

**SILANI PITTURE ACRILICHE E RIVESTIMENTI ELASTICI PER LA DURABILITA' DI STRUTTURE IN CALCESTRUZZO**

LUIGI COPPOLA, MARIO COLLEPARDI, Enco - Engineering Concrete, Spresiano (TV)  
CARLO PISTOLESI, PASQUALE ZAFFARONI, Mapei, Milano

**Summary**

*The paper deals with three protective materials for concrete structures: silanes, acrylic paints and elastic coatings.*

*The application of silane on the concrete surface allows to protect the structures manufactured with poor quality concrete against the aggressive action of the water and chloride and sulfate salts. On the other hand, the silane is not able to stop the CO<sub>2</sub> penetration into the cementitious matrix.*

*It is convenient to use the acrylic paint to avoid the concrete carbonation and therefore the steel corrosion. But they are not able to block the water and salts penetration into the concrete.*

*Elastic coatings allow to limit the penetration of both gas (CO<sub>2</sub>) and the water and salts. Moreover elastic coatings slow the penetration of the aggressive agents into the concrete even if the concrete structure is cracked provided that the crack width is less than 1 mm.*

**Sommario**

*Il lavoro riguarda tre materiali per la protezione del calcestruzzo: i silani, le pitture acriliche e i rivestimenti elastici.*

*L'applicazione del silano sul calcestruzzo consente di proteggere opere realizzate con conglomerati di mediocre qualità dall'azione aggressiva dell'acqua e dei sali di cloruro e solfato. Il silano, invece, non è in grado di bloccare la penetrazione della CO<sub>2</sub> nella matrice cementizia.*

*Per evitare la carbonatazione del conglomerato è conveniente l'impiego dei rivestimenti acrilici, i quali, però, non sono in grado di bloccare la penetrazione dell'acqua e dei sali nel calcestruzzo.*

*I rivestimenti elastici consentono di limitare, nei calcestruzzi di mediocre qualità, sia l'ingresso dei gas (CO<sub>2</sub>) che dell'acqua e dei sali. I rivestimenti elastici, inoltre, rallentano la penetrazione delle sostanze aggressive nella matrice cementizia anche se il calcestruzzo è fessurato, purché l'ampiezza della fessura non superi 1 mm.*

**1. Introduzione**

In altri Paesi (Stati Uniti, Canada, Germania) già da molti anni esistono raccomandazioni e norme [1] per la realizzazione di strutture in calcestruzzo armato e precompresso capaci di resistere alle aggressioni di tipo chimico (solfati, sali) e fisico (gelo-disgelo) dell'ambiente in cui l'opera è situata. In Italia, invece, solo da due anni - grazie all'entrata in vigore del D.M. del

14/02/92 [2]; "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" - esistono norme precise e univoche su come progettare la durabilità delle strutture in calcestruzzo. La Norma UNI 9858 [3] a cui il succitato D.M. fa riferimento al punto 4.1, infatti, stabilisce il grado di aggressione ambientale attraverso la definizione di cinque "classi di esposizione" (Tabella 1) e i corrispondenti provvedimenti da adottare circa il rapporto a/c (massimo), il dosaggio di cemento (minimo) ed il contenuto di aria inglobata (Tabella 2) perché il calcestruzzo sia durevole alla classe di esposizione individuata per la struttura.

Tabella 1 - Classi di esposizione in funzione delle condizioni ambientali secondo UNI 9858

CLASSE DI ESPOSIZIONE	ESEMPI DI CONDIZIONI AMBIENTALI
1) Ambiente secco	- interni di abitazioni o uffici* (UR < 70%)
a) senza gelo	- interni con umidità elevata (UR > 70%) - elementi strutturali esterni - elementi strutturali in acqua o in terreni non aggressivi
2) Ambiente umido	b) con gelo - elementi esterni esposti al gelo - elementi in acqua o in terreni non aggressivi ma esposti al gelo - elementi interni con umidità elevata ed esposti al gelo
3) Ambiente con gelo ed uso di sali	- elementi interni esposti al gelo ed ai sali disgelanti; viadotti autostradali; solette da ponte, aeroporti, etc.
a) senza gelo	- elementi parzialmente o completamente sommersi in mare o situati nella zona di battigia
4) Ambiente marino	b) con gelo - elementi in aria ricca di salsedine (zone costiere) - elementi parzialmente o completamente sommersi in mare o posti nella zona di battigia, esposti al gelo - elementi in aria ricca di salsedine ed esposti al gelo
Le seguenti classi possono presentarsi da sole o insieme alle precedenti	
a)	- ambiente debolmente aggressivo (gas, liquidi o solidi)
b)	- atmosfera industriale aggressiva
c)	- ambiente moderatamente aggressivo (gas, liquidi, solidi)
5) Ambiente chimicamente aggressivi**	- ambiente fortemente aggressivo (gas, liquidi, solidi)
* Questa classe di esposizione resta valida se, prima che la costruzione sia terminata, la struttura o i componenti non si trovino esposti a condizioni più severe per un prolungato periodo di tempo.	
** Gli ambienti chimicamente aggressivi per la presenza di ioni solfato e di anidride carbonica aggressiva sono classificati nella UNI 8981.	

