (kg/m^3)	a/c	a/l	Slump (mm)	CV (kg/m^3)	CVB (kg/m^3)
SCC-CV	244	858	925	166	9.0	0.68	0.34	750	244	-----
SCC-CVB	246	869	938	163	3.0	0.66	0.33	750	-----	244

RISULTATI

Calcestruzzi ordinari

La Tabella 2 indica che il dosaggio di superfluidificante SP necessario a produrre un calcestruzzo fluido ed un determinato rapporto acqua-legante di 0.39 è di 2.6 kg/m^3 con il fumo di silice e scende a meno della metà (1.2 kg/m^3) se si impiega *CVB*. Quando si impiega per entrambi i calcestruzzi lo stesso dosaggio di superfluidificante (2.6 kg/m^3), il rapporto acqua-legante del calcestruzzo con cenere "beneficiata" è molto più basso di quello adottato nel calcestruzzo con fumo di silice (0.31 contro 0.39). Questi risultati sono da attribuire alla maggiore dimensione

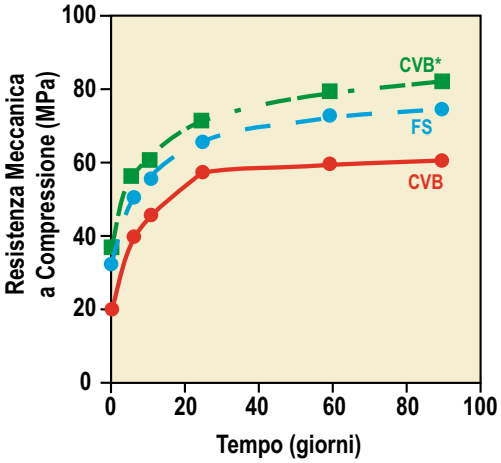


Fig. 4 - Resistenza meccanica a compressone a 20°C per calcestruzzi con fumo di silice (FS), cenere volante "beneficiata" allo stesso rapporto a/c (CVB) e allo stesso dosaggio di additivo (CVB).*

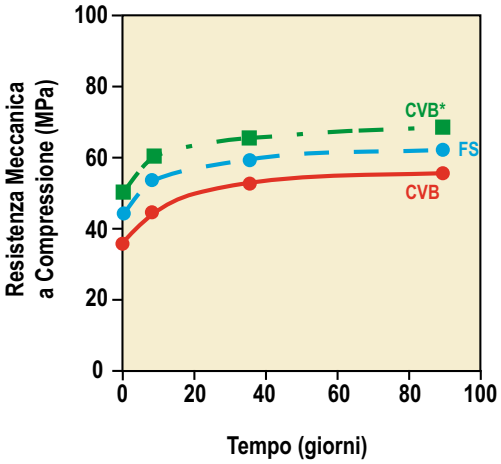


Fig. 5 - Resistenza meccanica a compressone per calcestruzzi maturati a vapore con fumo di silice (FS), cenere volante "beneficiata" allo stesso rapporto a/c (CVB) e allo stesso dosaggio di additivo (CVB).*

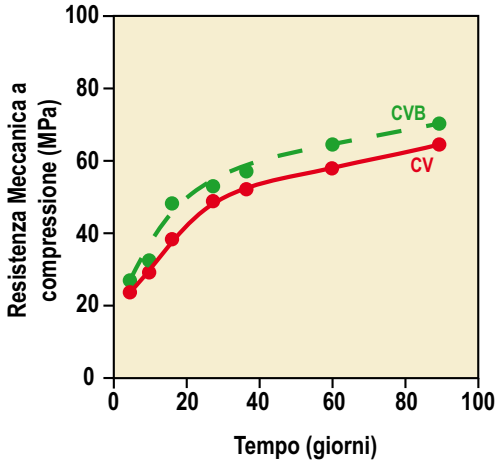


Fig. 6 - Resistenza meccanica a compressone per calcestruzzi SCC con cenere volante (CV) o cenere volante "beneficiata" (CVB).

(4 µm contro 0.4 µm) delle particelle di *CVB* rispetto a quelle di fumo di silice (Fig. 2) a parità di morfologia consistente per entrambi i materiali in granuli perfettamente sferici (Fig. 3).

Le prestazioni meccaniche dei calcestruzzi ordinari sono mostrati in Fig. 4. Quando i calcestruzzi sono confrontati a parità di rapporto acqua-legante (0.39), la resistenza meccanica del calcestruzzo con *FS* è maggiore di quella del calcestruzzo con *CVB*; la differenza percentuale è maggiore alle brevi stagionature e tende a diminuire alle lunghe stagionature.

D'altra parte, se il confronto è fatto a pari dosaggio di additivo superfluidificante (2.6 kg/m^3), oltre che a pari slump (circa 165 mm) la resistenza meccanica del calcestruzzo con *CVB* è sistematicamente maggiore di quella con fumo di silice (Fig. 4).

La Fig. 5 mostra la resistenza meccanica in funzione del tempo dopo una maturazione a vapore a 55°C: i risultati ottenuti sono in linea con quelli ottenuti con maturazione a temperatura ambiente (Fig. 4).

Tutti questi risultati indicano che 80 kg/m^3 di *CVB* si comportano meglio di 40 kg/m^3 di fumo di silice se i calcestruzzi sono confrontati a parità di dosaggio di additivo oltre che a parità di slump. Questo comportamento è in sostanza dovuto alla maggiore richiesta di acqua da parte del fumo di silice con dimensione media (0.4 µm) dieci volte minore di quella della cenere volante "beneficiata" (4 µm).

Se, il costo delle *CVB* non supera la metà di quello del fumo di silice, anche il rapporto prestazione/costo appare migliore per la cenere volante "beneficiata" che non per il fumo di silice.

Calcestruzzi autocompattanti

La Tabella 3 mostra le composizioni dei due conglomerati SCC con lo stesso dosaggio di cemento Portland (245 kg/m^3), e lo stesso contenuto di cenere (245 kg/m^3). A parità di slump. flow (750 mm) il dosaggio di additivo superfluidificante SP scende da 9 kg/m^3 a 3 kg/m^3 se si passa dalla *CV* alla *CVB*. Questo diverso comportamento è dovuto alla perfetta sfericità delle particelle di *CVB* rispetto alla cenere normale che presenta particelle più grosse dal contorno irregolare e particelle di carbone incombusto che assorbe l'additivo SP [4]. In conseguenza di questa più favorevole morfologia, il calcestruzzo SCC con *CVB* si presenta molto più mobile che non il corrispondente SCC con *CV*.

Tabella 4 - Proprietà reologiche dell'SCC-CV e dellSCC-CVB allo stesso slump-flow di 750 mm.

MIX	TEMPO (sec) PER I SEGUENTI TEST			
	V-funnel	U-box	L-box	Slump-flow
SCC-CV	50	40	57	50
SCC-CVB	7	2	6	7

La maggiore mobilità del conglomerato SCC-*CVB* rispetto al conglomerato SCC-*CV*, a parità di slump-flow (750 mm) si estrinseca nei tempi notevolmente più corti per completare le varie prove reologiche (Tabella 4):

- nel test V-funnel: 7 contro 50 secondi;

- nel test U-box: 2 contro 40 secondi;

- nel test L-box: 6 contro 57 secondi;

- nel test slump-flow: 7 contro 50 secondi.

Queste speciali caratteristiche del conglomerato SCC-*CVB* sono particolarmente vantaggiose nella produzione di lastre o pavimenti su terreni e nel riempimento di casseforme con armatura metallica congestionata.

Le prestazioni meccaniche di conglomerati SCC-*CVB* ed SCC-*CV* sono molto simili alle brevi stagionature e leggermente più alte per i calcestruzzi con *CVB* alle stagionature più lunghe (Fig. 6).

Questi risultati indicano che non esistono vantaggi nell'impiegare *CVB* in luogo della più economica cenere volante normale, se non in qualche applicazione speciale per trarre vantaggio nella rapidità di scorrimento dell'SCC-*CVB*.

CONCLUSIONI

I risultati di questa ricerca indicano che l'impiego di cenere volante beneficiata (*CVB*) si presenta molto vantaggioso rispetto a quello del fumo di silice, molto costoso e poco disponibile. In particolare con 80 kg/m^3 di *CVB* si ottengono calcestruzzi con migliori prestazioni meccaniche rispetto a quelle con 40 kg/m^3 di fumo di silice. In particolare, a parità di additivo superfluidificante e di lavorabilità, si può ridurre l'acqua di impasto molto di più nel calcestruzzo con *CVB* che non in quello con *FS*.

D'altra parte, nella produzione di SCC l'impiego di *CVB* in luogo della normale cenere volante, la differenza più significativa consiste nella maggiore mobilità del primo rispetto al secondo. Tuttavia questo vantaggio non giustifica la sostituzione della cenere volante con quella "beneficiata" (molto più costosa) se non in casi particolari che richiedano un comportamento auto-livellante nelle pavimentazioni ed un rapido riempimento di cassaforme molto congestionate dalla presenza di armature metalliche.

BIBLIOGRAFIA

[1] Bittner, J.D. and Gasiorowski " STI's Commercial Beneficiation of high LOI Fly Ash", Proceedings of 15th International Symposium on Management and Use of Coal Combustion Products, 2003, pp. 1-7.

[2] Seedat, E.Y., "The new generation pozzolan for superior concrete", private communication.

[3] Uomoto T. and Ozawa K., "Recommendation for Self-Compacting Concrete", Japanese Society of Civil Engineers, Shinjyuku, Tokyo, pp.1-70, August 1999.

[3] L. Coppola, R. Troli, P. Zaffaroni, G. Belz and M. Collepardi, "Influence of Unburnt Carbon in the Performance of Concrete Mixtures", Proceedings of the 6th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans", Bangkok, Tailandia, pp. 257-271, 1998.

LA QUARTA EDIZIONE

Per informazioni : Enco Srl - Via delle Industrie, 18
Ponzano Veneto (TV) - 31050 - Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237
www.encosrl.it - info@encosrl.it (Alessandra Galletti/Mara Meneghel)

Informazioni Utili

PAGAMENTO: carta di credito, bonifico bancario, vaglia postale, conto corrente postale

PET-LAT
Solaio leggero ecologico

Salvatore Lo Presti
Facoltà di Ingegneria - Università di Palermo - info@asciweb.it

1. INTRODUZIONE

"***PET-LAT***" è l'acronimo di ***solaio ecologico misto in calcestruzzo alleggerito con aggregato di polietilentereftalato (PET) e pignatte realizzate con lattine (LAT) di alluminio***.

Il nuovo solaio nasce da due distinte ricerche sperimentali condotte dallo scrivente e finalizzate all'impiego nell'edilizia di risorse provenienti dal riciclaggio di rifiuti solidi urbani; le ricerche hanno prodotto tre distinti brevetti: la prima ha condotto alla creazione dell'aggregato strutturale leggero di PET[1] e la seconda alla pignatta in lattine di alluminio[2] posta in opera tramite il cestello porta-pignatte[3].

Fig. 1 - Accumulo di rifiuti di bottiglie di plastica e lattine di alluminio.

Malgrado sia ormai diffusa la conoscenza dei problemi legati alla conservazione dell'ambiente non è tuttavia ancora decollata una vera cultura dell'industria che promuova azioni mirate al risparmio delle risorse naturali attraverso la creazione di nuovi prodotti ottenuti dalla trasformazione degli scarti riciclati. In quest'ottica, assume sempre maggiore rilievo il concetto di "***sviluppo sostenibile***", cioè sviluppo economico che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere il diritto delle generazioni future di soddisfare i propri. Ciò si traduce nella necessità, ormai inderogabile, di educare i comportamenti dei consumatori, tenendo presente la capacità d'assimilazione del pianeta, tramite un'oculata gestione delle risorse naturali, in special modo quelle esauribili, al fine di limitarne lo spreco.

La ricerca che ne è seguita ha condotto alla creazione di un pietrisco artificiale[4] che nelle sperimentazioni ha fornito buone prestazioni meccaniche ai manufatti con esso realizzati (Tabella 1).

Tabella 1 - Dati relativi a cubetti in calcestruzzo con aggregato di PET

Massa volumica Aggregato Sabbiato (Strutturale)	500 kg/m^3
Rapporto a/c	0.6
Quantita' di cemento	285 kg/m^3
Resistenza meccanica	27 MPa
Massa volumica calcestruzzo	1.600 kg/m^3

Fig. 2 - Pietrisco artificiale.

