

Il recupero del calcestruzzo

GRANDE PROTAGONISTA DELL'ARCHITETTURA MODERNA E CONTEMPORANEA, IL CALCESTRUZZO HA MOSTRATO IN PIÙ OCCASIONI SEGNI PRECOCI DI DEGRADO. TANTE LE CAUSE A PARTIRE DALLA MANCATA CORRETTEZZA DEL COPRIFERRO, ALL'INQUINAMENTO DELL'AMBIENTE FINO ALL'ASSENZA IN MOLTI CASI DELLA PROTEZIONE SUPERFICIALE. NELL'ARTICOLO TUTTE LE CAUSE, LE TECNICHE DI RISANAMENTO E I MATERIALI.

Ventesimo e ventunesimo secolo possono essere considerati per l'architettura i secoli del calcestruzzo. Il materiale maggiormente scelto dai progettisti per le sue poliedriche potenzialità. Sotto l'aspetto architettonico, è stata molto apprezzata la sua capacità plastica che dà ampia libertà espressiva nel modellare spazi e volumi. A livello tecnico, è stata invece sfruttata la sua versatilità per realizzare elementi strutturali con diverso comportamento meccanico. Tutto questo soddisfacendo anche evidenti esigenze pratiche di economicità e facilità di produzione e applicazione. L'enorme quantità di opere prodotte in calcestruzzo, e la differente qualità del prodotto, hanno però spesso evidenziato la sua inadeguatezza sotto il profilo della durabilità.

Considerato a torto un materiale eterno, il calcestruzzo ha invece svelato una vulnerabilità inaspettata. Un materiale che

sembrava mantenere inalterate nel tempo le sue prestazioni, ha invece mostrato in alcuni casi segni di precoce degrado.

Una delle cause di questo fenomeno anche se probabilmente, non quella principale è l'aggressione chimica, dovuta all'inquinamento ambientale e alle condizioni di esercizio. Infatti, la grande esperienza accumulata nella produzione del calcestruzzo non si è purtroppo tradotta in modo automatico in cultura tecnica, e la qualità del calcestruzzo in opera è progressivamente peggiorata, rendendo necessario il ripristino del materiale degradato su strutture sempre più recenti, quando non addirittura già riparate.

Il progetto di ripristino di un'opera in calcestruzzo deve quindi essere finalizzato a ristabilire la funzionalità della struttura e ad aumentarne l'affidabilità nel tempo. E le modalità di intervento possono essere definite solo dopo aver individuato le cause di

degrado, attraverso l'esecuzione di appropriate indagini in sito e in laboratorio. La conoscenza del fenomeno in atto consente di scegliere i materiali più idonei e le tecniche di intervento più appropriate a ogni specifico contesto. Infine, ma non ultima per importanza, una corretta e accurata esecuzione di tutte le fasi operative è la condizione necessaria per ottenere un ripristino efficace e durevole nel tempo.

Il degrado

Il degrado del calcestruzzo è un fenomeno che avviene a causa dell'interazione che si stabilisce fra la struttura e l'ambiente. La patologia comincia a manifestarsi dopo una fase d'innescio in cui il materiale si mantiene apparentemente inalterato, periodo che può essere più o meno lungo, a seconda della presenza di agenti aggressivi chimici, il verificarsi di particolari fenomeni fisico-meccanici (terremoti, ecc.) e la negligenza umana. Inoltre, la durabilità del calcestruzzo è pesantemente influenzata dalla sua qualità intrinseca, che potrebbe essere definita con opportune prescrizioni progettuali ed esecutive.

La caratteristica fisica che meglio descrive la vulnerabilità del calcestruzzo è la permeabilità; gli agenti aggressivi penetrano, infatti, all'interno della struttura proprio attraverso le porosità del materiale. La permeabilità è determinata dal rapporto acqua-cemento in quanto i pori capillari, nella pasta cementizia, si formano con l'evaporazione dell'acqua d'impasto.

La curva granulometrica dell'aggregato può essere scelta in modo tale da ridurre il dosaggio in cemento, contenendo la richiesta in acqua. Inoltre, a parità di composizione, l'impiego di additivi riduttori d'acqua consente di ottenere calcestruzzi lavorabili più omogenei e compatti. Infine, l'aggiunta di materiale pozzolanico nell'impasto favorisce una parziale occlusione delle capillarità, grazie all'estrema finezza delle sue particelle.