Tabella 2 - Prescrizioni per un calcestruzzo durevole in riferimento alla classe di esposizione individuata nella Tabella 1.

PRESCRIZIONE	CLASSE DI ESPOSIZIONE									
	1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c <sup>1)</sup>	
Rapporto $a/c$ massimo <sup>2)</sup>										
-cls*	---	0,70	0,55	0,50	0,50 <sup>7)</sup>	0,50	0,55	0,50	0,45	
-c.a.**	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50 <sup>7)</sup>	0,50	0,55	0,50	0,45	
-c.a.p.***	0,60	0,60	0,55	0,50	0,50 <sup>7)</sup>	0,50	0,55	0,50	0,45	
Dosaggio minimo cemento (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2)</sup>										
-cls*	150	200	200	200	300	300	280	300	300	
-c.a.**	260	280	280	300	300	300	280	300	300	
-c.a.p.***	300	300	300	300	300	300	280	300	300	
Volume minimo di aria (%) inglobata per aggregati con diametro massimo di <sup>3)</sup> :										
32 mm		4 <sup>4)</sup>		4 <sup>4)</sup>		4 <sup>4)</sup>				
16 mm		5		5		5				
8 mm		6		6		6				
Aggregati resistenti al gelo <sup>6)</sup>		si		si		si				
Cls impermeabile		si		si		si		si		si
Tipi di cemento secondo UNI-ENV 197/1										resistente ai solfati <sup>5)</sup> se il contenuto di solfati è > 500 mg/kg in acqua, > 3000 mg/kg nel suolo
Copriferro minimo (mm) secondo l'Eurocodice 2	c.a.	15	20	25	40	40	40	25	30	40
c.a.p.		25	30	35	50	50	50	35	40	50

1) In aggiunta, il calcestruzzo deve essere protetto dal contatto diretto con il mezzo aggressivo mediante rivestimenti, tranne nei casi in cui questa protezione non sia ritenuta necessaria.

2) I tipi di cemento permessi sono quelli previsti dalla prenorma UNI-ENV 197/1. Quando dei fini pozzolanici o ad attività idraulica latente vengono introdotti nella miscela, essi non devono essere tenuti in conto nel calcolo del dosaggio minimo di cemento e del massimo rapporto a/c conseguito.

3) con un fattore di spaziatura delle microbolle d'aria inglobata di 0,20 mm, misurato sul calcestruzzo indurito.

4) periodi di tempo, valori o misure diversi possono essere utilizzati qualora venga accertato mediante prove che il calcestruzzo possiede un'adeguata resistenza al gelo in accordo con UNI 7087.

5) La resistenza ai solfati di un cemento deve essere determinata secondo UNI 9156 ed UNI 9607.

6) Determinazione secondo UNI 8520/20.

7) Il rapporto a/c massimo previsto dalla norma ENV 206 per la classe di esposizione 4a è di 0,55.

\*: cls = calcestruzzo normale

\*\* : c.a. = calcestruzzo armato

\*\*\*: c.a.p. = calcestruzzo armato precompresso

Prima dell'entrata in vigore del D.M. del 14/02/92, invece, le raccomandazioni tecniche contenute nei precedenti D.M. (ad esempio quello del 27 luglio 1985 [4]) prevedevano per la durabilità del conglomerato (punto 2.1.8): "Al fine di garantire la durabilità del conglomerato particolarmente in ambiente aggressivo, così come in presenza di cicli di gelo-disgelo, è necessario studiarne adeguatamente la composizione". E' inutile sottolineare la grande alea che caratterizza suddetta raccomandazione; essa di fatto risulta inutilizzabile in quanto non stabilisce i criteri per la definizione del grado di aggressività ambientale nè le relative contromisure da adottare.

