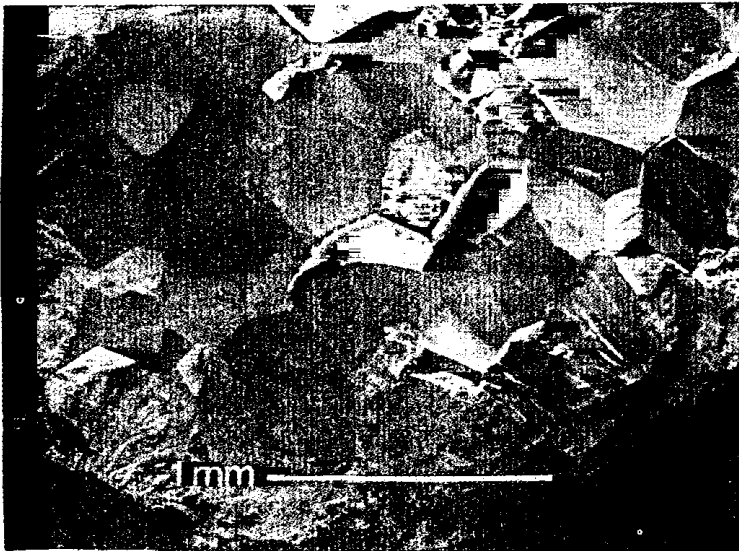


ASSOCIAZIONE ITALIANA D'INGEGNERIA DEI MATERIALI

ATTI
3° Congresso Nazionale
AIMAT

*Omaggio Scientifico a
Riccardo Sersale*

a cura di
Carminè Colella



Napoli, Castel dell'Ovo, 25 - 27 settembre 1996



De Frede Editore

PROTEZIONE DEL CALCESTRUZZO CON RIVESTIMENTI ELASTICI IN POLIMERO-CEMENTO

LUIGI COPPOLA*, CARLO PISTOLESI**, PASQUALE ZAFFARONI**
ANTONIO BORSOI*

* Enco, Engineering Concrete, Spresiano (TV)

** Mapei, Laboratorio Ricerca e Sviluppo, Milano

Il calcestruzzo è un materiale rigido e quindi soggetto a fessurazioni quando nel materiale insorgono sollecitazioni di trazione per effetto dei carichi applicati e delle variazioni igro-termiche. Ciò comporta la penetrazione degli agenti aggressivi attraverso le fessure ed il successivo degrado del calcestruzzo, ancorchè la sua durabilità intrinseca possa teoricamente essere soddisfacente per la bassa porosità della matrice cementizia.

Allo scopo di eliminare i rischi di degrado nelle strutture destinate ad una lunga vita di servizio (> 50 anni), in questo lavoro sono stati studiati rivestimenti pellicolari in polimero/cemento a base di lattici in 2-etil-esilacrilato e cemento Portland o alluminoso.

I risultati ottenuti dimostrano che questi rivestimenti elastici sono in grado di resistere alla penetrazione degli agenti aggressivi ambientali (acqua, anidride carbonica, cloruro, solfati).

La flessibilità del rivestimento in polimero-cemento - requisito essenziale per coprire le fessure (fino a circa 1 mm) che insorgono nel calcestruzzo - si conserva accettabilmente in qualsiasi ambiente solo se si impiega cemento Portland. Al contrario, se il rivestimento è a base di cemento alluminoso la iniziale flessibilità si annulla in circa tre mesi quando il rivestimento è a contatto con acqua.

L'adesione di questi rivestimenti al calcestruzzo non risulta compromessa nel tempo indipendentemente dall'ambiente (acqua, aria asciutta, aria con U.R. variabile) a cui essi sono esposti.

INTRODUZIONE

In teoria è possibile produrre calcestruzzi durabili anche in ambienti molto aggressivi purchè siano scelti ingredienti con adeguate caratteristiche, e purchè siano rispettati i vincoli composizionali, soprattutto nel rapporto acqua/cemento e nel volume di aria inglobata imposti dalla norma UNI 9858. L'obiettivo principale, cioè, che si deve perseguire per garantire la durabilità del calcestruzzo è quello di produrre una matrice cementizia di bassa porosità (1). La ridotta porosità della matrice cementizia sarebbe così in grado di rallentare, o addirittura di impedire, la penetrazione degli agenti aggressivi all'interno del conglomerato e di assicurare, quindi, una lunga vita di servizio alle strutture in calcestruzzo armato (2-4).

