PROTEZIONE E PREVENZIONE CATODICA DELLE ARMATURE NELLE COSTRUZIONI IN C.A. E C.A.P.

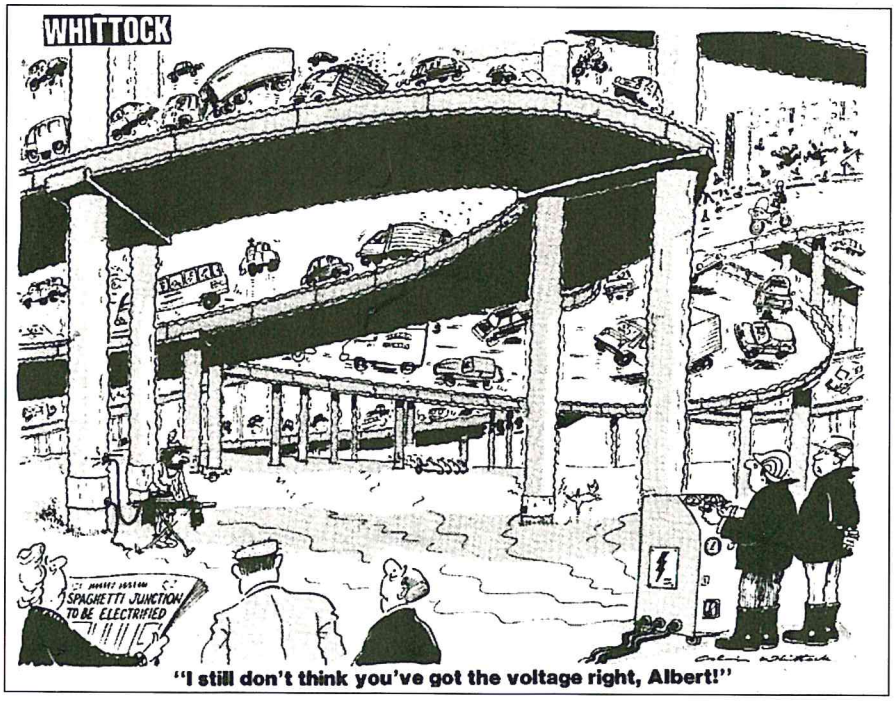
Cathodic protection has been widely applied to stop rebar corrosion in chloride contaminated reinforced concrete structures. Recently in Italy it has also been applied to new postensioned constructions that are expected to become contaminated. This type of cathodic protection has been named cathodic prevention.
In the paper the general aspects and the operating conditions of the two techniques are illustrated and the relevant consequences regarding the hydrogen embrittlement of the high strength steels are illustrated.
The application of cathodic prevention and protection to pre or post tensioned structures is discussed.

Pietro Pedeferri

La protezione catodica è una tecnica elettrochimica per il controllo della corrosione di strutture metalliche interrate o poste a contatto con acqua di mare o con altri ambienti dotati di un'apprezzabile conducibilità elettrica: tra questi il calcestruzzo inquinato da cloruri. Si attua imponendo fra un elettrodo posto nell'ambiente aggressivo (anodo) e la struttura da proteggere (catodo) una circolazione di corrente continua che in alcuni casi blocca la corrosione, in altri la previene.

Questa nota riguarda solo la protezione catodica delle armature in strutture aeree in cemento armato e precompresso che si differenzia nettamente da quella applicata in altri ambienti. Di questa tecnica verranno illustrati gli sviluppi storici e le realizzazioni italiane; e verranno discussi gli aspetti di base, le varianti, più sotto indicate come protezione e prevenzione catodica, e le loro possibilità di applicazione a strutture pre o postcompresse. Non verranno invece descritti i sistemi, i materiali e le tecnologie utilizzati e neppure i criteri di progettazione e di monitoraggio normalmente adottati. Per questi argomenti si rinvia a [1-5].

Vignetta di Colin Whittock apparsa sul Birmingam Post and Mail nel 1988 alla notizia che il Dipartimento dei Trasporti inglese aveva deciso di applicare la protezione catodica su alcune travi e pilastri interessati dalla corrosione dello svincolo alla periferia di Birmingham noto come "Spaghetti Junction". Venne poi applicato un sistema anodico basato su pitture conduttrici.



