2005
Trimestrale
Anno X
Numero 30

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

sostenibilità?

"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"

www.iceasas.it

INDUSTRIA CALCESTRUZZI AFFINI E PREMISCELATI

icea

dei F.lli DI FEDE s.a.s.

I PREMISCELATI LAVICI DELL'ETNA

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

I nostri premiscelati secchi pronti all'uso, sono gli unici presenti sul mercato confezionati rigorosamente a base di inerti lavici. I rigorosi controlli del nostro ciclo produttivo e le continue prove di laboratorio, ci permettono di offrire e garantire alla nostra clientela un prodotto costante nel tempo e di facile utilizzo e applicazione.

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

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

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

S.P. n. 3 - Km 0,300 Zona Industriale - Piano Tavola 95032 BELPASSO (CT)
Tel. 095.391095 - 095.391037 PBX - FAX 095.7131670

BOLOGNA
SAIE - SALA ITALIA

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

INNOVAZIONI TECNOLOGICHE NELLE OPERE IN C.A.

Relatori:

Michele Valente (G.A. SpA)
Il ruolo della G.A.: innovazione e sistema

Mario Collepardi (Enco srl)
Additivi su misura del CLS preconfezionato e prefabbricato

Roberto Troli (Enco srl)
Calcestruzzi senza ritiro

Franco Mola (Politecnico di Milano)
SCC: proprietà ed applicazioni

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

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

NOME/COGNOME _____

SOCIETA'/ENTE _____

VIA _____ N _____

LOCALITA' _____ CAP _____

TEL. _____ FAX _____ E-MAIL _____

- INGEGNERE ☐
- ARCHITETTO ☐
- GEOMETRA ☐
- PROGETTISTA ☐
- PREFABBRICATORE ☐
- PRECONFEZIONATORE ☐
- IMPRESA ☐
- _____ ☐

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

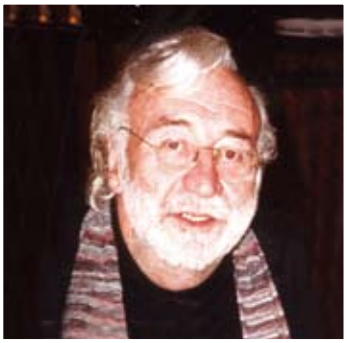
Firma: _____

Innovazione e Sistema

ADDITIVI

CALCESTRUZZO

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



Prof. Mario Collepardi
Presidente di Enco Srl

GENERAL G.A ADMIXTURES

General Admixtures Spa
Via delle Industrie, 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. +39 0422 966911 - Fax +39 0422 969740 - e-mail: info@gageneral.com - www.gageneral.com

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 X - Numero 30

Direttore Mario Collepardi

SOSTENIBILITA'

La copertina di questo numero è dedicata ancora una volta alla sostenibilità del nostro progresso e di quello delle costruzioni in particolare. Il precario equilibrio su cui poggia lo sviluppo del nostro pianeta è testimoniato dalla crescente frequenza di manifestazioni ambientali devastanti (inondazioni, uragani, ecc.) derivanti da una eccessiva emissione di gas serra e dell'anidride carbonica in particolare.

Ma questo è solo uno dei due aspetti del problema. L'altro, strettamente connesso al primo, riguarda il consumo di risorse energetiche in forma di combustili fossili non rinnovabili. Ogni giorno registriamo un record del prezzo del petrolio e ci preoccupiamo, per *domani*, che questo continuo aumento del costo possa rallentare il progresso industriale oltre che il costo della nostra mobilità. In realtà la situazione è ancora più grave se si pensa al *dopo-domani*: le disponibilità di petrolio e di carbone sono destinate ad esaurirsi e si discute solo se questo debba verificarsi tra 30 o 50 anni. Si discute in sostanza se dobbiamo preoccuparci per i nostri nipoti o pronipoti. Si va ormai consolidando la prospettiva che le future generazioni non troveranno più risorse energetiche - soprattutto in un Paese come il nostro che ha abdicato all'energia nucleare - e che si ritroveranno invece un ambiente fortemente inquinato. Occorre quindi prendere provvedimenti urgenti per cambiare questa tendenza e mettere in atto seriamente le direttive dell'accordo di Kyoto: risparmiare risorse energetiche non rinnovabili e ridurre la emissione di anidride carbonica.

Ciascuno deve svolgere il suo compito nell'ambito del proprio ruolo. Nel settore delle costruzioni in cemento armato, cui ci si occupa in questo numero con un articolo su questo argomento, il problema principe, ma non unico, è quello relativo alla produzione di cemento portland: in particolare la cottura del clinker nei forni industriali comporta un enorme consumo energetico ed un altrettanto enorme sviluppo di anidride carbonica. Molte misure sono state intraprese nel settore del cemento per ridurre l'impatto di questi due problemi ed essi sono discussi dettagliatamente nell'articolo in questione (combustibili di riciclo e cementi di miscela) a pag. 7.

Vorrei qui sottolineare un terzo aspetto del problema sul quale spesso si discute tra produttori di cemento e produttori di calcestruzzo: il dosaggio di cemento. Esso non deve essere né poco né troppo: ha da essere *giusto* come si può dedurre dalle tre prestazioni fondamentali (lavorabilità, resistenza caratteristica e soprattutto durabilità) tenendo conto di tutti gli strumenti disponibili attualmente per evitare eccessi di cemento: per far solo un esempio ripreso nell'articolo, un calcestruzzo fluido in classe di consistenza *S4*, con una resistenza meccanica di *almeno* 37 MPa per essere durabile in classe di esposizione *XC4* (corrosione da carbonatazione) richiede un dosaggio di circa 345 kg/m^3 se si impiega un inerte alluvionale con D_{max} da 25 mm ed un dosaggio di additivo superfluidificante capace di abbattere l'acqua di impasto (e quindi anche il cemento a pari rapporto *a/c*) del 20%. Non so se i vari industriali del cemento potranno essere soddisfatti di questo dosaggio per l'esempio che ho illustrato. Sono certo, però, che i loro nipoti e pronipoti saranno soddisfatti di aver risparmiato energia e ridotto l'inquinamento anche dosando *giustamente* il cemento.

Mario Collepardi

SOMMARIO

PROGRESSO SOSTENIBILE NELLE COSTRUZIONE IN CALCESTRUZZO
di M.Collepardi, S.Collepardi e R.Troli (pag. 7)

ADDITIVI RIDUTTORI DEL RITIRO IGROMETRICO DEL CALCESTRUZZO
di D.Falcone, J.Sota e O.Batic (pag. 11)

LA SPETTROSCOPIA DI ASSORBIMENTO INFRAROSSO
di M.Pellizon Birelli e G.Fazio (pag. 15)

RPM - MALTE ARMATE PER METTERE IN SICUREZZA ANTISISMICA LE VECCHIE CASE
di A.Bachiorrini (pag. 19)

PROTEZIONE DI COMPONENTI ELETTRONICI, OPTOELETTRONICI E FOTOVOLTAICI IN PROSSIMITA' DEL MOTORE DELL'AUTOVEICOLO
di G.Carotenuto, B.Martorana, P.Perlo e L.Nicolais (pag. 27)

In copertina: una composizione di Fabio Santos

Copie stampate: 18.000 delle quali 17.300 distribuite a mezzo posta

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.n.c.
31050 Castrette di Villorba (TV)
Via Verdi 45/46

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

Lorenzi comunicazione e pubblicità

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**.

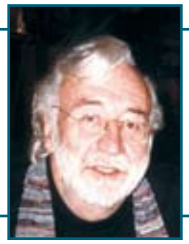
www.colacem.it www.colabeton.it

GRUPPO FINANCO

COLACEM

colabeton

PROGRESSO SOSTENIBILE NELLE COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO



Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli
Enco - Engineering Concrete
Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

1. INTRODUZIONE

Si dice "sostenibile" un progresso quando è possibile conciliare le attuali esigenze senza compromettere quelle delle future generazioni. Queste esigenze riguardano:

- la disponibilità delle risorse naturali ed energetiche non rinnovabili;
- la protezione dell'ambiente dall'inquinamento atmosferico e dal degrado paesaggistico.

Queste regole sono in gran parte codificate nel protocollo di Kyoto firmato nel 1998 dalla maggior parte dei paesi sviluppati. Esse debbono diventare un patrimonio culturale per tutti gli addetti ai processi produttivi e per quelli coinvolti nel controllo sul rispetto di queste regole.

Nel settore delle costruzioni in calcestruzzo, cui è dedicato questo articolo, il problema del progresso sostenibile è di rilevante importanza perché coinvolge circa il 6% del consumo totale delle risorse energetiche e dell'inquinamento atmosferico da CO_2.

L'inquinamento atmosferico da CO_2 può provocare gravi sconvolgimenti ambientali ed in particolare uno squilibrio ecologico che influenza negativamente l'effetto serra. La produzione di CO_2 è legata alla combustione del carbone e degli idrocarburi gassosi o di quelli distillati dal petrolio largamente impiegati nel settore dei trasporti, del riscaldamento-condizionamento domestico, della produzione di energia elettrica e soprattutto dai processi industriali.

Il consumo enorme di una parte sproporzionata delle risorse di materie prime e di energia disponibili sul pianeta ha provocato un aumento imponente di emissioni di gas serra. Nel 1960 l'emissione di CO_2 era di circa 10 miliardi di tonnellate/anno. Nel 1995 è arrivata a circa 23 miliardi di tonnellate/anno. L'accordo di Kyoto del 1998 comporta la riduzione di CO_2 emessa dai paesi industrializzati del 5% entro il 2012 (1).

Le conseguenze dell'aumento di emissione dei gas serra è il riscaldamento globale del pianeta con aumento per numero ed intensità di cambiamenti climatici improvvisi, Oltre

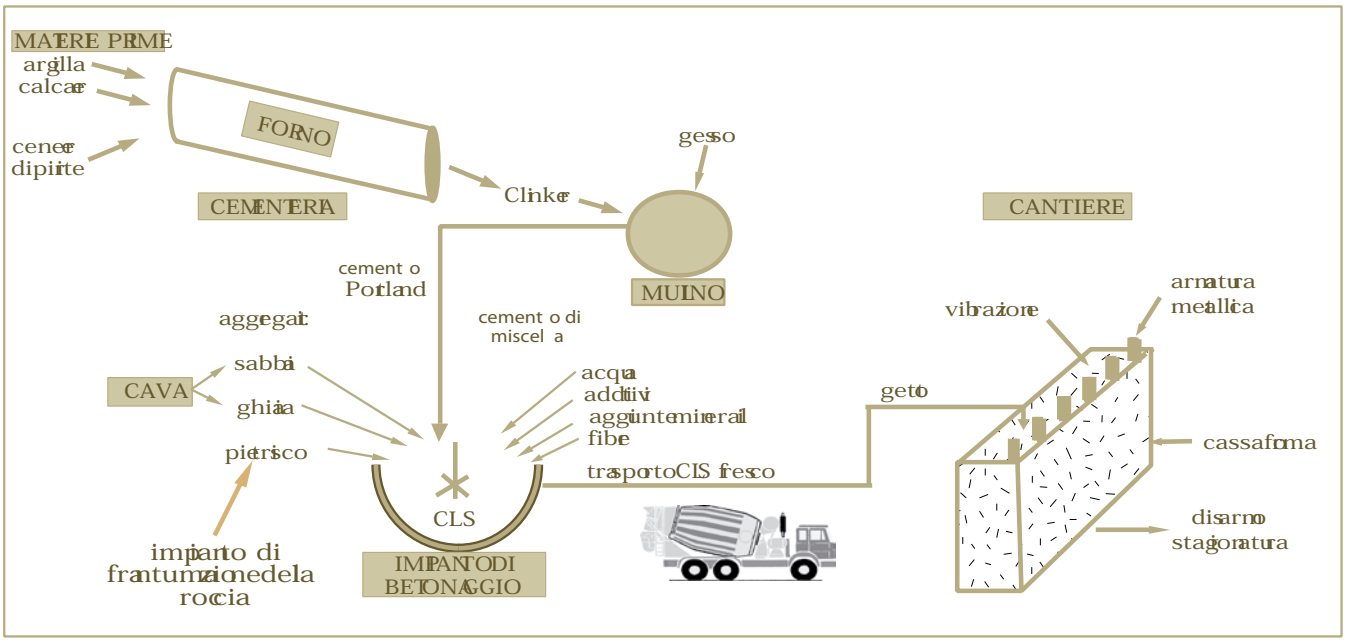


Fig.1 - Flusso di produzione del calcestruzzo (CLS): dalla cementeria e dalla cava alla centrale di betonaggio, e da questa al cantiere

morti e le devastazioni che questi cambi climatici infliggono occorre anche tener conto della distruzione di infrastrutture. Nel 1998 nei soli USA il danno provocato da improvvisi cambi climatici (uragani, pioggie torrenziali, ecc.) è stato di 5,5 miliardi di dollari.

2. SOSTENIBILITA' NELLE COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO

Nella filiera produttiva delle costruzioni in calcestruzzo (Fig. 1) si possono individuare le seguenti fasi del processo esposte al rischio di insostenibilità:

- produzione del clinker nel forno di cottura a circa 1400°C;
- macinazione del clinker con il gesso (circa il 5%) aggiunto come regolatore della presa, per la produzione del cemento Portland;
- frantumazione degli aggregati estratti dalla roccia o escavazione degli elementi lapidei alluvionali;
- produzione del calcestruzzo negli impianti di betonaggio;
- degrado prematuro delle strutture in calcestruzzo rispetto alla vita attesa di servizio (≥ 50 anni).

2.1 Produzione del clinker

La produzione del clinker per cottura di argilla e calcare a circa 1400°C comporta:

- il consumo di combustibili fossili (carbone, gas metano, gasolio, ecc.) che, in termini energetici, corrisponde a circa 3.800 MJ/Ton di clinker;
- l'emissione di anidride carbonica (derivante dalla combustione e dalla termo-decomposizione del calcare in calce e CO_2) in misura di circa 1 Ton di CO_2 per 1 Ton di clinker.

Per mitigare il consumo di combustibili fossili per la cottura del clinker si ricorre al riutilizzo, come combustibili secondari, di prodotti riciclati quali farine animali, rottami di copertoni per autovetture, ecc. (2) Questa operazione incide positivamente sulla sostenibilità del processo produttivo in termini di riduzione del consumo di risorse energetiche non rinnovabili quali sono appunto i combustibili fossili. Essa, invece, non influenza assolutamente il carico di CO_2 emessa con i fumi della combustione.

In prospettiva futura, un ulteriore miglioramento nella riduzione del consumo energetico potrebbe essere realizzato con la produzione di un clinker "belitico" (più ricco in C_2S e quasi privo di C_3S) capace di essere cotto ad una temperatura più bassa. Inoltre, un clinker belitico richiede una minore percentuale di calcare nelle materie prime che alimentano il forno e quindi una emissione minore di CO_2 derivante dalla termo-decomposizione del calcare.

2.2 Macinazione del clinker

In questa fase del processo si sono realizzati forse i più efficaci interventi in favore della sostenibilità. Questi consistono nella sostituzione parziale (tipicamente del 30-50%) del clinker con altri materiali cementizi che non comportano il consumo energetico richiesto dalla cottura del clinker. Si tratta prevalentemente di materie seconde riciclate da altri processi industriali (come la cenere volante derivante dagli impianti termo-elettrici a carbone) e la loppa d'altoforno, una scoria del processo produttivo dell'acciaio. Il riutilizzo di queste scorie ha un triplice vantaggio sulla sostenibilità del processo produttivo del cemento (3, 4):

a) riduzione del consumo energetico nel forno di cottura in misura proporzionale alla sostituzione del clinker con la cenere e la loppa;
b) riduzione della emissione di CO_2 in misura anch'essa proporzionale alla sostituzione del clinker con la cenere o la loppa;
c) ulteriore beneficio in termini ecologici per la riutilizzazione di scorie derivanti da altri processi industriali (cenere da carbone e loppa d'altoforno) altrimenti destinate a discarica e quindi ad inquinamento ambientale.

