

**Zeitschrift:** Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2005)

**Heft:** 5

**Artikel:** Analisi dello stato di conservazione delle facciate in calcestruzzo

**Autor:** Teruzzi, Tiziano

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-133233>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Analisi dello stato di conservazione delle facciate in calcestruzzo

Tiziano Teruzzi\*

## Introduzione

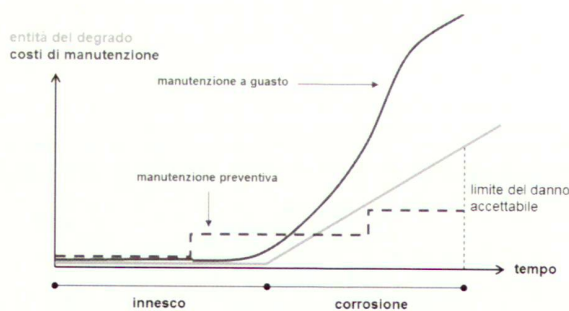
Nell'ambito dell'analisi dello stato di conservazione di un campione di 25 scuole di proprietà del Cantone Ticino, l'esame visivo dell'elemento costruttivo «facciata in calcestruzzo» è stato integrato con un'indagine diagnostica approfondita. La scelta di sottoporre le facciate in calcestruzzo, oltre che a un esame sommario, anche a un'indagine diagnostica particolareggiata si giustifica per due motivi principali. Da un lato i sintomi, che l'esame visivo permette di rilevare (presenza di cricche, fenomeni di espulsione del copriferro, colature di ruggine), sono la manifestazione di uno «stato di salute» dell'elemento costruttivo già talmente compromesso da vanificare qualsiasi intervento di profilassi e, quindi, l'attuazione di un piano di manutenzione preventiva. Nel caso delle facciate in calcestruzzo, il semplice esame visivo non è dunque in grado di segnalare in tempo utile l'insorgere di fenomeni patologici. D'altro canto, come già evidenziato precedentemente, quella in calcestruzzo facciavista è la tipologia di facciata più importante in termini di superficie. Si tratta quindi di un elemento costruttivo, il cui ripristino può assorbire una parte considerevole dei fondi destinati alla manutenzione. Nell'ottica di una gestione più efficiente di questi fondi è dunque di fondamentale importanza, per le facciate in calcestruzzo, adottare una forma di gestione della manutenzione basata su interventi preventivi programmati, abbandonando quella poco economica improntata sull'intervento a guasto (Fig. 1). Ciò è però possibile solo se si dispone di una conoscenza molto precisa dello stato di conservazione delle facciate e della sua evoluzione.

## Modalità di indagine e di valutazione dello stato di conservazione delle facciate

La scelta delle tecniche diagnostiche da utilizzare per la raccolta dei dati necessari per la valutazione dello stato di conservazione delle facciate in calcestruzzo è determinata dal meccanismo di degrado dominante cui esse sono soggette. Nel caso specifico, il meccanismo di degrado domi-

nante è quello della corrosione delle barre d'armatura indotta dalla reazione di carbonatazione del calcestruzzo (Fig. 2).

Quella di carbonatazione è una reazione chimica nel corso della quale, l'anidride carbonica, contenuta nell'aria ambiente e che penetra all'interno del calcestruzzo per diffusione, reagisce, in presenza di acqua, con l'idrossido di calcio presente nella pasta cementizia per formare del carbonato di calcio. Il consumo dell'idrossido di calcio determina un abbassamento dell'alcalinità del calcestruzzo e una distruzione del rivestimento passivante delle barre d'armatura, che le protegge da fenomeni corrosivi. A fronte di questo tipo di meccanismo di degrado, lo stato di conservazione della struttura in calcestruzzo è determinato dalla distanza che separa il fronte di penetrazione della reazione di carbonatazione dalle barre di armatura. Per valutare accuratamente lo stato di conservazione di una facciata



1



2

Fig. 1 - Evoluzione dei costi di manutenzione di una facciata in calcestruzzo nel caso di manutenzione a guasto (curva continua) e di manutenzione preventiva (curva tratteggiata).

Fig. 2 - Espulsione del copriferro a seguito della corrosione delle barre d'armatura indotta dalla reazione di carbonatazione del calcestruzzo.

in calcestruzzo è dunque fondamentale conoscere la profondità del fronte di carbonatazione (S) e lo spessore del copriferro (R).

Nella pratica, lo spessore dello strato di copertura delle barre di armatura è stato misurato in sito e in maniera non distruttiva mediante un localizzatore di barre. La profondità del fronte della reazione di carbonatazione è stato invece determinato in laboratorio su campioni di calcestruzzo prelevati dall'opera mediante carotaggio, utilizzando un indicatore di basicità.

Lo stato di conservazione della facciata viene valutato per confronto con un cosiddetto stato limite di servizio (SLS). A livello generale, lo stato limite di servizio corrisponde allo stato di conservazione per il quale l'elemento costruttivo in esame cessa di assolvere alla sua funzione. Per le facciate in calcestruzzo è possibile definire tre diversi stati limite di servizio, corrispondenti ad altrettanti livelli di degrado. In ordine di livello di degrado crescente questi sono:

- SLS1 depassivazione delle barre d'armatura,
- SLS2 formazione di cricche,
- SLS3 espulsione del copriferro.