Nel mix-design dell'impasto preparato per la formazione degli elementi di prova è stato adottato volutamente un rapporto acqua/cemento molto alto ed un quantitativo di cemento molto basso, questo per poter testare il comportamento meccanico dei provini cubici alle condizioni prossime ai limiti inferiori[5].

I risultati ottenuti hanno incoraggiato la prosecuzione delle sperimentazioni anche in considerazione del fatto che il rinnovato interesse per il rispetto dell'ambiente renderà sempre più difficile l'apertura di nuove cave per la produzione di pietrisco naturale, ed essendo in esaurimento quelle ancora aperte, si può prevedere che in un prossimo futuro saliranno alle stelle i costi degli aggregati per calcestruzzo;

[1] *International Patent 25.03.2004 Number WO 2004/024793 A2*
[2] *Brevetto Nazionale 07.07.2003 Numero PA 2003 A 000012*
[3] *Brevetto Nazionale 30.12.2003 Numero PA 2003 A 000032*

[4] *Vedi Enco-Journal n° 22*
[5] *Per calcestruzzi alleggeriti con aggregati leggeri artificiali è consigliato, ai fini dell'ottenimento di prestazioni meccaniche che possano classificarli strutturali, un rapporto a/c di circa 0,35 ed un quantitativo elevato di cemento.*

in Giappone sono ormai costretti a ricorrere alle rocce marine. La ricerca sperimentale ha proseguito nella sua evoluzione impiegando l'aggregato leggero di PET per costruire strutture da sottoporre a prove di resistenza meccanica; tali strutture al momento sono limitate ai solai per civile abitazione anche in considerazione del fatto che parallelamente chi scrive ha sperimentato un nuovo tipo di pignatta costituita da lattine vuote di alluminio ed appariva interessante effettuare prove su solai che impiegassero i due distinti prodotti provenienti dal riciclaggio.

Per quanto riguarda le lattine di alluminio le considerazioni generali sono simili a quelle espresse per il PET anche se non esattamente sovrapponibili. Le lattine d'alluminio per bevande sono tra gli oggetti "usa e getta" quelli che possono essere considerati i più diffusi; esse in più di 60 anni di storia hanno subito una moltitudine di piccole innovazioni che vanno di pari passo con quelle che sono le conquiste tecnologiche in campo industriale (Fig. 3).

Fig. 3 - Lattine attualmente in produzione.

2. LA RICERCA

Per quanto riguarda la complessa ricerca che ha condotto alla formazione dell'aggregato leggero di PET non si forniscono qui ulteriori informazioni rimandando il lettore, che fosse interessato a maggiori chiarimenti, alla bibliografia che chiude il presente lavoro. Si illustrano invece, brevemente, gli aspetti salienti della ricerca relativa alla formazione della pignatta in alluminio e del solaio ecologico "PET-LAT".

Il solaio è una struttura portante a giacitura orizzontale, detta anche "*orizzontamento*", che nel processo di trasferimento dei carichi al terreno resistente di fondazione, riveste la funzione di primo raccoglitore dei carichi utili. Dal punto di vista statico può essere annoverato tra le strutture inflesse, e quindi si caratterizza, per vincoli di semplice appoggio, per avere il bordo superiore compresso e quello inferiore teso; le due zone, compressa e tesa, sono separate da uno strato detto "neutro" poiché, quando il solido è sottoposto ai carichi, su questo strato le fibre non subiscono deformazioni.

Nei solai in cemento armato la funzione di assorbire le due differenti sollecitazioni, compressione e trazione, è affidata rispettivamente al calcestruzzo nella parte superiore ed al ferro nella parte inferiore; il ferro viene impiegato in tondini posti ad equidistanza ed inglobati nel calcestruzzo del manufatto monolitico di cemento armato. Un solaio siffatto tuttavia è molto pesante e presenta localmente zone di possibile fessurazione al livello del calcestruzzo tra due tondini successivi, a volte distanti tra loro, che risulta non adeguatamente scaricato dalla sollecitazione di trazione; da qui la scelta di raggruppare a due a due i tondini di ferro per eliminare la parte in eccesso di calcestruzzo, pesante e rischiosa, tra due successive coppie di tondini. Si ottiene così un solaio nervato, con superficie intradossale discontinua, composto da una sequenza continua di elementi portanti a "T" costituiti da travetti, al cui piede sono inseriti ferri tondi, e da una soletta orizzontale, detta "cappa" o "caldana", in calcestruzzo sollecitata a compressione. Al fine di rendere continuo l'intradosso del solaio si inseriscono tra due successivi travetti degli elementi, detti **pignatte** o **volterrane**, la cui unica funzione è quella di riempimento, quindi non dovendo assolvere, in esercizio, a funzioni portanti viene chiesto loro di essere leggere e resistenti al peso dell'operatore che le va posizionando in opera e, al momento del getto, al peso del calcestruzzo che forma lo strato di cappa non ancora indurito e quindi non ancora strutturalmente solidale con il gambo del travetto. Da queste brevi considerazioni si può ritenere accettabile l'idea di provare a costruire pignatte anche con le lattine di alluminio riciclate (Fig. 4).

Fig. 4 -Lattine d'alluminio raccolte per la costruzione delle pignatte.

La fase di costruzione degli elementi di alleggerimento, sia per solai prefabbricati che semiprefabbricati in c.a., ha seguito due distinte tecniche di assemblaggio delle lattine. La prima consiste nell'inserire le lattine in posizione verticale entro apposite griglie preformate quadrangolari costruite con materiale plastico (anch'esso proveniente dal riciclaggio). Successivamente questi pacchetti sono stati avvolti con film termoretraibile e ciò per impedire sia lo sfilamento verticale delle singole lattine che l'ingresso durante il getto, poichè si tratta di lattine usate, del calcestruzzo negli elementi parzialmente aperti (Fig. 5). La seconda invece consiste nella creazione di un pacchetto che si ottiene inserendo anche qui le lattine in posizione verticale nelle griglie di materiale plastico, ma in questo caso, sia inferiormente che superiormente, sono successivamente posti dei fogli di cartone di scarto politamburato che hanno la funzione di ripartitori del carico verticale; infine si procede all'avvolgimento del pacchetto con il film termoretraibile (Fig. 6).

La pignatta del primo tipo, di forma rettangolare, è composta da 5 x 7 = 35 lattine ed ha dimensioni 32,50 x 45,50 cm; è pensata per solai prefabbricati muniti di soletta inferiore in c.a. su cui possono essere poggiate e disposte l'una accanto all'altra. La pignatta del secondo tipo, pensata per solai con travetti a traliccio semiprefabbricati, è pure di forma rettangolare

Fig. 5 - Primo tipo di pignatta con lattine d'alluminio.

Fig. 6 - Secondo tipo di pignatta.

Tabella 2 - Caratteristiche della pignatta del secondo tipo

N° lattine	90
Lunghezza (cm)	100.70
Larghezza (cm)	40.40
Altezza (cm)	12.70
Superficie (mq)	0.41
Volume (mc)	0.052
Peso (kg)	1.26

Tabella 3 - Confronto con le pignatte in laterizio

Tipo di pignatta	in laterizio	in lattine
Peso/Volume (kg/m^3)	736.00	24.23
Peso ogni m^2 di solaio (kg/mq)	84.64	3.07

ed ha le caratteristiche riportate in Tabella 2. Se si confronta il peso delle pignatte in lattine con quello delle pignatte in laterizio si nota come le prime siano ben 25 volte più leggere! (Tabella 3).

3. LA SPERIMENTAZIONE

Sono stati costruiti n° 8 solai in c.a. e precisamente 2 PET-LAT con pignatte di lattine del primo tipo, 2 PET-LAT con pignatte di lattine del secondo tipo, 2 tradizionali prefabbricati con pignatte in polistirene espanso e 2 tradizionali con tralicci semiprefabbricati e pignatte in laterizio, per il confronto del comportamento strutturale; in particolare:

1. la prima tipologia, solaio prefabbricato sandwich che adotta il primo tipo di pignatta, consiste in un solaio a nervature parallele costituito la lastre in c.a. dello spessore di 4 cm e larghe 120 cm, con incorporati tre tralicci metallici ad interasse di 45 cm, collegati tra di loro da un'armatura trasversale annegata nella base di cls, costituita da 1 Φ6 ogni 30 cm. Tra un traliccio e l'altro è stata posta la pignatta di lattine riciclate di alluminio, successivamente è stata posata un'armatura di ripartizione costituita da una rete metallica a maglia quadrata di lato 10 cm. Il getto di finitura è stato eseguito con calcestruzzo alleggerito con aggregato leggero di PET avente R_{ck} = 30 MPa. Lo spessore del solaio è composto da 4 cm di base, 12 cm di pignatta ed 4 cm di cappa; per un totale di 20 cm che permette secondo l'attuale normativa di coprire luci massime di 5 m.
2. la seconda tipologia, che utilizza la pignatta rifinita con lastre di cartone, consiste in un solaio a nervature parallele costituite da travetti semiprefabbricati in c.a. di larghezza pari a 14 cm. Per la realizzazione di quest'ultima tipologia, a causa dell'assenza delle alette d'appoggio sui travetti di cui sono prive le pignatte in alluminio, si è progettato un cestello di supporto in materiale metallico, che oltre a permettere l'accoglimento della pignatta di lattine, facilita la corretta messa in opera dell'intero manufatto. Questo cestello, il cui fondo è costituito da rete elettrosaldata per facilitare la posa dell'intonaco all'intradosso del solaio, può consentire l'impiego di lastre di polistirolo espanso senza alcuna sago-

Tabella 4 - Confronto del peso proprio tra il solaio in latero-cemento ed il solaio PET-LAT

TIPOLOGIA Solaio	MATERIALE	QUANTITA' (m^3/m^2)	MASSA VOL. (kg/m^2)	PESO (kg/m^2)	PESO TOTALE (kg/m^2)
Solaio in latero-cemento	Cls armato	0.08	2.500	200	290
	Laterizio	0.12	736	90	
Solaio PET-LAT	Cls armato alleggerito	0.08	1.700	136	141
	Cestelo portapignatta	0.0002	7.800	2	
	Lattine alluminio	0.12	24	3	

matura per essere impiegate in sostituzione delle pignatte anche in questa tipologia di solaio.

La messa in opera avviene disponendo dapprima i travetti semiprefabbricati, successivamente a questi vengono appoggiati i cestelli ed infine entro questi cestelli si dispongono le pignatte.

Successivamente è stata posta l'armatura di ripartizione, costituita da una rete metallica a maglie quadrate di lato 10 cm, e poi il tutto è stato completato con un getto in calcestruzzo alleggerito strutturale avente R_{ck} = 30 N/mm^2. Lo spessore del solaio è qui inferiore a quello del primo tipo, risulta infatti dalla somma dello spessore della caldana di 4 cm più l'altezza dell'elemento di alleggerimento di 13 cm che in totale raggiunge i 17 cm; lo spessore dell' elemento di alleggerimento può comunque essere aumentato utilizzando, ad esempio, lattine di alluminio di altezza maggiore alle precedenti oppure sovrapponendo due strati di lattine, per coprire luci più estese.

Un argomento molto convincente che gioca a favore del solaio PET-LAT è il semplice confronto in termini di peso proprio con il solaio il latero-cemento (Tabella 4).

Dal confronto emerge che il solaio PET-LAT è pesante meno della metà del solaio in latero-cemento e questo grazie all'impiego di calcestruzzo strutturale alleggerito con aggregato leggero artificiale di PET e pignatte realizzate con lattine di alluminio provenienti dalla raccolta differenziata.

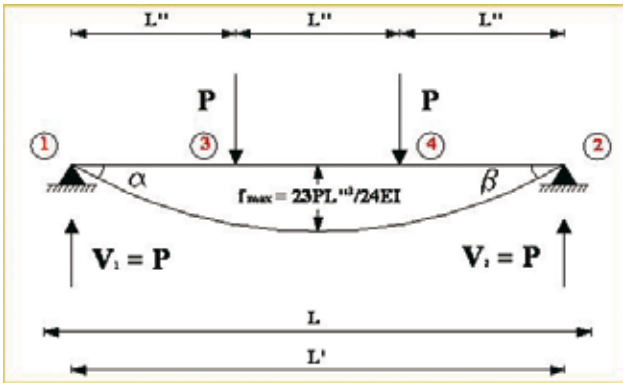


Fig. 7 - Schema di carico per i solai sottoposti a prova.