Con la nuova normativa europea UNI EN 197-1, la sostituzione del clinker può avvenire anche con materiali naturali, come la pozzolana vulcanica o il calcare, per produrre cementi di miscela con tenore di clinker ridotto (20-30%) e quindi capaci anch'essi di ridurre il consumo energetico e l'inquinamento da CO_2.

2.3 Gli aggregati per il calcestruzzo

Circa il 70-80% del volume del calcestruzzo è occupato dagli aggregati in misura di circa 1800-2000 kg/m^3. Finora l'approvvigionamento degli aggregati ha comportato "ferite" paesaggistiche per escavazione della roccia sottoposta a frantumazione o squilibri idro-geologici per l'estrazione degli aggregati alluvionali.

D'altra parte esiste un volume sempre più importante di strutture demolite provenienti da costruzioni obsolete in muratura o in calcestruzzo: ciò comporta un'allocazione a discarica di macerie. Recentemente sono partite interessanti iniziative per la riutilizzazione di queste macerie come aggregati riciclati (5). L'impiego nel riutilizzo dei calcestruzzi riciclati è molto maggiore nei paesi, tipicamente l'Olanda, dove esiste una scarsa disponibilità di spazi per l'allocazione a discarica delle strutture demolite. In Italia la riutilizzazione delle strutture demolite è molto basso e potrebbe migliorare se intervenisse una manovra politica per tassare maggiormente l'escavazione di aggregati naturali, risorse non rinnovabili, e de-fiscalizzare le imprese che ri-utilizzano il calcestruzzo riciclato.

2.4 Produzione del calcestruzzo: il ruolo degli additivi riduttori di acqua

Le prestazioni del calcestruzzo, da quelle allo stato

fresco (lavorabilità) a quelle allo stato indurito (resistenza caratteristica) (R_{ck}) dipendono dai seguenti parametri composizionali:

- acqua di impasto (*a*) → lavorabilità (Fig. 2);
- rapporto acqua/cemento (*a/c*) → R_{ck} (Fig. 3).

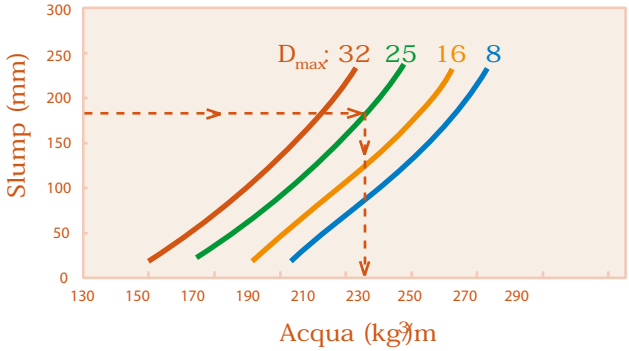


Fig.2 - Lavorabilità (slump) in funzione dell'acqua di impasto per calcestruzzi confezionati con aggregati alluvionali

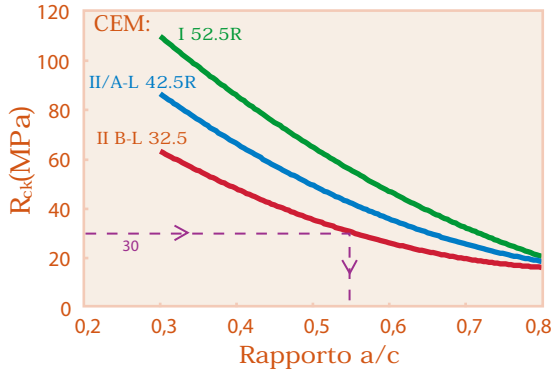


Fig.3 - Correlazione della R_{ck} con il rapporto a/c per tre diversi cementi: trasformazione di R_{ck} = 30 MPa in a/c di 0.55 con CEM 32.5

Dal tipo di inerte (alluvionale o frantumato) oltre che dal diametro massimo (D_{max}) si può risalire al quantitativo di acqua di impasto (*a*). Per esempio con inerte alluvionale e tondeggiante il valore di *a*, con D_{max} = 25 mm, è di circa 215 kg/m^3 se si vuole produrre un calcestruzzo fluido in classe di consistenza *S4* (Fig. 2). Questo valore si può ridurre del 20% con l'impiego di additivi superfluidificanti e diventa pertanto 172 kg/m^3:

$$a = 215\ (1-0.20) = 172\ \text{kg/m}^3$$

Dal valore di R_{ck} (per esempio 30 MPa) e dalla classe di resistenza del cemento (per esempio II B-L 32.5) si risale al valore del rapporto *a/c* che risulta lo stesso (0.55) indipendentemente dall'impiego o meno dell'additivo (Fig. 3). Pertanto il dosaggio di cemento (*c*) diventa circa 390 kg/m^3 oppure circa 310 kg/m^3 a seconda dell'impiego dell'additivo superfluidificante o meno:

Senza additivo	Con additivo
a = 215 kg/m³	a = 172 kg/m³
c = 215/0.55 = 390 kg/m³	c = 172/0.55 = 310 kg/m³

Come si può vedere l'impiego degli additivi superfluidificanti è un altro importante strumento tecnologico per ridurre il dosaggio di cemento e quindi contribuire significativamente ad un progresso sostenibile a parità di prestazioni tecnologiche come la lavorabilità ed R_{ck}.

2.5 Rispetto della durabilità delle strutture in c.a.

Il degrado prematuro delle strutture in c.a. (Fig. 4) è una delle cause più importanti che contribuiscono al consumo di risorse non rinnovabili nel settore delle costruzioni. Le spese che debbono essere sostenute per il restauro delle opere degradate – soprattutto quelle delle infrastrutture come ponti, gallerie, porti, ecc. – raggiunge mediamente cinque volte il costo dell'opera originale.

Esistono oggi norme europee (UNI EN 206) che suggeriscono al progettista le prescrizioni prestazionali e composizionali per costruire opere durevoli con una vita di servizio di almeno 50 anni. Queste norme prevedono, in base all'ambiente dove l'opera è destinata ad essere costruita, che si stabilisca un valore nel rapporto acqua-cemento da non superare $(a/c)_{max}$. Per un più semplice controllo di questo rapporto nella fornitura di calcestruzzo (non sempre agevole sui cantieri), le norme stabiliscono quale è il valore di resistenza caratteristica che deve essere come minimo raggiunta $(R_{ck})_{min}$,per soddisfare il requisito di $(a/c)_{max}$ richiesto dalla durabilità dell'opera.

Fig.4 - Degrado di un muro in c.a. per effetto del ghiaccio

Per esempio, i valori di $(a/c)_{max}$ = 0.50 e di $(R_{ck})_{min}$ = 37 MPa sono necessari a garantire la durabilità (Fig. 5) di un'opera in c.a. esposta all'aria aperta (classe di esposizione *XC4*) e quindi a rischio di corrosione dei ferri per carbonatazione. Il valore di $(a/c)_{max}$ di 0.50 e di (R_{ck})min di 37 MPa debbono essere rispettati anche nel caso in cui per ragioni strutturali la R_{ck} dovesse essere solo di 30 MPa come mostrata nel paragrafo 2.4. Pertanto in questo caso occorre promuovere la R_{ck} dal valore di 30 MPa

– sufficiente per ragioni strutturali - a quello di 37 MPa che può garantire anche la durabilità attraverso il rapporto $(a/c)_{max}$ di 0.50.

Nel caso del calcestruzzo con additivo superfluidificante illustrato nel paragrafo 2.4, la composizione diventa:

Non durabile	Durabile
Rck = 30 MPa	Rck ≥ 37 MPa
a/c = 0.55	a/c ≤ 0.50
a = 172 kg/m³	a = 172 kg/m³
c = 172/0.55 = 310 kg/m³	c ≥ 172/0.50 = 345 kg/m³

Oltre alla scelta del rapporto $(a/c)_{max}$ per garantire la durabilità, occorre anche prescrivere, in accordo all'Eurocodice 2, un valore di copriferro minimo per assicurare un cammino sufficientemente lungo perché l'agente aggressivo raggiunga i ferri di armatura, generalmente l'elemento più vulnerabile della struttura in c.a. Nel caso di una struttura esposta in classe di esposizione *XC4*, il valore del copriferro minimo è di 40 mm, un valore quasi mai adottato nelle opere finora costruite e per questo facilmente a rischio di degrado per corrosione dei ferri di armatura.

Da ultimo, ma non ultimo per importanza per quanto riguarda la durabilità, occorre segnalare l'importanza della scelta del cemento ancorché questo non sia prevista dalla norma UNI EN 206. Per le opere esposte alla penetrazione del cloruro (opere marittime ed opere autostradali esposte all'azione dei sali disgelanti in inverno), la scelta di un cemento d'altoforno (CEM III) o pozzolanico (CEM IV) o anche composito (CEM V) a base di loppa d'altoforno e pozzolana si è indiscutibilmente rivelata più efficace ai fini della durabilità per il rallentamento della velocità di diffusione del cloruro attraverso il copriferro (6).

Altrettanto efficaci si rivelano i cementi pozzolanici (CEM IVB) e soprattutto quelli d'altoforno (CEM IIIB) nelle strutture massive (≥ 40 cm) per la forte riduzione del calore di idratazione dovuto alla significativa riduzione del clinker (≈ 50%) in favore della pozzolana o della loppa d'altoforno.

2.6 Tecniche di cantiere innovative

Val la pena, infine di segnalare alcuni interessanti

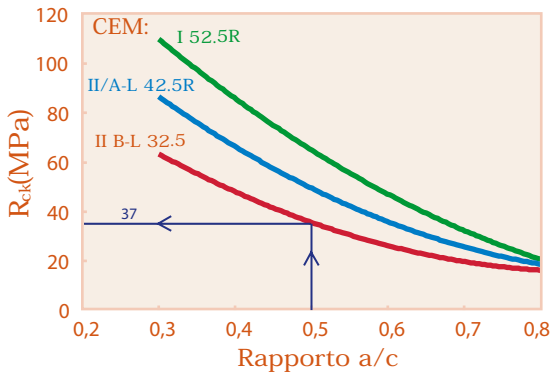


Fig.5 - Correlazione della R_{ck} con il rapporto a/c per tre diversi cementi: trasformazione di a/c = 0.50 in R_{ck} di 37 MPa con CEM 32.5

Fig.6 - Esempio di casseri in laterizio per getti in c.a.

sviluppi sulla tecnica di cantiere, basata sull' impiego di casseri in laterizio a perdere (Fig.6), con notevoli miglioramenti sull' isolamento termico, e sulla durabilità (7).

3. CONCLUSIONI

Con l'avvento di nuovi materiali e delle recenti normative europee sui cementi (UNI EN 197) e sui calcestruzzi (UNI EN 206) è possibile conciliare le attuali esigenze di sviluppo nelle costruzioni con le aspettative delle future generazioni.

Per raggiungere questo scopo è necessario perseguire quanto più possibile questi obiettivi:

- ridurre il consumo di combustibili fossili non rinnovabili in favore di materie seconde capaci di fornire energia;
- incentivare l'impiego di cementi di miscela (con minor consumo di clinker) ma favorire anche quelli capaci di garantire una maggiore durabilità come il CEM III, il CEM IV ed il CEM V;
- adottare rapporti *a/c* tanto bassi da rientrare nei limiti previsti dalle normative per garantire la durabilità dell'opera;
- impiegare additivi riduttori di acqua, e quindi capaci di ridurre anche il cemento a parità di *a/c*, per evitare dosaggi di cemento eccessivi non compatibili con uno sviluppo sostenibile.

4. BIBLIOGRAFIA

(1) R.N. Swamy, "Progresso sostenibile e costruzioni in c.a", Enco Journal, N° 21, pp. 7-11, 2002

(2) B. Geodecke, "Focus su conmbustibili alternativi e cementi M", Portland, N° 34, pp. 8-11, 2005

(3) V.M. Malhotra, "Ruolo dei materiali supplementari cementizi e dei superfluidificanti nel ridurre l'emissione dei gas serra verso l'ambiente", Enco Journal, N° 23, pp. 7-10, 2003.

(4) P.K. Mehta, "Concrete technology at the cross-roads problems and opportunities", Concrete Technology, Past, Present and Future, ACI SP 144, pp. 1-30, 1994

(5) V. Corinaldesi, G. Orlando and G. Moriconi, "Self-Compacting Concrete Incorporating Recycled Aggregate", Proceedings of the Internationa Conference, Dundee, Scotland, pp. 455-464, 2002

(6) M. Collepardi, J.J. Ogoumah Olagot, F. Simonelli e R. Troli, "Il Calcestruzzo Vulnerabile. Prevenzione, diagnosi del degrado e restauro", Ed. Tintoretto, Villorba, 2005

(7) A. Caluisi, UniEdil: comunicazione privata

ADDITIVI RIDUTTORI DEL RITIRO IGROMETRICO DEL CALCESTRUZZO

Dario Falcone - Professore Assoc. CIC-LEMIT - Docente Fac. Ing. UNLP, Argentina - dariofalcone@hotmail.com
Jorge Sota - Professore Principale CIC-LEMIT- Prof. Fac. Ing. UTN, Argentina
Oscar Batic - Ricercatore Principale CIC-LEMIT - Prof. Fac. Ing. UNLP, Argentina

RIASSUNTO

La contrazione per essiccamento é una delle piú importanti cause della fessurazione del calcestruzzo in assenza di carichi applicati. L'entità del ritiro igrometrico dipende da diversi fattori, alcuni dei quali dipendenti dalla composizione del calcestruzzo, altri dalle condizioni ambientali alle quali il calcestruzzo è esposto: umiditá relativa, temperatura ambiente, velocitá del vento. Anche i fattori che condizionano la dimensione e la forma della struttura o la distribuzione delle armature metalliche possono condizionare il ritiro. Inoltre, un parametro micro-strutturale determinante é la perdita d'acqua che si trova nei micropori delle intercapedini dei prodotti idratati, come il silicato di calcio idratato (C-S-H) [1, 2].

Oltre che attraverso i parametri sopra menzionati, per il controllo del ritiro sono disponibili sul mercato additivi riduttori del ritiro noti come SRA (*Shrinkage Reducing Admixtures*) che agiscono sulla tensione superficiale dell'acqua presente nei micro-pori del calcestruzzo e fanno diminuire il ritiro igrometrico. Si deve tener conto che, sebbene questi additivi fanno diminuire il ritiro per essiccamento, essi possono influenzare anche altre caratteristiche del calcestruzzo come la resistenza meccanica, il modulo di elasticitá, ecc.

In questo lavoro sono presentati i risultati delle ricerche su tre additivi SRA commerciali impiegati con dosaggi compresi tra 1 e 3% rispetto al peso del cemento.

1. INTRODUZIONE

La contrazione da ritiro igrometrico é un effetto indesiderabile che, quando si verifica nel calcestruzzo, provoca la fessurazione degli elementi strutturali vincolati nella loro deformazione. Questa fessurazione provoca conseguentemente una minore durabilitá della struttura riducendo la sua vita di esercizio giacché consentirà l'ingresso di agenti aggressivi presenti nell'ambiente all'interno del calcestruzzo. La diminuzione della fessurazione indotta dal ritiro igrometrico si realizza controllando l'entità della contrazione stessa. Questo controllo si puó realizzare con diversi mezzi [3]:

- granulometria degli aggregati, favorendone il diametro massimo più grosso possibile;
- acqua d'impasto, riducendone la quantità al minimo possibile con l'ausilio di additivi riduttori di acqua;
- rapporto *a/c*, riducendone il valore al minimo consentito;
- dosaggio di cemento, riducendone il valore per riduzione dell'acqua a pari rapporto *a/c*;
- impiego di additivi SRA;
- condizioni di stagionatura riducendo la essiccazione di umidità dal calcestruzzo alle brevi stagionature.

