

CAUSE DI DEGRADO DELLE OPERE IN C.A.

Mario Collepardi, già Professore di "Scienza e Tecnologia dei Materiali" al Politecnico di Milano, attualmente Presidente ENCO srl

Le strutture in calcestruzzo, soprattutto quelle armate, sono vulnerabili e subiscono un lento ma inesorabile degrado per effetto delle interazioni chimico-fisiche con l'ambiente. Per la maggior parte delle strutture realizzate nel secolo scorso difficilmente la vita di servizio ha superato 50 anni senza dover subire almeno un restauro.

Oggi sono ben noti meccanismi delle cause di degrado e soprattutto i criteri che il progettista dovrebbe adottare per evitare un prematuro degrado delle strutture in c.a. Questi criteri sono stati recentemente classificati in forma di norme europee (EN 206), o di linee guida ministeriali, per facilitare appunto l'adozione di misure per prevenire il degrado da parte di progettisti (architetti ed ingegneri) anche se non specialisti nel settore del degrado delle opere in c.a.

Questi criteri, che riguardano le opere di nuova costruzione, sono ancor più importanti nella scelta dei materiali che debbono essere impiegati nel restauro delle opere degradate per non incorrere nuovamente nello stesso errore: *errare humanum est, perseverare diabolicum*. Questi criteri, che hanno quindi guidato la messa a punto delle malte della linea GALILEO e delle loro tecnologie applicative, vengono sinteticamente illustrate nel seguito.

Gli ambienti ai quali le strutture in c.a. sono esposti nella loro vita di servizio sono suddivisi in *classi di esposizione* a seconda della tipologia. Nella Tabella 1 sono mostrate le varie classi di esposizioni ed il loro codice alfa numerico composto dalla lettera X, seguita da un'altra lettera (C, S, F, A) e quindi da un numero che può andare da 1 fino a 4. Per esempio la classe di esposizione XC corrisponde ad ambienti esposti all'aria dove la presenza di anidride carbonica (CO₂) può creare delle condizioni di rischio per l'azione corrosione delle armature metalliche. Esistono quattro sotto-classi di esposizione (XC1, XC2, XC3, XC4) che indicano ambienti con un rischio di corrosione crescente delle armature. Inizialmente le barre di armatura, immerse nella matrice cementizia originale caratterizzata da un'elevata basicità (Ph > 13), sono immuni da qualsiasi corrosione a causa della formazione di una pellicola sottilissima di ossido che riveste le barre di acciaio: i corrosionisti parlano della formazione di uno sottile strato *passivante* che protegge l'acciaio dalla corrosione.

Questo strato protettivo, purtroppo, scompare (si parla di *depassivazione*) quando il copriferro viene penetrato dalla CO₂ dell'aria (*carbonatazione*) che trasforma l'idrossido di calcio presente nel calcestruzzo in calcare e quindi provoca un abbassamento del Ph da 13 a 9. In queste condizioni l'umidità e l'ossigeno dell'aria sono in grado di trasformare l'acciaio in ruggine (corrosione) con conseguente riduzione della sezione utile nei ferri di armatura.

Il processo di depassivazione ed il conseguente processo di corrosione nelle condizioni di carbonatazione più aggressive (XC4) che corrispondono alle strutture esposte all'aria ed alla pioggia, possono essere rallentati nelle nuove costruzioni adottando questi due specifici provvedimenti:

- rapporto acqua/cemento del calcestruzzo non superiore a 0,50;

- spessore del copriferro non inferiore a 40 mm per le opere in c.a. e 45 mm per le opere in c.a.p.

La ragione del primo vincolo dipende dall'influenza del rapporto acqua/cemento sulla matrice cementizia presente nel calcestruzzo: questa diventa meno porosa e quindi meno penetrabile dall'aria umida (O₂, H₂O, CO₂) quanto più basso è il rapporto acqua/cemento.

La ragione del secondo vincolo è da mettere in relazione con l'allungamento del cammino che si impone all'aria per attraversare il copriferro prima di arrivare ai ferri di armatura. Insieme i due vincoli rendono più lento il processo della carbonatazione e più lungo il percorso così che possa essere garantita almeno una vita di servizio di 50 anni prima che la depassivazione dei ferri possa iniziare.

Se la struttura è esposta all'ambiente marino (classe di esposizione XS) il rischio di corrosione dei ferri di armatura aumenta per la maggiore velocità di penetrazione dei sali a base di cloruro presente nell'acqua di mare e soprattutto per il maggiore effetto corrosivo degli ioni cloruro. Pertanto nelle costruzioni in c.a. da erigere in ambienti marini (XS1, XS2, XS3) occorre prescrivere un rapporto acqua/cemento più basso ed un copriferro più spesso. Per esempio in costruzioni portuali esposte direttamente all'acqua di mare (XS2) o ai suoi spruzzi (XS3) il rapporto acqua/cemento non deve superare 0,45 e lo spessore di copriferro non deve essere inferiore a 50 mm per opere in c.a. o a 55 mm per opere in c.a.p.

In ambienti corrispondenti alla classe di esposizione *XF4* , cioè esposti in servizio al trattamento con cloruro di sodio per sciogliere il ghiaccio nella stagione invernale (come si verifica per le opere stradali, autostradali ed aeroportuali) è necessario che la composizione del calcestruzzo sia modificata rispetto a quella prevista per le opere marittime anch'esse esposte alla penetrazione del cloruro: infatti nella classe di esposizione *XF4* occorre anche tener conto delle alternanze termiche sopra e sotto 0°C (cicli di gelo-disgelo) ed opporsi a queste sollecitazioni fisiche mediante l'inglobamento di micro-bolle di aria (diametro 200-300 μ m) che hanno il ruolo di allentare le sollecitazioni dirompenti provocate dalla formazione del ghiaccio.

Infine, per le opere esposte nella classe di esposizione *XA* (terreni o acque aggressive per la presenza di solfati, o di sali ammoniacali e magnesiaci) oltre alla scelta di un rapporto acqua/cemento non superiore al valore di 0,45 per le condizioni più aggressive (*XA3*), occorre anche impiegare cementi speciali che siano in grado di resistere meglio agli attacchi chimici di questi sali e di quelli solfatici in particolare al fine di evitare la formazione di prodotti pericolosi come l'ettringite e/o la thaumasite.