



15

PROTEZIONE CATODICA E PREVENZIONE CATODICA

Matteo Gastaldi

Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G.Natta"
matteo.gastaldi@polimi.it
mcd.chem.polimi.it

SOMMARIO

Per controllare o arrestare la corrosione delle armature nelle strutture in calcestruzzo si può ricorrere all'impiego di tecniche elettrochimiche. Queste, attraverso la circolazione di una corrente continua, riducono il potenziale delle armature e ristabiliscono, o preservano, le condizioni di passività sulle armature nel calcestruzzo.

Nel caso di strutture di nuova realizzazione si può utilizzare la prevenzione catodica, come tecnica di protezione aggiuntiva, per prevenire la corrosione delle armature. Su strutture esistenti già interessate dalla corrosione, si può ricorrere alla protezione catodica, in modo da bloccare il processo corrosivo in corso. In questa nota si descrivono i principi su cui si basano queste tecniche, le modalità di applicazione, i vantaggi e le possibili problematiche legate al loro impiego.

IN APERTURA. Veduta della Sydney Opera House; esempio d'impiego della prevenzione catodica (foto Maria Vittoria Diamanti)

ABSTRACT

CATHODIC PROTECTION AND CATHODIC PREVENTION

Electrochemical techniques can be used to control or to stop reinforcement corrosion in concrete structures. These techniques, through the circulation of a direct current, induce a reduction in the reinforcement potential and restore, or maintain, passivity on the steel bars. In the structures cathodic prevention can be used, as an additional prevention technique, to prevent reinforcement corrosion. On existing structures that are already affected by corrosion the use of cathodic protection can be taken into account to stop corrosion propagation. In this paper the principles of these techniques, their application, the advantages and possible problems related to their use are described.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

Prevenzione catodica, protezione catodica, tecniche elettrochimiche, prevenzioni aggiuntive, ripristino.

Cathodic prevention, cathodic protection, electrochemical techniques, additional protection measures, repair.

FOCUS | Durabilità delle costruzioni di calcestruzzo

I PROSSIMI ARTICOLI

16. Ricalcinizzazione elettrochimica e rimozione dei cloruri.

GIA' PUBBLICATI

1. Calcestruzzo armato. La sfida della durabilità *di Luca Bertolini* (Structural 178_maggio) - **2.** Forme di degrado del calcestruzzo *di Elena Redaelli* (179_giugno) - **3.** Carbonatazione e corrosione delle armature *di Matteo Gastaldi* (180_luglio) - **4.** Cloruri e corrosione delle armature *di Federica Lollini* (181_settembre) - **5.** Correnti disperse e corrosione delle armature *di Maddalena Carsana* (182_ottobre) - **6.** Corrosione delle armature da precompressione *di Luca Bertolini* (183_novembre) - **7.** Prevenzione della corrosione delle armature: approccio prescrittivo *di Matteo Gastaldi* (184_gennaio) - **8.** Prevenzione della corrosione delle armature: approcci prestazionali *di Federica Lollini* (185_febbraio) - **9.** Prevenzione. Tecnologia del calcestruzzo, messa in opera e controlli *di Luca Bertolini* (188_giugno) - **10.** Durabilità e sostenibilità *di Maddalena Carsana* (189_luglio) - **11.** Protezioni aggiuntive: armature resistenti a corrosione *di Matteo Gastaldi* (190_settembre) - **12.** Protezioni aggiuntive: trattamenti superficiali del calcestruzzo inibitori di corrosione *di Elena Redaelli* (191_ottobre) - **13.** Scelta delle strategie e delle tecniche di restauro *di Federica Lollini* (192 novembre) - **14.** Restauro convenzionale *di Maddalena Carsana* (193 gennaio).