Tuttavia, a differenza di quanto avviene nei provini di laboratorio, le strutture reali in calcestruzzo possono essere sottoposte nella loro vita di servizio a carichi statici e dinamici, a variazioni termiche o igrometriche capaci di indurre sollecitazioni di trazione e di provocare - per la rigidità del materiale - la formazione di microfessure all'interno della matrice cementizia.

E così gli agenti aggressivi ambientali - dall'aria all'acqua, dai solfati ai cloruri

o agli alcali - possono penetrare il copriferro di calcestruzzo attraverso queste microfessure, indipendentemente dalla porosità della matrice cementizia, e possono quindi promuovere la corrosione delle armature metalliche, il degrado degli aggregati alcali-reattivi e anche della stessa matrice cementizia. Una volta innescato uno qualsiasi di questi processi (tutti di carattere espansivo-dirompente) le iniziali microfessure si trasformano in microfessure ed il fenomeno del degrado decorre, dopo un iniziale periodo di induzione (qualche anno o qualche decina d'anni), con velocità elevate. La fenomenologia del degrado sopra descritta è stata illustrata, anche attraverso un tentativo di modellazione matematica, sia da Tuutti (5) specificatamente per la corrosione dei ferri di armatura, sia di Mehta (6) per il deterioramento complessivo delle strutture in calcestruzzo armato e non.

SCOPO DEL LAVORO

Se per la maggior parte delle strutture in calcestruzzo si accetta come criterio di vita utile di servizio un periodo di 20-30 anni, fino ad un massimo di 50 anni, il problema del degrado legato alla presenza delle microfessure, ed alla loro successiva trasformazione in microfessure, può essere sostanzialmente ignorato. In questo caso è sufficiente adottare i criteri di durabilità enunciati nelle norme europee o in quelle americane proposte dall'ACI Committee 201 (*Guide of Durable Concrete in ACI Manual 1994*) che si basano sostanzialmente: a) sulla composizione del calcestruzzo, ed in particolare in un rapporto acqua/cemento da non superare per garantire la impermeabilità; b) su una soglia minima di microbolle d'aria per garantire la resistenza alla formazione del ghiaccio (solo per strutture situate in climi freddi con frequenti alternanze intorno a 0°C).

Se, però, si prendono in considerazione strutture di particolare pregio architettonico (per esempio: opere monumentali, chiese, ecc.) o strutture di particolare valore sociale che richiedono enormi investimenti economici (per esempio: tunnel sottomarini, ponti di grande luce, viadotti autostradali in alta montagna, ecc.), allora in questi casi si richiede una vita utile in servizio di almeno 50 anni, ed in taluni casi fino a 200 anni (7). Per queste strutture il meccanismo del degrado legato alla formazione delle microfessure ed alla loro trasformazione in microfessure, con conseguente degrado della struttura, non può essere assolutamente ignorato: una soluzione a questo problema - in attesa di mettere a punto in futuro un calcestruzzo meno rigido e più resistente alle sollecitazioni di trazione - può essere trovata in un rivestimento protettivo capace di impedire la penetrazione degli agenti aggressivi attraverso le più facili vie di accesso costituite dalle microfessure distribuite in una matrice cementizia ancorchè compatta e poco porosa.

Lo scopo generale del presente lavoro è quello di garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo fessurate attraverso l'impiego di una pellicola protettiva di per sé resistente agli attacchi aggressivi dell'ambiente (capace, quindi, di opporsi permanentemente all'azione distruttiva dell'ambiente), dotata di sufficiente duttilità per potersi deformare e "coprire" le fessure del supporto rigido in calcestruzzo durante la loro apertura, capace di conservare questo comportamento elastico in modo duraturo sia all'aria che in contatto dell'acqua.

Questo è l'approccio già adottato da Swamy ed altri (8-13) nello studio di un rivestimento pellicolare elastico capace di proteggere dall'aggressione ambientale

un calcestruzzo ancorchè esposto ai fenomeni di microfessurazione. Il prodotto per il rivestimento pellicolare impiegato da Swamy ed altri è costituito da un elastomero acrilico (2-etilesil-acrilato) addizionato con cariche minerali e pigmenti inorganici. Nel presente lavoro, vengono esaminate le prestazioni (in termini di resistenza alla penetrazione di alcuni agenti aggressivi ambientali, di aderenza al sub-strato in calcestruzzo e di flessibilità nel tempo) di alcuni rivestimenti flessibili costituiti dallo stesso polimero acrilico impiegato da Swamy ed altri (8-13) combinato con cementi e cariche minerali.