Tuttavia, una migliore qualità delle opere in calcestruzzo può essere definita già nella fase progettuale, seguendo le Linee Guida sul Calcestruzzo strutturale, pubblicate dalla Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP, che fanno riferimento alle linee guida europee EN 206-1 e alle istruzioni complementari per la loro applicazione, contenute nella UNI 11104, di recente emanazione. Le indicazioni contenute individuano alcuni parametri per la composizione del calcestruzzo in funzione dell'aggressione ambientale cui è soggetta la struttura. A ogni modo, per garantire la durabilità è necessaria anche una corretta esecuzione del getto. Infatti, per effetto di una carente compattazione, si possono formare difetti macroscopici, quali vespai e nidi di ghiaia. È quindi necessario prescrivere, volta per volta, la lavorabilità necessaria in funzione della complessità dell'opera, considerando il tipo di attrezzatura e di manodopera disponibili in cantiere. Lo spessore minimo del copriferro, già indicato per ciascuna classe d'esposizione nelle linee guida, deve essere garantito su



tutta l'estensione della struttura. Infine, la stagionatura del calcestruzzo deve essere sufficientemente lenta per evitare la formazione di fessurazioni superficiali e per consentire la completa idratazione del cemento, indispensabile per limitare le porosità capillari.

I processi di degrado possono essere inizialmente diagnosticati con il riconoscimento di alcune manifestazioni caratteristiche; tuttavia, le alterazioni visibili possono essere comuni ad altre patologie o differenziarsi secondo lo stadio. In ogni caso, la conferma della diagnosi visiva si ottiene solo con i risultati di analisi qualitative e/o quantitative da svolgere in sito o in laboratorio. Le alterazioni che si osservano con maggior frequenza possono essere suddivise in base al tipo di aggressione, secondo lo schema classico delle cause di degrado.

Agenti chimici naturali o industriali

- **La carbonatazione** è un processo dovuto alla permeazione dell'anidride carbonica all'interno del calcestruzzo. L'idrossido di calcio presente si trasforma in carbonato di calcio mentre il pH del materiale si abbassa, favorendo il processo di corrosione dell'armatura. La ruggine che si forma può idratarsi in presenza di umidità, aumentando il proprio volume; questo fenomeno provoca dapprima il sollevamento, quindi il distacco del copriferro in corrispondenza dell'armatura. La diagnosi si effettua prelevando una carota di calcestruzzo, sulla quale si esegue una prova colorimetrica con fenolftaleina; ciò consente anche di determinare la profondità di penetrazione della carbonatazione. Con questo metodo, è possibile diagnosticare la patologia ancor prima che compaiano le manifestazioni visibili del degrado.

- **L'azione dei solfati** si esplica prevalentemente in ambiente industriale o inquinato, a contatto con acque marine o selenitose, o per l'errato impiego di materie prime non idonee. Alcuni componenti del calcestruzzo possono reagire con gli ioni-solfato, dando origine alla formazione di ettringite e/o thaumasite. Questi composti, ben più voluminosi di quelli di partenza, provocano



LE PIÙ DIFFUSE TECNICHE DI INTERVENTO

Protezione dei ferri d'armatura

La protezione dei ferri d'armatura si realizza applicando uno strato protettivo volto a garantirne una maggiore durabilità. Una reazione alcalina garantisce la "passivazione" dell'armatura e le consente di mantenersi inalterata anche quando il calcestruzzo circostante si degrada per effetto della carbonatazione o dei cloruri. La protezione può essere applicata, a scopo preventivo, anche sui ferri eventualmente aggiunti in occasione del ripristino. Il fissaggio della nuova armatura, e dell'eventuale rete di contrasto, deve essere efficace e sicuro. Il protettivo deve garantire l'azione di inibizione alla corrosione e manifestare un'ottima adesione sia alle armature metalliche, sia alla malta cementizia del copriferro. Per il fissaggio delle armature al calcestruzzo può essere utilizzata una pasta a base di resina poliestere che soddisfa sia le richieste di sicurezza che di velocità nell'esecuzione.

