

INDAGINE SPERIMENTALE SU PROTETTIVI PER CALCESTRUZZO AI FINI DI SPECIFICHE PRESTAZIONALI

Vito ALUNNO ROSSETTI. Università di Roma 'La Sapienza'

Paolo CORRADO. MAC SpA, Treviso

Stefano PALLOTTA. Autostrade SpA, Fiano Romano

Summary

The protection of concrete elements and structures by means of surface coatings will probably increase in the future, so that an experimental basis for performance based specifications is needed. This paper outlines the required features of the products suited for such application, presents a selection of test methods and experimental data of some commercial coatings available in Italy.

Sommario

La protezione di manufatti e strutture in calcestruzzo è destinata probabilmente a diffondersi nel futuro; è perciò necessaria una base sperimentale per la definizione di specifiche prestazionali. In questo articolo vengono proposti alcuni requisiti importanti dei protettivi per calcestruzzo, viene presentata una selezione di metodi di prova e i risultati di una sperimentazione su prodotti commerciali reperibili in Italia.

1. Introduzione

Esperienze recenti indicano che, pur applicando le metodologie consigliate dalle attuali conoscenze sui fenomeni di degradazione e dalle normative, la durabilità può non essere sufficiente. Ciò si deve probabilmente sia all'aumentata aggressività dell'ambiente, sia alle non sempre perfette modalità attuate nell'esecuzione delle opere, sia al fatto che la pratica di progettare la durabilità delle costruzioni non è ancora abbastanza diffusa.

E' da supporre perciò che in futuro si diffonda l'impiego di prodotti da applicare sulla superficie del calcestruzzo allo scopo di isolarlo dall'ambiente ed impedire o almeno ritardare i fenomeni di degradazione.

E' evidente che si potranno impiegare prodotti adatti per gli ambienti più vari ma che la tecnologia dei protettivi superficiali dovrà innanzitutto risolvere i problemi più comuni che senza dubbio sono quelli derivanti dai fenomeni di corrosione delle armature.

2. Normative sui protettivi per calcestruzzo

La letteratura tecnica riporta numerose sperimentazioni sui protettivi (si veda ad esempio la rassegna di Hewlett¹) sebbene il concetto di un insieme mirato di proprietà specifico per l'impiego considerato non sia stato in genere sviluppato.

La normativa tecnica italiana sui protettivi per calcestruzzo è a tutt'oggi assai carente, come del resto praticamente quelle di molti altri Paesi; numerosi metodi di prova sono contenuti nella UNI 8202, manca però un sistema unitario di classificazione dei prodotti ed un approccio ordinato alle loro caratteristiche.

La carenza normativa si riflette anche sulle schede tecniche dei prodotti e sui capitolati di appalto. Si rileva in particolare che spesso le caratteristiche tecniche che definiscono i prodotti si riferiscono al prodotto come tale e non al suo impiego; è evidente che caratteristiche come: densità, colore, shelf life, hanno ben poca rilevanza rispetto all'utilizzazione come protettivi per calcestruzzo.

3. Normativa prestazionale

E' evidente che è necessario un tipo di caratterizzazione diverso: che si riferisca sostanzialmente all'utilizzazione dei prodotti e che renda possibile anche un'obiettiva valutazione di merito. Su questa strada si è avviata un'iniziativa dell'Università di Roma e della Soc. Autostrade, volta alla messa a punto di una normativa tecnica a carattere prestazionale; in tale iniziativa sono stati coinvolte alcune Società produttrici di protettivi. Più di recente un gruppo del CEN ha affrontato gli stessi problemi con lo stesso intendimento (CEN TC 104, SC 8).

L'approccio alla problematica summenzionata si è sviluppato seguendo i seguenti passi:

- individuazione dei requisiti per l'idoneità dei protettivi,
- reperimento o messa a punto di metodi di prova,

- verifica dei metodi di prova,
- caratterizzazione di prodotti commerciali,
- individuazione di criteri per la scelta dei limiti di accettabilità delle diverse caratteristiche.

