

## Rivestimenti protettivi del calcestruzzo contro aggressioni chimiche o fisico meccaniche particolarmente intense

Comunicazione di:

*Prof. Dott. Mario Collepari (\*)*

*Dott. Ing. Silvio Mauro Guella (\*\*)*

*Dott. Ing. Michele Valente (\*\*)*

### INTRODUZIONE

Attraverso una corretta scelta dei materiali si può confezionare un calcestruzzo durevole capace di resistere alle «normali» aggressioni dell'ambiente, di natura chimica (solfati, anidride carbonica, ecc.) o fisica (escursioni termiche e igrometriche). Esistono tuttavia particolari tipi di aggressioni chimiche (per esempio: acidi forti contenuti in acque di scarico industriale) o fisico-meccaniche (per esempio: urti ed abrasioni), alle quali anche il più durevole dei calcestruzzi non è in grado di resistere se non per un tempo relativamente breve. In questi casi è necessario proteggere il calcestruzzo con un rivestimento che sia di per sé resistente al particolare tipo di aggressione, oppure modificare radicalmente la composizione del conglomerato.

In questa memoria sono esaminati i più recenti metodi di preparazione di calcestruzzi «super durevoli», alcuni dei quali ancora in fase di ricerca.

### 1. CALCESTRUZZI RESISTENTI AGLI ATTACCHI CHIMICI

Se l'aggressione è di tipo chimico, come si può verificare, per esempio, nel trasporto di liquidi industriali, esistono sostanzialmente due metodi: il primo, ormai molto diffuso, consiste nel rivestire il calcestruzzo con resine epossidiche. Il secondo metodo, in avanzata fase di ricerca anche in Italia (1) ma soprattutto negli U.S.A. consiste nell'im-

pregnare il calcestruzzo indurito con monomeri a base di metilmetacrilato e stirene e nel far avvenire la polimerizzazione dentro il calcestruzzo.

#### 1.1. Calcestruzzi rivestiti con resine epossidiche

Le applicazioni delle resine epossidiche nel campo dell'ingegneria civile possono essere formalmente suddivise in due gruppi. Il primo comprende tutte quelle applicazioni nelle quali la resina esplica sostanzialmente una funzione protettiva del materiale rivestito da attacchi aggressivi particolarmente intensi (rivestimenti anticorrosivi, rivestimenti di pavimenti industriali, impermeabilizzazioni di strutture in calcestruzzo, ecc.). Al secondo gruppo appartengono le applicazioni nelle quali la resina esplica, invece, una funzione essenzialmente legante (adesivi per incollare elementi prefabbricati, leganti per gettare calcestruzzo fresco su calcestruzzo stagionato, materiale per iniezione e per ancoraggi, ecc.). Ovviamente, in funzione del particolare campo di impiego, oltre che delle condizioni climatiche e delle particolari esigenze costruttive, esistono diverse formulazioni a base di resina epossidica messe a punto da ditte specializzate nelle applicazioni di prodotti per l'uso. Le caratteristiche più importanti grazie alle quali le resine epossidiche hanno trovato una vastissima applicazione nel campo dell'ingegneria civile sono fondamentalmente:

1 - indurimento a temperatura ambiente; 2 - ritiro praticamente assente durante l'indurimento; 3 - ottime resi-

(\*) Istituto di Chimica Applicata ed Industriale, Facoltà di Ingegneria, Università di Roma.

(\*\*) Centro Ricerche Mac Master Builders, Treviso.

stenze meccaniche; 4 - eccellente adesione alla maggior parte dei materiali da costruzione; 5 - buona resistenza chimica all'aggressione di molte sostanze ed in particolare di acidi forti.

