

Pietro Pedefferri

Politecnico di Milano,

Dipartimento di Chimica e Fisica Applicata

APPLICAZIONI DEL TITANIO NELLA PROTEZIONE CATODICA DI GRANDI
OPERE IN CEMENTO ARMATO

Voi sapete che le armature nel cemento armato sono perfettamente protette dall'alcalinità del calcestruzzo quindi nella stragrande maggioranza dei casi non ci sono problemi di corrosione. Ci sono però alcune situazioni particolari, e alcune di queste estremamente importanti, in cui la corrosione dell'armatura avviene. La più importante di queste condizioni è quella che si ha sui ponti delle autostrade dove nei mesi invernali si mette il sale per evitare la formazione di ghiaccio; i cloruri penetrano e le condizioni di passività che normalmente difendono le armature dalla corrosione vengono meno e quindi si ha un attacco estremamente forte in maniera localizzata o generalizzata a seconda dei casi. Si pensi che le opere di manutenzione sono quasi tutte dovute, almeno nei tratti appenninici o alpini, alla corrosione delle armature. L'unica tecnica che ha dimostrato di essere in grado di bloccare la corrosione dai cloruri è la protezione catodica. Che cos'è la protezione catodica? la protezione catodica è una tecnica vecchissima, molto più vecchia del cemento armato. Ha la stessa età del portland però è arrivata alla protezione del cemento armato solo da dieci anni. In Fig. 1 è schematizzata da una parte l'armatura, dall'altra un anodo: la tecnica della protezione catodica mediante la quale si può far passare una corrente dall'anodo all'armatura in senso catodico, cioè nel senso che l'armatura funziona da catodo mediante un raddrizzatore esterno. Con un elettrodo di riferimento si controlla che tutte le cose siano fatte bene.

La tecnica è largamente diffusa nel campo della protezione delle strutture interrato e delle strutture a mare. Perché è difficile proteggere le armature? Perché l'elettrolita è il calcestruzzo e questo ha il grosso inconveniente di essere prima di tutto un cattivo conduttore, e, in secondo luogo, per motivi geometrici: nell'acqua di mare o nei terreni l'anodo si può mettere lontano dalle strutture da proteggere, nel caso invece delle strutture in cemento armato l'anodo va posto in superficie della struttura stessa e la protezione catodica si può avere solo se si riesce a distribuire uniformemente la corrente su tutta la struttura. La corrente per la protezione catodica è bassissima: 5,10 mA/m² secondo i casi, per proteggere un ponte di 1000 m² bastano 20 Watt, meno di una lampadina. Ecco una brevissima storia degli ultimi 10 anni della protezione catodica per capire dove è nata, come è nata, come si è sviluppata:

- 1974: dopo l'esperienza di Straff in America la Federal Highway Administration, che è l'ente americano che deve controllare tutti i problemi delle autostrade, propone di utilizzare un sistema di protezione catodica ed ha utilizzato sostanzialmente questo sistema (Fig. 2): sulla soletta dei ponti mette uno strato conduttivo di 10 cm, c'è un conduttore che porta la corrente a questo strato conduttivo di asfalto (l'asfalto è reso conduttivo mediante aggiunta di carbone) poi sopra viene messo un altro strato. I grossi problemi di peso, i grossi problemi di consumo ecc ... fanno sì che questa soluzione, che è ottima dal punto di vista elettrochimico, di fatto non soddisfi. Sono un'ottantina i ponti che sono andati in funzione dal 1974 al 1980; tutti funzionano, vanno bene, ma lo strato deve essere rifatto ogni tanto.

- 1978-'79: viene cambiata la tecnica. Vengono fatte delle scanalature nel ponte (Fig. 3), vengono messi dei fili di titanio platinato (quasi tutti), in qualche caso di Nb platinato. Vi sono dei grossi problemi di distribuzione di corrente; questa tecnica all'inizio non va bene, poi la migliorano un po' ma non soddisfa.
- 1982: la Federal Highway Administration esce con l'affermazione che dà un impulso a tutto il programma, dice:"l'unica tecnica" che è in grado di bloccare la corrosione sui ponti è, indipendentemente dal tenore dei cloruri, la protezione catodica. Le altre tre tecniche, (le cita tutte) hanno dato risultati poco soddisfacenti. Era da 10 anni che la Federal Highway Administration portava avanti le esperienze in questo campo.
- 1983: ecco il primo "salto". Viene utilizzato come anodo non più uno strato conduttore come prima, ma una struttura anodica filiforme di materia plastica (Fig. 4) con un'anima di rame resa conduttrice mediante l'aggiunta di carbone, distribuita su tutta la superficie del materiale metallico, che viene posta sopra le armature (ovviamente tra le armature e questo anodo ci deve essere del calcestruzzo) e poi viene ricoperta con uno strato di asfalto. La cosa funzionò bene dal punto di vista elettrochimico per quanto riguardava la distribuzione di corrente ma dopo qualche anno il carbone iniziava a consumarsi. Infatti è noto che il carbone ed il calcestruzzo in ambiente alcalino quando funzionano da anodo bruciano.
- 1985, 3 anni fa; entra il titanio e in poco tempo si affianca e poi spiazza tutti i sistemi precedenti i quali funzionano, perché sono stati applicati, ma il futuro è quello degli anodi di titanio.

La rete di titanio (Fig. 5) posta sopra le armature è collegata con il polo positivo di un generatore di corrente, il polo negativo è ovviamente collegato con le armature e il tutto viene ricoperto con uno strato di asfalto. In America mettono del calcestruzzo direttamente sopra, in quanto sui ponti non c'è strato di asfalto.

Quali sono i vantaggi di questa rete di titanio? Innanzitutto il titanio non è titanio soltanto, ma è titanio ricoperto di un film sottilissimo di ossidi vari, tipo ossido di rutenio. Questo titanio è in grado di erogare corrente a bassa tensione senza consumarsi. L'esperienza che si sta facendo a Milano ha dimostrato che anodi di questo tipo (che ormai hanno erogato una carica corrispondente a quella che alle condizioni di esercizio viene erogata in più di 30 anni) sono ancora perfetti. Le reti sono diverse, ci sono 3 o 4 produttori di queste reti a livello mondiale. Al Politecnico di Milano utilizzano le reti DeNora e gli esempi che verranno dopo sono tutti esempi relativi a questo tipo di rete.

La rete di titanio si ottiene da una lamiera in titanio molto sottile (0.5, 0.6 mm) che viene espansa. E' una rete molto leggera che viene fissata normalmente se viene applicata su parete verticale oppure, se viene applicata sul soffitto, si utilizzano dei sistemi di plastica.

Per distribuire bene la corrente ci sono dei portatori di corrente (Fig. 6), sempre di titanio, che vengono messi sulla rete. Essa non deve mai lavorare a correnti elevate; nel caso in cui sia necessario, perché c'è un'alta densità di armature, per erogare una corrente più alta è opportuno fare la maglia più piccola oppure, cosa che in genere è più semplice, si mettono due reti una sopra l'altra (Fig. 7).

