

**RIVESTIMENTI ELASTICI IN POLIMERO-CEMENTO PER LA PROTEZIONE
DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO**

Luigi COPPOLA
ENCO, Spresiano

Carlo PISTOLESI
Pasquale ZAFFARONI
MAPEI, Milano

Mario COLLEPARDI
Dipartimento di Scienza dei Materiali e della Terra, Università degli Studi di
Ancona

RIVESTIMENTI ELASTICI IN POLIMERO-CEMENTO PER LA PROTEZIONE DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO

*Luigi COPPOLA**, *Carlo PISTOLESI***, *Pasquale ZAFFARONI***, *Mario COLLEPARDI****

*ENCO, Spresiano, (TV)

**MAPEI, Milano, (MI)

*** Dip. di Scienza dei Materiali e della Terra - Facoltà di Ingegneria
Università di Ancona

SOMMARIO

Il presente lavoro ha come oggetto lo studio di rivestimenti a base di polimero acrilico, sabbia fine e leganti cementizi, da utilizzare per la protezione delle strutture in cemento armato nei confronti degli agenti aggressivi ambientali. In particolare, è stato analizzato l'effetto prodotto dalla sostituzione di parte del cemento portland con metacaolino o loppa d'altoforno, sulle prestazioni dei rivestimenti in termini di durabilità e di flessibilità.

SUMMARY

The purpose of the present paper is to study the performance of coatings based on acrylic polymer, fine sand and cementitious binders, used to protect reinforced concrete structures from environmental aggressive agents. In particular, the influence of the partial replacement of portland cement by metakaolin or slag has been studied on the performances of the coatings in terms of durability and flexibility.

1. INTRODUZIONE

Contrariamente a quanto avviene per i provini di laboratorio, le strutture reali in cemento armato sono soggette a deformazioni e coazioni causate da variazioni termiche e igrometriche. Alcuni elementi strutturali, come quelli presenti in edifici a torre di notevole altezza, in piattaforme *off shore* e in ponti di grande luce, sono inoltre soggetti a notevoli carichi statici o a carichi dinamici di carattere ciclico. L'insieme di queste cause può provocare una microfessurazione della superficie del calcestruzzo con conseguente peggioramento delle caratteristiche di durabilità. Le microfessure, infatti, costituiscono dei canali preferenziali per la penetrazione degli agenti aggressivi ambientali, come aria, acqua, alcali, ioni cloruro e solfati. Queste sostanze possono provocare, attraverso l'innesco di meccanismi tutti aventi natura espansivo-dirompente, il degrado delle zone più esterne del conglomerato. Una volta innescato uno di questi

meccanismi aggressivi le microfessure si trasformano in macrofessure. Dopo un periodo iniziale di induzione - la cui durata dipende dal livello di aggressività dell'ambiente, dalla composizione del calcestruzzo e dal "curing" cui esso è stato sottoposto - i processi degradanti evolvono rapidamente e coinvolgono la superficie del calcestruzzo così come le barre metalliche di rinforzo [1,2].

Se per la struttura è richiesta una vita di servizio minore di 50 anni, una limitazione nel rapporto acqua-cemento in accordo, per esempio, con le normative europee [3] o con le raccomandazioni ACI [4] è sufficiente a garantire la durabilità richiesta sempre che, in fase progettuale, venga adottato un copriferro di adeguato spessore e, in fase realizzativa, la struttura venga sottoposta a un adeguato "curing" alle brevi stagionature. In questo caso la formazione delle microfessure e la loro trasformazione in macrofessure può essere di scarsa importanza per la durabilità del calcestruzzo.

Nel caso, invece, di strutture in cemento armato progettate per avere una vita di servizio superiore a 50 anni, le raccomandazioni sopra menzionate non sono più sufficienti a garantire il requisito di durabilità, in quanto le microlesioni che si formano in servizio possono ridurre drasticamente la durabilità anche di calcestruzzi di ottima qualità.

In questi casi il ricorso all'uso di un rivestimento elastico protettivo di per sé resistente agli attacchi aggressivi dell'ambiente, applicato sulla superficie del manufatto, e capace di deformarsi senza rompersi in modo da "coprire" le fessure che si formano in servizio nel conglomerato, può contribuire a garantire la necessaria durabilità dei manufatti anche se il calcestruzzo posto in opera non è di buona qualità [5-9].