Nella parte introduttiva della presente nota vengono fornite alcune indicazioni sui due primi punti precedenti, nella parte sperimentale si descrivono le prove effettuate in merito ai due punti successivi. Si danno infine alcune indicazioni sull'ultimo punto.

4. Requisiti per i protettivi per calcestruzzo e metodi di prova adottati

I requisiti per i protettivi per calcestruzzo possono dividersi in diverse categorie:

- capacità di isolare il calcestruzzo dagli aggressivi presenti nell'ambiente (o capacità di barriera),
- aderenza al supporto,
- durabilità del protettivo nell'ambiente di esercizio,
- capacità dei protettivi di deformarsi in corrispondenza di nuove fessure che si formino sulla superficie degli elementi strutturali.

La capacità del protettivo di isolare il calcestruzzo dagli aggressivi presenti nell'ambiente, o *capacità di barriera*, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni cloruro, all'anidride carbonica, ed all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione; nei riguardi di queste sostanze la pellicola di protettivo deve naturalmente risultare il più possibile impervia. La pellicola dovrà risultare al contrario il più permeabile possibile al vapor d'acqua; in caso contrario con il variare della temperatura possono generarsi pressioni di vapore all'interfaccia pellicola calcestruzzo, capaci di causarne il distacco.

L'*aderenza* del protettivo al supporto di calcestruzzo, che naturalmente è una caratteristica molto importante, dovrebbe risultare elevata, anche in presenza di umidità nel calcestruzzo al momento dell'applicazione, fatto questo molto comune.

La resistenza dei protettivi nei confronti degli agenti aggressivi dell'ambiente, cioè la loro *durabilità*, va verificata nei confronti dell'irraggiamento solare, dei cicli di gelo-disgelo e di eventuale abrasione.

Un'ulteriore caratteristica necessaria per i protettivi è quella di mantenere integra la pellicola at-

traverso fessure già esistenti nel conglomerato, che normalmente variano di apertura con le variazioni termiche e con il ritiro; più gravoso è il requisito di mantenere l'integrità attraverso fessure che si aprano dopo l'applicazione della pellicola sulla superficie del calcestruzzo, cioè la cosiddetta *gap bridging ability*.

Non tutte le caratteristiche sopraelencate richiedono l'effettiva determinazione; ad esempio la permeabilità all'acqua liquida di tutti i prodotti protettivi è in genere sufficientemente bassa. Altre caratteristiche non sono state esaminate nella presente sperimentazione in quanto di difficile determinazione sperimentale, come la permeabilità all'ossigeno e la resistenza al gelo e saranno oggetto di studi successivi.

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche dei prodotti che sono state misurate nella presente sperimentazione ed i metodi di prova utilizzati.

5. Parte sperimentale

5.1 Preparazione dei campioni

La preparazione dei campioni è stata effettuata con le modalità appropriate per ciascun prodotto e ciascuna prova; lo spessore dello strato di protettivo applicato corrisponde per ciascun materiale alla prescrizione della relativa scheda tecnica. Le caratteristiche misurate dipendono in alcuni casi dallo spessore, ma quando possibile si è scelta una grandezza misurata che caratterizzasse il materiale indipendentemente dallo spessore (ad esempio μ).

5.2 Scelta ed adattamento delle prove

Le prove elencate nella tabella 1 sono state messe a punto e successivamente utilizzate per la caratterizzazione di alcuni prodotti commerciali. Di alcune verrà data una sommaria descrizione qui di seguito, evidenziando i dettagli non standard.