Ripristino strutturale di alti spessori mediante getto in cassero

Il ripristino mediante getto in cassero è indicato quando il progetto prevede la realizzazione di notevoli spessori, anche maggiori di 6 centimetri, e in particolar modo quando l'armatura aggiunta rende difficile un'omogenea distribuzione del materiale da ripristino.

Qualora le condizioni di esercizio della struttura siano ad alto rischio di corrosione per le armature, o quando si renda conveniente l'eliminazione della rete di contrasto, è possibile impiegare una malta con fibre sintetiche strutturali che migliorano le prestazioni delle strutture soggette anche a sollecitazioni dinamiche, quali ad esempio i carichi d'urto.

Negli interventi mediante getto in cassero è necessario impiegare un prodotto a consistenza superfluida per facilitarne la distribuzione in tutto il volume da realizzare. È anche importante la scelta della dimensione massima dell'aggregato, in funzione dello spessore da realizzare. Il materiale deve garantire un'efficace adesione sia al supporto che all'armatura, l'assenza di ritiro e di fessurazioni e un'elevata durabilità agli agenti aggressivi.

Ripristino strutturale di medi spessori mediante rinzafo

L'intervento consiste nel ricostituire lo strato di copriferro degradato mediante l'applicazione, a cazzuola o a spruzzo, di una malta fixotropica a ritiro compensato. Questo metodo è idoneo per la riparazione di superfici relativamente estese, dove sia necessaria l'applicazione

di spessori variabili, compresi tra 2 e 6 centimetri circa. Specialmente nel caso di ripristino di alti spessori, è possibile impiegare una malta con fibre strutturali sintetiche quando vi è alto rischio di corrosione per le armature, o qualora si renda conveniente l'eliminazione della rete di contrasto. Le fibre di polivinilalcol migliorano le prestazioni delle strutture soggette anche a sollecitazioni dinamiche. La malta da ripristino deve garantire innanzitutto un'efficace adesione al supporto, oltre a una elevata durabilità agli agenti aggressivi. Per evitare distacchi dal calcestruzzo esistente e la formazione di lesioni capillari, sono indispensabili caratteristiche quali: buona adesione all'acciaio e al calcestruzzo, stabilità volumetrica, assenza di fessurazioni da ritiro plastico, modulo elastico e coefficiente di dilatazione termica simili a quello del calcestruzzo. Per assicurare una buona durabilità è invece richiesta la resistenza alla carbonatazione e ai cicli di gelo-disgelo, oltre alla impermeabilità a cloruri e solfati.

Ripristino corticale

L'intervento si realizza quando il calcestruzzo è soggetto a degrado superficiale, che si manifesta con l'asportazione della sola pasta cementizia. La riparazione si esegue mediante l'applicazione di un sottile strato di regolarizzazione, costituito da una rasatura a base cementizia. La malta da rasatura deve garantire innanzitutto un'ottima adesione al supporto e una buona resistenza agli agenti atmosferici e agli inquinamenti; deve inoltre assicurare un aspetto estetico adeguato alla funzionalità della struttura.



un degrado progressivo in cui si individuano tre livelli: una fessurazione diffusa e indifferenziata, la comparsa di rigonfiamenti sulla superficie, il distacco e lo sfaldamento dello strato corticale. Anche in questo caso, l'analisi qualitativa o quantitativa dei solfati presenti, a diverse profondità, consente di diagnosticare il processo in atto e la causa del degrado.

- **L'azione dei cloruri** si verifica prevalentemente sulle strutture situate in ambiente marino o soggette all'uso di sali disgelanti, ma è possibile anche quando non siano stati operati controlli sulle materie prime per il confezionamento del calcestruzzo. Gli ioni-

cloruro provocano direttamente la corrosione dell'armatura; la diagnosi si esegue valutando, in modo qualitativo o quantitativo, la presenza dei cloruri a diverse profondità. In questo modo è anche possibile determinare la causa del degrado in base alla loro distribuzione all'interno della struttura.