2. SCOPO DEL LAVORO

Questa indagine si colloca nell'ambito di un vasto progetto di ricerca teso allo sviluppo di una membrana protettiva in polimero-cemento avente le seguenti quattro caratteristiche:

- **Durabilità:** il rivestimento deve essere resistente a qualsiasi aggressione ambientale;
- **Adesione:** esso deve essere dotato di buona capacità di adesione al supporto in calcestruzzo;
- **Elasticità:** esso deve essere in grado di deformarsi e di "coprire" le microfessure che si formano nel supporto fragile in calcestruzzo;
- **Longevità:** esso deve mantenere nel tempo le suddette tre proprietà indipendentemente dalle condizioni ambientali cui è esposto il manufatto.

In un precedente lavoro [10] sono state analizzate le proprietà di rivestimenti elastici realizzati con polimero acrilico in emulsione acquosa (basato su 2-etilexil acrilato) miscelato con cemento portland o cemento alluminoso. Il programma di ricerca prevedeva, tra l'altro, lo studio del comportamento nel tempo di questi due tipi di membrana nel caso in cui i manufatti rivestiti venissero esposti a condizioni ambientali asciutte (60% U.R.), umide (permanentemente sott'acqua) o caratterizzate da una alternanza di condizioni asciutte e umide come in un normale ambiente esterno.

I due tipi di rivestimento studiati hanno avuto un comportamento sufficientemente buono fino ad 1 anno di esposizione agli ambienti sopra menzionati, se si fa eccezione per la notevole perdita di elasticità che si è avuta, nel caso di permanente stagionatura in acqua, nelle membrane a base di cemento alluminoso.

Scopo del presente lavoro è studiare l'influenza di aggiunte minerali costituite da metacaolino o loppa d'altoforno sulle prestazioni di rivestimenti a base di polimero acrilico e cemento portland esposte alle stesse condizioni ambientali utilizzate nel precedente lavoro. Il tempo di esposizione, inoltre, è stato prolungato da 12 a 24 mesi al fine di avere maggiori informazioni circa le caratteristiche di longevità dei rivestimenti.

3. PARTE SPERIMENTALE

3.1 Materiali

Sono state approntate tre diverse formulazioni di rivestimenti in polimero-cemento, utilizzando tre leganti cementizi (Tabella 1). Il cemento *P* è lo stesso cemento Portland CEM II/A-L 42.5 usato nel precedente lavoro. I leganti *M* e *S* sono stati ottenuti sostituendo parte del cemento *P* rispettivamente con metacaolino (15%) o loppa d'altoforno (60%). Per il confezionamento del rivestimento è stata miscelata una parte di legante cementizio con una parte di lattice polimerico (2-etilexil acrilato) e due parti di sabbia fine (0-0.2 mm). Il lattice utilizzato è costituito da una emulsione acquosa di polimero al 50%; pertanto, sia il rapporto acqua-cemento che il rapporto polimero-cemento sono risultati pari a 0.50. La Tabella 2 indica la composizione e le proprietà dei tre rivestimenti.

LEGANTE:	Cemento portland CEM II/A-L 42.5	Metacaolino	Loppa d'Altoforno
P	100	-	-
M	85	15	-
S	40	-	60.

Tabella 1 - Composizione dei leganti usati per i rivestimenti in polimero-cemento.

I rivestimenti (2 mm di spessore) sono stati applicati a provini di calcestruzzo sui quali sono state eseguite prove di durabilità, elasticità e capacità di adesione al substrato. La composizione del calcestruzzo del supporto è la stessa usata nel precedente lavoro [10]. In particolare, è stato utilizzato un rapporto acqua-cemento pari a 0,80 in modo da avere un calcestruzzo molto poroso e, quindi, facilmente penetrabile dagli agenti aggressivi nelle prove di durabilità esposte nel seguito. In questo modo si è potuto valutare comparativamente le prestazioni di un calcestruzzo "nudo" (privo cioè di rivestimento elastico) e di scarsa qualità, con quelle dello stesso

