PROTEZIONE E RIPARAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il giorno 21 novembre 2014 presso la sede del Collegio dei Geometri e Geometri Laureati di Roma si è svolto il seminario "Sistemi innovativi per il restauro durabile di strutture in calcestruzzo" con relatori il dott. R. Rosignoli, arch. P. Simeone, Ing. S. Maringoni, geom. P. Meroni della soc. Tecnochem Italiana s.p.a.

L'apertura dei lavori è stata preceduta da una breve introduzione del consigliere Giuseppe Gretter, del geom. Giacomo Moretti e del consigliere nazionale Marco Nardini presente all'evento formativo.

Il seminario ha esaminato la norma UNI EN 1504 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo – Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità" nelle parti 2 - Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo, parte 3 - Riparazione strutturale e non strutturale, parte 9 - Principi generali per l'uso dei prodotti e dei sistemi con attenta valutazione delle analisi di degrado delle strutture, le tecniche e la strumentazione atta alla effettuazione di analisi e verifiche dei motivi di degrado.

Si è proceduto ad un excursus di casi di interventi realizzati su strutture fortemente degradate mediante l'analisi delle cause dei degradi e le modalità operative di ripristino del calcestruzzo.

In questo inserto viene analizzata in tutti i suoi aspetti la norma UNI EN 1504, quale valido strumento normativo per i professionisti che operano nel risanamento delle strutture di calcestruzzo, siano esse grandi opere che piccoli interventi di risanamento di singoli elementi quali frontalini, travi e/o pilastri, che può guidare sia la fase progettuale che la fase realizzativa mediante schemi e schede in esso contenuti.

IL RISANAMENTO DELLE STRUTTURE IN C.A.

La norma UNI EN 1504 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo – Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità", definisce le procedure e le caratteristiche dei prodotti da utilizzare per la riparazione, manutenzione e protezione delle strutture in calcestruzzo. Nell'inserto l'analisi della norma nelle dieci parti che la compongono, al fine di mettere il professionista in condizione di redigere una accurata progettazione dell'intervento di risanamento di strutture in calcestruzzo.

GIACOMO MORETTI

Molto spesso i professionisti dell'area tecnica impegnati nel mondo dell'edilizia si trovano ad effettuare interventi di progettazione e/o a dirigere lavori che riguardano il risanamento di strutture in calcestruzzo.
E, molto spesso, l'approccio a questo tipo di intervento si basa, prevalentemente, solo sulla eliminazione del materiale degradato con l'applicazione di boiacche cementizie e malte da ripristino, spesso senza aver effettuato una attenta analisi delle cause che hanno determinato l'insorgenza dei fenomeni di degrado e senza applicare gli adeguati prodotti protettivi alle strutture risanate.

La norma UNI EN 1504 - "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo – Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità", definisce le procedure e le caratteristiche dei prodotti da utilizzare per la riparazione, manutenzione e protezione delle strutture in calcestruzzo.

La norma si compone di dieci parti:

- UNI EN 1504-1:2005: Definizioni
- UNI EN 1504-2:2005: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
- UNI EN 1504-3:2006: Riparazione strutturale e non strutturale
- UNI EN 1504-4:2005: Incollaggio strutturale
- UNI EN 1504-5:2005: Iniezione del calcestruzzo
- UNI EN 1504-6:2007: Ancoraggio dell'armatura di acciaio
- UNI EN 1504-7:2007: Protezione contro la corrosione delle armature
- UNI EN 1504-8:2005: Controllo delle qualità e valutazione delle conformità
- UNI EN 1504-9:2008: Principi generali per l'uso dei prodotti e dei sistemi
- UNI EN 1504-10:2005: Applicazione in opera di prodotti, sistemi e controllo di qualità dei lavori.

Lo scopo della norma UNI EN 1504 è quello di fornire gli strumenti per poter progettare ed eseguire gli interventi di ripristino delle strutture in calcestruzzo con la finalità di garantire una maggiore durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, mediante l'adozione di provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.
Perché la necessità di conoscere, studiare ed utilizzare la UNI EN 1504 nelle dieci parti che la compongono?
Il D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" al punto 8.6 Materiali cita: *"Gli interventi su strutture esistenti* ***devono essere effettuati*** *con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap.12."*
E il capitolo 12 cita: *"Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:*

- *Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le prescrizioni riportate nelle Appendici Na-*

zionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- *Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;*
- *Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI".*

Come si diceva prima, al fine di redigere una accurata progettazione dell'intervento di risanamento di strutture in calcestruzzo è necessario effettuare:
1. valutazione delle condizioni delle strutture;
2. identificazione delle cause di deterioramento;
3. decisione degli obiettivi della protezione e della riparazione;
4. scelta del/dei principio/i di protezione e riparazione appropriato/i;
5. scelta dei metodi;
6. definizione delle proprietà dei prodotti e dei sistemi;
7. specifica dei requisiti di manutenzione in seguito alla protezione e alla riparazione.

Contrariamente a quanto si può pensare le dieci parti che compongono la norma non sono numerate in una progressione che metta in principio l'analisi e la progettazione degli interventi, tanto che la parte che si occupa della valutazione dei difetti delle strutture, degli obiettivi della protezione e della riparazione, dei principi e metodi correlati ai difetti del calcestruzzo e la scelta dei prodotti e dei sistemi è la norma UNI EN 1504-9.

Iniziamo ad analizzare la norma UNI EN 1504-9, proprio con il punto 4.3 che cita:

4.3 Valutazione dei difetti e delle loro cause

È necessario effettuare una valutazione sui difetti della struttura di calcestruzzo, sulle cause di tali difetti e sulla capacità della struttura di calcestruzzo di svolgere la propria funzione.

La valutazione deve comprendere, tra l'altro, quanto segue:

a) la condizione attuale della struttura di calcestruzzo esistente, compresi i difetti non a vista e quelli potenziali;
b) l'approccio della progettazione originale;
c) l'ambiente, compresa l'esposizione alla contaminazione;
d) le condizioni durante la costruzione (incluse le condizioni climatiche);
e) la storia della struttura del calcestruzzo;
f) le condizioni d'uso (per esempio il carico);
g) i requisiti per l'uso futuro della struttura di calcestruzzo.

