

# Prove in campo di interferenza da CA su provini in libera corrosione e in protezione catodica

A. Brenna, A. Trombetta, M. Ormellese, L. Lazzari

*Le recenti attivazioni delle linee ad alta velocità/alta capacità (AV/AC), elettrificate con un sistema di alimentazione a 25kV e 50 Hz con autotrasformatori (2x25kV), all'interno della rete ferroviaria italiana convenzionale, alimentata a 3kV in corrente continua, fanno sì che l'ipotesi di sovrapposizione di interferenze di corrente continua e alternata su strutture metalliche interrata sia diventata, in Italia, una realtà oggettiva da investigare. Da novembre 2008 sono in corso, in collaborazione con l'Istituto Sperimentale RFI di Roma, prove di corrosione libera e di protezione catodica su provini in acciaio al carbonio interrati presso il campo prove allestito da RFI al km 91 del tratto Roma-Napoli della linea alta velocità/alta capacità Milano-Napoli. Scopo delle prove è verificare l'effetto dell'interferenza da corrente alternata sulla velocità di corrosione e sul livello di protezione al fine di definire le soglie critiche e i criteri di protezione da adottare in presenza di tale tipologia di interferenza elettrica.*

**PAROLE CHIAVE:**  
acciaio, corrosione, elettrochimica

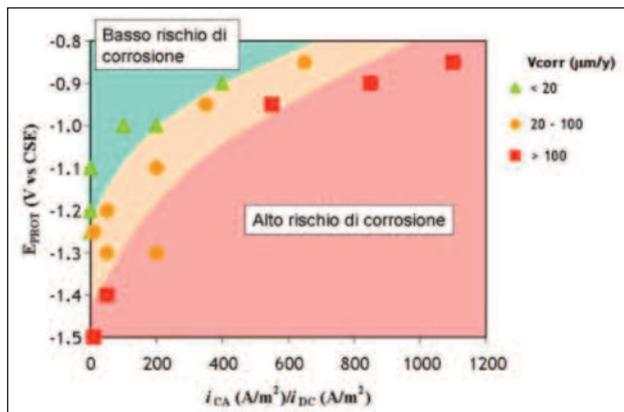
## INTRODUZIONE

Gli effetti dell'interferenza elettrica sulle strutture interrata, in particolare le tubazioni, sono noti da tempo e regolamentati dalla normativa internazionale. In particolare sono stati ampiamente studiati gli effetti dell'interferenza da corrente continua (CC), provocata sia dagli impianti di protezione catodica (interferenza stazionaria), sia dai sistemi di trazione elettrica (interferenza non-stazionaria), che può portare a una corrosione molto severa se non sono adottate le corrette misure di prevenzione [1]. Lo studio e le indagini sull'influenza della corrente alternata (CA) sui fenomeni di corrosione e di gestione degli impianti di protezione catodica hanno avuto un impulso negli ultimi venticinque anni per i frequenti casi di parallelismo fra tubazioni interrata e linee ad alta tensione [2]. Particolare importanza assume la presenza di rivestimenti altamente isolanti, perché la densità di corrente alternata che si scambia alla superficie dei difetti o delle porosità presenti nel rivestimento può facilmente superare i valori di soglia fino ad oggi proposti [3]. Attualmente le specifiche tecniche definiscono le condizioni critiche di insorgenza della corrosione da interferenza da corrente alternata sulla base di un criterio che fissa un valore di soglia di 30 A/m<sup>2</sup> per la densità di corrente alternata [4], valore su cui non vi è un consenso unanime tra gli operatori. Un problema non ancora risolto è quello relativo al monitoraggio della protezione in presenza di campi alternati [5, 6]: non è chiaro se i criteri tradizionali possano essere applicati e in particolare non è stata ancora individuata una procedura per effettuare correttamente la misura del potenziale reale. Il potenziale di protezione attualmente raccomandato è -0,95 V vs CSE.

L'avviamento in Italia delle linee ad alta velocità/alta capacità (AV/AC), elettrificate con un sistema di alimentazione a 2x25kV e 50 Hz, ha prodotto un grosso impulso nello sviluppo delle ricerche sull'interferenza da corrente alternata su strutture metalliche interrata. L'utilizzo del sistema di alimentazione a 2x25 kV con autotrasformatori, rispetto al sistema tradizionale a 25 kV, comporta una forte riduzione della corrente di ritorno presente nel binario e nel dispersore lineare interrato, in quanto gran parte della corrente di trazione raggiunge la sottostazione per mezzo del conduttore, detto "feeder", alimentato a 25 kV.

Da novembre 2008 sono in corso, in collaborazione con l'Istituto Sperimentale RFI di Roma, prove di corrosione libera e di protezione catodica su provini in acciaio al carbonio interrati presso il campo prove allestito da RFI al km 91 del tratto Roma-Napoli della linea AV/AC Milano-Napoli. Le prove di campo si collocano nell'ambito di un progetto di ricerca multisponsor il cui scopo è verificare l'effetto dell'interferenza da corrente alternata sulla velocità di corrosione e sul livello di protezione, al fine di definire le soglie critiche e i criteri di protezione da adottare in presenza di tale tipologia di interferenza elettrica. Nella prima fase della ricerca è stata eseguita una serie di prove sperimentali in laboratorio, precedute da un'attenta ricerca bibliografica, che ha portato alla definizione di criteri di protezione, che tuttavia necessitano di una conferma. Le prove di campo rappresentano l'ultima fase di questa ricerca e hanno lo scopo di confermare e completare i risultati ottenuti nelle precedenti prove di laboratorio. I test, effettuati in soluzione, nel calcestruzzo e in ambienti simulanti terreni, hanno mostrato che la misura del potenziale elettrico è influenzata dalla presenza della CA; in particolare è stata rilevata una tendenza a spostamenti significativi del valore del potenziale misurato in funzione delle condizioni "elettriche" del metallo: se quest'ultimo, per esempio una tubazione, è protetto catodicamente, il potenziale misurato è più positivo rispetto alla mi-

Andrea Brenna, Andrea Trombetta,  
Marco Ormellese, Luciano Lazzari  
Politecnico di Milano, Dipartimento di CMIC,  
Via Mancinelli, 7 - 20131 Milano



**FIG. 1** Prove di laboratorio: condizioni di protezione e di corrosione in presenza di interferenza da corrente alternata [9].