Permeabilità al vapor acqueo

Si è utilizzata la Norma DIN 52615; il metodo prevede la misura della massa di umidità trasferita attraverso un sistema protettivo per effetto di un gradiente di pressione parziale del vapor acqueo, e consente di ottenere fra l'altro i valori di:

- fattore di resistenza all'umidità, μ : indica quante volte la resistenza del protettivo al passaggio

Tab. 1 - Caratteristiche dei protettivi e metodi di prova utilizzati

Caratteristica	Metodo di prova
Permeabilità al vapor d'acqua	Metodo DIN 52615.
Impermeabilità alla CO ₂	Metodo DIN 52615 modificato
Impermeabilità allo ione Cl ⁻	Metodo TEL
Aderenza al calcestruzzo	Adhesion tester ASTM
Resistenza all'irraggiamento UV	ASTM G 53 (QUV)
Resistenza all'abrasione	ASTM D 4060
Resistenza alla lacerazione	DIN 53515
Allungamento a rottura	UNI 8202 /8

del vapor d'acqua è maggiore di quella di uno strato d'aria calma dello stesso spessore; μ è una grandezza adimensionale e non dipende dallo spessore del protettivo;

- densità di flusso dell'umidità in g/m².d, attraverso lo strato di protettivo di spessore prescelto;
- $s_d = \mu \times s$; è lo spessore d'aria equivalente, cioè lo spessore d'aria in metri che equivale allo spessore applicato s (in metri) di protettivo .

Si è operato a 23°C, ad un'umidità relativa del 75%, in presenza di soluzione satura di NaCl; come supporto per il protettivo si è utilizzato un filtro Whatman CF/B in mat di vetro. Nella tabella 2 sono stati riportati i valori di μ e di s_d . Poiché lo spessore d'aria equivalente di 1 cm di calcestruzzo di buona qualità è pari indicativamente a 0,5 m d'aria, i valori di s_d indicati moltiplicati per 2 danno lo spessore di calcestruzzo (in cm) che offre la stessa resistenza alla permeazione del vapor d'acqua del protettivo esaminato

Permeabilità alla CO₂

Si è determinata secondo la Norma Din 53122, modificata per valutare l'assorbimento della CO₂

anziché del vapor d'acqua. In particolare come assorbente si è usato amianto sodato e come gas di contatto una miscela di aria e CO₂ nel rapporto 10/1. Nella Tabella 2 è riportato il valore della resistenza alla penetrazione μ , ed R , lo spessore d'aria equivalente per la CO₂, analogo ad s_d . Lo spessore d'aria equivalente per la permeazione della CO₂ di un calcestruzzo di buona qualità si può assumere pari a 5 m, perciò i valori di R divisi per 5 danno lo spessore di calcestruzzo (in cm) che offre la stessa resistenza alla permeazione della CO₂ del protettivo esaminato.

Permeabilità all'acqua liquida

Si è determinata secondo la Norma UNI 8505 parte 22 ma non è stata riportata in quanto nelle condizioni del test non si ha permeazione d'acqua.

Permeabilità allo ione Cl⁻

La prova è stata eseguita con il metodo messo a punto presso la Taywood Eng. Lim.² che consiste nel porre un filtro rivestito di una pellicola di protettivo come già descritto, come separazione tra due camere, contenenti la prima una soluzione satura di Ca(OH)₂ alla concentrazione di 5 moli/litro di CaCl₂ periodicamente rinnovata, e la seconda una soluzione satura di Ca(OH)₂. Ad intervalli definiti si è determinata la quantità di ione cloro passata da una camera all'altra e, raggiunta una permeazione a regime (in pratica protrahendo le prove fino a 72 giorni); il risultato è stato riportato in tabella in g/m².d .

Resistenza agli agenti atmosferici

E' stata misurata col metodo ASTM G 53, che prevede l'impiego di una camera con lampade UV (lunghezza d'onda 33 nm), con possibilità di formazione di condensa; si riportano, a tempi determinati di esposizione, variazioni di colore, di brillantezza, difetti del rivestimento (screpolature, raggrinzature ...) e variazioni di brillantezza misurate mediante glossmetro. In tabella 3 valori prossimi a zero indicano effetti nulli, i valori più elevati si riferiscono ad evidenti effetti di scolorimento e cambiamenti di tinta.