L'uso di additivi SRA per ridurre il ritiro non deve in sostanza portare a trascurare tutti gli altri parametri a disposizione per ridurre il ritiro igrometrico. Inoltre, occorre tener conto degli eventuali effetti secondari di

TABELLA 1 | CARATTERISTICHE DEL CEMENTO COMPOSITO CEM V/A

ANÁLISI CHÍMICA	
Residuo insolubile	1,67%
Perdita al fuoco	6,19%
Solfato (SO_3)	2,35%
Ossido di Magnesio (MgO)	0,98%
Ossido di Sodio (Na_2O)	0,13%
Ossido di Potassio (K_2O)	0,73%
Sulfuro ($S^=$)	0,01%
Cloruro (Cl^-)	0,01%
Álcali totale (Na_2Oe)	0,61%
PROVE FISICHE	
Tempo di presa iníziale	165 min.
Tempo di presa finale	280 min.
Densitá (kg/L)	3,1
Sup. Specifica (Blaine)	407 m^2/kg
RESISTENZA MECCANICA A COMPRESSIONE	
2 giorni	20,4 MPa
7 giorni	34,4 MPa
28 giorni	38,8 MPa
90 giorni	47,5 MPa

questi additivi sulle altre prestazioni del calcestruzzo, come la resistenza meccanica ed il modulo elastico [4].

In questo articolo vengono presentati i risultati sperimentali di uno studio su tre additivi SRA commerciali impiegati ad un dosaggio di 1-2-3%.

2. PARTE SPERIMENTALE

2.1.Materiali

Sono stati utilizzati tre prodotti diversi come additivi SRA. Si è impiegato cemento portland composito del tipo CEM V/A (Tabella 1). L'aggregato grosso era di tipo granitico della Provincia di Buenos Aires, mentre la sabbia naturale ben assortita era del tipo "Orientale". E' stata impiegata acqua potabile della citta di La Plata.

2.2. Metodologia di lavoro

2.2.1. Calcestruzzi

Le miscele dei calcestruzzi utilizzati sono mostrati nella Tabella 2.

TABELLA 2 | COMPOSIZIONE DEI CALCESTRUZZI

MATERIALI	PROPORZIONI (kg/m³)			
CEMENTO	345	345	345	345
ACQUA	173,0	169,5	166,1	162,6
ADDITIVI SRA	0,0	3,5	6,9	10,4
AGGREGATO GROSSO	1050	1050	1050	1050
SABBIA	815	815	815	815

2.2.2.Condizioni di asciugamento per la misura del ritiro

E' stata adottata la norma ASTM C157-93. Tre provini prismatici (7x7x30cm) per ogni impasto sono stati scasserati a 24 ore e sono stati immersi in acqua saturata di calce fino a 28 giorni. Quindi i provini vengono asciugati con un panno umido e si procede alla misura della lunghezza iniziale. Successivamente si misura la lunghezza dei provini esposti in ambiente con UR= 50 ± 4 % alla temperatura di 23 ± º C [5]. In queste condizioni si misura la variazione dimensionale fino a 56 giorni.

2.2.3. Resistenza meccanica e modulo di elasticitá

Sono stati impiegati tre provini cilindrici (15cm di diametro per 30cm di altezza) per ogni tempo di rottura a compressione e per ogni miscela di calcestruzzo. La resistenza meccanica a compressione è stata determinata a 7, 28, e 90 giorni.

Tre provini prismatici (7x7x30 cm) sono stati confezionati per ogni miscela di calcestruzzo per misurare il modulo di rottura a flessione al tempo di 28 giorni.

Inoltre è stato determinato il modulo di elasticitá (E) misurando la curva sforzo-deformazione su provini cilindrici (15 cm di diametro e 30 cm di altezza) con una macchina a velocità di deformazione controllata .

3. RISULTATI OTTENUTI

Nella Tabella 3 sono mostrati i risultati ottenuti nelle variazioni di lunghezza. Sebbene i valori siano presentati in assoluto essi indicano diminuzioni di lunghezza.

Nella Tabella 4 sono mostrati i risultati ottenuti per la resistenza meccanica a flessione ed a compressione. Nella Tabella 5 sono mostrati i risultati ottenuti per il modulo di elasticitá.

4. DISCUSSIONE DEL RISULTATI

Dai risultati di ritiro fino a 448 giorni nelle condizioni di essiccamento specificate, si possono dedurre le seguenti considerazioni. La riduzione del ritiro dovuto all'uso degli additivi SRA dosati all'1% è stata del 20% per l'additivo A e 15% per gli additivil B e C. Quando il dosaggio aumenta al 2%, la riduzione del ritiro aumenta con gli A e B, essendo (31% e 28% rispettivamente) mentre si è registrata una riduzione del ritiro minore per l'additivo C (23%). Aumentando il dosaggio al 3% le riduzioni del ritiro nei calcestruzzi con gli additivi A e B aumentano leggermente al 33 e 31% rispettivamente, mentre la riduzione del ritiro nel calcestruzzo con l'additivo C si mantiene intorno al 28%.

TABELLA 3 | RISULTATI DEL RITIRO IGROMETRICO SUL CALCESTRUZZO SENZA ADDITIVI (CONTROL) E CON ADDITIVI SRA

MISCELE / TEMPO	RITIRO (%)						
	7 GIORNI	14 GIORNI	28 GIO RNI	56 GIORNI	112 GIORNI	224 GIORNI	448 GIORNI
Control	0.008	0.017	0.019	0.025	0.032	0.033	0.039
A1*	0.004	0.010	0.012	0.019	0.023	0.024	0.029
B1*	0.007	0.013	0.015	0.020	0.024	0.027	0.033
C1*	0.006	0.013	0.014	0.022	0.028	0.030	0.033
A2**	0.000	0.007	0.009	0.015	0.021	0.020	0.027
B2**	0.006	0.008	0.009	0.014	0.016	0.020	0.028
C2**	0.002	0.012	0.012	0.020	0.025	0.026	0.030
A3***	0.001	0.007	0.008	0.014	0.019	0.019	0.026
B3***	0.009	0.009	0.014	0.014	0.017	0.020	0.027
C3***	0.005	0.011	0.012	0.018	0.022	0.024	0.028

* additivi SRA dosati all'1% nel cemento ** additivi SRA dosati all'2% nel cemento *** additivi SRA dosati all'3% nel cemento

A 7 giorni tutti gli additivi provocano una riduzione di resistenza meccanica di circa 5, 10 e 13% rispettivamente per i dosaggi dell'1, 2, e 3%, ad eccezione dell'additivo B che con il dosaggio del 3% provoca un leggero aumento nella resistenza meccanica.

Analizzando i risultati

TABELLA 4 | RISULTATI DI RESISTENZA MECCANICA IN MPa DEL CALCESTRUZZO SENZA ADDITIVO (CONTROL) E CON ADDITIVI SRA

MISCELE	7 GIORNI COMPR.	28 GIORNI FLESS.	28 GIORNI COMPR.	90 GIORNI COMPR.
Control	27.6	5.5	30.0	31.8
A1	26.7	6.3	28.7	27.1
B1	25.3	6.0	31.6	32.4
C1	26.4	5.2	28.8	30.5
A2	24.0	6.0	30.6	30.1
B2	26.1	5.3	33.1	28.6
C2	25.3	5.7	25.1	29.6
A3	24.0	6.3	28.2	33.7
B3	28.3	5.5	31.1	30.9
C3	24.1	5.3	26.5	28.4

della resistenza a compressione a 28 giorni, quando si impiega l'additivo C, questa diminuisce fino a un 16% per il dosaggio al 2% (coincide con il valore fornito dal produttore nella scheda tecnica). Nel caso dell'additivo A, la resistenza meccanica si mantiene praticamente constante al variare del dosaggio utilizzato. L'additivo B, provoca un incremento di resistenza meccanica del 10% quando si impiega al dosaggio del 2%.

A 90 giorno l'additivo C ha presenta un comportamento simile a quello registrato a 28 giorni: diminuisce la resistenza man mano che si incrementa la percentuale dell'additivo, arrivando ad una diminuizione dell' 11% con un dosaggio del 3%. L'additivo A con questo dosaggio fa aumentare la resistenza meccanica del 6% mentre l'additivo B non provoca significative variazioni nella resistenza meccanica.

TABELLA 5 | RISULTATI DEL MODULO DI ELASTICITÁ IN GPa SUL CALCESTRUZZO SENZA ADDITIVI (CONTROL) E CON ADDITIVI SRA

MISCUGLI	MODULO ELASTICITA' 28 GIORNI	MODULO ELASTICITA' 90 GIORNI
Control	35.4	37.6
A1	36.2	37.9
B1	36.0	37.3
C1	34.7	36.2
A2	36.0	37.5
B2	36.1	37.4
C2	35.3	35.7
A3	36.0	36.3
B3	38.1	37.0
C3	34.4	34.3

Il modulo di elasticitá nei calcestruzzi con l'additivo C si mantiene constante o diminuisce a seconda del dosaggio utilizzato. Il modulo elastico si mantiene praticamente constante con l'additivo A, mentre con l'additivo B aumenta fino al 7% quando si utilizza un dosaggio del 3%. A 90 giorni l'additivo C produce una variazione del modulo elastico simile a quella provocata sulla resistenza meccanica: diminuisce quando si aumenta il dosaggio, ma si registra una aumento del 9% quando il dosaggio è del 3%. Con gli additivi A e B il modulo elastico a 90 giorni si mantiene praticamente constante, eccetto che per i dosaggi del 3% in corrispondenza del quale si osserva una piccola disminuizione.

5. CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti nello studio realizzato per indagare sugli effetti dell'uso di additivi riduttori di ritiro (SRA) si possono ottenere le seguenti conclusioni:

1- Gli additivi A e B producono la riduzione massima del ritiro igrometrico quando sono impiegati al dosaggio del 2%, mentre per l'additivo C il dosaggio ottimale è del 3%.

2- L'additivo A é il primo ad entrare in azione alle brevi stagionature di severo asciugamento.

3- Alle brevi stagionature i migliori risultati si ottengono con l'additivo A, seguito dal B e quindi dal C; tuttavia alle stagionature più lunghe i tre additivi hanno un comportamento simile se dosati al l 3% con una riduzione di circa il 30% nel ritiro.

4- Per i risultati della resistenza meccanica a compressione e per il modulo di elasticitá l'additivo identificato come C manifesta un comportamento piú regolare e meno dispersivo rispetto agli additivi A e B.

5- Nel caso dell'additivo C, si verifica una diminuzione nella resistenza man mano che si incrementa il dosaggio di additivo, come descritto dal produttore nella scheda tecnica del prodotto.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] P. K. Mehta, y P.J.M., Monteiro, Concreto. Estructura, Propiedades y Materiales, editado por IMCYC, Prentice-Hall, México, 1998, Capítulo 4.

[2] S., Mindess and J.F., Young, , Concrete, edited by Newmark, N.M. and may, W.J., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981, Chapter 18

[3] N., Berke, M., Dallaire, and A., Kerkar, Fifth CANMET / ACI Int. Conf. on Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, Rome-Italy, 1997, SP 173–48, pp 971-998.

[4] S., Vieira, H., Benini, R., Curti, 14ta Reunión Técnica, AATH y Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, Olavarría- Argentina, 2001, tomo II pp 239-245

[5] Gettu, R. , Aguado, A. , Martín, M., IV Simposio sobre aditivos para hormigones, ANFAHM, Madrid, 1998, pp. 66-79

granCem®

CEMENTI PORTLAND E D'ALTOFORNO

PERFORMANCE

BELLEZZA

FORZA

DURABILITA'

Prodotto da
MICRON MINERAL
Via del Bragozzo 11
48100 RAVENNA Italy
Tel 0544 431411 Fax 0544 436330
grancem@micronmineral.it

LA SPETTROSCOPIA DI ASSORBIMENTO INFRAROSSO

UNA TECNICA ANALITICA PER LA CARATTERIZZAZIONE CHIMICO-FISICA DEI MATERIALI

Marta Pellizon Birelli, Glenda Fazio
Enco - Engineering Concrete - Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it

La spettroscopia di assorbimento infrarosso - il cui acronimo FTIR deriva dall'inglese Fourier Transform Infrared Spectroscopy – è una tecnica analitica ampiamente impiegata per l'identificazione di materiali organici e, in alcuni casi, inorganici.

La regione dello spettro infrarosso comprende i numeri d'onda[1] nell'intervallo 14000-20 cm^{-1} e viene usualmente distinta in tre parti: vicino infrarosso (14000-4000 cm^{-1}), medio infrarosso (4000-500 cm^{-1}) e lontano infrarosso (500-20 cm^{-1}). In Figura 1 è riportata la rappresentazione delle regioni principali dello spettro elettromagnetico con l'esempio di uno spettro FTIR raccolto nella regione del medio infrarosso.

La tecnica FTIR misura l'intervallo di lunghezze d'onda facenti parte della regione dello spettro infrarosso che viene assorbito dal materiale. L'assorbimento della radiazione infrarossa produce nelle molecole dei moti vibrazionali caratteristici definiti come stretching (stiramento) e bending (piegamento). Come illustrato in Figura 2, lo stiramento è il risultato di una continua variazione delle distanze di legame tra due atomi e può essere simmetrico o antisimmetrico; il piegamento, invece, si riferisce alla modifica dell'angolo di legame sullo stesso piano o fuori dal piano su cui sono situati gli atomi considerati. L'apporto di energia necessario per produrre ciascun tipo di moto vibrazionale dipende direttamente dalla forza e dalla polarità dei legami tra gli atomi della molecola analizzata.