I processi anodici sono diversi nel caso che si usi titanio rispetto ai casi a base di materiale carbonioso (Figg. 8 e 9).

Qui si parla solo del comportamento anodico. In effetti il sistema andrebbe analizzato dall'anodo al catodo ma qui interessa la situazione del titanio quindi la nostra attenzione è focalizzata su questo. La sovratensione anodica è molto più bassa nel caso del titanio. Tra l'anodo di titanio e l'anodo a base di carbonio c'è una differenza piuttosto alta di 0,6, 0,7, 0,8 Volt (Fig. 10).

Alcuni esempi: come detto all'inizio, il caso più diffuso di protezione catodica con reti di titanio è quello delle solette dei ponti allora io vorrei fare un altro esempio diverso da quello delle solette di cui l'Ing. Grandi parlerà dopo di me.

Fig. 11 mostra il supporto di un agitatore in Arabia, che ogni due anni andava cambiato. C'è un'alta densità di armature, ed è stato tolto tutto il calcestruzzo (Fig. 12). Viene prima fatta la gettata che copre tutte le armature poi viene posta la rete (Fig. 13). Se ci sono delle situazioni locali, ad esempio un foro, ovviamente bisogna sistemare opportunamente la rete. E' molto semplice: la si taglia con le forbici, la si mette sopra tutto, la si ricopre completamente con il calcestruzzo e l'opera è finita. Naturalmente bisogna far passare corrente; in questo caso la tensione applicata è molto bassa: 2,2 Volt.

Caso di un garage (Fig. 14): qui le armature sono corrose, il rosa della fotografia sta ad indicare che la corrosione non è da carbonatazione ma è da cloruri. A metà dell'opera la rete viene stesa sul pavimento e poi si stende l'ultimo strato di calcestruzzo. Sul soffitto si fa la stessa operazione.

Tutte le applicazioni di questi esempi sono state fatte l'anno scorso, due anni fa e quest'anno.

Fig. 15 mostra una villa in Florida: c'è presenza di cloruri perché ci fu un errore iniziale, venne usato il calcestruzzo fabbricato con sabbia di mare che causò problemi di corrosione molto grossi. Il problema è stato risolto fissando la rete su una parete verticale, con anelli di plastica. In Fig. 17 si vede la spruzzatura finale sulla parete verticale.

Esempio in Arabia; questo tra l'altro è un test che poi non è andato in esercizio, anzi qui c'è stato un insuccesso. Questo è un grosso canale per l'adduzione dell'acqua di mare (Fig. 18), dove ci sono problemi di corrosione. L'operazione che è stata fatta molto male è stata quella di pulizia della superficie che deve essere pulita interamente. Attenzione! La superficie va pulita togliendo solo il calcestruzzo che si stacca e non quello contenente i cloruri. Mentre con tutte le altre tecniche per ripristinare le strutture in cemento armato bisogna togliere tutto il calcestruzzo che contiene cloruri (anche quello "sano" meccanicamente), pena l'insuccesso completo del sistema, in questo caso i cloruri vanno benissimo, infatti in caso di protezione catodica aumentano la conducibilità, alcuni anzi sostengono di metterli, io sono restio per motivi psicologici a far mettere i cloruri, ma i cloruri non danno nessun problema dal punto di vista della corrosione (qui si tratta sempre di una parete verticale, si vedono gli anodi ed i sistemi per fissarli alla parete. La parete è stata coperta di calcestruzzo e poi è stata ionizzata). L'operazione è fallita, perché (e questo è uno dei problemi delicati) la preparazione della superficie non è stata fatta bene e lo strato successivo non è stato ben ancorato alla parete con opportuni sistemi, di conseguenza si è staccato tutto il sistema. Questo per dire che il punto delicato, il punto debole di questa protezione non è il sistema anodico.

Ultimo esempio: vicino a Lugano sulla ferrovia del Gottardo hanno deciso di proteggere due pilastri, anche questi inquinati da cloruri, che sono cavi. Uno viene protetto dall'esterno, l'altro viene protetto dall'interno (Figg. 19,20,21).

Il pilastro che sarà protetto dall'esterno viene pulito, sabbiato (spesso si usa la idrosabbatura per togliere lo strato superficiale e per far ancorare bene lo strato successivo) poi si fa il collegamento catodico. Naturalmente il

negativo del generatore deve essere collegato con le armature, fra l'altro occorre vedere che le armature siano connesse tra di loro (cosa che viene fatta preliminarmente).

L'altro pilastro invece di essere protetto dall'esterno é stato protetto all'interno utilizzando lo stesso sistema.

Con questi esempi recenti concludo il mio intervento ringraziando la Società DeNora che ha permesso di illustrare le sue realizzazioni.

Grazie.