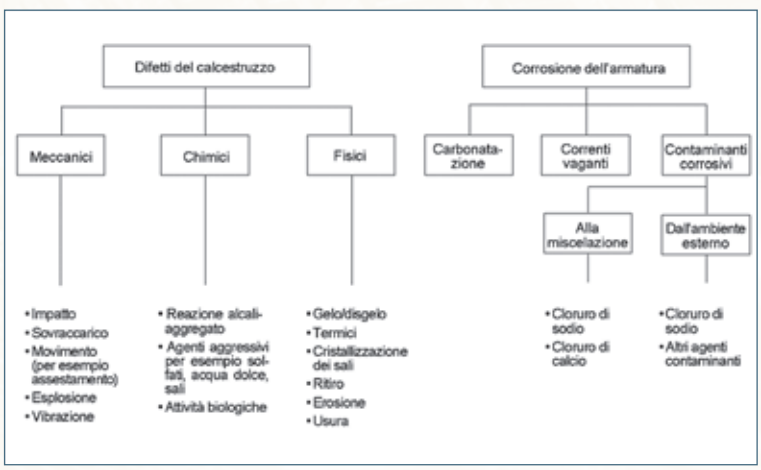
La natura e le cause dei difetti, comprese le combinazioni di più cause, devono essere identificate e registrate. ***Molti difetti derivano da una progettazione, da specifiche e da un'esecuzione inadeguate, nonché dai materiali.***

I risultati dell'indagine, una volta completata, devono essere validi nel momento in cui i lavori di protezione o riparazione vengono progettati ed eseguiti. Se, a causa del tempo trascorso o per qualsiasi altra ragione, esistono dei dubbi in merito alla validità dell'indagine, una nuova valutazione deve essere effettuata.

L'entità approssimativa e la possibile velocità di incremento dei difetti devono essere quindi valutate. Deve essere fatta una stima dell'epoca in cui gli elementi della struttura di calcestruzzo avranno raggiunto la fine della durata progettuale se non vengono applicate misure di protezione o riparazione (diverse dalla manutenzione dei sistemi esistenti).

Nella tabella accanto vengono indicate le principali cause del degrado delle strutture in calcestruzzo.

Alcune cause che determinano i difetti del calcestruzzo



CORROSIONE DELL'ARMATURA

La carbonatazione

Spesso in fase di realizzazione delle strutture in calcestruzzo si può notare come i ferri di armatura siano già arrugginiti prima ancora di essere posizionati e gettati.

In realtà la patina sottile che ricopre le armature è una pellicola che le protegge. Dopo il getto, grazie al PH del cemento nelle

prime fasi di vita (all'incirca di 12,5-12), si ha un fenomeno rilucente del ferro che ne migliora le caratteristiche e in pratica lo rende passivato. Con il tempo l'anidride carbonica reagisce con l'idrossido di calcio presente nella malta generando carbonato di calcio ed acqua:

$CO2+Ca(OH)2 \rightarrow CaCO3+H20$

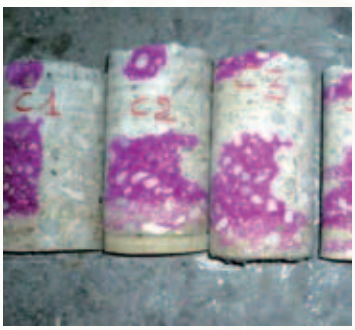
Effetti della carbonatazione sul cemento:
- Abbassamento del PH (8,5), quindi esposizione delle armature alla corrosione;
- Contrazione della pasta, quindi fessurazione,
- Aumento della resistenza e della durezza del cemento.

Quindi la carbonatazione non ha un effetto direttamente negativo sul cemento (ne aumenta le prestazioni) ma favorisce la corrosione dell'acciaio.

Determinare lo spessore dello strato carbonatato

E' possibile determinare la profondità di carbonatazione con esame visivo dell'elemento, con test colorimetrico con soluzione all'1% di fenolftaleina in alcool etilico. Le carote devono essere spaccate secondo piani normali alla superficie di esposizione e, dopo essere state pulite dalle polveri, vanno spruzzate con una soluzione di fenolftaleina all'1% in alcool etilico. La fenolftaleina vira al rosso al contatto con materiale a pH > 9,2 (calcestruzzo sano) e rimane incolore per valori di pH inferiori.

Prove su carote di calcestruzzo effettuate con fenolftaleina



Contaminanti corrosivi

Si parla principalmente di cloruro di sodio e cloruro di calcio che possono essere presenti nei materiali che compongono la miscela del prodotto o per penetrazione.

La presenza di cloruri nella soluzione dei pori del calcestruzzo può indurre un attacco corrosivo localizzato (pitting) sulle armature. L'attacco ha luogo quando la concentrazione di ioni cloruro nella soluzione dei pori a contatto con la superficie dell'acciaio raggiunge un valore di soglia sufficiente per rompere il film di passività (contenuto critico di cloruri). Il rischio di corrosione da cloruri è associato alla penetrazione dei cloruri attraverso il copriferro. La corrosione per pitting si innesca quando la penetrazione dei cloruri è tale da portare al raggiungimento del tenore critico alla superficie delle armature e, quindi, alla profondità pari allo spessore del copriferro. Il periodo di innesco della corrosione dipende quindi dalla velocità di penetrazione dei cloruri, dal contenuto critico e dallo spessore di copriferro. Nella pratica, tuttavia, la valutazione del tempo di innesco è un'operazione complessa, a causa di un gran numero di variabili che influenzano sia la cinetica di penetrazione dei cloruri sia il contenuto critico.

La penetrazione dei cloruri dipende innanzitutto dalla microstruttura del calcestruzzo.

La riduzione della porosità capillare del calcestruzzo prodotta dalla diminuzione del rapporto acqua/cemento e da una adeguata stagionatura del calcestruzzo

Attacco localizzato per pitting su una barra d'armatura rimossa da un calcestruzzo contaminato con cloruri

porta ad una diminuzione della velocità di ingresso dei cloruri. Di particolare interesse è anche l'aggiunta al cemento portland di elevate percentuali di pozzolane o di loppa d'altoforno che possono ridurre drasticamente la velocità di penetrazione dei cloruri.

