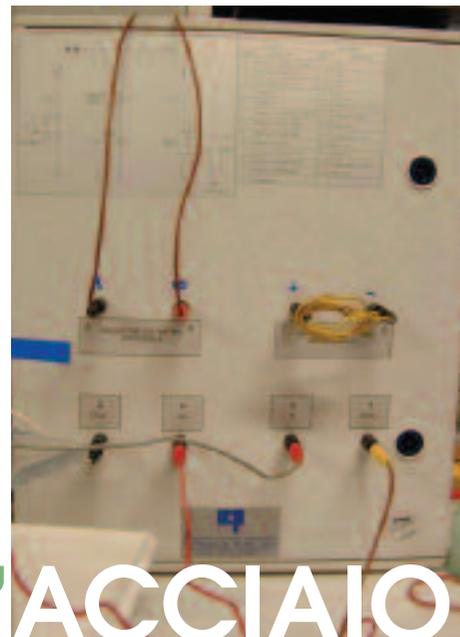
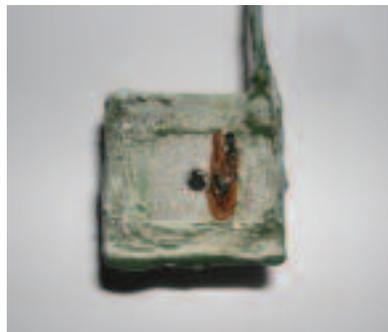


Giuseppe Festa
Dipartimento di Chimica, Materiali
ed Ingegneria Chimica
"Giulio Natta"
Politecnico di Milano
gfesta@chem.polimi.it



CORROSIONE LOCALIZZATA DELL'ACCIAIO AL CARBONIO IN AMBIENTE ALCALINO IN PRESENZA DI CORRENTE ALTERNATA

Questa ricerca sperimentale è stata finalizzata a valutare l'influenza della corrente alternata sulla corrosione dell'acciaio al carbonio in ambiente alcalino, simulando le condizioni delle armature di strutture in calcestruzzo interferite.

Di recente, in Italia, per le nuove linee ferroviarie veloci, si è scelto di adottare un sistema di elettrificazione monofase a corrente alternata da 25 kV con frequenza di 50 Hz, innovativo rispetto a quello a corrente continua da 3 kV, con cui è stata elettrificata, finora, l'intera rete ferroviaria italiana. Si è reso, quindi, necessario prendere in considerazione eventuali problemi di corrosione per interferenza da corrente alternata, sulle opere in calcestruzzo armato (gallerie, ponti ferroviari, plinti di fondazione, viadotti e cavalcavia), situate in prossimità dei sistemi di trazione ad alta velocità (TAV).

Se, da un lato, la fenomenologia della cor-

rosione da corrente continua è nota e da tempo regolamentata dalla legislazione internazionale, dall'altro gli studi sull'interferenza da corrente alternata hanno avuto un impulso solo negli ultimi anni, offrendo materia di discussione: le divergenze, tra i gruppi di ricerca, vertono sulle diverse interpretazioni delle conseguenze attribuibili alla presenza di una componente alternata. Anche sui limiti imposti dalla normativa europea non vi è consenso unanime: attualmente, si ritiene che gli effetti diventino trascurabili, se la densità di corrente alternata interferente non supera il valore soglia di 30 A/m² [1, 2].

Le armature di acciaio al carbonio nel cal-

cestruzzo intatto (non carbonatato e non inquinato da cloruri) sono passive, grazie all'alcalinità della soluzione elettrolitica presente nei pori del cemento: in tali condizioni, si ricoprono di uno strato superficiale di prodotti di corrosione (film di passività), che costituisce una barriera cinetica all'attacco corrosivo in profondità.

I cloruri rappresentano una delle principali cause di degrado delle armature del calcestruzzo e possono penetrare dall'ambiente esterno, portando alla rottura localizzata del film di passività (fase d'innescio della corrosione): è quello che si verifica nelle strutture marine ed in molte opere stradali, su cui si cospargono sali disge-

lanti. L'attacco corrosivo ha luogo quando il tenore di cloruri raggiunge un valore sufficientemente elevato, che dipende dal pH e dal potenziale delle armature, a sua volta legato alla concentrazione di ossigeno [3, 4].