4. LE PROVE MECCANICHE

Il confronto con il solaio in latero-cemento è risultato positivo per il PET-LAT in termini di leggerezza, tuttavia è necessario che risulti positivo anche, e soprattutto, in termini di comportamento meccanico. Sono stati pertanto sottoposti a prove di carico gli 8 solai costruiti come sopra specificato.

I solai sono stati sollecitati da due carichi concentrati, di pari entità, ed applicati nelle sezioni corrispondenti ai terzi della luce. In questo modo è possibile analizzare il comportamento del solaio stesso, con maggiore riguardo alla fessurazione, nel tratto centrale fra i due carichi nel quale la sollecitazione di taglio è assente (Fig. 7).

Le misure degli spostamenti sono state eseguite per mezzo di n° 3 trasduttori elettronici tipo LVDT autoamplificati e dotati di display, la cui precisione è pari a 1/100 di mm. I tre trasduttori sono stati installati in corrispondenza degli appog-

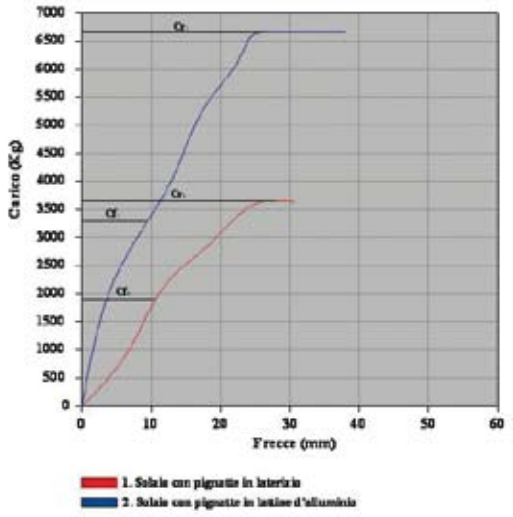


Fig. 9 - Risultati delle prove di carico per i solai semiprefabbricatii.

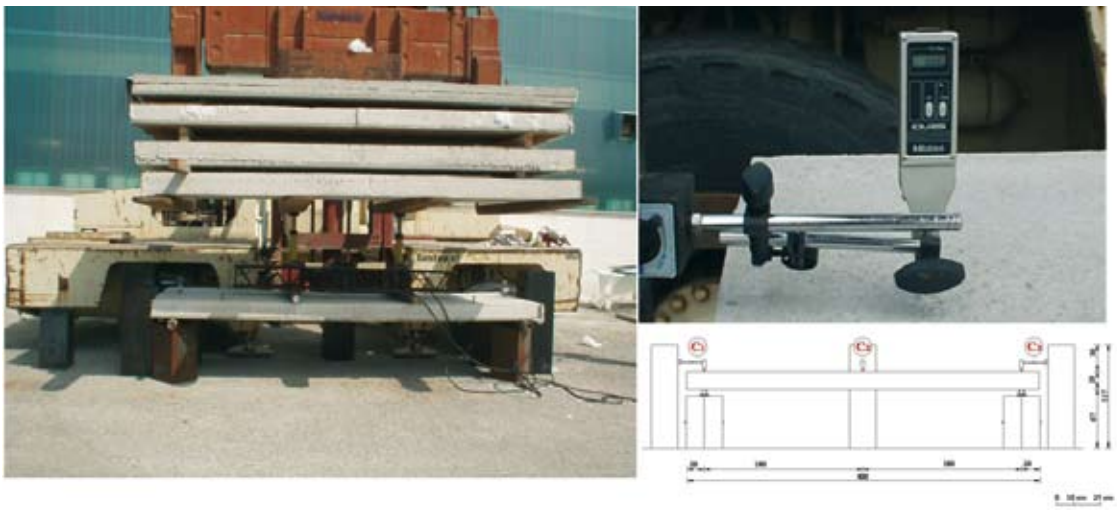


Fig. 8 - Prove di carico dei solai.

gi e della sezione di mezzeria (Fig. 8).

Ciascun campione è stato sottoposto ad un ciclo di carico monotonico crescente fino alla condizione di prima fessurazione, poi ad un secondo ciclo fino alla rottura.

Dall'analisi dei risultati emergono due sostanziali considerazioni:

- confrontando il comportamento statico dei solai prefabbricati (PET-LAT con pignatte del 1° tipo e tradizionali con pignatte in polistirene espanso) si evidenzia una sostanziale parità di prestazioni;
- confrontando il comportamento statico dei solai semiprefabbricati (PET-LAT con pignatte del 2° tipo e tradizionali con pignatte in laterizio) si evidenzia una notevole disparità di prestazioni (Fig. 9).

Tabella 5 - Confronto dei risultati delle prove di carico

TIPOLOGIA	FRECCIA RESIDUA (mm)	CARICO DI ROTTURA (kg)
Solai in latero-cemento	1.38	3.652
Solai in lattine del 2° tipo	0.41	6.640

In particolare, dal confronto dei grafici relativi alle prove di carico effettuate sui solai in latero-cemento tradizionali (linea rossa) e sui solai PET-LAT (linea blu), emergono le seguenti considerazioni:

- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo evidenziano maggiori rigidezze rispetto agli omologhi tradizionali ed un migliore comportamento alla fessurazione;
- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo mantengono minori frecce residue rispetto agli omologhi tradizionali;
- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo sopportano maggiori carichi di rottura (quasi il doppio) rispetto agli omologhi tradizionali (Tabella 5).

5. CONCLUSIONI

L'eccezionale risultato riscontrato nel comportamento meccanico dei solai PET-LAT con pignatte in lattine del 2° tipo non è certamente da attribuire alla presenza delle lattine di alluminio, bensì alla presenza del cestello porta-pignatte realizzato in ferro e posto in zona tesa che, inglobato nel getto di calcestruzzo, collabora con l'armatura metallica conferendo al sistema una notevole elasticità pur incrementando il peso del solaio di una quantità davvero trascurabile.

Gli obiettivi fin qui raggiunti sono:

1. possibilità di diminuire la quantità di materiali inquinanti nell'ambiente riutilizzando parte di questi, nel caso specifico bottiglie di Pet, lattine di alluminio, cartone e plastica, per la realizzazione di elementi di alleggerimento per solai semiprefabbricati e prefabbricati;
2. riduzione del peso totale dei solai rispetto agli attuali in latero-cemento, con tutti i vantaggi connessi alla maggiore leggerezza (minore effetto del sisma, minore carico trasmesso alle fondazioni, alleggerimento del carico sulle strutture portanti nei restauri strutturali di edifici storici, più agevole movimentazione degli elementi prefabbricati nei centri storici, ecc.);
3. migliori prestazioni meccaniche e di durabilità dei manufatti;
4. Vantaggi nella messa in opera dei solai semiprefabbricati, grazie all'utilizzo del cestello porta-pignatte che può servire da piano di calpestio per gli operatori e da contenitore di qualsiasi tipo di alleggerimento non sagomato agli appoggi sui travetti;
5. Diminuzione del costo degli elementi di alleggerimento rispetto a quelli attualmente in commercio (laterizio, calcestruzzo alleggerito ecc…).

Il solaio ecologico PET-LAT del secondo tipo è caratterizzato dal fatto che impiega materiali provenienti dal riciclaggio e quindi segue la via della **sostenibilità** dello sviluppo industriale; risulta molto meno pesante (meno della metà) di un solaio tradizionale, quindi si caratterizza per la sua **leggerezza**; manifesta migliori capacità portanti (carico di rottura quasi il doppio) di un solaio tradizionale, quindi ha ottime proprietà di **resistenza** meccanica; risulta più elastico (freccia residua meno di un terzo) di un solaio tradizionale ed è meno fessurabile, quindi per esso può prevedersi una maggiore **durabilità**.

I sostantivi evidenziati di: sostenibilità, leggerezza, resistenza e durabilità sono tutti concetti di grande attualità che, tradotti in prestazioni dei manufatti, dovranno essere sempre di più inevitabilmente ricercati nelle proprietà dei nuovi materiali da costruzione.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] 1990 - Lo Presti Salvatore,"Verifica della convenienza economica nell'impiego di calcestruzzo strutturale leggero" – L'Ingegnere Italiano n° 216/1990.

[2] 1998 - O'Brien, K., "Using recycled aggregate concretes as part of an overall approach to sustainable construction" – Thomas Telford Publishing – London 1998.

[3] 1998 - Desai, S.B., "Sustainable Development and recycling of concrete aggregate" - Thomas Telford Publishing – London 1998.

[4] 2001 - Lo Presti Salvatore, "Calcestruzzo. Qualità, controllo" - in atti del convegno internazionale: "Costruire l'architettura: i materiali, i componenti, le tecniche" – Napoli, 12,13 ottobre 2001.

[5] 2002 - Lo Presti Salvatore, "Sistemi Costruttivi" - ALBA – Palermo, Gennaio 2002

[6] 2002 - Lo Presti Salvatore, "Fattore di Maturazione" - in "L'EDILIZIA" n° 5 –Milano, Settembre-Ottobre 2002.

[7] 2003 - Lo Presti Salvatore, "Dalle bottiglie al calcestruzzo: contributo ad uno sviluppo sostenibile" - in "ENCO JOURNAL" n° 22 – Treviso, Maggio 2003.

[8] 2004 - Lo Presti Salvatore, "Precast and semi-precast floors with aluminium cans lug bricks" - in atti del 7° Congresso Nazionale AIMAT - Ancona 27 giugno- 02 luglio 2004.

Desidero ringraziare, per il prezioso aiuto fornitomi durante le varie fasi della ricerca, i collaboratori: Ing. Settimo Miranda, Ing. Calogero Russo, Ing. Giovanni Tona, Ing. Rosario Urso. e la Ditta "Prefabbricati Nord", Isola delle Femmine (PA) presso la quale è stata condotta la sperimentazione.

Soluzioni di Durabilità

Progetto
Durabilità

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

www.grafocom.it 06/05

Calcestruzzi
Italcementi Group

A world class local business

www.calcestruzzi.it

REALIZZAZIONE DEL NUOVO IMPALCATO SULL'AUTOSTRADA TORINO-SAVONA CON CALCESTRUZZO A RITIRO NULLO

Roberto Troli, Giuseppe Sforza**, Alessandro Allasia****
**Enco Srl - Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it*
*** General Admixtures SpA, Ponzano Veneto (TV) - info@gageneral.com*
**** Beton Spa, Savigliano (CN) - beton@betonspa.it*

Sono ultimati i lavori di ampliamento del Viadotto ATS sul fiume Pesio dell'autostrada A6 Torino-Savona (Fig. 1), opera realizzata della Società RIZZI ZUIN e C. di Campobasso per la Spea - Società Autostrade, su progetto del Prof. Michele Mele dell'Univ. di Roma "La Sapienza".

La conclusione dell'opera ha comportato il rifacimento dell'impalcato che è stato realizzato in struttura mista con travi in acciaio completate da una soletta in calcestruzzo armato gettato in opera. Tale soletta di completamento, avente una larghezza di 11 metri e uno spessore di circa 20 cm , è stata realizzata mediante getti continui di campate senza giunti fino a 50 m di lunghezza e per una lunghezza complessiva del viadotto di 1100 m.

Fig. 1 - Vista del Viadotto ATS (Pesio) in fase di ampliamento.

Il calcestruzzo prescritto sulla scorta di ragioni di durabilità e strutturali era contraddistinto dalle seguenti caratteristiche prestazionali e composizionali:

- Classe di resistenza: R_{ck} 50 MPa
- Classe di esposizione: XF1
- Classe di consistenza al getto: S5
- Rapporto a/c: ≤ 0.45
- Cemento tipo: CEM IV/A 42.5R

In Tabella 1 vengono illustrate la composizione e le prestazioni meccaniche del conglomerato cementizio utilizzato.