L'attacco corrosivo prodotto dai cloruri è di tipo localizzato. Quando si innesca la corrosione per pitting si crea un ambiente molto aggressivo all'interno dell'attacco localizzato, mentre il film passivo viene rafforzato sulla superficie esterna.

La velocità di penetrazione degli attacchi localizzati può raggiungere valori molto elevati (fino a 1 mm/anno in calcestruzzo umido e con elevato contenuto di cloruri) così che in un tempo relativamente breve si può produrre una riduzione inaccettabile della sezione resistente dell'armatura.

(tratto da *La corrosione delle armature nel calcestruzzo e la sua prevenzione,* prof. Luca Bertolini, Politecnico di Milano)

La corrosione dell'acciaio

L'ossidazione dell'acciaio favorisce l'aumento del proprio volume fino a 5 volte. L'aumento di volume crea forti pressioni laterali che riescono a lesionare il calcestruzzo e, con un processo degenerativo, ad espellere il copriferro, e le armature non più protette subiscono gli attacchi degli agenti atmosferici ed arrugginiranno rapidamente andando a diminuire la loro sezione resistente.

Armatura di un pilastro fortemente ossidata con riduzione delle sezioni ed espulsione del copriferro

Nelle opere di consolidamento, specie per beni di valore storico, si utilizza acciaio inox (che ha un costo superiore di 4 volte circa dell'acciaio ordinario). Anche l'acciaio inox arrugginisce, però ha un aumento di volume molto ridotto.

Reazione alcali-aggregati

La reazione alcali-aggregati è una delle cause che possono compromettere la durabilità delle strutture in calcestruzzo.

Gli alcali presenti nel cemento in misura minore possono interagire con alcune tipologie di aggregati con particolare composizione mineralogica.

Potremmo avere delle reazioni a seconda della presenza dei seguenti aggregati:

- reazione alcali-silice in presenza di aggregato di silice amorfa;
- reazione alcali-silicato in presenza di aggregato costituito da silicati-polifasici;
- reazione alcali-carbonato in presenza di aggregati dolomitici.

Il processo chimico deriva da una reazione tra gli ioni ossidrili associati agli alcali presenti nel cemento e gli aggregati che dà luogo a prodotti espansivi.

Il risultato della reazione è la formazione di un gel di silicati alcalini sulla superficie dei granuli il quale imbevendosi di acqua aumenta di volume sviluppando una pressione tra i granuli e la pasta di cemento.

L'espansione si verifica quando il calcestruzzo ha già fatto presa ed è in fase di indurimento, e l'aumento di pressione intergranulare può dar luogo a rigonfiamenti localizzati e fessurazioni nel calcestruzzo, con conseguente degrado dello stesso.

OBIETTIVI DELLA PROTEZIONE E DELLA RIPARAZIONE

Questo punto specifica i fattori di base riguardanti la progettazione, la vita di servizio, il costo durante l'uso, la manutenzione e l'entità di ulteriori riparazioni, che devono essere presi in considerazione al momento della scelta delle opzioni di protezione e riparazione.

Opzioni

Le seguenti opzioni devono essere prese in considerazione nel decidere l'intervento appropriato per corrispondere ai futuri requisiti di durata della struttura:

a) non fare nulla per un certo periodo di tempo;
b) riesame della capacità strutturale, che può portare ad un possibile declassamento della funzione della struttura di calcestruzzo;
c) prevenzione o riduzione di ulteriore deterioramento, senza miglioramento della struttura di calcestruzzo;
d) miglioramento, rafforzamento o rimessa a nuovo, per intero o in parte, della struttura di calcestruzzo;
e) ricostruzione, per intero o in parte, della struttura di calcestruzzo;
f) demolizione della struttura di calcestruzzo, in tutto o in parte.

FATTORI DA CONSIDERARE AL MOMENTO DELLA SCELTA DELLE OPZIONI

Fattori generali

a) L'uso previsto, la vita di progetto e la vita di servizio della struttura di calcestruzzo;
b) i requisiti prestazionali (compresa, per esempio, la resistenza al fuoco e l'impermeabilità);
c) le prestazioni a lungo termine prevedibili per i lavori di protezione o riparazione;
d) la disponibilità di opportunità di protezione, riparazione e monitoraggio addizionali;
e) il numero ed il costo dei cicli di riparazione accettabili nell'ambito della vita di progetto della struttura di calcestruzzo;
f) il costo ed il finanziamento delle opzioni alternative di protezione o riparazione, compresi i costi futuri di manutenzione ed accesso;
g) le proprietà ed i possibili metodi di preparazione del substrato esistente;
h) l'aspetto della struttura di calcestruzzo protetta o riparata.

Salute e sicurezza

a) Le conseguenze del cedimento strutturale della struttura di calcestruzzo;
b) i requisiti sanitari e di sicurezza;
c) l'impatto delle operazioni di riparazione sugli occupanti o utenti della struttura di calcestruzzo e sul pubblico.

Strutturali

a) Il cambiamento possibile o necessario degli aspetti dinamici o altre azioni dirette durante o dopo la protezione o la riparazione;
b) i mezzi mediante i quali verranno trasportati i carichi durante o dopo la protezione o la riparazione;

c) le future necessità di ispezione e manutenzione.

Ambientali

a) L'ambiente futuro della struttura di calcestruzzo e l'eventuale possibilità di modificarlo localmente;
b) la necessità o l'opportunità di proteggere la struttura di calcestruzzo, per intero o in parte, dalle intemperie, dall'inquinamento, dagli spruzzi salini, ecc., compresa la protezione del substrato, durante il lavoro di riparazione.