Questo studio sperimentale è stato finalizzato a valutare le condizioni d'innesco della corrosione localizzata dell'acciaio al carbonio, in soluzione alcalina (in grado di assicurare un ambiente simile a quello presente nel calcestruzzo), in presenza di interferenza da corrente alternata: è stato, dunque, possibile verificare il tenore critico di cloruri, per diversi valori della densità di corrente interferente.

Capita, spesso, che le nuove linee ferroviarie veloci, alimentate con corrente alternata, siano parallele a quelle tradizionali, elettrificate con corrente continua: per tale motivo, la seconda parte della ricerca sperimentale è stata dedicata all'indagine degli effetti provocati dalla presenza simultanea di corrente continua ed alternata.

Corrosione per interferenza da corrente alternata

Nonostante siano state avanzate diverse ipotesi, ancora oggi non è del tutto chiaro il meccanismo attraverso il quale la corrente alternata influenza i fenomeni corrosivi. In base all'analisi dei dati riportati in letteratura, sembra necessario prendere in considerazione più di una delle teorie proposte,

integrandole a vicenda.

In termini generali, per i metalli a comportamento attivo-passivo (come le armature di acciaio al carbonio nel calcestruzzo), la tensione alternata può essere causa di un aumento della densità di corrente di passività e della distruzione del film protettivo. È stato messo in luce che le curve, di polarizzazione, ottenute imponendo un segnale alternato, sono molto simili a quelle ricavate in presenza di Cl⁻ e questa osservazione potrebbe indicare che l'effetto della corrente alternata sulla corrosione sia analogo a quello attribuibile ai cloruri. Addirittura, in alcune condizioni sperimentali, si è osservata la completa scomparsa della regione di passività [5, 6].

Se alla corrente alternata si sovrappone quella continua, si ha un sensibile effetto depolarizzante, ovvero una diminuzione delle sovratensioni anodica e catodica, con conseguente aumento delle zone in cui avvengono le reazioni elettrochimiche di corrosione [7].

Metodologia sperimentale

Da sperimentazioni precedenti, effettuate nel Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano, è emerso che, in presenza di interferenza da corrente alternata, si ha una netta diminuzione del tenore critico di cloruri, anche con basse densità di corrente interferente (30 A/m²). Ciò signifi-

ca che strutture, parzialmente inquinate da Cl⁻ (al di sotto della concentrazione di soglia indicata per l'innesco dei fenomeni corrosivi), potrebbero essere suscettibili di corrosione indotta da corrente alternata [2]. Si è deciso, pertanto, di effettuare una serie di prove sperimentali all'abbandono (a lungo termine), con diversi tenori di Cl⁻ e con differenti densità di corrente alternata interferente.

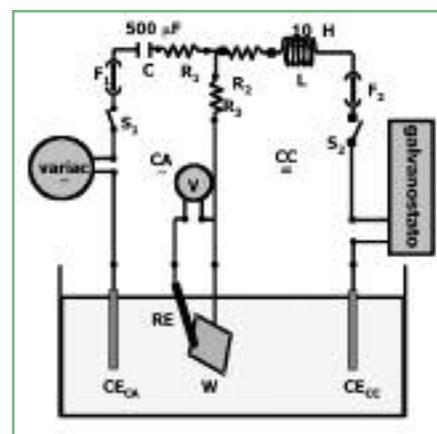


Fig. 2 - Circuito elettrico per l'applicazione indipendente di corrente continua ed alternata

I provini di acciaio al carbonio sono stati immersi in una soluzione alcalina (con pH pari a circa 12,6), preparata con 0,4 g/L di NaOH e saturata con 2 g/L di Ca(OH)₂, in grado di assicurare un ambiente simile a quello presente nel calcestruzzo armato. Dopo 48 ore, raggiunte le condizioni di passività, è stato acceso il generatore di tensione alternata (variac) e sono stati aggiunti i cloruri.