PARTE SPERIMENTALE

Materiali. Per l'esecuzione delle prove di durabilità, adesione ed elasticità sono stati prodotti un calcestruzzo di supporto e due rivestimenti elastici in polimero-cemento.

La composizione e la proprietà del calcestruzzo sono riportate Tabella 1. È stata scelta una composizione del calcestruzzo (acqua/cemento = 0.80) che risultasse penetrabile dagli agenti aggressivi nelle condizioni di prova adottate, al fine di valutare comparativamente le prestazioni del calcestruzzo "nudo" (privo, cioè, di rivestimento elastico) con quelle dello stesso calcestruzzo sul quale è stato applicato il rivestimento elastico in polimero-cemento. Con questo calcestruzzo sono stati confezionati prismi (200 x 200 x 120 mm) per le prove di durabilità e travetti (150 x 150 x 600 mm) per le prove di elasticità e di adesione. Nei travetti sono state annegate tre barre d'acciaio (diametro 8 mm) come è schematicamente mostrato in Fig. 1. L'armatura è stata introdotta nei travetti per evitare che questi subissero una rot-

Tabella 1 - Composizione e proprietà del calcestruzzo in kg/m³

cemento	sabbia	ghiaia	acqua	a/c	slump	Res. mecc. compr.
CEM II/A-L 42.5	(MF = 2.6)	(5-20 mm)				a 28 gg
310 kg/m ³	710 kg/m ³	1060 kg/m ³	215 kg/m ³	0.80	215 mm	25 N/mm ²

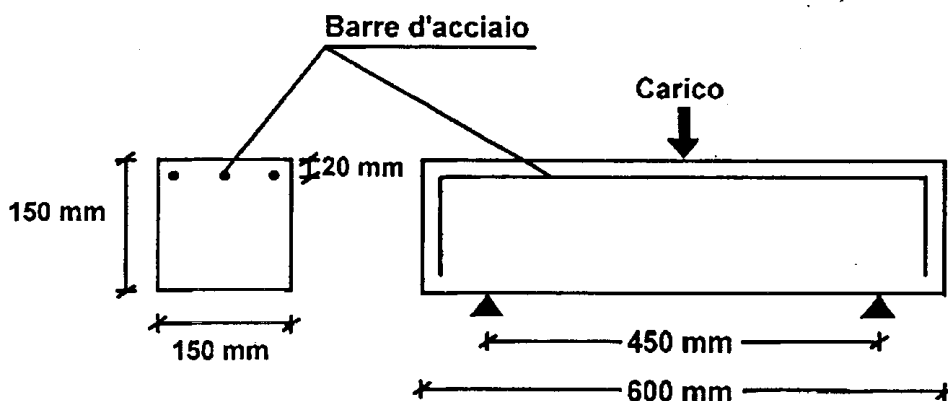


Fig. 1 - Travetti armati.

Tabella 2 - Composizione percentuale e proprietà del rivestimento in polimero-cemento

Ingrediente:	Rivestimento A	Rivestimento B
Lattice polimerico (50% 2-etilesilacrilato)	25%	25%
Cemento Portland CEM I 32.5 R	25%	-
Cemento alluminoso (50% Al ₂ O ₃)	-	25%
Calcare (0-0.2 mm)	50%	50%
rapporto acqua/cemento*	0.50	0.50
modulo elastico** (N/mm ²)	228	280
allungamento** a rottura (%)	24.2	23.1

* l'acqua è quella presente (50%) nel lattice polimerico

** misurati a 28 giorni su provini stagionati a 20°C ed UR = 60% mediante INSTRON

tura fragile che avrebbe impedito di valutare le proprietà di elasticità (*crack-bridging*) dei rivestimenti.

I rivestimenti elastici in polimero-cemento presentano le composizioni e le proprietà indicate in Tabella 2. Per entrambi i rivestimenti elastici è stata impiegata la stessa composizione (rapporto acqua/cemento = 0.50; rapporto polimero/cemento = 0.50) con la sola differenza del componente legante che è stato in un caso il cemento Portland, e nell'altro il cemento alluminoso; questi due cementi sono stati scelti in quanto significativamente diversi per composizione mineralogica e prestazioni meccaniche. I rivestimenti sono stati applicati (in spessore di 2 mm) su tutte le facce dei provini prismatici. Sui travetti, invece, l'applicazione è avvenuta solo sulla faccia 150 x 600 mm più distante dalle armature metalliche.