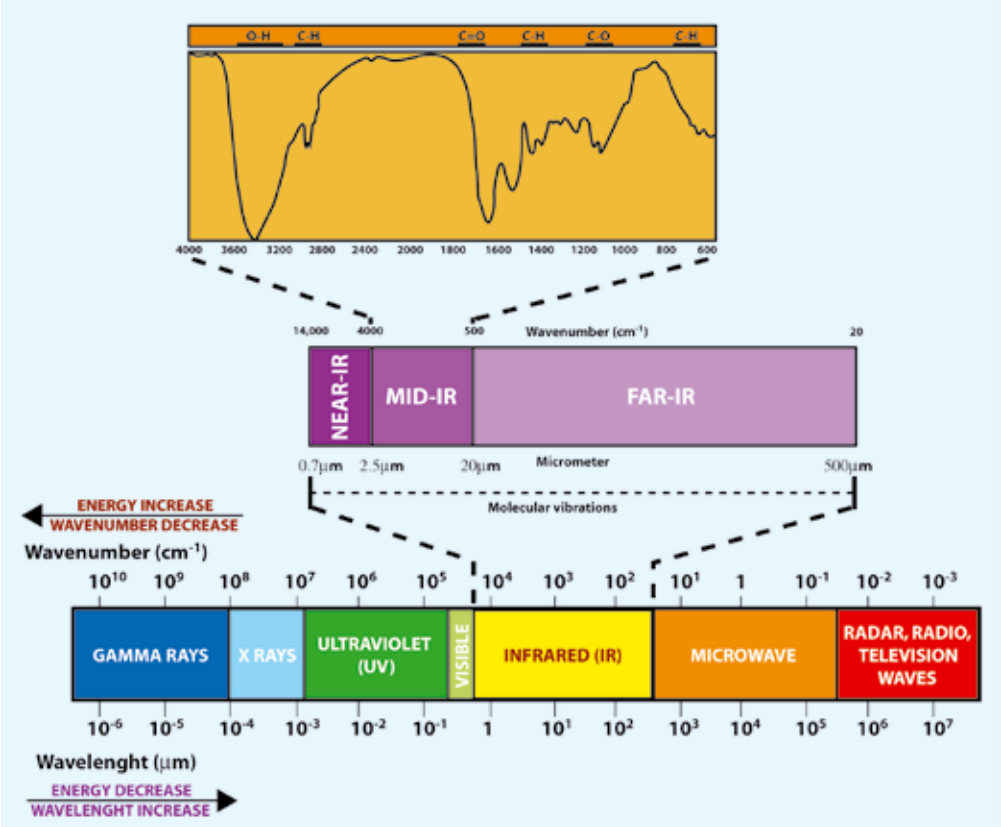


Fig.1 - Regioni spettrali della radiazione elettromagnetica con espansione della regione infrarossa. In alto è riportato un tipico spettro IR [I]

Analisi qualitativa di composti organici

La principale applicazione della spettroscopia

[1] *L'energia dello spettro elettromagnetico è rappresentata da funzioni d'onda periodiche definite da ampiezza, frequenza e lunghezza d'onda. L'ampiezza è l'altezza dell'onda (intensità), la frequenza ν è il numero di oscillazioni per unità di tempo (cicli per secondo) e la lunghezza d'onda λ è la distanza tra due massimi successivi. Il numero d'onda $\bar{\nu}$ è definito come il numero di onde per unità di lunghezza (in cm^{-1}), cioè 1 / λ.*

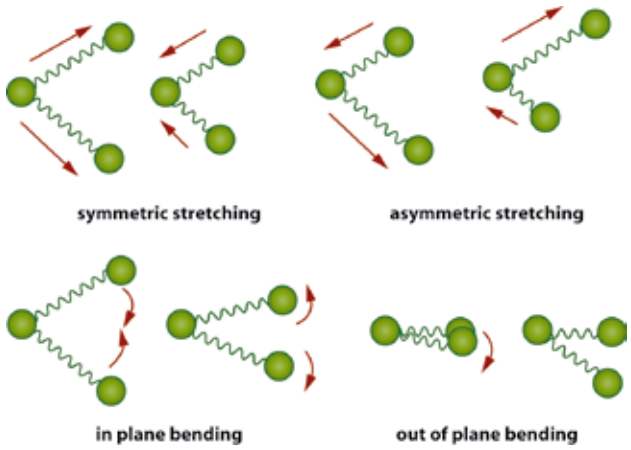


Fig.2 - Moti vibrazionali di stiramento simmetrico o antisimmetrico e di piegamento sul piano e fuori dal piano. Le sfere schematizzano la posizione degli atomi all'interno della molecola

FTIR riguarda l'analisi qualitativa di composti organici. Ogni composto organico, infatti, presenta uno spettro infrarosso caratteristico che dipende dalla corrispondente struttura molecolare. Un comune metodo di interpretazione di spettri FTIR consiste nel considerare due regioni spettrali del medio infrarosso: la zona dei gruppi funzionali[2] (4000-1250 cm^{-1}) e la zona caratteristica detta impronta digitale (1250-700 cm^{-1}).[II] La combinazione tra l'interpretazione della regione dei gruppi funzionali e il confronto della regione caratteristica con quelle contenute in librerie spettrali fornisce, nella maggior parte dei casi, l'evidenza sperimentale sufficiente ad identificare un composto.

In Figura 3 è riportato lo spettro FTIR di un composto polimerico molto comune, il polietilene. La risposta del detector è rappresentata nello spettro come assorbanza[3] in ordinata, mentre la frequenza è indicata come numero d'onda (cm^{-1}) in ascissa. La risposta del detector è proporzionale all'intensità della radiazione IR che raggiunge il detector dopo aver attraversato il campione, quindi indica il grado di interazione della radiazione IR con il campione polimerico. L'assorbanza presenta dei massimi, denominati bande di vibrazione, che indicano la presenza di gruppi $-CH_2-$ (stretching asimmetrico a 2921.4, stretching simmetrico a 2851.1, scissoring a 1467.5 e rocking a 725.1 cm^{-1}). La posizione delle bande di vibrazione caratterizza inequivocabilmente il polietilene la cui struttura chimica, $H(-CH_2-CH_2-)_nH$, presenta catene di gruppi funzionali $-CH_2-$.

Per quanto riguarda la zona dei gruppi funzionali sono disponibili dati tabulati noti col nome di tavole di correlazione che riassumono gli intervalli di frequenze degli assorbimenti per specifici gruppi funzionali [IV,V]. Inoltre, alcuni siti internet forniscono l'accesso gratuito alle loro banche dati che è possibile utilizzare per svolgere una ricerca delle bande di vibrazione incognite [VI,VII].

Nei casi più complessi, tuttavia, la spettroscopia infrarossa può necessitare la combinazione con altri metodi analitici come la spettrometria di massa, la risonanza magnetica nucleare e l'analisi elementare per identificare inequivocabilmente una sostanza.

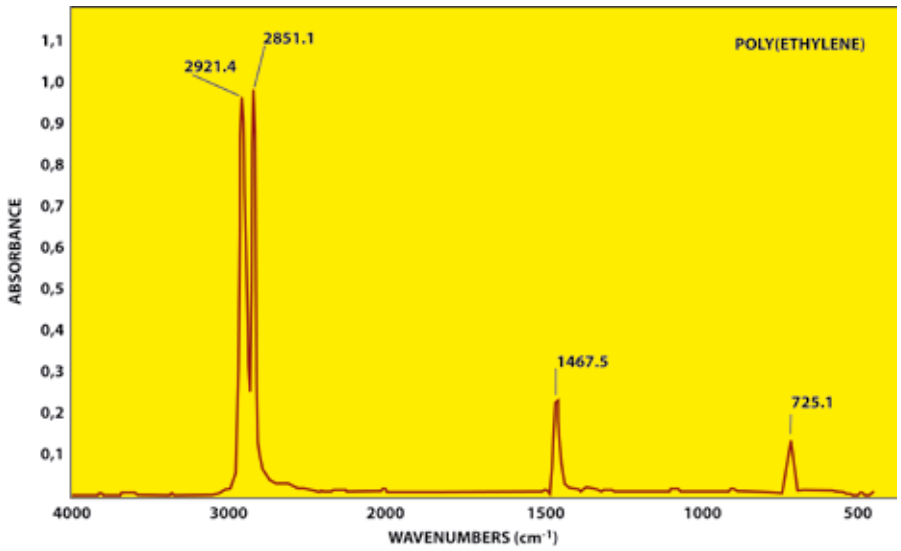


Fig.3 - Spettro FTIR di riferimento del polietilene; si noti che la scala delle ascisse cambia a 2000 cm^{-1}[III]

Analisi quantitativa

Le tecniche di assorbimento infrarosso trovano una particolare applicazione per l'analisi quantitativa di un gran numero di inquinanti atmosferici. Con l'eccezione delle molecole omonucleari, infatti, tutte le specie molecolari organiche e inorganiche assorbono nella regione infrarossa. Inoltre, l'unicità dello spettro infrarosso arriva ad un tale grado di specificità che è uguagliato o superato solo da pochissimi altri metodi [II].

Per poter ottenere un'analisi quantitativa affidabile di una miscela di composti qualsiasi si devo-

[2] In chimica organica è detto gruppo funzionale una parte della struttura di una molecola caratterizzata da specifici elementi e da una struttura ben precisa, che conferisce al composto una reattività tipica e simile a quella di altri composti contenenti lo stesso gruppo. Tra i gruppi funzionali più comuni ci sono il gruppo idrossilico (-OH) presente negli alcoli, il gruppo estereo (-COOR in cui R è un gruppo alchilico tipo il metile CH3) e quello carbossilico (-COOH).

[3] L'assorbanza è l'unità di misura della radiazione infrarossa assorbita da un campione ed è definita dall'equazione $A=\log I_0/I$, dove I_0 è l'intensità della radiazione incidente e I quella della radiazione trasmessa attraverso il campione. I valori di A variano tra 0 (assorbimento nullo = trasmissione totale) e 1 (assorbimento totale = trasmissione nulla) a seconda della frequenza della radiazione.

no verificare le seguenti condizioni:

1. l'identificazione delle specie presenti deve essere esaustiva

2. almeno una delle bande di vibrazione relative a ciascun componente di cui si desidera quantificare la concentrazione deve essere isolata e definita

3. è auspicabile che non si verifichino deviazioni dalla legge di Lambert-Beer.

Secondo la legge di Lambert-Beer l'assorbanza A è direttamente proporzionale alla concentrazione c (espressa in mol/L) della specie assorbente contenuta nel campione (solido, liquido o gassoso):

$$A = \varepsilon bc = \log I_0 / I$$

dove ε è una costante di proporzionalità chiamata coefficiente di assorbimento molare e b la lunghezza del cammino percorso dalla radiazione attraverso il campione.

La validità di questa legge consente di costruire delle rette di taratura rappresentate con i valori di assorbanza in funzione di concentrazioni note da cui si determina la concentrazione di campioni incogniti.

Campi di applicazione e metodi

La versatilità dei metodi di analisi IR consente di poter scegliere quello più opportuno per l'applicazione desiderata. Infatti, a seconda della tecnica prescelta, possono essere analizzati campioni in qualsiasi stato fisico, organici o inorganici, cristallini o amorfi. In Tabella 1 sono indicati i metodi IR più opportuni per analisi nel settore ambientale, nel controllo qualità di prodotti industriali di ogni tipo e nella ricerca scientifica in genere.

Vantaggi della spettroscopia infrarossa

Come evidenziato in precedenza i vantaggi della spettroscopia IR sono numerosi e vengono di seguito riassunti:

a. necessità di ridotte quantità di campione per l'analisi (**non distruttiva**);

b. possibilità di analizzare il campione tal quale;

c. velocità nell'effettuare l'analisi;

d. analisi qualitative ma anche quantitative a seconda del tipo di miscela;

e. analisi di composti in qualsiasi stato fisico; solidi (cristallini, microcristallini o amorfi), liquidi e gassosi;

f. informazione strutturale utile per l'immediato riconoscimento di ampie classi di composti organici e inorganici.

TABELLA 1 METODI DI ANALISI IR PER VARI TIPI DI CAMPIONI [I]

STATO FISICO DEL CAMPIONE	ESEMPI	METODI DI ANALISI APPLICABILI
Gas Gas inerti, miscele gassose, componenti atmosferici in tracce	Inquinanti, pesticidi	Cella per gas in trasmissione
Liquidi Viscosi	Oli, impasti, gel, colle, plastificanti	Film su finestra trasparente o cella in diamante, riflessione-assorbimento orizzontale, cella di riflettanza interna per liquidi
Non viscosi	Solventi	Film su finestra trasparente o cella in diamante, riflessione-assorbimento orizzontale, cella di riflettanza interna per liquidi
Soluzioni	Emulsioni, vernici, pitture, consolidanti (prima del trattamento)	Riflettanza diffusa, pastiglia pressata (residuo secco), film su finestra o supporto riflettente
Solidi Duri (lisci)	Materie plastiche, vetro	Riflessione esterna, pastiglia di KBr (previa macinazione), sezione per trasmissione o riflessione-assorbimento, film su finestra trasparente o cella in diamante
Duri (rugosi)	Ceramiche, materiali lapidei, metalli corrosi	
Teneri	Polimeri flessibili, adesivi, carta, pergamena	Dissoluzione in solvente e preparazione di un film sottile per riflettanza interna, film su finestra trasparente o cella in diamante, riflessione-assorbimento su substrato a specchio
Film sottili	Film plastici	
Rivestimenti	Carta o metalli rivestiti, adesivi	Dissoluzione in solvente e preparazione di un film sottile per riflettanza interna, film su finestra trasparente o cella in diamante
Fibre	Tessuti, pellami, moquette, polimeri, legno	Riflettanza diffusa, riflettanza interna, film su finestra trasparente o cella in diamante
Polveri	Minerali, coloranti, argille, materiali lapidei, prodotti di corrosione	Riflettanza diffusa, pastiglia di KBr (previa macinazione), riflettanza interna, film su finestra trasparente o cella in diamante

Bibliografia

I. M.R. Derrick, D. Stulik, J.M. Landry, Infrared Spectroscopy in Conservation Science, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1999.

II. D.A. Skoog, J.J. Leary, Chimica analitica strumentale, EdiSES, Napoli, 1995.

III. Hummel Polymer Sample Library, Fourier Transform Infrared Spectral Library by Thermo Nicolet Corporation.

IV. G. Socrates, Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts, 3rd edition, 2004. (Acquistato ma non ancora ricevuto)

V. R.M. Silverstein, F.X. Webster, and D.J. Kiemle, Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th edition, Wiley, 2005. (Acquistato ma non ancora ricevuto)

VI. Spectral Database for Organic Compounds: http://www.aist.go.jp/RIODB/SDBS/ (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan).

VII. http://www.spec-online.de/

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

RPM - MALTE ARMATE PER METTERE IN SICUREZZA ANTISISMICA LE VECCHIE CASE

Alessandro Bachiorrini
CIC-LEMIT -Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche - Università degli studi di Udine

Due parole per cominciare

Il problema della messa in sicurezza antisismica delle case vetuste ma ancora abitate è tutt'altro che semplice da risolvere.

Da un lato infatti occorre contenere la spesa (che non sia troppo alta in rapporto al valore della casa) ed occorre tener conto del tempo richiesto dai lavori, ma dall'altro lato occorre scegliere ed impiegare la tecnica meno invasiva possibile per non far più danni che portar aiuto alla struttura della casa; chi si ricorda di cosa è successo in Friuli nel settembre del 1976 sa cosa s'intende dire.

Inoltre è necessario fare i conti con la scarsa competenza tecnica della manovalanza edile, soprattutto in una terra nella quale tutti hanno "il mal della pietra", credono d'esser capomastri e vogliono risparmiare. A dire il vero moltissimi friulani come muratori sono piuttosto abili; ma come muratori d'un tempo. E purtroppo le tecniche di un tempo non bastano per affrontare un problema così delicato. Se fossero bastate non sarebbero crollate così tante case per la scalciata dell' Orcolat, il bizzoso drago che nei miti friulani dorme sotto terra. Come non bastasse i materiali, negli ultimi trent'anni, pur senza cambiar nome, sono notevolmente mutati e sbagliarne applicazione è fin troppo facile. Solo per limitarsi ai cementi, al tempo del terremoto in Friuli si usava solo il Potland 325 mentre oggi non lo adopera più nessuno. Al suo posto si usano cementi di miscela. Ma di cementi di miscela ve n'è una lunga serie di generi diversi, ciascuno con caratteristiche specifiche che, spesso, gli stessi tecnici di cantiere non arrivano a valutare correttamente.

E da ultimo (ma certamente non per ultimo, anzi il primo), il problema di mettere in sicurezza antisismica le case è anche un problema di "filosofia" dell'intervento. In altri termini: occorre tentare di portare le case a sopportare senza danni significativi il terremoto quale che sia la sua violenza o basta fare in modo che la casa dissipi l'energia ricevuta dal terremoto deformandosi senza per altro crollare?

Va comunque tenuto presente che, con le vecchie case, ben raramente è possibile seguire la prima "filosofia" e, comunque, occorrerebbe effettuare interventi molto invasivi e dispendiosi. Al contrario è sempre possibile seguire la seconda "filosofia" senza svenarsi; ma occorre tenere ben presente che si tratta di una filosofia salvavita, non salva portafoglio; vale a dire che dopo un terremoto distruttivo la casa sarà ancora in piedi ma andrà comunque ricostruita.

Orbene le RPM (acronimo di Reactive Powders Mortars cioè Malte a Polveri Reattive) possono fornire una via nuova per risolvere, secondo la seconda filosofia, il problema della messa in sicurezza antisismica delle vecchie case ancora abitate.

Cosa sono le RPM

Prima di vedere perché le RPM possono essere adoperate (e come occorre porle in opera) per mettere in sicurezza le case, occorre spiegate cosa sono.

Una composizione tipica di una RPM è data in tabella 1 affiancata alla composizione di una malta tradizionale. Anche una veloce occhiata alla tabella è sufficiente per rendersi conto che questa RPM è una malta molto particolare. Infatti, in una malta tradizionale (che, in breve, chiameremo malta) i rapporti sabbia/cemento (s/c) e acqua/cemento (a/c) sono molto differenti da quelli della RPM. Ma, soprattutto, per fare una malta si usano solo acqua, sabbia e cemento mentre per fare una RPM occorrono anche fumo di silice (o altro materiale submicronico a reattività pozzolanica), fibre d'acciaio (o di altro materiale fibriforme duttile e di buon modulo elastico) e superfluidificante.