#### 1.1.1. Indurimento a temperatura ambiente

Molte altre resine termoindurenti grazie alla reazione di polimerizzazione sono gradualmente trasformate da liquidi più o meno viscosi in solidi più o meno rigidi. Nella maggior parte dei casi, la reazione avviene in un tempo ragionevolmente breve solo se i componenti iniziali sono portati a temperature relativamente elevate. Questo fatto limita l'impiego di molte resine soltanto alla produzione industriale di manufatti dove è possibile riscaldare i materiali e raggiungere agevolmente temperature superiori a quella ambiente. Le resine epossidiche, al contrario, presentano il vantaggio di indurire già a temperatura ambiente e questo particolare comportamento, unitamente alle ottime caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del materiale, è alla base della rapida e vasta diffusione delle resine epossidiche nel campo dell'ingegneria civile in generale, e dell'edilizia in particolare. Sebbene la velocità di indurimento sia dipendente da diversi fattori quali la temperatura, l'umidità, i quantitativi di materiale, l'inerte aggiunto, il tipo di resina e di indurente, ecc., si può orientativamente affermare che a 25°C dopo qualche ora il rivestimento liquido perde la sua caratteristica di appiccicosità superficiale, che dopo circa un giorno è duro e completamente asciutto, e che dopo circa una settimana la resina raggiunge la sua massima resistenza meccanica.

#### 1.1.2. Ritiro completamente assente durante l'indurimento

Le resine epossidiche sono essenzialmente costituite da due componenti entrambi liquidi: la resina vera e propria (ottenuta da epichloridrina e bisfenolo) e l'indurente (amine, poliammine, poliammidi, ecc.). Grazie ad una particolare reazione di polimerizzazione, detta poliaddizione, la miscela dei due componenti solidifica progressivamente, già a temperatura ambiente, senza dar luogo a prodotti volatili secondari (per esempio acqua) come avviene invece per altre resine termoindurenti (fenoliche, poliesteri, ecc.). La mancata formazione di sostanze volatili durante la polimerizzazione permette che l'indurimento della resina liquida su un supporto di altro materiale (acciaio, calcestruzzo, legno, ecc.) avvenga praticamente senza ritiro, consentendo così la formazione di un rivestimento compatto e privo di quelle tensioni normalmente riscontrabili nella maggior parte delle pitture tradizionali contenenti solventi. L'assenza di solventi, inoltre, offre il vantaggio di una grande sicurezza d'impiego durante l'applicazione, dal momento che vengono a mancare i pericoli di esplosione e di tossicità per il personale.

#### 1.1.3. Ottime resistenze meccaniche

E' difficile poter riassumere in poche righe le proprietà meccaniche ed elastiche delle resine epossidiche data la

molteplicità di fattori (tipo e rapporto relativo di resina e indurente, qualità e quantità della carica inerte, temperatura e umidità ambientale, ecc.) che influenzano le caratteristiche del materiale. In linea di massima si può però affermare con sicurezza che le proprietà meccaniche delle malte epossidiche sono decisamente superiori a quelle dei migliori manufatti cementizi. Nella Tabella 1 sono mostrate, a titolo di esempio, le caratteristiche meccaniche di una malta epossidica in confronto con quelle di un buon calcestruzzo.

TABELLA 1

Malta epossidica resina/sabbia = 1 : 4		Calcestruzzo
Resistenza a compressione	1.000 - 1.500 Kg/cm <sup>2</sup>	400 - 600 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione	200 - 300 Kg/cm <sup>2</sup>	50 - 70 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistenza a flessione	400 - 600 Kg/cm <sup>2</sup>	110 - 130 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo elastico	15 - 25 · 10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup>	30 - 40 · 10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup>

#### 1.1.4. Eccellente adesione alla maggior parte dei materiali da costruzione

E' questa una delle caratteristiche più importanti che sono alla base del successo delle resine epossidiche come adesivo per metalli, calcestruzzi, legno, materie plastiche, ecc. Per quanto concerne in particolare l'impiego della resina quale collante di elementi in calcestruzzo, è sufficiente menzionare che in un sistema formato da calcestruzzi legati da resina epossidica, e sottoposto a sollecitazioni di taglio, di trazione o di flessione, la rottura si verifica sempre all'interno del calcestruzzo e non riguarda mai l'interfaccia resina-calcestruzzo.

#### 1.1.5. Buona resistenza chimica all'aggressione di molte sostanze ed in particolare di acidi forti

Nelle strutture per le quali sia previsto l'attacco del calcestruzzo da parte di un acido — la qual cosa è abbastanza frequente nelle costruzioni destinate all'ingegneria industriale — si rende necessario proteggere il materiale mediante un rivestimento protettivo capace non solo di resistere all'attacco acido — e questo è un requisito che posseggono molti materiali polimerici — ma sia in grado anche e soprattutto di assicurare una duratura protezione grazie all'adesione al supporto ed all'assenza di tensioni esistenti nel polimero stesso. Quest'ultimo requisito, che come si è già detto, deriva dall'assenza pratica di ritiro durante la polimerizzazione, è di fondamentale importanza per la riuscita della protezione del supporto da parte di un rivestimento polimerico. Il successo conseguito dalle resine epossidiche nel campo dei rivestimenti protettivi deve proprio attribuirsi alla resistenza all'attacco di sostanze chimiche — acidi compresi — unitamente alle proprietà adesive del materiale ed all'assenza di ritiro durante l'indurimento.