Prove di durabilità. Queste prove hanno lo scopo di valutare il comportamento del rivestimento protettivo in polimero-cemento nei confronti della penetrazione dell'acqua, dell'anidride carbonica, del cloruro e del solfato, rispetto al comportamento del calcestruzzo tal quale non protetto. A tale scopo sono stati preparati provini prismatici di calcestruzzo ricoperti o meno con uno strato di rivestimento elastico in polimero-cemento.

I provini di calcestruzzo sono stati stagionati per 21 giorni all'aria umida (U.R. = 100%); quelli destinati alla prova di penetrazione della CO₂, invece, sono stati stagionati a contatto con aria in ambienti chiusi mantenendo costante l'umidità relativa (U.R. = 60%). Dopo l'applicazione del rivestimento in polimero-cemento la stagionatura è continuata nelle stesse condizioni per altri 7 giorni.

Una parte dei provini prismatici sono stati sottoposti alla penetrazione d'ac-

qua fino alla pressione di 7 bar secondo il metodo ISO 7031 (*Beton Durci - Determination de la profondeur de penetration d'eau sous pression*). I restanti provini prismatici, sono stati esposti in un ambiente aggressivo costituito da aria arricchita in CO₂ (30% in volume), oppure da una soluzione acquosa di NaCl (10% in massa), oppure da una soluzione acquosa di MgSO₄ (10% in massa). Ad intervalli di tempo regolari sono state misurate la penetrazione della CO₂ con il metodo UNI 9944 (*Corrosione e protezione dell'armatura nel calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e profilo di penetrazione degli ioni cloro nel calcestruzzo*), quella del cloruro con il metodo UNI 7928 (*Determinazione della penetrabilità dello ione cloruro*) e quella del solfato con il metodo UNI 8019 (*Determinazione della penetrabilità dello ione solfato*).

Prove di elasticità. Queste prove hanno lo scopo di valutare l'elasticità dei rivestimenti in polimero-cemento applicati sui travetti di calcestruzzo conservati all'aria in laboratorio (20°C, UR = 60%), sotto acqua oppure in ambienti esterni sotto l'azione delle naturali escursioni termiche ed igrometriche.

I travetti di calcestruzzo, dopo una stagionatura di 3 mesi all'aria (T = 20°C ed U.R. = 60%), sono stati parzialmente coperti con il rivestimento in polimero-cemento per una larghezza di 110 mm in modo da lasciare scoperto parte del conglomerato cementizio e consentire, quindi, di valutare il diverso comportamento fessurativo della faccia della trave al lembo teso ricoperto e non dal rivestimento elastico. A intervalli di tempo tre travetti per ogni tipo di rivestimento sono stati sottoposti ad una prova di flessione a tre punti: il carico veniva applicato sulla faccia più vicina alle armature metalliche e più lontana da quella rivestita dallo strato protettivo in polimero-cemento, che risultava pertanto posizionato sul lembo teso del travetto. Per effetto dell'applicazione del carico, si formava una fessura sul travetto di calcestruzzo visivamente osservabile sulle parti non coperte dal rivestimento elastico per mezzo di uno specchio posizionato sotto il travetto. All'aumentare del carico cresceva l'ampiezza della fessura sul calcestruzzo scoperto, mentre il rivestimento elastico rimaneva integro. L'ampiezza della fessura veniva misurata per mezzo di un comparatore millesimale solidale con la trave in calcestruzzo. La prova terminava allorché il rivestimento elastico cominciava a lacerarsi: veniva allora registrata l'ampiezza della fessura sul lembo teso del calcestruzzo. In realtà, per la rottura definitiva del rivestimento elastico era necessario allargare ulteriormente di 0.4-0.6 mm l'ampiezza della fessura al lembo teso della trave.

La composizione del rivestimento elastico (Tabella 2), ed in particolare il rapporto polimero-acrilico/cemento che ne determina la flessibilità, è stata fissata - dopo alcune prove preliminari - in modo che la lacerazione del rivestimento iniziasse quando la fessura del sub-strato in calcestruzzo raggiunge la larghezza di circa 1 mm. Si può ritenere, infatti, che una maggiore flessibilità del rivestimento - conseguibile con un maggior rapporto polimero/cemento - può risultare dannosa in quanto capace di celare fessure nel calcestruzzo troppo larghe (> 2 mm) e, quindi, pericolose per la statica delle strutture interessate da uno stato fessurativo così importante.