Ovviamente così importanti differenze caratteristiche finali del tutto diverse che esamineremo a breve seppur in sintesi. Per saperne di più si consulti la letteratura (1-7).

TABELLA 1. COMPOSIZIONE TIPICA DI UNA MALTA A POLVERI REATTIVE (RPM) E DI UNA MALTA TRADIZIONALE (MALTA)

COMPONENTI	RPM (kg/m^3)	MALTA (kg/m^3)
Cemento (c) [CEM I 42,5 R]	934	500
Fumo di silice (fs)	234	-
Sabbia (s)	1030 [fine]	1500 [normale]
Fibre d'acciaio	187	-
Acqua libera	187	250-300
Acqua totale (a)	215	250-300
Superfuidificante acrilico acquoso	42	-
Superfuidificante acrilico secco	12,9	-
a/c	0,23	0,5-0,6
a/(c+fs)	0,18	-
s/c	1,10	3
s/(c+fs)	0,88	-

Le prime differenze si hanno nel modo di comportarsi degli impasti freschi, ossia nella reologia. Quella di una malta non cambia molto (restando essenzialmente tixotropica) pur raddoppiando o dimezzando il rapporto a/c mentre le resistenze meccaniche ne sono fortemente influenzate. Al contrario la reologia di una RPM la si può far cambiare (da autolivellante a tixotropica) solo cambiando l'additivo fludificante senza perdere significativamente di resistenze meccaniche.

Ma le differenze restano importanti anche quando le malte sono indurite. Infatti, in una malta ordinaria le resistenze meccaniche a flessione e a compressione raramente superano i 5 e i 35 MPa rispetivamente, mentre in una RPM spesso vanno oltre i 50 e i 180MPa. Ma, soprattutto, mentre una malta ordinaria ha un comportamento fragile e si schianta senza preavviso, una RPM ha un comportamento pseudo-duttile e non collassa ma si deforma progressivamente (Fig.1 e Fig.2A). Ed ancora più vistose sono le differenze tra malte e RPM per quel che attiene al comportamento a fatica (Fig.2B).

Fig.1 - Rottura a flessione e a compressione di una malta ordinaria (a sinistra) e di una RPM (a destra)

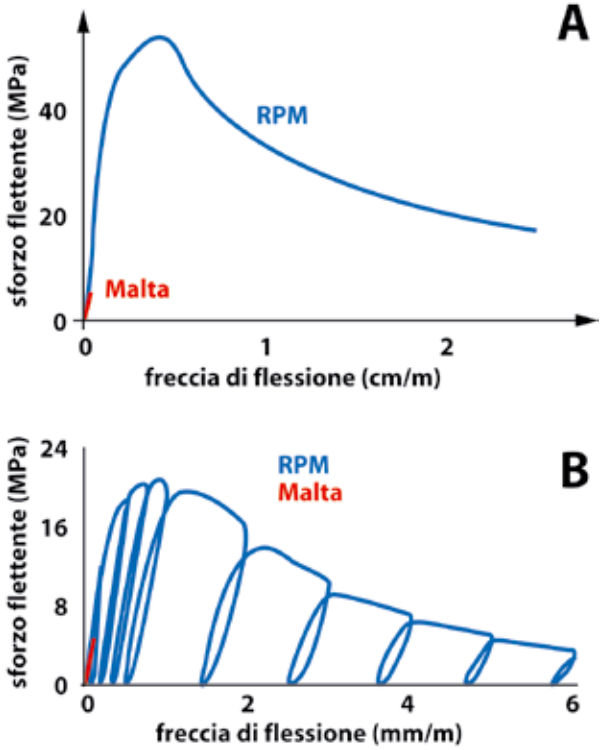


Fig.2 - Caratteristici comportamenti meccanici a flessione (A) e a fatica (B) di una malta ordinaria e di una RPM

Osservando le diversità delle aree sottese dalle curve sforzo/deflessione (della Fig.2A), che sono proporzionali alle energie dissipate in lavoro di deformazione prima della rottura (se avviene!), si comprende ancor meglio la profonda differenza di comportamento meccanico tra malta e RPM già solo limitandosi a sollecitazioni statiche. Differenze che diventano abissali in caso di sollecitazioni dinamiche cicliche (fatica meccanica), come dimostrano i grafici della Fig.2B, dove normalmente le malte ordinarie non superano nemmeno il primo ciclo mentre le RPM danno per decine e decine di cicli, non trascurabili recuperi di deformazione (vedasi la zona puntinata).

I valori molto alti delle resistenze a flessione e compressione della RPM dipendono soprattutto dal basso rapporto acqua/cemento e dalla presenza del fumo di silice; la presenza delle fibre comporta infatti solo degli incrementi del 25-30%. Ma occorre dire che non si arriverebbe mai ad impastare con rapporti a/c e a/(c+fs) così bassi senza l'aiuto del superfluidificante. Peraltro, l'aggiunta di fibre d'acciaio è indispensabile per assicurare il ramificarsi della frattura e dunque la dissipazione di energia in lavoro di deformazione e di sfilamento delle fibre, cioè per avere il comportamento pseudo-duttile e la resistenza a fatica. Naturalmente, cambiando tipo di cemento, di fumo di silice, di superfluidificante e, persino, di sabbia, si hanno dei cambiamenti importanti di comportamento reologico e meccanico degli RPM ma le drastiche differenze con le malte ordinarie restano.

Per contro, il tipo di fibre può avere un' influenza notevole. Infatti, se al posto delle fibre di acciaio o di altri materiali ampiamente deformabili, si impiegano fibre di carbonio o di vetro alcali-resistente o di altri materiali fragili oppure che non si legano con la pasta cementizia (fibre poliuretaniche), la reologia delle RPM non muta ma il comportamento meccanico risulterà sostanzialmente quello delle malte ordinarie con conseguente frattura fragile. Anche la forma (Fig.3) e, soprattutto, il "rapporto di aspetto" (ossia il rapporto lunghezza/diametro) hanno un influenza non trascurabile. Forme che contrastano lo sfilamento (rapporti di aspetto di 4,5 e 8 della Fig.3) ovviamente aiutano a tenacizzare. Per quel che concerne il rapporto di aspetto in teoria dovrebbe essere molto grande; peccato però che, più è alto e più occorre aggiungere acqua per fare l'impasto e che, all'aumentare del tenore d'acqua, calino le resistenze meccaniche. Sicchè in pratica non conviene usare fibre con rapporto di aspetto inferiore a 50 ma neppure superiore a 100; sebbene che, con una tecnica molto particolare (8), sia possibile impiegare fibre con rapporto di aspetto attorno a 3000 mantenendo il rapporto acqua/cemento inferiore a 0,30.

Fig.3 - Differenti fibre adoperate per fare RPM : 1- acciaio trafilato,
2- ghisa amorfa, 3- Nylon, 4- acciaio per bandelle, 5- poliestere,

Si può quindi dire che, per avere delle RPM con resistenze meccaniche molto elevate, occorre adoperare: Portland ferrico (cioè senza C_3A) del tipo CEM I 42,5 R, fumo di silice bianco (ossia privo di residui carboniosi o altri inquinanti), sabbia fine (granulometria inferiore a 0,6 mm), superfluidificante acrilico e fibre d'acciaio trafilato con rapporto di forma attorno a 75.

In definitiva le RPM sono il risultato dello sviluppo tecnologico delle malte. Sviluppo tuttaltro che completato e che si deve anche alle sperimentazioni condotte dall'autore con la collaborazione di valenti e ferventi laureandi in Ingegneria dell'Università di Udine (8-17).

Di tali sperimentazioni si ricorderanno, in sintesi, solo quelle che giustificano la proposta d'impiego delle RPM nella messa in sicurezza antisismica delle vecchie case ancora abitate. Si parlerà quindi dello studio del comportamento dinamico delle RPM e del test sul recupero strutturale di murature al limite del collasso statico rivestite con intonaci in RPM.

Comportamento dinamico delle RPM

Lo studio del comportamento dinamico dell RPM è stato coordinato dal collega Paolo Pascolo del Dipartimento d'Ingegneria Civile dell'Università di Udine basandosi su tre RPM differenti solo per tenore di fibra. La prima RPM (di seguito indicata RPM1) aveva la composizione riportata in Tabella 1. La seconda (RPM2) aveva composizione analoga ma con tenore di fibre dimezzato. La terza (RPM3) aveva ancora composizione analoga ma era priva di fibre.

I valori medi delle resistenze meccaniche a flessione, secondo norma EN 196 – parte I, erano rispettivamente di 56, 48 e 17 MPa. Però, per poter studiare il comportamento dinamico occorre lavorare in condizioni diverse da quelle di norma e con provini maggiorati (parallelepipedi 7x7x40 cm, con intaglio trasversale o senza a sezione triangolare di base 1 cm e altezza 1 cm) ed occorre tener conto solo delle resistenze medie d'innesco della cricca a flessione determinate in condizioni dinamiche. Queste ultime sono risultate essere pari a 21, 18 e 7 MPa per i provini con intaglio e di 22, 20 e 9 MPa per i provini senza intaglio. I cicli d'isteresi sono dunque stati determinati con velocità di deformazione diverse applicando carichi limite del 20% inferiori ai carchi medi d'innesco della cricca.

Come ci si aspettava buona parte dei provini di RPM3 non ha superato neppure il primo ciclo mentre i provini di RPM2 e RPM1 davano origine a curve similari a quella della Fig.2 (a destra) lasciando prevedere un comportamento a fatica molto interessante. Pertanto, prima di procedere alla realizzazione delle prove di fatica in condizioni diverse, si è stabilito di arrestare tali prove nel momento in cui la freccia residua di flessione fosse cresciuta di 1 mm (ossia dello 0,28% della luce del provino) di modo che il danno ultimo sul provino risultasse ancora limitato (Fig.4). Nella Tabella 2 sono sintetizzati i risultati salienti delle prove eseguite sui provini con intaglio.

Fig.4 - Danni tipici da prove di resistenza a fatica: quelli di sinistra molto più frequenti di quelli di destra

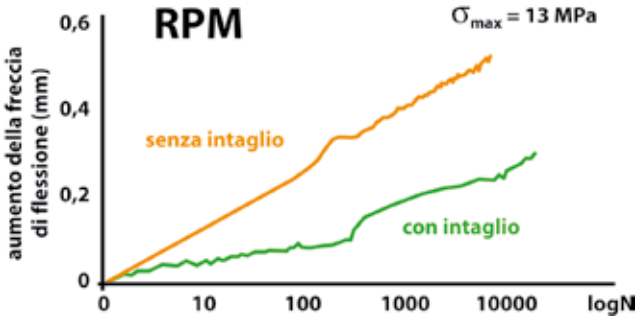


Fig.5 - Esempio di sensibilità all'intaglio della deformazione per fatica. N = n° di cicli

La Tabella mostra chiaramente che la resistenza alla fatica dipende, ma in modo non lineare, dal tenore di fibre ed è molto grande se la portata di oscillazione del carico (S) non è eccessiva ma resta comunque elevata anche se la portata di oscillazione è massimale.

Molto interessante è pure risultata la verifica dell'influenza esercitata sulla resistenza a fatica dalla presenza di profili in grado di concentrare gli sforzi (intagli). Si è verificato che la resistenza a fatica si riduce in presenza d'intaglio solo se questo viene ottenuto per asportazione meccanica dopo la stagionatura del provino (Fig.5). Al contrario, se il profilo d' "intaglio" era ottenuto nel provino modificando acconciamente la cassaforma di gettata, la resistenza a fatica aumenta. Ciò dipende dal fatto che nelle vicinanze delle pareti dello stampo le fibre, durante il getto, finiscono per disporsi più o meno parallele alla superficie. Un rilievo emergente dal fondo dello stampo comporta perciò un orientamento casuale delle fibre e con esso una ramificazione più marcata nella propagazione della cricca (foto a sinistra della Fig.4).

TABELLA 2. RISULTATI DELLE PROVE DI FATICA SU PROVINI CON INTAGLIO ($S = \sigma_{max} / \sigma_{max}$ statico; N = n° di cicli a fine prova)

FIBRE (kg/m³)	σ_{max} [MPa]	σ_{min} [MPa]	σ_{mez} [MPa]	σ_{max} statico [MPa]	S	N
187 (RPM1)	12,93	4,29	10,714	20	0,65	46025657
	13,42	6,72	10,714	20	0,67	741310
	14,01	6,42	10,714	20	0,70	191
	15,82	6,22	10,714	20	0,79	116
93,5 (RPM2)	10,77	5,05	8,571	18	0,60	6338697
	12,93	4,29	8,571	18	0,72	576766
	13,05	3,51	8,571	18	0,73	436515
	16,01	1,07	8,571	18	0,89	316

Recupero strutturale di muratura al limite del collasso statico rivestita con intonaco in RPM

Questo test è stato realizzato presso l'officina dell' ISMEA di Udine con l'aiuto delle maestranze di tale Istituto e con la collaborazione del collega Aldo De Marco dell'Università di Trieste. Lo scopo del test era quello di verificare se le RPM potevano costituire una buona alternativa

alle fasciature in resina epossidica e fibra di carbonio già ampiamente usate nel recupero strutturale di murature al limite del collasso statico.

Due piattebande senza intonaco sono state realizzate in mattoni pieni e malta bastarda secondo le regole dell'arte muraria (Fig.6ab). Sei mesi dopo sono state danneggiate e portate al limite di collasso statico (Fig.6c-d) caricandole sulla mezzeria con apposito martinetto. In seguito si è provveduto a ripararle, sempre secondo le antiche regole dell'arte muraria (Fig.6e-g). Per il consolidamento finale si sono seguite due strade diverse. Una piattabanda è stata rinforzata con fasce di resina epossidica e fibre di carbonio (Fig.6h). L'altra è stata invece parzialmente rivestita con intonaco in RPM (Fig.6i) di 2 cm di spessore e di composizione un po' differente da quella di Tabella 1 (cemento CEM II 32,5: 1170 Kg/m^3, niente fumo di silice e *a/c* = 0,27) per risparmiare ed agevolare il lavoro alle maestranze. A fine stagionatura (3 giorni per le fasce in resina e fibre di carbonio e 28 giorni per le RPM), le piattebande sono state nuovamente caricate col martinetto (Fig.6l).

La piattabanda consolidata con RPM, nel momento in cui si è bloccato il martinetto [perché una delle fratture stava per aggirare la zona consolidata (Fig.6m a sinistra)] reggeva ancora un carico 10 volte più alto di quello che ne aveva, precedentemente, causato la crisi statica e presentava una freccia di 4,2 cm (Fig.6m a destra). Tale freccia si riduceva a soli 1,6 cm una volta rimosso il carico.

Fig.6 - Confronto tra RPM e resina rinforzata nel recupero strutturale di murature danneggiate

La piattabanda rinforzata con fasce di resina epossidica e fibre di carbonio aveva raggiunto una freccia di 3 centimetri e stava sopportando un carico quasi 7 volte superiore a quello che ne aveva causato la precedenti crisi statica, quando le fasce si sono staccate senza preavviso rischiando di far crollare tutto (Fig.6n-p). La freccia, una volta scaricato il martinetto si assestò a 2,6 cm.

Per quanto l'esperienza sia opinabile, per mancanza di verifica su ragionevole base statistica, pare comunque accettabile concludere che gli intonaci in RPM possono costituire un'alternativa vantaggiosa alle fasce in resina epossidica e fibre di carbonio, non tanto perché in grado di dare maggiore rinforzo, quanto piuttosto perché garantiscono alla muratura un recupero elastico ben più consistente.

Perché adoperare le RPM

Perché adoperare le RPM per mettere in sicurezza antisismica le vecchie case?