## 1.2. Calcestruzzi impregnati con polimero (PIC)

I calcestruzzi impregnati con polimero, noti anche con il nome di PIC (Polymer Impregnated Concrete), sono sostanzialmente costituiti da calcestruzzi induriti, essiccati e/o evacuati, impregnati di monomero (metilmetacrilato, stirene, ecc.) e di catalizzatore (per es. perossido di benzole) e quindi sottoposti ad un processo di polimerizzazione mediante riscaldamento (60-80°C) o applicazione di energia radiante. In tal caso, a differenza di quanto avviene nel rivestimento superficiale del calcestruzzo con resine epossidiche, si può parlare di veri e propri materiali compositi nei quali la funzione legante è esplicata dal cemento idratato e dal monomero polimerizzato. I materiali PIC presentano caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche completamente diverse da quelle dei tradizionali conglomerati cementizi. È noto che la resistenza a compressione di un normale calcestruzzo mediamente è di circa 400 Kg/cm<sup>2</sup> e raramente supera i 600 Kg/cm<sup>2</sup>. Con i calcestruzzi impregnati è possibile superare i 1.500 Kg/cm<sup>2</sup> e raggiungere, in talune condizioni, i 3.000 Kg/cm<sup>2</sup> [1]. Poiché tutti i pori capillari della pasta cementizia vengono riempiti dal polimero, anche il comportamento al ritiro ed al fluage del calcestruzzo risulta radicalmente cambiato, nel senso che il materiale praticamente non risente né delle variazioni igrometriche dell'ambiente né, entro certi limiti, dei carichi applicati. Infine, ciò che più interessa in questa sede, il materiale PIC risulta del tutto e definitivamente protetto dagli attacchi di tutti gli agenti aggressivi naturali (solfati, anidride carbonica, sali magnesiaci, ecc.) e di gran parte di quelli provenienti da scarichi industriali (acidi, basi, sostanze organiche, ecc.), la protezione essendo stabilmente assicurata dal polimero che si può dire abbia « messo le radici » dentro il calcestruzzo stesso.

## 2. CALCESTRUZZI E MALTE RESISTENTI AGLI ATTACCHI FISICO MECCANICI

Se l'aggressione è di tipo fisico-meccanico come si verifica, per esempio, nelle pavimentazioni industriali o nei conglomerati per ancorare macchine vibranti, è necessario proteggere superficialmente il calcestruzzo con spolveri corazzanti o con speciali manti anti-usura, oppure impiegare particolari leganti espansivi per annullare il ritiro.

### 2.1. Calcestruzzi resistenti all'usura ed all'urto: pavimenti industriali

Il calcestruzzo destinato alle pavimentazioni industriali o civili è in genere più esposto al processo di degradazione per due ordini di motivi.

Al primo appartengono tutti i parametri intrinseci del materiale e della sua preparazione, al secondo i fattori esterni e tipici dell'ambiente in cui la struttura viene a trovarsi. Infatti, a causa della vibrazione che provoca il trascinarsi in superficie dell'acqua e delle particelle più leggere, la parte superficiale della struttura risulterà mec-

canicamente più debole. Inoltre, durante la stagionatura, la superficie del calcestruzzo è più facilmente esposta all'evaporazione dell'acqua che non le parti più interne e, a causa di ciò, si realizza mediamente un minor grado di idratazione del cemento e un maggior ritiro della pasta cementizia. Tutti i summenzionati fattori concorrono in misura più o meno determinante a seconda della composizione, della compattazione e della stagionatura del manufatto, nel provocare una struttura meccanicamente più debole in superficie, proprio dove il calcestruzzo per pavimentazioni è chiamato a sopportare le sollecitazioni più intense. Infatti è sulla superficie della pavimentazione che si vengono a realizzare sollecitazioni meccaniche singolari dovute ai sovraccarichi statici, all'abrasione, agli urti ed alle vibrazioni. La degradazione del materiale in superficie può essere ovviamente provocata dal concorso di altre cause di natura fisica o chimica, quali quelle provocate da variazioni termoisometriche ed ambienti aggressivi, i cui effetti finiranno con l'esaltare inevitabilmente quelli provocati dalle azioni dinamiche sopra menzionate.

