

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA E MECCATRONICA

TESI DI LAUREA

CORROSIONE GALVANICA: CAUSE, EFFETTI E PROTEZIONE.

Relatore: Ing. DIEGO DAINESE

Laureando: MATTIA GOLO
Matricola 1004659-IMM

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

SOMMARIO

In questo elaborato verrà affrontato il problema della corrosione, principalmente per quanto riguarda i processi di natura elettrochimica, ovvero corrosione galvanica ed elettrolitica.

Verrà data un' indicazione sui principali metodi di protezione e prevenzione dei manufatti soggetti a tali corrosioni e verranno approfonditi alcuni esempi applicativi di queste protezioni.

INDICE

INTRODUZIONE.....	Pag. 5
Capitolo 1 - LA CORROSIONE GALVANICA.....	Pag. 9
1.1 - Cenni storici.....	Pag. 9
1.2 - La "pila Volta"	Pag. 9
1.3 - La "pila Daniell".....	Pag.10
1.4 - La corrosione elettrolitica.....	Pag.11
1.5 - La corrosione nelle leghe.....	Pag.11
1.6 - La corrosione negli ossidi.....	Pag.12
Capitolo 2- EFFETTI DELLA CORROSIONE.....	Pag.13
2.1- La corrosione dell'anodo	Pag.13
2.2 - La corrosione del rame e delle sue leghe.....	Pag.13
2.2.1 - La corrosione dei manufatti interrati.....	Pag.14
2.3 - La corrosione del ferro e delle sue leghe.....	Pag.14
2.3.1- La corrosione dei manufatti interrati.....	Pag.15
Capitolo 3 - CAUSE DELLA CORROSIONE.....	Pag.17
3.1 - Elementi che influenzano l'entità della corrosione.....	Pag.17
3.1.1 - La differenza di potenziale tra i due elementi.....	Pag.17
3.1.2 - Le condizioni ambientali.....	Pag.18
3.1.3 - L'alcalinità.....	Pag.18
3.1.4 - Il rapporto tra le aree catodiche e quelle anodiche.....	Pag.19
3.2 - Corrosioni dovute ad accoppiamenti galvanici.....	Pag.19
3.3 - Corrosioni dovute a correnti vaganti.....	Pag.20
3.3.1 - Prese in banchina-corrente alternata.....	Pag.21
3.3.2 - Sistemi di trazione CC.....	Pag.21
3.3.3 - Impianti di terra.....	Pag.23
Capitolo 4 - SISTEMI DI PROTEZIONE E PREVENZIONE DALLA CORROSIONE.....	Pag.25
4.1 - Tabelle di corrosione.....	Pag.25
4.2 - Metodi di protezione passivi dalla corrosione.....	Pag.25
4.2.1 - Protezione mediante rivestimento.....	Pag.25

4.2.2 - Protezione mediante isolamento tra metalli diversi.....	Pag.27
4.3 - Metodi di protezione attivi dalla corrosione.....	Pag.28
4.3.1- Protezione a corrente impressa.....	Pag.28
4.3.1.1 Protezione catodica delle reti di distribuzione di gas.....	Pag.30
4.3.2 - Protezione con anodi sacrificali.....	Pag.30
4.4 - Protezione di apparecchiature ed elementi costruttivi in ambito navale.....	Pag.31
4.5 - Protezione Sistemi di trazione CC.....	Pag.33
4.6 - Protezione Impianti di terra.....	Pag.34
Capitolo 5 - PROVE DI CORROSIONE E MONITORAGGIO.....	Pag.37
5.1 - Prove di corrosione.....	Pag.37
5.2 - Monitoraggio della corrosione.....	Pag.37
5.2.1 - Prova di continuità.....	Pag.38
5.2.2 - Prova di impedenza.....	Pag.39
CONCLUSIONI.....	Pag.43
BIBLIOGRAFIA.....	Pag.45

INTRODUZIONE

La corrosione è un processo chimico-fisico, superficiale, naturale e irreversibile il quale agisce solitamente deteriorando il materiale peggiorandone le caratteristiche intrinseche.

In particolare parleremo della corrosione legata ai materiali metallici, ovvero i metalli e le loro leghe.

In seguito al fenomeno corrosivo, il materiale metallico risulta danneggiato esteriormente, il danno non sempre risulta visibile ad occhio nudo e può variare in estensione, profondità e diffusione.

Nel caso la corrosione sia localizzata può distinguersi in base a diverse morfologie, si parla dunque di:

- Ulcere;
- Crateri;
- Caverne ("pitting cavernizzante");
- Punte di spillo ("pitting penetrante");
- Cricche (suddivise in inter-granulari o trans-granulari a seconda che le cricche seguano i bordi di grano o attraversino i grani cristallini);

La natura della corrosione



fig.1a : Parafango corrosivo.

La corrosione è legata al tipo di metallo e alla velocità con cui si ossida, ciò dipende molto dall'ambiente in cui si trova e dalla natura del processo di corrosione.

In base all'ambiente di corrosione i processi si suddividono in corrosione a umido e corrosione a secco.

Nel primo caso il materiale d'interesse è a contatto, o immerso, in acqua o in qualsiasi altro elettrolita, mentre nel secondo caso il materiale non è a contatto con elettroliti ma è immerso in atmosfera oppure viene ossidato tramite processo di ossidazione a caldo dei metalli.

Per quanto riguarda la natura della corrosione, invece, distingueremo:

- Corrosione chimica: corrosione per attacco diretto di sostanze chimiche (acidi, acqua, umidità-atmosfera);
- Corrosione mecano-chimica: co-partecipazione di cause elettrochimiche e sforzi meccanici, quali: sfregamento, trazione, fatica;
- Corrosione elettrolitica-galvanica: corrosione di natura elettrochimica legata al contatto di 2 metalli diversi posti a contatto tra loro;
- Corrosione elettrolitica a corrente impressa: corrosione di natura elettrochimica legata al

passaggio di corrente continua in un metallo;

Legame tra corrosione e nobiltà dei metalli

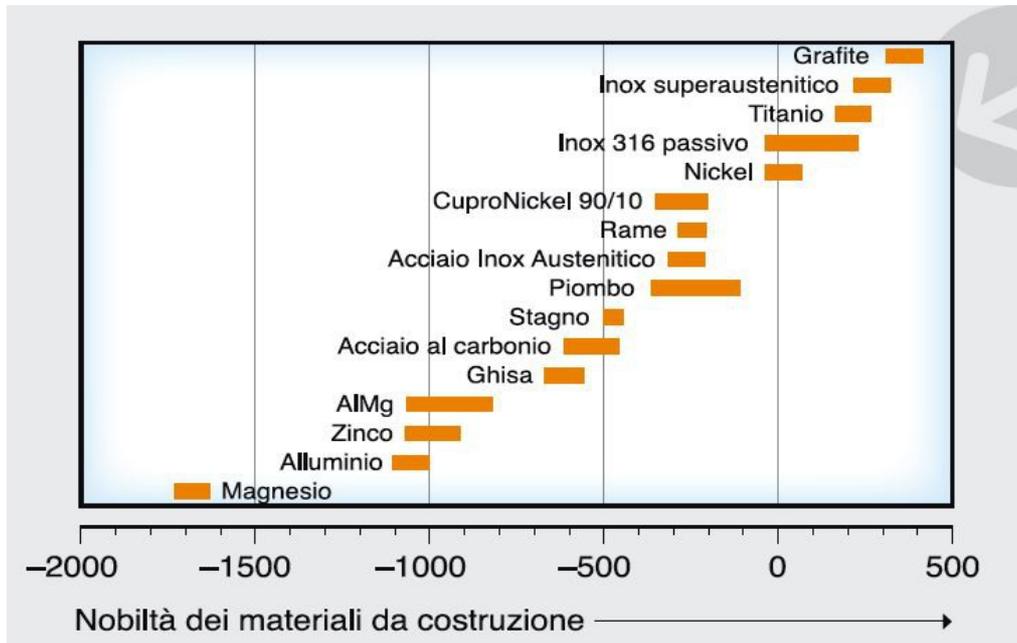


fig.Ib : Tabella di nobiltà dei materiali da costruzione.

Il processo di corrosione di un qualsiasi metallo è intrinsecamente legato alla sua nobiltà, la quale indica la maggiore o minor facilità del materiale a cedere un certo numero di elettroni.

I metalli più nobili (ad esempio Nickel e Titanio) cedono più difficilmente gli elettroni rispetto ai metalli meno nobili (ad esempio Alluminio e Magnesio).

Il principio elettrochimico alla base della corrosione

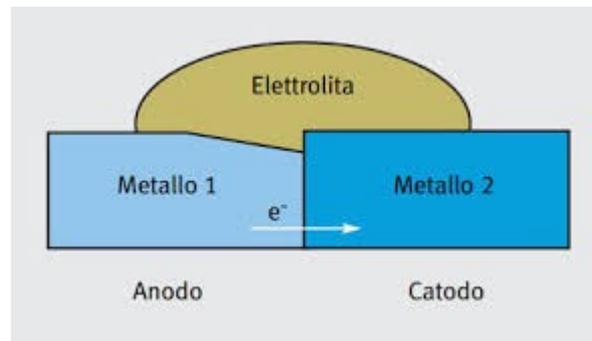


fig.Ic : Schema cella elettrolitica.

Il processo corrosivo è legato al movimento di cariche elettriche per mezzo di ioni, necessita quindi di tre elementi principali, due elettrodi e un elettrolita.

Un sistema così costituito si può in generale schematizzare con una cella galvanica in condizioni di cortocircuito come in fig.Ic, ovvero una cella dove i 2 elettrodi sono separati da un elettrolita internamente alla cella e sono in contatto per mezzo di un circuito elettrico.

Alla base di ogni processo di corrosione è coinvolta una semi-reazione di ossidazione all'anodo da parte di un metallo e una semi-reazione di riduzione al catodo da parte di un materiale più elettronegativo, dipendentemente dall'ambiente di corrosione.

La semi-reazione di ossidazione può essere schematizzata nel modo seguente:



In cui (n) è la carica dello ione metallico (M+) che si forma in seguito all'ossidazione del metallo (M), allontanando (n) elettroni (e-).

Comportamento elettrochimico del metallo

Il processo corrosivo deriva da una continua e progressiva trasformazione del metallo originale nel suo ossido, il quale può contrastare o meno la corrosione stessa in base al comportamento elettrochimico del metallo originale, in particolare vediamo che esistono due tipi di comportamenti: comportamento elettrochimico attivo e passivo.

- **Comportamento elettrochimico attivo:**

Caratteristico di metalli, come il ferro al carbonio, che ossidandosi danno origine a prodotti insolubili (ruggine) che una volta depositati sul materiale formano una superficie non omogenea, non proteggendo il cuore del metallo dal processo di corrosione;

- **Comportamento elettrochimico passivo:**

Caratteristico di quei metalli che ossidandosi danno origine a prodotti di corrosione insolubili che una volta depositati sul materiale formano una superficie omogenea, proteggendo il cuore del metallo dal processo di corrosione;

Capitolo 1 - La corrosione galvanica

Il fenomeno della corrosione galvanica è un processo di corrosione ad umido che ha origine tra qualsiasi coppia di metalli diversi abbastanza lontani nella serie elettrochimica posti a diretto contatto.

Mettendo a contatto un metallo meno nobile e un metallo più nobile si forma un "accoppiamento galvanico", in tal caso il metallo meno nobile sarà soggetto a corrosione, fungendo da anodo, mentre il metallo più nobile, il catodo, rimarrà intatto.

1.1 - Cenni storici



fig.1a : Luigi Galvani.

Il fenomeno della corrosione fu studiato per la prima volta nel 1780 da Luigi Galvani, dal quale prende il nome. Lo studioso scoprì che due diversi metalli messi in collegamento tra loro ed immersi in una soluzione salina, collegati contemporaneamente ad una diversa regione del nervo scoperto di una zampa di rana, provocavano la contrazione della zampa stessa.

Galvani chiamò questo fenomeno "elettricità animale" senza però comprenderne il significato elettrochimico; furono poi successivamente Alessandro Volta e John Frederic Daniell a riprendere il concetto di "cella galvanica", per indicare tutti quei sistemi elettrochimici analoghi a quello scoperto da Galvani, come le celle elettrochimiche in grado di fornire energia elettrica.

Tra le più importanti ricordiamo appunto la "pila di Volta"(1799) e la "pila Daniell"(1836).

Di fatto la "cella galvanica" andrebbe più propriamente chiamata "cella voltaica", in quanto fu Volta che scoprì che l'accoppiamento galvanico è legato sostanzialmente alla differenza di nobiltà nella coppia metallica.

1.2 - La "pila Volta"

Immergendo una coppia galvanica in un liquido conduttore, detto elettrolita si riproduce la cella elettrolitica in cortocircuito, dove gli elettrodi sono costituiti dai due metalli accoppiati ciò comporta una differenza di potenziale elettrico all'interno della cella il quale è alla base della relazione elettrochimica.