Nel corso delle prove, è stato monitorato il potenziale dei campioni metallici (rispetto ad un elettrodo di riferimento al calomelano saturo SCE), misurando periodicamente il pH della soluzione elettrolitica, per controllare che non si fossero verificate alterazioni. Le lastre di acciaio al carbonio presentano una superficie esposta all'ambiente aggressivo pari a 3 cm² (è importante conoscere esattamente tale valore, al fine

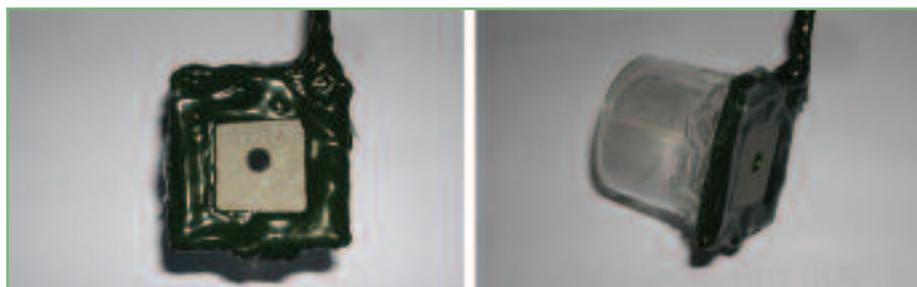


Fig. 1 - Provino di acciaio al carbonio

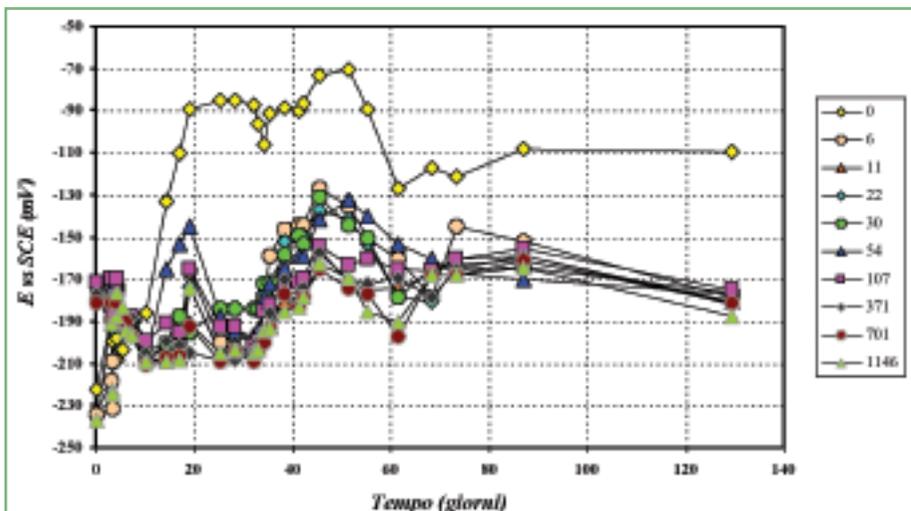


Fig. 3 - Andamento del potenziale dei provini di acciaio al carbonio, con densità di corrente alternata interferente compresa tra 6 e 1.146 A/m² (tenore di cloruri pari a 2 mmol/L)

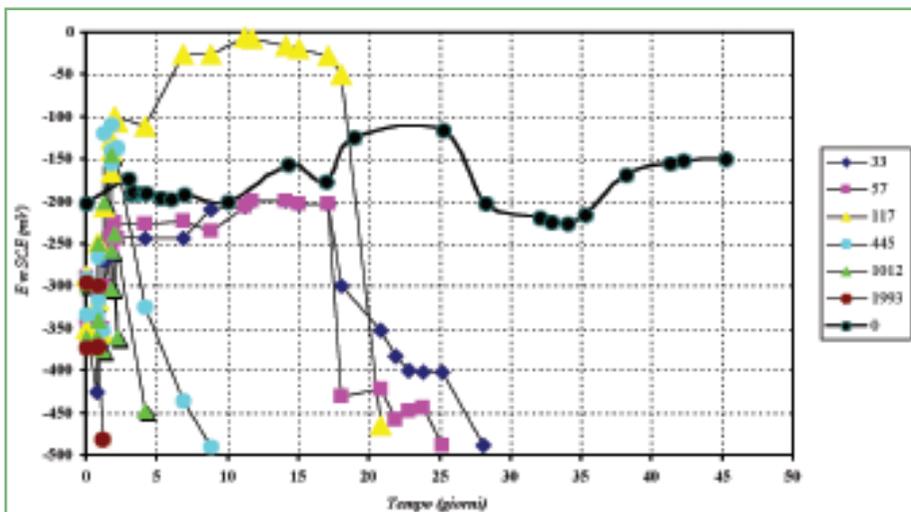


Fig. 4 - Andamento del potenziale dei provini di acciaio al carbonio, con densità di corrente alternata interferente compresa tra 33 e 1.993 A/m² (tenore di cloruri pari a 11 mmol/L)

di determinare le densità di corrente) e la geometria scelta è tale da eliminare eventuali contributi di caduta ohmica dalla misurazione del potenziale (Fig. 1).