INTRODUZIONE

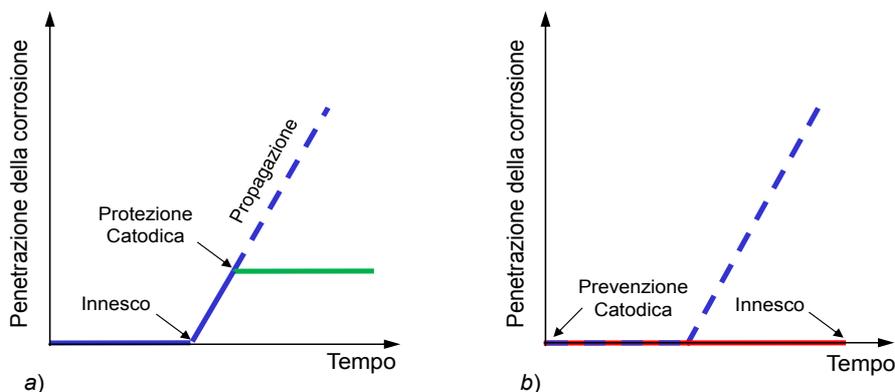
La prevenzione e la protezione catodica sono tecniche che possono essere utilizzate prevalentemente per la prevenzione o il ripristino di strutture in calcestruzzo armato esposte in ambienti con cloruri (ambienti marini o in cui sono utilizzati sali disgelanti). Entrambe le tecniche si basano sullo stesso principio di funzionamento: si impone la circolazione di una corrente in modo da controllare il processo di corrosione delle armature; le due tecniche, tuttavia, presentano delle differenze sostanziali per quanto riguarda l'obiettivo che si prefiggono, le condizioni di funzionamento e gli effetti.

Già a partire dagli anni settanta la protezione catodica è stata impiegata per il restauro di strutture esistenti interessate dalla corrosione per bloccare, o rallentare, il fenomeno [1]. Il suo scopo, pertanto, è agire sul periodo di propagazione della corrosione, controllandolo (figura 1a). Questa tecnica può risultare vantaggiosa rispetto ad un intervento di restauro convenzionale nel caso in cui vi siano ampie zone della struttura inquinate dai cloruri; questo perché con la protezione catodica non è necessario rimuovere il calcestruzzo già inquinato dai cloruri ma non ancora fessurato [2].

La prevenzione catodica è stata applicata per la prima volta in Italia, su un ponte autostradale (ponte di Riveggio dell'Autostrada del Sole), negli anni novanta su proposta di Pietro Pedeferra, suo ideatore [1,3]. Questa tecnica si applica a strutture nuove, in cui le armature sono quindi ancora in condizioni di passività (grazie alla presenza del film di ossido protettivo che si forma spontaneamente, in assenza di cloruri, sulla superficie delle armature a contatto con la soluzione alcalina presente nei pori del calcestruzzo). La circolazione della corrente continua causa un incremento del contenuto di cloruri nel calcestruzzo necessario per l'innescò della corrosione, ritardando così l'innescò della corrosione sulle armature (figura 1b) [4]; la prevenzione catodica può quindi essere impiegata come sistema di protezione aggiuntiva su strutture nuove esposte in ambienti fortemente aggressivi per garantire la durabilità richiesta in sede di progetto.

Entrambe le tecniche devono operare per tutta la vita utile della struttura per garantire la protezione alle armature, sono pertanto tecniche permanenti per le quali sono necessari controlli e manutenzioni in modo da garantirne l'efficacia nel tempo.

In questa nota si descrivono le modalità di applicazione della prevenzione e della protezione catodica, i principi di funzionamento, gli effetti legati alla circolazione della corrente, i controlli e la durabilità. Si confrontano le due tecniche evidenziandone le differenze e le peculiarità.



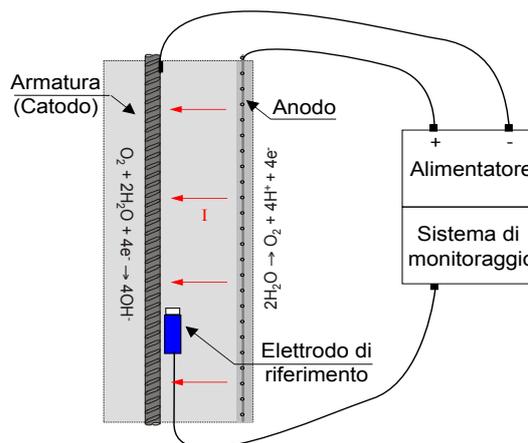
1. Rappresentazione schematica dell'evoluzione nel tempo della corrosione in una struttura in calcestruzzo armato (in blu) ed effetto dell'applicazione della protezione catodica (in verde, a) e della prevenzione catodica (in rosso, b).

PRINCIPI GENERALI

La corrente continua, necessaria a controllare la corrosione delle armature, è fatta circolare tra un anodo, posto in genere sulla superficie esterna del calcestruzzo, e le armature che funzionano da catodo (figura 2).