In particolare, nella pila di Volta, troviamo zinco e rame posti a contatto con un elettrolita, la differenza di potenziale sarà circa 1.103 Volt, un valore sufficiente a far scorrere corrente tra i due metalli. La differenza di potenziale infatti deve essere superiore a circa 0,20 volt affinché scorra corrente tra i due metalli.



fig.1b : La "pila Volta".

Volta si accorse che il metallo a potenziale inferiore si corrodeva ma lo ritenne un difetto delle pile da lui provate.

Fu successivamente Daniell a verificare che ciò era effetto dello scorrimento di ioni e corrente nella pila.

1.3 - La "pila Daniell"



fig.1c : Schema della "pila Daniell"

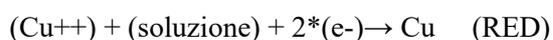
La pila Daniell è una rivisitazione della pila di Volta, anch'essa è una cella elettrochimica che sfrutta una reazione di ossidoriduzione spontanea tra Rame (Cu) e Zinco (Zn). Essa è composta da due semi-celle, la prima formata da una lamina di zinco immersa in una soluzione di solfato di zinco (ZnSO₄) e la seconda da una lamina di rame immersa in una soluzione di solfato di Rame (CuSO₄).

Le due lamine metalliche costituiscono gli elettrodi, mentre le due soluzioni sono mantenute in due recipienti separati, ma il passaggio di ioni è assicurato da un ponte salino di Cloruro di potassio (KCl) in gel. Uno Voltmetro viene collegato ai due morsetti (ciascuno collegato ad un elettrodo).

Nella prima semi-cella, tra elettrodo di zinco e elettrolita avviene la seguente reazione di ossidazione:



mentre nella seconda semi-cella, tra elettrodo di rame e elettrolita avviene la seguente reazione di riduzione:



Quando colleghiamo due elementi a potenziale diverso dunque, si genera un flusso di elettroni dal materiale meno nobile (avente potenziale minore), denominato anodo o polo negativo che ossida, verso quello più nobile avente potenziale maggiore, denominato catodo o polo positivo che si riduce.

Tali reazioni sono dette reazioni di ossidoriduzione o redox, dall'inglese "*reduction*" e "*oxidation*".

Per convenzione, il verso della corrente elettrica è assunto opposto al flusso degli elettroni, per cui si ha circolazione di una corrente continua dalla zona anodica a quella catodica; la stessa corrente circola in verso opposto nell'elettrolita, trasportata dagli ioni disciolti in esso.

Gli elettroni quindi passano dallo zinco al rame tramite il collegamento elettrico, lasciando nel rame degli ioni positivi che tendono a disperdersi nell'elettrolito.

Lo zinco si consuma, il fenomeno continua sino a che lo zinco non si è consumato completamente, mentre il rame resta intatto.

1.4 - La corrosione elettrolitica

Ogni qual volta un metallo disperde corrente in un elettrolito, si consuma.

Nella cella galvanica l'anodo disperde corrente nell'elettrolita e si corrode. La differenza tra la corrosione galvanica e quella elettrolitica sta nel fatto che, nella seconda, il potenziale elettrico viene imposto, il quale è molto più elevato del potenziale che si forma in un accoppiamento galvanico e genera dunque corrosione anche in una coppia di metalli qualsiasi, anche uguali.

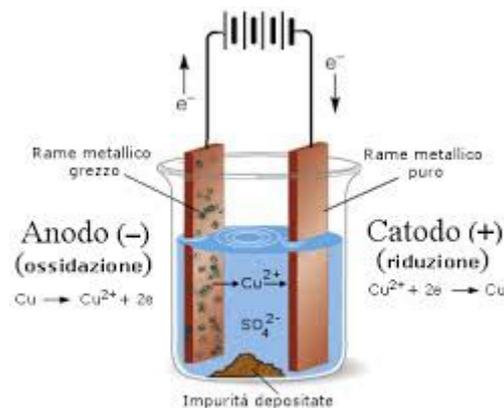


fig.1d : Schema cella elettrolitica a corrente impressa.

Nel quotidiano la corrosione elettrolitica è sempre causata da correnti vaganti come: correnti di guasto o scariche atmosferiche; le quali invece di rientrare al negativo della batteria o del generatore attraverso gli appositi cavi, rientrano con percorsi diversi o si disperdono nel terreno attraverso manufatti metallici. Le correnti in gioco sono enormemente più alte e gli effetti della corrosione risultano più rapidi e devastanti.

Va ricordato che solamente le correnti continue (CC) causano corrosione poiché hanno andamento unidirezionale nell'elettrolita, dall'anodo al catodo, le correnti alternate (AC) invece avendo andamento bidirezionale non causano alcuna corrosione.

1.5 - La corrosione nelle leghe

La cella voltaica si forma sempre e solo se sono presenti due metalli in contatto tra loro, immersi in un elettrolita.

Essendo le leghe composte da due metalli, se immergiamo una lega in un elettrolita, si forma una cella voltaica.

Per esempio l'ottone è composto di rame e zinco, che sono, come abbiamo visto, lontani nella serie galvanica; immergendo un pezzo di ottone in acqua di mare (buon elettrolita), l'ottone si deteriorerà poiché lo zinco al suo interno si corroderà.

1.6 - La corrosione negli ossidi

Le correnti galvaniche si formano anche nello stesso metallo se questi incorpora impurità o ossidi con potenziale elettrico diverso.

Gli acciai inossidabili, per esempio, sono tali in quanto ricoperti da uno strato protettivo di ossido, ma se questo strato di ossido viene intaccato in un punto, in presenza di un elettrolita, si forma una coppia galvanica tra l'ossido dell'acciaio inox e l'acciaio senza ossido, per cui la zona anodica, ovvero l'acciaio senza ossido, inizierà a corrodersi come schematizzato in fig. 1e.

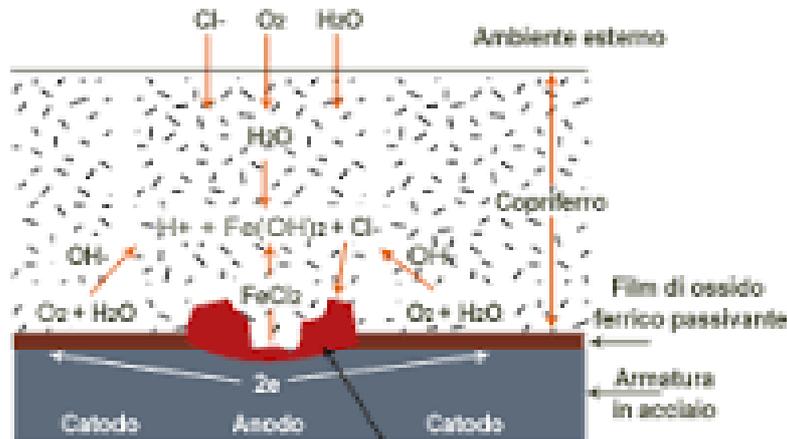


fig. 1e : Ossidazione dell'acciaio.

I concetti che stanno alla base della corrosione per contatto galvanico di metalli possono essere estesi anche agli accoppiamenti di metalli e leghe con materiali da loro differenti, quali ossidi e solfuri, purché siano buoni conduttori elettrici.

Capitolo 2 - Effetti della corrosione

2.1- La corrosione dell'anodo

Il processo corrosivo interessa solamente la parte anodica del materiale o della coppia galvanica. La corrente è dunque responsabile della corrosione, dipendentemente dalla differenza di potenziale dei due metalli e dalla resistenza del collegamento, quindi maggiore è il potenziale, maggiore sarà la corrente e di conseguenza più grave e dannosa sarà la corrosione.

Un fattore incisivo è anche dato dal rapporto tra le superfici relative ai due metalli: un rivetto di alluminio in una lastra di acciaio scomparirà molto velocemente, mentre una lastra di alluminio con rivetti di acciaio si corroderà meno rispetto al suo spessore, per cui gli effetti della corrosione saranno minimi.

2.2 – La corrosione del rame e delle sue leghe

Essendo il rame un metallo di natura elettrochimica passiva, l'ossido protegge efficacemente il metallo, assumendo una tipica coloritura bruna, ma se lo strato di ossido si danneggia in un punto, la corrosione galvanica si concentra in quel punto del metallo fino a perforarlo.

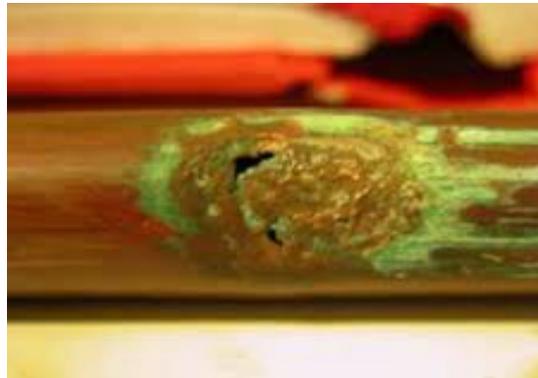


fig.2a : Tubo in rame corrosivo.

Il rame è stato usato sotto forma di chiodi per le barche in legno e trova oggi uso esteso nei cavi elettrici e nelle tubazioni.

Esistono innumerevoli leghe a base di rame che vengono generalmente suddivise in due grandi famiglie: leghe rame-zinco e leghe di rame senza zinco, rispettivamente conosciute come ottoni e bronzi, tali leghe, come il rame, sono molto resistenti alla corrosione grazie al loro alto grado di nobiltà.



fig.2b : Corrosione alcalina di una lastra di rame.

I bronzi in particolar modo trovano ampio uso in ambiente navale, vengono impiegati nella fattura di eliche, alberi motore e trovano ampio impiego anche nelle chiodature.

Nonostante il rame sia un metallo tra i più nobili è fortemente soggetto all'ossidazione per alcalinità, un processo di tipo chimico dovuto all'ambiente, infatti dei chiodi in rame in uno scafo di legno con chiglia di ferro si corroderanno in tempi relativamente brevi, il rame, più nobile del ferro, non si dovrebbe corrodere, ma a causa della alcalinità provocata dal legno umido circostante, i chiodi vengono corrosi e il legno marcisce in tempi brevi.

2.2.1 - La corrosione dei manufatti interrati



fig.2c : Manufatti in rame.

I reperti bronzei rinvenuti da scavi archeologici hanno una storia chimica diversa dagli equivalenti all'aperto. In un terreno acido si avrà l'azione non tanto di acido cloridrico, acido solforico e acido nitrico, che vengono neutralizzati a contatto con il suolo, ma della CO₂ in presenza di umidità nel terreno. L'attacco avviene soprattutto a carico del rame:



L'umidità nel terreno è necessaria a chiudere il percorso di corrente.

Dal carbonato di rame si ha la formazione di idrossicarbonati di rame: malachite

(CuCO₃•Cu(OH)₂) e azzurrite (2•CuCO₃•Cu(OH)₂).

Gli oggetti mostrano un forte attacco intergranulare, un quantitativo rilevante di ossido rameoso, che forma uno strato di corrosione spesso. Si assume che col tempo la patina cresca in spessore e ne aumenti la porosità e la percolazione di composti del suolo all'interno dello strato di corrosione. L'inclusione di questi ultimi elementi porta ad una variazione di colore verso il verde scuro e il blu.

2.3 – La corrosione del ferro e delle sue leghe

Nelle leghe ferrose, come gli acciai al carbonio e basso legati e le ghise, i prodotti insolubili che si formano per effetto della corrosione elettrochimica non risultano protettivi per il sottostante materiale e pertanto tali leghe hanno un comportamento elettrochimico attivo.

La condizione necessaria affinché si manifesti la corrosione elettrochimica del ferro, a temperatura normale, è che il manufatto si trovi in presenza di acqua e ossigeno.

A contatto con l'ossigeno presente in atmosfera il ferro metallico crea un ossido, la ruggine, che è catodica rispetto al ferro sottostante, la corrosione galvanica attacca il ferro, la ruggine perde il supporto e si stacca, esponendo altro ferro alla corrosione.

Sulla superficie del manufatto dove si deposita uno strato di acqua o un leggero velo di umidità, normalmente contenuta nell'atmosfera, tra due punti con differenza di potenziale si vengono a costituire miriadi di minuscole pile, poiché si genera un circuito ionico corrispondente al velo di acqua o umidità e un circuito elettronico corrispondente al metallo.



fig.2d : Corrosione di una lastra di ferro metallico in atmosfera.