Nella seconda parte della sperimentazione,

per applicare simultaneamente ai provini le due correnti continua ed alternata e per poterle misurare in modo indipendente, è stato necessario utilizzare il circuito elettrico schematizzato nella Fig. 2, messo a

punto da Ottoboni e Zaninelli del Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano. Tali prove sono state effettuate in celle termostate (T=20° C), aggiungendo quotidianamente 1 mmol/L di NaCl, fino all'innesco della corrosione.

Analisi dei risultati sperimentali

Con concentrazioni di cloruri inferiori a 11 mmol/L, la corrosione non si è innescata in nessuno dei provini di acciaio al carbonio, nemmeno con elevate densità di corrente alternata: l'interferenza elettrica è, comunque, causa di una snobbilizzazione del potenziale, che può essere indice di una modificazione del film di passività (Fig. 3).

Con un tenore di Cl⁻ pari a 11 mmol/L, si sono corrosi tutti i campioni metallici interferiti, con attacchi elettrochimici di natura localizzata, tipici della corrosione per vaiolatura.

Nei giorni successivi all'applicazione di corrente alternata, il potenziale tende a crescere (probabilmente per un aumento delle dissipazioni all'interfaccia metallo/soluzione), per poi diminuire fino a valori non più compatibili con le condizioni di passività (Fig. 4). Il tempo di innesco dei fenomeni corrosivi risulta inferiore per i provini maggiormente interferiti (Tabella).

Anche le prove sperimentali, effettuate in presenza di una debole interferenza anodica ($i_{CC}=1,2 \text{ mA/m}^2$), hanno confermato che la corrente alternata è causa di una significativa riduzione del tenore critico di cloruri. Il potenziale del provino non collegato al variac (Fig. 5) si mantiene pressoché costante nei primi giorni, aumenta in segui-

Influence of Alternating Current on Carbon Steel Corrosion in Alkaline Solution

This paper illustrates the results of laboratory tests on the influence of AC interference on carbon steel corrosion, in concrete simulating solution (pH 12.6), varying chlorides concentration. It can be stated that the AC interference leads to a considerable decrease of the minimum content of chlorides that causes pitting corrosion, also at not very high AC densities.

ABSTRACT 

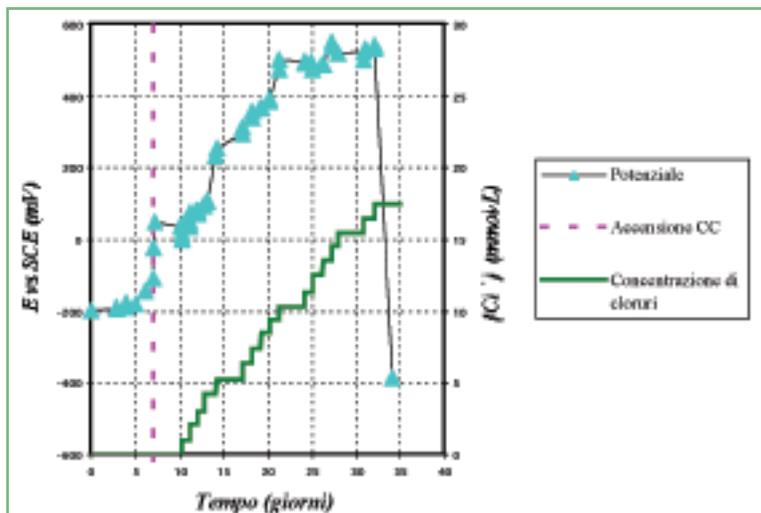


Fig. 5 - Andamento del potenziale del provino, con debole interferenza anodica ($i_{CC}=1,2 \text{ mA/m}^2$), in assenza di corrente alternata, aggiungendo quotidianamente 1 mmol/L di NaCl, fino all'innesco della corrosione