- **Il dilavamento** avviene sulle strutture soggette a contatto con acque ricche di anidride carbonica, come ad esempio quelle montane. L'idrossido di calcio viene trasformato in carbonato, e successivamente in bicarbonato, sale molto solubile in acqua e quindi facilmente dilavabile. Il degrado si manifesta con una

parziale asportazione della pasta cementizia superficiale, mentre lascia gli aggregati sostanzialmente inalterati. La diagnosi si effettua in base all'analisi visiva del calcestruzzo e alla valutazione quantitativa dell'aggressività delle acque dilavanti.

Fenomeni fisici

Il degrado provocato dai cicli di gelo-disgelo si manifesta sulle strutture situate in zona montana, dove le temperature oscillano attorno a zero gradi; il fenomeno avviene quando il calcestruzzo è umido, con percentuali prossime alla saturazione. Il degrado si manifesta prevalentemente con la polverizzazione della pasta cementizia; se la struttura è soggetta all'uso di sali disgelanti, si possono verificare anche fessurazioni e distacchi superficiali. La diagnosi si basa sull'osservazione del degrado e sulla verifica delle condizioni igrotermiche ambientali; per un'ulteriore conferma, l'analisi petrografica può mettere in evidenza l'assenza di microbolle d'aria nella pasta cementizia e l'eventuale presenza di aggregati gelivi.

Azioni meccaniche

I fenomeni di abrasione, erosione e cavitazione sono dovuti all'azione di usura esercitata da agenti di tipo diverso; nel primo caso l'attrito è causato da polveri più dure del calcestruzzo, mentre nei due successivi è dovuto all'acqua in movimento. Un incremento della resistenza all'usura del calcestruzzo si ottiene migliorando la qualità della superficie, in termini sia di compattezza e omogeneità, che di resistenza meccanica.

Il degrado causato dall'azione degli urti è dovuto alla caratteristica di fragilità, propria del calcestruzzo. Esso può subire una vera e propria frantumazione quando è sottoposto a cariche esplosive, cavitazione o carichi dinamici in genere. L'impiego di calcestruzzo rinforzato con fibre strutturali sintetiche aumenta la capacità di dissipare energia, migliorando notevolmente la resistenza agli urti del materiale. L'aumento dei carichi di esercizio e le azioni sismiche possono provocare il dissesto delle strutture. In questo caso è necessaria una preventiva valutazione della capacità portante residua, un nuovo calcolo delle strutture e un adeguamento delle opere in calcestruzzo per adattare alle nuove condizioni di carico.

Le fasi del ripristino

Per garantire l'efficacia e la durabilità della riparazione, è indispensabile che alla scelta di prodotti idonei al ripristino segua una loro corretta e scrupolosa applicazione. Tutte le fasi dell'intervento devono essere prescritte dettagliatamente nelle specifiche di capitolato ed essere eseguite in cantiere a regola d'arte. In particolare, non deve essere sottovalutata l'importanza di operazioni apparentemente secondarie quali, ad esempio, la preparazione del sottofondo, essenziale per ottenere un risultato di successo.



Rimozione del cls ammalorato

Tutto il calcestruzzo degradato deve essere rimosso fino al raggiungimento del materiale sano. L'asportazione può essere eseguita con diversi metodi: scarificazione, idrodemolizione, sabbiatura. La scelta del sistema da impiegare dipende dall'estensione della superficie da ripristinare, dal grado di alterazione del calcestruzzo e dalla qualità della superficie che si desidera ottenere.

Pulizia e protezione dei ferri di armatura

L'armatura che rimane a vista dopo l'asportazione del calcestruzzo degradato, presenta di solito fenomeni di corrosione più o meno profonda. La pulizia dei ferri deve rimuovere completamente la ruggine esistente: eventuali residui possono, infatti, subire fenomeni di rigonfiamento in presenza di umidità, e favorire quindi l'innescio di un nuovo processo di degrado. I migliori risultati si ottengono mediante sabbiatura, ma un buon esito è garantito anche eseguendo un'accurata pulizia mediante spazzole di acciaio.