Ingredienti:	Rivestimento	Rivestimento	Rivestimento
	P	M	S
Lattice polimerico	25%	25%	25%
Rivestimento P	25%	-	-
Rivestimento M	-	25%	-
Rivestimento S	-	-	25%
Sabbia fine (0-0.2 mm)	50%	50%	50%
Rapporto acqua-cemento*	0.50	0.50	0.50
modulo di elasticità (N/mm ²)**	220	180	170
Deformazione a rottura (%)**	24	28	27

*acqua contenuta nel lattice polimerico (50%)

**misurato a 28 giorni su provini stagionati a 20°C e 60% U.R.

Tabella 2 - Composizione e proprietà dei rivestimenti in polimero-cemento.

calcestruzzo, sul quale erano stati applicati i rivestimenti protettivi.

4. PROVE DI DURABILITA'

Per l'esecuzione delle prove di durabilità sono stati utilizzati provini aventi dimensioni 250x250x300 mm. Tutti i provini sono stati stagionati per 28 giorni a 20°C e 95% U.R. prima dell'applicazione dei rivestimenti protettivi, fatta eccezione per i provini destinati alle prove di carbonatazione accelerata i quali, dopo una stagionatura preliminare per 21 giorni alla temperatura di 20°C e U.R. = 95%, sono stati essiccati mediante stagionatura per 7 giorni in un ambiente a 40°C e 60% U.R. in modo da favorire la successiva penetrazione della CO₂. Dopo aver effettuato l'applicazione dei rivestimenti sulla superficie del calcestruzzo, i provini rivestiti e non - sono stati stagionati per ulteriori 7 giorni (T = 20°C, U.R. = 60%) prima dell'esposizione agli ambienti aggressivi: penetrazione di acqua in pressione (fino a 7 bar), anidride carbonica (in forma di atmosfera arricchita al 30% in CO₂), solfati (in forma di soluzione acquosa al 10% in peso di MgSO₄) e cloruri (in forma di soluzione acquosa al 10% in peso di NaCl).

La penetrazione dell'acqua è stata determinata come descritto nella norma ISO 7031 [11]. La penetrazione degli agenti aggressivi è stata misurata a intervalli regolari utilizzando le metodologie descritte nelle norme UNI 9944, UNI 8019 e UNI 7928 rispettivamente per CO₂, SO₄²⁻, e Cl⁻ [12-14].

La penetrazione d'acqua sotto pressione è risultata di 35 mm nei provini non rivestiti. In tutti i provini rivestiti la penetrazione dell'acqua è risultata trascurabile (minore di 1 mm). In accordo con la norma UNI 9858 [3] un calcestruzzo è considerato impermeabile se lo strato penetrato dall'acqua è

inferiore a 20 mm. I risultati ottenuti, quindi, indicano che l'applicazione dei rivestimenti P, M e S trasforma un calcestruzzo permeabile all'acqua in uno assolutamente impermeabile.

Le Figure 1-3 mostrano rispettivamente la penetrazione della CO₂, dell' SO₄²⁻ e del Cl⁻ nei provini rivestiti e in quelli privi di rivestimento dopo una esposizione permanente di due anni negli ambienti aggressivi sopra descritti. Come si può notare, a seguito del trattamento superficiale eseguito, la penetrazione della CO₂, dell' SO₄²⁻ e del Cl⁻ è risultata fortemente ridotta o completamente bloccata.

I risultati sopra riportati indicano che tutti i rivestimenti in polimero-cemento esaminati nel presente lavoro sono impermeabili alla acqua in pressione e resistenti alla diffusione della CO₂, dell' SO₄²⁻ e del Cl⁻. Risultati simili sono stati ottenuti, nel precedente lavoro, per i rivestimenti a base di cemento portland o cemento alluminoso [10]. Quindi, tutti i rivestimenti in polimero-acrilico, indipendentemente dal tipo di cemento, sono in grado di bloccare da penetrazione degli agenti aggressivi anche se il calcestruzzo del supporto risulta fortemente poroso.