Prove di adesione. Queste prove hanno lo scopo di valutare l'adesione del rivestimento in polimero-cemento alle lastre di calcestruzzo, in funzione del tempo di conservazione dei provini in ambienti diversi: sotto acqua a 20°C, in aria a 20°C con UR del 60% (laboratorio), in ambiente esterno sotto l'azione delle naturali escursio-

ni termiche ed igrometriche.

Le prove sono state condotte sugli stessi travetti utilizzati per le prove di elasticità appena menzionate. Al termine della prova di flessione, quindi, è stata misurata l'adesione del rivestimento alla lastra di calcestruzzo misurando con un dinamometro la forza applicata per strappare il rivestimento elastico dal supporto in calcestruzzo.

RISULTATI

Nel seguito sono discussi i risultati delle prove di durabilità, di elasticità e di adesione al calcestruzzo dei rivestimenti A e B (Tabella 2) ottenuti miscelando 1 parte di lattice polimerico (50% di acqua) con 3 parti di polvere costituita per 1/3 da cemento (Portland o alluminoso) e 2/3 di carica minerale (calcare macinato).

Prove di durabilità del rivestimento polimero-cemento

Le prove di durabilità comprendono, come si è già detto nella sezione 3, la resistenza del calcestruzzo protetto con rivestimento elastico alla penetrazione dell'acqua, della CO_2 , del Cl^- e dell' SO_4 .

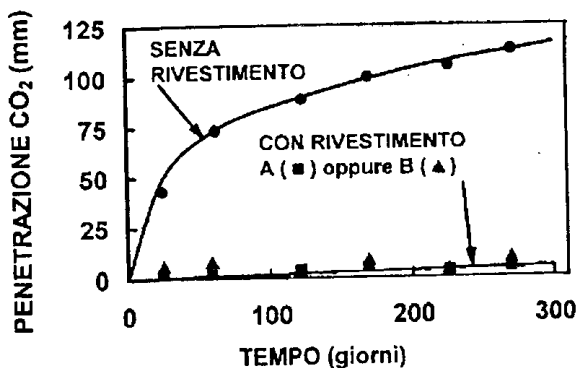


Fig. 2 - Penetrazione della CO_2 nel calcestruzzo senza (●) e con rivestimento in polimero-cemento A (■) o B (▲).

La penetrazione dell'acqua in pressione è risultata pari a 35 mm nel calcestruzzo non rivestito e non è stata, invece, misurabile nei corrispondenti provini trattati con i rivestimenti elastici. Secondo la normativa europea ENV 206, il calcestruzzo è considerato impermeabile

se lo strato penetrato dall'acqua non supera i 20 mm. I risultati ottenuti, quindi, indicano che, applicando i rivestimenti in polimero-cemento (A e B), un calcestruzzo

permeabile all'acqua (penetrazione: 35 mm) diventa assolutamente impermeabile (penetrazione nulla).

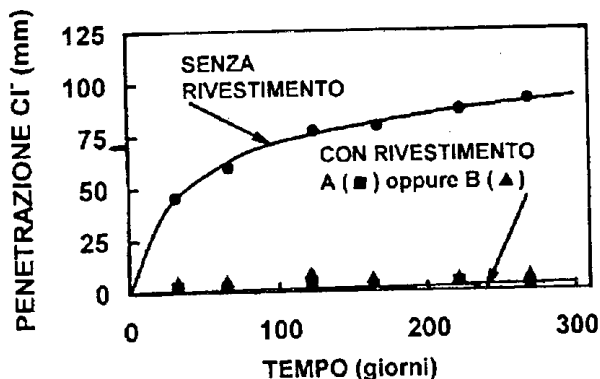


Fig. 3 - Penetrazione dello ione cloruro nel calcestruzzo senza (●) e con rivestimento in polimero-cemento A (■) o B (▲).

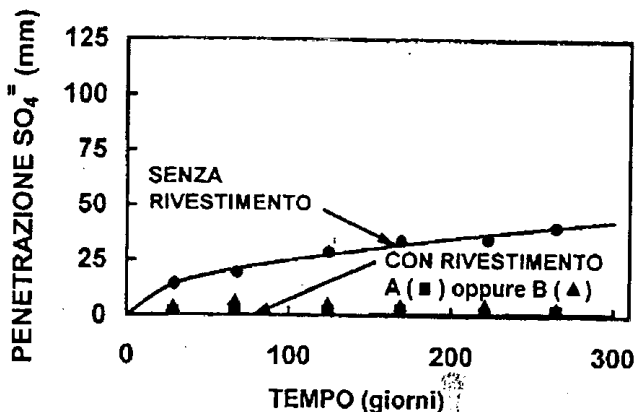


Fig 4 - Penetrazione dello ione solfato nel calcestruzzo senza (●) e con rivestimento in polimero-cemento A (■) o B (▲).