La scelta dello stato limite di servizio di riferimento per la valutazione dello stato di conservazione di una facciata dipende, evidentemente, dall'obiettivo dell'indagine. Se l'obiettivo è, ad esempio, quello di stimare quando lo stato della facciata sarà tale da comprometterne la funzione estetica, allora SLS2 sarà lo stato di riferimento più appropriato. Se, come nel caso del progetto di cui si riferisce nel presente articolo, l'obiettivo dell'indagine è, invece, quello di raccogliere informazioni utili per l'allestimento di un programma di manutenzione preventiva, allora lo stato limite di servizio più adeguato è quello corrispondente al livello di degrado minore, SLS1, ossia quello che lascia al *facility manager* il maggior spazio di manovra nella scelta delle azioni di intervento.

In considerazione della variabilità, cui i parametri che determinano lo stato di conservazione di una facciata – lo spessore del copriferro e la profondità del fronte di carbonatazione – sono inevitabilmente soggetti, il criterio in base al quale si valuta se lo stato limite di servizio è raggiunto o meno non può essere di tipo deterministico. Il criterio di valutazione deve piuttosto fondarsi su considerazioni probabilistiche. Come è oramai diventato d'uso comune fra gli specialisti che si occupano di progettazione della durata di vita utile di strutture in calcestruzzo, la valutazione dello stato di conservazione si basa, infatti, sul concetto di valore massimo accettabile della probabilità di raggiungimento dello SLS di riferimento e, quindi, di rag-

giungimento di uno stato di guasto<sup>1</sup>. Lo strumentario matematico necessario per il calcolo dei valori effettivi di probabilità di guasto è quello generalmente utilizzato nel campo della verifica dell'affidabilità strutturale di elementi costruttivi.

Con riferimento a questo formalismo, la probabilità di guasto può essere espressa in termini di un cosiddetto indice di affidabilità  $\beta$ , definito come il rapporto tra il valore medio ( $\mu_Z$ ) e la deviazione standard ( $\sigma_Z$ ) della grandezza  $Z = R - S$ , ossia la differenza tra lo spessore del copriferro (R) e la profondità del fronte di carbonatazione (S). La valutazione dello stato di conservazione di una facciata viene quindi effettuata confrontando il valore del suo indice di affidabilità con un valore minimo richiesto  $\beta_0$ , chiamato indice di sicurezza e corrispondente al valore massimo accettabile per la probabilità di guasto.

La definizione di questo valore si basa su considerazioni economiche che hanno come obiettivo l'ottimizzazione dei costi di vita di una struttura in calcestruzzo, i quali comprendono sia i costi di costruzione sia i costi di manutenzione. Per costruzioni esposte a condizioni ambientali non eccessivamente severe, il valore economicamente ottimale per la probabilità di guasto è  $\beta_0 = 1.5$ . Nel corso della vita di una facciata in calcestruzzo, l'indice di affidabilità, partendo da un valore iniziale, decresce gradualmente man mano che il fronte di carbonatazione penetra sempre più in profondità all'interno della struttura. Quando esso raggiunge il valore  $\beta_0 = 1.5$  lo stato della facciata corrisponde allo stato limite di servizio e quindi la sua vita utile è considerata esaurita.

Nell'ambito dell'analisi dei 25 edifici scolastici sono state esaminate complessivamente 66 facciate in calcestruzzo. Ciò ha comportato il prelievo di oltre 200 carote di calcestruzzo e la misura dello spessore del copriferro in oltre 4000 punti.

Una sintesi dei risultati relativi allo stato di conservazione delle facciate esaminate sono presentati nella figura 3.

Dai dati presentati nel grafico si evince che, delle 66 facciate esaminate, 31 hanno già raggiunto e superato, in alcuni casi anche ampiamente, il loro stato limite di servizio e, quindi, hanno esaurito la loro vita utile. I dati mostrano, inoltre, solo una debole correlazione negativa. Ciò mette in evidenza e conferma che, oltre al tempo, vi sono anche altri fattori, come ad esempio le condizioni di esposizione ambientale, la qualità del calcestruzzo o lo spessore nominale del copriferro, che contribuiscono a determinare lo stato di conservazione di una facciata e la rapidità con la quale esso si degrada.

### Stima della vita utile di servizio residua

Una volta conosciuto lo stato di conservazione di una facciata al tempo  $t_0$ , è di fondamentale importanza, ai fini dell'elaborazione di un programma di manutenzione, conoscere anche come evolverà lo stato successivamente. È in particolare indispensabile conoscere quando la struttura raggiungerà il termine della sua vita utile.

