

DURABILITÀ DELLE STRUTTURE IN C.A.: RUOLO DEL COPRIFERRO E DELLE PROTEZIONI AGGIUNTIVE CONFORMI A UNI EN 1504-2

Davide Orbolato | Stefano Crosato | Agostino Cadorin | Felice Marco Liberatore

La durabilità strutturale ha assunto, negli anni, un'importanza via via crescente, diventando oggi un aspetto imprescindibile per qualsiasi struttura. Durabilità significa poter garantire, in maniera economicamente sostenibile, il mantenimento dei livelli di sicurezza di una opera per tutta la sua Vita Nominale. Diversi sono i fattori che concorrono a fabbricare duttilità. Tra questi, per le strutture in calcestruzzo armato, bisogna certamente annoverare quello della corretta progettazione e realizzazione del copriferro. A quest'ultimo, infatti, è deputato l'importante compito di proteggere le armature dalla corrosione e preservarle nel tempo. Per le strutture di nuova realizzazione la questione è relativamente semplice, in quanto una corretta applicazione delle norme è, in generale, sufficiente a garantire la realizzazione di un copriferro adeguato ad ogni possibile classe di esposizione ambientale. La questione si complica per le strutture esistenti, le quali possiedono, in generale, copriferri carenti sia dal punto di vista del materiale (calcestruzzi molto porosi) che da quello dello spessore (spesso esiguo). Nel presente articolo si vuole evidenziare come, in questi casi in particolare, il ricorso a specifici prodotti per la Protezione Strutturale, conformi alla norma UNI EN 1504-2, possa rappresentare una soluzione efficace per sopperire alla "carezza prestazionale" di copriferri inadeguati.

Quello della durabilità strutturale è oggi un aspetto imprescindibile per qualsiasi struttura. L'attuale normativa, le NTC2018, in perfetta continuità e coerenza con la precedente (NTC2008), le riserva infatti un ruolo di primo piano. Tanto che nel Capitolo 1 delle NTC2018 si legge:

*"Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, ..., e di **durabilità**".*

Una struttura, opportunamente mantenuta, deve essere quindi in grado di esibire, nell'ambiente nella quale si trova e per tutta la sua Vita Nominale, tutte le prestazioni per la quale è stata progettata. Per ogni struttura, questa capacità di "conservarsi nel tempo" è fondamentale ai fini della sicurezza, ma è altrettanto importante anche nell'ottica della **Sostenibilità**.

Realizzare un'opera, semplice o complessa che sia, richiede infatti l'impegno di numerose risorse, materiali (si pensi alle materie prime impiegate), energetiche ed economiche. Tale impegno sarà "sostenibile" solo se la struttura realizzata sarà in grado di fornire i suoi Servizi alla comunità il più a lungo possibile (e comunque per un tempo non inferiore a quello previsto in progetto) senza la necessità di dover sostenere ulteriori spese (ad esempio, una prematura manutenzione straordinaria). Allungare la Vita Utile di una struttura, significa ricavarne maggiore godimento, a parità di risorse investite.

Come fabbricare durabilità? La normativa fornisce una risposta estremamente chiara al paragrafo 2.2.4, dove indica una serie di provvedimenti da adottare a riguardo. Per le strutture in calcestruzzo armato (ordinarie e precomprese), alcune delle citate "raccomandazioni" di cui al paragrafo 2.2.4 possono essere tradotte in termini più familiari (Tabella 1).

Tabella 1

Provvedimento suggerito dalle NTC 2018 (par. 2.2.4)	Traduzione “pratica” del Provvedimento per una struttura in c.a. (o c.a.p.)
Tenere opportunamente in conto le condizioni ambientali in cui sorgerà ed opererà la struttura	Definire correttamente la Classe di Esposizione Ambientale
Scegliere opportunamente i materiali	Impiegare calcestruzzi con una porosità commisurata al livello di aggressione ambientale
Scelta opportuna dei dettagli costruttivi	Realizzare adeguati spessori di copriferro
Applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali	Proteggere, con prodotti specifici , le strutture di calcestruzzo dall’ingresso delle sostanze aggressive

Quello della Classe di Esposizione è ormai un concetto ben noto a tutti coloro che operano nel Settore delle Costruzioni. In sostanza, sono state codificate (par. 4.1.2.2.4.2 NTC 2018) una serie di “condizioni ambientali” (denominate appunto Classi di Esposizione) più o meno aggressive, in modo da poter individuare, per ciascuna di esse, specifici dettagli tecnologici (prestazione minima dei materiali), progettuali (es. massima apertura ammissibile per le fessure) e costruttivi (es. spessore del copriferro). Le NTC 2018 recepiscono la classificazione già in essere nelle normative UNI EN 206 ed UNI 11104 e raggruppano le classi di esposizione in tre “macro-categorie” di condizioni ambientali: Ordinarie, Aggressive e Molto aggressive.

