

Guida alla realizzazione dell'impianto di terra

di Gianluigi Saveri

1. Generalità

L'impianto di terra è costituito dall'insieme di elementi metallici che collegano, per motivi di sicurezza o funzionali, varie parti dell'impianto elettrico.

Secondo la funzione che è chiamato ad assolvere un impianto di terra può distinguersi in:

- *messa a terra di protezione* - collega tutte le parti metalliche degli impianti e degli apparecchi utilizzatori con lo scopo di limitare o, agevolando l'interruzione del circuito guasto, di eliminare le tensioni pericolose che potrebbero applicarsi alla persona che venisse malauguratamente a contatto con un involucro metallico in difetto di isolamento. La messa a terra di protezione riguarda anche gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche, i sistemi di scarico a terra di cariche elettrostatiche, la messa a terra di apparecchiature elettroniche che presentano correnti di dispersione elevate anche in condizioni di normale funzionamento.
- *messa a terra per lavori* - ha lo scopo di mettere in sicurezza una parte di impianto momentaneamente fuori servizio per esigenze di manutenzione
- *messa a terra di funzionamento* - serve a garantire il regolare funzionamento degli impianti come nel caso della messa a terra del centro stella dei sistemi elettrici di alta tensione.

I componenti fondamentali dell'impianto di terra sono (fig. 1):

1. dispersore intenzionale o artificiale (DA), ottenuto mediante picchetti (puntazze) infissi verticalmente nel terreno, nastri, piastre oppure corde nude interrate orizzontalmente
2. dispersore di fatto o naturale (DN), costituito da strutture metalliche interrate come ferri d'armatura, tubazioni metalliche dell'acqua (non sono solitamente utilizzabili le tubazioni dell'acquedotto pubblico), schermi metallici dei cavi, ecc..
3. conduttore di terra (CT), collega i dispersori fra loro e al collettore principale di terra, gli eventuali tratti di corda nuda a contatto col terreno devono essere protetti. È consigliabile proteggere le parti interrate e quelle emergenti mediante tubi per migliorare le difese contro la corrosione e contro gli urti
4. collettore principale di terra, è il nodo principale, realizzato mediante sbarra o morsettiera, al quale fanno capo le diverse parti dell'impianto
5. collegamenti equipotenziali principali (EQP), collegano al collettore principale di terra le masse estranee (tubazioni dell'acqua, del gas, ecc..) entranti alla base dell'edificio
6. pozzetto di ispezione, non obbligatorio
7. conduttore di protezione principale montante (PE), connette il collettore principale di terra con i PE di collegamento alle masse e con i conduttori equipotenziali di collegamento alle masse estranee
8. derivazione principale sul PE con collegamento passante senza interruzione del PE montante
9. conduttore di protezione secondario (PE), collega le masse al collettore principale di terra tramite il PE montante
10. collegamenti equipotenziali supplementari (EQS), collegano le masse estranee fra loro e al conduttore di protezione

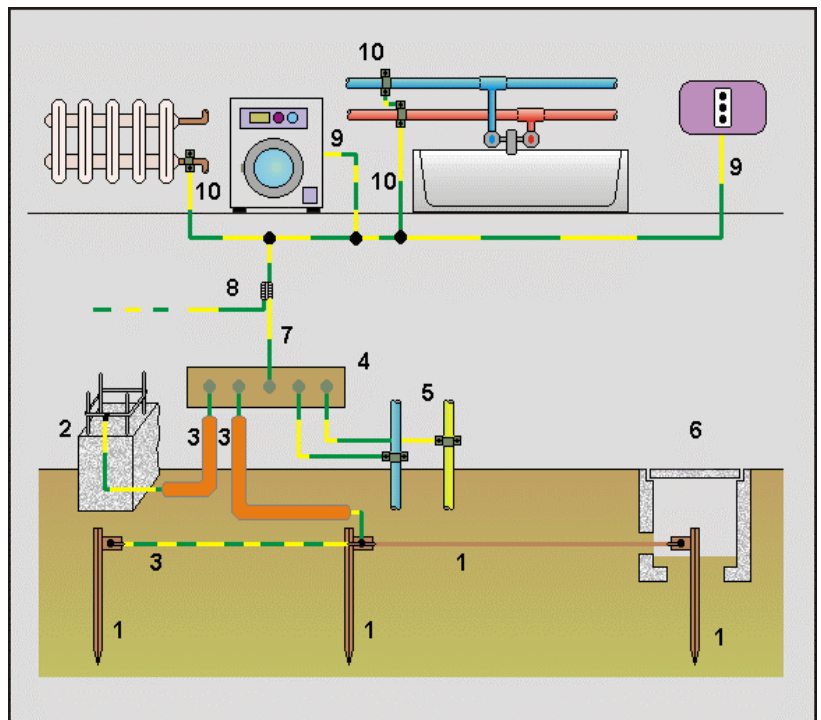


Fig. 1 - Struttura fondamentale di un impianto di terra

2. Dispensore

Il dispersore è un elemento o un insieme di elementi metallici a contatto col terreno atto a disperdere le correnti di guasto. Deve essere dimensionato e scelto in funzione dei seguenti criteri:

- Resistenza meccanica adeguata per evitare eventuali danneggiamenti dovuti alle sollecitazioni in fase di installazione o agli assestamenti del terreno
- Collegamenti che garantiscano nel tempo una buona continuità elettrica tra le varie parti del dispersore
- Resistenza alla corrosione chimica del terreno e non aggressività nei confronti di altre strutture metalliche interrate alle quali il dispersore è collegato elettricamente
- Sezione adeguata a sopportare senza danni le sollecitazioni termiche ed elettrodinamiche dovute alle correnti di guasto verso terra

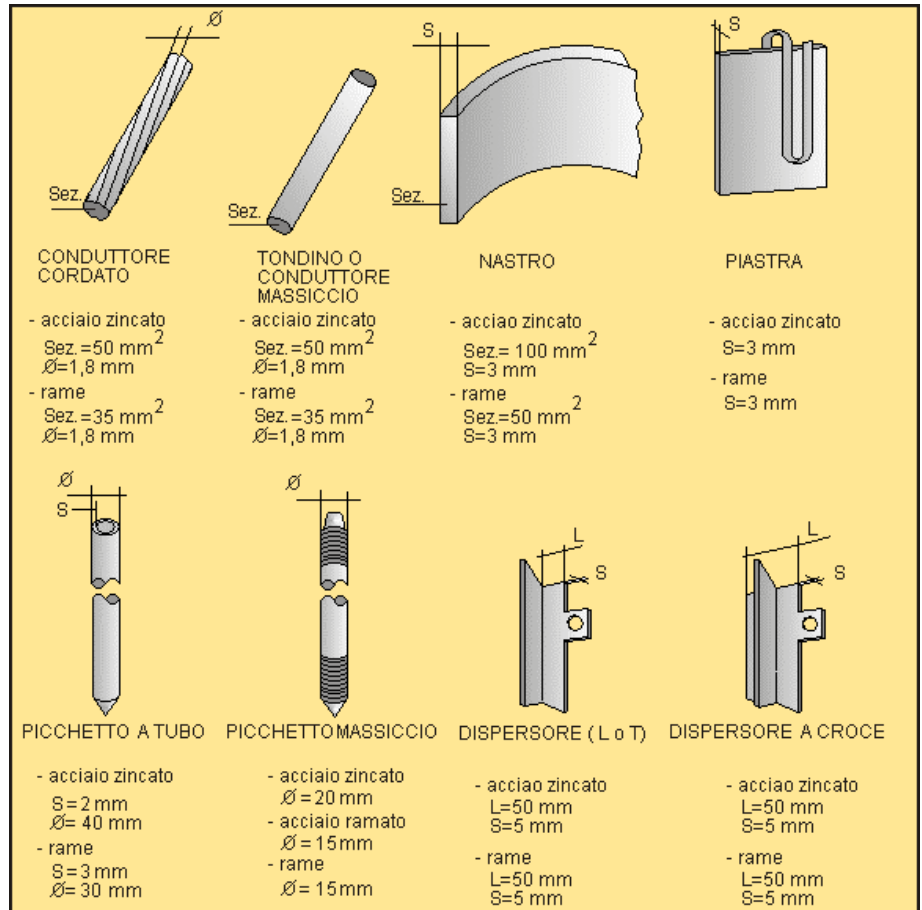


Fig. 2 - Dimensioni minime degli elementi di un dispersore intenzionale

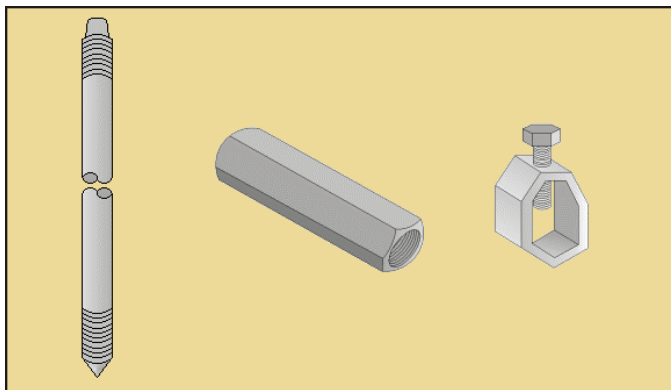
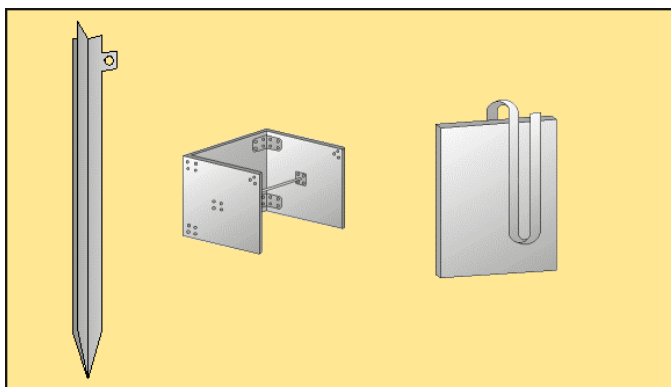