La Fig. 2 mostra la profondità di penetrazione della CO_2 nei provini di calcestruzzo non protetti ed in quelli trattati con i rivestimenti A e B in polimero-cemento. A seguito del trattamento, la

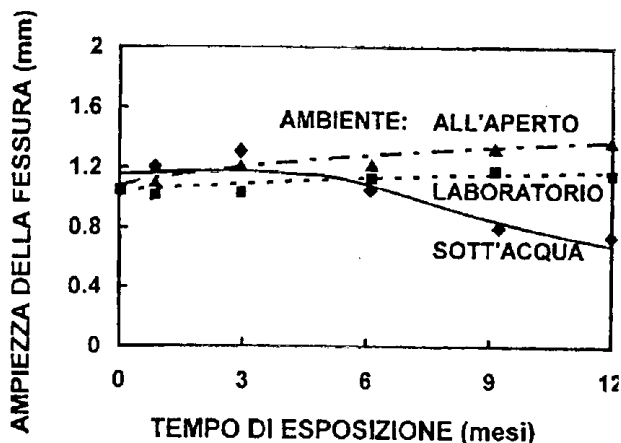
penetrazione della CO_2 è sostanzialmente impedita ancorchè la percentuale della CO_2 (30%) risulti 10000 volte maggiore di quella presente nell'aria naturale.

La Fig. 3 mostra la profondità di penetrazione del Cl⁻ nel calcestruzzo tal quale senza rivestimento ed in quelli ricoperti con rivestimento elastico in polimero-cemento. La penetrazione del cloruro risulta notevolmente ridotta nel calcestruzzo per effetto della barriera costituita dai rivestimenti elastici in polimero-cemento.

Nella Fig. 4 è riportata la profondità di penetrazione del solfato nel calcestruzzo con e senza rivestimento in polimero-cemento. Anche in questo caso, la penetrazione dell' SO_4^{2-} nel calcestruzzo è sostanzialmente annullata da entrambi i rivestimenti elastici in polimero-cemento.

Le prove riportate in questa sezione mostrano che i rivestimenti elastici in polimero-cemento studiati nel presente lavoro sono impermeabili all'acqua e resistenti alla diffusione della CO_2 , del Cl⁻ e dell' SO_4^{2-} . I risultati indicano che questi rivestimenti elastici a contatto con un ambiente aggressivo sono di per sè durabili, e che impediscono la diffusione degli agenti aggressivi all'interno del substrato in calcestruzzo quando quest'ultimo dovesse essere di per sè penetrabile in quanto poroso o fessurato.

Prove di elasticità del rivestimento in polimero-cemento



Le Fig. 5 e 6 mostrano l'ampiezza della fessura al lembo teso del calcestruzzo nel momento in cui inizia la rottura del rivestimento in polimero-cemento.

Inizialmente, l'ampiez-

Fig 5 - Ampiezza della fessura sul lembo teso del calcestruzzo al momento della rottura del rivestimento elastico A (con cemento Portland) in funzione del tempo e dell'ambiente (All'aperto: ▲; In laboratorio: ■; Sott'acqua: ◆).

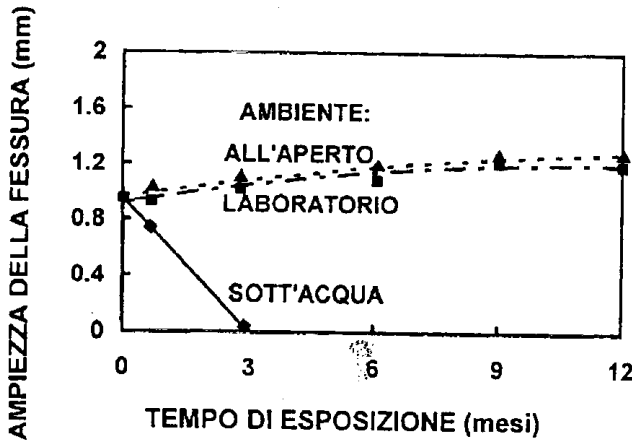


Fig 6 - Ampiezza della fessura sul lembo teso del calcestruzzo al momento della rottura del rivestimento elastico B (con cemento alluminoso) in funzione del tempo e dell'ambiente (All'aperto: ▲; In laboratorio: ■; Sott'acqua: ◆).

za della fessura del calcestruzzo, nel momento in cui inizia la lacerazione del rivestimento elastico, è di circa 1 mm. Successivamente,

fino a 1 anno dall'applicazione del rivestimento, l'ampiezza della fessura rimane più o meno costante ad eccezione dei travetti conservati permanentemente sotto acqua (Fig. 5-6).