La circolazione della corrente porta ad una diminuzione del potenziale delle armature che produce una riduzione della velocità di corrosione.

Solitamente per la circolazione della corrente viene utilizzato un alimentatore esterno in corrente continua (sistema a corrente impressa); l'anodo viene collegato al polo positivo del generatore (quindi eroga la corrente) mentre le armature sono collegate al polo negativo. L'anodo deve consentire una distribuzione il più possibile uniforme di corrente sulle armature.



2. Rappresentazione schematica della modalità di applicazione e funzionamento di un sistema di prevenzione/protezione catodica.

Gli anodi più utilizzati sono costituiti da reti (nastri o fili) di titanio attivato (con ossidi di metalli nobili) o da rivestimenti conduttivi (pitture con polvere di grafite). I sistemi che utilizzano anodi in titanio attivato sono i più diffusi e i più affidabili (figura 3), hanno buone proprietà meccaniche e sono facilmente adattabili alla superficie della struttura. Possono essere direttamente inglobati nel calcestruzzo (come nel caso della prevenzione catodica) o annegati in uno strato di malta cementizia (denominato *overlay*, con conducibilità simile a quella del calcestruzzo su cui è applicato). I rivestimenti conduttivi si applicano sulla superficie del calcestruzzo, sono molto semplici da mettere in opera (necessitano tuttavia di inserire nella pittura dei conduttori metallici per distribuire la corrente) e sono più leggeri della malta cementizia che ingloba gli anodi di titanio (non incrementano quindi il peso della struttura).



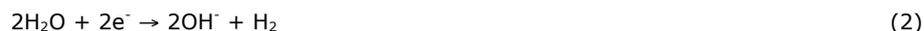
3. Rete di titanio attivato applicata sulla superficie del calcestruzzo durante le fasi di realizzazione di un sistema di protezione catodica.

Queste tipologie di anodo sono in grado di erogare una minore densità di corrente rispetto agli anodi in titanio attivato e presentano anche una minore vita di servizio (sono stati utilizzati soprattutto su edifici, grazie alla loro facilità di applicazione).

Sulla superficie delle armature avviene la reazione catodica di riduzione dell'ossigeno:



Nel caso in cui si raggiungano potenziali molto negativi (inferiori a -1000 mV vs SCE), alla superficie delle armature avviene anche la reazione di sviluppo di idrogeno:



Questo può portare all'insorgenza di fenomeni di fragilimento da idrogeno sulle armature ad alta resistenza, utilizzate nelle strutture in calcestruzzo armato precompresso (ma non su quelle ordinarie impiegate nel calcestruzzo armato) [5]. La norma EN-ISO 12696, che fornisce le specifiche per l'applicazione della protezione catodica, indica come valore limite per la polarizzazione degli acciai da precompressione -900 mV vs SCE [6].

Sia la reazione (1) sia la (2) portano alla formazione di ioni OH^- sulla superficie delle armature che comporta un incremento del pH della soluzione nei pori del calcestruzzo posto in loro prossimità.

Sulla superficie dell'anodo la reazione che avviene è lo sviluppo di ossigeno:



Questa reazione produce acidità e può portare al danneggiamento della pasta cementizia a contatto con l'anodo (in presenza di cloruri può prodursi, inoltre, la reazione $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$, in cui si ha sviluppo di cloro).

In caso di utilizzo di anodi in titanio attivato, il deterioramento prodotto dall'acidificazione risulta trascurabile se non si superano densità di corrente anodiche di 100 mA/m² (in genere, con queste tecniche, non si opera con densità di corrente così elevate). L'acidificazione crea maggiori problemi nei rivestimenti conduttivi e, nel caso in cui eroghino correnti elevate, può limitarne sensibilmente la vita di servizio.

Nel calcestruzzo la circolazione della corrente è prodotta dal movimento degli ioni presenti nella soluzione dei pori (figura 2). Gli ioni negativi, come OH^- e Cl^- , si spostano verso l'anodo (polo positivo), mentre quelli positivi, come Na^+ e K^+ , migrano verso le armature (polo negativo).

Pertanto a contatto delle armature oltre all'aumento della concentrazione degli ioni OH^- , che provoca l'aumento di alcalinità, si ha una diminuzione del contenuto di cloruri (per allontanare significativamente questi ioni dalle armature, tuttavia, sono necessarie alte densità di corrente, non utilizzate nell'applicazione della prevenzione/protezione catodica); questo produce una diminuzione del rapporto $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ che favorisce lo sviluppo della passività sulle armature.