Fig. 3 - Elemento per dispersore di profondità - manicotto per prolunga - morsetto di collegamento








La norma CEI 64-8/5 stabilisce le dimensioni minime per i dispersori intenzionali (la norma CEI 11-1 per gli impianti di alta tensione stabilisce dimensioni minime in parte diverse che riguardano però solo le utenze con cabina propria dei sistemi TN) al fine di assicurare una sufficiente resistenza alle sollecitazioni meccaniche e alla corrosione (fig. 2).

La Norma raccomanda l'impiego di metalli resistenti alla corrosione come ferro zincato, rame, acciaio ramato senza escludere la possibilità di impiegare anche altri metalli se adatti al tipo di terreno. Possono essere utilizzati anche metalli ferrosi senza rivestimenti protettivi purché lo spessore sia aumentato del 50% e le sezioni non siano inferiori a 100 mm². Nelle figure seguenti sono rappresentati alcuni tra i componenti più comuni impiegati per la costruzione di un impianto di terra.

Fig. 4 - Esempi di dispersori
Dispersore a croce in profilato - dispersore a piastra modulare - dispersore a piastra

2.1. Dimensionamento del dispersore

Il terreno conduce le correnti di guasto che provengono dal dispersore dell'impianto verso quello della cabina. Si tratta di un conduttore atipico che disponendo di una sezione molto grande rende ininfluente la distanza rispetto alla cabina; ad una certa distanza dal dispersore la resistenza del terreno si annulla. La resistenza di terra non dipende quindi dalla lunghezza di tale conduttore ma solamente dalla geometria che assume il dispersore. La resistenza che si oppone all'ingresso della corrente nel terreno è l'insieme di una resistenza di contatto, dovuta all'aderenza più o meno intima delle superfici degli elettrodi col terreno circostante, e di una resistenza che dipende dalla forma dei dispersori e dalla resistività del terreno. In generale la resistività del terreno è molto elevata se paragonata ai normali materiali conduttori. La sua variabilità da luogo a luogo, dipendendo dalla conformazione geologica ed essendo influenzata dalla temperatura, dall'umidità e dalla presenza nel terreno di composti in soluzione, ne rende molto difficoltosa la valutazione. Il suo valore può essere determinato solo attraverso misure o stabilito approssimativamente in funzione del tipo di terreno. In tab. 1 sono riportati i valori indicativi di resistività dei più comuni tipi di terreno.

Terreno		Umido	Normale	Secco
	Argilloso	5	10	20
	Agricolo (terreno vegetale)	25	50	100
	Sabbia marina (con soluzioni saline)	4	2	1
	Sabbioso-Ghiaioso	500	1000	2000
	Roccioso	250	500	1000

Tab. 1 – Valori orientativi della resistività in funzione del tipo di terreno (ohm-metro)

Per abbassare il valore della resistenza di terra può essere necessario collegare in parallelo n dispersori elementari. La resistenza complessiva se si realizza un parallelo perfetto si riduce di un fattore $1/n$. Realizzare il parallelo quasi perfetto non è facile e nemmeno del tutto conveniente. Ad una distanza pari a circa 10 volte la loro lunghezza l'influenza fra i dispersori è praticamente inesistente ma già con qualche metro di distanza si ottengono risultati più che accettabili (fig. 5).

La resistenza di terra può essere determinata preliminarmente mediante calcoli sufficientemente approssimati che non possono però prescindere da misure effettuate sul campo durante i lavori di posa per recuperare eventuali errori (valutazione della resistività del terreno, influenza reciproca fra dispersori o con strutture metalliche interrato) ed operare gli appropriati correttivi. Studi e rilievi sperimentali hanno consentito di scrivere

delle formule semplificate per il calcolo della resistenza di terra in funzione delle caratteristiche dei diversi tipi di dispersori e della resistività del terreno (fig. 6).

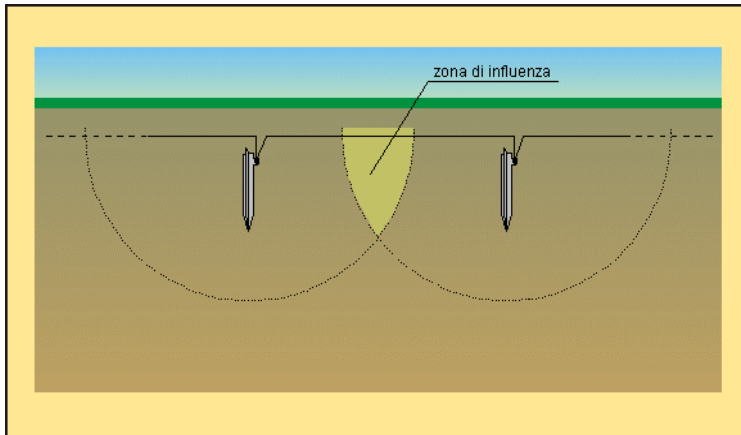


Fig. 5 – Influenza reciproca fra picchetti

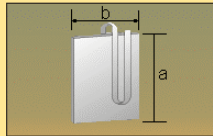
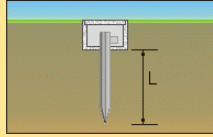
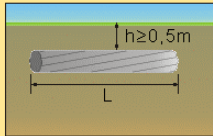
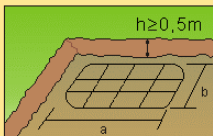
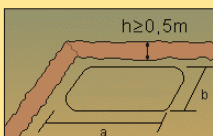
	Piastra	$R_E = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot b}}$
	Picchetto	$R_E = \frac{\rho}{L}$
	Corda	$R_E = 2 \frac{\rho}{L}$
	Maglia	$R_E = \frac{\rho}{(a+b)}$
	Anello	$R_E = 1,5 \frac{\rho}{(a+b)}$

Fig. 6 – Formule semplificate per il calcolo della resistenza di terra di alcuni fra i più comuni tipi di dispersore

2.2. Scelta e criteri realizzativi

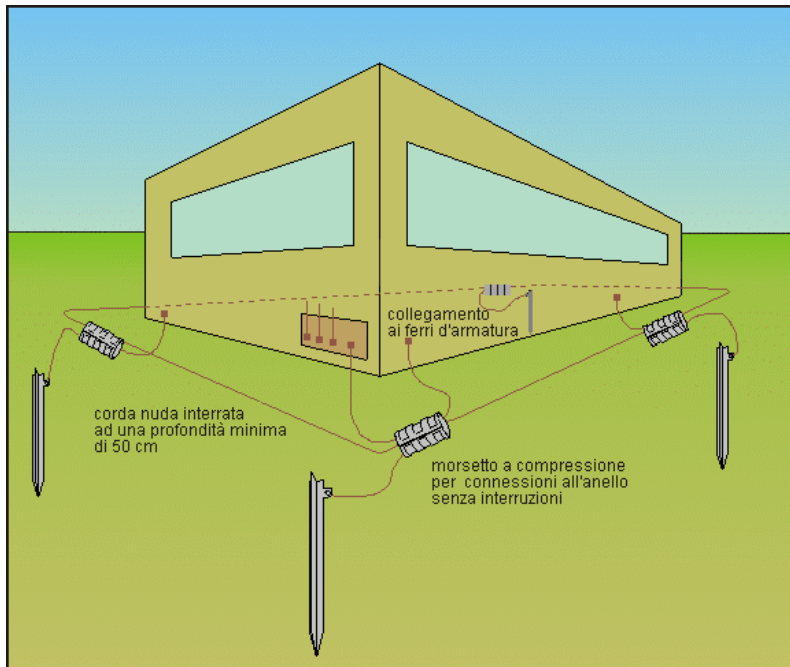


Fig. 7 – Dispersore integrato anello-picchetti

La scelta del tipo di dispersore è legata prevalentemente al tipo di terreno. Un dispersore a corda, solitamente interrato a profondità variabili di 50 -100 cm, potrà essere impiegato in terreni a bassa resistività superficiale mentre un dispersore a picchetto, raggiungendo anche gli strati profondi, sarà adatto per terreni con strati profondi bagnati. Non sarà conveniente posare un dispersore ad anello in terreni di riporto mentre un dispersore a picchetto non potrà essere utilizzato in terreni con un sottile strato di terreno che ricopre conformazioni rocciose. Il dispersore a maglia trova applicazione soprattutto nei sistemi TN dove si devono limitare le tensioni di passo e di contatto che si possono stabilire a causa di guasti sull'alta tensione. Un impianto classico che sfrutta i vantaggi presentati da ciascun tipo di dispersore è descritto in fig. 7

Il dispersore è costituito da un anello ininterrotto di corda interrata attorno al perimetro dell'edificio ad una profondità non

inferiore a 50 cm integrato da un certo numero di picchetti e collegato in più punti ai ferri d'armatura.