La realizzazione di una soletta continua su tutta la lunghezza del viadotto ha comportato una particolare attenzione al problema delle contrazioni da ritiro igrometrico del calcestruzzo le quali, come è noto, provocano delle coazioni all'interno del sistema misto tra le travi in acciaio, non interessate dal problema del ritiro, e la soletta. Queste coazioni generano uno stato di sollecitazione aggiuntivo permanente che va a sommarsi a quello prodotto dai carichi. Inoltre, nelle zone di impalcato in cui la soletta non è sollecitata a compressione, le contrazioni da ritiro impedite, sommandosi alle eventuali sollecitazioni di trazione di carattere statico, possono facilmente causare l'innesco di lesioni nella soletta con evidenti riflessi negativi sulla durabilità di un manufatto sottoposto, nella stagione invernale, all'azione combinata e degradante tanto di cicli di gelo e disgelo quanto dei sali disgelanti a base di cloruri.

Per tali motivazioni si è scelto di utilizzare una tipologia di calcestruzzo a ritiro nullo (*Shrinkage Free Concrete*) realizzata mediante l'uso combinato di un agente espansivo (EXPANCOLL della GA General Admixtures Spa) ed uno speciale additivo superfluidificante modificato in modo da avere un effetto riduttivo nei confronti del ritiro igrometrico (Ginius RM 20 SCC della GA General Admixtures Spa).

Valori di laboratorio circa la miscela qualificata mostrano, per effetto dell'azione combinata dei due additivi sopra citati, un'espansione contrastata già ad 1 giorno di almeno 800 μm/m[1] la quale nel tempo si è ridotta gradualmente, per l'innescarsi del fenomeno del ritiro igrometrico, fino a portarsi, dopo qualche settimana a valori di circa 300 μm/m.

In definitiva, l'adozione di un calcestruzzo a ritiro nullo ha permesso di minimizzare le coazioni a tempo infinito tra soletta e travi in acciaio, con evidenti riflessi positivi di carattere statico, e di ridurre il pericolo di formazione di fes-

[1] *Il valore effettivo in opera dell'espansione iniziale dipende dalla percentuale geometrica di armatura presente nella soletta e dall'interazione tra la soletta e le travi dell'impalcato, prodotta dai sistemi di connessione.*

Tabella 1 - Ricetta e prestazioni meccaniche del conglomerato

CEM IV A 42.5 R	470 kg/m³
Sabbia	868 kg/m³
Pietrischetto	300 kg/m³
Ghiaia	580 kg/m³
Expancoll	25 kg/m³
Acqua	179 kg/m³
Additivo (Tipo)	Ginius RM 20 SCC
(% sul legante)	2.60
Rapporto a/c	0.38
Slump (cm) dopo:	
0'	24
30'	23
60'	23

Resistenza a compressione a 20 °C (N/mm²)	
1 gg	25.2
4 gg	44.4
7 gg	47.2
14 gg	52.3
21 gg	-----
28 gg	61

sure nella soletta, con innegabili vantaggi sulla durabilità del manufatto.

Inoltre siccome la progettazione e realizzazione di un calcestruzzo "potenzialmente" durabile non implica la realizzazione di un'opera "effettivamente" durabile, l'adozione di un additivo superfluidificante e contenente un agente SRA ha permesso di realizzare un'opera caratterizzata da una durabilità indipendente sia dalle modalità di getto che da quelle di stagionatura.

Infatti le caratteristiche reologiche della miscela al momento della sua posa in opera (Fig. 2 e 3) sono state tali da

Fig. 2 – Getto del calcestruzzo a ritiro nullo (classe di consistenza S5).

minimizzare la necessità di manodopera la cui funzione è stata solo quella della movimentazione del tubo convogliatore e il posizionamento dei teli impermeabili al di sopra del getto per le sole prime 48 ore di maturazione.

CONSIDERAZIONI FINALI CIRCA GLI ASPETTI INNOVATIVI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA

Fino ad ora tutta la tecnologia disponibile era indirizzata alla compensazione del ritiro mediante l'utilizzazione di un agente espansivo che, provocando un aumento dimensionale del calcestruzzo, contrastato, per aderenza, dalle barre di armatura, causava uno stato di precompressione nel materiale, del tutto simile a quello che si realizza nel caso della precompressione.

Tale precompressione compensava la trazione causata dalla riduzione dimensionale dovuta al ritiro evitando la formazione di fessure. Questa tecnologia, richiedeva una stagionatura umida costante del materiale per circa una settimana, onde consentire lo sviluppo dell'espansione. La difficoltà di assicurare, però, la corretta stagionatura, ha limitato l'utilizzo di questa applicazione.

Fig. 3 – Protezione con telo di plastiza per le prime 24 ore dal cetto del calcestruzzo senza ritiro.

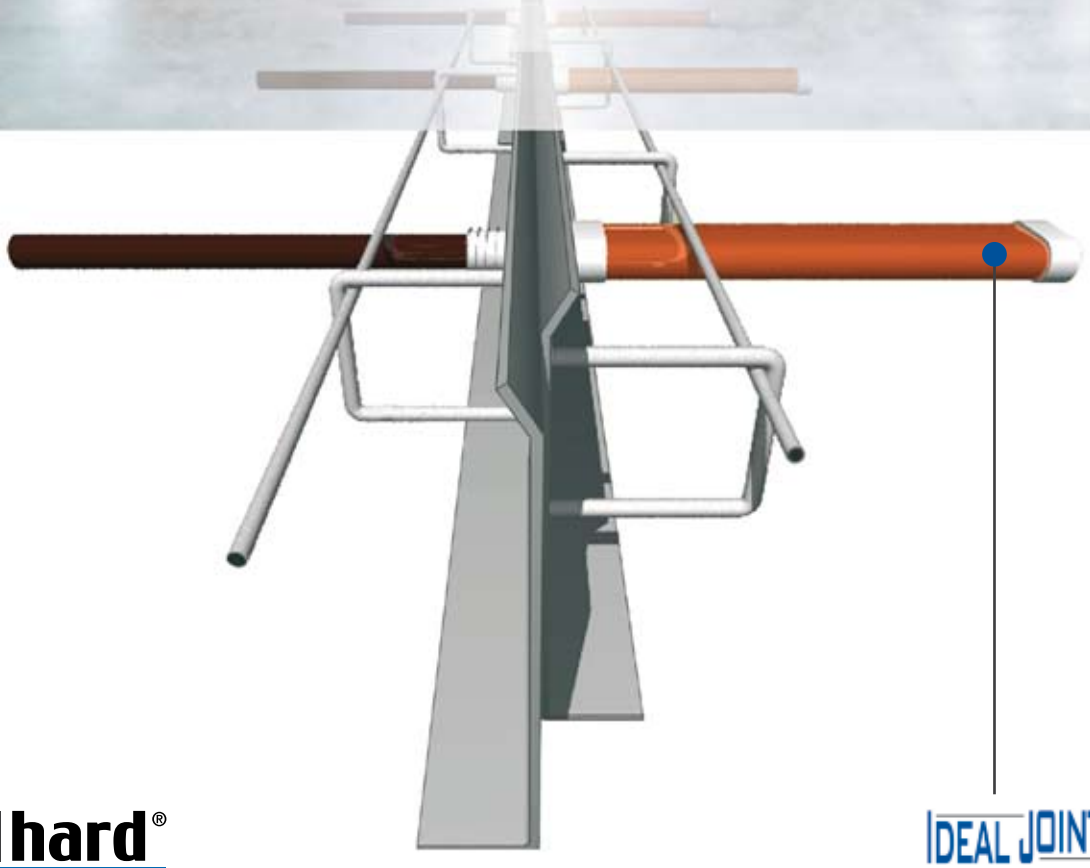
Il nuovo approccio qui presentato, ha consentito il superamento di queste limitazioni attraverso l'utilizzo di due componenti:

- un additivo SRA (*Shrinkage Reducing Admixture*), che riduce la tensione superficiale dell'acqua contenuta nei pori capillari e quindi la tendenza del calcestruzzo al ritiro, anche in assenza di stagionatura (dopo sole 24 ore di protezione del getto, attraverso la disposizione di teli impermeabili).
- la tecnologia si completa con l'utilizzo di un agente espansivo di ultima generazione che contribuisce, in modo definitivo, ad annullare totalmente il fenomeno della fessurazione da ritiro attraverso il meccanismo già descritto in precedenza.

L'accoppiamento, infine, di queste tecnologie con la prescrizione di una classe di consistenza S5 ha consentito di massimizzare l'affidabilità del getto in quanto il calcestruzzo realizzato con queste modalità, si può definire:

- auto–stagionante: dopo i primi 2 giorni di protezione con teli non ha necessitato di accortezze legate alle operazioni di stagionatura con evidente beneficio sia in termini economici che, e soprattutto, tecnici;
- auto–compresso: cioè privo di ritiro e con una espansione contrastata residua di oltre 300 μm/m in servizio;
- di facile posa: le caratteristiche del calcestruzzo messo in opera, sia in termini di prestazioni meccaniche che in termini di durabilità, vengono svincolate dalla cura e dalla perizia di posa in opera, in quanto non occorrono operazioni di compattazione meccanica ad opera della manovalanza.

L'UNIONE FA LA FORZA



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

ProCom

DIAGNOSI DEL DEGRADO DELLE STRUTTURE IN C.A.

Parte II - Prove non distruttive

J. Jacob Ogoumah Olagot, Francesca Simonelli, Roberto Troli
Enco - Engineering Concrete, Ponzano Veneto (TV)
info@encosrl.it

1. PROVE NON DISTRUTTIVE

Le prove non-distruttive possono essere formalmente suddivise in due tipi: **passive** ed **attive**. Le prime rilevano quei fenomeni fisici che si verificano naturalmente, mentre le seconde richiedono un'eccitazione artificiale, di natura termica, elettrica, acustica, ecc. a seconda del fenomeno fisico coinvolto nella prova. Nella Tabella 1 è mostrato un elenco delle principali prove non-distruttive.

Tabella 1 - Principali prove non distruttive.

Fotografia	Gammagrafia
Termografia	Auscultazione sonica ed ultrasonica
Endoscopia	Monitoraggio delle fessure
Magnetometria	Sclerometria

Le prove non-distruttive sono in genere caratterizzate dalle seguenti proprietà:

- mantengono integra la struttura indagata;
- informano in modo globale, rapido e semplice;
- forniscono risultati sia qualitativi che quantitativi (o comunque comparativi).

FOTOGRAFIA

Per quanto banale possa sembrare, la documentazione fotografica è una prova non-distruttiva che sempre dovrebbe accompagnare una diagnosi, anche e soprattutto se seguita da prove distruttive in laboratorio, per evidenziare dove sono localizzati i prelievi sottoposti alle altre osservazioni o analisi (Fig. 1).

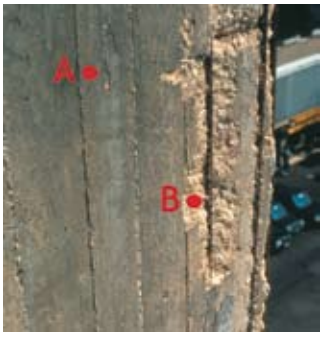


Fig.1 - Esempio di foto per mostrare il difetto di una struttura e le zone di prelievo A e B.

Ovviamente si può anche arrivare ad un vero e proprio rilievo topografico.

TERMOGRAFIA

Il principio teorico della termografia è basato sul fatto che qualsiasi oggetto che si trova ad una determinata temperatura emette un flusso di energia regolato dalla **legge di Stefan-Bolzman**:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \qquad [1]$$

dove T è la temperatura assoluta (in °K) della superficie da cui proviene il flusso energetico E (in W/m^2), σ è una costante universale che vale $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^2·°K^4), ed ε una costante adimensionale – detta emissività – che dipende dal materiale che costituisce la superficie.

Immaginando che una struttura composita, come una muratura, sia esposta nelle stesse condizioni termiche (per esempio all'irraggiamento solare), i singoli elementi (pietra, mattone, ecc.) si porteranno ad una diversa temperatura in funzione delle loro proprietà termiche, ed in particolare del loro calore specifico e della loro conducibilità termica: per esempio, una pietra caratterizzata in genere da una maggiore conducibilità termica e da un minor calore specifico, rispetto ad un mattone, raggiungerà più rapidamente una maggiore temperatura, dopo un determinato periodo di insolazione (Fig. 2. A); ancor maggiore è

la differenza di comportamento tra la pietra e l'eventuale intonaco.