Forse la risposta è nascosta in un'antica leggenda aviglianese che narrava come l'Arcangelo Michele insegnasse a dei poveri pastori a difendersi da un diavolo dispettoso (che faceva crollare le loro misere casupole) cuocendo terra rossa e pietra bianca, sminuzzando tutto ed impastando con acqua e peli di capra ed usando tale impasto per legare i conci e rivestire i muri così ottenuti. La leggenda diceva anche che il diavolo inferocito avesse scosso forsennatamente tutta la montagna senza peraltro riuscire a far crollare alcuna casa.

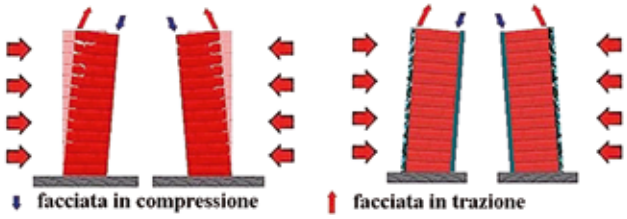


Fig.7 - Schema di comportamento di un muro grezzo (a sinistra) e con intonaco (a destra) alle oscillazioni perpendicolari alla fac-

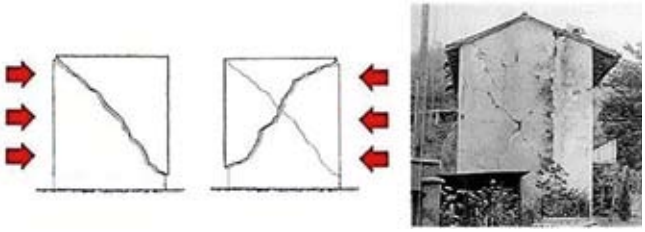


Fig.8 - Schema di comportamento di un muro alle oscillazioni perpendicolari alla facciata

Fin qui la leggenda. Ma la realtà dice che quella del monte Pirchiriano, zona di periodica e vivace attività sismica, è l'unica contrada piemontese ove anticamente anche le case della povera gente erano accuratamente intonacate sia internamente che esternamente. Non solo. E' anche l'unica zona ove le malte, sia di allettamento che da intonaco, erano armate con fibre animali. E merita anche ricordare che, a stare alle cronache redatte dai frati della Sagra di San Michele (la ciclopica abbazia che domina il monte), l'ultimo terremoto in età pre-napoleonica, vale a dire l'ultimo con effetto devastante, pur radendo al suolo l'abbazia non provocò che limitati danni alle casupole del circostante contado.

Ma, leggende e cronache di frati a parte, quel che non si può confutare è un fatto che emerge chiaramente dalle note accompagnanti i quasi 85.000 Verbali di Accertamento Danni redatti dopo il terremoto del 6 maggio 1976. Da tali note emerge infatti che, salvo pochissime eccezioni, nessuna casa

correttamente intonacata dentro e fuori (e priva di grossolani errori di progetto o di costruzione) ha avuto seri danni.

Ma perché mai dei buoni intonaci, soprattutto se armati con fibre tenaci, dovrebbero rendere le murature meno vulnerabili al terremoto?

Si potrebbe rispondere che gli intonaci trasformano il muro da semplice agglomerato a composito pluristratificato e che i compositi pluristatificati non solo sopportano molto meglio degli agglomerati gli sforzi di flessione, taglio e torsione, ma, soprattutto, hanno una resistenza a fatica assai più elevata ed è notorio che un terremoto sottopone le strutture ancorate al terreno a corti ed irregolari ma più o meno violenti cicli di fatica.

Rimane forse da chiarire perché un pluristratificato sopporti molto meglio di un agglomerato le sollecitazioni di flessione, taglio e torsione e la fatica ad esse connessa. Per cercare di capirlo si possono osservare le Fig.7, 8 e 9 e ragionarci sopra.

Se l'oscillazione (imposta dal terremoto) è perpendicolare alla facciata del muro (Fig.7) questo assoggettato a carichi alternati di flessione e per conseguenza le sue zone esterne sono sottoposte a sollecitazioni alternate di trazione e compressione. E tutti i difetti di superficie possono favorire la formazione di fessure che si allargheranno ciclo dopo ciclo. E' dunque evidente che, se il muro è grezzo, i maggiori difetti superficiali saranno concentrati soprattutto nella malta di allettamento ed in particolare (specie nei muri vetusti) nella zona di contatto tra malta e mattone (o pietra). Dunque sarà proprio in quelle zone che si apriranno le fessure. Apertura di cricca comunque facilitata dalle differenze di rigidità tra malta, zona di contatto e mattone che inducono una concentrazione di sforzo nella zona meno rigida. Se il muro è rivestito (su ambo le superfici) da un intonaco ben legato e ben lisciato, il numero di difetti superficiali sarà drasticamente ridotto ed occorrerà dissipare in lavoro di deformazione molta più energia prima di riuscire a generare un numero di fessure sufficientemente profonde da mettere in crisi la muratura. Infatti saranno ben poche le cricche, apertesi nell'intonaco, che riusciranno a penetrare nel muro in quanto mattoni o pietre ne devierà la maggior parte parallelamente alla superficie col rischio, magari, di determinare un parziale distacco dell'intonaco (Fig.10). Se l'intonaco è armato con fibre saranno proprio queste ultime a promuovere le deviazione multipla (un vero e proprio sfioccamento) delle cricche già all'interno dell'intonaco stesso. E più le fibre avranno un orientamento casuale minore sarà il pericolo di distacco (o anche di semplice parziale sfarinamento) dell'intonaco e di penetrazione delle fessure nel muro.

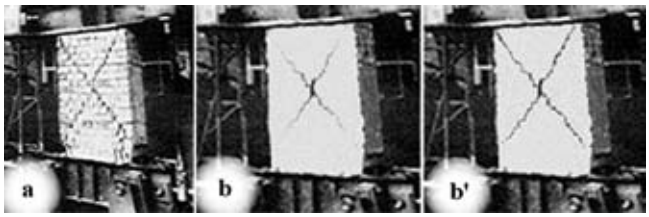


Fig.9 - Test sul comportamento dinamico di muri senza (a) e con (b, b') intonaco di malta tradizionale. I terremoti simulati erano di magnitudo 5,5 (a), 5,8 (b) e 6,0 (b')

Se l'oscillazione è invece parallela alla facciata del muro (Fig.8 e 9), l'effetto dominante sarà quello di taglio alternato e nel muro si apriranno due crepe a croce di Sant'Andrea. Anche in questo caso un buon intonaco (Fig.9) aiuterà il muro a star su nonostante che l'aiuto risulti meno efficace di quello fornito nel caso di oscillazioni perpendicolari.

Per ora non si hanno dati sperimentali sulla resistenza alle scosse sismiche dei muri rivestiti con intonaci in RPM fibro-armate. Ma, considerate le drastiche differenze di comportamento dinamico e di resistenza alla fatica tra malte ed RPM, e tenuto anche conto del fatto che semplici intonaci in malta tradizionale incrementano la resistenza al sisma di almeno 0,3-0,4 gradi Richter, si può prevedere, stimando con prudenza, che rivestendo i muri con RPM (del tipo di Tabella 1) si otterrebbe un incremento di resistenza al sisma di almeno 2 gradi Richter.

Come impiegare le RPM

Qui non si vuol insegnare alle lepri a correre e, dunque, non si dirà agli architetti, agli ingegneri e alle maestranze tutto quel che devono fare con le RPM per mettere in sicurezza antisismica una vecchia casa. Ma, dal momento che, anche al giorno d'oggi, nei cantieri si vedono fare cose da non credere, è quantomeno opportuno segnalare ciò che sicuramente non va fatto.

• Prima di tutto non si deve credere che le RPM siano la panacea di tutti i mali. In altri termini, se una casa presenta grossolani errori di progettazione o di costruzione è del tutto illusorio pensare di difendersi dagli effetti devastanti di un terremoto solo rivestendo i muri con intonaci in RPM. Per essere più espliciti: volte (Fig.10) e tetti (Fig.11) spingenti in fuori, solai, pilastri e tramezzi solo appoggiati (Fig.12),

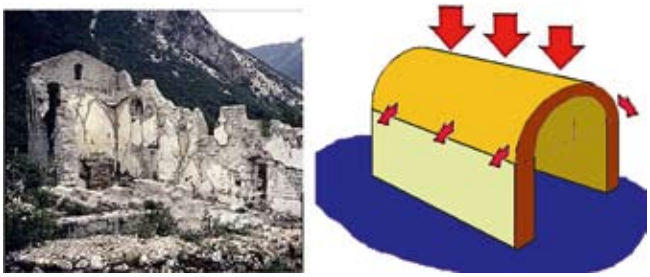


Fig.10 - Intonaco distaccato in una chiesetta crollata durante il terremoto (del maggio 1976) per effetto negativo della volta e del soprastante tetto spingenti in fuori

Fig.11 - Effetti negativi dei tetti spingenti in fuori

Fig.12 - Effetti negativi di solai, pilastri (a) e muri tramezzi (b) solo appoggiati

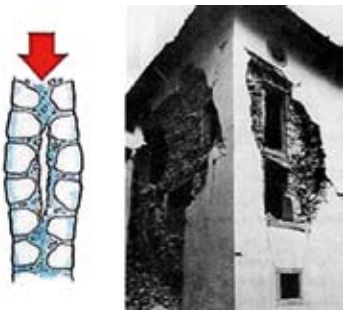


Fig.13 - Effetti negativi di muri a cassa

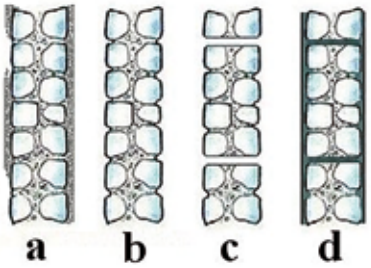


Fig.14 - Schema d'intervento per mettere in sicurezza un muro

richiedono preliminari interventi di contrasto. Per i muri a cassa (Fig.13), tanto pericolosi quanto usuali nelle vecchie costruzioni friulane, potrebbe bastare un congruo incremento delle trapuntature (Fig.14) tra gli intonaci in RPM.

• Poi non ci si deve sognare di regolarsi con le RPM come si fa con una malta qualsiasi. In altre parole non si può cambiarne a piacimento la composizione: per esempio usare il primo cemento che si ha sottomano o aggiungere acqua a naso o, per risparmiare, non adoperare i dovuti quantitativi di additivo superfluidificante, di fumo di silice e di fibre d'acciaio. Va infatti tenuto ben in mente che ogni variazione di composizione si riflette sempre (e, quasi sempre, in modo assai negativo) sul comportamento statico e dinamico delle RPM indurite.

• Inoltre non si deve credere che i vecchi muri siano tutti uguali. Per i muri di pietra occorre fare un esame per assicurarsi che nel costruirli siano stati usati conci in pietra da gesso; cosa abbastanza improbabile ma, considerata la geologia della Carnia e del Friuli, non escludibile a priori. Per i muri in mattoni che presentino la barba bianca occorre verificare col saggio di Anstett che mattoni e malta di allettamento non siano inquinati da quantitativi significativi di solfati. E' bene ricordare che i solfati danno, con il cemento, una reazione espansiva particolarmente potente e disgregante per cui non si deve assolutamente trascurare di fare questi esami e di tener conto dei loro risultati prima d'intervenire. Nel caso malaugurato in cui i solfati siano presenti occorrerà o cambiare strategia (fasciare con resina epossidica e tessuti di carbonio o di poliaramide) o, prima di applicare l'intonaco in RPM, rivestire tutto (buchi di trapuntatura inclusi) con più mani di resina epossidica l'ultima delle quali spolverata a rifiuto con sabbia di frantoio.

• Infine, e soprattutto, non si deve risparmiare nel lavoro. Ossia occorre rimuovere completamente i preesistenti intonaci (anche se in perfetto stato di conservazione) e pulire molto bene le murature (Fig.14b), possibilmente per sabbiatura. Occorre effettuare i buchi di trapuntatura (Fig.14c) ad acconcia distanza uno dall'altro (da 1 a 2 metri in ragione del tipo di muro). Quindi occorre bagnare a rifiuto la muratura prima si intasare i buchi con RPM e applicare l'intonaco (di almeno 2 cm di spessore) ancora in RPM e, da ultimo, occorre sorvegliare la stagionatura tenendo l'intonaco ben bagnato per almeno 3 settimane.

Bibliografia

1.Richard D.: Cherezy M.H., "REACTIVE POWDER CONCRETE WITH HIGH DUCTILITY AND 200-800 MPA COMPRENSIVE STRENGTH", ACI Spring Convention, San Francisco 1994, pag. 507-518 (ACI SP-144)

2.P.Richard, M.Cheyrezy "COMPOSITION OF REACTIVE POWDER CONCRETES" Cement and Concrete Research, Vol 25 No 7 – 1995

3.Collepardi M.: "CALCESTRUZZI AD ALTISSIMA RESISTENZA: HPC, DSP ED RPC", Atti del seminario CIAS "Evoluzione della sperimentazione per le costruzioni", Malta 25-30/04/96, pag. 289-314

4.Dugat J., Roux N., Bernier G.: "MECHANICAL PROPERTIES OF REACTIVE POWDER CONCRETES", Materials and Structures, Vol. 29, pag. 233-240, Maggio 1996

5.Collepardi S., Coppola L., Troli M. e Collepardi M.: "MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED REACTIVE POWDER CONCRETE", Fifth CANMET/ACI International Conference, Roma Ottobre 1997, pag. 1-21 (SP 173-1)

6.Coppola L., Troli R., Borsoi A., Zafferoni P., Collepardi M.: "INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER TYPE ON THE COMPRESIVE STRENGHT OF REACTIVE POWDER MORTARS" Fifth CANMET/ACI International Conference Superplasticizers and Other Chemical Admixture in Concrete V.M. Malhotra, Roma – Ottobre 1997 (SP 173-27)

7.Rossi P.: "HIGH PERFORMANCE MULTIMODAL FIBER REINFORCED CEMENT COMPOSITES (HPMFRCC): THE LCPC EXPERIENCE" ACI Materials Journal, Vol 94 No 6 – November-December 1997, pag.478-483

8.G. Foghini, "OFR RPM (Organic Fiber Reinforced Reactive Powder Mortar) MALTE E MICROCALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI AD ALTISSIME PRESTAZIONI", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2000-2001.

9.M. Girardi, "RPC – CONGLOMERATI A POLVERE REATTIVA RINFORZATI CON FIBRE ORGANICHE", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 1998-1999.

10.C. Marcon, "VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA DELLE FIBRE METALLICHE SULLE PROPRIETA' DEGLI RPC", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 1998-1999.

11.F. Fardin, "RPC MICROCALCESTRUZZI AD ALTISSIME PRESTAZIONI", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 1999-2000.

12.L. De Carli, "GFRRPC (Glass Fiber Reinforced Reactive Powder Concrete) LA TENACIZZAZIONE PER CALCESTRUZZI AD ALTISSIME PRESTAZIONI", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2000-2001.

13.L. Basso Bondini, "RPM OFM (Reactive Powder Mortar Organic Fiber Modified) MALTE, RINFORZATE CON FIBRE ORGANICHE, AD ALTE PRESTAZIONI", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2001-2002.

14.V. Villanova, "INFLUENZA DEL TIPO DI CEMENTO E DEL TIPO DI FILLERIZZANTE (FINE E FINISSIMO) SULLE PROPRIETA' DELLE MALTE FIBRORINFORZATE RPMFM", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2001-2002.

15.A. Chivilò, "INDAGINI SUL COMPORTAMENTO DINAMICO DI STRUTTURE DI FONDAZIONE IN CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2001-2002.

16.M. Dall'Armellina, "MALTE AD ALTISSIME PRESTAZIONI MECCANICHE RINFORZATE CON FIBRE ORGANICHE (OFRPM)", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2001-2002.

