

■ INCM ■ INISM ■ CISM ■

I CONVEGNO NAZIONALE SULLA SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI

Lerici (La Spezia)
2-4 Aprile 1997



■ INCM ■ INISM ■ CISM

Segreteria INCM
via C. Lombroso, 6/17 - 50134 Firenze
Tel. 055/410717 - Fax 055/410534
E-mail incm@chim1.unifi.it
Internet: <http://www.cineca.it/incm/incm.html>

ATTI

DALLA CHIMICA DEL CEMENTO ALLA SCIENZA E TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

Mario Collepardi
Dipartimento di Scienza dei Materiali e della Terra
Facoltà di Ingegneria - Università di Ancona

La chimica ha giocato un ruolo fondamentale nel progresso dell'industria del cemento e del calcestruzzo. Tuttavia, con l'avvento della scienza dei materiali il ruolo della chimica è stato progressivamente ridotto in favore di un approccio più globale basato sulla scienza e sulla tecnologia del calcestruzzo. L'approccio olistico - che è una pietra miliare in questa direzione - considera il calcestruzzo come una struttura nella sua interezza in relazione con l'ambiente e sottoposta alle sollecitazioni in servizio, piuttosto che un semplice provino di materiale da studiare in laboratorio.

Il pensiero razionale è diventato una caratteristica essenziale sia della scienza che della tecnologia: esso è lineare, analitico e riduzionistico. Tuttavia, secondo Capra, (1) un eccessivo **riduzionismo nella scienza** - cioè la riduzione di strutture e fenomeni complessi a parti segmentate per una loro migliore comprensione - può portare ad una frammentazione e ad una limitazione della conoscenza. L'**approccio olistico** - in opposizione a quello riduzionistico - è invece intuitivo, sintetico e non lineare. Il termine "olistico" (dal greco "olos") si riferisce allo studio di strutture e fenomeni complessi come sistemi integrati le cui proprietà non possono essere dedotte dalla somma delle proprietà delle parti costituenti.

Un modello olistico è già stato proposto da P.K. Metha (2) per studiare il degrado delle strutture in calcestruzzo provocato dai fenomeni più comunemente riscontrati negli ambienti aggressivi (acqua di mare, cicli di gelo-disgelo, sali disgelanti, reazione alcali-aggregati). In questo articolo, il modello olistico viene adottato per studiare uno dei più complessi fenomeni di degrado del calcestruzzo:

quello provocato da DEF (*delayed ettringite formation*). Questo tipo di degrado si è manifestato solo a partire dagli anni '80 ed inizialmente ha coinvolto soprattutto, ma non solo, le traversine ferroviarie in calcestruzzo. Il termine DEF viene usato per indicare un degrado del materiale basato sulla formazione di ettringite (un solfo-alluminato di calcio idrato) in ambienti privi di solfato, mentre normalmente il degrado del calcestruzzo associato alla formazione di ettringite è provocato dalla esposizione del materiale ad un ambiente che contiene solfati (acqua di mare, terreni gessosi, ecc.). Diversi ricercatori hanno adottato finora un approccio riduzionistico per spiegare il meccanismo di degrado da DEF, e ciascuno è arrivato ad una propria conclusione correlando il deterioramento con uno specifico meccanismo predominante. Inoltre, proprio per l'approccio riduzionistico, ogni ricercatore ha sovrastimato i propri risultati sperimentali sottovalutando o rigettando tutti gli altri ritenuti contraddittori o erronei. Ciascuna delle ipotesi finora disponibili non è in grado di dare una plausibile risposta alle seguenti tre domande:

1. Perché alcune strutture in calcestruzzo (per esempio le traversine ferroviarie) sono più vulnerabili dal degrado da DEF rispetto ad altre strutture prefabbricate o gettate in sito?
2. Perché il degrado da DEF è così erratico nel senso che, in condizioni apparentemente eguali, si manifesta solo in determinate ma non ancora comprensibili circostanze?
3. Perché il degrado da DEF ha cominciato a manifestarsi solo a partire dagli anni '80?