L'aumento dell'alcalinità in prossimità alle armature può, tuttavia, favorire il degrado legato alla reazione alcali-aggregati (nel caso di presenza di aggregati suscettibili a questo tipo di attacco) [7].

Sono, inoltre, stati proposti sistemi di prevenzione/protezione catodica che utilizzano anodi sacrificali. Questi sono costituiti da metalli (zinco, alluminio, o loro

leghe) che presentano un potenziale elettrochimico minore (meno "nobili") rispetto a quello delle armature nel calcestruzzo (che quindi risultano più "nobili"); la circolazione della corrente si ottiene collegando elettricamente anodo e armatura, grazie alla differenza di potenziale tra di essi (come nel caso di una comune pila). La circolazione della corrente in questo caso provoca un consumo dell'anodo nel tempo; inoltre è necessario garantire il costante contatto elettrolitico tra l'anodo e il calcestruzzo per assicurare una corretta circolazione della corrente (a questo scopo, possono essere utilizzati dei gel conduttivi interposti tra l'anodo e il calcestruzzo). Questo sistema è, in genere, efficace solo nel caso di interventi di piccole dimensioni, associato ad un intervento di ripristino convenzionale allo scopo di evitare l'insorgere della corrosione nelle zone limitrofe a quelle ripristinate.

È importante evidenziare che per un corretto funzionamento del sistema di protezione è necessario che le armature da proteggere siano elettricamente collegate tra di loro e che il calcestruzzo non presenti fessurazioni, distacchi di copriferro, rivestimenti superficiali ecc., che possono compromettere un flusso uniforme della corrente. Nel caso in cui vi siano zone che presentano il copriferro fessurato o distaccato, si dovrà intervenire con un intervento di ripristino locale con una malta cementizia, in modo da garantire la continuità elettrolitica.

Per verificare che il sistema funzioni correttamente nel tempo, cioè che siano raggiunte effettivamente le condizioni di protezione sulle armature e non vi siano condizioni di sovraprotezione, con possibili effetti negativi, è necessario installare anche un sistema di monitoraggio (figura 2). Questo si basa in genere sulla misura di potenziale delle armature fatta rispetto ad elettrodi di riferimento inseriti nel calcestruzzo. Sempre più frequentemente, questi sistemi sono dotati di un sistema di acquisizione dati e di una connessione senza fili in modo da poter operare da remoto. Nel caso d'impiego di un sistema con anodi sacrificali, il controllo delle condizioni di protezione è più difficile da realizzare [1].

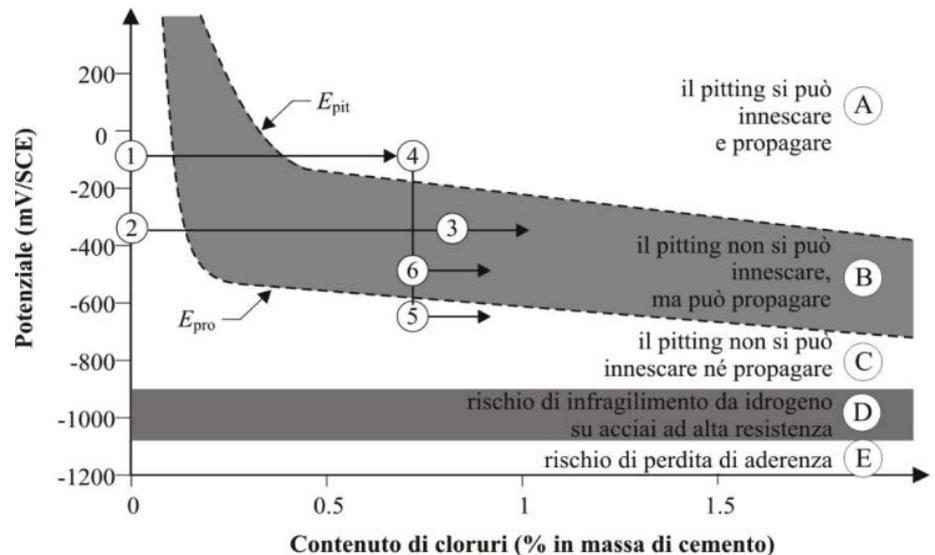
PREVENZIONE CATODICA

Scopo di questa tecnica è prevenire la corrosione indotta dai cloruri, si applica quindi su strutture nuove (o in cui non si è ancora innescata la corrosione). Questa tecnica viene utilizzata come sistema di protezione aggiuntiva per prevenire la corrosione in ambienti aggressivi in presenza di cloruri, al posto ad esempio dell'impiego di armature in acciaio inossidabile.