Lab tests: protection and corrosion conditions in the presence of AC [9].

sura in assenza di CA; nel caso di interferenza anodica, invece, il potenziale misurato è più negativo rispetto al valore misurato in assenza di CA [7, 8]. Da tali prove è inoltre emerso che la densità di corrente alternata non è un parametro sufficiente per stimare il rischio di corrosione; in condizioni di protezione catodica, diventano fondamentali anche il valore del potenziale di protezione e del rapporto tra la densità di corrente alternata interferente e la densità di corrente di protezione [9]. In particolare, i test di laboratorio hanno mostrato che le condizioni di protezione in presenza di corrente alternata sono definite da un valore della densità di corrente di protezione inferiore a  $10 \text{ A/m}^2$  e da un rapporto tra densità di corrente alternata e di protezione inferiore a 20. La Fig. 1 riassume i risultati sperimentali ottenuti nelle diverse situazioni studiate e definisce le condizioni di protezione, in presenza di interferenza da CA, in cui la velocità di corrosione può ritenersi trascurabile. È stato inoltre osservato che la corrosione da interferenza da cor-

rente alternata è caratterizzata dalla presenza di attacchi localizzati penetranti, sia nel caso di polarizzazione anodica che catodica del metallo [10]. I risultati sperimentali hanno, infine, mostrato un marcato effetto della corrente alternata sulla riduzione delle sovratensioni dei processi anodici e catodici [11]. Le prove di campo, condotte in collaborazione con RFI presso il km 91 del tratto Roma-Napoli della linea AV/AC capacità Milano-Napoli, hanno lo scopo di confermare e completare questi risultati.

## SPERIMENTAZIONE

Da novembre 2008 sono state allestite, in collaborazione con l'Istituto Sperimentale RFI di Roma, prove di corrosione libera e di protezione catodica su provini in acciaio al carbonio interrati presso il campo prove messo a disposizione da RFI al km 91 del tratto Roma-Napoli della linea AV/AC Milano-Napoli.

Le prove di campo sono attualmente in corso e riproducono le seguenti condizioni:

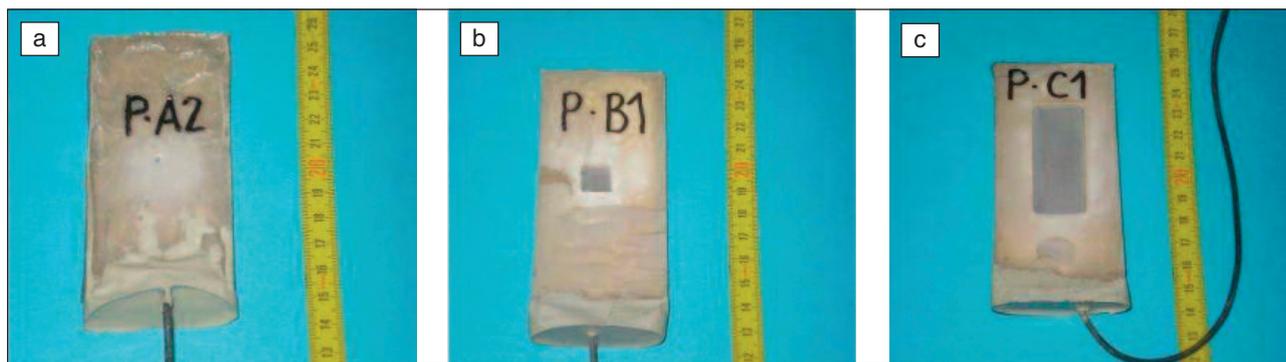
- prove di riferimento in assenza di CA: corrosione libera (CL) e protezione catodica (PC);
- prove di corrosione libera con interferenza da CA (CL/CA);
- prove di protezione catodica con interferenza da CA (PC/CA).

## Provini

Le prove sono state condotte su provini in acciaio al carbonio di dimensione  $10 \times 5 \text{ cm}$ . Dopo aver realizzato le connessioni elettriche, le lastrine sono state sabbiate con corindone (grana 80) per asportare le eventuali scaglie di lavorazione e ruggine presenti sulla superficie dell'acciaio. I provini sono stati, poi, rivestiti con una resina epossidica bi-componente al fine di avere una superficie a contatto con il terreno di dimensioni controllate, come illustrato in Fig. 2. Sono state realizzate tre tipologie di provini, caratterizzate dalle seguenti geometrie:

- Provino A foro con area compresa tra  $4$  e  $10 \text{ mm}^2$  ;
- Provino B quadrato con area superficiale di  $1 \text{ cm}^2$  ;
- Provino C rettangolo con area superficiale di  $10 \text{ cm}^2$ .

In particolare i provini con geometria A sono stati scelti allo scopo di simulare il comportamento dei difetti presenti nei ri-



**FIG. 2** Provini in acciaio al carbonio con geometria A (a), B (b) e C (c).

Carbon steel specimens; type A (a), B (b) and C (c).

CONDIZIONI DI PROVA	SIGLA	PROVINO		
		A ( $4 \div 10 \text{ mm}^2$ )	B ( $1 \text{ cm}^2$ )	C ( $10 \text{ cm}^2$ )
Corrosione libera	CL	2	2	2
Protezione catodica	PC	2	2	2
Corrosione libera con interferenza da CA	CL/CA	3	3	3
Protezione catodica con interferenza da CA	PC/CA	3	3	3

**TAB. 1** Provini e condizioni di prova.

Specimens and experimental conditions.