Scelta dell'intervento appropriato

Per la protezione o la riparazione delle strutture di calcestruzzo, in conformità alla presente norma europea sperimentale, devono essere scelti dei metodi che:

a) siano appropriati al tipo, alla causa o alla combinazione di cause ed all'entità dei difetti;
b) siano appropriati alle future condizioni di servizio;
c) siano appropriati all'opzione di protezione o di riparazione che è stata scelta;
d) siano conformi ai principi di cui al punto 6 della presente norma europea sperimentale;
e) possano essere impiegati uti-

Principi e metodi correlati ai difetti del calcestruzzo

PRINCIPIO N.	PRINCIPIO E SUA DEFINIZIONE	METODI BASATI SUL PRINCIPIO
Principio 1 [PI]	**Protezione contro l'ingresso** Riduzione o prevenzione dell'ingresso di agenti aggressivi, per esempio acqua, altri liquidi, vapore, gas, agenti chimici e biologici.	**1.1 Impregnazione** Applicazione di prodotti liquidi che penetrano nel calcestruzzo e chiudono il sistema di pori. **1.2 Rivestimento superficiale con la capacità o meno di fare da ponte sulle fessure** **1.3 Fasciatura locale delle fessure[1]** **1.4 Riempimento delle fessure** **1.5 Trasformare le fessure in giunti[1]** **1.6 Costruzione di pannelli esterni[1-2]** **1.7 Applicazione di membrane[1]**
Principio 2 [MC]	**Controllo dell'umidità** Regolazione e mantenimento del contenuto dell'umidità del calcestruzzo entro un campo di valori specificato.	**2.1 Impregnazione idrofobica** **2.2 Rivestimento della superficie** **2.3 Protezione o rivestimento[1-2]** **2.4 Trattamento elettrochimico[1-2]** Applicazione di una differenza di potenziale tra le parti del calcestruzzo per favorire oppure ostacolare il passaggio di acqua attraverso il calcestruzzo (non per il calcestruzzo armato senza valutazione del rischio di corrosione indotta).
Principio 3 [CR]	**Ripristino del calcestruzzo** Ripristino del calcestruzzo originale di un elemento della struttura nella forma ed alla funzione specificate originariamente. Ripristino della struttura di calcestruzzo mediante sostituzione di una parte.	**3.1 Applicazione della malta a mano** **3.2 Nuovo getto di calcestruzzo** **3.3 Spruzzo di calcestruzzo o malta** **3.4 Sostituzione degli elementi**
Principio 4 [SS]	**Rafforzamento strutturale** Aumento o ripristino della capacità di carico strutturale di un elemento della struttura di calcestruzzo.	**4.1 Aggiunta o sostituzione delle barre di armatura di acciaio interne o esterne** **4.2 Installazione di barre annegate in fori preformati o realizzati al trapano nel calcestruzzo** **4.3 Collegamento mediante piastre** **4.4 Aggiunta di malta o calcestruzzo** **4.5 Iniezione nelle fessure, nei vuoti o negli interstizi** **4.6 Riempimento delle fessure, dei vuoti o degli interstizi** **4.7 Precompressione (post-tensionamento)[1]**
Principio 5 [PR]	**Resistenza fisica** Aumento della resistenza agli attacchi fisici o meccanici.	**5.1 Strati esterni o rivestimenti** **5.2 Impregnazione**
Principio 6 [RC]	**Resistenza ai prodotti chimici** Aumento della resistenza della superficie di calcestruzzo nei confronti del deterioramento da attacco chimico.	**6.1 Strati esterni** **6.2 Impregnazione**

[1] Questi metodi possono far uso di prodotti e sistemi non coperti dalle norme della serie EN 1504.
[2] L'inclusione dei metodi della presente norma europea sperimentale non implica la loro approvazione.

lizzando prodotti e sistemi che siano conformi alle norme della serie EN 1504 o ad ogni altra norma europea o Benestare Tecnico Europeo pertinente.

Le norme della serie EN 1504 specificano i valori e le classi di accettazione per la scelta dei prodotti e dei sistemi.

Principi di protezione e riparazione

I principi nei prospetti 1 e 2 sono basati su leggi della chimica o della fisica che consentono la prevenzione o la stabilizzazione dei processi di deterioramento chimico e fisico del calcestruzzo o dei processi di corrosione elettrochimica sulla superficie dell'acciaio.

I metodi nei prospetti 1 e 2 che fanno uso dei principi sono indicati come esempio: altri metodi, la cui conformità al principio possa essere dimostrata, possono essere utilizzati.

Le specifiche per l'applicazione dei metodi sono indicate nella EN 1504-10. Le conseguenze indesiderabili dell'applicazione di un particolare metodo in certe circostanze devono essere valutate.

Principi e metodi correlati ai difetti del calcestruzzo

I principi da 1 a 7 nel prospetto che segue coprono i difetti del calcestruzzo o delle strutture di calcestruzzo causati dai seguenti fattori, singolarmente o in combinazione:

a) azioni meccaniche, per esempio impatto, sovraccarico, movimento dovuto all'assestamento, scoppio;
b) azioni chimiche e biologiche dell'ambiente;
c) azioni fisiche, per esempio effetto del gelo-disgelo, fessure di origine termica, movimenti igrometrici, cristallizzazione dei sali ed erosione.

Principi e metodi correlati alla corrosione dell'armatura

I principi da 7 a 11 nel prospetto che segue riguardano la corrosione dell'armatura dovuta a:

a) perdita fisica del copriferro protettivo del calcestruzzo;
b) perdita chimica di alcalinità nel copriferro protettivo del calcestruzzo come risultato della reazione con l'anidride carbonica atmosferica (carbonatazione);
c) contaminazione del copriferro protettivo del calcestruzzo da parte di agenti corrosivi (solitamente ioni cloruro) che sono stati incorporati nel calcestruzzo con i componenti della miscela o che sono penetrati in esso dall'ambiente;
d) correnti elettriche vaganti condotte o indotte nell'armatura da impianti elettrici adiacenti.