In figura 4 è illustrato il suo principio di funzionamento. Questo diagramma, denominato diagramma di Pedefferi, descrive la relazione tra potenziale dell'armatura e contenuto di cloruri per una struttura esposta in atmosfera (i domini evidenziati sono indicativi perché dipendono da diversi fattori, quali ad esempio il pH e la temperatura).

Per quanto riguarda la descrizione di questo diagramma, si rimanda all'articolo sulla corrosione indotta dai cloruri, contenuto in un precedente numero di questa rivista [4]. Rispetto al diagramma, più semplificato, riportato in quell'articolo, si sono aggiunte le zone D e E, in cui, per valori del potenziale molto negativi, si ha sviluppo di idrogeno con rischio di fragilimento per gli acciai ad alta resistenza (e rischio di perdita di aderenza).

Imponendo una circolazione di corrente di pochi mA/m² sulle armature, si può produrre una diminuzione del potenziale di almeno 100-200 mV (percorso 1→2 in figura 4; dove il punto 1 rappresenta il potenziale delle barre nelle condizioni iniziali di passività); di conseguenza si incrementa, anche di più di un ordine di grandezza, il tenore di cloruri per l'insorgere della corrosione (percorso 2→3→, nella zona B di figura 4).



4. Diagramma di Pedefferri che descrive le condizioni di corrosione delle armature nel calcestruzzo, per strutture esposte all'atmosfera, in funzione del potenziale e del contenuto di cloruri. Il percorso 1→2→3→ descrive il funzionamento della prevenzione catodica, mentre il percorso 1→4→5/6→ descrive il funzionamento della protezione catodica [1].

Questo comporta un incremento della vita di servizio della struttura in calcestruzzo armato. Inoltre le reazioni che avvengono sulla superficie delle armature rafforzano il film di passività presente sulle armature, sfavorendo ulteriormente l'innescio della corrosione.

Sono necessarie densità di corrente così piccole per garantire il controllo della corrosione poiché per abbassare il potenziale sulle armature passive è sufficiente una modesta polarizzazione [1]. Questo consente di limitare considerevolmente molte delle possibili conseguenze negative legate alla circolazione della corrente (come ad esempio l'acidificazione all'anodo). Inoltre, consente di ottenere una distribuzione della corrente più uniforme (evitando i rischi di sovrapprotezione) e di garantire più facilmente la protezione di diversi strati di armature, con armature che si trovano a differenti profondità, rispetto alla protezione catodica (la prevenzione catodica presenta quindi un maggior potere penetrante).

Per queste ragioni questa tecnica può essere applicata anche su strutture in calcestruzzo armato precompresso, evitando facilmente i rischi di incorrere in fenomeni di fragilimento da idrogeno sugli acciai ad alta resistenza.

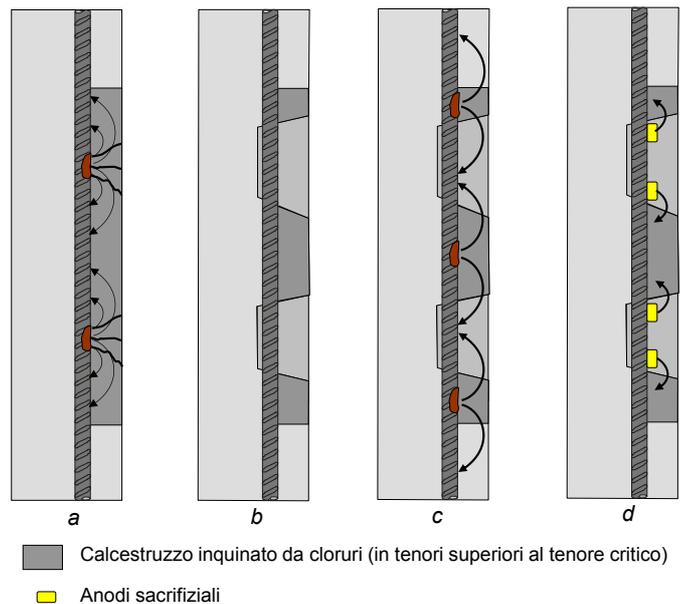
Esempi d'impiego della prevenzione catodica sono diversi viadotti in Italia, dove la tecnica è stata per prima proposta da Pietro Pedefferri, e molte altre successive applicazioni nel mondo, tra le quali: il ponte che attraversa la baia di Hangzhou, realizzato nel 2007 (figura 5), e le strutture del molo in calcestruzzo armato precompresso della Sydney Opera House realizzate nel 1996 (in sostituzione a quelle originali che avevano avuto seri problemi di corrosione) [8].