La mancanza di norme ben definite sulla durabilità, - soprattutto nel settore delle opere infrastrutturali (ponti, viadotti, serbatoi, dighe) - ha fatto sì che la scelta del conglomerato avvenisse solo sulla base delle esigenze statiche richieste per il calcestruzzo. Purtroppo, i carichi in gioco rappresentano molto spesso una condizione meno impegnativa della "sollecitazione" aggressiva ambientale. Il risultato della scelta del conglomerato dettata da sole considerazioni statiche ha comportato, pertanto, la messa in opera di conglomerati idonei dal punto di vista statico, ma non altrettanto durevoli nei confronti delle aggressioni ambientali.

Da una statistica [5] risulta che l'errata progettazione del calcestruzzo è responsabile nel 42% de casi del degrado delle strutture (danneggiate). Inoltre, nel 22% dei casi il degrado è attribuibile ad errori di posa in opera e di stagionatura del calcestruzzo.

Esistono, quindi, numerose strutture in calcestruzzo realizzate con conglomerati di qualità scadente sulle quali intervenire per impedire che l'aggressione ambientale possa provocare danni irreparabili.

Nel presente lavoro è stata analizzata la possibilità di proteggere le strutture realizzate con calcestruzzi di qualità scadente dall'azione deleteria di alcuni tra i più comuni agenti aggressivi per il calcestruzzo (anidride carbonica, cloruri, solfati) mediante l'impiego di silani, pitture acriliche e rivestimenti elastici.

## 2. Parte sperimentale

Al fine di valutare l'efficacia di alcuni trattamenti superficiali nel proteggere il calcestruzzo dalle azioni aggressive ambientali si è adottato il seguente criterio: i rivestimenti sono stati applicati su un calcestruzzo di qualità scadente (rapporto  $a/c = 0,80$ ;  $R_{ck} = 15$  N/mm<sup>2</sup>; controllo tipo A) e le prestazioni in termini di durabilità dei calcestruzzi rivestiti sono state confrontate con quelle dello stesso calcestruzzo non rivestito e con quelle di un calcestruzzo definito "top-quality" ( $a/c = 0,45$ ;  $R_{ck} = 50$  N/mm<sup>2</sup>; controllo tipo A) in quanto capace di resistere a tutte le sollecitazioni chimico-fisiche naturali. Le composizioni dei due calcestruzzi sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3 - Ingredienti e caratteristiche reologiche e meccaniche del calcestruzzo di mediocre qualità e del calcestruzzo top-quality

INGREDIENTI E PROPRIETÀ	CALCESTRUZZO DI MEDIOCRE QUALITÀ	CALCESTRUZZO TOP-QUALITY
Acqua (a) (Kg/m <sup>3</sup> )	175	150
Cemento (c) (Kg/m <sup>3</sup> )	220	330
Fumo di silice (sf) (Kg/m <sup>3</sup> )	---	50
Sabbia (0-5 mm) (Kg/m <sup>3</sup> )	950	700
Ghiaia (5-20 mm) (Kg/m <sup>3</sup> )	1030	1090
Superfluidificante (1.2% sul peso del cemento più fumo di silice) (l/m <sup>3</sup> )	---	7.5
Additivo aerante (0.05% sul peso del cemento più fumo di silice) (l/m <sup>3</sup> )	---	0.225
Slump (cm)	22	24
Aria (%)	2.2	6.0
Massa volumica (Kg/m <sup>3</sup> )	2375	2325
Rapporto a/c	0.8	0.45
Rapporto a/(c + sf)	0.8	0.40
Resistenza meccanica a compressione a 28 gg. (MPa)	21.5	54.0