Nella zona anodica, il ferro passa in soluzione cedendo all'acqua o al velo di umidità, lo ione Fe^{2+} e liberando nel contempo degli elettroni, nella zona catodica la diminuzione di ioni idrogeno nel velo d'acqua aumenta la concentrazione di ioni ossidrilici OH^- , pertanto l'area diviene alcalina;

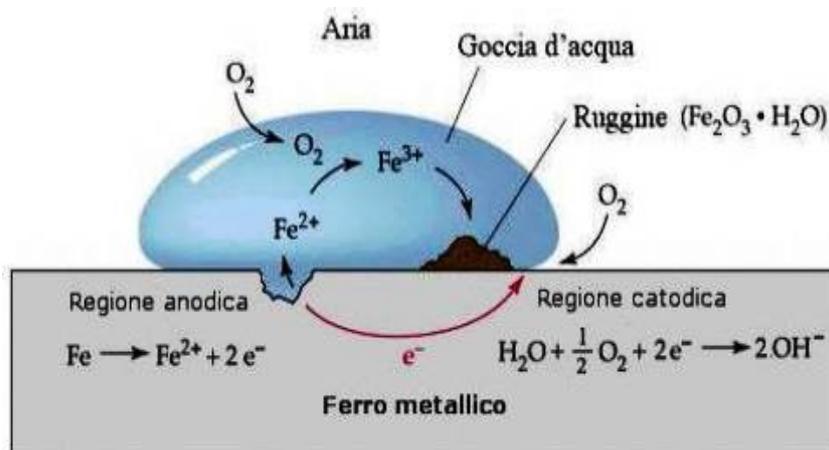


fig.2e : Ossidazione del ferro metallico.

In presenza di sufficiente ossigeno nella zona anodica si forma l'ossido ferrico idrato, la ruggine, poco solubile, che precipita sul metallo.

Data la tendenza degli ioni ferrosi a diffondersi dall'anodo prima di combinarsi e formare la ruggine, questa depositasi sulla superficie del manufatto in ferro, si presenta come un prodotto spugnoso con labile adesione sul metallo all'anodo.

2.3.1 -La corrosione dei manufatti interrati

In assenza dell'azione dei batteri, la velocità di corrosione delle strutture interrate a matrice ferrosa (ghisa, acciaio) decresce al crescere della resistività dei terreni, la quale dipende da diversi fattori: struttura geologica, dimensioni delle particelle, porosità del manufatto, permeabilità e umidità del terreno.

Pertanto di norma i terreni che garantiscono un maggiore tenore di ossigeno, un idoneo contenuto di acqua e un idoneo contenuto di sali elettroliti risultano a più alta corrosività.

La velocità di corrosione dipende inoltre da altri fattori quali il pH, più acido è il terreno maggiore è l'azione corrosiva del terreno; e il contenuto di cloruri e solfati, i quali esplicano un effetto depassivante e danno luogo a sali con il ferro con scarse proprietà protettive.

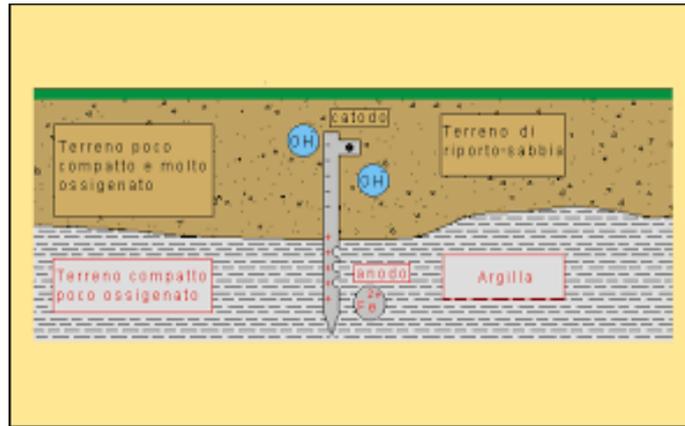


fig.2f : Corrosione del ferro interrato.

La ghisa, sia grigia che sferoidale, insieme all'acciaio è il materiale maggiormente impiegato per la fabbricazione di tubi metallici.

Mentre nell'acciaio il ferro passa in soluzione nell'elettrolita lasciando dei crateri visibili sulla superficie del metallo, nelle ghise i prodotti della corrosione della ferrite non si allontanano e restano frammisti alla grafite.



fig.2g : Corrosione di un tubo in acciaio.

Questo fenomeno è noto come grafitizzazione. I tubi grafitizzati mantengono spesso l'aspetto di quelli integri ed una indicazione sull'estensione dell'attacco si può avere solo dopo la rimozione dei prodotti di corrosione. Questi tubi danno un suono sordo quando sono percossi e possono essere facilmente incisi con una punta metallica. In questa situazione il tubo può rompersi improvvisamente anche a basse pressioni, a seguito di sollecitazioni come, ad esempio, traffico stradale o vibrazioni.

Capitolo 3 - Cause della corrosione



fig.3a : Corrosione di di uno scafo navale in ambiente.



fig.3 :b Corrosione galvanica di una tubazione.

Le cause della corrosione possono essere molteplici e di diversa natura, tra le principali ricordiamo quella ambientale e quella intrinseca degli elementi metallici di presentarsi in natura nella composizioni chimicamente più stabile come ossidi, idrossidi o sali.

Le cause ambientali provocano processi corrosivi anche di grave entità ma che richiedono molto tempo per deteriorare il metallo, mentre le cause di natura elettrochimica possono causare gravi e veloci corrosioni dei manufatti.

3.1 - Elementi che influenzano l'entità della corrosione

Gli elementi metallici nei processi corrosivi sono influenzati da:

- La differenza di potenziale tra gli elementi;
- Le condizioni ambientali;
- L'alcalinità;
- Il rapporto tra le aree catodiche e quelle anodiche;
- La natura attiva o passiva del metallo.

3.1.1 - La differenza di potenziale tra due elementi

Legata alla nobiltà relativa dei due metalli, è tanto più grande quanto più distanti sono gli elementi nella scala di potenziali standard o scala galvanica.

Due materiali sono "galvanicamente compatibili" se la realizzazione di accoppiamenti di materiali nelle serie galvaniche è prossima.

Vediamo per esempio in fig.3c, L'acciaio inox e il nickel sono "galvanicamente compatibili", mentre il nickel e il cromo, i quali hanno una differenza di potenziale di 770mV, sono "galvanicamente incompatibili". Si formerà un passaggio di cariche negative dal cromo, anodo, al nickel, catodo, con la conseguente corrosione del cromo.

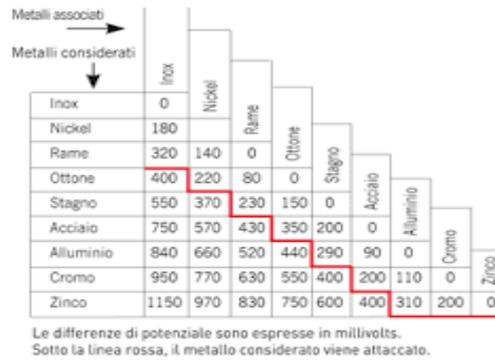


fig.3c : Differenze di potenziali relative tra i materiali.

3.1.2 - Le condizioni ambientali

L'ambiente produce principalmente corrosioni di natura chimica o galvanica, le quali sono rispettivamente legate al pH e all'umidità ambientali.

In ambienti con alta resistività la corrosione risulta limitata alla zona anodica in prossimità della giunzione con l'area catodica. Per tale motivo questo tipo di corrosione risulta particolarmente grave in acque di mare ma non in acque dolci che hanno una conducibilità di almeno due ordini di grandezza più bassa.

3.1.3 - L'alcalinità

Caratteristica ambientale, nonché di alcune celle galvaniche, l'alcalinità è un importante innesco corrosivo che può provocare corrosioni di grave entità in tempi brevi.

L'alcalinità ambientale, la quale è in relazione al pH del terreno, può provocare corrosione chimica in molti manufatti interrati.

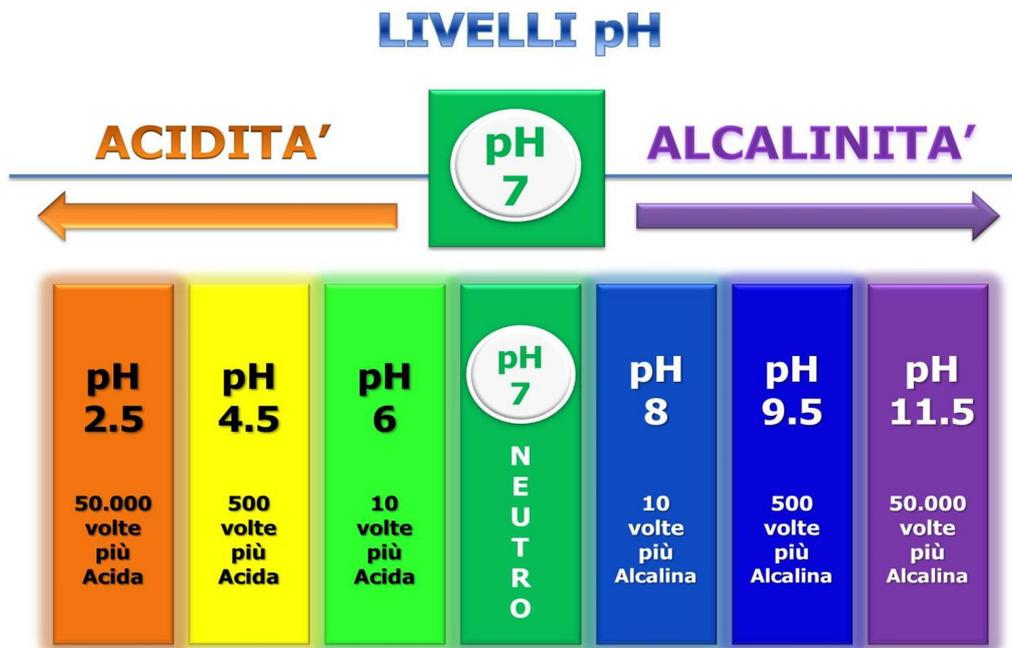


fig.3d : Tabella di relazione pH-Alcalinità.

All'interno della cella galvanica l'elemento alcalino è rappresentato dall'elettrolita attorno al catodo, il quale può provocare corrosione chimica del catodo se non vi è flusso di ricambio sufficiente a diluire

l'elettrolita alcalino.

Un caso frequente è la corrosione dell'alluminio per sovra-protezione dagli zinchi. Se il voltaggio scende sotto -1V l'alluminio diventa alcalino e si corrode. Anche in questo caso la corrosione è di tipo chimico e sarà l'alluminio a corrodarsi.

3.1.4 - Il rapporto tra le aree catodiche e quelle anodiche

Il rapporto tra aree presenta condizioni più sfavorevoli quando l'area anodica è piccola rispetto a quella catodica, in quanto l'attacco corrosivo si concentra sull'area limitata.

Un esempio tipico può essere l'impiego di elementi di giunzione in ferro (chiodi o viti) su strutture in rame o, come succede spesso nelle costruzioni idrauliche, l'impiego di bulloni in acciaio inox su tubazioni in acciaio al carbonio o in ghisa; in entrambi i casi, chiodi in ferro e bulloni in acciaio inox, saranno soggetti a corrosioni di grave entità e veloce propagazione.

3.2 - Corrosioni dovute ad accoppiamenti galvanici

- Chiglia e i suoi bulloni:

Le chiglie esterne sono in genere di ghisa, acciaio o piombo, i bulloni di ancoraggio sono in bronzo o acciaio inox. Se l'umidità si infiltra tra la chiglia e lo scafo abbiamo sicuramente una cella galvanica: si corroderà il metallo meno nobile ovvero la chiglia. La corrosione avviene al contatto tra i bulloni e la chiglia, i quali potrebbero perdere la loro tenuta;

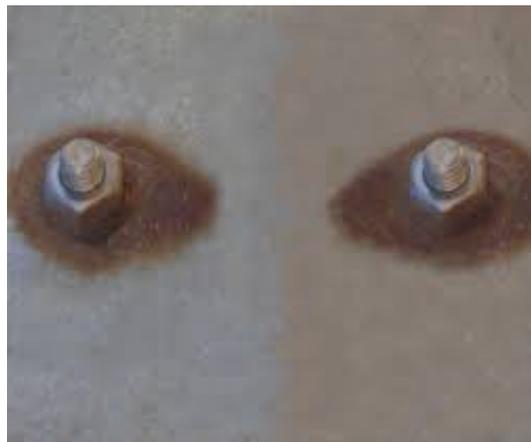


fig.3e : Bulloni in acciaio inox a contatto con chiglia in ghisa.

- Timone e cuscinetti:

Anche in questo caso, se timone e cuscinetti sono di diverso materiale, immersi in ambiente marino, si formerà una cella galvanica.

Ad esempio se l'asse del timone è in acciaio inox e i cuscinetti in bronzo, essendo il bronzo meno nobile, si corroderà;

- Passa scafo e scafo:

Anche in questo caso, se passa scafo e scafo sono di diverso materiale, immersi in ambiente marino, si formerà una cella galvanica. Se il passa scafo è in bronzo e lo scafo in alluminio sarà quest'ultimo a corrodarsi;

- L'albero motore e l'elica:

In ambiente marino, buon elettrolita, il contatto diretto tra albero motore ed elica, se fatti di due metalli diversi, genera una cella galvanica.

Ad esempio se l'albero motore è in acciaio inox e l'elica in bronzo o in ferro. L'elica si corroderà come in fig.3f;



fig.3f: Corrosione di un elica in ferro con albero motore in acciaio inox.