**FIG. 3**  
**Anodo di magnesio**  
**utilizzato nelle**  
**prove di**  
**protezione**  
**catodica.**

*Magnesium anode*  
*used in the cathodic*  
*protection tests.*



vestimenti isolanti che vengono solitamente impiegati per la protezione delle strutture metalliche interrato.

Nella sperimentazione sono state previste prove di corrosione libera, prove di protezione catodica, in assenza e in presenza di interferenza da CA, su un totale di trenta provini suddivisi per le varie condizioni di prova, come riportato in Tabella 1.

Per le prove di protezione catodica (con e senza interferenza da CA) sono stati preparati in totale quindici anodi galvanici di magnesio di forma cilindrica, con un diametro di 2 cm e un'altezza di 15 cm (Fig. 3).

### Installazione

L'installazione delle prove è avvenuta presso il campo messo a disposizione da RFI in corrispondenza del km 91 del tratto Roma-Napoli della linea alta velocità/alta capacità Milano-Napoli. All'interno del campo prove, come illustrato schematicamente in Fig. 4, sono state individuate quattro aree dove interrare i provini nelle quattro condizioni previste. Sul luogo sono stati precedentemente installati tre armadi elettrici, due dei quali utilizzati come postazione di misura per le prove di corrosione libera (CL e CL/CA) e di protezione catodica (PC e PC/CA). Il terzo armadio elettrico, collocato in posizione cen-

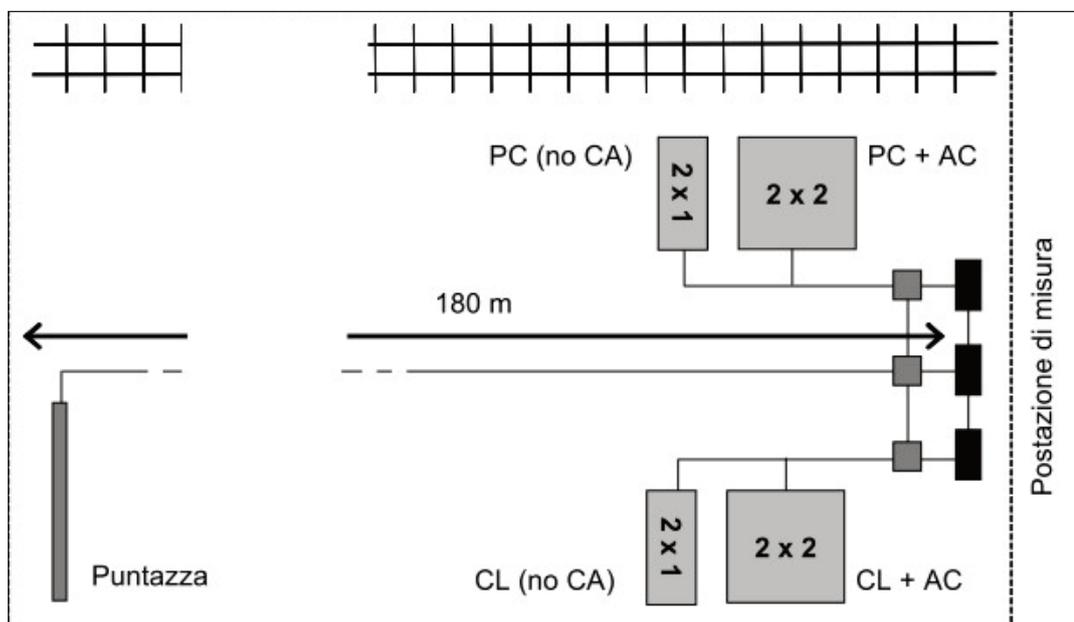
trale, è stato predisposto per contenere la scatola dei condensatori, che sono stati collegati ad una puntazza cilindrica in acciaio al carbonio (lunghezza 2 m, diametro 2 cm) situata sul lato opposto del campo prove, mediante la quale è stato possibile realizzare lo scambio di corrente alternata nelle prove di corrosione libera e di protezione catodica in presenza di interferenza da corrente alternata.

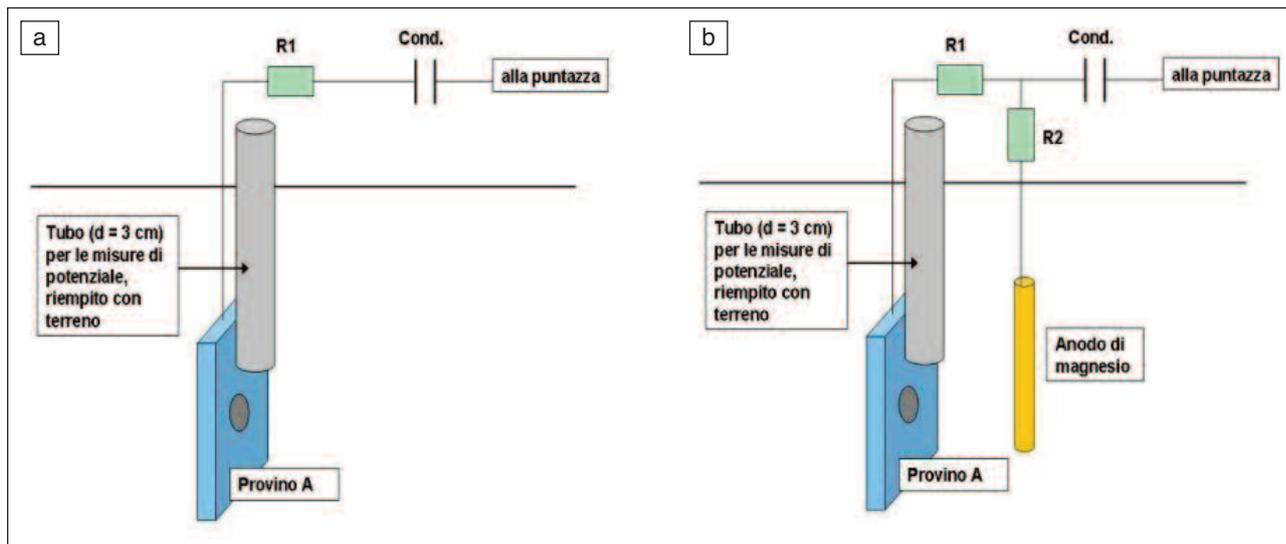
I provini sono stati interrati nelle aree scelte all'interno del campo prove; la distanza tra due provini e la profondità di interramento è di circa 1 m. Pertanto le aree per le prove di CL/CA e di PC/CA sono di estensione  $2 \times 2$  m, mentre le aree per le prove di sola CL e PC in assenza di interferenza da CA sono di estensione  $1 \times 2$  m. La resistività media del terreno è di circa  $50 \Omega \cdot m$ . Nei punti individuati sono stati realizzati mediante una trivellatrice trenta fori nel terreno di diametro 30 cm ciascuno. All'interno dei fori sono stati collocati i provini, ognuno dei quali munito di collegamento elettrico mediante un cavo di rame. Tutti i provini in acciaio sono stati interrati dopo essere stati vincolati all'estremità di un tubo in pvc del diametro di 3 cm, necessario per eliminare il contributo di caduta ohmica durante la misura del potenziale di corrosione e protezione (Fig. 5 a). Per le prove di protezione catodica, nel foro praticato è stato collocato anche l'anodo di magnesio ad una distanza di circa 20 cm dal provino (Fig. 5 b).