Tabella 4 - Trattamenti per il calcestruzzo di mediocre qualità

TIPO DI MATERIALE	QUANTITÀ	PROCEDURA DI APPLICAZIONE
Silano	200 g/m <sup>2</sup>	I provini di calcestruzzo sono stati immersi per 5 secondi in silano, asciugati per 4 ore quindi immersi nuovamente nel silano per 5 secondi. I provini di calcestruzzo impregnati con silano sono stati quindi mantenuti per 7 giorni in ambiente alla temperatura di 20°C e UR = 65% prima dell'esposizione alle condizioni aggressive.
Pittura acrilica	170 g/m <sup>2</sup>	I provini di calcestruzzo sono stati ricoperti con pittura acrilica applicata a pennello sulla faccia superiore e su due facce laterali. Dopo 24 ore la pittura è stata applicata sulle facce rimanenti non verniciate. Dopo ulteriori 24 ore è stato applicato un secondo strato di pittura allo stesso modo. Dopo il trattamento, i provini sono stati mantenuti 7 giorni in ambiente alla temperatura di 20°C e UR = 65% prima dell'esposizione alle condizioni aggressive.
Rives. elastico	150 Kg/m <sup>2</sup> per ogni mm di strato	Sulle tre facce dei provini di calcestruzzo è stato applicato a spatola uno strato di rivestimento elastico di 1 - 1.5 mm; dopo 6 ore lo stesso trattamento è stato ripetuto sulle altre 3 facce. Dopo un giorno di asciugatura si è applicato un secondo strato. Dopo il trattamento i provini sono stati stagionati per 7 giorni alla temperatura di 20°C e UR = 65% prima dell'esposizione alle condizioni aggressive.

Terminati i tre trattamenti i provini hanno subito un'ulteriore stagionatura per 7 giorni a T = 20°C ed U.R. = 65%, quindi, sono stati sistemati nei vari ambienti aggressivi e sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- aumento (diminuzione) del peso del calcestruzzo per assorbimento (desorbimento) di acqua;
- spessore di calcestruzzo penetrato dal cloruro;
- spessore di calcestruzzo penetrato dal solfato;
- spessore di calcestruzzo penetrato dall'anidride carbonica.

Oltre alle prove di durabilità sono state effettuate prove sperimentali tese a valutare la flessibilità dei trattamenti e, quindi, la loro capacità a ricoprire le fessure (*crack-bridging*) sempre presenti nelle strutture in conglomerato cementizio armato. Rivestimenti superficiali con elevata capacità di *crack-bridging* garantirebbero la durabilità del calcestruzzo anche in strutture fessurate.

## 2.1 Assorbimento e desorbimento di acqua

La prova è consistita nel determinare l'aumento di peso dei provini trattati e non immersi in acqua per 28 giorni (battente 10 cm). Trascorsi 28 giorni i provini sono stati estratti dall'acqua e mantenuti in ambiente con U.R. del 65% al fine di determinare la diminuzione di peso (desorbimento) per effetto dell'evaporazione di acqua dal calcestruzzo verso l'esterno. In Figura 1 e 2 sono riportati i risultati di suddette determinazioni. Come si può notare sia il silano che il rivestimento elastico consentono di contenere l'ingresso d'acqua nel conglomerato a valori addirittura inferiori a quelli registrati per il calcestruzzo "top-quality". La pittura acrilica, invece, risulta permeabile all'acqua: i valori di assorbimento, infatti, risultano praticamente uguali a quelli del calcestruzzo mediocre non trattato. La pittura acrilica, inoltre, in fase di desorbimento smaltisce con estrema difficoltà l'acqua precedentemente assorbita.

## 2.2 Penetrazione del cloruro

La prova è consistita nel determinare - mediante il test colorimetrico previsto dalla Norma UNI 7928 [6] - a scadenze di tempo prefissate lo spessore di calcestruzzo penetrato dal cloruro in provini immersi in soluzione acquosa al 10% di NaCl a 20°C. I risultati sono riportati nella Figura 3. Come si può notare il trattamento con silano o con il rivestimento elastico trasformano, dal punto di vista della penetrazione del cloruro, un calcestruzzo mediocre in un calcestruzzo top-quality.

Nessun miglioramento, invece, è stato registrato per il calcestruzzo trattato con la pittura acrilica per il quale è stata registrata una penetrazione del cloruro uguale a quella del calcestruzzo mediocre non trattato.

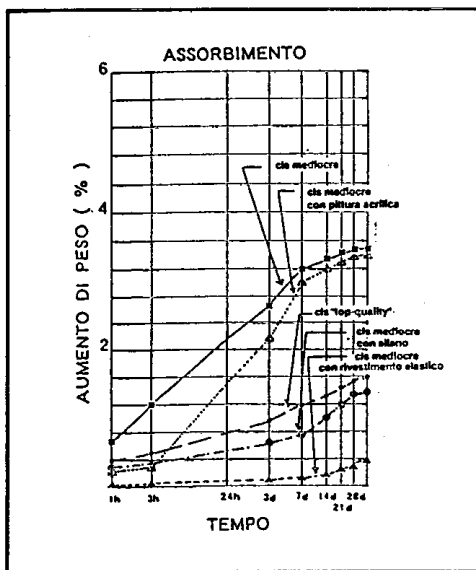


Figura 1 - Assorbimento di provini di calcestruzzo trattati e non.