A seguito di queste diverse proprietà la pietra si riscalderà più del mattone e questo più della malta con la conseguenza che, a parità di irraggiamento solare, assumeranno temperature diverse.

D'altra parte, terminato l'irraggiamento solare, la pietra si raffredderà più rapidamente del mattone (Fig. 2, B). L'eventuale intonaco sugli elementi in pietra e mattone risentirà delle differenze termiche così instauratesi ed assumerà temperature diverse (Fig. 2, C), sia pure con una differenza attenuata rispetto alle murature non intonacate.

Ad ogni modo, ciascun elemento emetterà un flusso di energia in accordo con la legge di Stefan-Bolzman, in funzione della temperatura raggiunta (T) e della sua emissività (ε). La termografia consiste nel registrare, mediante un rilevatore ad infrarosso, le temperature raggiunte dai vari elementi presenti in una muratura. Il rilevatore impiegato consente, in particolare, di misurare le radiazioni infrarosse (*IR*) comprese nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 2 e circa 6 μm.

Mediante un sistema ottico (costituito da varie lenti) ed elettrico (capace di tramutare in un segnale elettrico l'intensità della radiazione ricevuta) le differenze di temperature vengono registrate, attraverso un termogramma consistente nella registrazione grafica di tonalità monocromatiche (varianti dal bianco al nero) proporzionali alle diverse temperature.

L'indagine si effettua riprendendo con una telecamera la superficie dell'edificio in esame, visualizzando il termogramma su un *monitor*, e registrandolo mediante fotografia in bianco e nero o attraverso un video registratore.

Per esempio, l'indagine nell'edificio della Fig. 3 rivela nell'immagine termografica la presenza di un arco mascherato dall'intonaco superficiale dopo una modifica strutturale.

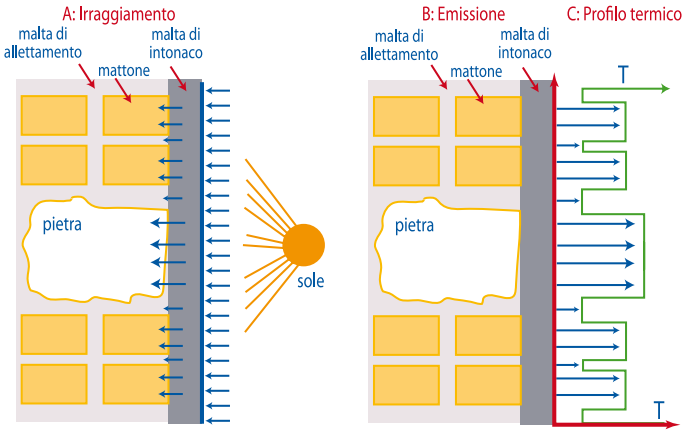


Fig. 2 – Una muratura mista (in pietra e mattone) in fase di irraggiamento solare (A) ed emissione termica (B): a destra il profilo termico (C) rilevato con la termografia (T=temperatura). La lunghezza delle frecce è proporzionale alla temperatura.

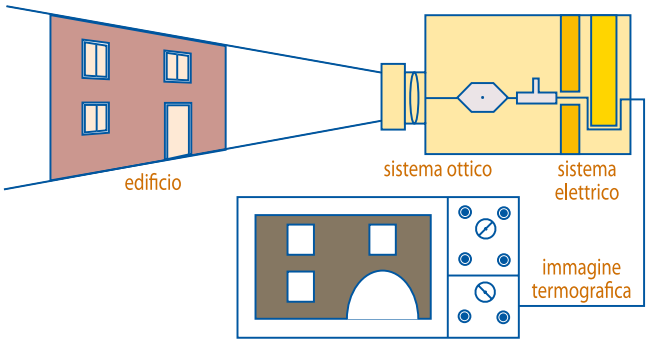


Fig. 3 – Termografia di un edificio.

La termografia consente di evidenziare, in una stessa struttura, le diversità degli elementi che la compongono e dovute a:

- **forme pre-esistenti, modifiche strutturali;**
- **fessurazione, differenze di umidità;**
- **impianti elettrici, termici, idraulici, fognari e canne fumarie;**
- **materiali diversi usati nella costruzione o in precedenti restauri.**

ENDOSCOPIA

L'endoscopio è uno strumento che consente di vedere in cavità, inaccessibili all'osservazione diretta, attraverso fori (da qualche mm a qualche cm) praticati nella struttura e nei quali passa un sistema ottico di tipo rigido costituito da obiettivi e lenti tradizionali, o di tipo flessibile formato da fibra ottiche. In entrambi i casi, l'apparecchio include anche un sistema di illuminazione interna ed un oculare esterno abbinato ad una camera fotografica per registrare le osservazioni endoscopiche.

Per quanto, a rigore, la prova non sia assolutamente non-distruttiva, in quanto occorre praticare dei fori nella muratura, essa viene così catalogata in quanto è impiegata per diagnosi in sito sulla struttura, molto spesso con successo soprattutto dopo aver effettuato l'indagine termografica a cui viene spesso abbinata. Infatti, l'endoscopio consente in sostanza di osservare lo stato delle superfici interne in corrispondenza di piccoli fori praticati nella struttura in base all'indagine termografica.

Un sistema analogo per osservare i difetti superficiali non visibili ad occhio nudo è mostrato in Fig. 4: la sonda ottica interna è sostituita con una "penna" ottica che viene fatta scorrere sulla superficie di una struttura; attraverso il monitor viene osservata e registrata l'ampiezza della fessura.

MAGNETOMETRIA

Fig. 4 – Sopra: impiego della sonda ottica per rilevare difetti non visibili a occhio nudo. Sotto: dettaglio della fessura ingrandita.

Questa tecnica consente di individuare materiali ferromagnetici nascosti nella muratura. Il principio del metodo si basa sul principio dell'induzione magnetica: se un conduttore elettrico (di lunghezza *l*) si muove con una velocità *v* attraverso un campo magnetico di intensità *B*, all'estremità del conduttore si genera una differenza di potenziale *e* calcolabile con l'equazione:

$$e = B\,l\,v \qquad [2]$$

Se le estremità del conduttore in movimento sono collegate con un circuito esterno stazionario rispetto al campo magnetico la tensione indotta *e* causa il passaggio di una corrente di intensità *i*, la quale determina una caduta di potenziale *iR*, dove *R* è la resistenza elettrica del conduttore in movimento. La differenza di potenziale *V* alle estremità del conduttore diventa:

$$V = e - iR \qquad [3]$$

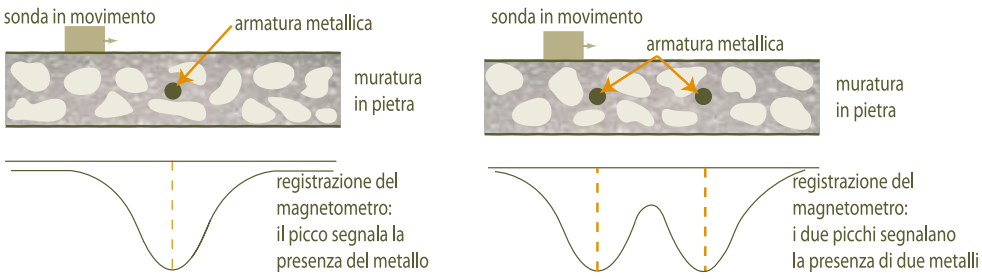


Fig. 5 – Registrazioni del magnetometro in una struttura con uno (A) o con due corpi metallici (B)

In pratica il magnetometro (Fig. 5) si compone di una *sonda* che viene messa in movimento sulla superficie della struttura da indagare; la sonda consiste in una bobina attraversata da una corrente alternata di frequenza costante che genera un campo magnetico alternato.

Gli oggetti metallici, incassati nella struttura da indagare, ma tali che si trovino nell'area di influenza del campo magnetico, alterano la differenza di potenziale all'estremità della bobina in base al principio sopra illustrato. L'alterazione del voltaggio viene segnalata su una scala o registrata graficamente.

L'alterazione dipende dallo spessore dell'oggetto metallico e da quello del materiale coprente: nel caso di strutture in cemento armato, per esempio, il magnetometro, adeguatamente tarato, consente di rilevare il diametro dell'armatura in acciaio e lo spessore del copriferro.

Nel caso delle murature degli edifici storici, la magnetometria consente di evidenziare la presenza di materiali metallici (tubazioni in ghisa, piombo, rame) incassati in materiali elettricamente non conduttivi quali sono in genere i materiali da costruzione delle murature.

GAMMAGRAFIA

Questa tecnica di indagine non distruttiva, largamente impiegata in altri settori dell'ingegneria meccanica, si basa sulle diverse capacità dei materiali di assorbire energia elettromagnetica emessa da sorgenti radioattive in grado di produrre raggi X.

Una pellicola particolare viene impressionata dalle radiazioni che fuoriescono dal manufatto esposto alle radiazioni provenienti dalla sorgente radioattiva: sulla pellicola si evidenziano diverse tonalità di grigio in relazione alle caratteristiche di opacità o trasparenza del manufatto alle radiazioni X.

Per quanto molto utile nel segnalare la presenza di elementi metallici, di fessurazioni e di cavità non visibili, la gammagrafia pone qualche problema in relazione alla sicurezza delle persone direttamene o indirettamente coinvolte nella sperimentazione e pertanto richiede una specifica autorizzazione.

AUSCULTAZIONE SONICA ED ULTRASONICA

La tecnica, già utilizzata con successo per il controllo delle fondazioni profonde (per esempio, pali di pile da ponte), si basa fondamentalmente sulla misurazione del tempo impiegato dalle **onde soniche** — di frequenza compresa tra 16 Hz e 20 kHz — nell'attraversare un determinato percorso all'interno di un materiale. Nella Fig. 6

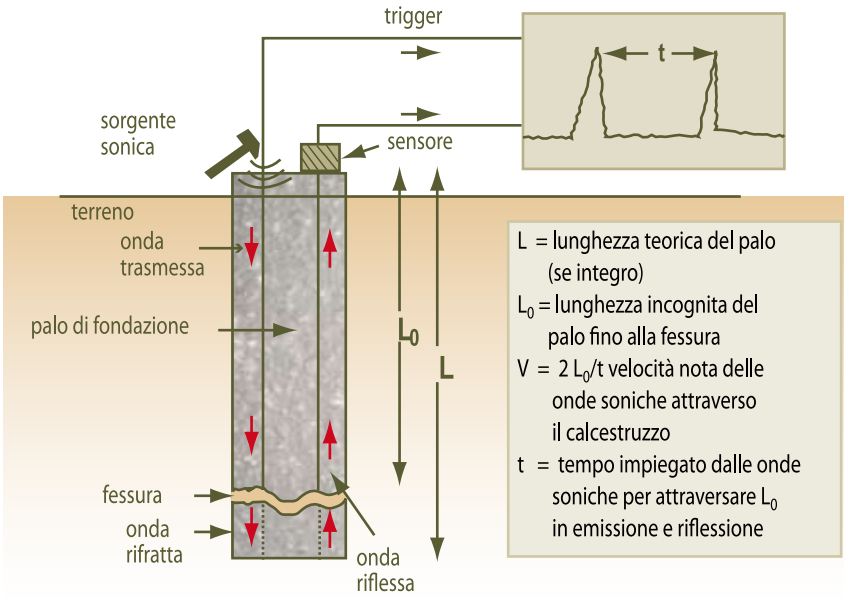


Fig. 6 – Rilevamento di una fessura in un palo di fondazione mediante auscultazione sonica.

è schematicamente mostrato il principio del metodo nel caso si voglia evidenziare la presenza di una fessura in un palo di fondazione attraverso l'auscultazione delle onde soniche riflesse per la presenza di una fessura nel palo: le onde soniche, infatti, incontrando una discontinuità del mezzo vengono in parte riflesse ed in parte rifratte. Il *trigger* fa scattare un contatore di tempo allorquando la sorgente (un martello, un generatore di rumore, ecc.) emette le onde soniche. Il sensore raccoglie l'onda riflessa, la trasforma in un segnale elettrico che interrompe il contatore. La misura del tempo *t* di percorrenza dell'onda sonica all'interno del materiale integro ($2L_0$) e la conoscenza della velocità (V) con cui le onde soniche viaggiano attraverso il materiale permettono di risalire alla lunghezza L_0 in corrispondenza della quale si trova una fessura.