Resistenza all'abrasione

Si è misurata secondo lo standard ASTM D 4060 impiegando l'apparecchio Taber Abraser, con ruote

Tabella 2. Caratteristiche dei cicli protettivi

Sigla	Spessore del primer, μm	Primo strato, μm	Secondo strato μm
1AcNe		50	50
2AcEl	25	200	200
3EpNe	50	150	
4PoEl	50	400	
5PoNe	50	75	75
6PoEl	50	200	200
7AcNe		100	100
8AcEl	20	90	90
9EpNe	275	75	200
10		3 mani, 2,5 mm	
11Ac		2 mani, 2 mm	

CS 10 o CS 17. Nella tabella 3 sono riportati i valori di perdita in peso misurati.

Resistenza alla lacerazione

La resistenza alla lacerazione secondo Graves con intaglio (Norma DIN 53515) è il quoziente tra la forza che un provino di forma e dimensioni determinate oppone alla propagazione della lacerazione e lo spessore del provino (N/mm^2). Questa prova è simile alla Uni 8202/9, che però non

prevede l'intaglio. Le misure di resistenza alla lacerazione e di allungamento non sono state eseguite sui prodotti non elastici in quanto tali caratteristiche non sono richieste per l'impiego di questi prodotti.

Allungamento a trazione

E' stato misurato secondo UNI 5819, utilizzando provette di tipo 1 (fig. 2).

5.2. Materiali utilizzati

Nell'ambito della presente ricerca sono stati utilizzati una serie di 11 prodotti commerciali scelti con il criterio di rappresentare polimeri: Epossidici, Poliuretanic ed Acrilici, indicati successivamente con le loro iniziali (Ep, Po ed Ac) nelle sigle dei prodotti. I prodotti sono caratterizzati anche dalle loro caratteristiche di capacità di allungamento o meno (El o Ne nelle sigle) e dal tipo di ciclo (uso o meno di primer, strati di diversa composizione e spessori degli strati) così come suggerito dal produttore. Nella Tab. 2 vengono sintetizzate le caratteristiche dei diversi cicli; per i vari strati sono indicati gli spessori in micrometri. I cicli n. 10 e 11 sono costituiti da miscele di cemento e polimeri.

6. Risultati ottenuti e discussione

I risultati ottenuti nel corso delle prove sono riportati nella tabella 3. Allungamento e resistenza a trazione non sono stati misurati sui prodotti

Tabella 3. Risultati della sperimentazione

Protettivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Spessore, mm	.1	.43	.2	.45	.2	.45	.34	.2	.395	1.02	2
Resistenza alla CO_2 , μ ($\times 10^4$)	200	44.9	37	20	85	52.9	82.4	90	19	68.6	32.5
R (CO_2), m	200	193	74	90	170	238	280	180	75	70	65
Resist. al vapore d' H_2O , μ ($\times 10^4$)	1.5	0.51	3.4	1.1	1.8	.67	.88	.29	4.8	.39	.32
S_D (H_2O), m	1.5	2.2	6.8	5.0	3.6	2.7	3.0	0.6	17.4	4.0	6.4
Permeabilità ione Cl^- , $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	1.5	131	.9	5.2	1	6	67	63	0.2	27	18
Aderenza al calcstruzzo, N/mm^2	3.5°	1.7	3.5°	3.5°	2.9	3.5°	3.5°	2.0	3.5°	0.8	1.4
Resistenza all'irraggiamento UV	2.4	1.9	7.4	0.7	0.7	0.5	1	.2	11.2	1.1	8.2
Abrasione	-139		-100		-110		-106		-46	-88	-82
Res. Laceraz. N/mm^2		12.3		9		14		14		4	10
Allung. a Rottura, %		650		160		430		240		30	55

° Rottura del supporto

rigidi, mentre la resistenza all'abrasione non si è misurata sui prodotti elastici.

Nel grafico 1 sono riportati per ciascun ciclo i valori di R ed Sd; i valori ritenuti utilizzabili per i protettivi sono in genere ritenuti i seguenti: $R > 50$ per l'anidride carbonica e $S_D < 4$ per il vapor d'acqua. Sul grafico di fig 1 sono tracciate due rette in corrispondenza dei suddetti valori, individuando quattro quadranti di cui quello a destra in basso contiene i cicli accettabili.