Dopo avere interrato i provini e gli anodi, il foro praticato nel terreno è stato riempito con la terra di risulta, assicurando il contatto tra terreno ed elettrodi. Il terreno è stato inoltre compattato e successivamente è stato riempito anche il tubo in pvc.

Completato l'interramento, sono stati effettuati i collegamenti dei provini e degli anodi di magnesio con la postazione di misura all'interno dell'armadio elettrico. Vicino a tali armadi sono stati precedentemente realizzati quattro pozzetti interrati necessari per la derivazione dei cavi elettrici dei provini e degli anodi alle postazioni di misura attraverso tubi flessibili in materiale polimerico. Le giunture tra cavi elettrici sono state isolate attraverso un'opportuna guaina autocompattante in gomma vulcanizzata. Successivamente, sono stati effettuati i collegamenti elettrici tra la scatola dei condensatori, collocata nell'armadio metallico centrale, e gli armadi laterali predisposti per il monitoraggio delle prove di protezione catodica di corrosione libera. I condensatori sono stati inseriti per evitare

**FIG. 4**  
**Illustrazione**  
**schematica del**  
**campo prove.**  
*Schematic*  
*representation of*  
*the field test.*





**FIG. 5** Schema di installazione dei provini per le prove di corrosione libera (a) e di protezione catodica (b).  
Schematisation of specimens installation for free corrosion tests (a) and cathodic protection tests (b).

lo scambio di corrente continua tra i vari campioni tra di loro cortocircuitati. Dall'armadietto condensatori parte infine un cavo interrato che collega i provini alla puntazza posta a 180 m di distanza dalla zona in cui sono stati posizionati i campioni.

### Monitoraggio

Le condizioni di corrosione, di protezione e di interferenza dei provini vengono periodicamente monitorate mediante le seguenti misure:

- Potenziale di corrosione libera ( $E_{CORR}$ );
- Potenziale di protezione ( $E_{PROT}$ );
- Densità di corrente di protezione ( $i_{PC}$ );
- Densità di corrente alternata interferente ( $i_{CA}$ ).

Le misure di potenziale vengono effettuate mediante un voltmetro ad alta impedenza e un elettrodo di riferimento al rame-solfato di rame saturo (CSE), caratterizzato da un potenziale di +0,318 V rispetto all'elettrodo standard a idrogeno (SHE). Al fine di poter misurare i valori delle densità di corrente di protezione catodica e le correnti di interferenza sono stati ideati e inseriti nei circuiti degli opportuni shunt di resistenze elettriche.

La Tabella 2 riporta le grandezze monitorate in ogni condizione di prova.

La durata prevista delle prove è di due anni, durante i quali saranno acquisite, con cadenza mensile, le grandezze introdotte al fine di stimarne l'evoluzione nel tempo. Al termine della sperimentazione i provini saranno inoltre sottoposti a ispezione visiva, studio della morfologia di eventuali attacchi corrosivi e sarà stimata la velocità di corrosione mediante misura della perdita

	$E_{CORR}$	$i_{CA}$	$E_{PROT}$	$i_{PC}$
CL	X			
CL/CA	X	X		
PC			X	X
PC/CA		X	X	X

**TAB. 2** Grandezze misurate nelle differenti condizioni di prova.

Monitored parameters.

in peso secondo la normativa ASTM G1 [12]. Si provvederà, inoltre, a determinare il consumo degli anodi di magnesio, per indagare l'influenza della corrente alternata sull'efficienza di erogazione dell'anodo stesso.

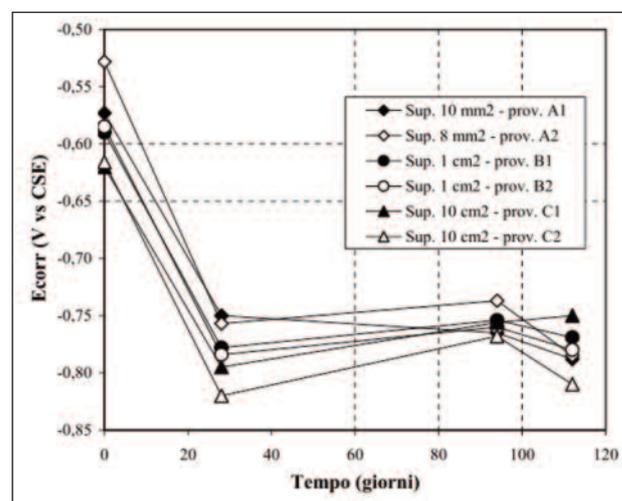
### MISURE SPERIMENTALI

#### Prove di corrosione libera (CL)

La Fig. 6 riporta i valori dei potenziali di corrosione dei sei campioni in corrosione libera (CL), misurati durante i primi quattro mesi di prove. Il potenziale è compreso tra -0,75 e -0,82 V CSE.