- Scafo e pontile:

Se esiste un collegamento elettrico tra lo scafo e il pontile, è sufficiente una passerella in alluminio o in carbonio, o dei cavi di ormeggio metallici, e scafo e pontile sono galvanicamente incompatibili, ad esempio scafo in alluminio ormeggiato a pontile in ferro, lo scafo in alluminio si corroderà;

- Rivetti in alluminio su acciaio inox:

In questo caso basta la presenza di un elettrolita come l'acqua a far sì che i rivetti si corrodano molto velocemente essendo grande sia la distanza nella serie galvanica, sia il rapporto sfavorevole tra le superfici anodiche e catodiche;

3.3 - Corrosioni dovute a correnti vaganti

Una apparecchiatura soggetta a possibili correnti vaganti e relativa corrosione è la pompa in sentina delle imbarcazioni. L'ambiente è ovviamente umido e necessita quindi di interruttori stagni, se vi è una perdita elettrica tra il cavo positivo e l'acqua, si forma una corrente vagante, l'interruttore si corrode in tempi brevi e non chiude più il circuito non facendo partire la pompa.

Un altro caso comune di corrosione per correnti vaganti è quello dell'elica dei natanti.

L'asse e l'elica di ogni imbarcazione devono essere collegati con la massa del motore. Se un componente elettrico sull'imbarcazione ha il ritorno collegato anch'esso alla massa del motore e il motore non è correttamente collegato a terra, la corrente di ritorno trova una certa resistenza e una parte della corrente chiude il circuito via elica-acqua-scafo o elica-acqua-zinchi, in questo caso l'asse dell'elica si corrode.

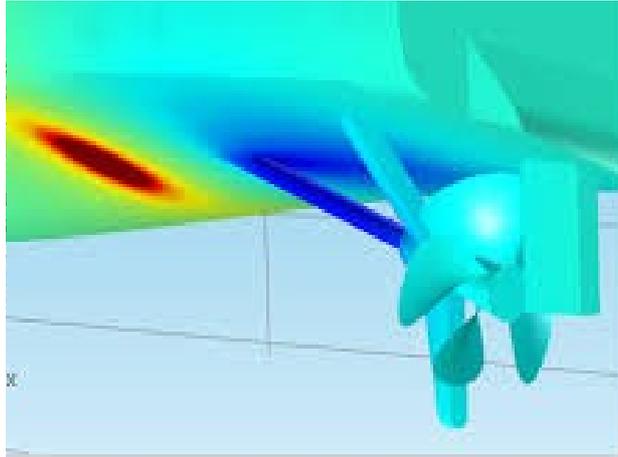


fig.3g : Corrosione dell'asse dell'elica per correnti vaganti.

3.3.1 - Prese in banchina-corrente alternata

Un caso particolare di corrosione è quello della corrosione ai danni degli scafi delle barche collegati in banchina, il quale può avere due cause distinte: correnti vaganti oppure accoppiamento galvanico.

Il primo caso è quello dovuto al mancato ritorno del neutro della presa in banchina, per un motivo qualsiasi, la componente continua della corrente potrebbe ritornare seguendo il circuito di terra, gli zinchi o lo scafo e il mare per arrivare alla terra. Durante questo percorso, le parti metalliche dalle quali esce la corrente, comportandosi da anodo, si corroderanno molto velocemente.

Il secondo caso avviene quando due o più barche sono collegate alla presa in banchina come in fig.3h. Se una barca ha un passa scafo di bronzo collegato alla propria terra e l'altra ha un passa scafo in zinco collegato alla propria terra, attraverso il collegamento delle terre in banchina e l'acqua si forma una cella galvanica con la conseguente corrosione del metallo meno nobile, in questo caso lo zinco.

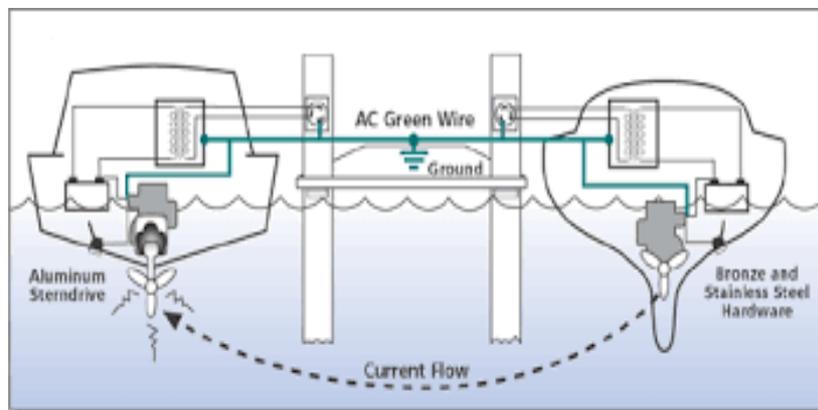


fig.3h : Corrosione dovuta alla presa in banchina.

3.3.2 - Sistemi di trazione CC

I sistemi di trazione in corrente continua possono generare gravi problemi legati alla corrosione da correnti vaganti quando il circuito di ritorno alla sottostazione non è sufficientemente isolato da terra.

Durante la normale funzione dell'impianto di trazione, la corrente scorre dalla sottostazione al vagone percorrendo un cavo sospeso sui binari mediante tralicci, e fa ritorno alla sottostazione tramite i binari come in fig.3i.

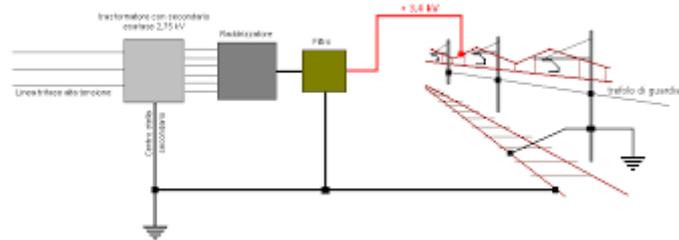


fig.3i : Percorso ordinario di ritorno della corrente verso la sottostazione.

In caso di guasto, invece, la corrente fa ritorno alla sottostazione tramite strutture o manufatti interferenti.

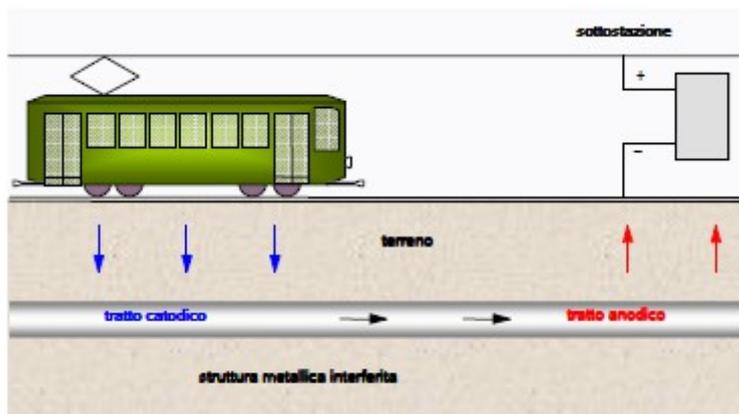


fig.3j : Schema di ritorno della corrente tramite tubazioni di servizio.

Sono dunque interessate dalla corrosione tutte le strutture e i manufatti metallici che offrono la possibilità di chiudere il circuito di ritorno di tali correnti, quali: rotaie di corsia, tubature metalliche, cavi con armatura o schermo metallico, impianti di terra, armature nel cemento, serbatoi e altri manufatti metallici, impianti di segnalamento e telecomunicazione e impianti di protezione catodica.

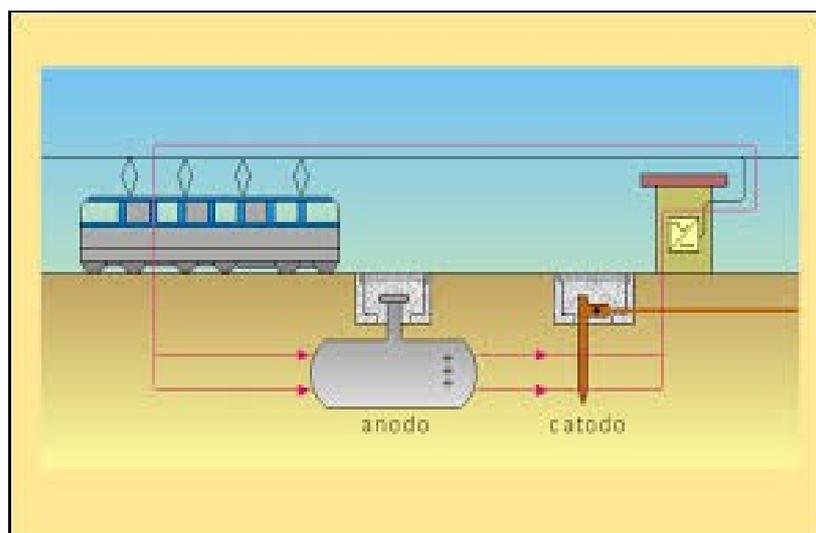


fig.3k : Schema di ritorno della corrente tramite manufatti interrati.

In questo caso la corrosione è veloce e di grave entità grazie alle grandi correnti continue in gioco.

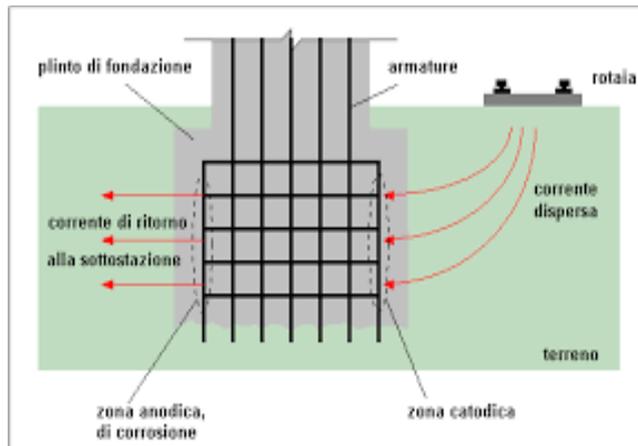


fig.3l : Ritorno della corrente tramite ferri di armatura nel calcestruzzo.

3.3.3 - Impianti di terra

Gli impianti di messa a terra, nel loro normale utilizzo, scaricano a terra corrente proveniente da guasti dell'impianto elettrico per proteggere la persone da contatti indiretti, sono costituiti generalmente da cavi e barre in rame, poiché garantisce una bassa resistenza al passaggio di cariche, e identificati da targhette o da guaine protettive di colore giallo-verde.

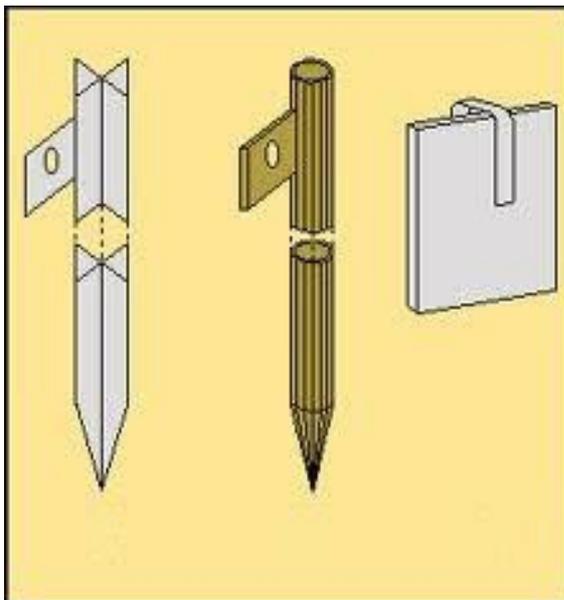


fig.3m : Forma dei dispersori.



fig.3n : Collegamento di un dispersore.

Gli impianti di terra sono soggetti a corrosione galvanica dovuta sia all'accoppiamento di metalli diversi, come in fig.3o, sia alla natura intrinseca del funzionamento dell'impianto di terra, poiché con l'immissione nel terreno, da parte dei dispersori, di cariche negative si crea una differenza di potenziale tra i picchetti di messa a terra, che si comportano da anodo, e gli altri manufatti metallici nel terreno, quali tubature, armature del cemento e altre strutture metalliche.

Tali differenze di potenziale, di natura galvanica o elettrolitica, sono le cause della corrosione di alcuni punti dell'impianto di terra stesso o di strutture metalliche adiacenti come tubazione o armature nel cemento, le quali, pur essendo immerse nella matrice cementizia, possono essere soggette a fenomeni corrosivi di natura galvanica dovuti al ritorno di correnti vaganti verso il generatore.