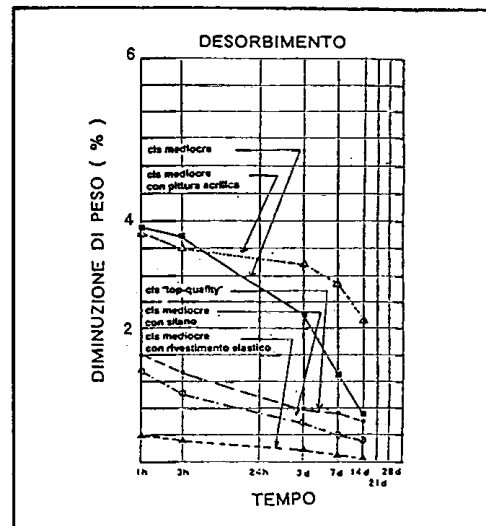


Figura 2 - Desorbimento di provini di calcestruzzo trattati e non.

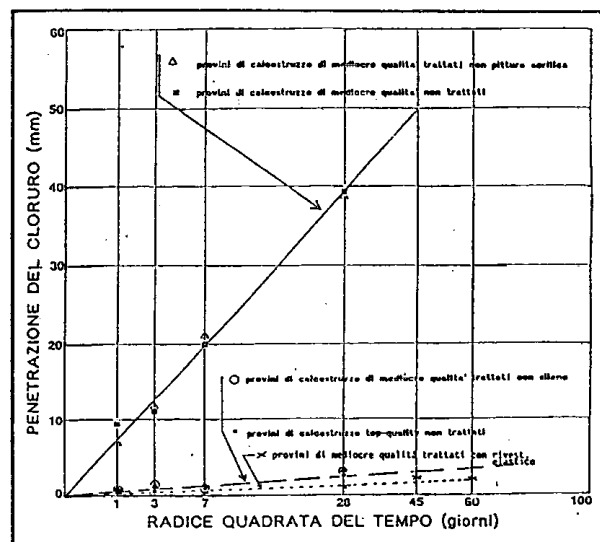


Figura 3 - Penetrazione del cloruro in funzione della radice quadrata del tempo in provini di calcestruzzo immersi in soluzione acquosa al 10% di NaCl a 20°C.

## 2.3 Penetrazione del solfato

La prova è consistita nel determinare - mediante il test colorimetrico descritto dalla Norma UNI 8019 [7] - la profondità di penetrazione del solfato in provini di calcestruzzo immersi in una soluzione acquosa al 10% di  $MgSO_4$ . La Figura 4 conferma che il rivestimento elastico è in grado di rallentare la penetrazione del solfato a valori inferiori a quelli registrati per il calcestruzzo top-quality. Anche il silano denota un buon comportamento, sebbene le penetrazioni registrate per lo ione  $SO_4^{2-}$  risultino lievemente superiori a quelle del calcestruzzo top-quality. La pittura acrilica, invece, sembra non influenzare la penetrazione dell'agente aggressivo: i provini trattati con pittura acrilica vengono penetrati dal solfato con la stessa velocità dei provini di calcestruzzo di mediocre qualità non trattati.

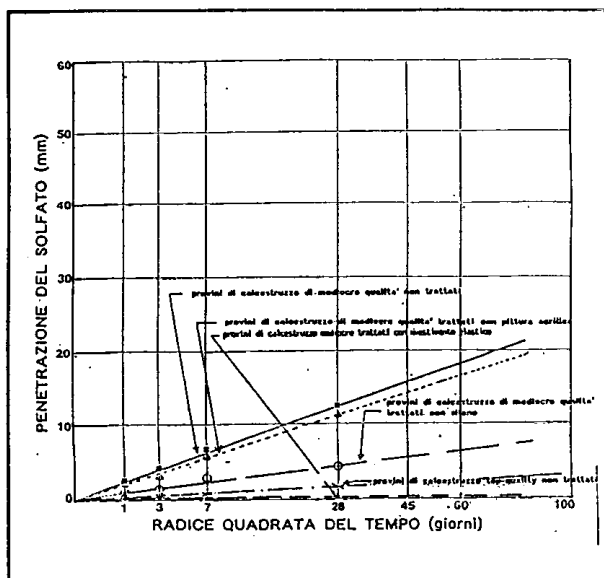


Figura 4 - Penetrazione del solfato in funzione della radice quadrata del tempo in provini di calcestruzzo immersi in soluzione acquosa al 10% di  $MgSO_4$  a  $20^\circ C$ .