3. Conduttori di terra (CT)

I conduttori di terra normalmente si presentano sottoforma di corde o di piattine. Se il conduttore è nudo e interrato svolge anche le funzioni di dispersore e deve quindi avere le sezioni minime stabilite per i dispersori (come indicato nella figura 2, 35 mm² se in rame 50 mm² se in acciaio zincato) se invece si tratta di corda nuda installata a vista le sezioni minime previste sono di 25 mm² se in rame e di 50 mm² se in acciaio zincato (tab. 1). Il conduttore di terra può essere anche isolato, normalmente in PVC, e quindi, essendo garantita una buona protezione contro la corrosione, la sezione minima può essere di 16 mm² sia se di rame sia se di acciaio zincato. La sezione può essere ulteriormente ridotta se si adottano contemporaneamente difese contro le aggressioni chimiche e contro le sollecitazioni meccaniche, ad esempio conduttore isolato posato entro tubazione di tipo pesante. In questo caso la sezione minima non deve però essere inferiore alla maggiore sezione del conduttore di protezione collegato al collettore principale di terra.

È consigliabile proteggere mediante tubi, solitamente in PVC, la parte interrata ed emergente dal terreno per migliorare le difese contro la corrosione e contro gli urti

	Protetti meccanicamente		Non protetti meccanicamente
	Sezione conduttore di fase	Sezione minima conduttore di terra	Sezione minima conduttore di terra
Protetto contro la corrosione (In ambienti non particolarmente aggressivi dal punto di vista chimico il rame e il ferro zincato si considerano protetti contro la corrosione)	$S_F < 16$	$S_E = S$	16 mm ² se in rame 16 mm ² se in ferro zincato (secondo Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)
	$S_F \geq 16 \geq 35$	$S_E = 16$	
	$S_F > 35$	$S_E = S/2$	
Non protetto contro la corrosione	25 mm ² se in rame 50 mm ² se in ferro zincato (secondo la Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)		

Tab. 2 - Sezioni minime (SE) dei conduttori di terra

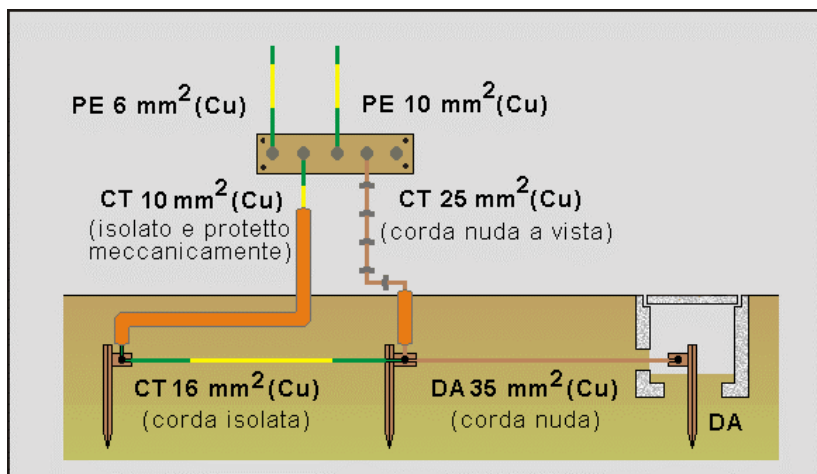


Fig. 8 - Esempio di applicazione delle norme in relazione alle sezioni minime ammissibili dei conduttori di terra (CT) in rame

Un esempio di applicazione delle norme, in relazione alle sezioni minime da adottare, nel caso di conduttori di terra in rame è riportato nella figura 8.

Il dimensionamento dei conduttori di terra deve essere condotto in modo differente a seconda che si tratti di impianto alimentato in bassa tensione o in alta tensione.

Le ragioni che stanno alla base del dimensionamento dei conduttori di terra sono principalmente legate alla resistenza meccanica e alla corrosione del conduttore. La corrente di guasto, infatti, che in condizioni di normale funzionamento è zero, è quasi sempre sopportabile da conduttori di terra che rispettino le sezioni minime di tab. 1 stabilite dalle Norme.

Una verifica più approfondita è comunque sempre auspicabile e richiede un'analisi dei singoli sistemi di distribuzione.

3.1. Dimensionamento dei conduttori di terra in un sistema TT

La corrente di guasto attraversa il conduttore di terra la cui sezione minima deve essere, sempre rispettando le sezioni minime prescritte, almeno uguale al maggiore conduttore di protezione dell'impianto oppure verificata con la nota relazione:

$$S_E = \sqrt{\frac{I^2 t}{K_C^2}}$$

dove:

- S_E è la sezione minima del conduttore di terra in mm^2 ,
- I è la corrente di guasto in ampere che percorre il conduttore di terra per un guasto franco a massa,
- t è il tempo di intervento in secondi del dispositivo di protezione,
- K_C è un coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale e della temperatura iniziale e finale che assume il conduttore

Se cautelativamente supponiamo di avere una resistenza dell'impianto di terra particolarmente bassa, ad esempio $R_E=0,1$ ohm, si avrà:

$$I_F = \frac{U_0}{R_E} = \frac{230}{0,1} = 2300 A$$

Se il tempo di intervento delle protezioni fosse di un secondo (i relè differenziali intervengono generalmente in un tempo più breve) e il conduttore di protezione fosse un conduttore unipolare in EPR (tab. 3), si avrà:

$$S_E = \sqrt{\frac{2300^2 \times 1}{176^2}} = 13 \text{ mm}^2$$

Normalmente l'impianto di terra presenta valori di resistenza superiori a quelli ipotizzati e i tempi di intervento delle protezioni sono generalmente più bassi per cui un conduttore avente sezione di 16 mm^2 è quasi sempre sufficiente per un sistema TT.

3.2. Dimensionamento dei conduttori di terra in un sistema TN

Il dimensionamento del conduttore di terra in un sistema TN deve essere condotto con modalità diverse a seconda che si tratti di guasto sulla MT o sulla BT.

- **Media tensione**

Per il calcolo di un guasto verso terra sulla MT prendiamo in considerazione una situazione estrema considerando, per comodità, una corrente di guasto pari a 1000 A (è un valore estremamente improbabile) e un tempo di intervento di 5 s. Se si utilizza sempre un conduttore di protezione unipolare in EPR dalla nota relazione si ottiene:

$$S_E = \sqrt{\frac{1000^2 \times 5}{176^2}} = 12 \text{ mm}^2$$

Anche in questo caso una sezione di 16 mm^2 potrebbe essere adatta per la maggior parte delle situazioni con valori di correnti e di tempi di intervento (come normalmente si verifica) delle protezioni inferiori a quelli ipotizzati nell'esempio.

- **Bassa tensione**

La corrente di guasto in bassa tensione può raggiungere anche valori di alcune decine di kA ma normalmente interessa solo il conduttore di protezione. Quando esistono più nodi equipotenziali il conduttore di terra può essere interessato da correnti di guasto che hanno comunque, nella quasi totalità dei casi, valori piuttosto modesti perché la corrente che lo attraversa è funzione del rapporto tra l'impedenza del conduttore di protezione e di quella del conduttore di terra ed è tanto più bassa quanto minore è la sezione del conduttore di terra. Non risulta quindi necessario nemmeno in questo caso, se si rispettano le dimensioni minime, operare particolari verifiche.