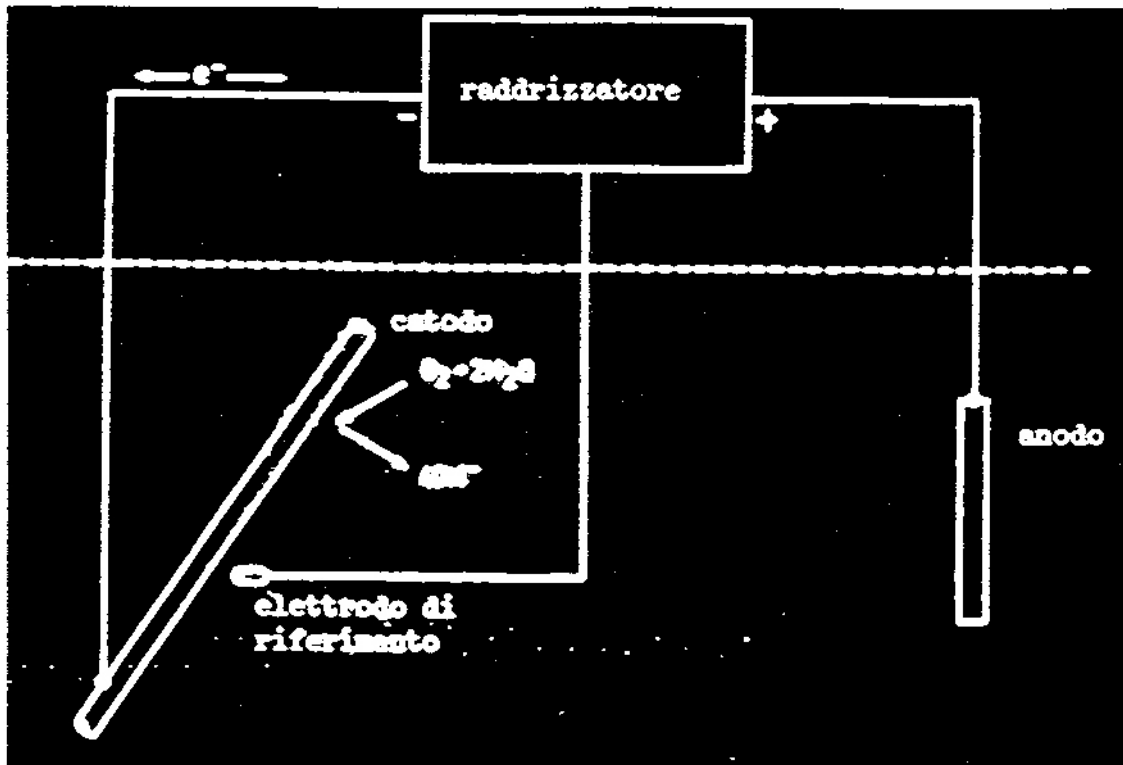


Fig. 1 - Schema di funzionamento della protezione catodica

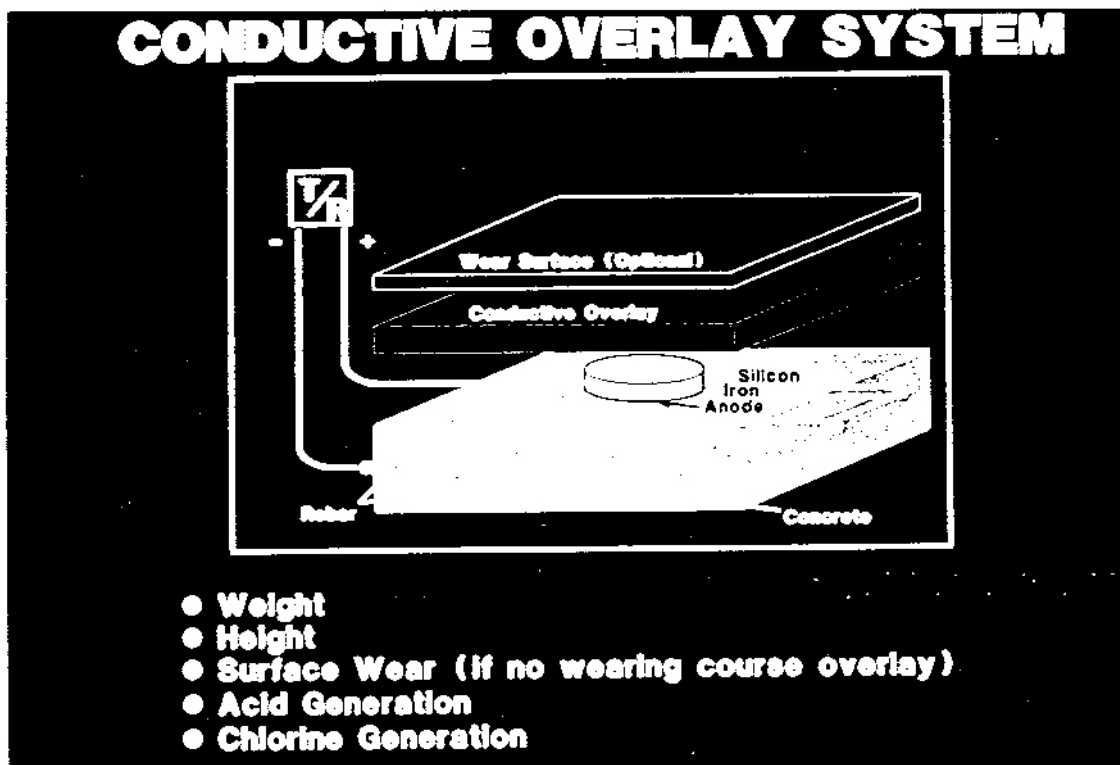
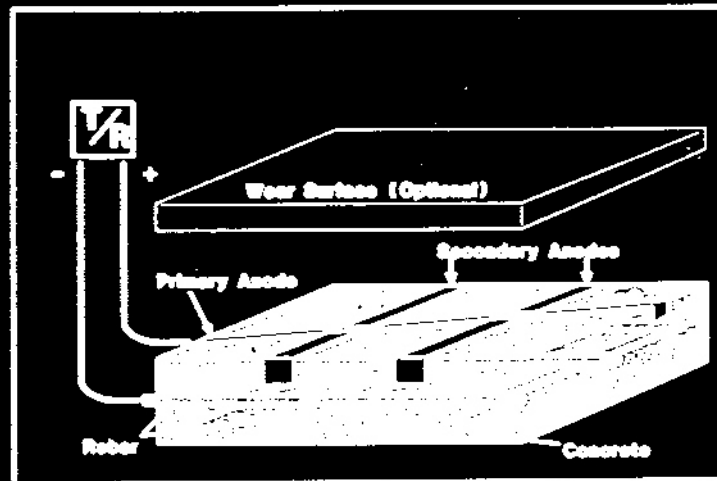


Fig. 2 - Sistema di protezione catodica con strato conduttivo

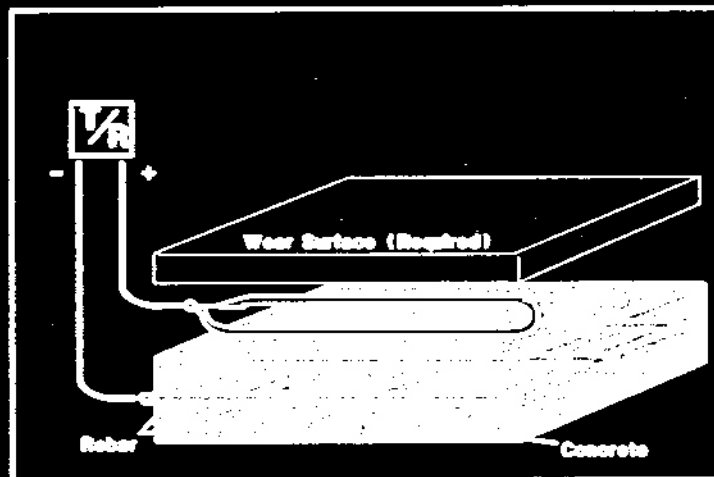
SLOTTED ANODE SYSTEM



- Sawcuts
- Acid Generation in Slots
- Chlorine Generation
- No Overlay (Usually)

Fig. 3 - Protezione catodica con fili di titanio

CARBON IMPREGNATED PLASTIC WIRE



- Copper Wires
- Splices in Overlay
- Acid Generation
- Chlorine Generation
- Carbon Consumption