GLI SVILUPPI DELLA TECNICA

La protezione catodica si è diffusa fin dagli anni '20-30 nel settore delle strutture metalliche interrate (oleodotti, gasdotti, ecc.), dagli anni '40-'50 in quello delle strutture metalliche a con-

	Tensione di alimentazione (V)	*Corrente erogata da ogni alimentatore (A)*	*Densità di corrente sulle armature (mA/m²)*	*Potenza richiesta per proteggere 1000 m² (W)*
Strutture già interessate dalla corrosione	2÷5	1÷3	5÷10	10÷40
Strutture nuove	1÷3	1÷2	1÷2	1÷4

Tabella 1. Valori orientativi delle caratterisiche operative della protezione catodica applicata a strutture già interessate dalla corrosione oppure nuove

Localizzazione, nome, anno di costruzione del ponte o del viadotto	*Anno di applicazione della P.C.*	*Tipo di struttura*	*Elementi protetti*	*Superficie protetta (m²)*	*Tipo di anodo*
Autostrada del Sole (tratto Bologna-Firenze) Rioveggio, 1961	1987-1988	c.a.	soletta e cordoli	3700	titanio attivato
Autostrada Roma-Teramo S.Nicola 1991 Situra 1991	1992	c.a.p.	soletta	10000	titanio attivato
Autostrada Torino-Fréjus Pietrastretta Brunetta Passeggeri Venaus Clarea Giaglione Ramat Deveys 1989-1991	1989-1992	c.a.p.	soletta e cordoli	6600 16500 8000 13200 15200 13900 21300 6600	titanio attivato
Dora, Rio Secco, 1984	1993	c.a.p.	soletta e cordoli	800 2300	overlay conduttivo
Autostrada Mestre-Cortina Meschio, 1992	1992	c.a.	soletta e cordoli	5000	overlay conduttivo

Tabella 2. Opere italiane in c.a. e c.a.p. protette catodicamente (ripresa con modifiche da [8]).

tatto con acqua a di mare (strutture portuali, offshore, navi); è stata poi applicata, se pur in scala ridotta, a partire dagli anni '60 a strutture interrate in cemento armato o precompresso (essenzialmente acquedotti) e, finalmente, a partire dalla metà degli anni '70 anche a costruzioni aeree inquinate o suscettibili di inquinamento da cloruri.

In quest'ultimo caso lo sviluppo della tecnica è avvenuto lentamente passando attraverso tre fasi distinte.

La fase pionieristica parte nel '74 in California per merito di Stratfull [6] e dura grosso modo un decennio. La sperimentazione è effettuata sotto l'impulso dell'ente statunitense preposto alla gestione delle autostrade su solette di ponti inquinate dai sali antigelo (costituiti principalmente da cloruri di sodio e di calcio). Vengono provati sistemi di erogazione della corrente (anodi, overlay, ecc.) e di monitoraggio (elettrodi di riferimento, macrocoppie, ecc.) e messi a punto criteri di protezione e di progettazione completamente diversi da quelli utilizzati per la protezione catodica nei terreni o in acqua di mare. E soprattutto viene provato che la protezione catodica è una tecnica particolarmente adatta in presenza di cloruri laddove gli altri metodi di ripristino tradizionali sono inefficaci. (Al termine della sperimentazione l'ente americano la definisce "l'unica tecnica che ha dimostrato di bloccare la corrosione sulle solette di ponti contaminati da cloruri, indipendentemente dalla loro concentrazione". [7])

La seconda fase parte a circa metà degli anni ottanta con l'introduzione di nuovi sistemi anodici basati su reti di titanio attivato, molto più sicuri e spesso più semplici da applicare dei precedenti a base carboniosa (overlay o pitture conduttive). Questa fase vede la diffusione del metodo anche nei paesi europei e mediorientali per il ripristino, oltre che di solette di ponti e di viadotti, anche di altre substrutture (travi, piloni) o di costruzioni marine, impianti

industriali, garages ed edifici per usi civili interessati dalla corrosione da cloruri. E' di questo periodo la prima applicazione italiana (Ponte di Rio Veggio nel tratto appenninico dell'Autostrada del Sole nel 1987-88). A causa del rischio di infragilimento che a bassi potenziali si può produrre sugli acciai ad alto snervamento (σ_{sn}>1000 MPa) la protezione catodica non viene applicata a parti pre o post compresse. Non si utilizza nemmeno per strutture carbonatate perché i convenzionali metodi di ripristino risultano in questo caso altrettanto efficaci e più economici.