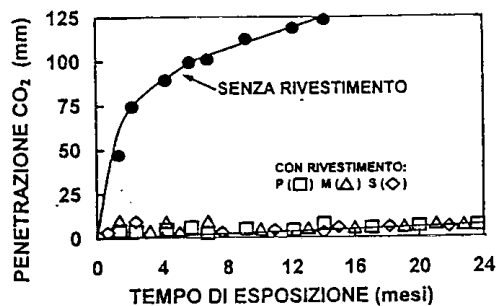


Fig. 1 - Influenza del tipo di rivestimento sulla penetrazione della CO₂ nel supporto in calcestruzzo (a/c = 0.80).

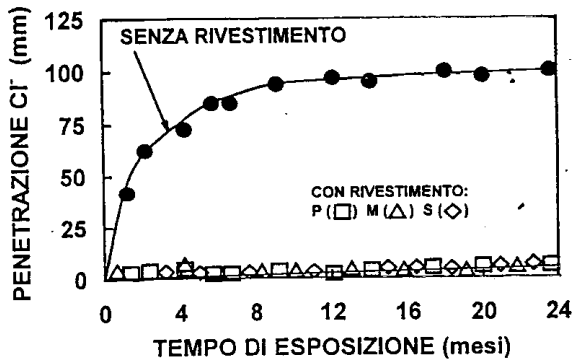


Fig. 2 - Influenza del tipo di rivestimento sulla penetrazione del Cl^- nel supporto in calcestruzzo ($a/c = 0.80$).

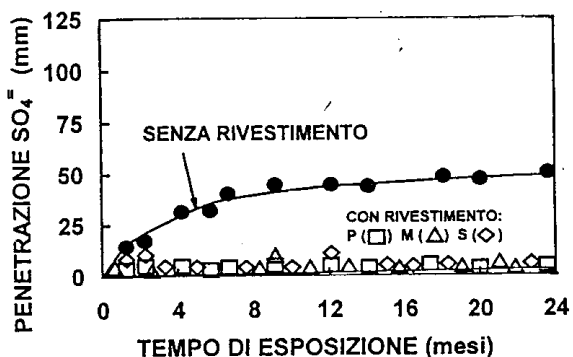


Fig. 3 - Influenza del tipo di rivestimento sulla penetrazione del solfato nel supporto in calcestruzzo ($a/c = 0.80$).

5. PROVE DI ELASTICITÀ

Le prove condotte hanno lo scopo di valutare l'elasticità dei rivestimenti in polimero-cemento (cioè la capacità di coprire le fessure che insorgono nel supporto) applicati su travi di calcestruzzo, rinforzate con tre barre metalliche da 8 mm di diametro, esposte per due anni a tre differenti condizioni ambientali; ambiente asciutto ($20^{\circ}C$ e 60% U.R.); ambiente umido (permanentemente sott'acqua a $20^{\circ}C$); ambiente esterno (soggetto alle naturali variazioni di temperatura e umidità relativa).

Prima dell'applicazione dei rivestimenti le travi di calcestruzzo sono state stagionate per tre mesi a $20^{\circ}C$ e 60% U.R. Dopo l'applicazione del rivestimento sono state stagionate per ulteriori 7 giorni prima della esposizione ai tre differenti ambienti. I rivestimenti sono stati applicati solo sulla faccia della trave (150×600 mm) più lontana dal rinforzo in acciaio (Fig. 4) in forma di strisce larghe 100 mm e lunghe

600 mm in modo da lasciare a nudo parte del conglomerato cementizio.

A intervalli regolari, per un tempo massimo di due anni, tre travetti per ogni tipo di rivestimento sono stati sottoposti a prove di flessione a tre punti (Fig. 4). Il carico è stato applicato sulla faccia della trave più vicina alle armature metalliche di rinforzo e quindi più lontana dalla faccia rivestita che veniva pertanto a posizionarsi al lembo teso. L'applicazione del carico flessionale provocava la formazione di una fessura nella parte inferiore della trave. Per mezzo di uno specchio posto sotto la trave si è potuto osservare l'insorgere e l'aumento di ampiezza della fessura nella porzione della faccia del travetto lasciata nuda, così come il comportamento a trazione del rivestimento elastico applicato. All'aumentare della deformazione flessionale imposta alla trave, veniva registrato l'aumento dell'ampiezza della fessura nel calcestruzzo scoperto per mezzo di un comparatore millesimale reso solidale alla trave. Per lievi incrementi di deformazione flessionale, a partire da quella che aveva provocato la fessurazione nella trave, il rivestimento elastico rimaneva integro, in virtù della sua maggiore duttilità, costituendo un efficace "ponte" tra i lembi della fessura. La prova aveva termine quando, per incrementi di carico maggiori, il rivestimento in polimero-cemento iniziava a lacerarsi. Si procedeva, quindi, a registrare l'ampiezza della fessura nel calcestruzzo del supporto in corrispondenza di questo fenomeno. In realtà, per rompere definitivamente il rivestimento elastico risultava necessario aumentare ulteriormente l'ampiezza della fessura di 0.4 - 0.6 mm.