4. Conduttori di protezione (PE)

Col conduttore di protezione (è identificato dal colore giallo/verde e viene chiamato PE oppure, se svolge contemporaneamente anche la funzione di neutro, PEN) si realizza il collegamento delle masse con l'impianto di terra. Unitamente all'interruttore automatico garantisce la protezione dai contatti indiretti e deve essere dimensionato sia per sopportare le sollecitazioni termiche dovute alla corrente di guasto verso terra (che in condizioni di regime è nulla) sia per sopportare eventuali sollecitazioni meccaniche o azioni corrosive (le norme a tal proposito stabiliscono delle sezioni minime). Il dimensionamento può essere effettuato, con un metodo semplificato (fig. 7), in funzione della sezione del conduttore di fase (tab. 2) o con la formula sotto indicata, metodo che conduce a sezioni notevolmente inferiori rispetto a quelle ottenute col metodo semplificato.

$$S_{PE} = \sqrt{\frac{I^2 t}{K_C^2}}$$

dove:

$I^2 t$ è l'energia specifica lasciata passare dell'interruttore automatico durante l'interruzione del guasto
 K_C è un coefficiente (tab.3) che dipende dal materiale isolante e dal tipo di conduttore impiegato

Sezione di fase (mm ²)	Sezione minima del conduttore di protezione (mm ²)			
	Cu		Al	
	PE	PEN	PE	PEN
≤ 16	S _F	S _F	S _F	S _F
16 ÷ 35	16	16	16	25
> 35	SF/2	SF/2	SF/2	SF/2

Tab. 3 – Sezioni minime dei conduttori di protezione

Valori del coefficiente K_C per conduttori costituiti da un cavo unipolare o da un conduttore nudo in contatto con il rivestimento esterno dei cavi

Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $\vartheta_0 = 30$ $\vartheta_f = 160$	G2 $\vartheta_0 = 30$ $\vartheta_f = 250$	EPR/XLPE $\vartheta_0 = 30$ $\vartheta_f = 220$
Cavo unipolare	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
Cavo nudo a contatto con rivestimento esterno di cavi isolati	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
	Fe	52	60	64

Valori del coefficiente K_C per conduttori costituiti da un'anima di cavo multipolare

Tipo di conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $\vartheta_0 = 30$ $\vartheta_f = 160$	G2 $\vartheta_0 = 85$ $\vartheta_f = 250$	EPR/XLPE $\vartheta_0 = 85$ $\vartheta_f = 220$
Anima di cavo multipolare	Cu	115	135	143
	Al	76	89	94

Valori del coefficiente K_C per conduttori nudi non in contatto con materiali danneggiabili

Tipo conduttore		Condizioni di posa		
		A(*) g ₀ = 30 g _f = 500	B(*) g ₀ = 30 g _f = 200	C(*) g ₀ = 30 g _f = 150
Cavo nudo non a contatto con rivestimen.. di cavi isolati	Cu	228	159	138
	Al	125	105	91
	Fe	82	58	50
(*) A: a vista in locali accessibili solo a personale addestrato (*) B: in condizioni ordinarie (*) C: in locali con pericolo di incendio, salvo diverse prescrizioni delle Norme CEI 64-2				
Valori del coefficiente K _C per conduttori costituiti dal rivestimento metallico o dall'armatura del cavo				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC g ₀ = 30 g _f = 160	G2 g ₀ = 80 g _f = 250	EPR/XLPE g ₀ = 75 g _f = 220
Rivestimento o armatura del cavo	Cu	122	140	149
	Al	79	90	96
	Fe	42	48	51
	Pb	22	19	19

Tab. 4 – Valori di KC per il calcolo dei conduttori di terra e protezione

Se la sezione che si ricava dalla relazione S_F/2 non è compresa fra le sezioni unificate è ammesso adottare quella che più si avvicina a quella calcolata. Tale procedimento è valido solo se il conduttore di protezione è costituito dallo stesso materiale del conduttore di fase. In caso contrario la sezione del conduttore deve essere calcolata in modo che le conduttanze dei diversi materiali abbiano lo stesso valore. Uguagliando e risolvendo si ottiene:

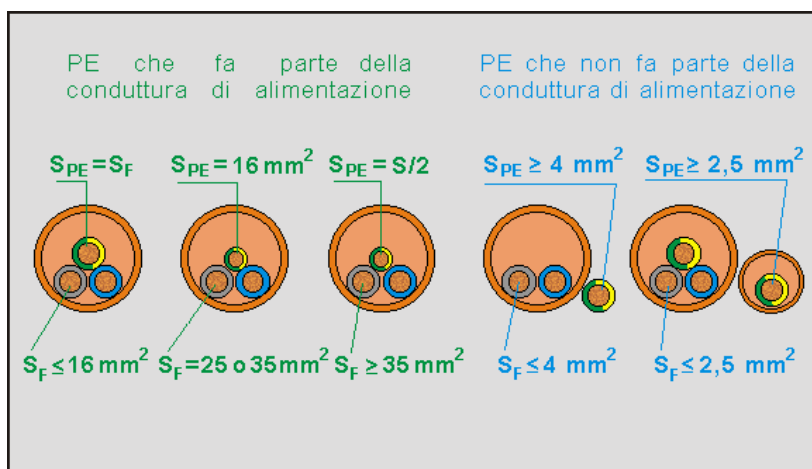
$$S_{PE}^I = \frac{S_{PE} \times \rho^I}{\rho}$$

Dove:

S_{PE} è la sezione ricavata dalle tabelle relative al materiale, di resistività ρ uguale a quello del conduttore di fase ed

S_{PE}^I e ρ^I sono rispettivamente la sezione e la resistività del materiale del conduttore di protezione prescelto.

Se il conduttore di protezione è comune a più circuiti utilizzatori il valore della sezione deve essere scelto riferendosi alla maggior sezione fra i conduttori di fase.



Per concludere occorre ricordare che quando il conduttore di protezione non fa parte della conduttura di alimentazione non deve, in ogni caso, essere inferiore a 2,5 mm² se è prevista una protezione meccanica del conduttore stesso (tubo di protezione), e a 4 mm² se non è prevista una protezione meccanica.

Fig. 9 – Esempio di applicazione delle norme in relazione alla scelta della sezione SPE minima ammissibile dei conduttori di protezione (PE) in rame in funzione della sezione SF del conduttore di fase e del tipo di posa

Una particolare nota va dedicata alle apparecchiature elettroniche con correnti di dispersione superiore a 10 mA che devono essere collegate a terra secondo una delle seguenti configurazioni:

- un cavo unipolare non inferiore a 10 mm^2 ;
- due cavi in parallelo ciascuno di sezione non inferiore a 4 mm^2 ;
- anima di cavo multipolare di sezione non inferiore a $2,5 \text{ mm}^2$ purché il cavo abbia una sezione complessiva non inferiore a 10 mm^2 per rendere minimi i danni dovuti ad eventuali sollecitazioni meccaniche;
- due cavi in parallelo di sezione non inferiore a $2,5 \text{ mm}^2$ protetti mediante componenti metallici.

4.1. Parti dell'impianto da collegare al PE

Attraverso il PE si devono collegare all'impianto di terra:

- gli alveoli delle prese a spina
- gli involucri metallici delle apparecchiature elettriche ad installazione fissa
- gli apparecchi non di classe II
- i controsoffitti metallici che portano cavi non di classe II o apparecchi elettrici di classe I
- gli apparecchi illuminanti di classe I
- i canali e i tubi protettivi metallici che portano cavi non di classe II. Canali e tubi metallici devono essere in buon contatto elettrico fra loro

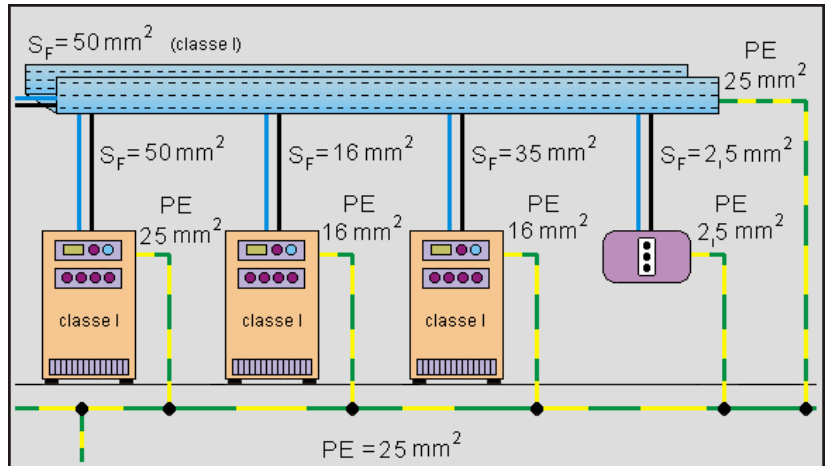


Fig. 10 – Esempio di parti dell'impianto che devono essere collegate all'impianto di terra

5. Collegamenti equipotenziali

Sono conduttori che collegano fra di loro parti che normalmente si trovano al potenziale di terra garantendo quindi l'equipotenzialità fra l'impianto di terra e le masse estranee e consentendo di ridurre la resistenza complessiva dell'impianto. Non essendo conduttori attivi e non dovendo sopportare gravose correnti di guasto il loro dimensionamento non segue regole legate alla portata ma alla resistenza meccanica del collegamento. Per gli ambienti ordinari le norme prescrivono le sezioni minime che devono essere rispettata per questi conduttori distinguendo tra *conduttori equipotenziali principali (EQP)* e *conduttori equipotenziali supplementari(EQS)*. Sono detti principali se collegano le masse estranee entranti alla base dell'edificio al nodo principale di terra, sono detti supplementari negli altri casi (fig. 11).

