

IL DEGRADO DEL CALCESTRUZZO ARMATO

Come proteggere le strutture dalla carbonatazione. La Norma Europea UNI EN 1504.

di Gianfranco Capillo **1

Le nostre costruzioni in cemento armato sono davvero antisismiche?

La risposta a questa domanda è immediata: se il progetto è conforme alla normativa antisismica siamo tutti tranquilli. E fin qui tutto bene.

Ma, col passare del tempo, la qualità dei materiali utilizzati (in particolare la qualità del cemento armato) è ancora quella originaria?

Overo, le strutture sono ancora resistenti ai terremoti così come da progetto?

A questo punto, per rispondere in maniera adeguata a questa formidabile domanda, è necessario effettuare una serie di controlli sui materiali per verificarne lo stato di conservazione. Infatti è noto che dopo alcuni anni il calcestruzzo armato subisce inevitabili attacchi chimici che ne compromettono la qualità originaria.

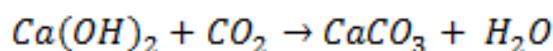
Innanzitutto, vediamo quali sono le cause degli ammaloramenti del calcestruzzo armato.

Un interessante studio ha definito in percentuali le cause del degrado del calcestruzzo**2

- 45% Calcestruzzo non corretto: copriferro inadeguati, spazi interferro troppo limitati per consentire la corretta posa del conglomerato, errata o inesistente valutazione della classe di esposizione ambientale, ecc.
- 25% Messa in opera imperfetta: compattazione insufficiente e/o malamente eseguita, casserature non idonee, insufficienti o inesistenti operazioni di curing, ecc
- 25% Confezionamento non corretto: dosaggi di cemento troppo bassi, rapporti a/c troppo elevati, mixdesign non corretti, ecc.
- 5% Danni accidentali.

Quindi le strutture in cemento armato, col passare del tempo, sono soggette a inevitabili fenomeni degradativi: uno di questi, di cui ci occupiamo in questo articolo, è quello della **CARBONATAZIONE**.

La carbonatazione è causata dalla diffusione dell'anidride carbonica (normalmente presente in atmosfera) all'interno delle strutture in cemento armato. Essa avviene così: l'idrossido di calcio del calcestruzzo combinandosi con l'anidride carbonica dà luogo alla formazione di carbonato di calcio secondo la seguente relazione:



¹ **Ingegnere, consulente controllo e scelta materiali da costruzione

² **fonte manuali Tradimalt spa

(Si noti la presenza di acqua). Tale fenomeno abbassa il pH basico del cemento, e quindi diminuisce la capacità passivante del cemento nei confronti dell'acciaio di armatura. Se il pH scende al di sotto di un certo valore (pH 9) il ferro inizia a corrodersi producendo ossido di ferro (ruggine). Ne consegue il fenomeno espansivo del ferro (aumento di volume) e la generazione di tensioni anomale interne che causano la fessurazione dello strato di copriferro (spalling).

Pertanto, si può determinare un indebolimento della struttura dovuta alla diminuita capacità di adeguata risposta alle tensioni di trazione.

Quindi, se la resistenza a trazione diminuisce, possiamo ancora dire che la struttura progettata sia ancora antisismica?

È stato dimostrato che la carbonatazione si esplica ben prima della fine della vita nominale di progetto (50 anni).

Quindi è vero che il progettista deve:

- prescrivere il calcestruzzo in fase di progetto (calcestruzzi in classe di esposizione XC (1,2,3 o 4 a seconda dell'esposizione ai cicli di umidità e asciutto) di adeguata consistenza posti in opera correttamente e stagionati adeguatamente e progettando ed attuando opportuni spessori di copriferro (mai inferiori a 3 cm.) ed interferro).
- controllare le materie prime e qualificare gli impianti di fornitura;
- controllare il calcestruzzo prima e durante la messa in opera

ma è anche vero che particolare attenzione deve essere posta anche nella scelta dei materiali di protezione e manutenzione delle strutture in calcestruzzo armato.

“Non possiamo sottrarre le strutture in cemento armato al fenomeno della carbonatazione tanto più oggi che il tenore di anidride carbonica in atmosfera è molto più elevato del passato. Sottovalutare il problema è imprevedibile”.

Quanto tempo è necessario affinché abbia inizio la carbonatazione?

Secondo la *LEGGE DI PENETRAZIONE DELLA CARBONATAZIONE* si determina la velocità del fenomeno:

Con la formula

$$s = K * t^{1/n}$$

si determina lo spessore S di calcestruzzo carbonatato. Il coefficiente K rappresenta la velocità di penetrazione della carbonatazione espresso in mm/anno.

Proprio in merito al rapporto acqua/cemento (a/c), nelle Tabelle seguenti si può facilmente quantificare il tempo necessario affinché si espliciti la carbonatazione attraverso lo spessore “sc”³.

... già dopo soli 4 anni un copriferro di 2,5 cm viene coinvolto dalla carbonatazione.