Fig. 4 - Protezione catodica con filo plastico conduttivo

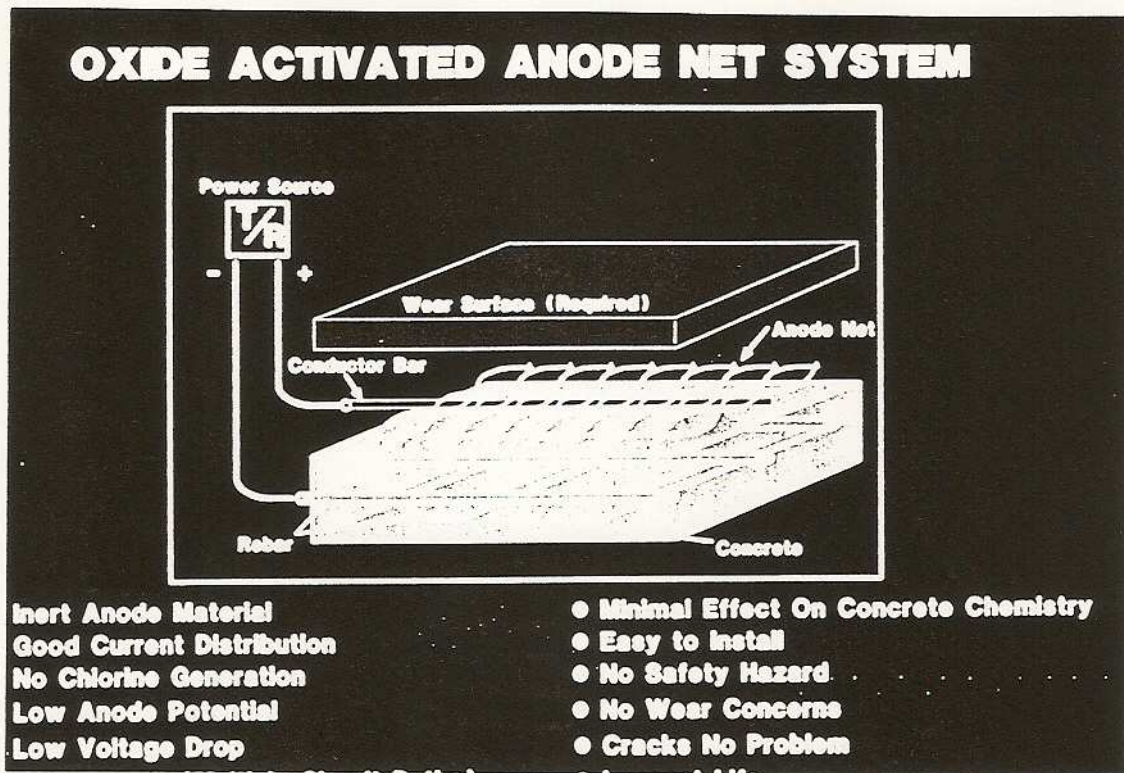


Fig. 5 - Protezione catodica con rete di titanio

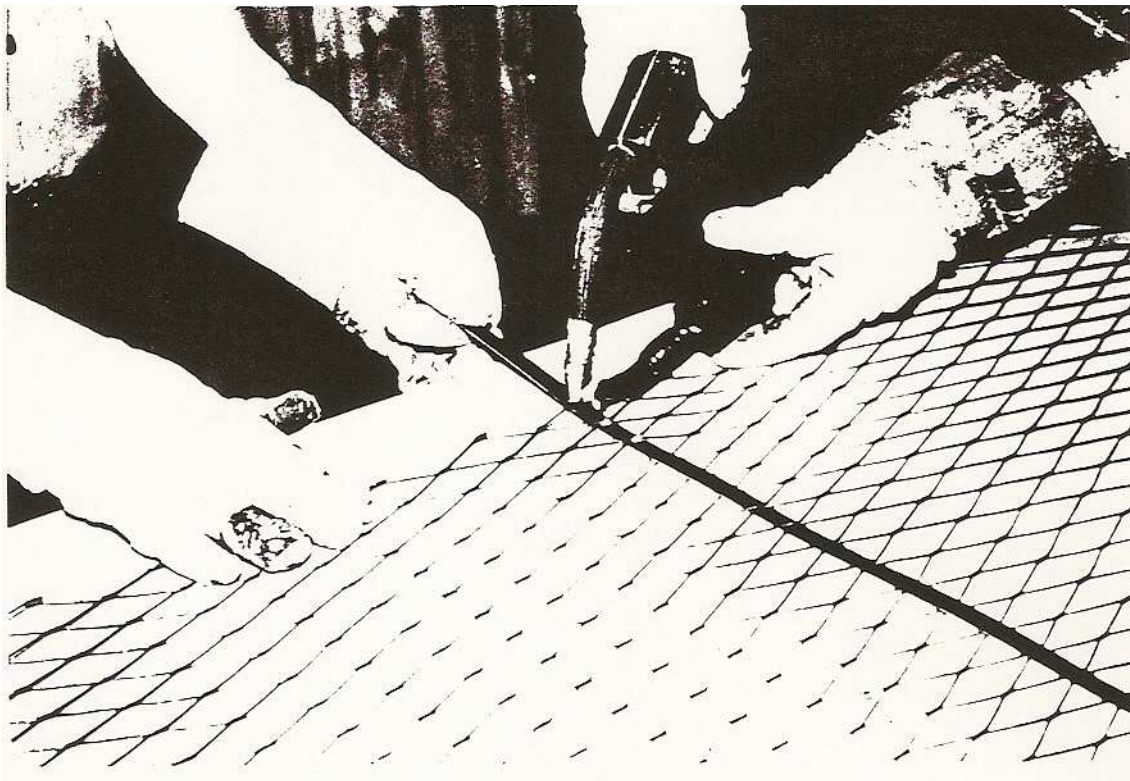


Fig. 6 - Preparazione reti di titanio

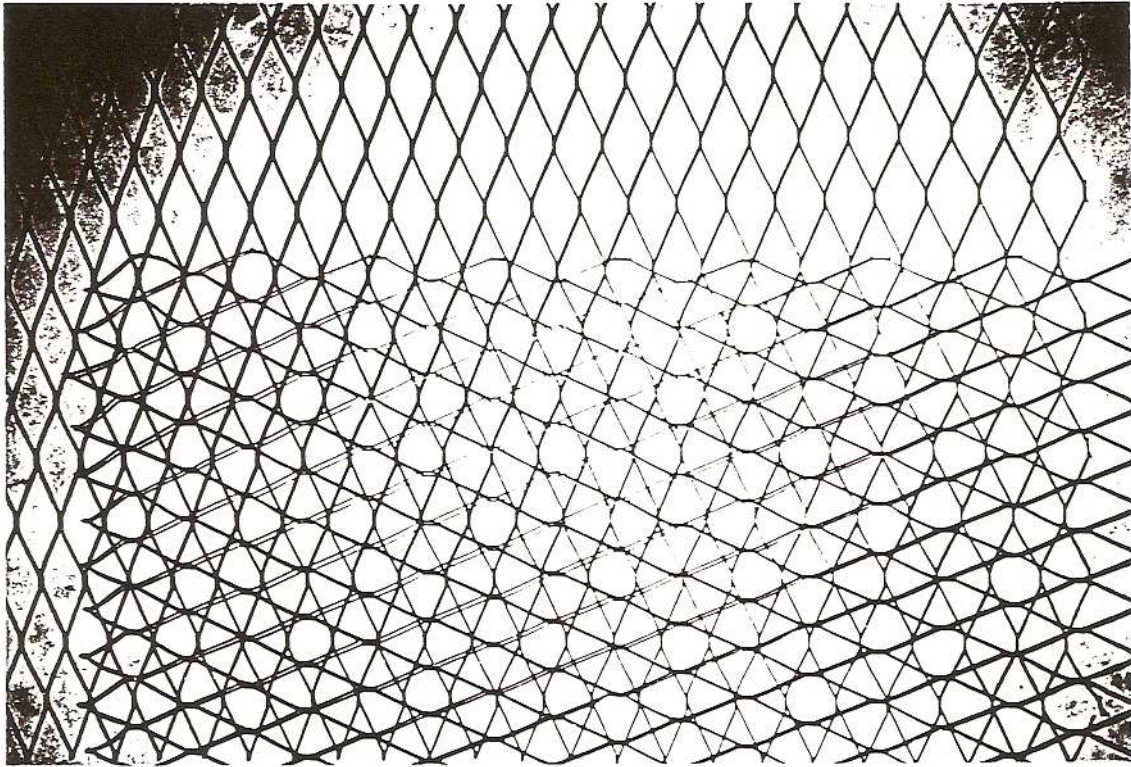


Fig. 7 - Sistema usato per aumentare la densità di corrente

ANODE REACTIONS	
Oxide Activated Titanium Net	Carbon Based Anode Systems