Posa di armatura aggiuntiva e rete di contrasto

Il progetto può prevedere l'aggiunta di armatura nel caso la struttura necessiti un adeguamento strutturale ai nuovi carichi di esercizio, ovvero se un severo stato di degrado avesse seriamente danneggiato le armature esistenti. In questo caso, dopo un'accurata valutazione del diametro residuo dei ferri, può essere ravvisata la necessità di una sua integrazione mediante saldatura. La rete di contrasto, se prevista, deve essere fissata al supporto mediante chiodatura, avendo cura di impiegare anche opportuni distanziatori che garantiscano la realizzazione di un



copriferro a spessore costante.

Pulizia del supporto

Sul calcestruzzo degradato possono essere presenti parti incoerenti più o meno fini, come polvere, sali o residui della parte superficiale già rimossa mediante scarificazione. La pulizia della superficie deve eliminare tutto questo materiale per assicurare una buona adesione dei prodotti da ripristino. L'operazione può essere eseguita mediante lavaggio del supporto con acqua in pressione.

Saturazione del supporto

Per l'applicazione di prodotti a base cementizia è indispensabile che la superficie del calcestruzzo sia ben bagnata. L'acqua di impasto dei materiali da ripristino può infatti essere assorbita dal sottofondo asciutto e, oltre a non garantire una buona aderenza al supporto, impedendo una corretta idratazione del cemento in fase di presa, compromette la qualità della malta e favorisce la formazione di fessure superficiali. La saturazione del supporto avviene mediante abbondante lavaggio con acqua in pressione. Le fasi di pulizia e di saturazione del sottofondo possono coincidere se il lavaggio viene effettuato appena prima dell'applicazione del materiale da ripristino.

Applicazione dei materiali da ripristino

Le riparazioni devono essere eseguite applicando i prodotti prescritti nelle specifiche di capitolato, secondo le modalità ivi previste; queste ultime possono variare in funzione della tecnica d'intervento scelta dal progettista. I materiali devono comunque essere confezionati e applicati seguendo rigorosamente le raccomandazioni riportate nelle schede tecniche del produttore.

Stagionatura

La stagionatura è una fase importante dell'intervento di ripristino perché durante l'evaporazione dell'acqua di impasto possono formarsi fessurazioni e cavillature superficiali. I prodotti speciali per il ripristino sono confezionati con specifici additivi che evitano la comparsa di questi difetti anche in assenza di specifici

accorgimenti. Tuttavia, in condizioni di particolare ventilazione e di forte esposizione solare, può rendersi necessaria una stagionatura umida o l'applicazione di una pellicola superficiale antievaporante. Anche in questa fase, è comunque necessario seguire rigorosamente le raccomandazioni riportate nelle schede tecniche di ciascun prodotto impiegato.

Finitura, protezione superficiale e impermeabilizzazione

La qualità superficiale di una struttura in calcestruzzo può essere uniformata o anche migliorata a fini puramente estetici. L'applicazione di un'opportuna rasatura garantisce la regolarizzazione della superficie e la realizzazione di uno specifico aspetto decorativo, definito in funzione della finezza dell'impasto e del colore. Ma va anche detto che la finitura e la protezione sono fondamentali per garantire qualità, prestazioni e durata nel tempo del manufatto, per assicurarne un prolungamento delle prestazioni iniziali. A maggiore ragione, è opportuno uniformare le caratteristiche superficiali di una struttura già riparata, proteggendola dall'insorgere di ulteriori fenomeni di degrado. L'intervento si realizza mediante applicazione di prodotti pellicolari che impediscono la penetrazione degli agenti aggressivi oppure con malte speciali impermeabilizzanti per resistere al contatto con l'acqua. È indispensabile conoscere con precisione le condizioni di esercizio della struttura per individuare l'agente di degrado più attivo e scegliere il prodotto che offra la maggior garanzia di protezione. I protettivi pellicolari devono garantire: buona adesione al calcestruzzo, ottima durabilità agli agenti aggressivi ambientali, buona impermeabilità all'acqua accompagnata da un'adeguata permeabilità al vapore acqueo ed eventualmente resistenza alla carbonatazione. Le malte dovranno invece assicurare l'impermeabilità in determinate condizioni di esercizio ed eventualmente garantire resistenza all'usura, atossicità al contatto con acqua potabile, alta deformabilità per applicazioni su supporti microlesionati, elasticità e flessibilità paragonabili alle membrane impermeabilizzanti bituminose o in gomma.