La durata di vita utile di servizio corrisponde all'ascissa del punto in cui la curva, che descrive il decadimento nel tempo dell'indice di affidabilità, interseca la linea  $\beta = \beta_0$ . Per la previsione dell'evoluzione dell'indice di affidabilità si assume, in base a un meccanismo di degrado la cui validità è stata dimostrata sperimentalmente, che in prima approssimazione la profondità del fronte della reazione di carbonatazione aumenta proporzionalmente alla radice quadrata del tempo, ossia  $S(t) = K\sqrt{t}$ . Il fattore K rappresenta la velocità di penetrazione del fronte della reazione di carbonatazione. Esso può essere determinato sperimentalmente su carote di calcestruzzo prelevate dall'opera. I valori della durata di vita utile di servizio delle 66 facciate oggetto di analisi stimati in base alla metodologia appena descritta sono presentati nella figura 4. Nel grafico si osserva che, oltre alle 31 facciate che al momento dell'analisi avevano già raggiunto il termine della loro vita utile (dati al disotto della linea A, vi sono 10 facciate per le quali si stima che lo stato limite di servizio verrà raggiunto entro i prossimi 25 anni (dati racchiusi tra la linea A e la linea B). È inoltre interessante notare che, secondo le previsioni, solo circa un quarto delle facciate avrà una durata di vita superiore ai 50 anni (dati al disopra della linea C), periodo di tempo oggi considerato, anche in ambito normativo, come la durata di vita minima richiesta per una struttura in calcestruzzo. Ciò è molto probabilmente una conseguenza diretta della scarsa considerazione che, ancora sino a pochi anni fa, veniva attribuita, sia in fase di progettazione sia in fase di realizzazione, all'importante tema della durabilità delle opere in calcestruzzo.

### Programmazione delle attività di manutenzione

La conoscenza dello stato di conservazione e della durata di vita residua delle facciate di uno stabile rappresenta l'insieme minimo di informazioni, di cui il *facility manager* necessita per la programmazione delle attività manutentive e anche per l'allestimento dei relativi piani finanziari. Con queste informazioni egli è in grado di adattare l'intervento di manutenzione alle reali condizioni dell'edificio, scegliendo, ad esempio, tra un intervento di ripristino nel caso in cui lo stato limite di servizio è

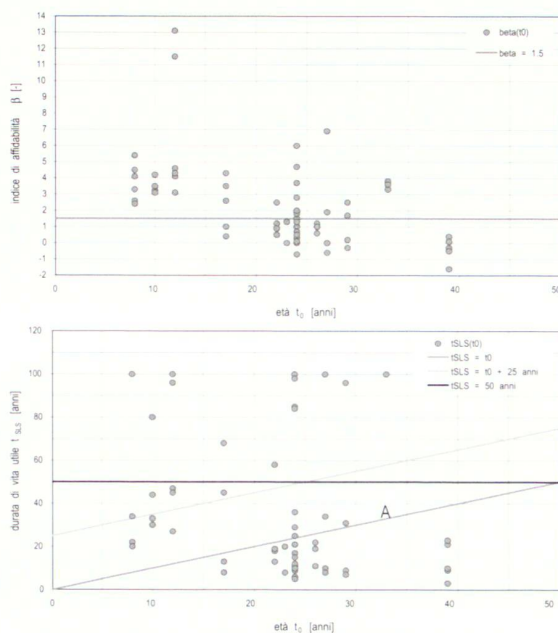


Fig. 3 – Indice di affidabilità  $\beta$  delle facciate in calcestruzzo esaminate in funzione della loro età  $t_0$ .

Fig. 4 – Durata di vita utile di servizio  $t_{SLS}$  delle facciate in calcestruzzo esaminate in funzione della loro età  $t_0$ .

raggiunto, l'applicazione di un rivestimento in grado di rallentare l'evoluzione del degrado nel caso in cui le previsioni segnalano che il raggiungimento dello stato limite di servizio è prossimo, oppure, la semplice sorveglianza dell'evoluzione delle condizioni della facciata nel caso in cui dalle analisi lo stato limite risulta ancora lungi dall'essere raggiunto. Sul piano generale, i risultati delle indagini condotte sulle facciate in calcestruzzo del campione di 25 centri scolastici mettono in evidenza l'importanza di integrare, nei programmi di manutenzione, delle procedure di individuazione di fenomeni di degrado precoci che permettano di riconoscere prontamente la necessità di adottare misure preventive atte a frenare il decadimento del loro stato di conservazione e, conseguentemente, di mantenere uno stretto controllo sui costi di manutenzione. I costi di risanamento, infatti, aumentano più che proporzionalmente in funzione dello stato di degrado. Particolarmente utile a questo scopo potrebbe rivelarsi l'esecuzione di una prima indagine approfondita già dopo pochi anni dalla realizzazione del manufatto in calcestruzzo.

### Note

1. Ch.Gehlen, *Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion*, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 510, Beuth, 2000.
2. T. Teruzzi et al., *Assessment of the durability of concrete structures by an estimate of residual service life*, Proceedings of the third international conference on construction materials: performance, innovation and structural implications, Vancouver (Canada), 22-24 August 2005.

\* Responsabile del Laboratorio Tecnico Sperimentale (LTS) della SUPSI