Oxygen Evolution	Chlorine Evolution Hypochlorite Generation Carbon Monoxide and Dioxide Generation Carbonic Acid Generation (Alkalinity Consumption) Oxygen Evolution

Fig. 8 - Reazioni anodiche nei diversi sistemi

OXIDE ACTIVATED TITANIUM ANODE NET

- Less Alkalinity Consumption
- Lower Anode Potentials
- No Chlorine Generation
- Lower Driving Voltages

Fig. 9 - Vantaggi degli anodi in titanio

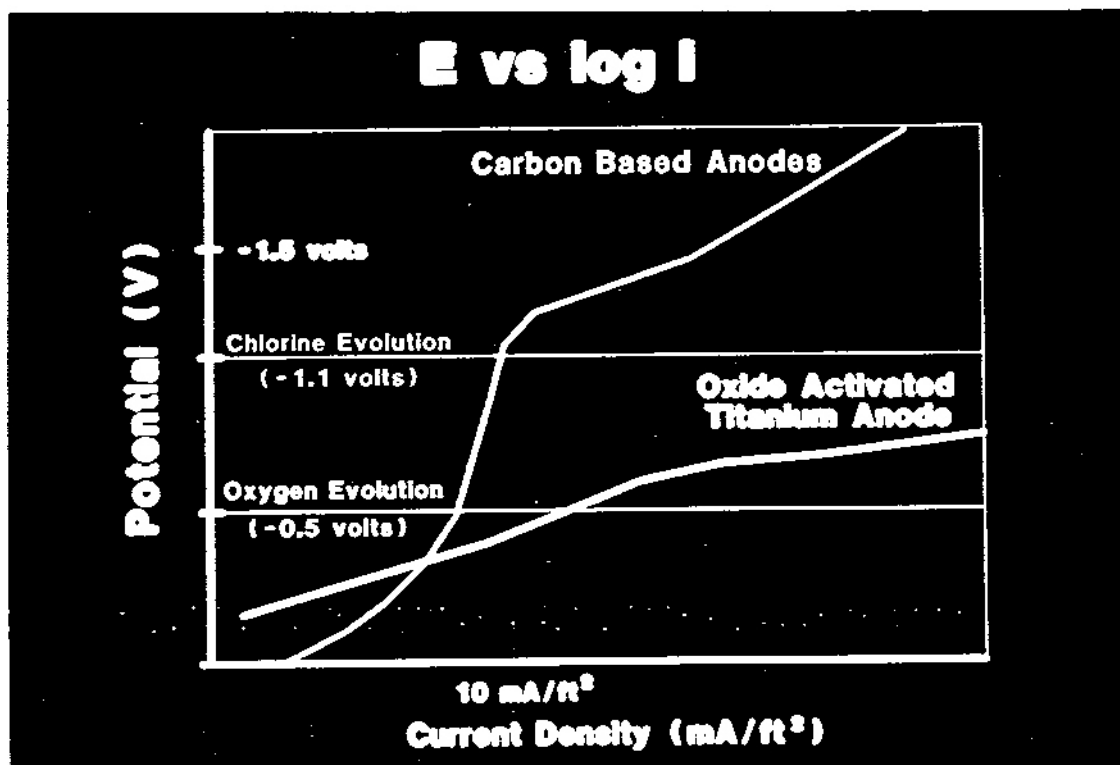


Fig. 10 - Sovratensioni anodiche nei casi di anodi di titanio ed anodi a base carbonio