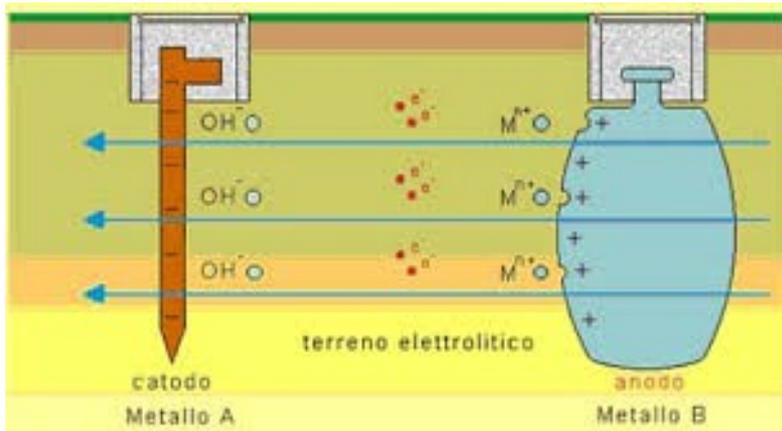


fig.3o : Corrosione galvanica dovuta all'accoppiamento di metalli diversi in terreno elettrolitico.



fig.3p : Corrosione di un ferro d'armatura delle strutture in calcestruzzo armato.

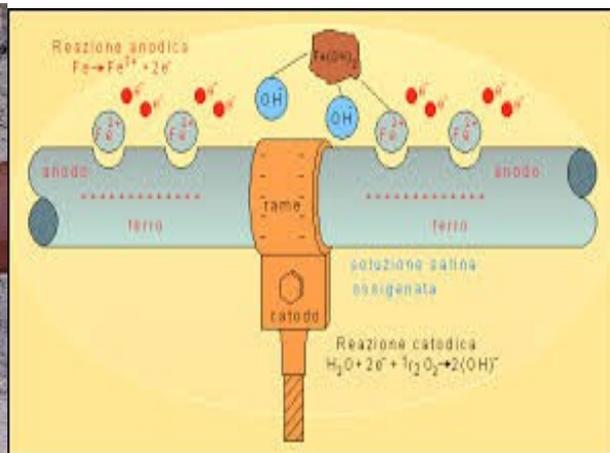


fig.3q : Corrosione di una tubazione nel punto di collegamento all'impianto di terra.

Capitolo 4 - Sistemi di Protezione e prevenzione dalla corrosione

La cella voltaica o galvanica è, come detto in precedenza, composta da tre elementi:

- Una coppia di metalli diversi;
- Un elettrolita nel quale i due metalli sono immersi;
- Un collegamento elettrico tra i due metalli;

Se manca anche uno solo di questi tre elementi non si forma la cella voltaica, ne' la corrente galvanica, ne' la corrosione. Per cui le strategie di prevenzione sono: evitare di usare metalli diversi o lontani nella serie galvanica e proteggere i metalli da fonti di corrosione;

4.1 - Tabelle di corrosione

Un modo immediato per prevedere se un materiale a contatto di una determinata sostanza è soggetto a corrosione consiste nell'utilizzo di "tabelle di corrosione", le quali indicano alcune combinazioni materiale-elettrolita e per ciascuna di tali combinazioni indicano se il materiale è corrodibile o meno.

Le tabelle possono essere utilizzate in una prima fase della progettazione per scegliere il materiale più adatto per una determinata applicazione all'interno di una ristretta selezione di materiali.

Qualora non sia impossibile evitare l'impiego di una coppia di materiali metallici tra loro compatibili, si può ampliare la catena galvanica, introducendo un terzo metallo, di nobiltà intermedia di quelli costituenti la coppia.

4.2 - Metodi di protezione passivi dalla corrosione

Per arrestare la corrosione si possono utilizzare una protezione di tipo passivo e/o di tipo attivo. Nel primo caso la protezione passiva serve ad isolare meccanicamente la superficie del metallo dall'ambiente esterno o da altri metalli.

4.2.1 - Protezione mediante rivestimento

La protezione dall'ambiente esterno è solitamente effettuata mediante un rivestimento, il quale può essere ad esempio:

- Un film di pittura protettiva applicato per tutta la lunghezza del materiale o solamente nei punti soggetti a corrosione;



fig.4a : Tubazioni rivestite di pittura protettiva.

- Manti protettive a base di polietilene come prescritto dalla norma UNI 9099, oppure bitume come prescritto dalla norma UNI 5256, o poliuretano, oppure anche nastri di polietilene autoadesivi applicati a freddo. Questi manti sono frequentemente usati come rivestimento esterno delle tubazioni in acciaio interrate;



fig.4b : Rivestimento poliuretano di tubazioni.



fig.4c : Tubazioni isolate per metanodotti.

- Prodotti di ossidazione ottenuti ad esempio mediante l'ossidazione anodica, utilizzata per metalli come l'alluminio, il nichel o il cobalto. Gli ossidi di tali materiali sono molto tenaci ed aderenti allo strato superficiale e pertanto passivano il metallo isolandolo dall'ambiente esterno;
- Metalli meno nobili, quali lo zinco. In questo caso si parla della zincatura, usata per proteggere il ferro, effettuata immergendo il metallo, in un bagno fuso di zinco; poiché lo zinco è più riducente del ferro, anche se una parte della superficie ferrosa rimane scoperta, l'ossidazione procede sullo zinco (con formazione di ruggine bianca costituita prevalentemente da idrossido di zinco e in minima parte da ossido e carbonato) e il ferro rimane protetto fino a quando non è stato consumato tutto lo zinco;



fig.4d : Protezione da zincatura.

- Metalli più nobili, quali il cromo. In questo caso si parla di cromatura che viene utilizzata per proteggere i manufatti di ferro; il rivestimento della superficie del ferro avviene per lo più per via elettrolitica.



fig.4e : Miscelatore cromato.

4.2.1 - Protezione mediante isolamento tra metalli diversi

Quando due metalli diversi, lontani nella serie galvanica, sono messi a contatto diretto in zone bagnate o umide e la loro differenza di potenziale è maggiore di 200 mV, si manifesta la corrosione del metallo meno elettronegativo.

Una soluzione a questo problema è interporre un elemento dielettrico tra i due materiali, come ad esempio in fig.4f; la lastra di alluminio è connessa ad un'altra lastra metallica, ad esempio in acciaio inox, mediante uno strato isolante e un perno con boccole isolate.

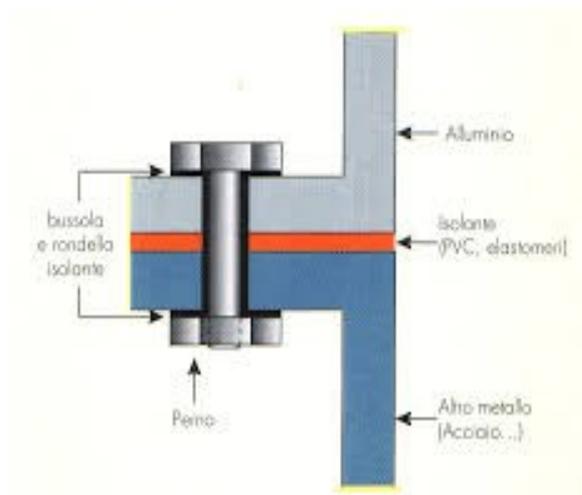


fig.4f : Isolamento tra due metalli diversi.

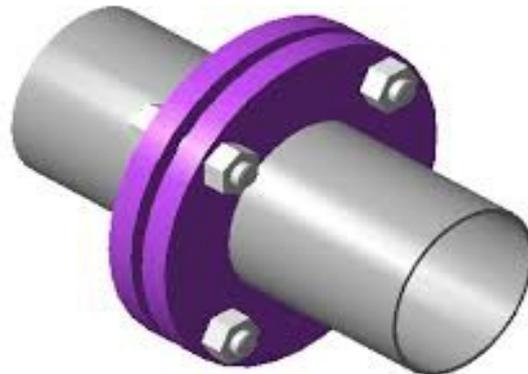


fig.4g : Giunzione con flangia dielettrica.

Isolando elettricamente fra di loro i metalli con flange e rondelle di plastica o di fibra isolante oppure tramite sezioni di tubo isolanti, viene impedito il passaggio di cariche e, di conseguenza, la corrosione.

Ritroviamo questo tipo di isolamento soprattutto nelle condotte idrauliche in acciaio, per isolare eventuali componenti o accessori in rame.



fig.4h : Sezioni di contatto tra metalli diversi in materiale plastico

E' importante mantenere i metalli asciutti e/o protetti dai composti ionici (sali, acidi e basi), ad esempio incapsulandoli all'interno di gusci di plastica o resina epossidica.

4.3 - Metodi di protezione attivi dalla corrosione

La protezione attiva, o protezione catodica, è una tecnica basata su regole elettrochimiche per proteggere o prevenire dalla corrosione le strutture metalliche inserite in ambienti aggressivi. Può essere realizzata imprimendo una corrente continua fra un elettrodo, definito anodo e il metallo che si vuole proteggere, catodo. Questo circuito genera l'abbassamento del potenziale dell'elemento metallico e ne riduce la sua velocità di corrosione.

Il processo catodico può essere innescato in due diverse condizioni:

- Qualora il fenomeno della corrosione dell'elemento metallico sia già in atto, ci si trova in condizioni di protezione catodica, che ha lo scopo di ridurre l'attività fino al suo arresto;
- Nel caso in cui il fenomeno della corrosione non si sia ancora verificato si può definire il processo di prevenzione catodica, che ne impedisce l'innescamento.

La protezione catodica può essere realizzata in due diversi modi: con sistema a corrente impressa oppure con sistema ad anodi galvanici, o anodi sacrificali.

4.3.1 - Protezione a corrente impressa

Il sistema a corrente impressa utilizza un generatore CC esterno per sviluppare la corrente necessaria, il cui polo positivo è collegato ad un dispersore anodico, solitamente un anodo insolubile ad esempio: ghisa al silicio, grafite o titanio attivato; mentre il polo negativo è collegato alla struttura da proteggere.

La protezione del metallo è garantita dalla f.e.m., applicata dal generatore esterno, la quale genera una corrente I_c , regolata in modo da controbilanciare la forza elettromotrice che provoca la corrente galvanica responsabile della corrosione I_p , come in fig 4i.

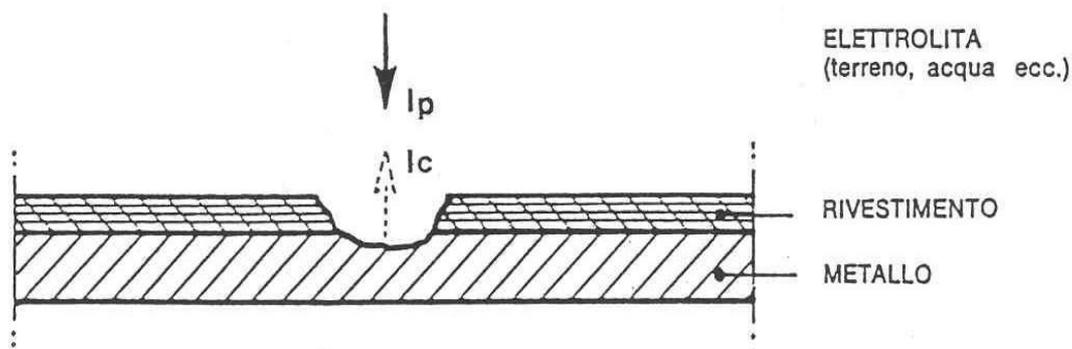


fig.4i : Schema di funzionamento della protezione a corrente* impressa.

Il vantaggio di questo sistema sta nel fatto che gli anodi in gioco sono metalli molto nobili che non si consumano facilmente. Di contro è un sistema che consuma molta corrente e sfrutta l'umidità dell'ambiente circostante il materiale da elettrolita.

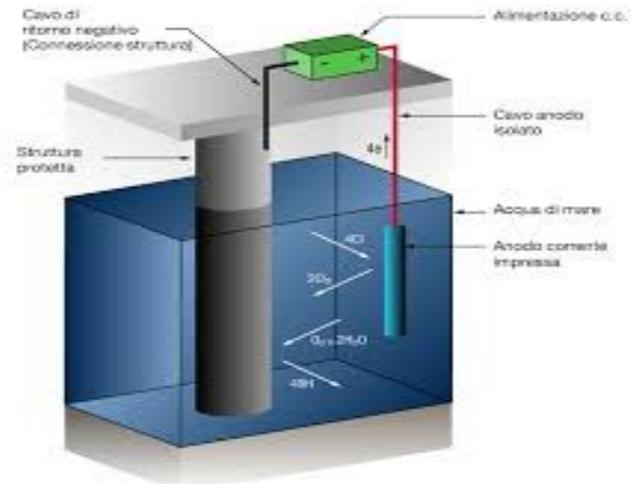


fig.4j : Protezione a corrente impressa.

Sono interessate dalla protezione a corrente impressa tutte le strutture dove non ci sia classificazione di ambiente atex o dove una possibile scintilla non provochi incendi o esplosioni, per esempio:

- Pozzi petroliferi;
- Apparecchiature interrate;
- Armature nel calcestruzzo;



fig.4k : Collegamenti per la protezione a corrente impressa in un armatura nel calcestruzzo.

- Scafi di navi;

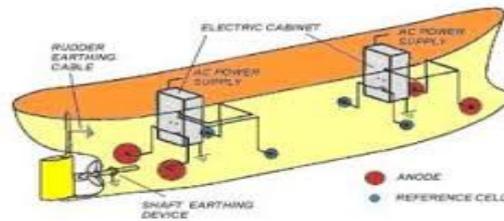


fig.4l : Protezione a corrente impressa di uno scafo navale.