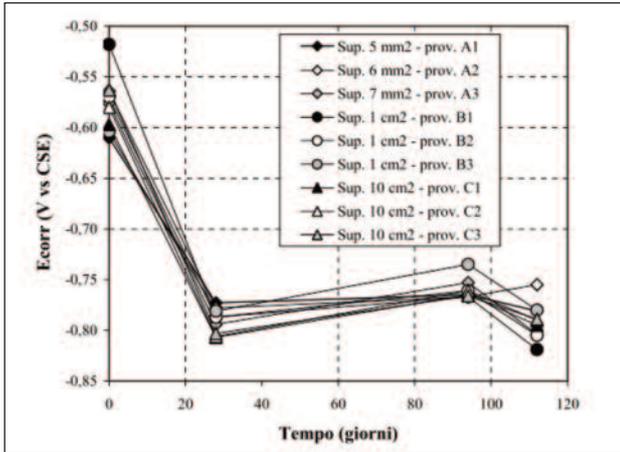
#### Prove di corrosione libera con interferenza da corrente alternata (CL/CA)

In Fig. 7 viene illustrata l'evoluzione nel tempo del potenziale di corrosione nel caso dei nove campioni che si trovano ad operare in condizioni di corrosione libera con interferenza da corrente alternata (CL/CA). Dal grafico riportato si può notare come il potenziale di corrosione si stabilizzi intorno a



**FIG. 6** Potenziale di corrosione dei campioni in corrosione libera (CL).

Free corrosion potential monitoring in the absence of AC interference (CL).



**FIG. 7** *Potenziale di corrosione dei campioni in corrosione libera con interferenza da corrente alternata (CL/CA).*

*Free corrosion potential monitoring in the presence of AC interference (CL/CA).*

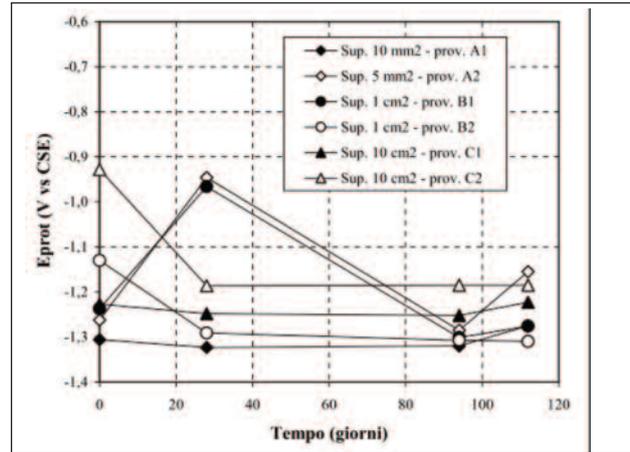
valori praticamente identici a quelli dei campioni in sola corrosione libera (CL).

La Fig. 8 riporta invece la densità di corrente alternata in funzione del tempo per tre campioni con differente geometria (A, B e C rispettivamente), durante il passaggio di un treno ad alta velocità; si può facilmente osservare come la densità di corrente di interferenza più elevata (all'incirca 11 A/m<sup>2</sup>) venga raggiunta nel caso del provino denominato A3, che presenta un'area superficiale di 7 mm<sup>2</sup>.

### Protezione catodica (PC)

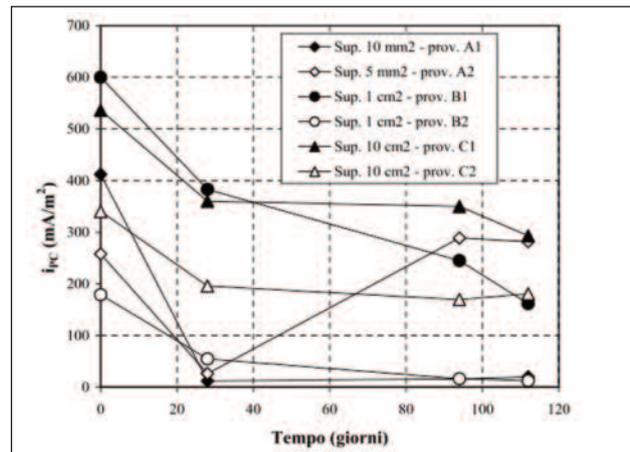
Le Fig. 9 e 10 riportano, rispettivamente, il potenziale di protezione e la densità di corrente di protezione nel caso dei sei provini sottoposti a protezione catodica in assenza di interferenza da corrente alternata (PC).

Dai grafici riportati si può osservare che il potenziale di protezione si stabilizza nel tempo a valori compresi tra -1,15 e -1,32 V CSE, mentre la densità di corrente di protezione si porta, in tutti i casi, a valori compresi tra a 10 e 300 mA/m<sup>2</sup>.