In presenza di rischio di corrosione, la protezione e la riparazione

Principi e metodi correlati alla corrosione dell'armatura

PRINCIPIO N.	PRINCIPIO E SUA DEFINIZIONE	METODI BASATI SUL PRINCIPIO
Principio 7 [RP]	**Conservazione e ripristino della passività** Creazione delle condizioni chimiche in cui la superficie dell'armatura viene mantenuta o riportata ad una condizione di passività.	**7.1 Aumento del copriferro con aggiunta di malta di cemento o calcestruzzo** **7.2 Sostituzione del calcestruzzo contaminato o carbonatato** **7.3 Rialcalinizzazione elettrochimica del calcestruzzo carbonatato[1)]** **7.4 Rialcalinizzazione del calcestruzzo o carbonatato mediante diffusione** **7.5 Estrazione elettrochimica dei cloruri[1)]**
Principio 8 [IR]	**Aumento della resistività** Aumento della resistività elettrica del calcestruzzo.	**8.1 Limitazione del contenuto di umidità mediante trattamenti di superficie, rivestimenti o ripari**
Principio 9 [CC]	**Controllo catodico** Creazione delle condizioni in cui le aree potenzialmente catodiche dell'armatura sono impossibilitate ad una reazione anodica.	**9.1 Limitazione del contenuto di ossigeno (al catodo) mediante saturazione o rivestimento della superficie[2)]**
Principio 10 [CP]	**Protezione catodica**	**10.1 Applicazione di un potenziale elettrico[1)]**
Principio 11 [CA]	**Controllo delle aree anodiche** Creazione delle condizioni in cui le aree potenzialmente anodiche dell'armatura sono impossibilitate a prendere parte alla reazione di corrosione.	**11.1 Verniciatura dell'armatura con rivestimenti contenenti pigmenti attivi** **11.2 Verniciatura dell'armatura con rivestimenti di barriera** **11.3 Applicazione di inibitori al calcestruzzo[1)2)]**

[1] Questi metodi possono far uso di prodotti e sistemi non coperti dalle norme della serie EN 1504.
[2] L'inclusione dei metodi della presente norma europea sperimentale non implica la loro approvazione.

si baseranno sui principi indicati qui di seguito. Dove la corrosione dell'armatura è già in atto, oppure esiste un rischio di corrosione futura, uno o più dei principi per la protezione o la riparazione della corrosione, numerati da 7 a 11 nel prospetto (v. pag. 17), costituiranno le basi di qualsiasi metodo si rendesse necessario. In aggiunta a quanto sopra, il calcestruzzo stesso deve essere riparato, dove necessario, in conformità ai principi da 1 a 6 (v. pag. 16).
La norma UNI EN 1504-2 definisce i sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo.
È necessario comprendere le diverse tipologie di sistemi di protezione come definitivi e schematizzati dalla norma stessa che così definisce:

Impregnazione idrofobica
Trattamento del calcestruzzo finalizzato ad ottenere una superficie idrorepellente. I pori e le capillarità sono rivestiti internamente, ma non riempiti. Non vi è alcuna pellicola sulla superficie del calcestruzzo e l'aspetto varia poco o niente. Composti attivi possono essere, per esempio, i silani o silossani.

Rappresentazione schematica di una tipica impregnazione idrofobica

impregnazione
Trattamento del calcestruzzo finalizzato a ridurre la porosità della superficie e a rinforzare la superficie. I pori e le capillarità sono parzialmente o totalmente riempiti. Questo trattamento produce generalmente una pellicola sottile, discontinua sulla superficie del calcestruzzo.
Leganti possono essere, per esempio, i polimeri organici.

Rappresentazione schematica di una tipica impregnazione

rivestimento
Trattamento finalizzato ad ottenere uno strato protettivo continuo sulla superficie del calcestruzzo. Lo spessore è generalmente da 0,1 mm a 5,0 mm. Applicazioni particolari possono richiedere uno spessore maggiore di 5 mm.
Leganti possono essere, per esempio, polimeri organici, polimeri organici con cemento come filler o cemento idraulico modificato con lattice polimerico.

Rappresentazione schematica di un tipico rivestimento

Selezione dei prodotti o sistemi appropriati
Il sistema di protezione superficiale deve essere selezionato sulla base di una valutazione delle cause di deterioramento effettivo o potenziale e considerando i principi e metodi più appropriati per la protezione e riparazione specificati nella ENV 1504-9. Il processo che conduce alla scelta dei prodotti e sistemi può essere descritto brevemente come segue:
a) valutazione delle sollecitazioni, dei difetti e dei danni, loro classificazione e determinazione delle loro cause;
b) sulla base della valutazione dovrebbe essere scelto il (i) "principio (i)" per la protezione e riparazione della struttura di calcestruzzo;
c) una volta definito (i) il (i) "principio (i)" deve essere scelto il "metodo" (impregnazione idrofobica, impregnazione e rivestimento) appropriato a soddisfare uno o più principi.
d) se necessarie per determinati impieghi previsti sulla base della diagnosi, possono essere selezionate ulteriori caratteristiche dei prodotti o sistemi da impiegare.

Non potendo pubblicarle tutte per esigenze di spazio, segnaliamo l'importanza delle tabelle "Caratteristiche prestazionali per i prodotti e sistemi di protezione superficiale correlati ai "principi" e "metodi" definiti nella ENV1504-9" contenute nella norma UNI EN 1504-2 che forniscono le indicazioni per la scelta del tipo di protezione da realizzare.

MODALITÀ DI RIPARAZIONE STRUTTURALE E NON STRUTTURALE

La norma UNI EN 1504-3 definisce le modalità di riparazione strutturale e non strutturale.
Questa parte della UNI EN 1504 si occupa delle malte e calcestruzzi utilizzati per il restauro e/o la sostituzione di calcestruzzo deteriorato e dei prodotti per la protezione delle armature, al fine di aumentare la durabilità strutture di calcestruzzo degradate.
Questa parte prende in considerazione i numeri 3, 4 e 7 degli 11 principi descritti nella UNI EN 1504-9:

Principio 3
Ripristino del calcestruzzo
3.1 Applicazione a mano della malta
3.2 Nuovo getto di calcestruzzo o malta
3.3 Spruzzo di calcestruzzo o malta

Caratteristiche prestazionali dei prodotti di riparazione strutturali e non strutturali per tutti gli impieghi previsti e per determinati impieghi previsti

Caratteristiche prestazionali	**Principio di riparazione**			
		3	4	7
	Metodo di riparazione			
	3.1, 3.2	3.3[a)]	4.4	7.1, 7.2
Resistenza a compressione	•	•	•	•
Contenuto di cloruri[b)]	•	•	•	•
Legame di aderenza	•	•	•	•
Ritiro/espansione impediti[c)]	•	•	•	•
Durabilità a) Resistenza alla carbonatazione[b) d)]	•	•	•	•
Durabilità b) Compatibilità termica Parte 1 o Parte 2 o Parte 4 della EN13687 [e)]	0	0	0	0
Modulo di elasticità	0	0	•	0
Resistenza allo slittamento[f)]	0		0	0
Coefficiente di espansione termica[c) g)]	0	0	0	0
Assorbimento capillare (permeabilità all'acqua) [e) h)]	0	0	0	0