- Pontili e installazioni portuali;
- Gasdotti o viadotti interrati o a mare;

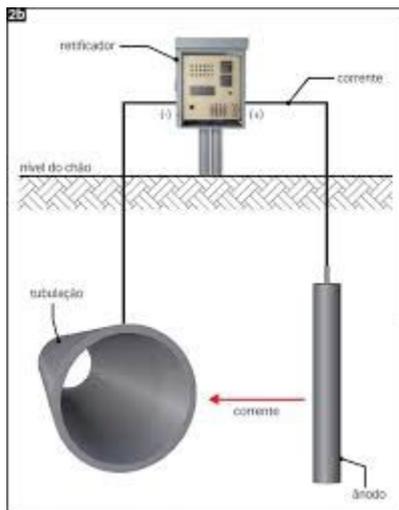


fig.4m : Protezione a corrente impressa di un gasdotto interrato.



fig.4n : Generatore di corrente per la protezione catodica.

4.3.1.1 Protezione catodica delle reti di distribuzione di gas

Ai fini di valutare l'efficacia dei sistemi di protezione catodica risulta di notevole importanza la progettazione e la gestione degli impianti, in particolar modo vanno analizzati i parametri relativi a:

- Lunghezza in Km della rete di gasdotto;
- Numero totale dei posti di misura lungo il gasdotto;
- Numero degli attraversamenti ferroviari;
- Numero degli impianti di protezione catodica e di drenaggi.

É importante valutare periodicamente lo stato di avanzamento della corrosione e, conseguentemente, l'efficacia della protezione catodica tramite misurazioni di breve durata e misurazioni registrate triennialmente da dispositivi telematici.

Per aumentare l'efficacia della protezione, limitando l'utilizzo di corrente attiva vanno misurate periodicamente anche:

- La differenza di potenziale tra condotta/terreno e attraversamenti ferroviari;
- L'entità dell'usura delle condotte e dell'impianto elettrico di misurazione.

4.3.2 - Protezione con anodi sacrificali

La protezione ad anodi galvanici sfrutta la proprietà della cella galvanica, in quest'ultima, quando due diversi tipi di metallo collegati tra di loro sono annegati in un adeguato elettrolita, il metallo con il potenziale elettrico più negativo ossiderà proteggendo il metallo con il potenziale meno negativo.

In questo caso sarà il manufatto che si vuole proteggere che verrà collegato elettricamente ad un elettrodo interrato costituito da un metallo meno nobile del manufatto. Si viene così a creare un passaggio spontaneo di cariche negative dall'elettrodo, che funge da anodo, al manufatto, che funge da catodo. Di conseguenza l'elettrodo si corrode preservando così l'integrità del manufatto, da qui il termine anodo sacrificale.

Il principale vantaggio di tale sistema è quello di essere spontaneo, dunque non utilizza nessun alimentatore di energia esterno.

In generale per la protezione dell'acciaio vengono utilizzati: l'alluminio e lo zinco qualora l'elettrolita sia l'acqua di mare o il calcestruzzo; il magnesio per gli elementi immersi nei terreni e nelle acque dolci; il ferro per le leghe di rame o gli acciai inossidabili.

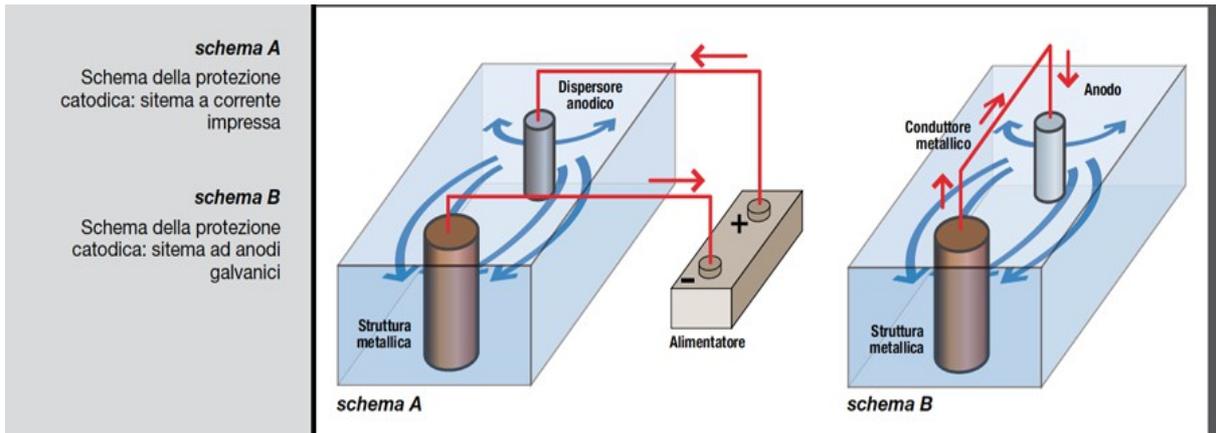


fig.4o : Schema delle principali protezioni catodiche.

Non vanno usati anodi sacrificali in magnesio in presenza di alluminio in quanto provocano la sovrapprotezione del magnesio e la corrosione dell'alluminio.

4.4 - Protezione di apparecchiature ed elementi costruttivi in ambito navale

Le principali soluzioni in ambito navale si rifanno all'utilizzo di anodi sacrificali e isolatori galvanici.

I primi vengono solitamente applicati fuori-bordo e servono a garantire principalmente la protezione di tutti gli elementi immersi: scafo, passa-scafo, elica e albero motore; da accoppiamenti galvanici.

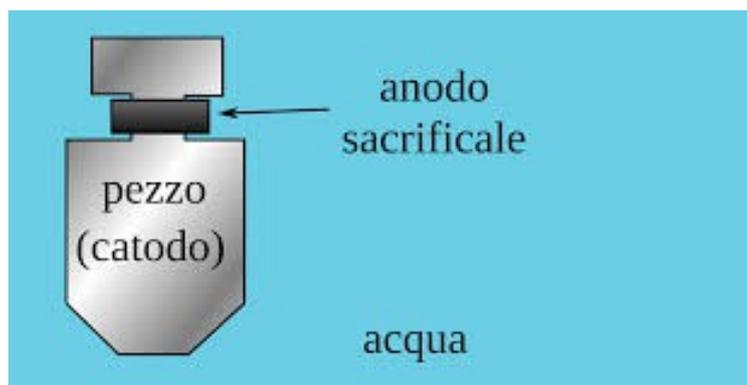


fig.4p : Schema di montaggio di un anodo sacrificale.

Una soluzione è dunque collegare tutti i metalli immersi a una serie di zinchi e sorvegliare gli zinchi periodicamente. Quando gli zinchi si consumano (ovvero più del 50%) vanno cambiati, e se si consumano troppo velocemente, ne va ricercata la ragione, la quale può essere sia di natura chimica che di natura elettrica.



fig.4q : Anodi galvanici in zinco.

In barche metalliche senza alluminio si possono usare anodi in alluminio.

Va inoltre ricordato che in acqua dolce è più opportuno usare anodi in magnesio poiché l'elettrolita in questione è un peggior conduttore rispetto l'acqua marina.

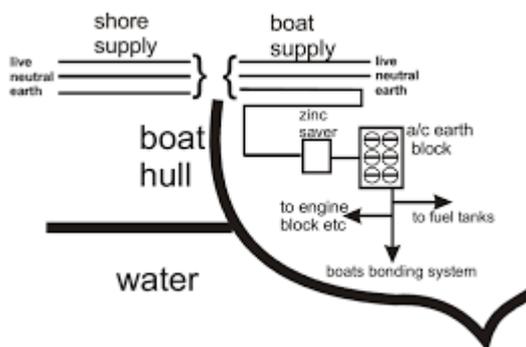


fig.4r : Schema di un isolatore galvanico.



fig.4s : Isolatore galvanico.

L'isolante galvanico o meglio ancora un trasformatore galvanico è l'inserito a bordo e collegato sulla terra della barca, subito dopo la presa CA in barca. Questo è costruito in modo da evitare qualsiasi continuità elettrica tra barca e banchina, ma lasciando passare la corrente alternata.

Così facendo l'isolatore blocca le correnti vaganti CC e isola l'imbarcazione dalla banchina qualora si verifici un accoppiamento galvanico tra scafi di diverso materiale.

Va segnalato che l'isolatore galvanico non blocca le correnti vaganti AC, le quali però non generano corrosione.

Il trasformatore galvanico è obbligatorio per le barche metalliche ma fortemente consigliabile per tutte le barche.

4.5 - Protezione Sistemi di trazione CC

Ai fini della protezione galvanica dovuta ai sistemi di trazione CC è necessario investigare su:

- Il grado di isolamento delle rotaie e delle strutture metalliche da terra;
- Il livello di umidità della sede del binario;
- La resistenza longitudinale delle rotaie di corsia;
- Il numero di sottostazioni e la relativa distanza tra loro;
- La tensione a vuoto della sottostazione e dell'impedenza della sorgente;
- L'orario e numero di veicoli che transitano sulla linea;
- Il grado di isolamento delle strutture metalliche adiacenti;
- La conduttanza per unità di lunghezza del binario;
- Il tasso di corrosione dei binari;

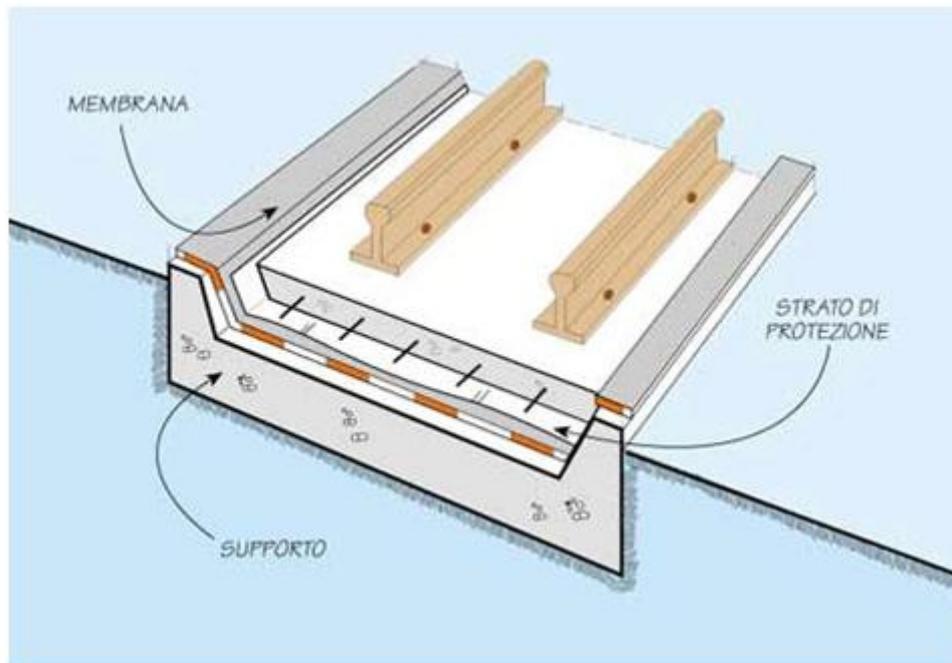


fig.4t : Membrana isolante nella sede del binario.

La corrosione galvanica in questo caso viene inibita mediante l'isolamento di ogni rotaia verso terra e verso le altre strutture in metallo interrate.

Per questo motivo è vietata la connessione accidentali o intenzionale tra rotaie e impianto di terra.

Il circuito di ritorno deve quindi essere formato dal binario isolato da terra con isolante non sostanzialmente attaccabile dall'acqua, o da conduttori di ritorno isolati da terra, oppure da cavi di ritorno con guaina isolante. A tal scopo è opportuno che:

- Le sbarre o i binari di ritorno verso le sottostazioni siano isolate dal terreno e non facciano confluire correnti CC nella terra strutturale della sottostazione stessa;
- Le strutture metalliche interferenti devono avere un'elevata resistenza verso terra;
- Le gallerie ferroviarie in cemento armato devono essere divise in sezioni longitudinali per

mezzo di giunti isolati;

- Le tubazioni e i cavi di servizio devono essere alloggiati il più lontano possibile dalla sede del binario.

4.5 - Protezione Impianti di terra

Ai fini della protezione galvanica dell'impianto di terra è necessario:

- Il collegamento equipotenziale deve essere ispezionabile, a valle del contatore e formato da elementi metallici poco sensibili alla corrosione;
- Le dimensioni dei conduttori equipotenziali principali devono rispettare una sezione minima di: 6mm^2 per il rame, 16mm^2 per l'alluminio e 50mm^2 per l'acciaio;
- In assenza di protezione dalla corrosione, le dimensioni dei conduttori equipotenziali principali devono rispettare una sezione minima di 25mm^2 per il rame e di 50mm^2 per il ferro zincato;
- Interconnettere gli elementi di dispersione in modo da avere equi-potenzialità relativa tra tutti i dispersori e gli elementi metallici nel terreno;

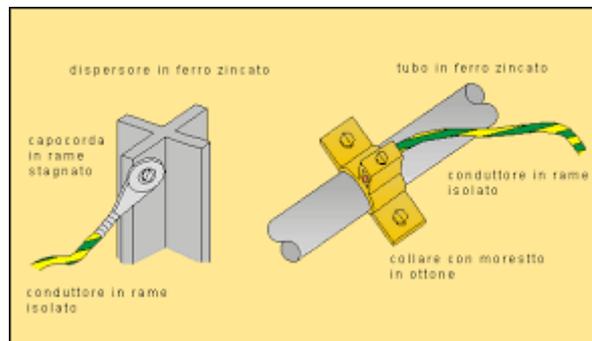


fig.4u : Collegamento di elementi metallici all'impianto di terra.