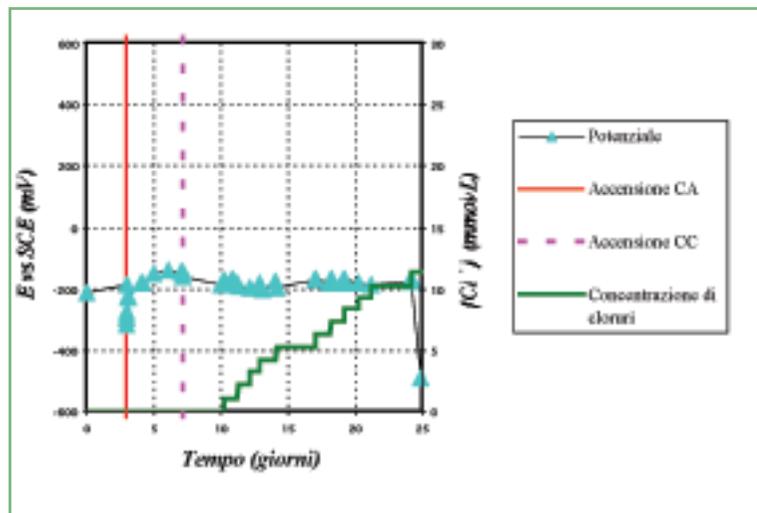


Fig. 6 - Andamento del potenziale del provino interferito con corrente alternata ($i_{CA}=507 \text{ A/m}^2$) e continua ($i_{CC}=1,2 \text{ mA/m}^2$), aggiungendo quotidianamente 1 mmol/L di NaCl, fino all'innesco della corrosione

to all'applicazione di corrente continua e tale incremento prosegue anche dopo l'ag-

giunta dei cloruri: l'innesco della corrosione localizzata avviene in corrispondenza di una concentrazione di Cl^- pari a 17 mmol/L.

Con elevata densità di corrente alternata interferente ($i_{CA}=507 \text{ A/m}^2$), si è osservato che il potenziale rimane costante, anche dopo l'accensione dei due generatori di tensione, attestandosi su valori intorno a -200 mV vs SCE: il tenore critico di cloruri, in questo caso, risulta pari a 11 mmol/L (Fig. 6).

significa che, in una soluzione elettrolitica con pH 12,6, la concentrazione soglia di Cl^- risulta 24 mmol/L.

Le prove sperimentali effettuate hanno messo in evidenza che l'interferenza stazionaria da corrente alternata è causata da una netta riduzione del tenore critico di cloruri (11 mmol/L), anche con basse densità di corrente ($i_{CA}=33 \text{ A/m}^2$). Pertanto, strutture in calcestruzzo, parzialmente inquinate da Cl^- ed interferite, potrebbero essere soggette ad attacchi elettrochimici, con diminuzione della sezione delle armature e, di conseguenza, della vita di servizio.

La densità di corrente alternata interferente influenza il tempo d'innesco dei fenomeni corrosivi e lo sviluppo di prodotti di corrosione.

Tempo di innesco della corrosione, in funzione della densità di corrente alternata interferente (tenore di cloruri pari a 11 mmol/L)

$i_{CA} \text{ (A/m}^2\text{)}$	Tempo di innesco (giorni)
33	28
57	25
117	21
445	9
1.012	4
1.993	1

Conclusioni

Come riportato in letteratura, il tenore critico di cloruri, per l'acciaio al carbonio in ambiente alcalino, corrisponde ad un valore del rapporto $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ pari a 0,6: ciò

Bibliografia

- [1] CeoCor, AC corrosion on cathodically protected pipelines, APCE, Roma, 2001.
- [2] F. Bolzoni, S. Goidanich, L. Lazzari, M. Ormellese, Influenza della corrente alternata sulla corrosione per contatto galvanico, AIM, Bergamo, 2002.
- [3] P. Pedferri, L. Bertolini, La durabilità del calcestruzzo armato, McGraw-Hill, Milano, 1978.
- [4] G. Bianchi, F. Mazza, Corrosione e protezione dei metalli, Masson, Milano, 1989.
- [5] S.R. Pookote, D.T. Chin, *Materials Performance*, 1978, **3**, 17.
- [6] E. Fucini, Influenza di componenti alternate sui fenomeni di corrosione, AEI congress, Milano, 1987.
- [7] S.B. Lalvani, G. Zhang, *Corrosion Science*, 1995, **37**(10), 1583.