Tabella 2 – Stralcio della Tabella 4.1.III delle NTC 2018

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nell’ambito delle Classi di Esposizione ora introdotte, una fondamentale distinzione va fatta sulla base del tipo di degrado che esse contemplano:

- a) Corrosione delle Armature (Classi XC, XS e XD)
- b) Degrado della matrice cementizia (Classi XF e XA)

La prima tipologia di degrado è certamente la più comune e, forse, la più temuta: la corrosione delle barre e la conseguente riduzione della loro sezione resistente penalizza drasticamente la capacità portante delle strutture in c.a. e con essa il generale livello di sicurezza. Il **copriferro**, ovvero la parte corticale delle strutture deputata a proteggere le armature dall’aggressione ambientale, svolge quindi un ruolo essenziale.

Si pensi al fenomeno della **carbonatazione**. L’anidride carbonica è capace di “*neutralizzare*” l’idrossido di calcio presente nella matrice cementizia, di abbassare il pH dell’ambiente circostante le armature e di favorire la dissoluzione del “film” passivante che le protegge dalla corrosione. In maniera analoga, l’**ingresso dei** cloruri ed il loro accumulo a ridosso delle barre di armature favorisce la distruzione (spesso localizzata) del film passivante. Nell’ambito di questi meccanismi, il ruolo del copriferro è evidente: fungere da barriera che ostacoli l’ingresso dell’anidride carbonica e dei cloruri verso le armature. La sua capacità di rallentare tale ingresso, e quindi allungare il tempo necessario alla depassivazione delle armature (il cosiddetto **tempo di innesco della corrosione**), dipende da due aspetti essenziali:

- 1) Qualità del calcestruzzo che costituisce il copriferro, ovvero la sua porosità (riga 2 di Tabella 1);
- 2) Spessore del copriferro (riga 3 di Tabella 1).

È intuitivo il fatto che un calcestruzzo poroso, a differenza di uno compatto, favorirà un celere ingresso di CO₂ e Cl⁻, così come un ridotto spessore di copriferro sarà “attraversato” più velocemente rispetto ad un copriferro di spessore maggiore. Si comprendono quindi chiaramente le indicazioni a carattere prescrittivo fornite dalle NTC 2018 e dalla relativa Circolare n.7/2019, sia in termini di “qualità” del calcestruzzo

(rappresentata dalla sua resistenza a compressione, visto che quest'ultima è correlabile alla porosità del materiale) che di spessore di copriferro. In Tabella 3 uno stralcio della Tabella C.4.1.IV della Circolare n.7/2019.

Tabella 3 – Stralcio della Tabella 4.1.III delle NTC 2018

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

È evidente come all'aumentare della "aggressività ambientale" siano richieste prestazioni meccaniche (e quindi di "compattezza" del materiale) e spessori di copriferro via via maggiori.

Per quanto riguarda le **Strutture Nuove**, il conseguimento di una specifica durabilità è, in qualche maniera, garantito dalla corretta progettazione e realizzazione del copriferro (in termini di materiale e spessore). Purtroppo la questione rimane piuttosto delicata quando si prendono in considerazione le **Strutture Esistenti**, ovvero quelle strutture concepite e realizzate quando la sensibilità, tecnica e normativa, verso l'aspetto della durabilità era minima.

Queste strutture presentano spesso diverse criticità:

- 1) Il calcestruzzo è spesso molto poroso, a causa dell'adozione di rapporti acqua/cemento piuttosto elevati;
- 2) Lo spessore del copriferro è spesso esiguo, per la scarsa attenzione che veniva ad esso riservata;
- 3) Le azioni manutentive ordinarie sono, nella grande maggioranza dei casi, inesistenti.

Il risultato di queste carenze sono evidenti. In Figura 1, a titolo di esempio, alcune immagini di strutture degradate per carbonatazione (Figura 1 – a), per aggressione da cloruri (Figura 1 – b), per cicli di gelo/disgelo (Figura 1 – c) e per attacco solfatico (Figura 1 – d). Si noti in particolare in Figura 1 – a l'esiguo spessore di copriferro presente.