- Sono adatti alle posa diretta sul terreno dispersori in: rame nudo, stagnato oppure acciaio zincato a caldo;
- Posare gli elementi conduttori nudi intubati o isolati in presenza di terreno chimicamente aggressivo;
- In caso di terreno fortemente acido evitare l'utilizzo di acciaio zincato;
- In caso di terreno contenente cloruri evitare l'utilizzo di acciaio inox;
- Verniciare o catramare le giunzioni tra componenti di diverso materiale;
- Utilizzare più possibile componenti di materiale omogeneo, o eventualmente un materiale "galvanicamente compatibile" infrapposto tra i due, per contrastare la formazione di coppie galvaniche, specialmente per quanto riguarda gli elementi situati in punti critici o interessati alla dispersione di corrente, come le giunzioni o i dispersori;

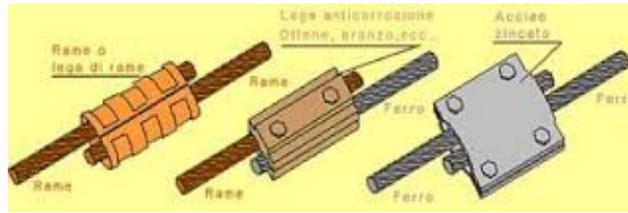


fig.4v : Giunzioni in materiale omogeneo o anticorrosivo .

- I punti di corrosione dell'impianto devono essere ispezionabili mediante dei pozzetti;
- Il conduttore di terra non deve essere posato a contatto diretto col terreno e deve essere rivestito in PVC per almeno 30cm dal contatto con la soletta;

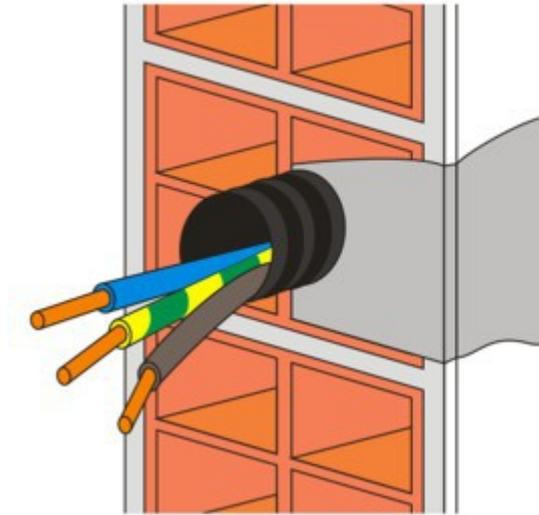


fig.4w : Isolamento del conduttore di terra dalla soletta.

- Evitare l'utilizzo di dispersori in rame nudo in presenza di strutture in acciaio o acciaio zincato immerse nel terreno circostante;
- Evitare la posa di tubazioni in acciaio zincato in presenza di altre tubazioni o di dispersori di rame nudo;
- La protezione tondini dell'armatura nel calcestruzzo è richiesta dalla normativa solamente se il valore medio della differenza di potenziale tra l'armatura e le parti dell'impianto di terra supera 200mV;



fig.4x : Tipologie di collegamento tra dispersore e tondini dell'armatura.

- E' possibile ricorrere a protezioni aggiuntive, come l'utilizzo di anodi galvanici o tondini in acciaio zincato o acciaio inox per le armature nel calcestruzzo;



fig.4y : Anodo galvanico in zinco applicato ai tondini dell'armatura del calcestruzzo.

- Realizzare il collegamento tra dispersore di acciaio zincato e in rame oppure in acciaio zincato verniciato;
- E' auspicabile che il materiale di riempimento attorno alla canalina di posa del conduttore sia il medesimo del terreno circostante;



fig.4z : Messa in sede di una canalina.

Capitolo 5 - prove di corrosione e monitoraggio

5.1 - Prove di corrosione



fig.5a : Camera di corrosione.

Durante le prove di corrosione viene testato il materiale prima del suo impiego, il quale viene sottoposto a particolari condizioni che ne dovrebbero provocare la corrosione a prova eseguita o anche durante la prova, e se ne misurano gli effetti.

Un esempio di prova di corrosione è la camera a nebbia salina: si tratta di un'apparecchiatura all'interno della quale il materiale sotto test è sottoposto ad un ambiente ad elevata concentrazione salina; in questa maniera è possibile simulare il comportamento del materiale in ambienti marini.

Le camere cicliche di corrosione o CCT, dall'inglese "*Cyclic Corrosion Test Chambers*", permettono di simulare vari ambienti: salini, secchi o umidi; ed è possibile modificare ciclicamente le condizioni all'interno della camera, in modo da simulare l'utilizzo del materiale in una molteplicità di possibili condizioni reali.

5.2 - Monitoraggio della corrosione



fig.5b : Corrosione nelle tubature esterne.

Un importante aspetto è il monitoraggio della corrosione dei manufatti, che consiste nel misurare l'entità dei fenomeni corrosionistici periodicamente durante l'utilizzo del materiale.

Ad esempio nel caso di sistemi di tubazioni si possono applicare dei sensori che forniscono una misura indiretta della velocità di corrosione, misurando ad esempio lo spessore o la resistività elettrica del materiale. In questa maniera è possibile pianificare eventuali attività di manutenzione o sostituzione

dei tubi.

È opportuno, dopo un'analisi del rischio corrosivo, predisporre le zone critiche di strutture e impianti, per periodici monitoraggi, rendendole dunque il più facilmente accessibili.

Ai fini della protezione da corrosione galvanica è opportuno effettuare prove di continuità e prove di impedenza, così da prevenire la formazione di correnti galvaniche tramite isolamento o conduttori di equipotenzialità.

5.2.1 - Prova di continuità

La prova di continuità dei conduttori di terra, protezione, equipotenziali principali e secondari serve ad accertare l'integrità dei collegamenti dell'impianto di terra a partire dai dispersori fino alle masse e alle masse estranee.

Per la prova deve essere impiegato uno strumento in grado di fornire almeno 0,2 A con una tensione a vuoto compresa tra 4 V e 24 V in CC o in CA, solitamente un multimetro.

Il controllo deve essere effettuato tra i punti più sensibili dell'impianto, i quali sono in genere: i dispersori, i collettori di terra, i conduttori di protezione (PE), i conduttori equipotenziali (EQ), le giunzioni o derivazioni, le masse e le masse estranee.

Lo strumento deve essere posizionato con i puntali nei punti in esame come nelle figure seguenti.

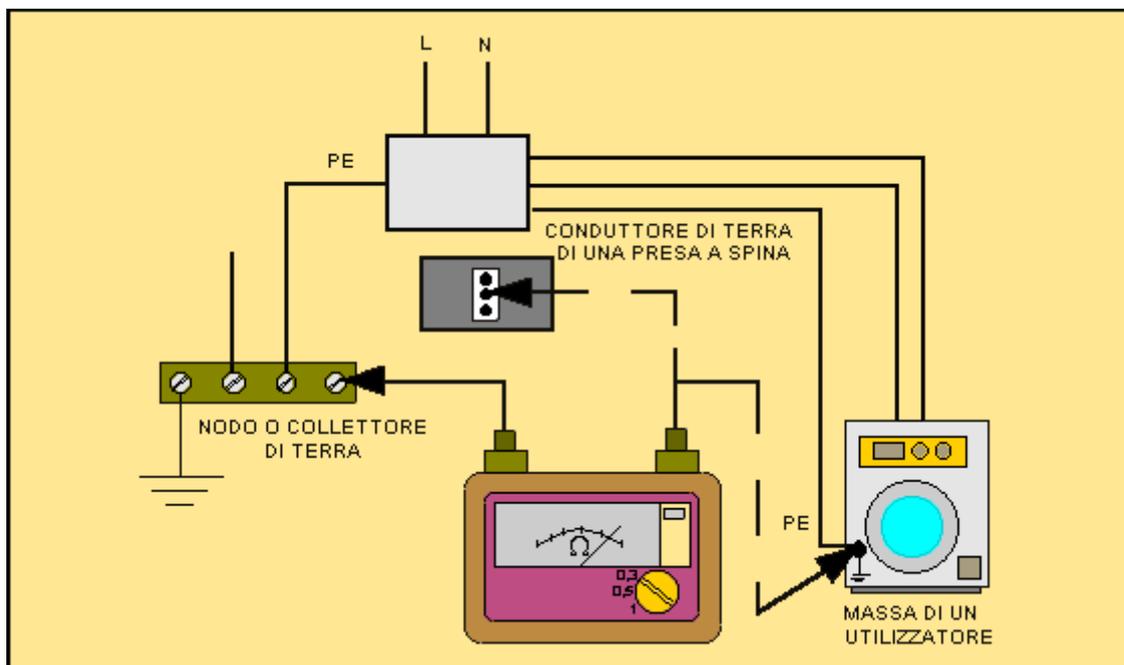


fig.5c : Prova della continuità dei conduttori di protezione.

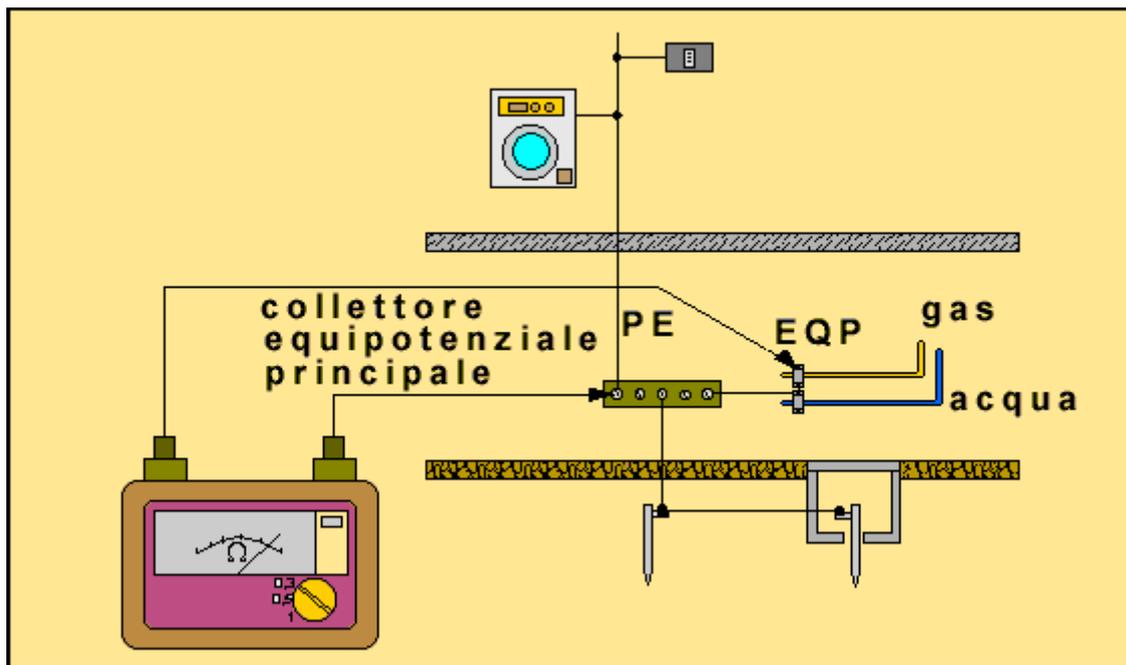


fig.5d : Prova della continuità dei conduttori equipotenziali principali

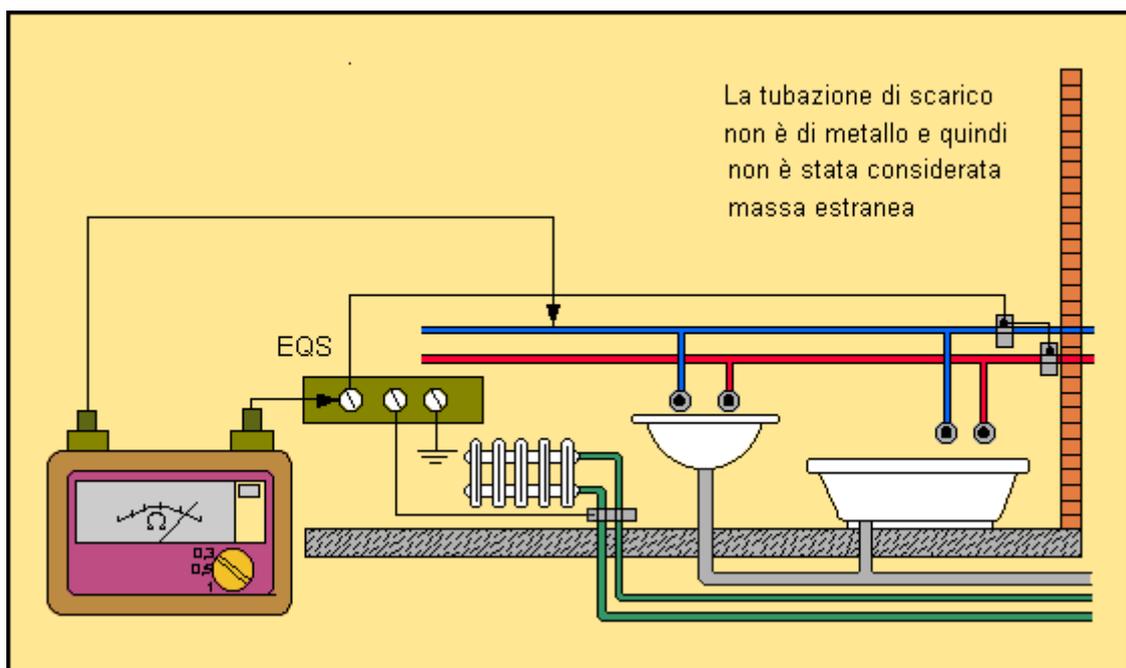


fig.5e : Prova della continuità dei conduttori equipotenziali supplementari

5.2.2 - Prova di impedenza

La misura dell'impedenza viene effettuata normalmente mediante l'impiego del *loop-tester*. Inserendo lo strumento nell'impianto in normali condizioni di esercizio si può rilevare direttamente il valore dell'impedenza perché la corrente di prova è prelevata direttamente dallo stesso impianto.