È importante sottolineare che qualora si interrompa la corrente per un periodo tale da consentire l'innescio della corrosione, si dovrà applicare la protezione catodica (aumentando la corrente) per ripristinare le condizioni di protezione sulle armature; perdendo, quindi, i vantaggi legati all'applicazione della prevenzione catodica.



5. Ponte che attraversa la baia di Hangzhou.

La prevenzione catodica è stata sfruttata anche in combinazione con gli interventi di ripristino locale convenzionale di strutture inquinate da cloruri, per prevenire l'innescò della corrosione da cloruri nelle zone limitrofe alle zone riparate [2]. In questo caso si utilizzano anodi sacrificali annegati nella malta di ripristino (figura 6). L'abbassamento del potenziale prodotto dall'accoppiamento galvanico tra gli anodi e le armature consente di evitare l'innescò della corrosione nelle zone limitrofe all'intervento in cui l'attacco non si era innescato (nonostante la presenza di cloruri in tenori sufficienti a causare l'attacco) grazie alla protezione offerta dalle aree già in condizioni di corrosione; in questo modo si può garantire la durabilità dell'intervento.



6. Illustrazione schematica delle conseguenze di un intervento di ripristino locale effettuato su un elemento un calcestruzzo armato inquinato da cloruri rimuovendo solo il calcestruzzo danneggiato (a, b e c) e dell'effetto dell'inserimento di anodi sacrificali nella zona riparata (d).

PROTEZIONE CATODICA

La protezione catodica viene applicata su strutture in cui la corrosione è già innescata; il suo scopo è bloccare, o limitare, la corrosione delle armature. È l'unica tecnica efficace per interrompere la corrosione di armature in calcestruzzo inquinato da cloruri, anche in tenori molto elevati; inoltre è necessario rimuovere, e riparare, solo il calcestruzzo meccanicamente danneggiato (fessurato o distaccato), senza rimuovere quello meccanicamente sano, anche se contaminato dai cloruri.

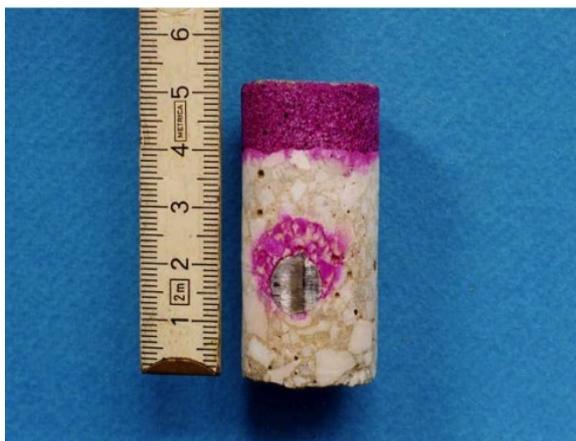
Quando in una struttura in calcestruzzo armato soggetta alla penetrazione dei cloruri si innesca la corrosione (percorso 1→4 in figura 4), per arrestare il processo sulle armature è necessario diminuire il potenziale portandolo ad un potenziale inferiore a quello di protezione E_{pro} , sotto il quale si ripristina la passività sulle armature, nella zona di passività perfetta (zona C, percorso 4→5). È possibile anche diminuire il potenziale a valori appena al di sopra del potenziale di protezione (percorso 4→6); in questo caso non si raggiungono le condizioni di passività, ma si riduce la velocità di corrosione a valori trascurabili.