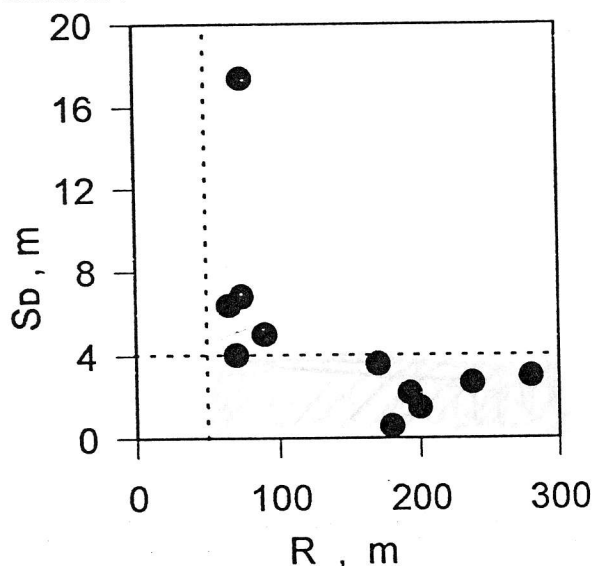


Fig. 1 - Idoneità dei protettivi

L'esame della tabella 3 consente di rilevare immediatamente che:

- le caratteristiche dei prodotti sono in genere sufficientemente evidenziate mediante le metodologie di prova impiegate, e tra i diversi prodotti si osservano differenze che possono raggiungere un ordine di grandezza;
- all'aumentare di una qualsiasi proprietà non corrispondono in genere variazioni regolari delle altre; le singole caratteristiche non sono cioè tra loro collegate;
- le misure di resistenza all'UV evidenziano le buone caratteristiche dei prodotti a base poliuretanica;
- la permeabilità ai cloruri evidenzia differenze molto pronunciate tra i diversi prodotti;
- diversi prodotti presentano buona aderenza, tale da superare la resistenza a trazione del calcestruzzo; ciò si verifica sia per i prodotti elastici che per i non elastici;
- la resistenza all'abrasione non varia molto per i diversi prodotti provati;
- la resistenza alla lacerazione varia poco mentre le caratteristiche di allungamento variano in modo molto pronunciato.

7. Conclusioni

La serie di prove scelte per la caratterizzazione dei rivestimenti protettivi per calcestruzzo, evidenzia il fatto che i diversi cicli protettivi commerciali presentano sempre alcune caratteristiche soddisfacenti accanto ad altre inadeguate. Ciò vale sia per le proprietà di barriera che per le proprietà meccaniche, che per quelle relative alla durabilità dei prodotti.

E' evidente che non in tutte le situazioni di impiego si richiedono prestazioni elevate per tutte le caratteristiche (ad esempio in un ambiente privo di cloruri l'impermeabilità a questo ione non è richiesta); gli autori della presente nota stanno mettendo a punto un sistema di classificazione dei tipi di aggressione ambientale e dei tipi di manufatto, che consenta di individuare quelle caratteristiche di un prodotto che risultano più importanti ai fini di un impiego determinato, in modo da poter adattare le prescrizioni agli ambienti di esercizio.

E' altresì evidente che l'industria dei protettivi dovrà tener conto di questi risultati ed affrontare il problema di formulazioni ottimizzate per ciascun ambiente di esercizio.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano esprimere loro ringraziamenti per la fattiva collaborazione all'impostazione ed all'esecuzione delle prove a: G. Familiari, M. Luminari, G. Peroni, I. Alverà, M. Paolini, R. Saccone, V. Degani, F. Meton

Bibliografia

- ¹ P.C. Hewlett "Methods of Protecting Concrete" in Coatings and Linings in Protection of Concrete, International Conference, Dundee 1992, pag 119
- ² P. C. Robery "Requirements of Coatings", Journal OCCA, 403, 12 (1988)