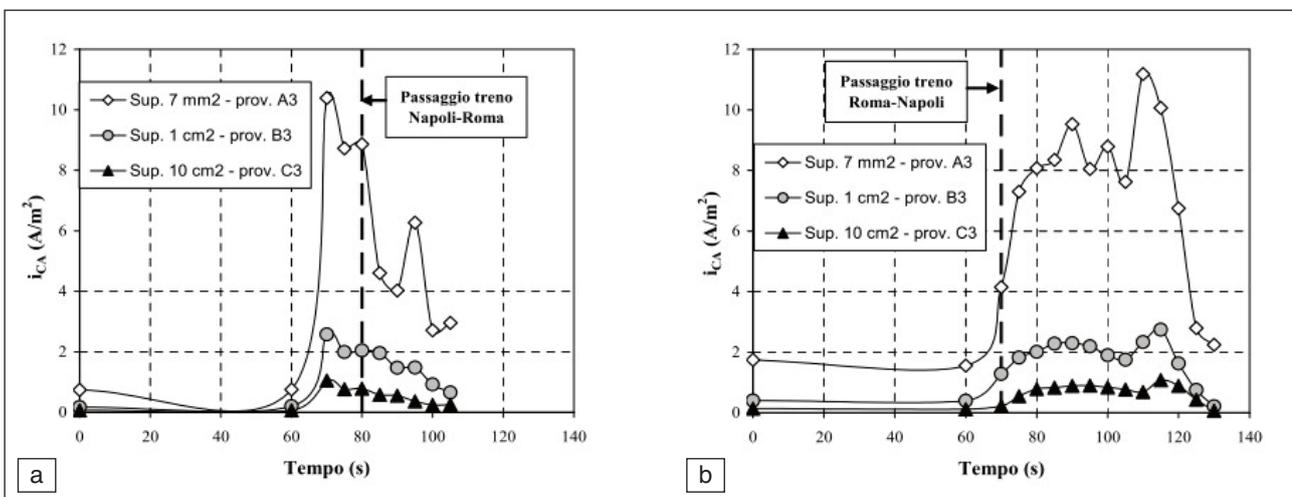
**FIG. 9** *Potenziale di protezione dei campioni in protezione catodica (PC).*

*Protection potential monitoring in the absence of AC interference (PC).*



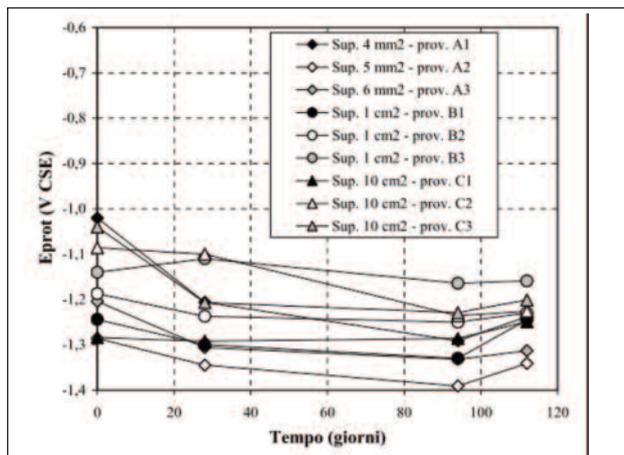
**FIG. 10** *Densità di corrente di protezione dei campioni in protezione catodica (PC).*

*Protection current density monitoring in the absence of AC interference (PC).*



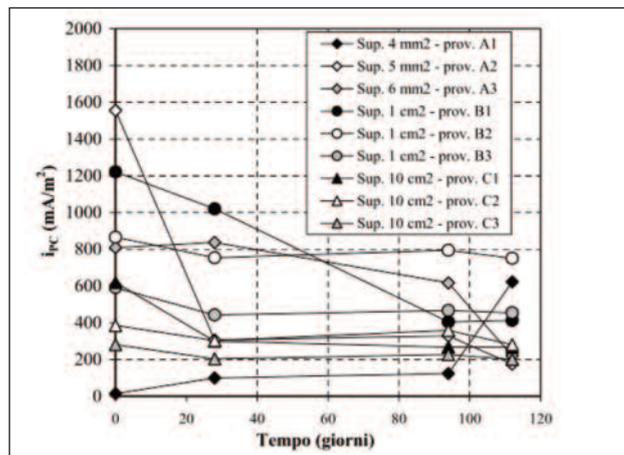
**FIG. 8** *Densità di corrente alternata interferente in condizioni di corrosione libera con interferenza da corrente alternata (FC/CA), durante il passaggio di un treno ad alta velocità nella direzione Napoli-Roma (a) e Roma-Napoli (b).*

*AC density on free corrosion specimens during the train passing from Naples to Rome (a) and from Rome to Naples (b).*



**FIG. 11** *Potenziale di protezione dei campioni in protezione catodica con interferenza da corrente alternata (PC/CA).*

*Protection potential monitoring in the presence of AC interference (PC/CA).*



**FIG. 12** *Densità di corrente di protezione dei campioni in protezione catodica con interferenza da corrente alternata (PC/CA).*

*Protection current density monitoring in the presence of AC interference (PC/CA).*

### Protezione catodica con interferenza da corrente alternata (PC/CA)

Le Fig. 11 e 12 mostrano il monitoraggio del potenziale di protezione e della densità di corrente di protezione relativi ai nove campioni sottoposti a protezione catodica con interferenza da corrente alternata (PC/CA).

Analogamente al caso dei campioni in protezione catodica senza interferenza da corrente alternata, il potenziale di protezione si porta a valori compresi tra -1,15 e -1,32 V CSE; per contro, le densità di corrente di protezione si stabilizzano nel tempo intorno a valori più elevati rispetto al caso precedente (Fig. 10), in quanto risultano questa volta comprese tra 200 e 800 mA/m<sup>2</sup>.