I collegamenti equipotenziali supplementari sono obbligatori solo in particolari situazioni ambientali come ad esempio nei bagni. Sono necessari anche nei casi in cui la protezione viene attuata senza l'impianto di terra come ad esempio quando si utilizza la protezione per separazione elettrica. Devono essere effettuati utilizzando appositi morsetti a collare (fig. 12) di materiale adatto ad evitare il formarsi di coppie galvaniche che potrebbero favorire la corrosione. Le sezioni minime prescritte per tali collegamenti sono raccolte nella tabella 4.

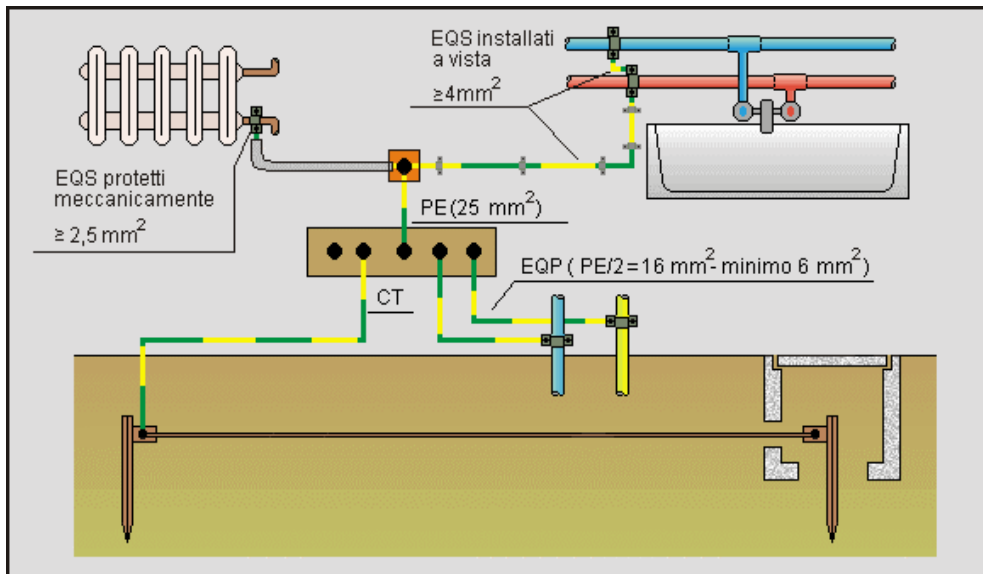


Fig. 11 – Esempio di scelta delle sezioni minime dei conduttori equipotenziali

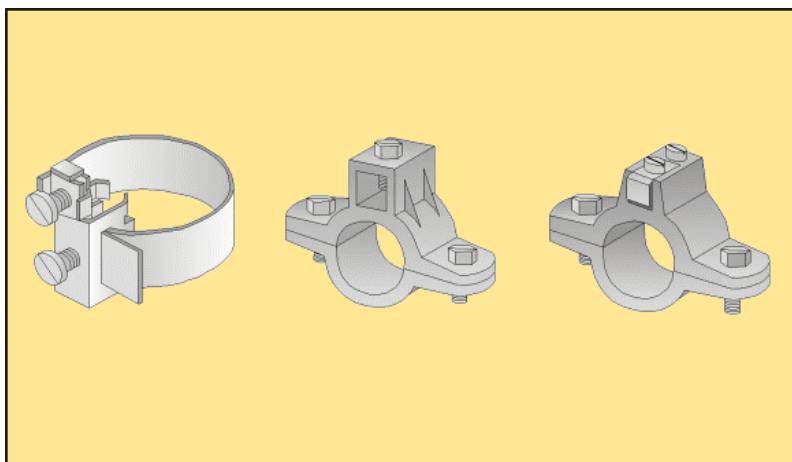


Fig. 12 – Tipici collari adatti per collegamenti equipotenziali

Conduttori equipotenziali	Sezione del conduttore	Sezione del conduttore
---------------------------	------------------------	------------------------

	di protezione principale PE (mm ²)	equipotenziale (mm ²)
Principale EQP	≤ 10 = 16 = 25 > 35	6 10 16 25
Supplementare EQS: collegamento massa-massa; collegamento massa-massa estranea	EQS ≥ PE di sezione minore ⁽¹⁾ EQS ≥ ½ della sezione del corrispondente conduttore PE In ogni caso la sezione del conduttore EQS deve essere: ≥ 2,5 mm ² se protetto meccanicamente; ≥ 4 mm ² se non protetto meccanicamente;	
(1) È opportuno aumentare la sezione del conduttore EQS sulla base della corrente di guasto effettiva quando le due masse appartengono a circuiti con sezioni dei conduttori di protezione molto diverse. Questo per evitare che sul conduttore EQS, dimensionato in base alla sezione del conduttore di protezione minore, possano circolare correnti di guasto non sopportabili dal conduttore stesso		

Tab. 5 – Sezioni minime dei conduttori equipotenziali

6. Connessioni e collettore principale di terra

Ogni impianto di terra deve disporre di un collettore principale di terra (fig. 13) che può essere una piastra metallica in acciaio zincato o in rame stagnato o cadmiato o una apposita morsettiera.

Le giunzioni e le connessioni fra i vari elementi dell'impianto di terra devono essere eseguite a regola d'arte in modo che sia garantita la continuità elettrica nel tempo. Il contatto deve essere ben saldo per evitare possibili allentamenti (fig. 14 e 15) e, ove necessario, le connessioni devono essere facilmente accessibili e sezionabili per facilitare le operazioni di manutenzione e verifica.

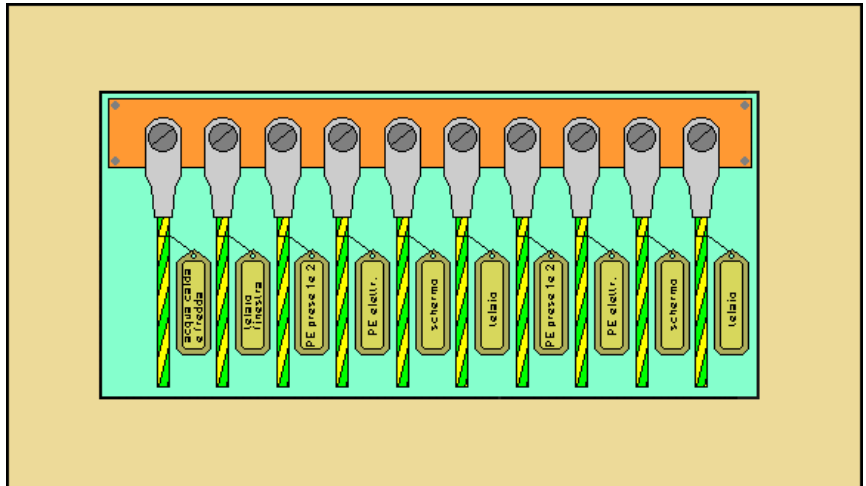


Fig. 13 – Esempio di collettore principale di terra

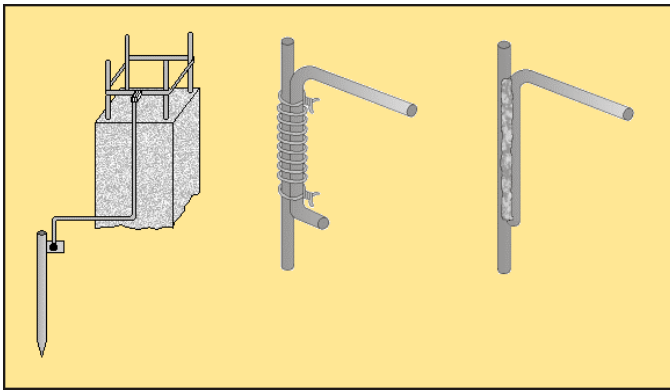


Fig. 14 – Esempi di connessioni a regola d'arte collegamento ai ferri d'armatura – connessione di tondini di ferro mediante legatura – connessione di tondini di ferro tramite saldatura forte

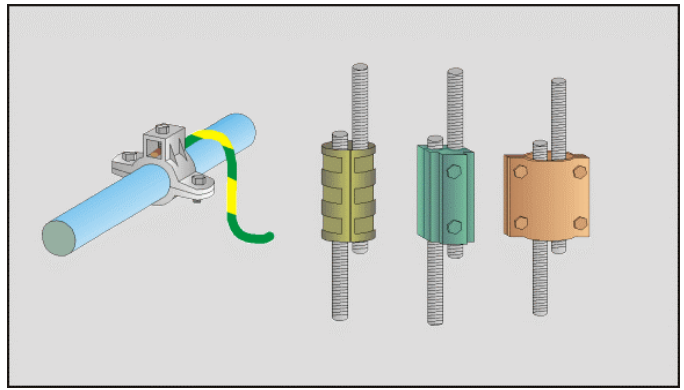


Fig. 15 – Esempi di connessioni a regola d'arte – collegamento fra tubo e corda isolata – collegamenti fra corde nude