La semplice applicazione dei principi fondamentali per preparare un calcestruzzo di buona qualità (basso rapporto acqua-cemento, inerti di adeguata distribuzione granulometrica, aggiunta di additivi riduttori di acqua di impasto e di acqua evaporabile, ecc.) non è in genere sufficiente a garantire la durezza del materiale, nei casi in cui le sollecitazioni dinamiche siano particolarmente intense e frequenti, come si verifica, per esempio, nelle pavimentazioni industriali dove i trasporti interni avvengono per mezzo di carrelli, e dove gli urti e i trascinarsi di oggetti duri e pesanti sulle pavimentazioni sono eventi da considerarsi sistematici piuttosto che accidentali. In questi casi si può verificare rapidamente la disgregazione del calcestruzzo, dovuta alla scheggiatura dell'inerte fragile e alla conseguente formazione di polvere abrasiva. Per prevenire la degradazione del pavimento si rende indispensabile il rinforzo della superficie mediante l'applicazione di spolveri corazzanti su un calcestruzzo fresco confezionato a regola d'arte e successivamente sottoposto a normale frattazzatura. La scelta del tipo di spolvero dipende principalmente dalla severità e dal tipo di sollecitazione dinamica cui la pavimentazione sarà sottoposta. Così, per esempio, gli inerti naturali duri, ma fragili, sono da considerare idonei solo se si deve migliorare la resistenza all'abrasione della pavimentazione. Se, invece, il pavimento è sottoposto contemporaneamente a sollecitazioni di abrasione e di urto, si rende indispensabile l'impiego di uno spolvero a base di inerti metallici duttili, notevolmente più resistenti all'abrasione e all'urto. L'impiego di spolveri a base di aggregati metallici per rinforzare superficialmente le pavimentazioni risale al 1936 [2], e da allora sono stati compiuti notevoli progressi tecnici per migliorare sia la qualità dei materiali, che le modalità di applicazione. La presenza, per esempio, di sostanze oleose sia pure in piccole quantità pregiudica l'aderenza pasta-aggregato metallico, mentre l'impiego di inerti contenenti particelle metalliche non ferrose (per esempio Al, Zn, ecc.) provoca la produzione di bolle superficiali a causa della formazione di idrogeno. Altri aspetti importanti dal punto di vista tecnologico sono il rapporto ottimale aggregato-cemento, la presenza di additivi per migliorare la lavorabilità e ridurre la segregazione, e i tempi di

applicazione dello spolvero in relazione alla presa del supporto in calcestruzzo.

Un'altra soluzione che può essere adottata, specialmente se si tratta di rinforzare pavimenti in calcestruzzo già indurito, è quella di applicare un rivestimento superficiale, dello spessore di qualche millimetro, costituito da un prodotto pronto all'uso — contenente cemento, additivi, fluidificanti, resine adesive e aggregati metallici — da mescolare con

acqua. La miscela, applicata a spruzzo o versata come mazzetta autolivellante sul pavimento, viene successivamente lisciata e finita mediante frattazzatura. Le resistenze meccaniche del prodotto indurito superano rispettivamente i 600 Kg/cm<sup>2</sup> a compressione e i 100 Kg/cm<sup>2</sup> a flessione. L'adesione al calcestruzzo sottostante è così elevata che nella prova a strappo la rottura avviene sempre nel calcestruzzo.

#### BIBLIOGRAFIA

[1] RIO A., S. BIGINI: « Progressi della tecnologia e delle prestazioni dei calcestruzzi cementizi impregnati con polimeri ». Atti dell'8° Congresso Internazionale del manufatto di cemento Stresa, (1975).

[2] SCRIPTURE E.W. Jr., S.W. BENEDICT, D.E. BRYANT: « Floor Aggregates », *Journal of the American Concrete Institute* 25 305, (1953).