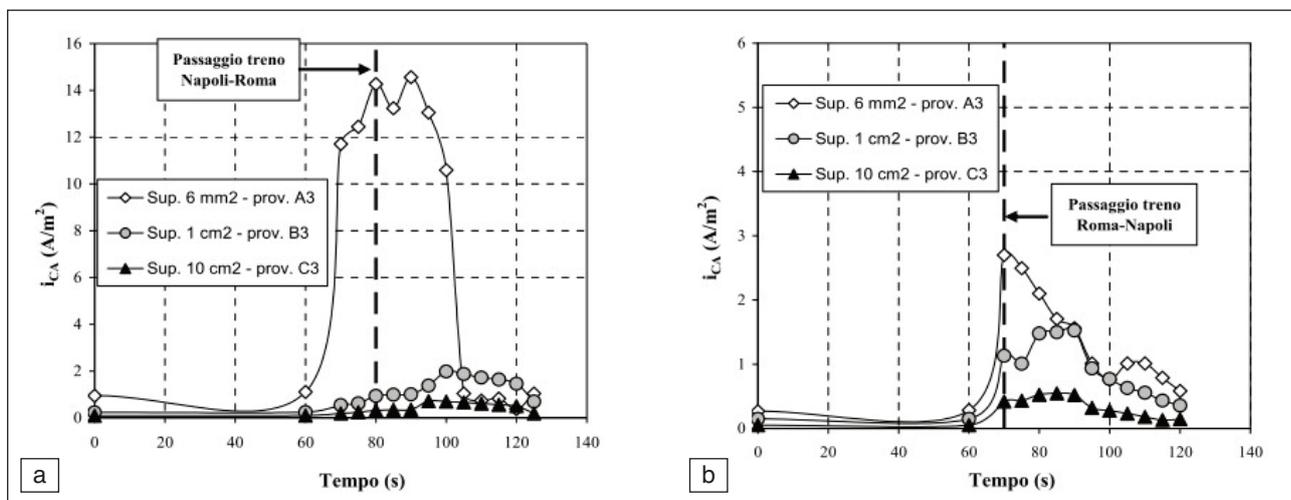
La Fig. 13 illustra, infine, la densità di corrente alternata di interferenza di tre provini con differente geometria durante il passaggio di un treno ad alta velocità nelle due direzioni della linea ferroviaria. Dal grafico si può evincere come la densità di corrente alternata più elevata (14 A/m<sup>2</sup> circa) interessi il

provino denominato A3, caratterizzato da un'area superficiale pari a 6 mm<sup>2</sup>.

### DISCUSSIONE

Dalle misure sperimentali emerge che i potenziali di corrosione libera, sia in presenza che in assenza di interferenza da corrente alternata, sono compresi tra -0,75 e -0,82 V CSE, valori che risultano essere inferiori rispetto a quelli solitamente riscontrati nei terreni per l'acciaio al carbonio, che sono generalmente appartenenti all'intervallo tra -0,55 e -0,65 V CSE. Tale differenza potrebbe essere imputata alla natura del terreno in cui sono stati collocati i campioni, di tipo prevalentemente argilloso, che comporta la quasi totale assenza di ossigeno.

Queste condizioni, dette anaerobiche, conducono solitamente alla proliferazione di un particolare tipo di batteri, chiamati solfato-riduttori, in grado di ridurre gli ioni solfato presenti nel terreno a solfuri, con una conseguente precipitazione di solfuro di ferro, il cui prodotto di solubilità è di soli 10<sup>-24</sup> mol/L [13]. Per



**FIG. 13** *Densità di corrente alternata interferente in condizioni di protezione catodica con interferenza da corrente alternata (PC/CA), durante il passaggio di un treno ad elevata velocità in direzione Napoli-Roma (a) e Roma-Napoli (b).*

*AC density on cathodically protected ferree specimens during the train passing from Naples to Rome (a) and from Rome to Naples (b).*

questo motivo, la concentrazione degli ioni ferro presenti nel terreno si riduce a valori bassissimi, nell'ordine di  $10^9$  mol/L, con una conseguente snobbilizzazione del potenziale di corrosione libera del metallo di circa 100 mV rispetto ai valori consueti [13], giustificando così i valori misurati. Per confermare tale ipotesi, si prevede di effettuare in futuro una misura del contenuto di ossigeno presente nel terreno, tramite la determinazione del potenziale di un elettrodo di platino (rispetto ad un elettrodo standard a idrogeno SHE). Tale tecnica consente di valutare se un terreno è adatto allo sviluppo dell'attività di batteri solfato-riduttori. Per esempio la misura di un potenziale di -20 mV vs SHE significa che il terreno possiede caratteristiche riducenti adatte allo sviluppo di batteri anaerobici; viceversa per un terreno in cui si misura un potenziale di +400 mV vs SHE è possibile escludere che in esso si possano sviluppare batteri anaerobici [14].

Per quanto riguarda i campioni in protezione catodica, con e senza interferenza da CA, i potenziali di protezione (compresi tra -1,15 e -1,32 V CSE) si mantengono in tutti i casi al di sotto di -0,95 V vs CSE, valore di soglia attualmente raccomandato per la protezione catodica delle strutture interrato in acciaio al carbonio in presenza di interferenza da corrente alternata.

È bene notare che, a valori di potenziale così negativi, il processo catodico che si verifica alla superficie del metallo consiste nella riduzione di acqua con sviluppo di idrogeno, in quanto l'ossigeno presente nel terreno è interamente consumato nell'arco di breve tempo.

Analizzando le Fig. 10 e 12 si può notare come, nonostante i potenziali di protezione risultino praticamente identici, le densità di corrente di protezione siano più elevate (all'incirca il doppio) in presenza di interferenza da corrente alternata. Questo effetto, già riscontrato in precedenti prove di laboratorio, può essere spiegato assumendo che lo scambio di corrente alternata provochi una diminuzione della sovratensione del processo catodico, in questo caso lo sviluppo di idrogeno, che si traduce in un incremento della densità di corrente necessaria per imporre un determinato livello di protezione catodica [11].

Per quanto riguarda le prove di corrosione libera e di protezione catodica con interferenza da CA (FC/CA e PC/CA), le densità di corrente alternata più elevate si raggiungono nel caso dei campioni che presentano la minore area superficiale (quelli con geometria A, in cui si vuole simulare la presenza di un difetto in un rivestimento protettivo), dove, in seguito al passaggio di un treno ad alta velocità, vengono raggiunti valori di picco compresi tra 10 e 14 A/m<sup>2</sup> per un intervallo temporale di circa 40 ÷ 50 s. Un'interferenza non stazionaria di questa entità non sembra provocare variazioni significative del potenziale del metallo, che è stato monitorato durante il passaggio dei treni senza riscontrare innalzamenti significativi rispetto ai valori misurati in assenza di corrente alternata. Tale risultato è in accordo con quanto ottenuto nelle prove di laboratorio, in cui è stato osservato che, per un campione di acciaio al carbonio in protezione catodica, è necessaria una densità di corrente alternata interferente di circa 100 A/m<sup>2</sup> per ottenere un incremento significativo del potenziale di protezione [7, 8].

## CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Da novembre 2008 sono in corso prove di corrosione libera e di protezione catodica su provini in acciaio al carbonio interrati presso il campo prove allestito da RFI al km 91 del tratto Roma-Napoli della linea AV/AC Milano-Napoli. Dai dati raccolti dopo i primi quattro mesi di esposizione è possibile affermare quanto segue:

1) I potenziali di corrosione libera misurati sperimentalmente

risultano essere inferiori di circa 150 mV rispetto ai valori solitamente riscontrati per questo materiale nei terreni (-0,55 ÷ -0,65 V vs CSE). Tale effetto può essere imputato alla presenza di batteri solfato-riduttori, che nei terreni argillosi trovano condizioni favorevoli alla loro crescita.

- 2) Durante il passaggio dei treni ad alta velocità si assiste alla circolazione di correnti alternate interferenti non stazionarie caratterizzate da una densità massima di 14 A/m<sup>2</sup> e da una durata di circa 40 ÷ 50 s.
- 3) Nel caso dei campioni in protezione catodica la corrente alternata interferente provoca un incremento della densità di corrente di protezione, come conseguenza della diminuzione della sovratensione del processo catodico di sviluppo di idrogeno.

Nei prossimi mesi è prevista l'acquisizione di nuovi dati sperimentali, che andranno a completare e integrare le informazioni disponibili in questo momento e i dati ottenuti nelle precedenti prove di laboratorio. Tutto questo consentirà di compiere un passo importante verso la definizione dei criteri e delle soglie di protezione da adottare in presenza di interferenza da corrente alternata, un fenomeno che, dopo l'avviamento in Italia delle linee ferroviarie ad alta velocità/alta capacità, è diventato una realtà oggettiva da investigare.

## RINGRAZIAMENTI

I risultati presentati in questa memoria fanno parte di un progetto di ricerca finanziato da un gruppo di industrie (APCE, Snamretegas, Italgas, Reteferroviaria Italiana, Sirti) che gli autori desiderano ringraziare. Un sentito ringraziamento va anche all'Ing. Luca Trinca (Direzione Tecnica - RFI spa) per la collaborazione nella stesura della presente memoria.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) L. LAZZARI, P. PEDEFERRI, M. ORMELLESE, Protezione catodica, Polipress, Milano (2006), p. 111.
- 2) T.C. OSBORNE, A.J. SUMMERLAND, Proc. Int. Conf. CORROSION/03, NACE Int., Houston, Texas (2003), paper 03708.
- 3) H.R. HANSON, J. SMART, Proc. Int. Conf. CORROSION/04, NACE Int., Houston, Texas (2004), paper 04209.
- 4) R.A. GUMMOW, R.G. WAKELIN, S.M. SEGALL, Materials Performance N° 2 (1999), p. 24.
- 5) I. RAGAUULT, Proc. Int. Conf. CORROSION/98, NACE Int., Houston, Texas (1998), paper 557.
- 6) R.G. WAKELIN, R.A. GUMMOW, S.M. SEGALL, Proc. Int. Conf., CORROSION/98, NACE Int., Houston, Texas (1998), paper 565.
- 7) S. GOIDANICH, L. LAZZARI, M. ORMELLESE, M. PEDEFERRI, EUROCORR 2006, Maastricht, Netherland (2006), WP 16.
- 8) S. GOIDANICH, L. LAZZARI, M. ORMELLESE, Corrosion Science, 52, 2 (2010) 491-497, DOI 10.1016/j.corsci.2009.10.005, ISSN: 0010-938X.
- 9) M. ORMELLESE, L. LAZZARI, S. GOIDANICH, V. SESIA, Proc. Int. Conf., CORROSION/08, NACE Int., Houston, Texas (2008), paper 08064.
- 10) S. GOIDANICH, L. LAZZARI, M. ORMELLESE, Corrosion Science, 52, 3 (2010) 916-922, DOI 10.1016/j.corsci.2009.10.005, ISSN: 0010-938X.
- 11) F. BOLZONI, S. GOIDANICH, L. LAZZARI, M. ORMELLESE, Proc. Int. Conf., CORROSION/03, NACE Int., Houston, Texas (2003), paper 03704.
- 12) ASTM G1, Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens, 2003.
- 13) L. LAZZARI, P. PEDEFERRI, M. ORMELLESE Protezione catodica, Polipress, Milano (2006), p. 35.
- 14) P. PEDEFERRI, Corrosione e protezione dei materiali metallici, vol. 2, Polipress, Milano (2007), p. 172.

**Abstract****Effect of AC interference on corrosion and protection on carbon steel:  
field tests**

**Keywords:** steel, corrosion, electrochemistry

The recent activation of the high speed railway line, feed by a 25kV alternate current (AC) system, in parallel to the traditional system powered with a 3 kV direct current feeder (DC), allow the possible overlapping of the AC and DC signal on the buried metallic structures.

To study these effects, in November 2008 a cooperation with the Experimental Institute of RFI (Istituto Sperimentale RFI, Rome) started; freely corroding and cathodically protected carbon steel specimens were buried at the RFI field test located at the 91 km of the high speed railway Milan-Rome in the Rome-Naples section. The aim of the tests is to verify the effect of AC on corrosion rate and on cathodic protection conditions. AC interference was guaranteed by the passing of the train every 20 minutes. Cathodic protection was obtained through a Mg anode. Protection current density and protection potential, AC density, were monthly monitored. The main results are as follow:

- 1) 14 A/m<sup>2</sup> is the maximum reached AC interference; further modification to the experimental set-up are mandatory in order to increase the AC density;
- 2) free corrosion potential is about -700 mV CSE, suggesting possible SRB presence;
- 3) on the cathodically protected samples, the AC interference promotes an increase of the protection current density, due to the reduction of the overpotential of the cathodic reaction of hydrogen evolution.