Lo stesso principio può essere utilizzato nell'auscultazione sonica per *trasmissione* (Fig. 7), in questo caso la sorgente (*S*) ed il sensore (*s*) sono posti per esempio sulle due facce opposte di una muratura; muovendo la sorgente ed il sensore lungo l'altezza della muratura è possibile registrare eventuali discontinuità del materiale che compone la struttura (cavità, fessure, eterogeneità, ecc.).

Fig. 7 – Schematizzazione dell'auscultazione sonica per trasmissione S = sorgente; s = sensore.

Le vibrazioni meccaniche con frequenze superiori a 20 kHz, e fino a 1000 MHz, non sono percepite dall'orecchio umano e sono definite ultrasoniche.

Le **onde ultrasoniche**, a differenza di quelle soniche, non si trasmetto altrettanto facilmente nell'aria; entrambe, però, possono essere molto facilmente trasmesse, anche per lunghe distanze, attraverso materiali liquidi e soprattutto solidi.

La specificità delle onde ultrasoniche consiste nel fatto che se esse incontrano uno strato di aria (fessura, cavità, intercapedine) vengono quasi completamente riflesse. Si calcola che è sufficiente una fessura di circa 1 μm per bloccare la trasmissione degli ultrasuoni aventi una lunghezza d'onda di circa 1 mm. Ciò determina, ovviamente, un limite nell'applicazione degli ultrasuoni in murature porose e discontinue, come sono spesso quelle degli edifici storici. Tuttavia, le onde ultrasoniche possono essere vantaggiosamente applicate nella rilevazione di discontinuità provocate da degradi non ancora visibili, presenti fin dall'origine per la tecnica costruttiva impiegata (per esempio: murature a sacco).

La velocità (V) con cui si trasmettono le onde soniche o ultrasoniche è regolata dalla equazione:

$$V = \left[\frac{E_d}{\rho} \quad \frac{1 - \nu}{(1 - \nu)(1 - 2\nu)} \right]^{1/2} \qquad [4]$$

dove E_d è il modulo elastico dinamico (N/mm^2) del materiale attraversato dalle onde ultrasoniche, ε è la sua massa volumica (kg/m^3), e ν è il modulo di Poisson.

Se sono noti (o si misurano) i valori di Φe di ν, si può calcolare E_d dalla misura di V. Se si evidenziano variazioni di V lungo una certa direzione di una muratura di spessore nominale costante ciò può essere imputato a variazioni nella porosità del materiale oppure a presenza di fessure o di cavità. Come si vede, non è facile emettere una diagnosi di deterioramento sulla semplice rilevazione di una prova non-distruttiva: tuttavia, come si è già detto, le prove non-distruttive, incluse quelle basate sulla misura di velocità di propagazione degli ultrasuoni, possono segnalare le zone sospettate di essere degradate, e non visibili direttamente, e permettono pertanto di "mirare" meglio le aree da sottoporre a prelievi per le prove distruttive.

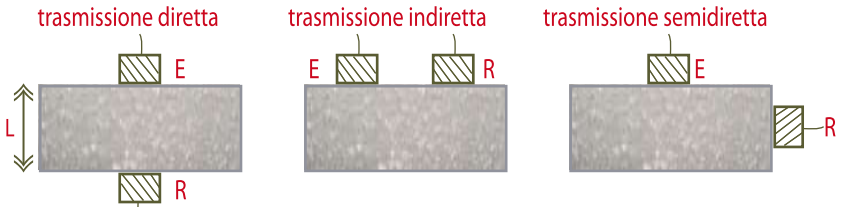


Fig. 8 – Tipi di trasmissione (diretta, semi-diretta, ed indiretta) degli ultrasuoni realizzati con diversi posizionamenti della sonda di emissione (E) e di ricezione (R) delle onde.

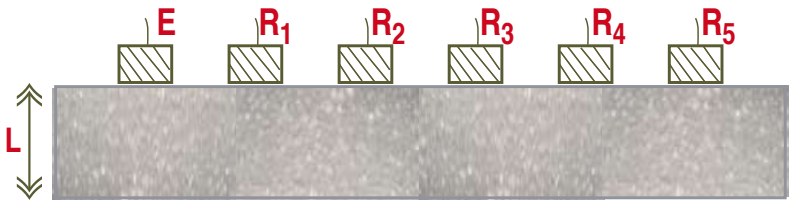


Fig. 9 – Trasmissione indiretta degli ultrasuoni tra una sonda di emissione (E) ed una di ricezione (R) posizionata in diversi punti tra loro equidistanti.

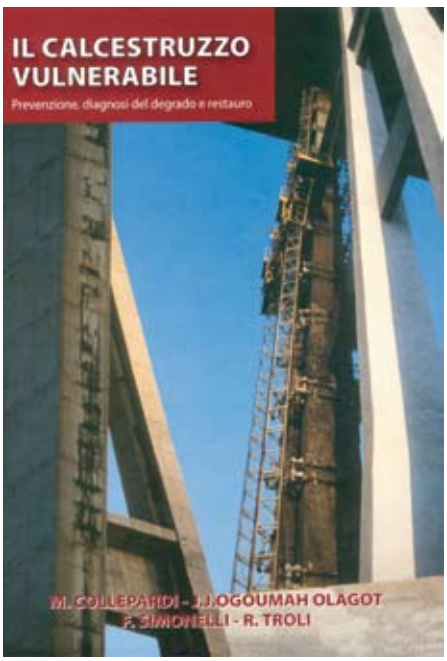
Il rilevamento della trasmissione degli ultrasuoni può essere fatto mediante una sorgente di onde con frequenza solitamente compresa tra 50 e 100 kHz, ed una sonda ricevente. Con un cronometro elettronico si misura il tempo impiegato dalle onde a percorrere un determinato cammino e si calcola quindi la velocità V. Si possono attuare tre tipi di rilevazioni a seconda delle circostanze: trasmissione diretta, semi-diretta, ed indiretta (Fig. 8).

Ovviamente, quando è possibile, la trasmissione diretta è da preferirsi perché consente una misura dello spessore (L) attraversato dalle onde e quindi, mediante il rilevamento del tempo (t), anche della velocità V e quindi del modulo elastico dinamico E_d. Quando non è possibile posizionare le due sonde in opposizione, si può ricorrere agli altri due tipi di trasmissione che – pur meno precisi perché non si conosce il cammino percorso dalle onde – consentono comunque, attraverso rilevazioni comparative eseguite su strutture analoghe, di evidenziare discontinuità o difetti non visibili direttamente. Per esempio, nella trasmissione indiretta effettuata lungo un muro di spessore (L) si può evidenziare la presenza di anomalie posizionando la sonda di ricezione in punti diversi ed equidistanti tra loro.

SCLEROMETRIA

Le prove sclerometriche, sicuramente le più impiegate tra quelle non-distruttive, consentono di determinare la durezza superficiale di una struttura in calcestruzzo mediante la misura del rimbalzo di un'asta proiettata sulla superficie della struttura stessa. Poiché esiste una qualche correlazione tra la durezza superficiale e la resistenza meccanica, molto spesso lo sclerometro è utilizzato per ricavare i valori di resistenza meccanica a compressione. In realtà, la correlazione tra durezza superficiale e resistenza a compressione — e quindi la taratura dello strumento — dipende da alcuni parametri (come la durezza dell'aggregato lapideo, finitura e compattazione dello strato corticale, stagionatura superficiale, ecc.) che possono influenzare la correlazione stessa.

Pertanto, il miglior impiego della sclerometria, come avviene tipicamente per le prove non-distruttive, è quello di individuare comparativamente zone di calcestruzzo relativamente più deboli e più forti (in termini di durezza



Evita...
Previeni...
Ripara...

Non impiegare un
CALCESTRUZZO
VULNERABILE
Leggi come fare

Informazioni Utili

Enco Srl
Via delle Industrie, 18
31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771
Fax 0422 963237
www.encosrl.it
info@encosrl.it
(Alessandra Galletti
Mara Meneghel)

PAGAMENTO: carta di credito,
bonifico bancario,
vaglia postale,
conto corrente postale

IL PASSANTE DI MESTRE

COMUNICATO STAMPA
Nuovo Sito per il passante di Mestre - Visita virtuale ai cantieri

Marilisa Canal
CANALCOM, Villorba (TV) - info@canalcom.it

Spesso le grandi opere pubbliche, proprio a causa della loro portata, risultano di difficile comprensione per tutti coloro che le vivono dall'esterno.

Perfettamente consapevole della necessità di accompagnare un'adeguata informazione alla realizzazione di un'opera tanto colossale quanto strategica, l'Ing. Silvano Vernizzi, Commissario Delegato per il Passante di Mestre, ha deciso di realizzare un sito internet per consentire a chiunque, operatori del settore delle costruzioni ma anche semplici cittadini, di ottenere informazioni in modo facile e diretto.

La mancanza di una visione d'insieme, perlomeno fino al completamento dell'opera, sicuramente non facilita questa cognizione.

Al fine di accompagnare l'esecuzione di un'opera tanto grandiosa con un'adeguata informazione, l'agenzia di comunicazione Canalcom di Treviso è stata incaricata di realizzare un sito internet.

All'indirizzo www.ilpassantedimestre.com si respira esattamente la stessa "aria di cantiere" dei 32 chilometri e mezzo interessati dai lavori per questa grande opera, la quale una volta ultimata consentirà l'alleggerimento del traffico in transito su Mestre e la decongestione di tutta l'area del nord-est.

Il sito è strutturato in tre sezioni principali: il passato, il presente ed il futuro dell'opera e dell'area interessata dal suo attraversamento.

Sicuramente degna di nota è la parte dedicata al presente, nella quale è possibile reperire la descrizione dell'opera, i progetti e le planimetrie, le informazioni su committenza e costruttori e, soprattutto, lo stato d'avanzamento dei tredici cantieri attualmente aperti, con le foto e le informazioni precise e dettagliate del "giornale di cantiere". È esattamente come entrare in cantiere. Senza sporcarsi le scarpe, però.

Il percorso del Passante di Mestre si estende dal casello dell'A4 di Dolo attraverso il territorio di tredici comuni, interseca l'autostrada A27 Venezia/Belluno all'altezza della barriera di Mogliano e, procedendo per altri 32 chilometri, si reinserisce nel tracciato della A4 in prossimità di Quarto d'Altino.

Questi i dati più interessanti:

Denominazione progetto: Autostrada A4 – Variante di Mestre – Passante Autostradale.

Tracciato: da Roncoduro a Quarto d'Altino attraverso i Comuni di Pianiga, Mirano, Mira, Spinea, Salzano, Martellago, Scorzè, Zero Branco, Mogliano Veneto, Preganziol, Casale sul Sile.

Committente: Commissario Delegato per l'Emergenza Socio-Economico-Ambientale della Viabilità di Mestre.

Costruttore: Passante di Mestre S.C.p.A.

Data stipula contratto: 30 aprile 2004.

Data approvazione progetto definitivo: 20 settembre 2004.

Data inizio lavori: 11 dicembre 2004.

Data termine lavori: 01 maggio 2008.

Durata lavori: 1.320 giorni.

Costo: Φ864.261.413.

Nel sito, i dati tecnici forniscono l'indicazione di quante sono le opere necessarie per la variante di Mestre dell'Autostrada A4: 8 gallerie con lunghezze comprese tra 60 e 400 metri, 4 viadotti, 14 ponti per attraversamenti fluviali, 15 sovrappassi e 22 sottopassi, 3 interconnessioni con la rete autostradale ed altrettanti caselli, una viabilità complementare con sviluppo complessivo di circa 30 chilometri.

Dal punto di vista costruttivo è necessario un enorme sforzo logistico ed organizzativo per attuare lo spostamento di acquedotti, gasdotti, fognature e linee elettriche. La difficoltà maggiore è costituita dal fatto che, operando in una zona ad alta densità abitativa, non è possibile sospendere l'erogazione di questi servizi durante il loro spostamento. Nella sezione del sito dedicata alle sfide è presente l'indicazione di tutte queste interferenze, ben 357, comprendenti addirittura un oleodotto.