L'elasticità - in termini di ampiezza della fessura nel calcestruzzo del supporto corrispondente all'iniziale lacerazione del rivestimento - è stata misurata in funzione del tempo di esposizione ai tre differenti ambienti. L'iniziale elasticità del rivestimento - misurata prima dell'esposizione ai tre ambienti - è risultata di circa 1.1 mm per il rivestimento a base di cemento portland (P) e di circa 1.4 mm per i rivestimenti con loppa d'altoforno (S) e metacaolino (M).

Le curve elasticità-tempo di esposizione per i rivestimenti P, M ed S sono mostrate rispettivamente nelle Figure 5, 6 e 7.

Una lieve diminuzione di elasticità (in particolare fra 3 e 12 mesi di esposizione) è stata registrata nel rivestimento a base di cemento portland permanentemente esposto all'acqua, mentre non sono stati registrati cambiamenti significativi in questo tipo di rivestimento per i provini in ambiente asciutto o all'esterno (Fig. 5).

In presenza di metacaolino la riduzione di elasticità del rivestimento, nel caso di esposizione permanente all'acqua, è risultata più alta; essa è risultata, invece, trascurabile in ambiente asciutto (Fig. 6).

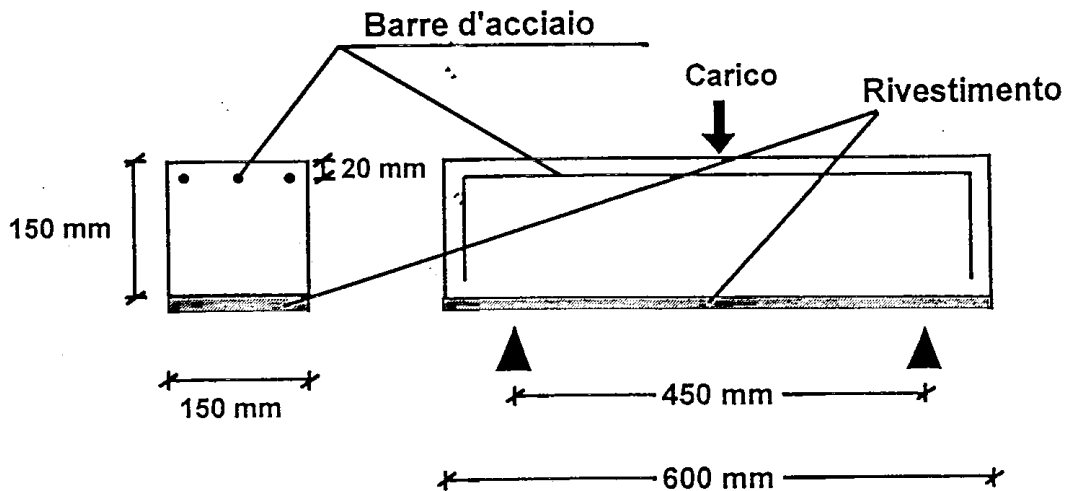


Fig. 4 - Trave con rinforzo metallico (150x150x600) per prove di elasticità.

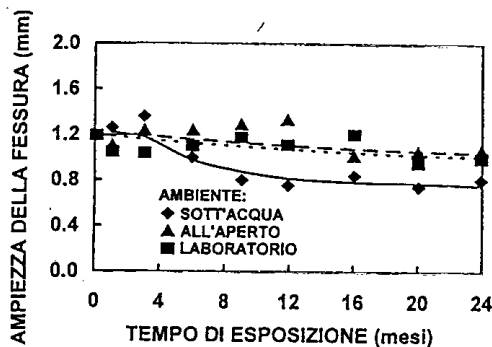


Fig. 5 - Influenza dell'esposizione ambientale sull'ampiezza della fessura prodotta sulle travi dal carico flessionale e misurata in corrispondenza dell'inizio della lacerazione del rivestimento tipo P.