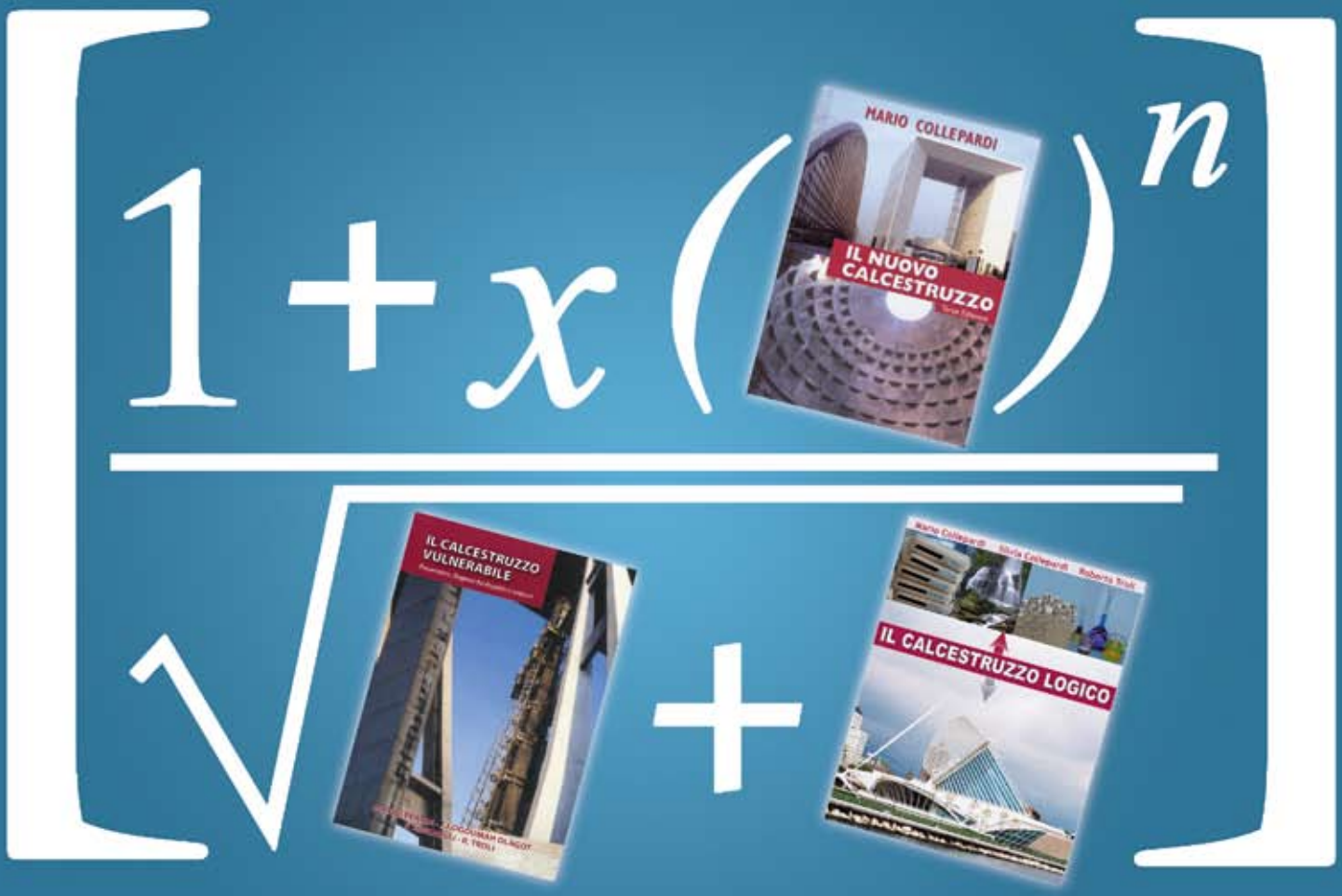
17.L. Beltrame, "INFLUENZA DEL TIPO DI CEMENTO SULLE PROPRIETÀ MECCANICHE DELLE MALTE A POLVERE REATTIVA FIBRORINFORZATE", Tesi di Laurea, Università di Udine, aa 2001-2002.

ASSOCIAZIONE
SPERIMENTATORI
CALCESTRUZZI INNOVATIVI

2° Corso Nazionale del:

"Tecnologo del Calcestruzzo"

Nuovi tecnologi
del calcestruzzo



L'equazione perfetta per capire il calcestruzzo.

Per informazioni e acquisto: **ENCO srl** - Via delle Industrie, 18 Ponzano Veneto (TV) - 31050
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963 237 - info@encosrl.it

www.encosrl.it

PROTEZIONE DI COMPONENTI ELETTRONICI, OPTOELETTRONICI E FOTOVOLTAICI IN PROSSIMITÀ DEL MOTORE DELL'AUTOVEICOLO

G. Carotenuto, B. Martorana*, P. Perlo*, L. Nicolais
Istituto per i Materiali Compositi e Biomedici (IMCB), Consiglio Nazionale delle Ricerche
Piazzale Tecchio, 80 – 80125 Napoli
(*) Centro Ricerche Fiat (CRF). Strada Torino, 50 – 10043 Orbassano (TO)

Sommario

Soluzioni solide di mercaptide d'oro in polimero producono, per trattamento termico a 200°C in condizioni statiche, materiali nanocompositi dicroici caratterizzati da una spiccata attitudine a riflettere la radiazione infrarossa, pur rimanendo trasparenti alla luce visibile. Tale proprietà è legata alla particolare topologia (presenza di aggregati planari di cluster d'oro) che risulta prodotta nel materiale alla fine del processo di sintesi. Le temperature solo moderatamente elevate presenti in prossimità del motore dell'autoveicolo consentono di utilizzare questo speciale materiale polimerico per risolvere il problema della protezione dei componenti elettronici ed optolelettronici collocati in queste regioni.

1. Protezione termica dei componenti elettronici

In prossimità del motore di un autoveicolo le temperature in gioco sono solo moderatamente elevate (150°C-200°C), ma sufficienti a rendere critica la collocazione di componenti elettronici in queste regioni. Infatti, i semiconduttori (diodi, transistor, integrati, LED, fotocellule, LCD, ecc.) contenuti nei circuiti elettronici presentano temperature d'esercizio in genere limitate all'intervallo termico che va da +5°C a circa +50°C e inoltre, il loro tempo di vita risulta drasticamente ridotto dagli shock-termici.

La propagazione del calore verso i componenti elettronici può essere apprezzabilmente rallentata per inglobamento dell'intero circuito in matrici polimeriche coibenti di natura termoplastica (tipicamente *hot-melt*) o in resine liquide termoindurenti (es. epossidica). Questi materiali sintetici sono in grado di garantire un buon isolamento termico dei componenti elettronici presenti nel circuito, aumentando il tempo richiesto al sistema per portarsi all'equilibrio termico con l'ambiente esterno. Tuttavia, va sottolineato che il semplice rallentamento del processo di propagazione del calore verso questi componenti non risolve il problema, in quanto dopo un periodo di tempo sufficientemente lungo, essi si portano comunque all'equilibrio termico con l'ambiente in cui sono stati collocati. Per poter utilizzare dispositivi elettronici nella zona motore si richiede pertanto l'uso di sistemi di refrigerazione ad aria o ad acqua [1]. Ancora più critico è poi il caso dei componenti opto-elettronici (es. fotocellule, diodi LED emettitori o ricevitori, LCD, ecc.), spesso richiesti per il funzionamento o il monitoraggio di parti dell'autoveicolo (es. spie luminose, indicatori digitali, ecc.), per il cui corretto funzionamento si rende indispensabile la trasparenza dei materiali con cui è realizzato l'involucro protettivo termo-isolante. Anche in questo caso però, il semplice inglobamento in una plastica ottica trasparente avrebbe l'unico effetto di rallentare la propagazione del calore verso l'elemento semicondutivo, non impedendo il raggiungimento di temperature elevate allo stabilirsi dell'equilibrio termico con l'ambiente esterno.

La protezione termica dei dispositivi elettronici ed optoelettronici da collocare in zona motore necessita quindi della messa a punto di materiali che siano in grado al contempo (i) di riflettere efficacemente la radiazione infrarossa, (ii) di essere buoni isolanti termici e (iii) di lasciarsi attraversare più o meno completamente dalla luce visibile e ultravioletta (UV-Vis), come mostrato in Figura 1.

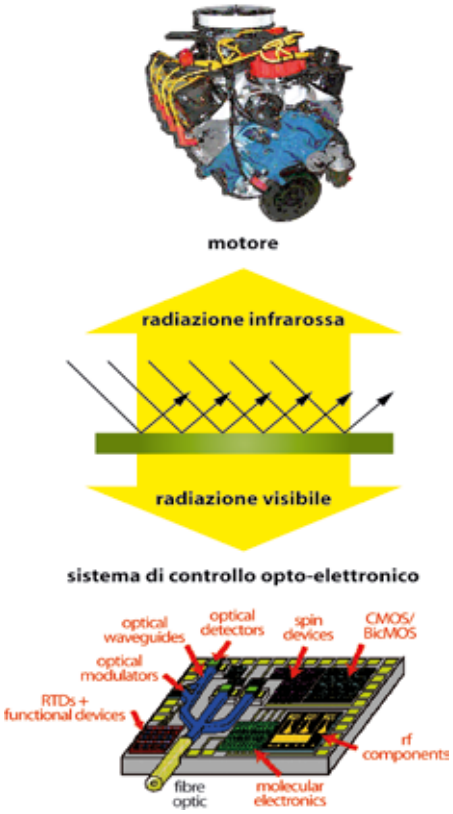


Fig.1 - Rappresentazione schematica dell'applicazione delle barriere protettive infrarosse (heat-mirrors) in campo autoveicolistico

La trasparenza alla radiazione UV-Vis viene ovviamente richiesta solo per il corretto funzionamento di dispositivi optoelettronici e fotonici e questa deve risultare almeno parziale (es. filtro colore). La capacità di riflettere la radiazione infrarossa è indispensabile per bloccare la propagazione del calore verso l'elemento semiconduttivo e deve pertanto essere la più efficace possibile. I materiali con caratteristiche di barriera termica attualmente disponibili sono in genere di natura inorganica [2] e non soddisfano il requisito di trasparenza, pertanto è impensabile il loro utilizzo per la protezione di componenti fotonici e optoelettronici (es. display per centraline di iniezione, spie LED, ecc.). Recentemente, sono stati anche sviluppati [3] particolari riflettori di radiazione infrarossa (*heat-mirrors*) a base di vetri semitrasparenti, contenenti particelle d'oro o di altri metalli nobili depositati superficialmente per *ion-plating* o evaporazione (es. sandwich ITO/Au/ITO). Tuttavia, l'efficienza di questi materiali risulta in genere abbastanza limitata e inoltre sarebbe di grande utilità poter realizzare in plastica tali barriere infrarosse, principalmente per la possibilità di sagomare in maniera anche complessa il materiale con tecnologie semplici (es. stampaggio ad iniezione, estrusione, pultrusione, ecc.), oltre ad avere componenti con caratteristiche antiurto, leggeri, di costo ridotto, ecc. Le plastiche ottiche sono inoltre ottimi isolanti termici e tra queste ne esistono alcune come Capton, PEEK, PEI, ULTEM, PET, ecc. che presentano temperature d'esercizio decisamente elevate (400-500°C), di molto superiori a quelle in gioco in prossimità del motore dell'autoveicolo.

2. *Heat-mirrors* in nanocomposito oro-polimero

2.1. Topologia funzionale dei nanocompositi

I nanocompositi metallo-polimero sono materiali funzionali innovativi [4,5] che possono risultare di grande utilità per questa particolare applicazione tecnologica. Infatti, se una plastica trasparente (es. le comuni plastiche ottiche come policarbonato, polimetilmetacrilato, polistirene, ecc.) viene modificata per inglobamento di un elevato tenore di nanoparticelle metalliche (dimensione media inferiore ai 10nm) e queste particelle risultano organizzate nella matrice polimerica amorfa in forma di estesi aggregati planari, il materiale che ne risulta è in grado di riflettere la radiazione infrarossa, rimanendo invece trasparente a quella UV-Vis. Difatti, gli aggregati metallici, avendo una dimensione comparabile con quella della radiazione infrarossa che li investe, riescono a disperderla (rifletterla) efficacemente per scattering, mentre il materiale composito rimane perfettamente trasparente alla radiazione UV-Vis, in quanto le particelle metalliche presenti nell'aggregato hanno una dimensione media significativamente inferiore alla lunghezza d'onda della radiazione UV-Vis ed anche la distanza inter-particellare nell'aggregato ne risulta inferiore. Le migliori caratteristiche di trasparenza nell'UV-Vis e riflessione dell'IR si riscontrano quando gli aggregati planari di particelle metalliche risultino collocati sul medesimo piano (aggregati con topologia co-planare) o comunque su piani paralleli. I nanocompositi metallo-polimero contenenti aggregati estesi di nanoparticelle metalliche separate giacenti sul medesimo piano possono quindi svolgere egregiamente la funzione di schermi termici (*heat-mirrors*) trasparenti richiesti per il corretto funzionamento di apparati elettronici ed optoelettronici collocati in prossimità del motore dell'autoveicolo.

Nanocompositi metallo-polimero, caratterizzati da questa speciale topologia (presenza di estesi aggregati planari, giacenti su piani paralleli) indispensabile per ottenere il comportamento richiesto (UV-Vis-trasparente/IR-riflettente) risultano generarsi spontaneamente nella sintesi di nanocompositi oro/polimero (es. oro/polistirene) per decomposizione termica *in situ* di precursori mercaptidici [6,7]. Difatti, in questo processo di metallazione *in situ* del polimero mediante mercaptide d'oro si producono cluster d'oro passivanti da molecole di tiolo (composti nanostrutturati noti come tioauriti) che presentano una spontanea tendenza ad aggregarsi per co-cristallizzazione delle catene idrocarburiche delle molecole di tiolo chemisorbite sulla loro superficie (processo definito di interdigitazione) [8]. La presenza dello strato organico passivante impedisce alle particelle di sinterizzare (cioè di coalescere in un unico core metallico) e inoltre costringe le particelle a stare insieme impaccate in maniera compatta in forma di estesi aggregati (vedi Figura 2), pur rimanendo tra loro separate dalla fase dielettrica. Si noti come, risultando la distanza inter-particellare di circa un nanometro, non si verifica alcun significativo fenomeno di scattering nella regione del vicino UV e visibile (tale scattering si potrebbe invece produrre nell'alto UV). Tuttavia, tale speciale microstruttura si ottiene solo quando la decomposizione termica del mercaptide è prodotta ricorrendo alla particolare tecnologia descritta nella Sezione 2.1. Come sarà meglio discusso inseguito (vedi Sezione 2.2), per i film nanocompositi oro/polistirene si riscontra una elevata attitudine a riflettere la radiazione infrarossa, mentre quella ultravioletta e visibile ad alta frequenza (colore blu) risultano perfettamente trasmesse attraverso il film. La radiazione visibile di frequenza inferiore (giallo-rossa) è invece in parte assorbita dal mate-

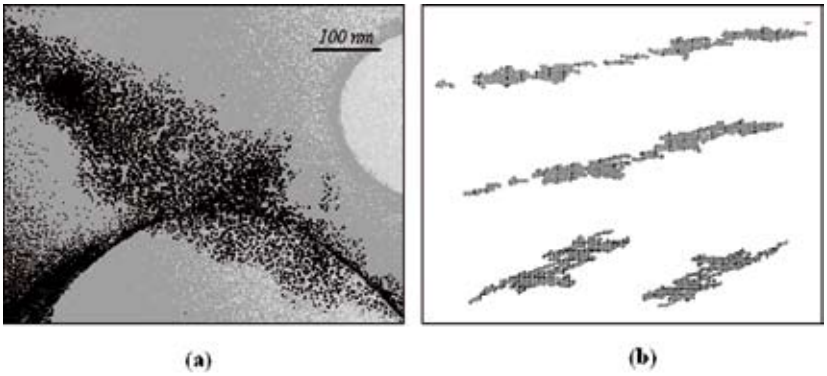


Fig.2 - Particolare microstruttura dei film nanocompositi oro/polistirene ottenuti per metallazione termica con mercaptidi omoleptici: (a) micrografia TEM di uno degli aggregati, (b) disposizione co-planare degli aggregati nella sezione trasversale del film

riale a causa del fenomeno dell'assorbimento di plasma dei cluster d'oro (540-600nm) e in parte riflessa (800-900nm), ma con minore efficacia rispetto a quella infrarossa.