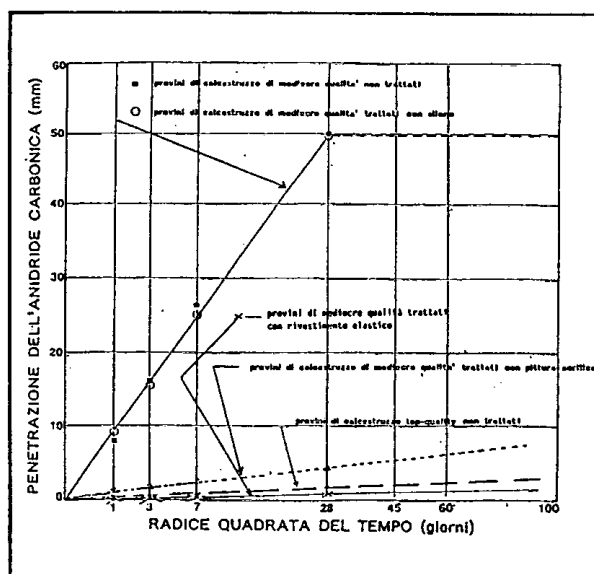


Figura 5 - Penetrazione dell'anidride carbonica in funzione della radice quadrata del tempo di provini di calcestruzzo esposti in ambiente ricco di  $CO_2$  ( $CO_2 = 30\%$  in vol.;  $T = 20^\circ C$ ;  $UR = 65\%$ ).

#### 2.4 Penetrazione dell'anidride carbonica

La penetrazione dell'anidride carbonica nel calcestruzzo di una struttura esposta all'aria naturale avviene con una velocità così bassa che occorrerebbero alcuni anni per registrare penetrazioni di  $CO_2$  di appena qualche mm. Pertanto, al fine di accelerare il risultato delle prove sperimentali i provini di calcestruzzo sono stati introdotti in una camera di carbonatazione accelerata ad alto tenore di  $CO_2$  (30% di  $CO_2$  in volume contro 0.03% di  $CO_2$  presente nell'aria naturale); prove preliminari hanno indicato che 12 ore di carbonatazione accelerata equivalgono all'incirca a 100 giorni di carbonatazione all'aria naturale [8].

La Figura 5 mostra lo spessore di calcestruzzo penetrato dalla  $CO_2$  - determinato con il metodo colorimetrico proposto dalla Norma UNI 9944 [9] - in funzione del tempo. Come si può notare, e contrariamente a quanto registrato per l'assorbimento d'acqua (2.1) e la penetrazione del cloruro (2.2) e del solfato (2.3), il silano non è in grado di impedire o rallentare l'ingresso dell'anidride carbonica nel calcestruzzo. L'eccellente comportamento del silano, quindi, nel limitare l'ingresso dell'acqua nel calcestruzzo diviene scadente allorché il silano deve bloccare la penetrazione di un gas quale la  $CO_2$ .

La spiegazione di questo comportamento, a prima vista singolare, risiede nel fatto che il trattamento silanico non ostruisce completamente i pori della matrice cementizia e, quindi, la molecola della  $CO_2$  riesce a penetrarli. La goccia d'acqua (ed i sali in essa disciolti), invece, per un maggior ingombro sterico e per il fatto che il silano contiene dei gruppi organici non affini all'acqua, viene respinta e la penetrazione dei sali nel conglomerato risulta fortemente rallentata.

Il comportamento della pittura acrilica è esattamente opposto a quello del silano: incapace di impedire l'ingresso dell'acqua nel calcestruzzo, ma in grado di impedire la diffusione della  $CO_2$ . Per il rivestimento elastico si conferma nei confronti della  $CO_2$  il comportamento eccellente registrato per la penetrazione dell'acqua e dei sali.