L'influenza dell'acqua sembra essere trascurabile se il rivestimento elastico è a base di cemento Portland (Fig. 5): l'ampiezza della fessura diminuisce da 1 a 0.8 mm dopo un anno di permanente immersione sotto acqua dei travetti di calcestruzzo. Se il rivestimento elastico è a base di cemento alluminoso, invece, esso perde completamente l'elasticità iniziale in meno di 3 mesi (Fig. 6), in quanto la rottura del rivestimento in polimero-cemento coincide con l'apparizione della fessurazione nel calcestruzzo: in queste condizioni, quindi, il rivestimento in polimero-cemento ha assunto la stessa rigidità del calcestruzzo ed ha perso ogni capacità di proteggere il conglomerato cementizio dalla penetrazione degli agenti aggressivi.

Prove di adesione del rivestimento al calcestruzzo

L'adesione dei rivestimenti elastici A e B, valutata attraverso la prova di strappo, è di circa 0.7 N/mm² all'inizio (7 giorni dopo l'applicazione del rivestimento). Essa tende a migliorare nel tempo fino a circa 1 N/mm² o rimane costante (Fig. 7-8).

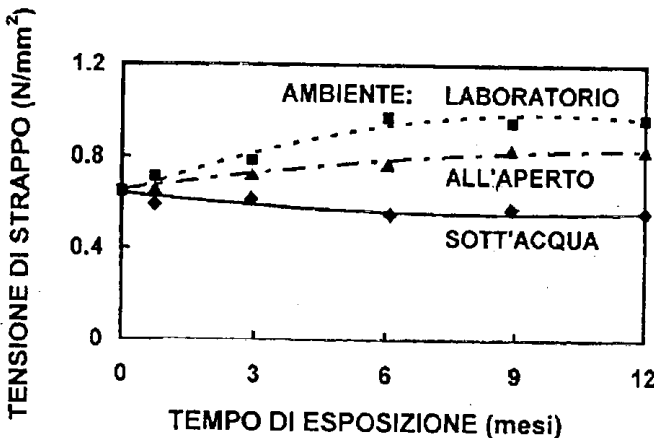


Fig 7 - Andamento dell'adesione al calcestruzzo del rivestimento elastico A (con cemento Portland) in funzione del tempo e dell'ambiente (All'aperto: ▲; In laboratorio: ■; Sott'acqua: ◆).

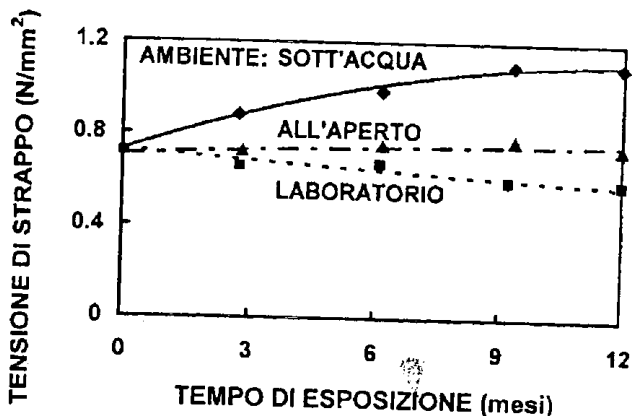


Fig 8 - Andamento dell'adesione al calcestruzzo del rivestimento elastico B (con cemento alluminoso) in funzione del tempo e dell'ambiente (All'aperto: ▲ ; In laboratorio: ■ ; Sott'acqua:◆).

Se il rivestimento elastico è a base di cemento Portland (Fig. 7), l'adesione al calcestruzzo migliora - dopo un determinato tempo - passando da un ambiente permanentemente umido (sotto acqua), ad un ambiente discontinuamente umido (all'aperto) fino ad un ambiente permanentemente asciutto (laboratorio). Se il rivestimento elastico è a base di cemento alluminoso (Fig. 8), l'influenza dell'umidità ambientale è opposta a quella registrata per il rivestimento con cemento Portland.