I metodi di riparazione sono definiti nella ENV1504-9:1997.
3.1 Restaurazione del calcestruzzo mediante applicazione a mano di malta.
3.2 Restaurazione del calcestruzzo mediante nuovo getto di calcestruzzo.
3.3 Restaurazione del calcestruzzo mediante proiezione di malta o calcestruzzo.
4.4 Consolidamento strutturale mediante aggiunta di malta o calcestruzzo.
7.1 Aumento del copriferro con aggiunta di malta cementizia o calcestruzzo.
7.2 Sostituzione di calcestruzzo contaminato o carbonatato.
• Per tutti gli impieghi previsti.
0 Per determinati impieghi previsti.
a) La natura del metodo di applicazione può determinare il cambiamento di alcuni metodi di prova. Fare riferimento alla EN14487 -1.
b) Questo requisito non è pertinente alla riparazione di calcestruzzo non armato.
c) Se sottoposto a cicli termici, questa prova aggiuntiva non è richiesta.
d) Qualora il sistema di riparazione includa un sistema di protezione superficiale con comprovate caratteristiche di protezione contro la carbonatazione (vedere la EN1504-2) o sia una malta PC, questa prova non è pertinente.
e) Secondo le condizioni di esposizione ambientale.
f) Pertinente solo per le aree trafficate.
g) Pertinente solo per PC.
h) La resistenza alla corrosione rientra nei requisiti del contenuto di cloruro e della permeabilità all'acqua del prodotto.

Principio 4
Rinforzo strutturale
4.4 Aggiunta di malta o di calcestruzzo

Principio 7
Conservazione e ripristino della passività
7.1 Aumento del copriferro con aggiunta di malta o calcestruzzo
7.2 Sostituzione del calcestruzzo contaminato o carbonatato

Le malte per i ripristini vengono suddivise in quattro classi dalla norma UNI EN 1504-3:
- R1 e R2 per malte non strutturali;
- R3 e R4 per malte strutturali.

Il progettista dell'intervento deve pertanto considerare che le malte per gli interventi di ripristino delle strutture di calcestruzzo devono possedere le caratteristiche minime richieste dalla norma e pertanto scegliere i prodotti più adatti al tipo di intervento da realizzare.
I produttori classificano le malte secondo le caratteristiche prestazionali ottenute dopo averle sottoposte a prove tecniche.
La norma infine stabilisce che *"Per i prodotti di riparazione da impiegare in **elementi soggetti a requisiti per il fuoco**, il produttore deve dichiarare la classe di reazione al fuoco del prodotto di riparazione. Per i prodotti di riparazione contenenti fino all'1% in massa o in volume (il valore più elevato dei due) di materiali organici omogeneamente distribuiti, la dichiarazione può essere della Classe di reazione al fuoco A1 senza necessità di prove.*
I prodotti di riparazione induriti contenenti più dell'1% in massa o in volume (il valore più elevato dei due) di materiali organici omogeneamente distribuiti, devono essere classificati in accordo alla EN 13501-1 e deve essere dichiarata la classe di reazione al fuoco appropriata".

Per ultimo, ma non per questo meno importante, facciamo un riassunto della parte 10 della norma UNI EN 1504 che tratta l'applicazione in opera di prodotti, sistemi e controllo di qualità dei lavori. Ci vengono fornite sia le modalità operative per la preparazione del calcestruzzo e per la applicazione delle malte sia per la effettuazione delle verifiche e controlli.

Preparazione del calcestruzzo
7.2.1 Generalità
Il calcestruzzo debole, danneggiato e deteriorato, o dove necessario il calcestruzzo sano, deve essere rimosso in accordo al principio e al metodo scelti dalla ENV 1504-9.
La pulitura, se necessaria, deve

Requisiti prestazionali per prodotti di riparazione strutturali e non strutturali

Punto n.	Caratteristica prestazionale	Substrato di riferimento (EN1766)	Metodo di prova	Requisito			
				Strutturale		Non strutturale	
				Classe R4	Classe R3	Classe R2	Classe R1
1	Resistenza a compressione	Nessuno	EN12190	≥45 MPa	≥25 MPa	≥15 MPa	≥10 MPa
2	Contenuto ioni cloruro	Nessuno	EN1015-17	≤0,05%		≤0,05%	
3	Legame di aderenza	MC(0,40)	EN1542	≥2,0 MPa	≥1,5 MPa	≥0,8 MPa[a]	
4	Ritiro/espansione impediti[b) c)]	MC(0,40)	EN12617-4	Forza di legame dopo la prova [d) e)]			Nessun requisito
				≥2,0 MPa	≥1,5 MPa	≥0,8 MPa[a]	
5	Resistenza alla carbonatazione[f)]	Nessuno	EN13295	d_k ≤ calcestruzzo di controllo [MC(0,45)]		Nessun requisito[g)]	
6	Modulo elastico	Nessuno	EN13412	≥20 GPa	≥15 GPa	Nessun requisito	
7	Compatibilità termica[f) h)] Parte 1, gelo-disgelo	MC(0,40)	EN13687-1	Forza di legame dopo 50 cicli [d) e)]			Ispezione visiva dopo 50 cicli[e)]
				≥2,0 MPa	≥1,5 MPa	≥0,8 MPa	
8	Compatibilità termica[f) h)] Parte 2, Temporali	MC(0,40)	EN13687-2	Forza di legame dopo 30 cicli [d) e)]			Ispezione visiva dopo 30 cicli[e)]
				≥2,0 MPa	≥1,5 MPa	≥0,8 MPa[a]	
9	Compatibilità termica[f) h)] Parte 4, Cicli a secco	MC(0,40)	EN13687-4	Forza di legame dopo 30 cicli [d) e)]			Ispezione visiva dopo 30 cicli[e)]
				≥2,0 MPa	≥1,5 MPa	≥0,8 MPa[a]	
10	Resistenza allo slittamento	Nessuno	EN13036-4	Classe I: >40 unità con prova a umido Classe II: >40 unità con prova a secco Classe III: >55 unità con prova a umido		Classe I: >40 unità con prova a umido Classe II: >40 unità con prova a secco Classe III: >55 unità con prova a umido	
11	Coefficiente di espansione termica[c)]	Nessuno	EN1770	Non richiesto se sono eseguite le prove 7, 8 o 9, altrimenti valore dichiarato		Non richiesto se sono eseguite le prove 7, 8 o 9, altrimenti valore dichiarato	
12	Assorbimento capillare	Nessuno	EN13057	≤0,5 kg·m^{-2}·h$^{-0,5}$		≤0,5 kg·m^{-2}·h$^{-0,5}$	Nessun requisito