#### 2.5 Crack-bridging

Il calcestruzzo è per antonomasia un materiale scarsamente resistente a trazione; esso, quindi, si presenta molto spesso fessurato. Le fessure nel calcestruzzo possono prodursi a seguito di alti tassi di lavoro nell'acciaio, in seguito al ritiro plastico o igrometrico, a seguito di escursioni termiche, per gradienti termici interni, ecc. Risulterebbe, quindi, di estremo interesse ai fini della durabilità del calcestruzzo se i rivestimenti fossero in grado di "ostruire" le fessure formatesi per una delle cause sopra menzionate. In tal modo si potrebbe garantire anche la durabilità di strutture fessurate.

E' stata valutata, quindi, la capacità di *crack-bridging* dei trattamenti protettivi utilizzati per la ricerca (escluso il silano) applicando i prodotti sull'intradosso di travi in calcestruzzo  $15 \times 15 \times 60$  cm armate all'estradosso con 2 barre  $\phi_{10}$  ad aderenza migliorata utilizzate con il solo scopo di evitare la rottura fragile nella prova di flessione (su tre punti) cui suddette travi sono state sottoposte. Tramite un deformometro sono state misurate le ampiezze delle fessure prodottesi sull'intradosso della trave in calcestruzzo. In particolare, è stato determinato il valore dell'ampiezza della fessura del calcestruzzo in corrispondenza del quale il rivestimento

inizia a snervarsi denotando un marcato cambiamento di colore (LIMITE PLASTICO); oltre questo valore la membrana si lacera.

Applicando al limite plastico una riduzione del 20% è stato definito per il rivestimento un LIMITE ELASTICO. Il limite elastico rappresenta il valore dell'ampiezza della fessura che il rivestimento riesce a coprire risultando ancora perfettamente integro.

In Tabella 5 sono riportati i risultati ottenuti. Come si può notare la pittura acrilica non è in grado di ricoprire le fessure in quanto essa si rompe nello stesso istante in cui si fessura il calcestruzzo. Il rivestimento elastico, invece, consente di coprire fessure con ampiezze pari a circa 1 mm. In sostanza, cioè, esso è in grado di ricoprire tutte le fessure più frequentemente presenti nel calcestruzzo, preservando, quindi, anche le strutture fessurate dall'attacco degli agenti aggressivi ambientali.

Tabella 5 - Limite elastico e limite plastico per i rivestimenti acrilici ed elastici.

TRATTAMENTO PROTETTIVO	LIMITE	
	ELASTICO (mm)	PLASTICO (mm)
Pittura acrilica	0.00	0.00
Rivestimento elastico	1.05	1.35

### 3 Conclusioni

L'applicazione del silano sul calcestruzzo consente di trasformare un conglomerato di mediocre qualità ( $a/c = 0.8$ ;  $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$ ) in un calcestruzzo top-quality dal punto di vista della durabilità all'acqua ed ai sali in essa disciolti (cloruri e solfati).

Il silano, invece, non garantisce la durabilità delle strutture armate nei confronti dell'azione aggressiva della  $\text{CO}_2$ .

La pittura acrilica, al contrario, preserva il calcestruzzo mediocre dalla sola azione aggressiva della  $\text{CO}_2$ ; nessuna efficacia si registra nei confronti dell'acqua e degli agenti aggressivi (solfati e cloruri) in essa disciolti.

Il rivestimento elastico si è dimostrato efficace per far fronte a qualsiasi attacco aggressivo sia determinato dalla  $\text{CO}_2$  che dall'acqua e dai sali in essa disciolti.

Il rivestimento elastico, inoltre, consente di coprire le fessure presenti nel conglomerato fino ad un'ampiezza di circa 1 mm garantendo la durabilità anche per le strutture fessurate.

### Bibliografia

- [1] ACI 201.2R. Guide to Durable Concrete. ACI Publication, 201, (1980).
- [2] D. M. 14/02/92 (S.O.G.U. del 18/03/1992). Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [3] Norma UNI 9858. Calcestruzzo. Prestazioni, produzione, posa in opera e criteri di conformità.
- [4] D.M. 27/07/85 (S.O.G.U. del 17/05/86). Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [5] Olazabel W.C., Traversa L., FIP Notes. Sept., 13 (1977).
- [6] Norma UNI 7928. Determinazione della penetrabilità dello ione cloruro.
- [7] Norma UNI 8019. Determinazione della penetrabilità dello ione solfato.
- [8] L. Coppola, A. Borsoi. risultati non pubblicati.
- [9] Norma UNI 9944. Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloro nel calcestruzzo.