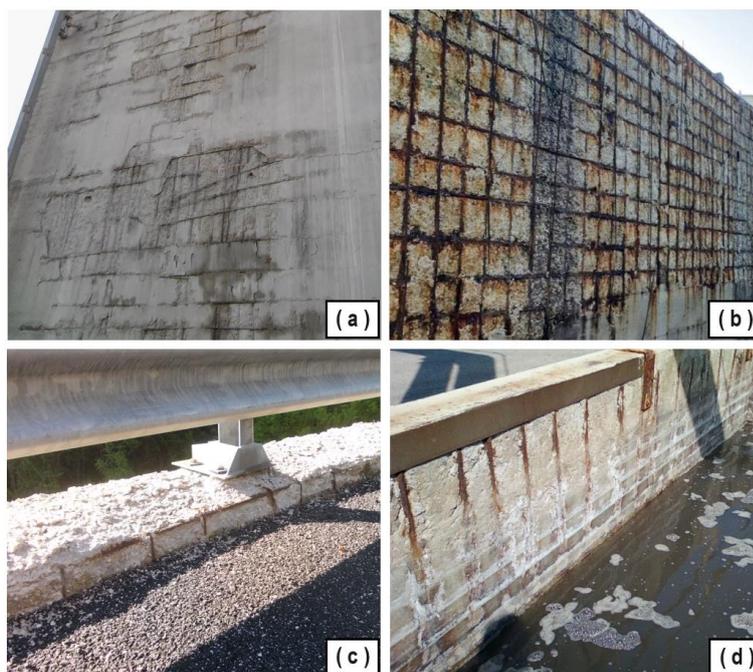


Figura 1 – Tipiche manifestazioni di degrado delle strutture in c.a.

Di fronte a questi scenari, le Soluzioni ed i Prodotti da ripristino oggi disponibili sul mercato consentono di intervenire in maniera efficace per poter restituire alle strutture i loro adeguati livelli di sicurezza. È importante sottolineare come, in questo contesto, la **Norma UNI EN 1504** rappresenti un riferimento, una vera e propria “linea guida” per la corretta progettazione degli interventi (UNI EN 1504-9), per la loro realizzazione e controllo (UNI EN 1504-10) nonché per la scelta dei materiali più adeguati per i diversi scopi (UNI EN 1504, dalla parte 2 alla 7).

Nelle situazioni più frequenti, parliamo delle seguenti tipologie di Prodotti:

- **Malte e Betoncini premiscelati** per la ricostruzione volumetrica delle parti strutturali degradate (UNI EN 1504-3), come quelle della **Linea STRUCTURE** proposta da General Admixtures;
- Prodotti per l'**ancoraggio di nuove armature**, necessarie quando quelle esistenti hanno subito, a causa della corrosione, una eccessiva riduzione della sezione resistente. Parliamo di prodotti con Marcatura CE secondo UNI EN 1504-6, a base cementizia (**ANKOR MF4**) o epossidica (**ANKOR EPO**);
- Prodotti per la **protezione delle barre di armatura**, da applicare sulle barre esistenti dopo aver rimosso tutti i prodotti della corrosione. Parliamo dei cosiddetti “*prodotti passivanti*”, come lo **STRUCTURE PROTECT**, dotato di Marcatura secondo UNI EN 1504-7.

Per quanto riguarda l'aspetto del mero ripristino delle sezioni degradate, le *tecnologie* ed il *know-how* sono, oggi, ben note a Tecnici ed Imprese. **L'anello debole rimane, tuttavia, la durabilità.** I premiscelati ora richiamati sono certamente molto performanti, sia in termini di prestazioni meccaniche che di durabilità (ridotta permeabilità agli agenti aggressivi), pertanto nelle zone ripristinate potranno fornire una protezione di gran lunga superiore a quella che veniva dall'originario calcestruzzo. Tuttavia, se la struttura originaria presentava un copriferro contenuto, spesso, per questioni di conservazione della sagoma originaria, la sezione ripristinata continuerà a conservare un copriferro limitato. Inoltre, a meno di interventi generalizzati su tutta la struttura, le porzioni non ripristinate (perché, ad esempio, al momento non ammalorate) restano nelle originarie condizioni di scarsa protezione.

Come intervenire quindi per assicurare ad ogni struttura esistente, magari parzialmente ripristinata in diverse parti già ammalorate, la necessaria durabilità strutturale? La risposta è semplice: **Protezione superficiale.**

La UNI EN 1504-2 contempla diverse tipologie di prodotti in grado di rallentare o addirittura bloccare l'ingresso di sostanze aggressive attraverso il copriferro. A seconda della modalità con cui essi agiscono (Figura 2), parliamo di:

- Rivestimenti (Figura 2-a);
- Trattamenti impregnanti (Figura 2-b);
- Idrofobizzanti (Figura 2-c).