Requisiti per i principi di riparazione 3, 4 e 7:
Metodo 3.1 - Restaurazione del calcestruzzo mediante applicazione a mano di malta.
Metodo 3.2 - Restaurazione del calcestruzzo mediante nuovo getto di calcestruzzo.
Metodo 3.3 - Restaurazione del calcestruzzo mediante proiezione di malta o calcestruzzo.
Metodo 4.4 - Consolidamento strutturale mediante aggiunta di malta o calcestruzzo.
Metodo 7.1 - Aumento del copriferro con aggiunta di malta cementizia o calcestruzzo.
Metodo 7.2 - Sostituzione di calcestruzzo contaminato o carbonatato.

a) I valore di 0,8 MPa non è richiesto ove si manifesti un difetto di coesione nel materiale di riparazione. Se si manifesta un difetto di coesione, è richiesto un carico di rottura minimo di 0,5 MPa.
b) Non richiesto per il metodo di riparazione 3.3.
c) Non richiesto se sottoposto a cicli termici.
d) Valore medio senza nessun valore singolo minore del 75% del requisito minimo.
e) Larghezza media massima consentita di una incrinatura ≤0,05 mm senza alcuna incrinatura ≥0,1 mm e senza delaminazione.
f) Per la durabilità.
g) Non idoneo per la protezione contro la carbonatazione, a meno che il sistema di riparazione non includa un sistema di protezione superficiale con comprovate caratteristiche di protezione contro la carbonatazione (vedere la EN1504-2).
h) La scelta del metodo dipende dalle condizioni di esposizione. Se un prodotto soddisfa la Parte 1, si suppone che soddisfi anche le Parti 2 e 4.

essere effettuata dopo l'irruvidimento o la rimozione del calcestruzzo secondo il punto 7.2.2, se non si utilizzano metodi a base di acqua che la rendano superflua.

Il calcestruzzo che presenta micro-fessure o delaminazioni, comprese quelle causate dalle tecniche di pulitura, irruvidimento o rimozione che riducono l'ancoraggio o l'integrità strutturale, deve essere rimosso o consolidato successivamente. La superficie finita deve essere ispezionata visivamente e sottoposta a martellamento per rilevare la presenza di calcestruzzo incoerente.

7.2.2 Pulitura

Per i metodi che richiedono la pulitura, devono essere soddisfatti i requisiti seguenti:

a) il supporto deve essere privo di polvere, materiale incoerente, contaminanti di superficie e materiali in grado di ridurre l'aderenza o prevenire l'assorbimento o la bagnatura della superficie con i materiali di riparazione;
b) se la pulitura non è eseguita immediatamente prima della applicazione dei materiali di protezione e di riparazione, il supporto pulito deve essere protetto dalle ulteriori contaminazioni.

7.2.3 Martellinatura

Per i metodi che richiedono la martellinatura, devono essere soddisfatti i requisiti seguenti:

la tessitura della superficie martellinata deve essere adeguata ai prodotti e sistemi da applicare, e deve essere specificata.

7.2.4 Rimozione del calcestruzzo

Per i metodi che richiedono la rimozione del calcestruzzo, devono essere soddisfatti i requisiti seguenti:

a) l'entità della rimozione deve essere adeguata al principio e al metodo scelti tra quelli indicati nella ENV 1504-9;
b) la rimozione deve essere ridotta al minimo;
c) la rimozione non deve ridurre l'integrità strutturale oltre la capacità della struttura di svolgere la propria funzione. Può essere necessario un supporto temporaneo;
d) la profondità di carbonatazione e i profili di concentrazione dei cloruri o di altri contaminanti nel calcestruzzo devono essere stabiliti e tenuti in considerazione;
e) l'entità della rimozione del calcestruzzo deve essere in accordo al metodo scelto, e deve essere specificata. Essa deve tenere conto di quanto segue:
   1) la resistenza del calcestruzzo alla penetrazione di gas e di fluidi;
   2) la natura e la concentrazione dei contaminanti prima e dopo la riparazione;
   3) la profondità della contaminazione;
   4) la profondità della carbonatazione;
   5) l'attività di corrosione della armatura;
   6) il copriferro;
   7) la necessità di compattazione del materiale di riparazione;
   8) la necessità di aderenza al supporto;
   9) la necessità di trattamento dell'armatura.

Preparazione dell'armatura

7.3.1 Generalità

Prima di applicare i sistemi di protezione e riparazione, l'armatura esistente ed eventualmente l'armatura nuova devono essere preparate in accordo alle specifiche, al principio e al metodo scelti dalla ENV 1504-9, nonché in base alle prestazioni strutturali richieste. L'entità delle eventuali operazioni di pulitura, rivestimento, rimozione o sostituzione deve essere specificata tenendo conto della possibile necessità di prevenire la corrosione, e della necessità di fornire l'aderenza specificata tra i prodotti e sistemi di riparazione e l'armatura.