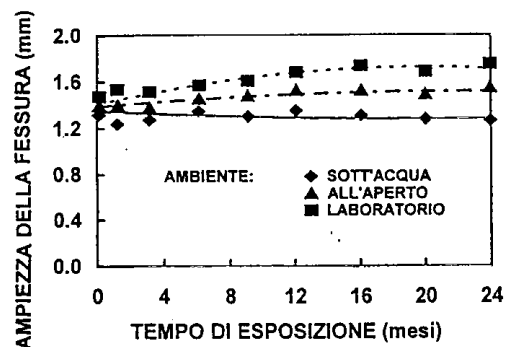


Fig. 7 - Influenza dell'esposizione ambientale sull'ampiezza della fessura prodotta sulle travi dal carico flessionale e misurata in corrispondenza dell'inizio della lacerazione del rivestimento tipo S.

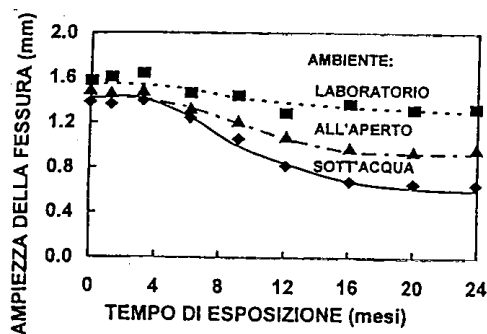


Fig. 6 - Influenza dell'esposizione ambientale sull'ampiezza della fessura prodotta sulle travi dal carico flessionale e misurata in corrispondenza dell'inizio della lacerazione del rivestimento tipo M.

Un comportamento intermedio è stato osservato nella stagionatura all'esterno dove si alternano le condizioni di asciutto e bagnato.

Il rivestimento con aggiunta di loppa d'altoforno ha avuto un comportamento migliore degli altri in termini di mantenimento dell'elasticità: non è stata registrata alcuna significativa perdita di elasticità nel caso di esposizione all'acqua, mentre si sono avuti lievi aumenti di elasticità nelle altre condizioni ambientali (Fig. 7).

6. MISURE DELLA CAPACITÀ DI ADESIONE AL SUPPORTO

Queste prove sono state condotte sulle stesse travi utilizzate per le prove di elasticità. La capacità di

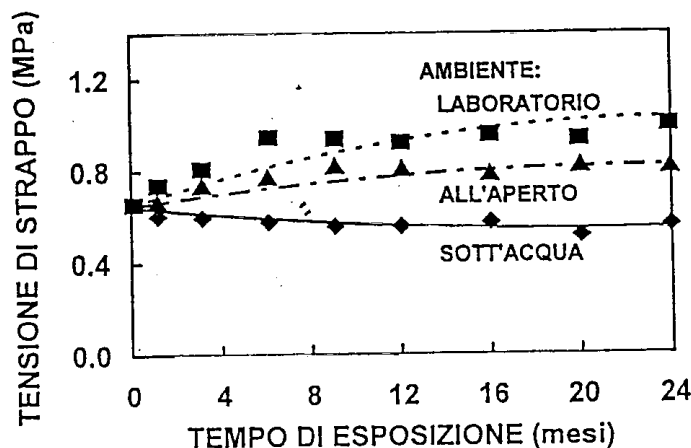


Fig. 8 - Influenza dell'esposizione ambientale sulla tensione di strappo del rivestimento tipo P.