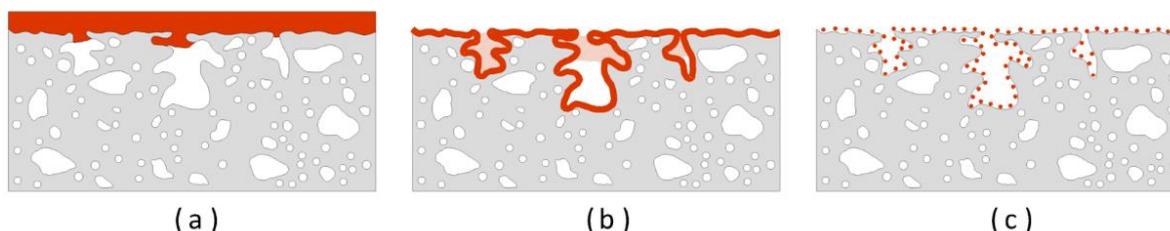


Figura 2

I primi, come ad esempio, lo **SKIN FLEX** di General Admixtures, vengono applicati sulla superficie del calcestruzzo esistente (o ripristinato) mediante pennello, rullo o spatola in spessori millimetrici (mediamente

3 mm) formando una vera e propria pellicola che impedisce o ritarda notevolmente l'ingresso di tutte le sostanze più aggressive, come ad esempio l'anidride carbonica, l'acqua, i cloruri ed i solfati. La loro efficacia si basa, oltre che sulla loro notevole "impermeabilità" a tali sostanze, su due caratteristiche essenziali:

1. Eccellente **adesione al supporto**;
2. **Ottima elasticità**, conservata anche a temperature rigide. Questa consente al "film" protettivo di potersi deformare nel tempo (ad esempio a causa della temperatura) senza rompersi. Questo aspetto è alla base dell'importante proprietà di **Crack Bridging** di questi materiali, ovvero della loro capacità di "fare da ponte" su eventuali fessure "attive" del supporto senza che abbiano a lesionarsi, mantenendo quindi sempre in essere la protezione.

Per comprendere l'efficacia di tali prodotti, in Figura 3 si mostra come la resistenza alla penetrazione di CO₂ e Cl⁻ di un calcestruzzo decisamente "scadente" (rapporto a/c = 0,75) aumenti sensibilmente quando rivestito da uno strato millimetrico (3 mm) di una malta cementizia elastica quale lo **SKIN FLEX**.

Con riferimento alla penetrazione dell'anidride carbonica, un copriferro poroso (perché ad esempio realizzato con un calcestruzzo scadente) che, in condizioni normali presenterebbe, dopo 50 anni di esposizione, una penetrazione di 65 mm, potrà facilmente diventare un copriferro che, nello stesso lasso di tempo, subisce una penetrazione di CO₂ appena superiore al millimetro. Per i cloruri il risultato è analogo, passando da una penetrazione di 43 mm ad una di 1 mm. È del tutto evidente, quindi, come si possa facilmente sopperire alla carenza prestazionale del copriferro di una struttura esistente, con una semplice rasatura elastica dello spessore di pochi millimetri.