7.3.2 Pulitura

Per i metodi che richiedono la pulitura, devono essere soddisfatti i requisiti seguenti:

a) devono essere rimossi la ruggine, le scaglie, la malta, il calcestruzzo, la polvere e gli altri materiali incoerenti e deleteri in grado di ridurre l'aderenza o contribuire alla corrosione;
b) deve essere uniformemente pulita l'intera circonferenza esposta dell'armatura, eccetto dove considerazioni strutturali lo impediscano;
c) se la pulitura non è eseguita immediatamente prima dell'applicazione dei prodotti e sistemi di protezione, il supporto pulito deve essere protetto dalle ulteriori contaminazioni;
d) l'armatura deve essere pulita senza essere danneggiata e senza danneggiare e/o contaminare il calcestruzzo o l'ambiente adiacente;
e) qualora l'armatura esposta sia contaminata con cloruri o altri materiali in grado di innescare la corrosione, l'intera circonferenza dell'armatura contaminata deve essere pulita con getti d'acqua a una pressione non maggiore di 18 Mpa per rimuovere i cloruri e gli altri contaminanti, a meno che non si utilizzino metodi elettrochimici di protezione e di riparazione (v. punto A.7.3.2);
f) per il Metodo di protezione 11.2, la pulitura di norma deve essere Sa2½. Per il metodo 11.1 e per altri metodi tranne il metodo 11.2, dove l'armatura deve essere rivestita, lo standard di pulitura deve essere specificato e deve essere idoneo per il rivestimento da applicare. La specificazione, il metodo e la scelta della pulitura, devono tenere conto della concentrazione dei ferri di armatura, del contatto tra i ferri, della prossimità alla superficie di supporto del calcestruzzo e di altri fattori che impediscano l'accesso per la pulitura (v. punto A.7.3.2).

Applicazione di prodotti e sistemi

8.1 Generalità

L'applicazione dei prodotti e dei sistemi deve essere idonea al supporto e alla struttura su cui tali prodotti e sistemi devono essere applicati, e deve assicurare una protezione e una riparazione in accordo ad altre parti della presente norma, alla EN 206-1 e alla ENV 13670-1.

I prodotti devono essere conservati prima dell'uso, in modo che le loro proprietà non siano compromesse.

L'accesso ai lavori deve essere adeguato per permettere la preparazione e l'applicazione dei prodotti e dei sistemi in accordo alla presente norma.

Deve essere prevista una protezione per consentire la preparazione, l'applicazione e la successiva stagionatura in accordo alla presente norma.

Prima e durante l'applicazione dei prodotti e dei sistemi, devono es-

sere considerati il grado di umidità e la temperatura del supporto, oltre alle caratteristiche ambientali come la temperatura, l'umidità relativa, il punto di rugiada e la velocità di variazione del tenore di umidità sotto l'effetto dalle precipitazioni e dal vento.
La miscelazione dei prodotti e dei sistemi deve essere effettuata in accordo alla EN 206-1 e alla ENV 13670-1 o deve essere specificata. Lo spessore degli strati dei prodotti e dei sistemi deve essere in accordo alla presente norma o deve essere specificato.
L'ancoraggio del materiale di riparazione al supporto e tra gli strati del materiale di riparazione non deve essere minore della forza di ancoraggio specificata.
I requisiti per l'applicazione sono indicati nei sottopunti seguenti, e sono correlati ai metodi di riparazione e di protezione del prospetto 3.

Controllo di qualità
9.1 Generalità
L'esecuzione dei lavori deve essere in accordo a un piano di qualità preparato per il progetto.
I prodotti e sistemi per l'esecuzione dei lavori devono soddisfare i requisiti del controllo di qualità del punto EN 1504 da parti 2 a 7 e parte 8.
Le condizioni di immagazzinamento e i periodi di utilizzo dei prodotti e sistemi devono essere in accordo al punto 5 della presente norma e alle specifiche.
9.2 Prove di controllo di qualità e osservazioni
Le proprietà del supporto, l'accettazione per l'idoneità dei prodotti e dei sistemi, le condizioni della loro applicazione e le proprietà finali dei prodotti e dei sistemi induriti, devono essere sottoposti a un controllo di qualità da eseguire mediante le prove e le osservazioni indicate nel prospetto 4.
I riferimenti per i metodi di prova sono indicati per le prove nelle norme EN e ISO e, dove non esiste alcuna norma, si deve fare riferimento alle prove e alle osservazioni contenute nell'appendice A informativa che rimanda dove pertinente alle norme nazionali. Possono essere specificate norme nazionali dove non esistono norme europee.
Le prove indicate nelle norme nazionali sono informative.
I parametri minimi e massimi e la frequenza di osservazione o di prova devono essere stabiliti in accordo alle specifiche del progetto. Se non è specificata la frequenza, devono applicarsi i valori di frequenza indicati nei prospetti seguenti. Se non sono specificati i parametri minimi e massimi, sono fornite indicazioni nell'appendice A informativa (A.9.2).
Qualora si utilizzino metodi esclusi, sono necessari requisiti analoghi per il controllo di qualità.

CONCLUSIONI

La norma UNI EN 1504 fornisce al progettista, ai produttori ed alle aziende utilizzatrici dei prodotti un valido strumento per la realizzazione di interventi di risanamento di strutture in calcestruzzo al fine di aumentare la durabilità degli elementi dopo la fase di intervento.
Come spesso mi è capitato di sottolineare è necessario un giusto approccio a questo tipo di intervento da parte di tutte le figure che interessano il processo produttivo:
- il committente che deve, nel rispetto del budget di spesa e delle normative vigenti, riuscire ad ottenere il miglior intervento con il maggior risparmio;
- il progettista che deve conoscere la normativa e utilizzarla nel progetto di intervento di risanamento mediante la scelta di sistemi e materiali per il risanamento;
- l'impresa esecutrice mediante l'utilizzo di materiali idonei e richiesti dalla progettazione e l'utilizzo di manodopera altamente specializzata che conosca e rispetti sia la normativa che le schede tecniche delle ditte produttrici dei materiali nella fase di preparazione ed applicazione dei materiali da ripristino;
- Il Direttore dei Lavori con il compito di verifica e controllo del processo produttivo in conformità alla progettazione ed alla normativa vigente.

I professionisti che operano nel risanamento delle strutture di calcestruzzo, siano esse grandi opere che piccoli interventi di risanamento di singoli elementi quali frontalini, travi e/o pilastri, hanno pertanto nella norma UNI EN 1504 un efficace aiuto per comprendere i problemi e trovare le soluzioni idonee, nelle varie fasi del processo progettuale di ripristino e protezione.