Inizialmente la densità di corrente necessaria per realizzare la protezione catodica su strutture esposte in atmosfera e inquinate da cloruri è dell'ordine di una decina di mA/m² (in strutture immerse in acqua, a causa del ridotto apporto di ossigeno, sono sufficienti densità di corrente di 0.2-2 mA/m² per garantire la protezione). Se si raggiungono le condizioni di potenziale al di sotto di E_{pro} (punto 5), la ripassivazione delle armature, che inizialmente erano in condizioni di corrosione, porta nel tempo ad una diminuzione della corrente necessaria a mantenere la protezione. Se, invece, ci si mantiene sopra E_{pro} (punto 6) la densità di corrente necessaria per la protezione non diminuisce nel tempo (le armature, infatti, sono ancora in condizioni di corrosione).

La passività, favorita anche dagli effetti della circolazione della corrente (produzione di OH⁻ e allontanamento di Cl⁻), assicura la protezione alle armature anche se la corrente viene interrotta (anche per mesi). Per questo motivo alcuni autori hanno proposto la possibilità anche d'impiegare la protezione catodica in modo intermittente [9].

Le maggiori densità di corrente necessarie per la polarizzazione delle armature nella protezione catodica, rispetto alla prevenzione catodica, aumentano la possibilità che si abbiano problemi a causa della circolazione della corrente (acidificazione all'anodo, rischi di sovraprotezione, di fenomeni di infragilimento da idrogeno ...). In particolare l'applicazione di questa tecnica alle strutture con armature di precompressione è complessa.

La protezione catodica è stata impiegata anche per ripassivare le armature in calcestruzzo carbonatato contenente piccole quantità di cloruri (aggiunti all'impasto in fase di getto o penetrati dall'esterno). In genere gli interventi di ripristino convenzionale nel caso di strutture soggette a carbonatazione risultano più economici della protezione catodica. La protezione catodica è stata utilizzata in questi casi perché gli interventi di ripristino convenzionale svolti in precedenza erano risultati poco efficaci nel tempo. La produzione di alcalinità sulle armature produce una blanda rialcalinizzazione del calcestruzzo intorno alle barre (figura 7), portando alla loro passivazione [10].



7. Calcestruzzo rialcalinizzato intorno all'armatura (evidenziato dal colore rosa dell'indicatore di pH, la fenolftaleina, che rimane incolore per valori di pH inferiori a 9) a causa dell'applicazione della protezione catodica [10].

CONTROLLI E MONITORAGGIO

L'efficacia, e l'assenza di condizioni di sovraprotezione, della prevenzione/protezione catodica deve essere verificata effettuando controlli sia in fase iniziale sia durante tutta la vita prevista del sistema di protezione; a questo scopo spesso viene installato un sistema di monitoraggio automatico. Nella norma EN-ISO 12696 è indicato che i controlli devono essere eseguiti ad intervalli di almeno 3 mesi durante il primo anno di funzionamento e successivamente, se il sistema funziona correttamente, ad intervalli da 6 mesi a 12 mesi [6].

Questi controlli sono basati su misure di potenziale effettuate con gli elettrodi di riferimento fissi inseriti nella struttura (nelle zone in cui è più critica la distribuzione della corrente o dove il controllo del potenziale è più importante) e esterni, posti sulla superficie del calcestruzzo al momento della misura.

Per verificare l'assenza di condizioni di sovraprotezione il potenziale "instant-off", ovvero quello misurato nell'istante successivo (tra 0.1 s e 1 s) allo spegnimento della corrente (in modo da eliminare il contributo di caduta ohmica), non deve essere minore di -1100 mV vs SCE nel caso di armature per calcestruzzo armato e di -900 mV vs SCE per gli acciai da precompressione.

L'analisi del raggiungimento delle effettive condizioni di protezione sulle armature con la sola misura del potenziale è più complessa. Questo perché non si può definire un valore univoco per il potenziale di protezione, visto che questo valore varia in funzione di diversi parametri (pH, tenore di cloruri, contenuto di umidità, temperatura ...) e a causa dell'applicazione stessa della corrente di protezione.

Il criterio più utilizzato e affidabile per verificare il raggiungimento delle effettive condizioni di protezione sulle armature è quello "dei 100 mV di depolarizzazione". Questo si basa sulla misura della variazione del potenziale delle armature tra l'istante di spegnimento della corrente (instant-off) e il valore misurato dopo 4 (o 24) ore (periodo di depolarizzazione). Se questa variazione di potenziale è superiore a 100 mV, si può assumere che le armature sono in condizioni di passività (questo perché le armature passive hanno un potenziale molto più positivo rispetto a quelle attive).