Solo alla fine degli anni ottanta si chiariscono i principi elettrochimici alla base del metodo in precedenza considerati, dai più, sostanzialmente identici a quelli che regolano la protezione catodica delle strutture metalliche interrate o in acqua di mare. Ha così inizio la terza fase che è prettamente italiana. La protezione catodica non viene più applicata soltanto a strutture già interessate dal fenomeno corrosivo ma anche a strutture nuove che si prevede possano in futuro essere pesantemente inquinate da cloruri. Questa variante della protezione catodica utilizza gli stessi schemi elettrici e gli stessi sistemi anodici e di monitoraggio e di alimentazione di quella "tradizionale", ma è molto diversa. Anzitutto negli scopi perché non blocca la corrosione delle armature che nelle strutture nuove sono passive e rimarranno tali fin tanto che alla loro superficie la concentrazione di cloruri non supererà un certo valore critico; ma la previene facendo aumentare questo valore in modo che non venga più raggiunto durante l'intera vita di servizio della struttura. In secondo luogo nelle condizioni operative che sono meno gravose di quelle richieste per bloccare il processo già innescato (Tab.1) e, in particolare, più lontane da quelle che provocano lo sviluppo di idrogeno. E infine nella possibilità di applicazione che può essere estesa anche a strutture pre o post-compresse senza correre il rischio di infragilire gli acciai ad alta resistenza. Per sottolinearne la diversità, lo scrivente ha proposto negli anni scorsi di chiamare "prevenzione catodica" questa variante della protezione catodica. E il nuovo nome è ora usato anche in sede internazionale.

A partire dal 1987 ad oggi la protezione catodica è stata applicata in Italia a più di 130.000 m^2 di solette di ponti e di viadotti autostradali (Tab. 2) per cui il nostro paese in questo settore occupa il secondo posto dopo gli Stati Uniti (con circa 500.000 m^2). Rispetto al panorama internazionale quello italiano è del tutto originale. All'estero la tecnica è stata applicata quasi esclusivamente a strutture in cemento armato già soggette a corrosione; in Italia, per la grande maggioranza, a strutture nuove e precompresse. All'estero ha riguardato principalmente solette e substrutture di ponti ma è stata applicata anche ad opere marine, edifici, infrastrutture industriali; in Italia solo a solette e cordoli di opere autostradali. In Italia si utilizzano anodi costituiti da reti o da nastri di titanio attivato con ossidi misti di metalli nobili e nelle ultime applicazioni un nuovo anodo a base cementizia; all'estero anche pitture conduttive ed overlay a base carboniosa.

Applicazione della rete anodica di titanio attivato sulla carreggiata Nord del sovrapasso ferroviario di Rioveggio (Autostrada del Sole tratto Bologna-Firenze) durante il ripristinodella soletta (avvenuto nel 1987) effettuata annegando la rete nella gettata di calcestruzzo. Per il ripristino della carreggiata Sud (effettuato nel 1988) la rete anodica è stata appoggiata alla superficie della soletta dopo il suo ripristino e quindi ricoperta con un overlay cementizio. L'overlay deve garantire un contatto di tipo ionico tra rete e struttura oltre che un'elevata adesione alla soletta. (Nuova Polmet).

GLI EFFETTI DI PROTEZIONE INDOTTI DAL FUNZIONAMENTO CATODICO E DALLA CIRCOLAZIONE DI CORRENTE

Per comprendere il modo di operare della protezione catodica nel calcestruzzo e capire le differenze tra questo tipo di protezione e quello più usuale che si applica nei terreni o in acqua di mare è opportuno descrivere brevemente i diversi effetti di protezione connessi con la circolazione di corrente tra un anodo e la struttura da proteggere attraverso l'elettrolita interposto (in Fig. 1 costituito da calcestruzzo).

Questa circolazione produce:

- abbassamento del potenziale (E) della struttura catodica,
- reazioni elettrochimiche alle superfici catodica e anodica (Tab.3),
- migrazione di specie ioniche all'interno dell'elettrolita.