Parallelamente al sito principale del Passante Autostradale, su www.passantedimestre.org è possibile accedere ai dati del Progetto di Monitoraggio Ambientale che, seguendo le direttive del Ministero dell'Ambiente, il costruttore ha attuato e continua ad attuare in tutte le fasi del progetto, sia preliminari che in corso d'opera, per assicurare la più grande trasparenza in materia di tutela ambientale.

L'aggiornamento costante sulla situazione dei cantieri e le molte utili e complete informazioni fornite da www.ilpassantedimestre.com, che oltre ai dati tecnici contiene anche notizie relative ad altri ambiti come, ad esempio, l'archeologia, gli aspetti ambientali e le opere stradali complementari, rendono la visita al cantiere del Passante di Mestre semplice, costantemente aggiornata ed immediata, direttamente da casa o dall'ufficio.

NON ACCETTARE AGGREGATI DAGLI SCONOSCIUTI

La Marcatura CE per i prodotti da costruzione è un OBBLIGO DI LEGGE

DIRETTIVA 89/106/CEE
Art. 1 - Per "materiale da costruzione" si intende qualsiasi prodotto fabbricato al fine di essere incorporato in opere di costruzione, le quali comprendono gli edifici e le opere di ingegneria civile.

enco

IL VOSTRO PASSAPORTO PER L'EUROPA

Vi accompagneremo:

- **nella scelta del tipo di conformità**
- **nella dichiarazione di conformità**
- **nel controllo di produzione in fabbrica**
- **nelle prove iniziali di tipo**
- **nelle prove complementari di campioni prelevati in fabbrica dal produttore**

IL NOSTRO OBIETTIVO: assicurarvi la possibilità di partecipare a gare d'appalto e finanziamenti, ma soprattutto il MIGLIORAMENTO DEI VOSTRI PROFITTI e un migliore posizionamento del prodotto sul mercato.

Enco Srl - Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963771 - Fax 0422 963237 -
Sito web: www.encosrl.it - E-mail: info@encosrl.it

Prove materiali da costruzione. Laboratorio Ufficiale Legge 1086/71 - LL.PP. L. 1086/71 D.M. 52655 del 24/11/2004

Laboratorio Qualificato ITALFERR

Legge 297/99 Laboratorio R.I. riconosciuto (Art. 4 - M.I.U.R. Ministero Università e Ricerca Scientifica

Laboratorio Qualificato Cepav uno

SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITÀ CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2000 SINCERT DNV

DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA "IDEALE" RIFERITA A TUTTI I SOLIDI DEL CALCESTRUZZO

*Mario Collepardi, Vincenzo Maniscalco**
Enco - Engineering Concrete, Ponzano Veneto (TV) info@encosrl.it
**Consulente Libero Professionista*

1. DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA "IDEALE" RIFERITA A TUTTI I SOLIDI DEL CALCESTRUZZO

La distribuzione granulometrica "ideale" di tutti i solidi all'interno di un calcestruzzo (cemento, sabbia, inerte grosso) è calcolabile con la cosiddetta equazione di Bolomey:

$$P_{ds} = A_B + (100 - A_B)\,(d/D_{max})^{1/2} \qquad [1]$$

dove: P_{ds} = è il passante cumulativo di tutti i solidi al setaccio di apertura d, D_{max} è la massima dimensione (diametro massimo) dell'inerte ed A_B è la costante di Bolomey che dipende da alcuni parametri del calcestruzzo (tipo di inerte e lavorabilità) come è mostrato nella Tabella 1. I valori di A_B sono stati mediati da quelli originali ed "aggiornati" per tener conto del livello di lavorabilità (consistenza superfluida) oggi conseguibile nei calcestruzzi con i moderni additivi.

Tabella 1 - Valori della costante A_B per l'equazione [1].

TIPO DI INERTE	A_B		
	SLUMP (mm)		
	0-50	50-150	150-250
NATURALE TONDEGGIANTE	8	10	12
FRANTUMATO ANGOLARE	10	12	14

Se A_B è posto uguale a zero, l'equazione di Bolomey viene a coincidere con l'equazione di Füller.

$$P_{ds} = 100\,(d/D_{max})^{1/2} \qquad [2]$$

la quale rappresenta una miscela di solidi granulari con il massimo assortimento possibile e quindi con il minor volume di vuoti interstiziali tra i granuli dei solidi.

Un calcestruzzo confezionato con inerti in curva di Füller, quindi, presenta la minima quantità di pasta cementizia tra i granuli di inerti.

Un calcestruzzo confezionato con inerti in curva di Bolomey ($A_B > 0$) si presenta più lavorabile, per avere più vuoti tra gli inerti e quindi più pasta di cemento capace di "lubrificare" l'impasto. Maggiore è il valore di A_B, maggiore è la lavorabilità del calcestruzzo confezionato con questi inerti.

Nella Figura 1 viene mostrata la distribuzione granulometrica ottimale di tutti i solidi in curva di Füller e di Bolomey con $A_B = 10$.

Dalla Figura si nota come la distribuzione ottimale in curva di Bolomey possieda un maggior contenuto in "fine" (frazioni granulometriche di dimensioni inferiori a 4.76 mm) rispetto alla distribuzione ottimale in curva di Füller.

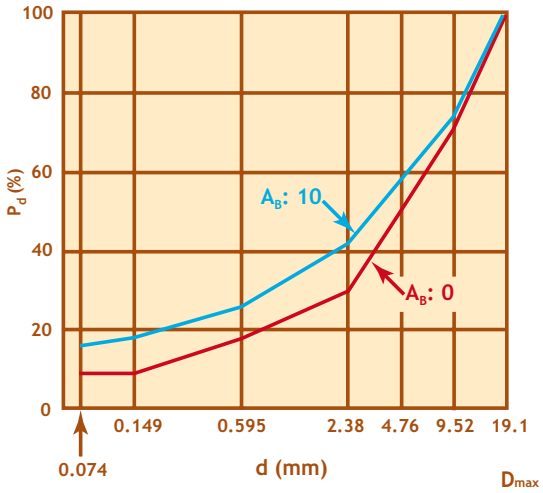


Fig. 1 - Distribuzione granulometrica secondo Bolomey (A_B=10) e Füller (A_B=0) per inerti con diametro massimo di 19.1 mm.

2. DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA "IDEALE" RIFERITA AI SOLI INERTI DEL CALCESTRUZZOura

Poiché il cemento è tutto passante ai setacci normalmente impiegati per gli inerti, l'equazione di Bolomey può essere riferita ai soli inerti sottraendo ai passanti dei vari setacci

la percentuale, espressa in peso, di cemento rispetto a tutti i solidi:

$$C = \frac{c}{c + i} = 100$$

dove c ed i sono rispettivamente il dosaggio di cemento e di inerte in kg/m^3 e C è la percentuale di cemento sul totale dei solidi.

L'equazione di Bolomey a quella di Füller, riferite ai soli inerti pertanto diventano rispettivamente:

$$P_d = \frac{A_B - C + (100 - A_B)\,(d / D_{max})^{1/2}}{100 - C}\ 100$$

$$P_d = \frac{100\,(d / D_{max})^{1/2} - C}{100 - C}\ 100$$

dove: P_d è la percentuale di passante cumulativo al setaccio di apertura d riferita ai soli inerti.

Nella Figura 2 viene mostrata l'influenza del dosaggio di cemento (c) sulla distribuzione granulometrica dell'inerte ottimale di Bolomey (D_{max} = 19.1 mm, A_B = 8).

Dalla Figura 2 si nota che aumentando il dosaggio di cemento diminuisce la percentuale di aggregato fine, giacché il cemento contribuisce esso stesso, assieme all'aggregato fine, a "lubrificare" l'impasto.

Quando il dosaggio di cemento diviene elevato (es. c = 400), si possono ottenere per l'inerte ideale dei passanti cumulativi percentuali negativi: ciò non ha ovviamente alcun significato fisico. Pertanto si assume eguale a zero il valore di questi passanti.

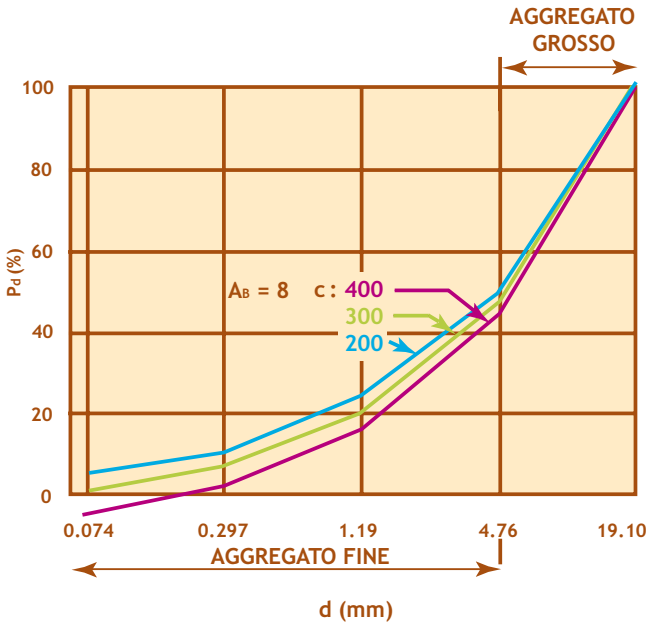


Fig. 2 - Influenza del dosaggio di cemento (c = 200-300-400 kg/m$_3$) sulla distribuzione granulometrica secondo Bolomey con A_B=8.

3. COMBINAZIONE DEGLI INERTI REALI PER RIPRODURRE AL MEGLIO LA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA DELL'INERTE IDEALE.

Non esistono già disponibili in natura materiali lapidei con distribuzione granulometrica eguale a quella ideale richiesta per un inerte da destinare al confezionamento dei calcestruzzi.

Pertanto fissata e calcolata la distribuzione granulometrica dell'inerte ideale in base alle caratteristiche del calcestruzzo da produrre (A_B, C_B, D_{max}), occorre combinare gli inerti reali disponibili (almeno due) di distribuzione granulometrica nota (attraverso la vaglliatura) per riprodurre al meglio la distribuzione granulometrica ideale. Questo inerte verrà definito "ottimale".

Per calcolare la combinazione degli inerti esistono sostanzialmente due metodi: grafici e numerici. Di seguito vengono mostrate le applicazioni di un metodo numerico applicato alla curva di Bolomey.

Il metodo numerico per la combinazione degli inerti consiste nel calcolare un parametro numerico sia dell'inerte ideale che si vuole riprodurre, che degli inerti disponibili. Il parametro numerico caratterizzante i vari inerti è di solito il modulo di finezza (M_f), ma possono essere individuati anche altri parametri (per es.: la superficie specifica).

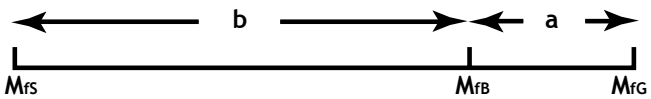
Se si mescolano x parti di sabbia caratterizzata da un modulo di finezza M_{fs} ed 1-x parti di inerte grosso caratterizzato da un modulo di finezza M_{fG}, con l'obiettivo di ottenere un inerte ideale bolomeyano caratterizzato da M_{fB}, deve essere soddisfatta la seguente equazione:

$$\mathbf{M_{fB} = x\,M_{fs} + (1 - x)\,M_{fG}}$$

Noti M_{fB} (dalla curva di Bolomey), M_{fs} ed M_{fG} (dalla vagliatura) si calcola x. Dalla precedente equazione si può ricavare:

$$x = \frac{M_{fG} - M_{fB}}{M_{fG} - M_{fS}} \quad ; \quad 1 - x = \frac{M_{fB} - M_{fS}}{M_{fG} - M_{fS}}$$

Riportando su un'asse i valori progressivamente crescenti di $M_{fs,}$ M_{fB} ed M_{fG} si calcolano immediatamente le frazioni x ed $1 - x$, misurando la lunghezza dei segmenti a e b che separano rispettivamente M_{fG} da $M_{fB,}$ ed M_{fB} da $M_{fs.}$



$$x = \frac{a}{a + b}$$

$$1 - x = \frac{b}{a + b}$$

Combinando due inerti alla volta il metodo può essere

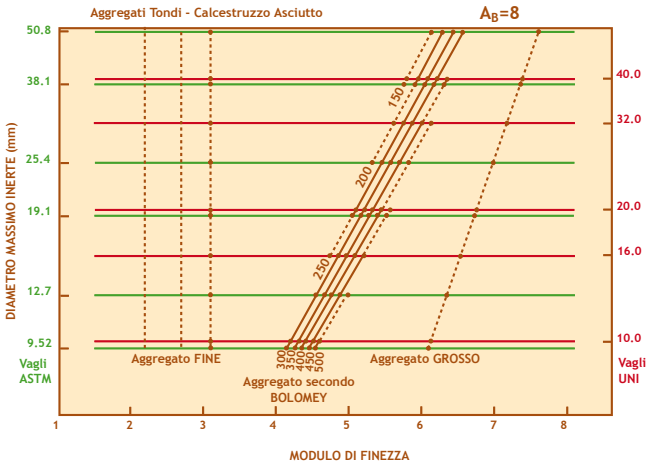


Fig. 3 - Modulo di finezza dell'aggregato in curva di Bolomey (con A_B=8) al variare del dosaggio di cemento (150-500 kg/m³) e del D_{max} secondo ASTM (a sinistra) o UNI (a destra).