7. Come proteggere il dispersore dalla corrosione

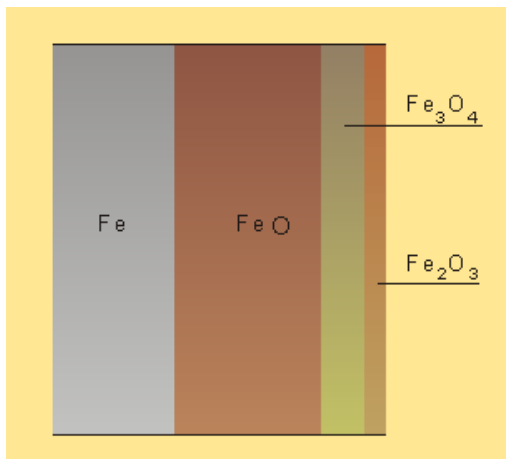
7.1. Processi di corrosione

Dal punto di vista chimico-fisico i metalli e le leghe, nelle normali condizioni ambientali, non sono in equilibrio ma tendono a trasformarsi nei loro composti: ossidi, idrossidi, carbonati, solfati, cloruri ecc. Si tratta di processi di alterazione cui sono soggetti quasi tutti i metalli, ad eccezione dei cosiddetti metalli nobili, come il platino, l'oro e l'argento, e che si manifestano in seguito ad ossidazione della superficie a contatto con l'ambiente. Alla base di questo fenomeno, chiamato corrosione, vi è quasi sempre lo scambio di elettroni fra una specie chimica che li cede (ossidazione) ed una seconda specie chimica che li acquista (riduzione). In questa reazione, detta appunto di ossidoriduzione, la specie chimica che si corrode è quella che perde elettroni. Non sempre però l'ossidazione conduce alla corrosione. Certi metalli assumono un comportamento, detto passivazione, nel quale si ha la formazione di alcuni prodotti di corrosione non solubili, in genere ossidi, che aderendo intimamente alla superficie del metallo ostacolano il processo di corrosione che si sviluppa quindi molto più lentamente.

Due sono i meccanismi fondamentali secondo i quali si esplica la corrosione dei metalli:

- corrosione chimica
- corrosione elettrochimica.

7.1.1. Corrosione chimica



La corrosione chimica consiste in una reazione tra un metallo e un liquido o tra un metallo e un gas, come ad esempio il ferro che reagisce a certe temperature con l'ossigeno presente nell'atmosfera producendo i suoi ossidi (fig. 16). In questo caso il metallo cede elettroni all'ossigeno con formazione di ioni metallo carichi positivamente e ioni ossigeno carichi negativamente che si legano determinando la formazione di uno strato, più o meno aderente alla superficie, di prodotti della corrosione. Il processo non è generalmente accompagnato da passaggio di corrente elettrica.

Fig. 16 - La corrosione di tipo chimico avviene a causa della reazione tra un metallo e un liquido o tra un metallo e un gas

7.1.2. Corrosione elettrochimica

La corrosione elettrochimica può avvenire, quando i metalli sono immersi in un elettrolita, a temperatura prossima a quella ordinaria attraverso due reazioni principali, una all'anodo ed una al catodo (fig. 17):

- le reazioni anodiche sono reazioni di ossidazione che tendono a distruggere il metallo dell'anodo che si scioglie sotto forma di ioni oppure ritorna allo stato combinato di ossido;
- le reazioni catodiche sono invece sempre reazioni di riduzione di alcuni ioni con corrispondente consumo degli elettroni prodotti dalla reazione anodica e transitati attraverso il metallo.

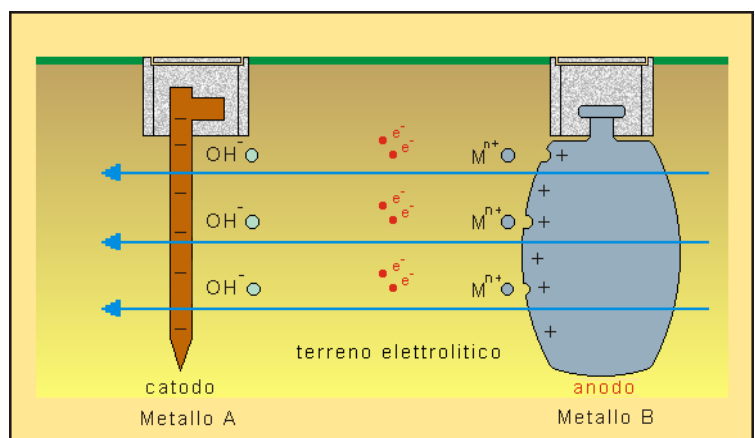


Fig. 17 - Corrosione elettrochimica

Il processo corrosivo di metalli interrati in terreno elettrolitico può sostanzialmente avvenire per i seguenti motivi:
 metalli diversi a contatto fra loro;
 metalli diversi collegati elettricamente fra loro;
 metalli diversi in presenza di correnti continue;
 metallo ricoperto da strati di terreno non omogeneo diversamente permeabili ai gas.

7.1.3. Corrosione di contatto

Affinché il processo corrosivo si verifichi è necessario che i due metalli siano diversi e che siano in contatto fra di loro. In presenza di un suolo elettrolitico, se i due metalli hanno potenziali diversi (tab.5), si crea fra di loro una differenza di potenziale (coppia galvanica).

METALLO	Potenziale elettrochimico (V)
Litio	-3,02
Sodio	-2,72
Magnesio	-1,80
Alluminio	-1,45
Manganese	-1,10
Zinco	-0,77
Cromo	-0,56
Ferro	-0,43
Cadmio	-0,42
Nichel	-0,20
Stagno	-0,14
Piombo	-0,13
Idrogeno	0,0
Antimonio	+0,2
Rame	+0,35
Argento	+0,80
Mercurio	+0,86
Platino	+0,87
Oro	+1,5

Tab. 5 – Scala galvanica dei metalli di interesse elettrotecnico riferita all'elettrodo d'idrogeno

Gli elettroni si spostano dal metallo a potenziale minore verso quello a potenziale maggiore. In presenza di un ossidante, ad esempio ossigeno contenuto in terreno umido, questo verrà ridotto, anche sulla superficie del metallo a potenziale maggiore, sempre a spese degli elettroni del metallo a potenziale minore. Quanto più è negativo il potenziale del metallo, tanto più facile risulta la sua ossidazione. In figura 18 un collare di rame (catodo), più propenso a ridursi rispetto al ferro, in intimo contatto con un tubo di ferro

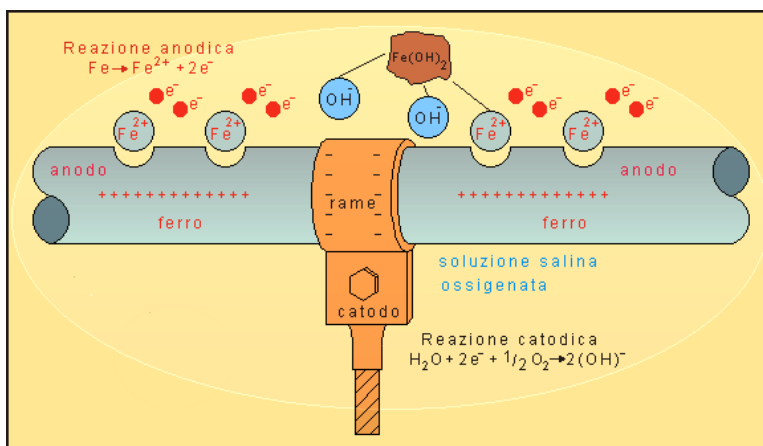


Fig. 18 – Corrosione fra metalli diversi a contatto immersi in soluzione elettrolitica

(anodo), riceve gli elettroni che migrano verso di lui provenienti dal ferro. L'ossigeno che viene ridotto nei pressi del contatto si riduce tutto a spese degli elettroni dell'anodo di ferro mentre il rame funge da catodo inerte provocando l'accelerazione del processo di ossidazione localizzato nei pressi della zona di contatto fra i due metalli. Il rame non partecipa attivamente ad alcun processo, non si ossida e non si riduce, in questo caso l'ossidante è solamente l'ossigeno. Il risultato di tale processo è una circolazione di corrente tra anodo e catodo e una corrosione in prossimità della giunzione tra collare e tubo.