CONCLUSIONI

I rivestimenti a base di polimero acrilico (2-etilesilacrilato) e cemento sono in grado di resistere alla penetrazione dell'acqua, dell'anidride carbonica, del cloruro e del solfato. Ciò significa che questi rivestimenti sono in grado di resistere all'azione degli agenti aggressivi che normalmente attaccano il calcestruzzo ed i ferri di armatura.

La flessibilità del rivestimento in polimero-cemento, che consente di coprire le fessure sul calcestruzzo fino a circa 1 mm, rimane sostanzialmente immutata in qualsiasi ambiente purchè il cemento impiegato per il rivestimento è di tipo Portland. Se si impiega il cemento alluminoso, invece, il rivestimento perde rapidamente la sua originale flessibilità in ambienti molto umidi: sotto acqua, dopo solo tre mesi questo rivestimento diventa così rigido - per effetto della maggiore idratazione del cemento alluminoso - da rompersi contemporaneamente al supporto di calcestruzzo.

L'adesione di questi rivestimenti al calcestruzzo rimane sostanzialmente immutata (circa 0.7 N/mm²) oppure migliora in ambienti asciutti se il rivestimento è a base di cemento Portland, e in ambienti umidi se il rivestimento contiene il cemento alluminoso.

Non è possibile, sulla base dei dati disponibili in questo lavoro, interpretare il singolare comportamento del rivestimento in cemento alluminoso. E' noto che questo cemento è più reattivo del cemento portland. Pertanto, il post-indurimento ed il conseguente irrigidimento per effetto dell'immersione in acqua avrebbe dovuto, semmai, essere minore nel rivestimento con cemento alluminoso che non in quello con cemento portland. D'altra parte, è noto che nel cemento alluminoso idratato - soprattutto dove è alto il rapporto a/c - si verifica una conversione da alluminati idrati esagonali (C₂AH₈, CAH₁₀) in una fase cubica (C₃AH₆) con aumento di porosità

e diminuzione di resistenza meccanica: pertanto, questo processo avrebbe dovuto, semmai, ridurre l'irrigidimento del rivestimento e l'adesione al substrato in calcestruzzo, in contrasto, quindi, con i risultati ottenuti.

E' possibile che la presenza del polimero acrilico abbia significativamente modificato la cinetica di idratazione e di conversione del cemento alluminoso, rispetto a quella nota in letteratura per il sistema tradizionale senza polimero. Pertanto, una spiegazione del comportamento registrato in questo lavoro per il rivestimento con cemento alluminoso dovrà essere affrontato ed approfondito in successivi lavori.

BIBLIOGRAFIA

- (1) M. Collepari, *Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo*, III^a Edizione Hoepli, Milano 1991, pp. 177-196
- (2) M. Collepari, *L'Industria Italiana del Cemento*, 671, 707 (1992)
- (3) L. Coppola, *L'Industria Italiana del Cemento*, 675, 199 (1993)
- (4) M. Collepari e L. Coppola, "Durabilità e Restauro delle Opere in Calcestruzzo", Edizioni Enco, Spresiano, pp. 1-70 (1992)
- (5) K. Tuutti, *Swedish Cement and Concrete Research Institute*, 468 (1982)
- (6) P.K. Mehta, Proc. V. Mohan Malhotra Symposium "Concrete Technology. Past, Present and Future", P.K. Mehta Ed., ACI SP-144, S. Francisco (USA) 1994, p. 1
- (7) K. Newman, Proc. Katharine and Briant Mather International Conference on "Concrete Durability", J.M. Scanlon Ed., ACI SP-100, Atlanta (USA) 1987, p. 1259
- (8) R.N. Swamy, S. Tanikawa, *Protection of Concrete*, E & F.N. Spon Ltd, Londra 1990, p. 149
- (9) R.N. Swamy, S. Tanikawa, *Control of Steel Corrosion in Chloride Contaminated Concrete through ARON WALL Surface Coating*, ACI SP-126, V.M. Malhotra Ed., Vol. I, 1991, p. 371
- (10) R.N. Swamy, S. Tanikawa, *A Highly Elastic Surface Coating to Protect Structures Exposed to Coastal/Marine Environments*, ACI SP-128, V.M. Malhotra Ed., Vol. I, 1991, p. 1
- (11) R.N. Swamy, S. Tanikawa, *Materials and Structures*, 26, 465 (1993)
- (12) R.N. Swamy, S. Tanikawa, Proc. 4th Int. Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, 1, 1993, p. 93
- (13) T. Oshiro, R.N. Swamy, S. Tanikawa, Proc. International Conference on Concrete Durability, V.M. Malhotra Ed., ACI SP-145, Nizza (Francia) 1994, p. 851