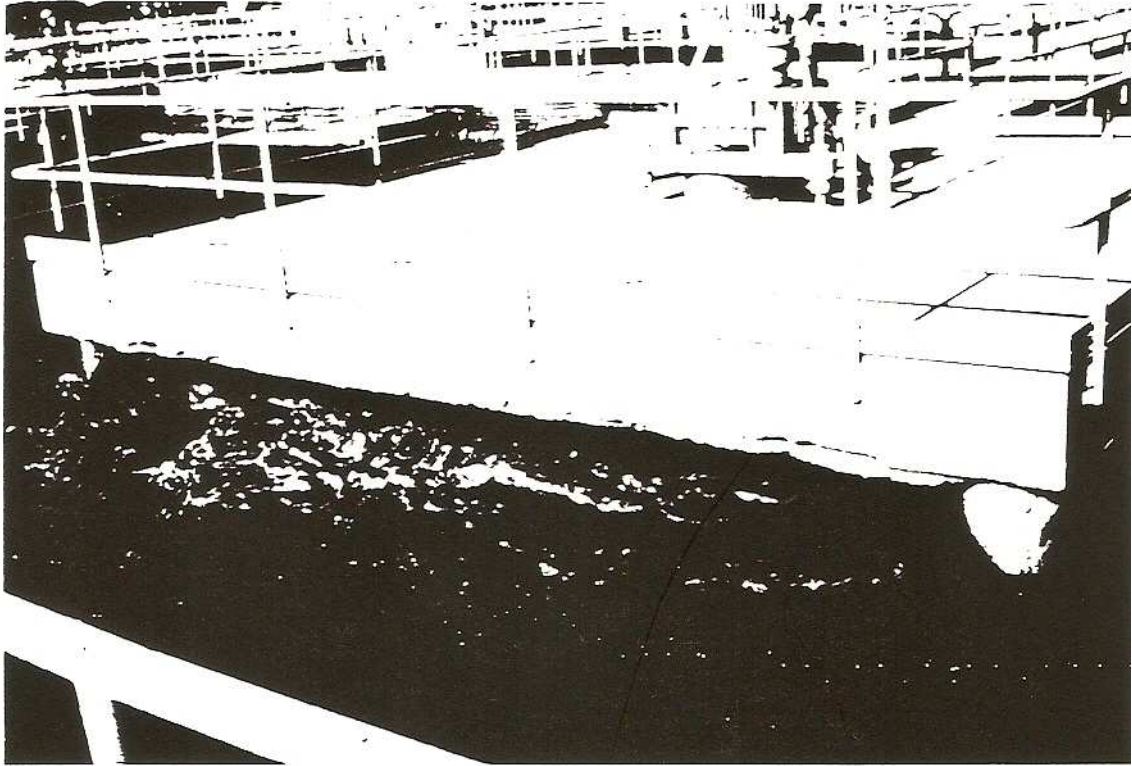


Fig. 11 - Supporto agitatore impianto

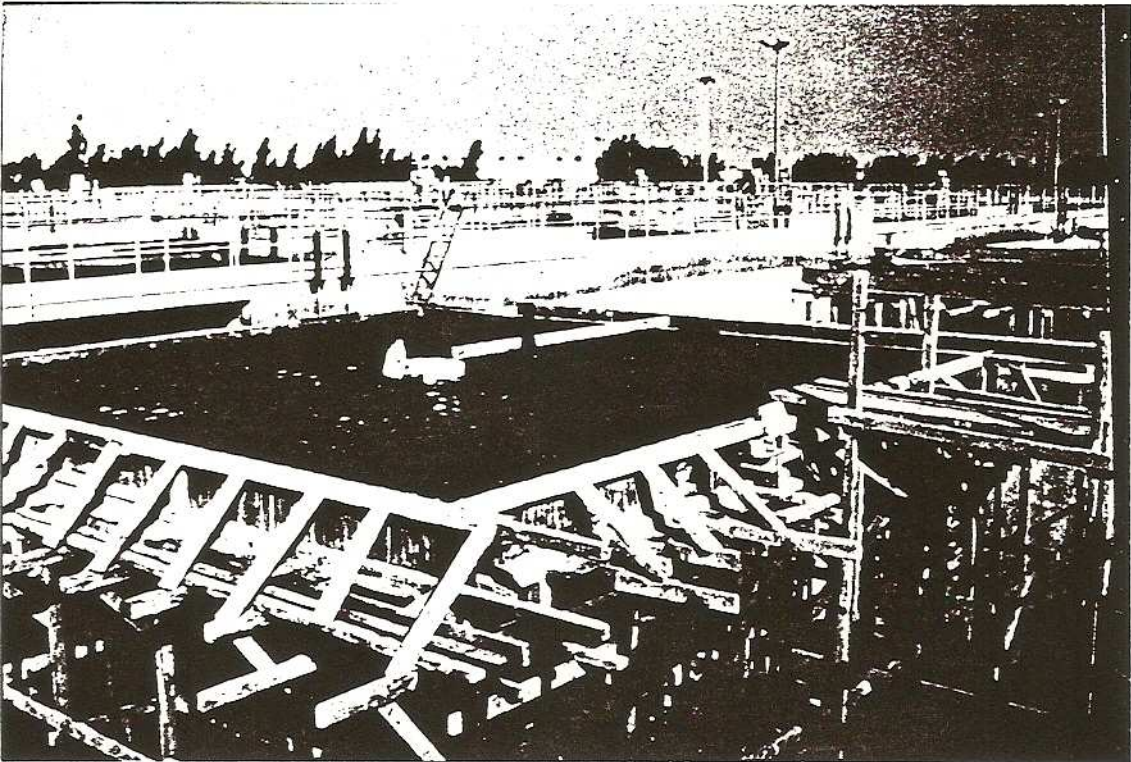


Fig. 12 - Base agitatore in fase di preparazione

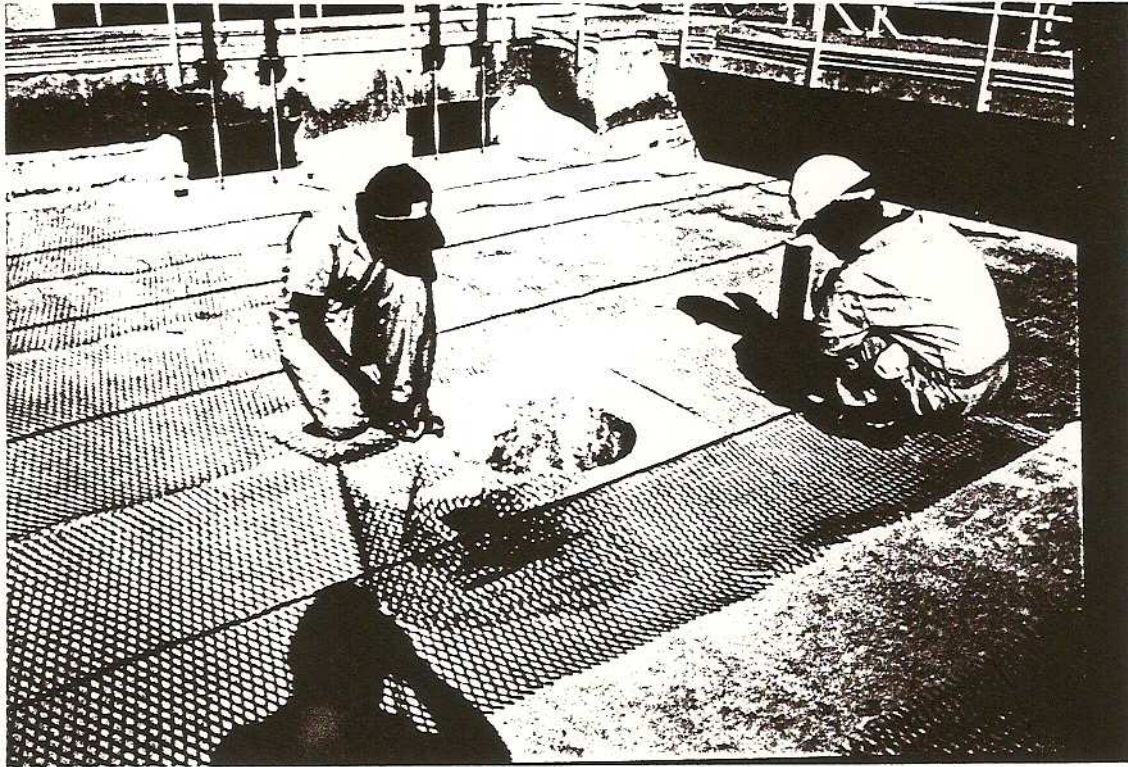


Fig. 13 - Posizionamento reti di titanio

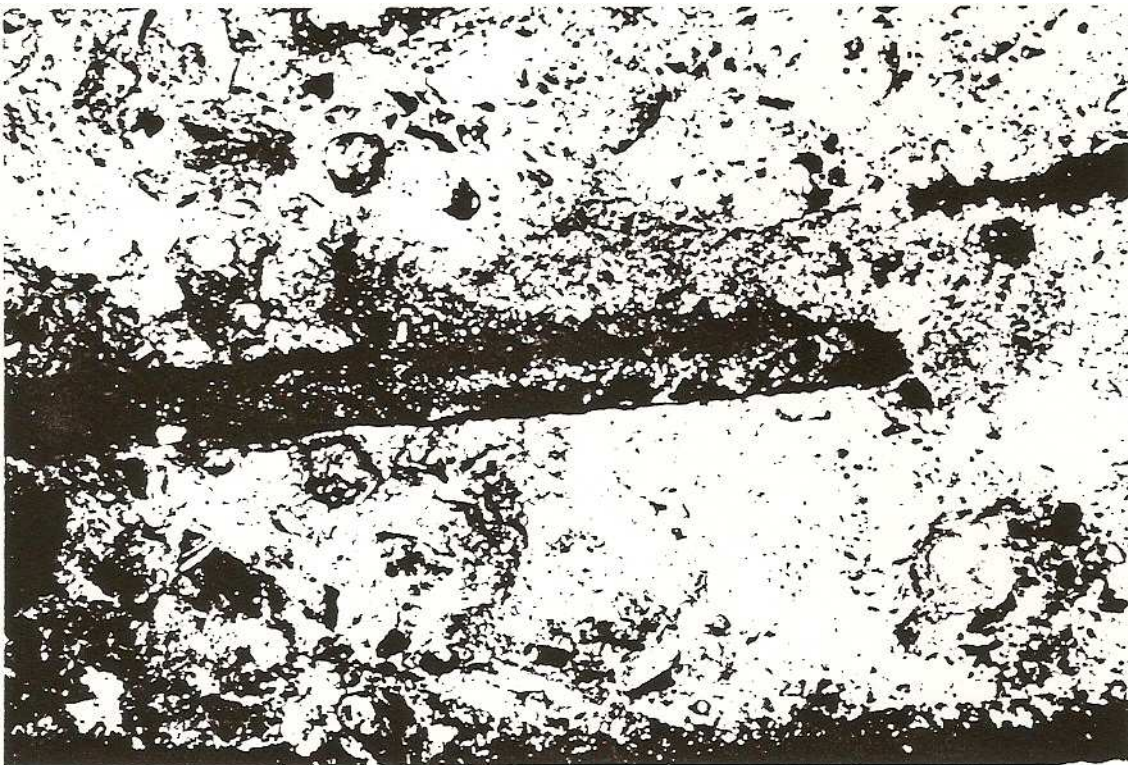