7.1.4. Corrosione fra metalli diversi collegati elettricamente

Due metalli diversi interrati in suolo elettrolitico costituiscono una pila la cui forza elettromotrice è pari alla differenza di potenziale elettrochimico degli stessi metalli. Se per qualche motivo i due metalli sono messi fra di loro in collegamento elettrico si avrà circolazione di corrente attraverso l'anodo che si ossida cedendo elettroni e il catodo che si riduce acquistando ioni positivi. La corrosione avverrà tanto più velocemente quanto i metalli saranno distanti nella scala dei potenziali elettrochimici di tab. 5. Il fenomeno dipende infatti dal valore della corrente presente nel circuito che a sua volta è legata in modo direttamente proporzionale alla differenza di potenziale dovuta alla loro distanza nella scala dei potenziali elettrochimici. Nel fenomeno corrosivo riveste un ruolo di notevole importanza anche il rapporto tra le aree delle superfici metalliche degli elettrodi in contatto con l'elettrolita. La corrosione anodica risulterà tanto più celere e invasiva quanto maggiore è la superficie del catodo rispetto a quella dell'anodo. Un metallo che nella scala elettrochimica è molto positivo e di grande superficie non può essere accoppiato, a meno di non subire un'estesa corrosione, con un metallo a potenziale inferiore e di piccola superficie (ad esempio rivetto di ferro su lastra di rame). È invece possibile il contrario, piccole superfici catodiche accoppiate con grandi superfici anodiche non manifestano abitualmente dal punto di vista della corrosione situazioni particolarmente allarmanti (ad esempio rivetto di rame su lastra di ferro). In fig. 19 un serbatoio in acciaio è collegato in equipotenzialità mediante corda di rame direttamente accoppiata con corda di acciaio. Si possono creare delle pile che favorendo la circolazione di correnti galvaniche nel terreno rendono particolarmente vulnerabili alla corrosione metalli come l'acciaio.

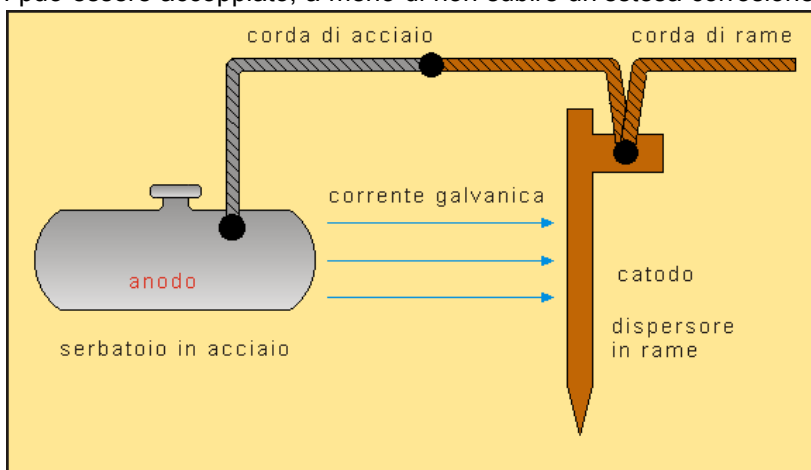


Fig. 19 – I collegamenti equipotenziali possono essere causa di corrosione

7.1.5. Corrosione fra metalli diversi per presenza di correnti continue

La generazione di tensioni galvaniche può essere causata dalla presenza in terreno elettrolitico di correnti continue vaganti (il fenomeno si manifesta solo in presenza di correnti continue perché con le comuni correnti alternate a 50 Hz l'anodo e il catodo si alternano cinquanta volte al secondo non permettendo lo spostamento degli ioni metallici) con gli elettrodi che possono essere distanti fra di loro anche di alcuni metri. Le correnti vaganti nel terreno

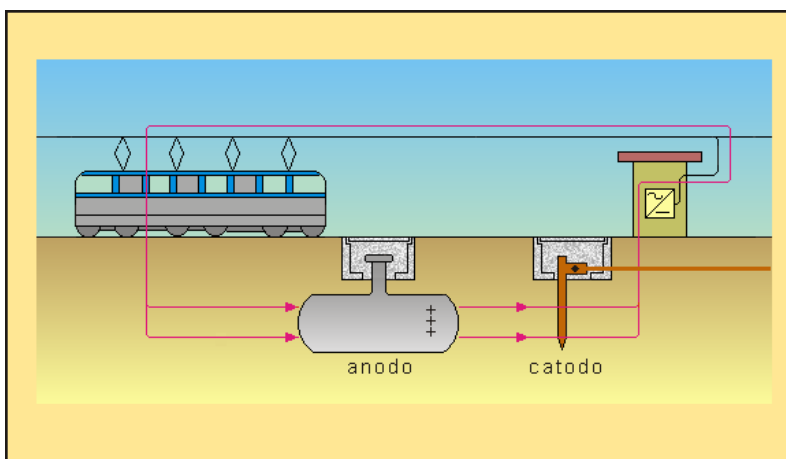


Fig. 20 – Corrosione causata da presenza di correnti continue vaganti

normalmente sono generate da impianti alimentati in corrente continua come impianti di trazione o impianti di

protezione catodica. Il fenomeno risulta particolarmente evidente nei pressi delle stazioni di conversione dove tali correnti possono interessare nel loro percorso metalli con diverso potenziale elettrochimico. In figura 20 una grande struttura metallica in ferro interrata a pochi metri da un dispersore di rame può essere corrosa perché le correnti vaganti favoriscono il trasporto di ioni metallici dall'anodo (struttura in ferro) verso il catodo (dispersore in rame).

7.1.6. Corrosione di metallo ricoperto da strati di terreno diversamente permeabili ai gas

La corrosione non si alimenta necessariamente solo in presenza di due metalli diversi. A volte la non omogeneità dei materiali metallici di uso industriale interrati in strati di terreno di diversa consistenza, perciò diversamente areati, può determinare il formarsi di aree anodiche e catodiche quando gli stessi sono immersi in soluzioni elettrolitiche. In questi casi si verifica il meccanismo della corrosione elettrochimica perché esiste una eterogeneità nel metallo che determina la formazione di una pila. Una corrente elettrica circola tra anodo e catodo e le zone costituenti l'anodo sono attaccate. Questo problema è ben rappresentato da un dispersore di ferro conficcato in un terreno in parte di riporto, poco omogeneo e ben areato, ed in parte in un terreno più compatto e poco areato (fig. 21).

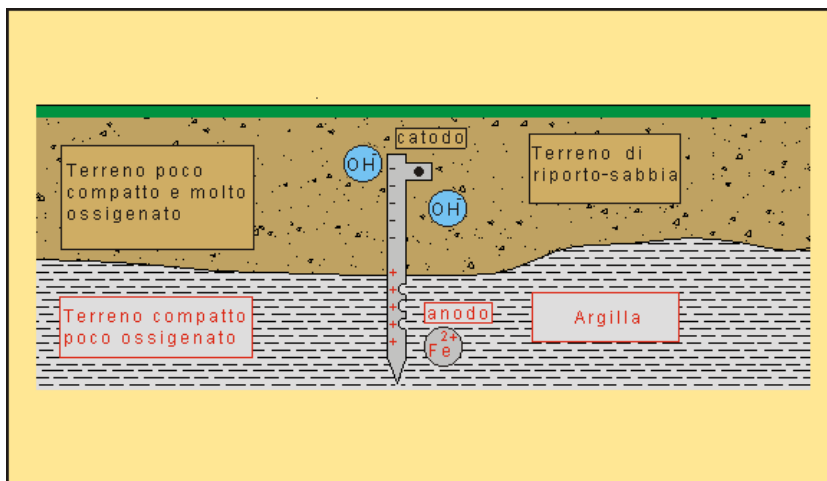


Fig. 21 – Un dispersore conficcato in terreni di diversa permeabilità ai gas può determinare, quando si è in presenza di un elettrolita, il formarsi di aree anodiche e catodiche che possono dar luogo a fenomeni di corrosione

Questo problema è ben rappresentato da un dispersore di ferro conficcato in un terreno in parte di riporto, poco omogeneo e ben areato, ed in parte in un terreno più compatto e poco areato (fig. 21).

7.2. Materiali e accorgimenti per limitare i rischi di corrosione

In fase di progettazione i rischi di corrosione possono essere agevolmente fronteggiati, dopo un attento esame delle condizioni di installazione e posa, scegliendo materiali adatti. Si deve evitare, quando possibile, l'unione di materiali dissimili per evitare che si generino coppie galvaniche con conseguente circolazione di corrente. Quando fosse comunque necessario collegare fra di loro metalli molto distanti nella scala dei potenziali elettrochimici, come ad esempio rame e ferro, devono essere impiegati morsetti dichiarati adatti dal costruttore (fig. 22). Oltre a questo, o se necessario in alternativa, possono essere approntate delle barriere fisiche, mediante nastri con materiali autovulcanizzanti, vernici, resine o catrame, tali da rendere la giunzione impermeabile all'acqua e all'aria.