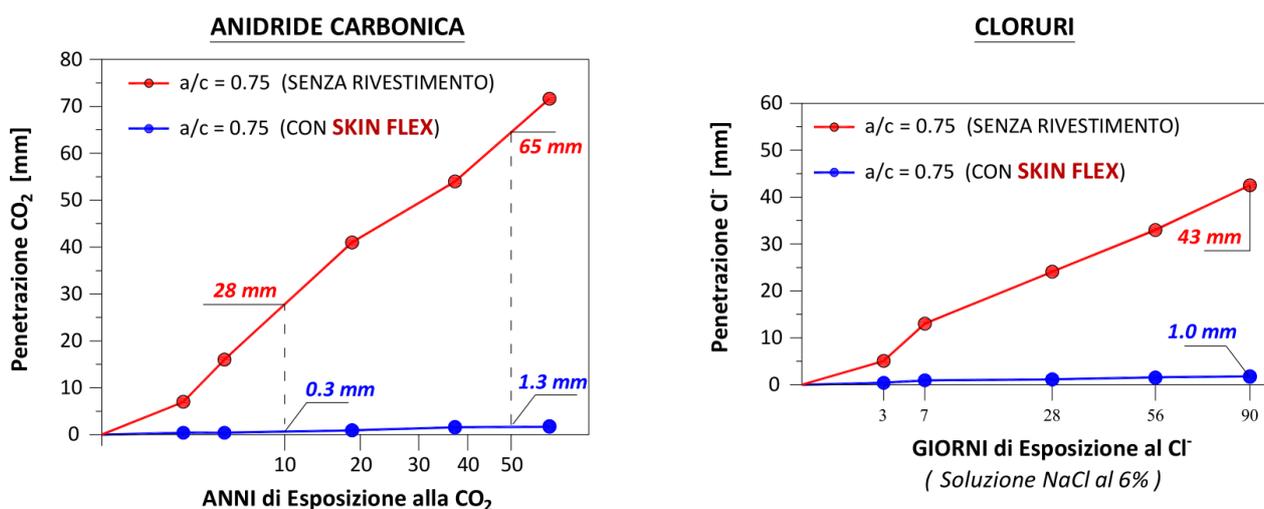


Figura 3

Un altro tipico trattamento superficiale filmogeno è costituito dalle cosiddette "pitture anticarbonatazione", ovvero da quei prodotti che applicati (a pennello, rullo o spruzzo) nello spessore di pochi micron (generalmente dai 300 ai 400 μm) sono in grado, grazie alla loro ridottissima permeabilità alla CO₂, di bloccare di fatto il fenomeno della carbonatazione, contribuendo a preservare le armature anche in presenza di un copriferro di ridotto spessore. Per avere un'idea dell'efficacia di tali prodotti, basti pensare che un calcestruzzo di classe C32/40 (generalmente impiegato in classe di esposizione XC4) presenta un valore del cosiddetto "fattore di resistenza alla CO₂" pari a $\mu_{CO_2} \cong 800$. Un rivestimento acrilico "anticarbonatazione" quale lo **SKIN PROTECT ACR** presenta un valore di $\mu_{CO_2} \cong 750000$. Questo significa che la resistenza offerta da circa 45 μm (0.000045 m) di pittura è equivalente a quella offerta da $(750000/800) \times 0.000045 \text{ m} \cong 42 \text{ mm}$ di calcestruzzo C32/40.

Abbiamo poi i cosiddetti **trattamenti impregnati**, prodotti liquidi che, applicati sulla superficie del calcestruzzo, vengono assorbiti dando luogo a reazioni chimiche che, di fatto, riducono la porosità del materiale migliorandone anche prestazioni fisiche quali la resistenza all'usura, all'urto ed all'abrasione. Un esempio sono lo **FLOOR PROTECT 300** a base di **silicati di litio**, o lo **FLOOR PROTECT 400** a base di **silicati di sodio**. Questi prodotti, applicati sulla superficie del calcestruzzo, sono in grado di trasformare il Ca(OH)_2 presente nella matrice cementizia (sostanza dilavabile e facilmente attaccabile dagli agenti aggressivi), in fibre C – S – H (Silicati Idrati di Calcio) del tutto analoghe a quelle che si formano a seguito della idratazione del cemento. Ne consegue quindi un rafforzamento della zona corticale, sia in termini meccanici che di durabilità (riduzione locale della porosità). Una applicazione tipica di questi prodotti riguarda il trattamento superficiale di pavimentazioni industriali (spesso in sostituzione del classico polverino indurente).

Infine abbiamo i **trattamenti idrofobizzanti**, capaci di conferire al calcestruzzo, che notoriamente presenta un comportamento "idrofilo", ovvero è predisposto all'assorbimento di acqua, un comportamento "idrofobo". Il trattamento superficiale con idrorepellenti, quali ad esempio l'**AQUA FOBIC** di General Admixtures, può essere estremamente efficace nel bloccare l'ingresso dell'acqua all'interno del calcestruzzo e con essa tutti gli agenti aggressivi eventualmente disciolti.

Conclusioni

Con questo breve articolo si è voluta porre l'attenzione su un elemento particolarmente importante nell'ambito della durabilità strutturale: il copriferro. Dopo aver brevemente inquadrato il suo ruolo ed alcuni aspetti normativi che lo coinvolgono, l'attenzione si è incentrata sulle strutture esistenti, perché spesso dotate di copriferri inadeguati, sia dal punto di vista del materiale (eccessivamente poroso) che dello spessore (speso esiguo). Per tali strutture è stata evidenziata la possibilità di poter ricorrere a specifiche protezioni superficiali capaci di incrementare notevolmente la capacità del copriferro di proteggere adeguatamente una struttura, conferendole la necessaria durabilità.