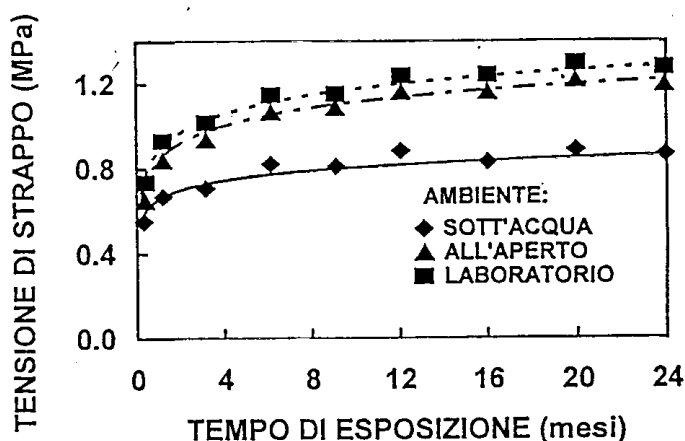


Fig. 9 - Influenza dell'esposizione ambientale sulla tensione di strappo del rivestimento tipo M.

adesione al supporto è stata determinata per mezzo di un dinamometro misurando la forza richiesta per staccare la membrana di polimero-cemento dal supporto in calcestruzzo e dividendola per l'area del tassello asportato.

Le Figure 8-10 mostrano la massima tensione registrata nel corso di ciascuna prova (*tensione di strappo*) in funzione del tempo di esposizione alle differenti condizioni ambientali per i rivestimenti P (con cemento portland) M (con metacaolino) e S (con loppa d'altoforno), rispettivamente.

La tensione di strappo misurata prima di sottoporre le travi ai tre ambienti di esposizione risultava compresa tra 0.4 e 0.6 MPa.

In seguito, si è registrato un generale aumento dei valori misurati, se si fa eccezione per il rivestimento P nel caso di esposizione permanente all'acqua per il quale, la tensione di adesione si è mantenuta sostanzialmente costante.

Per una dato ambiente di esposizione, l'aumento della tensione di strappo è risultato più alto per il rivestimento M rispetto ai rivestimenti S e P.

Per tutti e tre i tipi di rivestimento sono stati registrati valori della tensione di strappo più bassi nel caso di permanente stagionatura in acqua rispetto al caso di stagionatura in ambiente asciutto. Nel caso di esposizione all'ambiente esterno, dove si alternano condizioni di asciutto e bagnato, la tensione di strappo è risultata intermedia tra quelle determinate nelle altre due condizioni di esposizione.

Il distacco del rivestimento dal supporto è avvenuto generalmente per rottura del rivestimento stesso nel caso dei provini mantenuti sott'acqua ed è avvenuta, invece, all'interfaccia tra rivestimento e calcestruzzo nel caso di provini stagionati nelle condizioni di laboratorio. E' ipotizzabile che la presenza d' acqua riduca l'aumento della capacità di adesione del rivestimento al supporto in quanto influisce negativamente sulla sua resistenza a trazione.

7. CONCLUSIONI

I rivestimenti in polimero-cemento (2 mm di spessore) basati su miscele di 2-etilexil poliacrilato in emulsione acquosa, cemento e sabbia fine sono in grado di proteggere un supporto in calcestruzzo poroso dalla penetrazione di acqua in pressione e dalla diffusione di

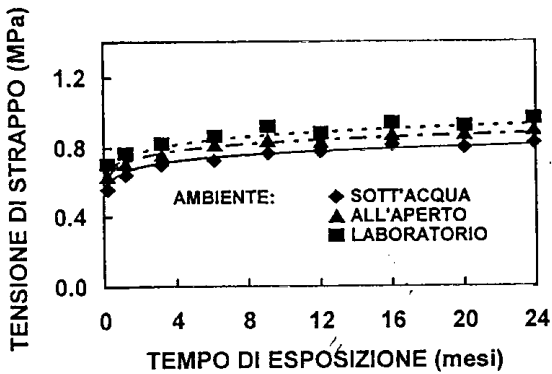


Fig. 10 - Influenza dell'esposizione ambientale sulla tensione di strappo del rivestimento tipo S.

agenti aggressivi che normalmente aggrediscono il calcestruzzo e le armature metalliche: anidride carbonica, solfati e cloruri. Questo effetto non dipende dal tipo di cemento utilizzato nel rivestimento in quanto il cemento portland si comporta molto bene con o senza aggiunte minerali (metacaolino e loppa d'altoforno).