Adottando l'approccio olistico, viene proposto un nuovo modello per spiegare il degrado da DEF. Questo modello, che è basato sull'esperienza di campo dell'autore del presente articolo, come anche sui dati sperimentali di tutti gli altri ricercatori, è in relazione con una catena di tre eventi essenziali: **microfessurazione, rilascio ritardato del solfato ed esposizione all'acqua.**

Ciascuno dei tre eventi può essere, a sua volta, determinato da una o più possibili cause che verranno elencate più avanti. Prima viene esaminato, con l'ausilio della Fig. 1, l'approccio olistico al degrado da DEF in modo tale che nessun elemento che compone il complesso sistema venga

sottostimato o sopravvalutato. Ciascun angolo del triangolo della Fig. 1 corrisponde alla situazione del sistema quando solo uno dei tre summenzionati eventi può accadere, e questa situazione non rappresenta alcun rischio che il degrado da DEF possa avvenire.



Fig. 1 - Rappresentazione schematica del degrado da DEF in funzione del rilascio da solfato, della microfessurazione e dell'esposizione all'acqua.

Ciascun lato del triangolo equilatero della Fig. 1 rappresenta il sistema quando solo due eventi possono esistere in assenza dell'altro. In tal caso, di nuovo, non esiste alcun rischio per degrado da DEF. Per esempio in calcestruzzi microfessurati - ma non esposti all'acqua - il degrado da DEF non può avvenire anche se vi è una fonte (per esempio clinker) che può rilasciare del solfato. Infatti, in assenza di acqua il solfato e gli altri ioni reagenti (Al^{+3} e Ca^{+2}) non possono diffondere, attraverso la fase acquosa che riempie i pori della matrice cementizia, e migrare verso pre-esistenti microfessure dove avverrebbe la precipitazione di ettringite.

L'area nella zona del diagramma ternario corrisponde a situazioni di alto rischio per il degrado da DEF poiché tutti e tre gli eventi, indispensabili per questo fenomeno, possono avvenire: il **ritardato rilascio di solfato** (provocato da un clinker ricco di zolfo proveniente dal combustibile del forno di

cottura) può alimentare il deposito di ettringite all'interno di **microfessure** (provocate da precedenti fenomeni analizzati nel seguito) attraverso la diffusione degli ioni reagenti (Al^{+3} , Ca^{+2} , SO_4^{-2}) nella fase acquosa che satura il calcestruzzo per **esposizione all'acqua** ambientale in modo intermittente o continuo.

Sulla base del modello olistico proposto nel presente articolo, è possibile prevedere che, rimuovendo almeno uno dei tre summenzionati eventi, il degrado da DEF possa essere ridotto. In particolare, la protezione dall'acqua piovana (che apparentemente appare il rimedio più semplice e immediato) è allo stato attuale difficilmente proponibile per l'alto costo dei trattamenti idrofobizzanti o impermeabilizzanti. Tuttavia, esso può essere adottato nei casi di strutture nelle quali si siano già manifestati i primi segni di degrado da DEF al fine di rallentare o bloccare il processo di deterioramento e rinviare la sostituzione delle strutture degradate. Più realisticamente occorre prendere in considerazione, per le nuove strutture, la eliminazione delle microfessure e la diminuzione del solfato nel clinker del cemento. Il primo di questi trattamenti coinvolge soprattutto a progettazione delle strutture precomprese: per esempio, nel caso delle traversine ferroviarie, il progettista dovrebbe adottare tensioni più basse e soprattutto più uniformemente distribuite in relazione alle coesioni che si instaurano al momento della precompressione. Per quanto attiene il contenuto di solfato nel clinker, occorre da una parte ridurre il contenuto di zolfo nei combustibili e/o nei rifiuti organici che alimentano il forno di cottura, e dall'altra estendere l'impiego di aggiunte minerali (cenere volante, loppa d'alto forno e fumo di silice) che riducono il contenuto di clinker e conseguentemente quello del solfato in esso contenuto.

Bibliografia

- 1 Capra, F., "The Turning Point", Bantam New Age Books, 1983, 464 pp.
- 2 Mehta, P.K., "Concrete Technology at the Crossroads - Problems and Opportunities", Mohan Malhotra Symposium, pp 1-30, Editor P.K. Mehta, ACI SP - 144, 1994.