Fig. 14 - Corrosione armature di un garage



Fig. 15 - Villa in Florida



Fig. 16 - Fissaggio rete in titanio con anelli di plastica



Fig. 17 - Spruzzatura finale sulla parete verticale

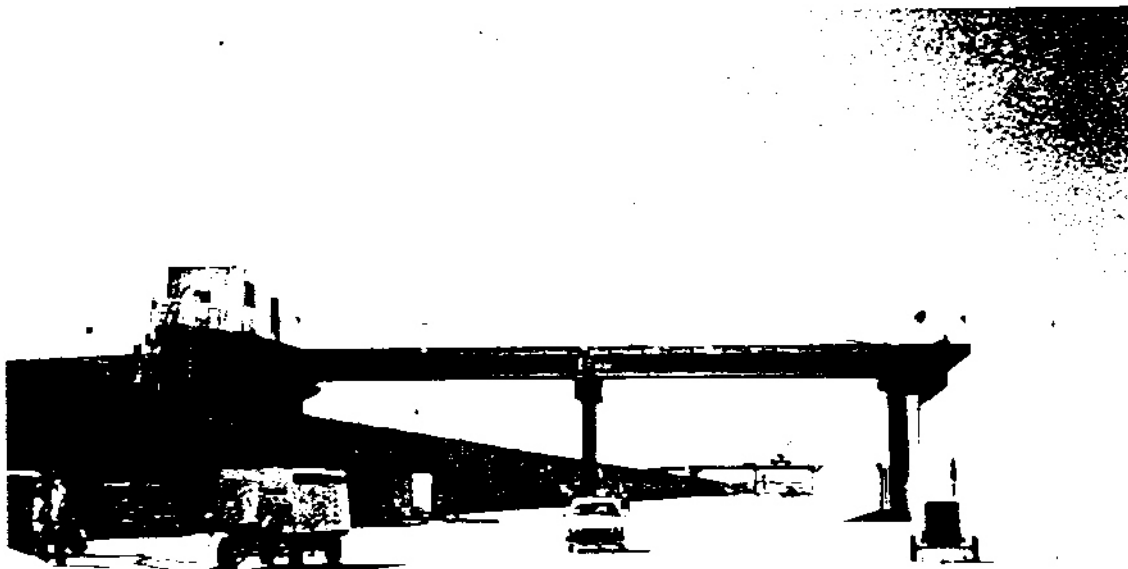


Fig. 18 - Canale di afflusso per acqua di mare in Arabia Saudita