Quindi nel confezionamento del calcestruzzo è necessario seguire sempre le **NORME COMPORTAMENTALI DI BASE**:

Tenere basso il **rapporto a/c**, con una adeguata stagionatura, è un requisito fondamentale per contrastare la carbonatazione, perché diminuendo la porosità la CO₂ avrà più difficoltà nel penetrare all’interno del conglomerato. Altro accorgimento utile è quello di rispettare i limiti da normativa degli spessori del copriferro.

L’IMPORTANZA DEI RIVESTIMENTI ESTERNI (intonaci e malte).

Ferma restando la qualità del calcestruzzo per cemento armato, si deve sottolineare che la vita utile di ogni struttura può essere prolungata di molti anni anche con idonei interventi di finitura esterna, manutenzione e di ripristino.

La norma tecnica identifica le principali tipologie di materiali utilizzati durante le operazioni di riparazione tra cui: **l’utilizzo di prodotti e sistemi di protezione della superficie che, quando applicati, aumentano la durabilità delle strutture di calcestruzzo e calcestruzzo armato.**

Quindi particolare attenzione deve essere posta anche sulla scelta dei materiali di rivestimento (intonaci e rasanti).

I rasanti forniscono un’efficace protezione dall’ingresso nel calcestruzzo di acqua e gas nocivi come l’anidride carbonica responsabile della carbonatazione.

<p style="text-align: center;">Velocità di carbonatazione</p> <p>Lo spessore (s_c) di calcestruzzo carbonatato aumenta nel tempo (t) con la seguente legge</p> $s_c = k\sqrt{t}$ <p>La costante k dipende da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rapporto acqua/cemento (a/c) - tipo di cemento - umidità dell’aria (UR) <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>a/c</th> <th>k (mm anno^{-1/2})</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.4</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>10.1</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>12.3</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>15.1</td></tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small; text-align: center;">Tratta da “Il nuovo calcestruzzo”, M. Collepari.</p>	a/c	k (mm anno ^{-1/2})	0.4	3.8	0.5	7.0	0.6	10.1	0.7	12.3	0.8	15.1	<p style="text-align: center;">Come ritardare la carbonatazione?</p> <p>1. Riducendo il rapporto acqua cemento</p> <p>Esempio: Ricoprimento: 2.5 cm Umidità relativa (UR): 65% Rapporto a/c: 0.7 Cemento: CEM II A-L 42.5</p> <p>Tempo di carbonatazione del ricoprimento</p> $t = \frac{s_c^2}{k^2} = \frac{25^2}{12.3^2} = 4.1 \text{ anni}$ <p>k = 12.3 mm / anno^{-1/2}</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>a/c</th> <th>k (mm anno^{-1/2})</th> <th>Anni</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.4</td><td>3.8</td><td>43.3</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>7.0</td><td>12.8</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>10.1</td><td>6.1</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>12.3</td><td>4.1</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>15.1</td><td>2.7</td></tr> </tbody> </table>	a/c	k (mm anno ^{-1/2})	Anni	0.4	3.8	43.3	0.5	7.0	12.8	0.6	10.1	6.1	0.7	12.3	4.1	0.8	15.1	2.7
a/c	k (mm anno ^{-1/2})																														
0.4	3.8																														
0.5	7.0																														
0.6	10.1																														
0.7	12.3																														
0.8	15.1																														
a/c	k (mm anno ^{-1/2})	Anni																													
0.4	3.8	43.3																													
0.5	7.0	12.8																													
0.6	10.1	6.1																													
0.7	12.3	4.1																													
0.8	15.1	2.7																													

³ Fonte: M. Collepari “Il Nuovo Calcestruzzo”.

Un valido aiuto in questo senso è fornito dalla norma UNI EN 1504.

La norma UNI EN 1504, definisce le procedure e le caratteristiche dei prodotti da utilizzare per la riparazione, manutenzione e protezione delle strutture in calcestruzzo;

Tale norma si suddivide in 10 sezioni specifiche:

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

Le malte per riparazione e ripristino del calcestruzzo armato devono essere certificate secondo la Norma UNI 1504-2, UNI 1504-3 (Classi R2, R3 e R4) e UNI 1504-7 (protezione dalla corrosione delle armature). Inoltre devono essere sottoposte a prove di Resistenza alla Carbonatazione secondo la norma UNI EN 13295 con valori di prova con d_k compreso tra i minimi di 0,4 e 1,5 mm. Per i motivi sopra esposti, un altro parametro da valutare nella scelta dei prodotti di ripristino e rivestimento è la permeabilità all'anidride carbonica che deve avere valori S_d di 60-63 m ^{**4}.

In commercio sono presenti prodotti in grado di proteggere dalla carbonatazione, ovvero malte cementizie polimero-modificate idonee per la rasatura di supporti in calcestruzzo. Questi prodotti contengono specifici additivi che garantiscono un miglioramento delle prestazioni meccaniche, adesione al sottofondo ed una migliore resistenza all'anidride carbonica, all'acqua ed agli agenti atmosferici in generale. Tali prodotti, che sono anch'essi materiali da costruzione da prescrivere in progetto, devono essere certificati secondo le Norme di cui sopra e devono rispettare i valori di minimi ivi riportati.