Il valore fornito è in genere approssimato perché in queste condizioni di misura non si può tener conto della natura della tensione quando si verifica il guasto a terra. Se la reattanza del circuito è trascurabile

rispetto alla resistenza è possibile introdurre opportuni coefficienti di correzione per rendere più preciso il valore.

Lo strumento deve presentare caratteristiche adeguate ed in particolare la corrente di prova deve essere sufficientemente elevata da permettere la rilevazione con buona precisione di piccoli valori di impedenza, senza però risentire dell'oscillazione della rete. Il collegamento dello strumento può essere effettuato fra una fase e il conduttore di protezione (PE) come il fig.5f.

A volte, prima di iniziare la prova, potrebbe rendersi necessario “cavallottare” tutti gli interruttori differenziali a bassa e alta sensibilità, anche se alcuni costruttori forniscono strumenti insensibili alla semi-onda negativa che non intervengono durante la misura.

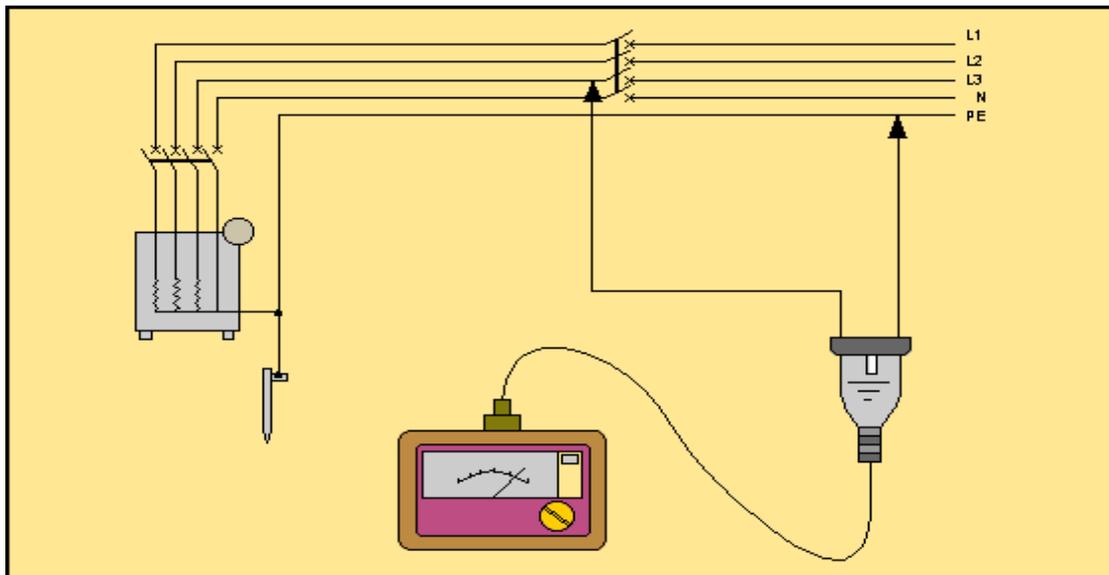


fig.5f : Misura dell'impedenza mediante *loop-tester*

Nei sistemi TN si può misurare l'impedenza dei conduttori di protezione (PE) tra il quadro di distribuzione ed il nodo principale di terra che si trova normalmente alla base dell'edificio (fig.5g). Trascurando la componente reattiva rispetto alla componente ohmica si può effettuare la misura col sistema voltamperometrico impiegando uno strumento in grado di erogare almeno 10 A con una tensione a vuoto compresa tra 6 V e 12 V in CC o in CA.

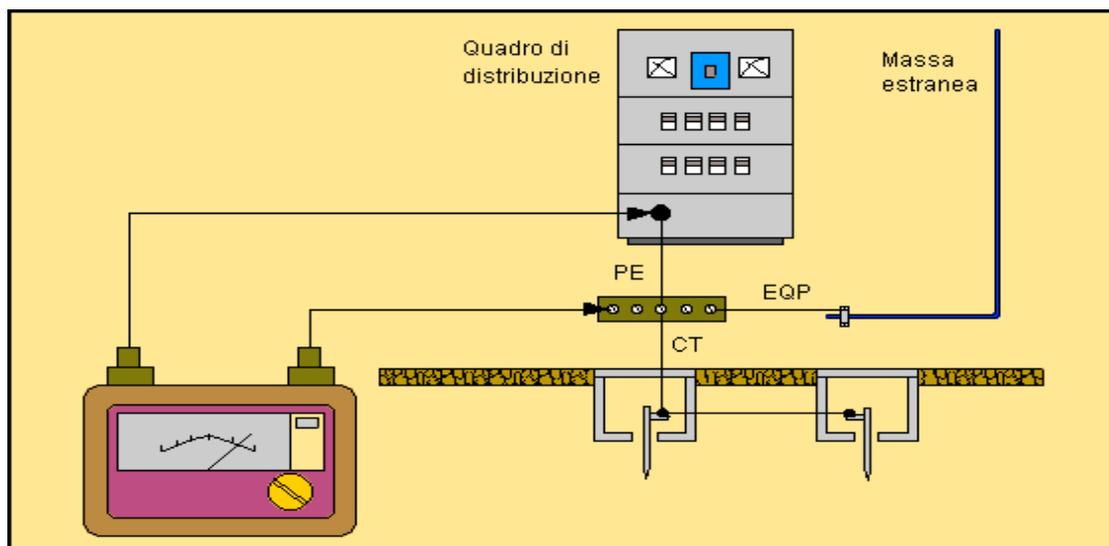


fig.5g : Misura dell'impedenza (R) del conduttore di protezione nei sistemi TN.

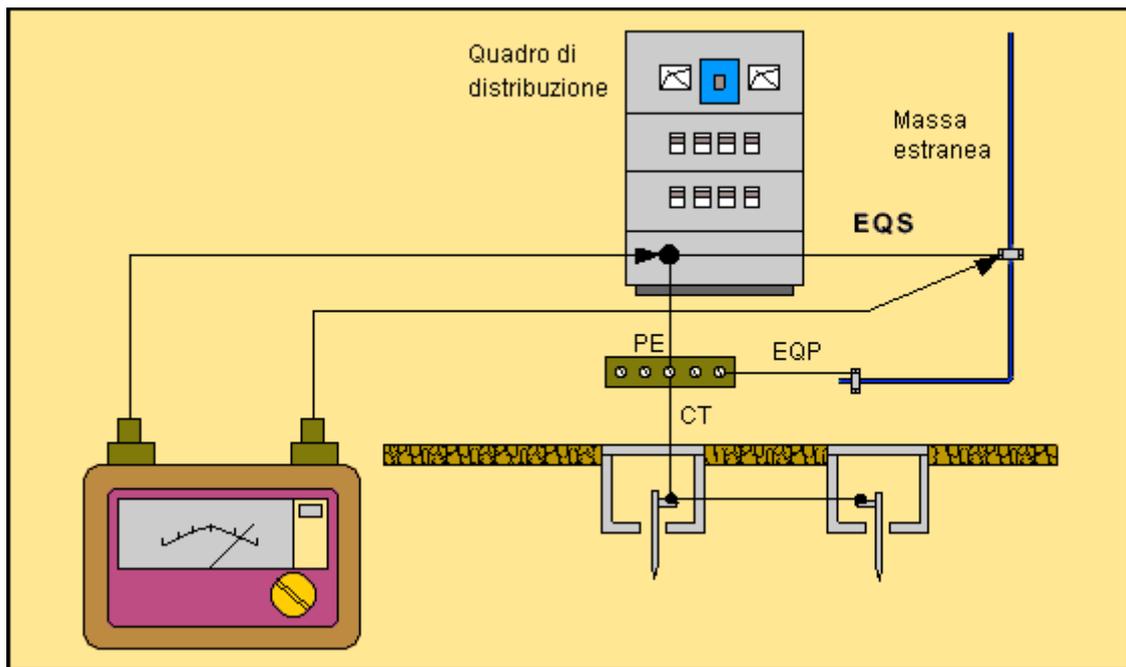


fig.5h : Misura della resistenza del conduttore equipotenziale supplementare nei sistemi TN

Nei sistemi IT, quando le masse sono collegate a terra, il secondo guasto a terra riconduce il sistema ad un TN. La misura dell'impedenza può essere quindi condotta seguendo gli stessi criteri previsti per i sistemi TN. Prima di effettuare la misura dell'impedenza dell'anello di guasto occorre rilevare la corrente di primo guasto.

Per effettuare la misura si può collegare un conduttore fra una fase del circuito e la terra e con una pinza milliamperometrica rilevare la corrente.



fig.5i : Misura della resistenza di armatura.

CONCLUSIONI

Ai fini della protezione dalla corrosione galvanica abbiamo visto due principali metodi, le protezioni passive e le protezioni attive, le quali vanno ad ostacolare in modo diretto o indiretto il passaggio di cariche tra metalli diversi o tra metallo e ambiente, che sono alla base del processo di corrosione.

Le soluzioni proposte nei vari ambiti discussi possono essere estese anche a diverse altre applicazioni, macchinari ed impianti di produzione soggetti a corrosione galvanica.

BIBLIOGRAFIA

Norma CEI 64-12, 09/2009, Seconda edizione, fascicolo 9959, "Guida per l'esecuzione dell'impianti di terra negli edifici per uso residenziale e terziario";

Norma CEI EN 50162, 11/2005, Prima edizione, fascicolo 7969 E, "Protezione contro la corrosione da correnti vaganti causate dai sistemi elettrici a corrente continua";

Norma CEI EN 50122-2, 02/2012, CEI 9-6/2, "P+Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi. Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua";

Maja, G. Farnia, P. Spinelli, 2000, Termodinamica per l'ingegneria chimica, Vol. 4, "Fenomeni Superficiali, Elettrochimica", Leverotto & Bella, Torino;

A. Post Baracchi, 2003, A. Tagliabue, Chimica "Progetto modulare", Vincenzo bona S.p.A., Torino;

Pietro Pedferri, 1978, Corrosione e protezione dei materiali metallici, 2^a ed., CittàStudi;

Luciano Lazzari, Pedferri Pietro, Ormellese Marco, 2006, Protezione catodica, Polipress;

Pietro Pedferri, L. Bertolini, 1996, La corrosione nel calcestruzzo e negli ambienti naturali, McGraw-Hill;

Hubert Gräfen, Elmar-Manfred Horn, Hartmut Schlecker, Helmut Schindler, 2004, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, "Corrosion", 7^aed., Wiley-VCH;

Pierre R. Roberge, 2000, Handbook of corrosion engineering, McGraw-Hill Professional;

Alberto Bargellini, Chimica in azione, vol. 2, Carlo Signorelli editore;

<http://enhancedwiki.altervista.org/?title=Corrosione>, 26 febbraio 2016;

<http://www.nitty-gritty.it/corrosione-localizzata-galvanica>, 26 febbraio 2016;

<http://www.edilizianews.it/articolo/18349/prevenire-corrosione-galvanica-tubazioni>, 27 febbraio 2016;

<http://www.ajaxcoatings.com>, 10 marzo 2016;

<http://www.supergalvanica.it>, 12 marzo 2016;

<http://www.elektro.it>, 12 marzo 2016;

<http://elettrotecnicaadriatica.it/protezione-catodica/>, 20 marzo 2016;