La capacità di adesione dei rivestimenti al supporto in calcestruzzo generalmente aumenta nel tempo ad eccezione del rivestimento a base di cemento portland la cui adesione al supporto è risultata sostanzialmente costante nel caso di permanente esposizione all'acqua. L'aumento della capacità di adesione al supporto è risultata più alto per il rivestimento con metacaolino e, per tutti i tipi di rivestimento, nel caso di esposizione ad ambiente asciutto.

L'elasticità dei rivestimenti in polimero-cemento, in termini di capacità di "coprire" le fessure prodotte da prove di flessione nel supporto in calcestruzzo, è risultata invariata nei 2 anni di durata delle prove nel caso di esposizione ad ambiente asciutto (20°C e 60% U.R.). Nel caso di esposizione all'ambiente esterno e ancor di più nel caso di permanente immersione in acqua, invece, si è registrata una perdita di elasticità nel rivestimento a base di cemento portland e, soprattutto, in quello con presenza di metacaolino. Nel rivestimento a base di cemento portland e loppa d'altoforno non è stata registrata alcuna perdita di elasticità indipendentemente dalle condizioni ambientali di stagionatura.

8. RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Alessandra Galletti e Mara Meneghel per il lavoro di preparazione del testo e delle figure del presente lavoro.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Tuutti, K., 1982, "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, p. 468,
- [2] Mehta, P.K., 1994, "Concrete Technology at the Crossroads-Problems and Opportunities", Proceedings of the V.M. Malhotra Symposium "Concrete Technology. Past, Present and Future", ACI SP-144, San Francisco, Editor: P.K. Mehta, pp. 1-30.
- [3] UNI 9858, "Calcestruzzo-Prestazioni, Produzione, Posa in Opera e Criteri di Conformità".
- [4] ACI Committee 201, 1995, "Guide to Durable Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.
- [5] Sato, T., Sakai, K. and Kumagai, M., 1995, "Effectiveness on Coatings on Concrete Under Freezing and Thawing Conditions", Concrete Under Sever: Condition. Environment and Loading, Vol. 1, Editor: K. Sakai, N. Banthia and O. E Gjorv, pp. 927-934.
- [6] Swamy, R.N., Hamada, H., Fukute, T., Tanikawa, S. and Laiw, J.C., 1995, "Chloride Penetration into Concrete Incorporating Mineral Admixtures or Protected with Flexible Polymer Cement Mortar", Concrete Under Chloride Environments", Concrete Under Sever Condition. Environment and Loading, Vol. 1, Editor: K. Sakai, N. Banthia and O. E Gjorv, pp. 935-944.
- [7] Kamimoto, H., Wakasugi, M. and Miyagawa, T., 1995, "Performance of Concrete Coated with Flexible Polymer Cement Mortar", Concrete Under Chloride Environments", Concrete Under Sever Condition. Environment and Loading, Vol. 1, Editor: K. Sakai, N. Banthia and O. E Gjorv, pp. 945-953.
- [8] Al-Juraifani, E.A., 1995, "Evaluation Scheme for Penetrating Sealers to Prevent Concrete Deterioration in Saudi Arabia", Concrete Under Sever Condition. Environment and Loading, Vol. 1, Editor: K. Sakai, N. Banthia and O. E Gjorv, pp. 954-963.
- [9] Abuazza, O.A. and Ibrahim, A.A., 1995, "Internal Protection of Concrete Pipeline for the Conveyance of Aggressive Water (CO₂)", Concrete Under Sever Condition. Environment and Loading, Vol. 1, Editor: K. Sakai, N. Banthia and O. E Gjorv, pp. 974-983.
- [10] Coppola, L., Pistolesi, C., Zaffaroni, P. and Collepari M., 1997, "The Ageing Effect on the Properties of Flexible Surface Coating for Concrete Protection", accepted paper for the CANMET-ACI

International Symposium on Durability of Concrete, Sydney (Australia).

[11] ISO 7031, "Hardened Concrete. Determination of water penetration under pressure", (in French).

[12] UNI 9944, "Corrosion and Protection of Steel in Concrete. Determination of the Carbonation Depth and

of the Profile of Chloride Ions Penetration in Concrete", (in Italian).

[13] UNI 8019, "Determination of Sulphate Ion penetration", (in Italian).

[14] UNI 7928, "Determination of Chloride Ion Penetration", (in Italian).