Per le nuove costruzioni, la cui vita attesa è quella nominale di progetto, le specifiche di progetto **dei materiali di rivestimento del c.a.** vengono spesso omesse.

Ma negli ormai numerosi, e sempre più necessari, interventi di conservazione, ripristino e manutenzione delle strutture in cemento armato è opportuno, se non indispensabile, imporre l'utilizzo di malte per rasatura di rivestimento che abbiano caratteristiche prestazionali adeguate, con particolare attenzione alla resistenza alla penetrazione dell'anidride carbonica (CO₂) con valori di $S_d = 60-63$ m e con certificazione almeno UNI EN 1504-2 di cui si riporta un estratto:

⁴ Fonte: Tradimalt spa

UNI EN 1504-parte 2: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo. Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità.

La parte 2 della UNI EN 1504 prende in considerazione 5 principi degli 11 principi di cui alla parte 9 della Norma:

- Principio 1 – Protezione contro l’ingresso:
 - 1.1 impregnazione idrofobica
 - 1.2 impregnazione
 - 1.3 rivestimento
- Principio 2 – Controllo dell’umidità:
 - 2.1 impregnazione idrofobica
 - 2.3 rivestimento
- Principio 5 – Aumento della resistenza fisica:
 - 5.1 rivestimento
 - 5.2 impregnazione
- Principio 6 – Resistenza ai prodotti chimici:
 - 6.1 rivestimento
- Principio 8 – Aumento della resistività:
 - 8.1 impregnazione idrofobica
 - 8.3 rivestimento

Quindi il progettista ed il direttore dei lavori, soprattutto negli interventi manutentivi, non avranno nessuna difficoltà a prescrivere materiali idonei conformi alle Norme vigenti e verificare e controllare la corretta realizzazione dell’opera.

La prescrizione ed il successivo controllo e collaudo dei materiali di rivestimento può avvenire basandosi sulle schede tecniche delle malte, intonaci e rasanti normalmente in commercio come quelle che seguono:

Tipo di malta UNI EN 1504-2 - Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo	Rivestimento (C) secondo MC e IR	Permeabilità all’anidride carbonica CO ₂	Sd - 63 m
Adesione al supporto (calcestruzzo) UNI EN 1015-12	1,6 MPa	Durezza per penetrazione Shore D UNI EN ISO 868	D - 85 a 7 giorni
Adesione su intonaco	1,8 MPa	Spessore max per mano	3 mm
Adesione su rivestimento/pittura colorata	1,4 MPa	Consumo teorico per mm di spessore	1,2 - 1,3 kg/m²
Adesione su piastrelle gres	1,3 MPa	Massa volumica del prodotto indurito UNI EN 1015-10	1400 kg/m³
Grado di trasmissione del vapore acqueo UNI EN 7783-2	Sd - 0,18 m Classe I	Coefficiente di conducibilità termica UNI EN 1745	0,45 W/mK
Coefficiente di permeabilità acqua libera per capillarità UNI EN 1062-3	0,08 kg/m² h^{0,5} Classe III	Classe di reazione al fuoco UNI EN 13501-1	A1

Classe di appartenenza secondo UNI EN 1504 -3	R4	Resistenza alla carbonatazione UNI EN 13295	$d_k \leq 1,5 \text{ mm}$
Resistenza a compressione UNI EN 12190	47,5 MPa	Modulo elastico UNI EN 13412	21 GPa
Resistenza a flessione UNI EN 196/1	13,7 MPa	Consumo teorico (per cm di spessore)	15/17 kg/m²
Protezione contro la corrosione delle armature secondo UNI EN 1504-7	specificata superata	Spandimento (UNI EN 13395 -1)	150 mm
Resistenza alla corrosione UNI EN 15183	< 1 mm	Contenuto ioni di cloruro UNI EN 1015-17	0,02%
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio UNI EN 15184	specificata superata	Legame di aderenza UNI EN 1542	2,5 MPa
Ritiro/espansione impediti UNI EN 12617- 4	2,4 MPa	Assorbimento capillare UNI EN 13057	0,35 kg/m²h^{0,5}

Dalle schede tecniche di cui sopra si possono controllare importanti dati relativi a:

- Classe di appartenenza secondo la norma UNI EN 1504
- Permeabilità alla CO₂ (anidride carbonica)
- Resistenza alla carbonatazione

Chiudiamo quest'intervento ribadendo un concetto importante:

è possibile prevedere, con buona approssimazione, in quanti anni l'anidride carbonica attaccherà i ferri d'armatura superando lo strato di cls copriferro di una struttura in calcestruzzo esposto all'aria, quindi è possibile migliorare la durabilità della costruzione utilizzando idonei materiali di protezione e rivestimento (malte e rasanti) purché conformi alle Norme UNI EN 1504 e con le caratteristiche citate in questo articolo.