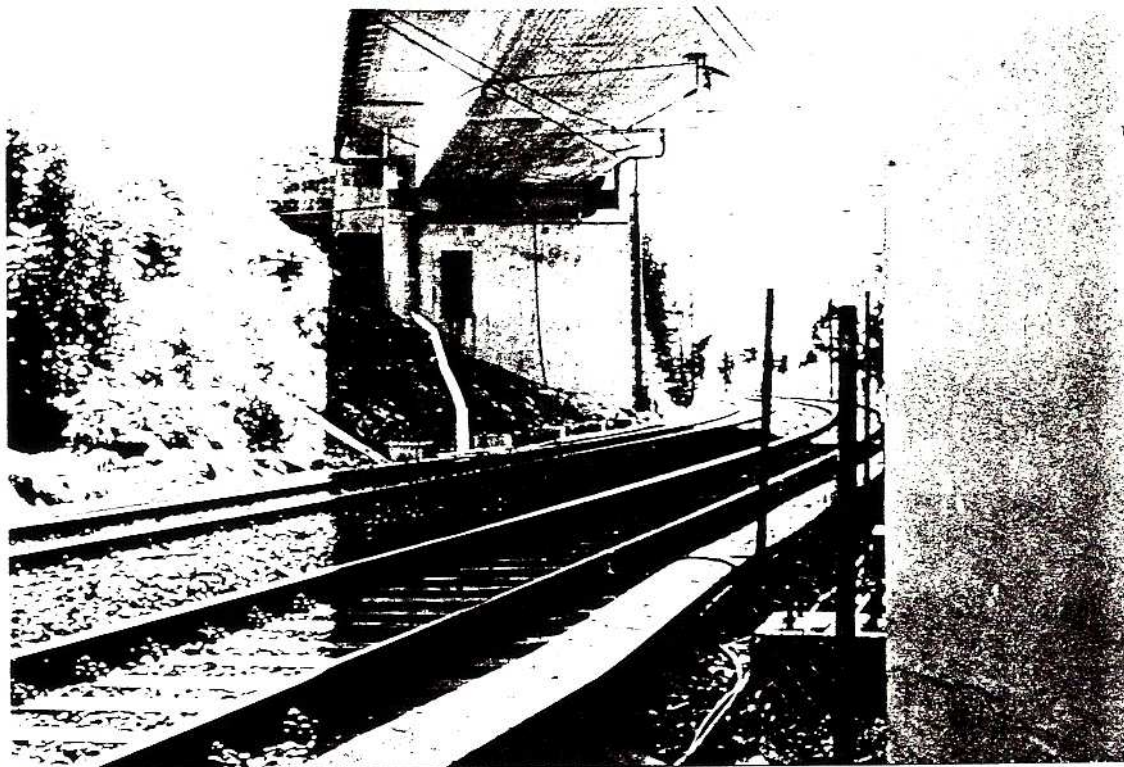


Fig. 19 - Ferrovia del Gottardo - Piloni da proteggere

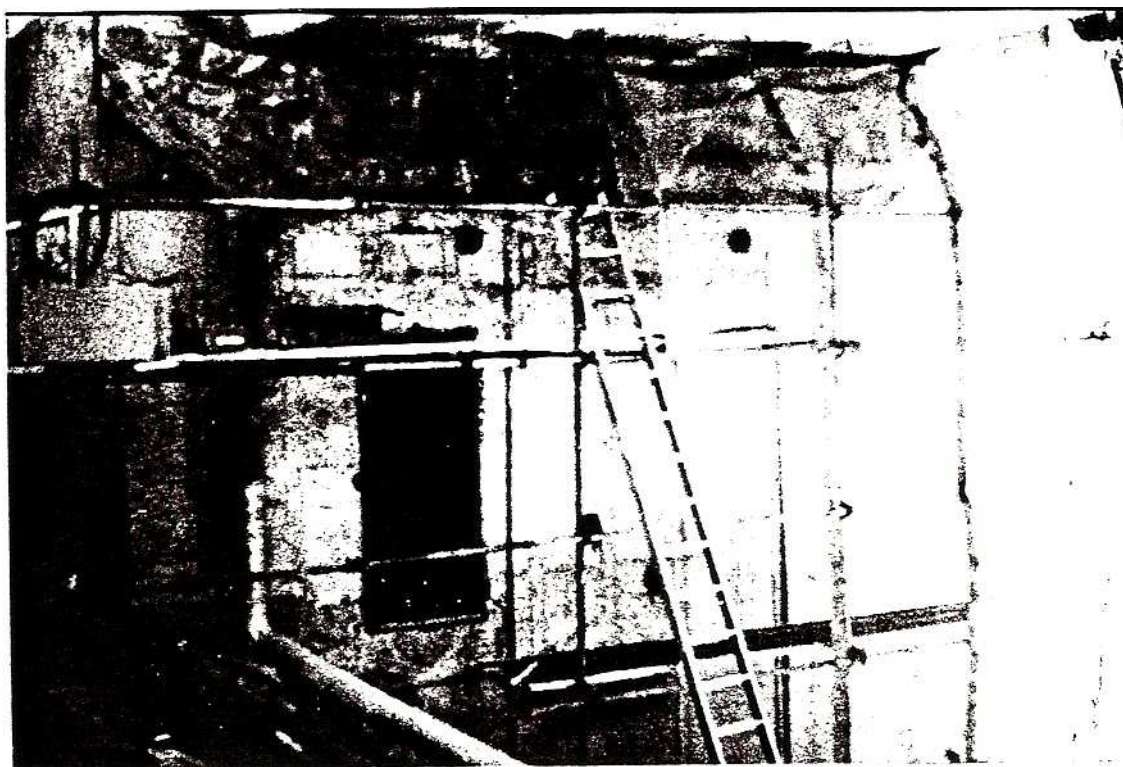


Fig. 20 - Protezione esterna mediante reti in titanio

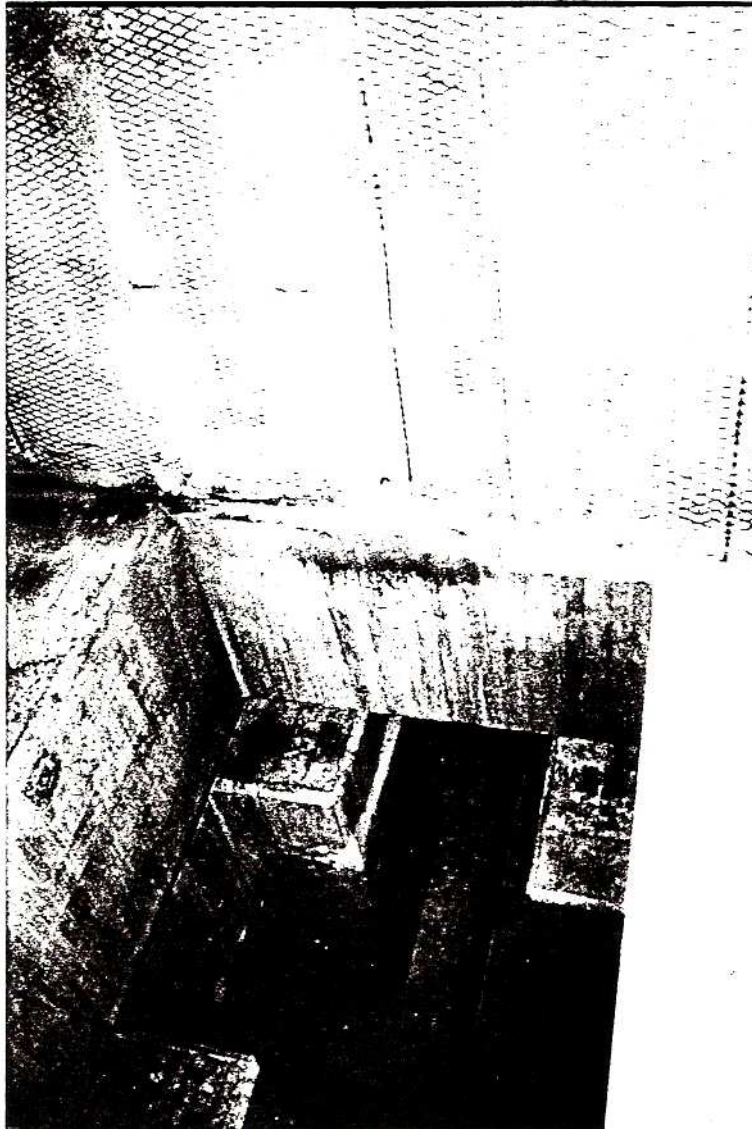


Fig. 21 - Protezione interna della struttura