Oltre ai controlli del potenziale, si deve effettuare anche un'ispezione visiva della struttura, con frequenza almeno annuale, per verificare che non vi siano distacchi o fessurazioni.

Il monitoraggio e i controlli devono essere realizzati da personale esperto. Il loro costo deve essere considerato in fase di progettazione in modo da valutare correttamente i vantaggi legati all'impiego di queste tecniche rispetto a un restauro convenzionale o all'utilizzo di altri sistemi di prevenzione aggiuntiva.

VITA DI SERVIZIO

I sistemi di prevenzione/protezione catodica, se correttamente progettati, installati e controllati, possono garantire lunghe vite di servizio; tuttavia necessitano di manutenzione periodica programmata.

Il sistema di prevenzione/protezione catodica con correnti impresse è composto da diverse parti: il sistema anodico, l'alimentatore, gli elettrodi di riferimento, il sistema di monitoraggio e tutte le parti elettriche necessarie per i collegamenti. La sua durabilità dipende dalla durabilità di tutte le parti che lo compongono [11].

Per quanto riguarda il sistema anodico, gli anodi in titanio attivato hanno mostrato di garantire una vita di servizio superiore a 20 anni; nel caso d'impiego di rivestimenti conduttivi la durata può essere considerata superiore a 15 anni, ma diminuisce in climi umidi (a causa della perdita di adesione).

Gli elettrodi di riferimento e tutti i componenti elettrici (collegamenti elettrici, cavi, alimentatore, sistema di acquisizione dati ...) sono le parti del sistema che presentano minore durabilità e necessitano di operazioni di manutenzione periodiche programmate. In genere gli interventi di sostituzione, o riparazione, di questi componenti non presentano costi elevati (generalmente inferiori al costo dei controlli e delle ispezioni che vengono effettuati normalmente sul sistema) e devono essere considerati in fase di realizzazione del piano di manutenzione, in sede di progetto.

Nel caso di sistemi che impiegano anodi sacrificali, si dovrà considerare il consumo dell'anodo (valutato in fase di progettazione, in base alla vita di servizio attesa) e la conservazione del contatto elettrolitico tra anodo e calcestruzzo (che è il fattore più critico), oltre alla durabilità dei collegamenti. Si è verificato che, in caso d'impiego di anodi sacrificali in interventi di ripristino locali, questi conservano la loro efficacia per un periodo di almeno dieci anni.

I sistemi di prevenzione catodica possono garantire vite di servizio superiori rispetto a quelli di protezione catodica, a causa delle minori correnti necessarie per la polarizzazione delle armature.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

- [1] Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Redaelli E., Polder R., Corrosion of steel in concrete. Prevention, diagnosis, repair, 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, 2013.
- [2] Carsana M. "Restauro convenzionale", Structural 193, DELETTERA, paper 01, gennaio 2015, pp.1-10.
- [3] Pedferri P. "Cathodic protection and cathodic prevention", Construction and building materials, Vol. 10, 1995, pp. 391-402.
- [4] Lollini F. "Cloruri e corrosione delle armature", Structural 181, DELETTERA, paper 20, settembre 2013, pp.1-10.
- [5] Bertolini L. "Corrosione delle armature da precompressione", Structural 183, DELETTERA, paper 26, novembre 2013, pp.1-10.
- [6] EN-ISO 12696, Cathodic protection of steel in concrete, CEN/ISO, 2012.
- [7] Redaelli E. "Forme di degrado del calcestruzzo", Structural 179, DELETTERA, paper 16, giugno 2013, pp.1-11.
- [8] Cheaitani A., Pedferri P., Bazzoni B., Karajayli P., Dick R. "Performance of cathodic prevention system of Sydney Opera House underbroadwalk after 10 years of operation", Proc. Int. Conf. Corrosion/06, NACE, Houston, paper No. 06342, 2006.
- [9] Glass G. K., Hassanein A. M., Buenfeld N. R. "Cathodic protection afforded by an intermittent current applied to reinforced concrete", Corrosion Science, Vol. 43, 2001, pp. 1111-1131.
- [10] Bertolini L., Pedferri P., Redaelli E., Pastore T. "Repassivation of steel in carbonated concrete induced by cathodic protection", Materials and Corrosion, Vol. 54, 2003, pp. 163-175.
- [11] Polder R.B., "Service life for cathodic protection systems for reinforced and prestressed concrete structures", COST 534, Annual reports, 2006.