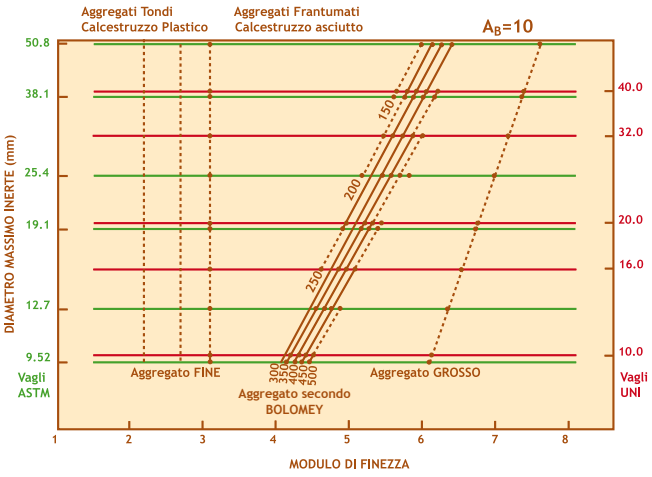


Fig. 4 - Modulo di finezza dell'aggregato in curva di Bolomey (con A_B=10) al variare del dosaggio di cemento (150-500 kg/m³) e del D_{max} secondo ASTM (a sinistra) o UNI (a destra).

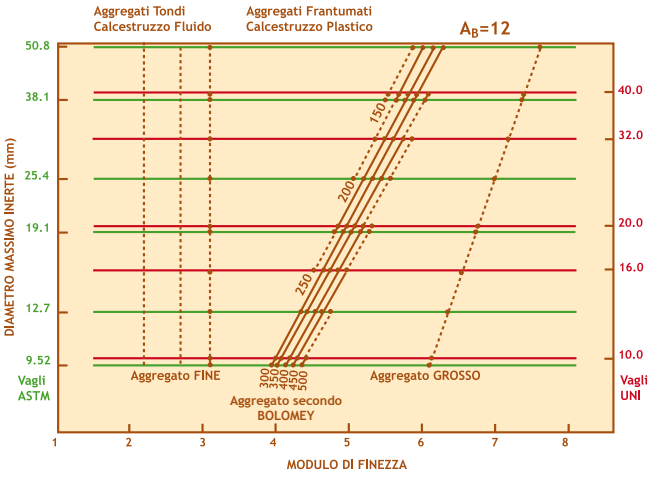


Fig. 5 - Modulo di finezza dell'aggregato in curva di Bolomey (con A_B=12) al variare del dosaggio di cemento (150-500 kg/m³) e del D_{max} secondo ASTM (a sinistra) o UNI (a destra).

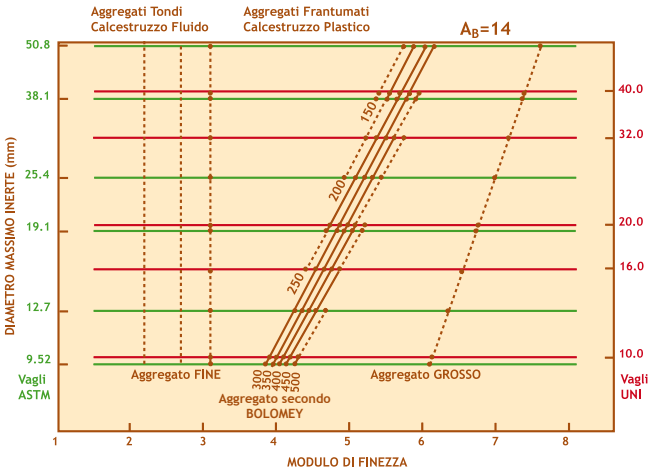


Fig. 6 - Modulo di finezza dell'aggregato in curva di Bolomey (con A_B=14) al variare del dosaggio di cemento (150-500 kg/m³) e del D_{max} secondo ASTM (a sinistra) o UNI (a destra).

esteso alla combinazione anche di più inerti.

Nelle Fig. 3-6 sono riportati i moduli di finezza delle sabbie (a sinistra), dell'aggregato grosso (a destra) e dell'aggregato ideale secondo Bolomey al variare del dosaggio di cemento (c = 150 ÷ 500 kg/m³), del diametro massimo e della costante A_B (tipo di inerte e livello di slump, Tabella 1).Di seguito sono mostrati due esempi di combinazione con due o tre inerti.

Esempio di proporzionamento di due inerti

Calcestruzzo a consistenza asciutta (slump = 25 mm), con inerti naturali, (D_{max} = 9.52 mm) ⇒ A_B = 8. Dosaggio cemento di 450 kg/m³.

Trattenuti cumulativi degli inerti disponibili

VAGLIO (mm)	SABBIA	GHIAIA
9.52	----	2
4.76	----	85
2.38	20.4	95
1.19	35.6	100
0.595	50.0	100
0.297	75.5	100
0.149	93.0	100
0.074 resto	98.0 100.0	---- ----
M_f	2.74	5.82

Nota la costante A_B=8 dal tipo di inerte (naturale) e dalla classe di consistenza (asciutta), si sceglie il grafico di seguito riportato. Dal valore del D_{max} (9.52 mm) e dal dosaggio di cemento (450 kg/m³) si individua il valore di M_{fB} (pallino

rosso sul grafico). Si misurano quindi le distanze di ***a*** (2.8 cm) e di ***b*** (3.4 cm) per calcolare la percentuale di sabbia e di ghiaino.

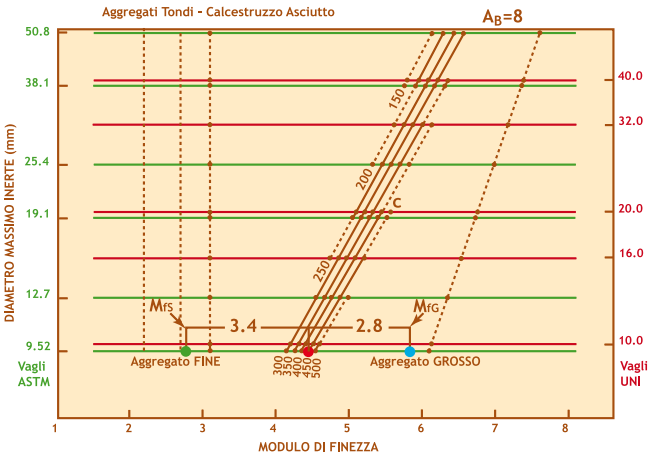


Fig. 7 - Esempio di calcolo della percentuale di sabbia con modulo di finezza 2.74 (pallino verde) e di ghiaia con modulo di finezza 5.82 (pallino azzurro) e D_{max} = 9.52 mm.

$$\text{SABBIA} = \frac{a}{a+b} = \frac{2.8}{2.8+3.4} = 0.45 = 45\%$$

$$\text{GHIAIA} = \frac{b}{a+b} = \frac{3.4}{2.8+3.4} = 0.55 = 55\%$$

Esempio di proporzionamento di tre inerti

Calcestruzzo a consistenza asciutta (slump = 90 mm), con inerti naturali, (D_{max} = 25.40 mm) ⇒ A_B = 10. Dosaggio cemento di 300 kg/m³. Inerti: tre con l'analisi granulometrica mostrata nella Tabella che segue.

Trattenuti cumulativi degli inerti disponibili

VAGLIO (mm)	SABBIA	GHIAINO	GHIAIA
25.40	----	----	----
19.10	----	----	41.30
12.70	----	17.00	94.47
9.52	----	47.66	98.94
4.76	----	97.66	99.74
2.38	14.33	99.66	100.0
1.19	33.67	100.0	100.0
0.595	47.33	100.0	100.0
0.297	75.00	100.0	100.0
0.149	94.66	100.0	100.0
M_f	2.60	6.45	7.40

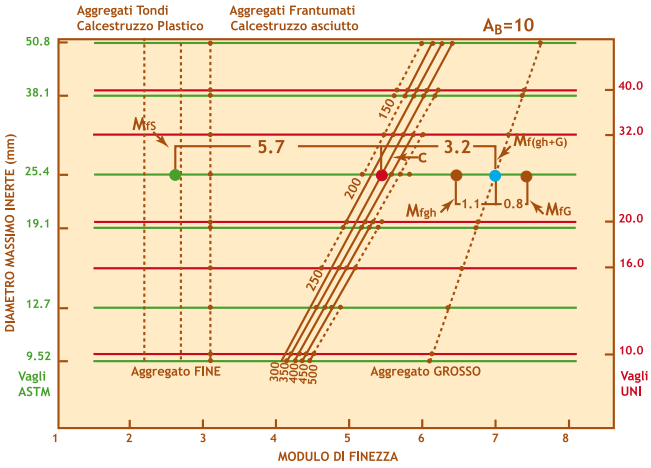


Fig. 8 - Esempio di calcolo della percentuale di sabbia, ghiaino e ghiaia caratterizzati dai moduli di finezza rispettivamente 2.60 (pallino verde), 6.45 (pallino azzurro) e 7.40 (pallino blu).

Questo articolo è tratto dal libro:

Informazioni Utili

Enco Srl - Via delle Industrie, 18 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963237 -
www.encosrl.it - info@encosrl.it

PAGAMENTO: carta di credito, bonifico bancario, vaglia postale, conto corrente postale

Forza di Gruppo

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

www.colacem.it www.colabeton.it

GRUPPO FINANCO

COLACEM

colabeton

Lorenzi comunicazione e pubblicità

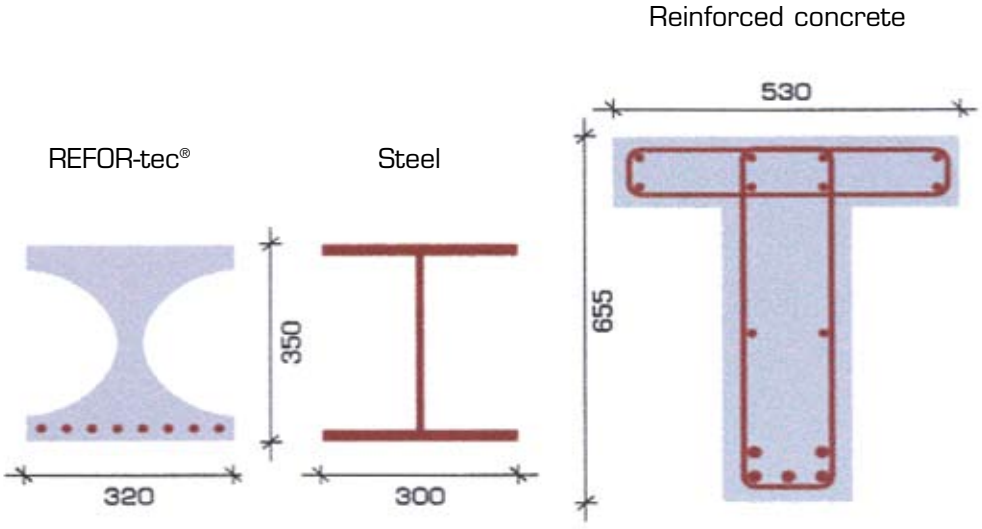
technology

REFOR-tec®

LIGHT and STRONG

- light-weight structural elements
- light-weight architectural elements
- functional elements
- structural repair
- structural nodes

Ultra High Performing Concretes



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