Va infine osservato che la quantità di carica metallica conduttiva presente all'interno di questi film nanocompositi è estremamente bassa (inferiore allo 0.5% in peso) e pertanto non è certo in grado di influenzare le caratteristiche di isolamento termico del polimero utilizzato come matrice. La conducibilità termica del nanocomposito risulta quindi prossima a quella del polistirene puro (0.015 W/mK).

2.2. Preparazione dei film nanocompositi a base d'oro

In particolare, i film nanocompositi oro/polistirene venivano preparati per metallazione in situ del polimero, vale a dire per decomposizione termica di un precursore metallico preventivamente introdotto nel polimero in forma di soluzione solida. I precursori metallici utilizzati allo scopo erano composti organici solforati noti come mercaptidi omoleptici (in particolare, si faceva uso del normal-dodeciltiolato d'oro, $Au(SC_{12}H_{25})_3$). I mercaptidi in genere non sono prodotti chimici commerciali, ma la loro preparazione risulta abbastanza semplice e basata su reattivi chimici facilmente reperibili. Il dodecil-mercaptide d'oro è stato ottenuto trattando acido tetracloroaurico ($HAuC_{l4}$, Aldrich) con dodecantiolo ($C_{12}H_{25}SH$, Aldrich). In particolare, ad una soluzione alcolica del sale d'oro si aggiungeva goccia a goccia con una buretta la soluzione di dodecantiolo in etanolo. La reazione veniva condotta a temperatura ambiente e sotto energica agitazione magnetica. Il mercaptide si separava in forma di polvere gialla. Il prodotto risultava facilmente isolabile quando lasciato ricristallizzare per alcune ore a temperatura ambiente. Il mercaptide veniva filtrato alla pompa (filtri di carta da 45µm), quindi lavato accuratamente sul filtro con abbondante acetone e infine lasciato asciugare all'aria. Le rese di reazione erano molto elevate (96%) e il prodotto allo stato secco risultava stabile all'aria e alla luce per lunghi periodi.

Il film precursore veniva preparato semplicemente unendo una soluzione di polistirene in cloroformio ad una soluzione di mercaptide d'oro in cloroformio e quindi rimuovendo il solvente a temperatura ambiente. Per prevenire la formazione di bolle durante il trattamento termico del precursore, il cloroformio veniva completamente eliminato lasciando per alcune ore i film sotto vuoto. Ad elevati tenori di mercaptide, il film precursore risultava opaco per la presenza di mercaptide indisciolto, tuttavia una buona omogeneizzazione del materiale era assicurata dall'aumentata solubilità a caldo del mercaptide nel polimero.

Il nanocomposito oro/polistirene veniva ottenuto dal film precursore (blend polimero/mercaptide) mediante trattamento termico a temperature moderate (circa 200°C). Tuttavia, film con eccellenti caratteristiche di riflessione della radiazione infrarossa risultavano solo quando per la sua produzione si faceva ricorso alla particolare tecnologia di seguito descritta. Per favorire la formazione dei estesi aggregati planari di cluster d'oro, il sistema reattivo deve essere perturbato il meno possibile nel corso del processo di decomposizione termica del mercaptide. A tale scopo, il film polimerico precursore veniva lasciato rammollire su una superficie metallica riscaldata alla temperatura richiesta per la decomposizione del mercaptide (circa 200°C); il materiale veniva poi coperto con un disco di vetro (es. fondo di una capsula di Petri) e quindi lievemente pressato contro la superficie calda. Per effetto della lieve pressione esercitata dalla superficie di vetro, il polimero scorreva lentamente nell'intercapedine vetro-metallo, producendo un film dello spessore di alcuni decimi di millimetro. Il disco di vetro aveva anche la funzione di limitare il contatto con l'aria prevenendo l'ossidazione del polistirene, mentre la pressione esercitata sulla superficie del vetro consentiva di ridurre il materiale ad un film, omogeneizzandolo lievemente durante la formazione dei cluster. La superficie della piastra metallica veniva protetta con un foglio di alluminio al fine di facilitare il recupero del film nanocomposito a fine processo.

2.3. Caratterizzazione ottica dei film

Al fine di valutare adeguatamente le caratteristiche di scattering e di assorbimento dei film nanocompositi Au/polistirene, questi sono stati sottoposti a caratterizzazione ottica sia in trasmissione che in riflessione (vedi Figura 3a e 3b rispettivamente). In trasmissione i film si presentavano perfettamente trasparenti a frequenze superiori ai 500nm (UV e regione azzurra dello spettro) ed inferiore a 800nm, mentre assorbivano fortemente nell'intervallo 500-800nm per la presenza dei cluster d'oro (risonanza di plasma dei cluster d'oro aggregati).

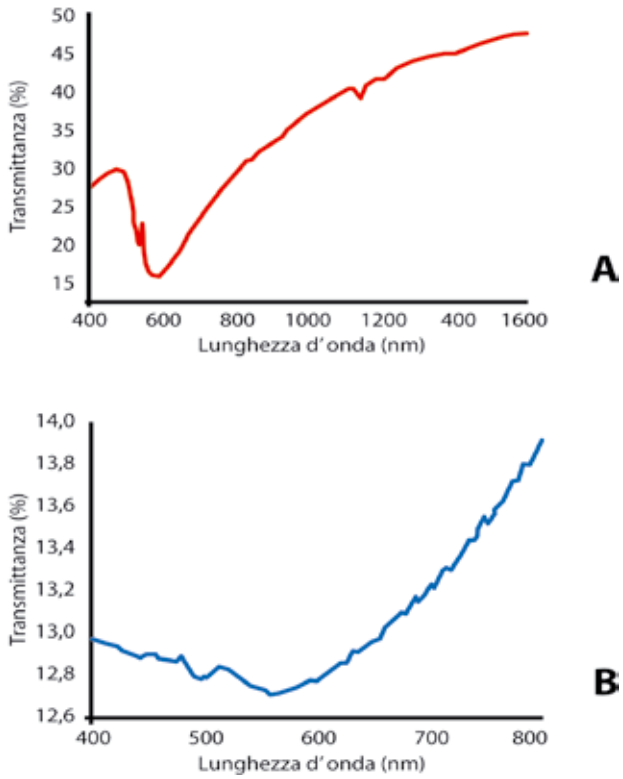


Fig.3 - Spettro UV-Vis-NIR di un film nanocomposito Au/polistirene effettuato sia in trasmissione (a) che in riflessione (b)

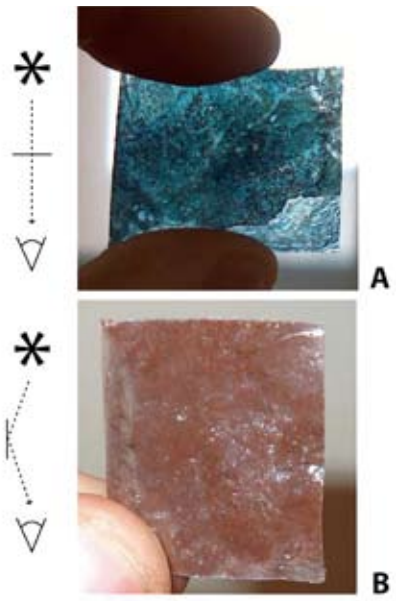


Fig.4 - Immagine (2X) del film nanocomposito Au/polistirene osservato in trasmissione (a) e in riflessione (b)

Tale comportamento è in perfetto accordo con la colorazione blu dei film riscontrata visivamente (vedi Figura 4a). In riflessione invece i film mostravano di riflettere molto efficacemente la radiazione rossa (vedi Figura 3b e 4b) e ancor più quella infrarossa (NIR). Inoltre, come mostrato in Figura 5, lo spettro UV-Vis in trasmissione non risultava qualitativamente modificato variando l'orientazione del film sotto il fascio incidente, ma per il diverso cammino ottico coinvolto lo spettro traslava verticalmente. Invece, in riflettanza, si riscontrava un aumento dell'efficienza di scattering della radiazione rossa e infrarossa con l'aumentare dell'angolo di incidenza della luce sul film. Pertanto la radiazione infrarossa risultava tanto più efficacemente riflessa dal film quanto più incideva in maniera radente alla superficie del film nanocomposito. E' stato inoltre riscontrato che le caratteristiche ottiche del materiale rimanevano praticamente immutate quando esso veniva disciolto in un apposito solvente (es. cloroformio o THF) ed quindi applicato ad una superficie (ad esempio, distribuito mediante spin-coating su substrato di vetro). Questa particolare proprietà risulta di estrema importanza dal punto di vista delle potenzialità applicative del materiale prodotto.

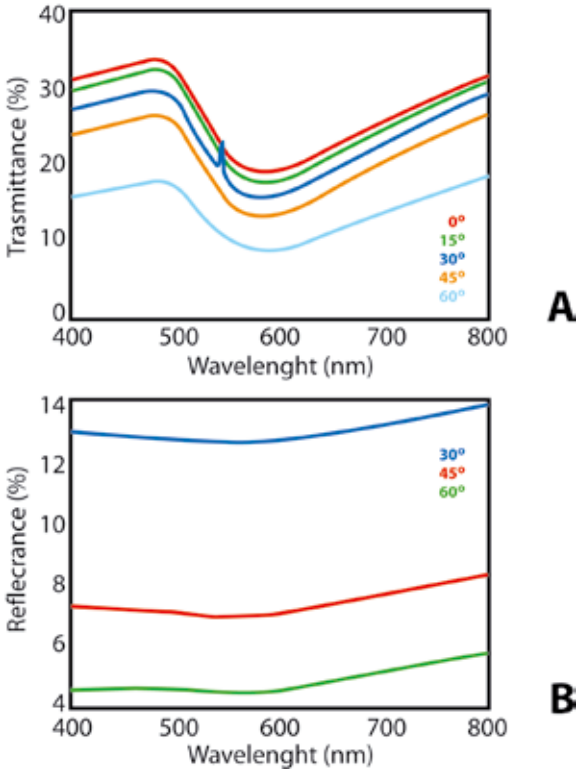


Fig.5 - Spettro UV-Vis-NIR di un film nanocomposito Au/polistirene effettuato sia in trasmissione (a) che in riflessione (b), inclinando variamente il campione rispetto al raggio incidente

3. Conclusioni

Film nanocompositi oro/polimero (es. oro/polistirene), ottenuti per metallazione in-situ del polimero mediante mercaptidi omoleptici d'oro, risultano trasparenti alla radiazione visibile, ma altamente riflettenti per la radiazione infrarossa (NIR). Questi materiali possono pertanto essere vantaggiosamente utilizzati in campo autovicolistico, ad esempio, per la protezione termica di componenti optoelettronici, fotovoltaici, ecc. nella zona motore. L'utilizzo di componenti in plastica comporta grossi vantaggi (facile processabilità, possibile filmatura, basso costo, leggerezza, caratteristiche antiurto, ecc.) rispetto a quelli, pure in via di sviluppo, basati su materiali inorganici. Tuttavia, per la generale scarsa stabilità termica dei polimeri, non è pensabile impiegare tali componenti per applicazioni analoghe, ma a temperature molto elevate (es. superiori a 500°C).

Bibliografia

1. J. Schulz-Harder, "Fluid cooled DBC substrates", PCIM Europe, issue 2/1998.

2. W.Beele, G.Marijnissen, A. Van Lieshout, "The evolution of thermal coatings – status and upcoming solutions for today's key issues", Surface and Coatings Technology 120-121(1999)61-67; D.R.Clarke, "Materials selection guidelines for low thermal conductivity thermal barrier coatings", Surface and Coating Technology 163-164(2003)67-74; C.G.Levi, "Emerging materials and processes for thermal barrier systems", Current Opinion in Solid State and Materials Science 8(2004)77-91; K.Gelin, T.Bostrom, E.Wackelgard, "Thermal emittance of sputter deposited infrared reflectors in spectrally selective tandem solar absorbers", Solar Energy 77(2004)115-119; K.Gelin, T.Bostrom, E.Wackelgard, "Infrared reflectance of direct current magnetron sputter deposited films of Ni93V7, Cu89Ni10Fe1(Mn) and Cu", Thin Solid Films 437(2003)25-33; O.M.Alifanov, V.I.Outchvatov, K.M.Pichkhadze, "Thermal protection of re-entry vehicles with the usage of inflatable systems", Acta Atronautica 53(2003)541-546; L.A.Dombrovsky, "Infrared and microwave radiative properties of metal coated microfibres", Rev. Gen. Therm. 37(1998)925-933.

3. G.B. Smith, G.A. Niklasson, J.S.E.M. Svensson, C.G. Granqvist, "Noble-metal-based transparent infrared reflectors: Experiments and theoretical analyses for very thin gold films", Journal of Applied Physics 59(2)(1986)571-581; G.B. Smith, "Very thin gold films produced with ion plating for improved transparent infrared reflectors", Applied Physics Letters 46(8)(1985)716-718; Brevetto US N° 4,337,990.

4. 'Metal-Polymer Nanocomposites', Ed. L.Nicolais, G.Carotenuto, John Willey & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2004.

5. G.Carotenuto, L.Nicolais, 'Nanocomposites, Metal-Filled', Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 3rd Edition, John Wiley & Sons., Inc. Hoboken, NJ, USA, 2003.

6. G.Carotenuto, L.Nicolais, P.Perlo, B.Martorana, "Procedimento per la produzione di compositi polimero/metallo o solfuro metallico, che utilizza mercaptidi metallici", Brevetto italiano N°. TO2003A000469, anno 2003

7. G.Carotenuto, B.Martorana, P.Perlo, L.Nicolais, "Materiali termocromici basati sull'assorbimento di plasma di aggregati di cluster d'argento in polimero", Brevetto europeo N° 04425577.6, del 29/7/2004.

8. R.H. Terril, T.A. Postlethwaite, C.H. Chen, C.D. Poon, A. Terzis, A. Chen, J.E. Hutchinson, M.R. Clark, G. Wignall, J.D. Londono, R. Superfine, M. Falvo, C.S. Jr. Johnson, E.T. Samulski, R.W. Murray, J. Am. Chem. Soc. 117(1995)12537-12548; T. Prozorov, A. Gedanken, Adv. Mater., 10(7)(1998)532-535.

MANINI PREFABBRICATI

dal 1962

l'Evoluzione continua

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

Centri produttivi:
BASTIA UMBRA / PG
APRILIA / LT
PERUGIA

MC-MANINI PREFABBRICATI SOMAGLIA / LO

Crea il tuo pavimento con ... PortalTerrazzo.com

PortalTerrazzo.com nasce dall'idea che ogni scelta sia il risultato di un percorso interiore, l'espressione di un modo d'essere, di una visione personale della realtà. Tue sono le idee, tuo il gusto, la creatività e la libertà di progettare il pavimento che hai in mente. Nostra l'esperienza, gli strumenti e le conoscenze maturate in anni di attività nel settore delle pavimentazioni. Un'unione sinergica resa finalmente possibile dalla tecnologia web, perché siamo convinti che nessuno meglio di te possa interpretare il tuo mondo.

Sponsored by:

BAYFERROX color for life. · breton Driven by Innovation · Bellinzoni · effetre FILIALE MURANO

FERRARI · delas · Italcementi Italcementi Group · ALFACHEM A KEMCO Company

www.PortalTerrazzo.com by Maticad