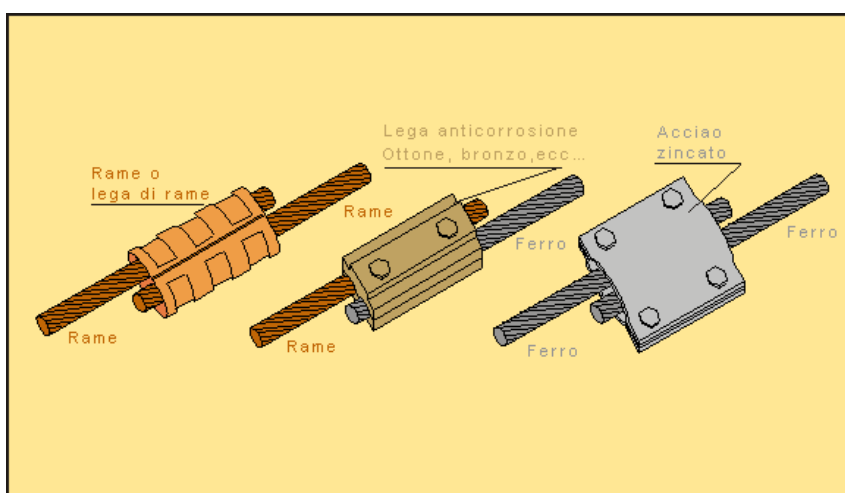


Fig. 22 – Nelle giunzioni fra metalli devono essere impiegati morsetti dichiarati adatti dal costruttore

A tal proposito occorre sottolineare come il pericolo di corrosione sia tanto più elevato quanto maggiore è la superficie del catodo che si riduce rispetto a quella dell'anodo che si ossida corrodendosi (rapporti fra catodo e anodo superiori a 100). Particolarmente vulnerabili possono rivelarsi quelle strutture metalliche che vengono protette contro la corrosione mediante trattamenti superficiali. Può infatti accadere, per piccoli difetti nel trattamento, che piccole porzioni restino scoperte. Se un dispersore in rame che funge da catodo è collegato con una struttura metallica in acciaio e presenta una superficie notevolmente superiore rispetto alle piccole superfici scoperte della struttura stessa, si ha un attacco particolarmente aggressivo sulle piccole superfici non protette che si comportano come anodo. Questo si spiega perché il fenomeno corrosivo è tanto più rapido quanto maggiore è la densità di corrente che fluisce attraverso l'anodo. In grandi superfici senza rivestimento la densità è bassa e la corrosione lenta, in piccole superfici la densità è grande e la corrosione molto intensa. A distanze di pochi metri da strutture metalliche interrate è quindi buona norma non installare impianti di terra costruiti utilizzando metalli nobili come il rame per evitare di incorrere nei fenomeni di corrosione appena descritti. Nei terreni particolarmente acidi è bene evitare l'uso di acciaio zincato e preferire il rame mentre nei terreni salmastri ricchi di cloruri è bene evitare l'uso di acciaio inossidabile. L'uso del rame va evitato in presenza di composti ammoniacali che si trovano in genere nei pressi di scarichi di fognatura o di deiezioni di origine animale (può essere utilizzato rame stagnato o ricoperto di piombo o acciaio zincato a caldo). L'alluminio subisce il processo di passivazione perché è attaccato dalla corrosione solo in superficie e tende a ricoprirsi di un sottile strato di ossido che lo protegge da ulteriore corrosione. L'ossido però è anche isolante e porta a sconsigliare l'uso di tale metallo per la costruzione del dispersore. L'acciaio dolce utilizzato per i ferri d'armatura immerso nel calcestruzzo si nobilita assumendo caratteristiche che raggiungono valori di potenziale simili a quelli del rame che nel calcestruzzo mantiene invece inalterate le sue caratteristiche risultando per questo compatibile con l'acciaio (in alcuni casi per motivi economici si utilizzano corde in acciaio ramato). Particolare cura è invece necessario porre al collegamento dei ferri d'armatura con corde di ferro zincato perché si potrebbe formare una coppia galvanica nella quale il ferro funge da catodo e lo zinco della corda da anodo. Si può evitare la corrosione della corda zincata proteggendo la superficie della giunzione con catrame o resine e nastrandolo con cura la corda fino al collegamento col dispersore (fig. 23).

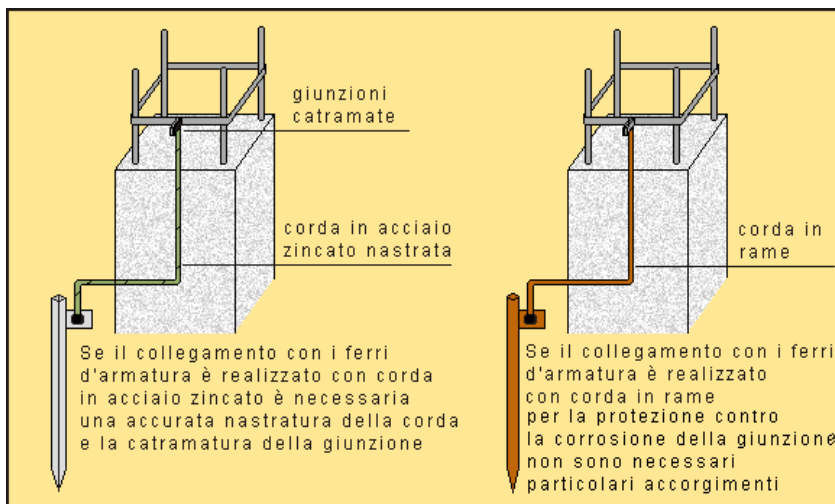


Fig. 23 – Esempi di corretto collegamento del dispersore ai ferri di armatura

Una giunzione molto comune negli impianti di terra è quella fra acciaio zincato e rame. Per evitare la corrosione fra zinco e rame si può utilizzare per la giunzione un metallo con potenziale elettrochimico intermedio come il bronzo o l'ottone oppure utilizzare capocorda stagnati o cadmiati (fig. 24). In ogni caso, per quanto concerne resistenza meccanica e protezione contro la corrosione, devono essere rispettate le dimensioni minime prescritte dalla norma CEI 11-1 e 64-8.

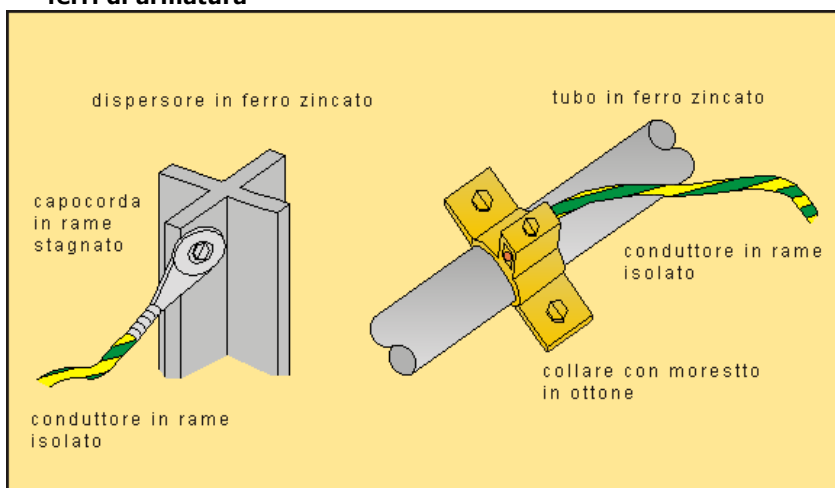


Fig. 24 – Per evitare la corrosione dovuta a giunzioni fra rame e zinco si possono utilizzare capocorda in rame stagnati o morsetti in ottone

8. La misura della resistenza di terra

8.1. Generalità

I rilievi strumentali da effettuare sugli impianti di terra hanno lo scopo, vista l'importanza che riveste l'impianto dal punto di vista della sicurezza, di accertarne l'effettiva rispondenza alle specifiche di progetto. Accertare l'efficienza di un impianto di terra significa controllare il buono stato dei materiali ed operare le seguenti misure e verifiche:

- misura della resistività del terreno;
- misura della resistenza di terra;
- misura delle tensioni di passo e di contatto;
- verifica dell'equipotenzialità delle masse;
- verifica della pericolosità di eventuali potenziali trasferiti.

La misura della resistività del terreno è preliminare alla stesura del progetto perché, nonostante i risultati della misura siano piuttosto aleatori e variabili, ci permette di calcolare in prima approssimazione il valore che dovrebbe assumere la resistenza del nostro impianto di terra. Ad impianto ultimato, possibilmente nelle normali condizioni di esercizio, si effettua la misura della resistenza di terra il cui valore non si deve discostare troppo da quello calcolato in fase di progetto. Ad impianto funzionante saranno effettuate misurazioni a scadenze periodiche per verificare il mantenimento nel tempo delle caratteristiche originali dell'impianto. Con il presente articolo, trascurando momentaneamente sia la misura delle tensioni di passo e di contatto sia la verifica delle equipotenzialità delle masse e della presenza di potenziali trasferiti, si intendono approfondire le tecniche di misurazione della resistenza di terra evidenziandone limiti e difficoltà di esecuzione.

8.2. La resistenza di terra e i potenziali del terreno

Il terreno funge da conduttore elettrico ogni qualvolta tra due punti viene applicata, attraverso degli elettrodi (dispersori), una differenza di potenziale. La resistenza di terra è quella che esiste tra il dispersore infisso nel terreno ed un punto preso sufficientemente lontano a potenziale indisturbato (potenziale nullo). Il valore di questa resistenza, che coincide praticamente con la resistenza di una certa porzione di terreno che circonda il dispersore (la resistenza di contatto del dispersore col terreno è praticamente trascurabile), può essere rilevato con opportune misure. Con una semplice misura voltamperometrica possiamo esaminare come varia il potenziale del terreno fra i due dispersori E-A in funzione della distanza (fig. 25).

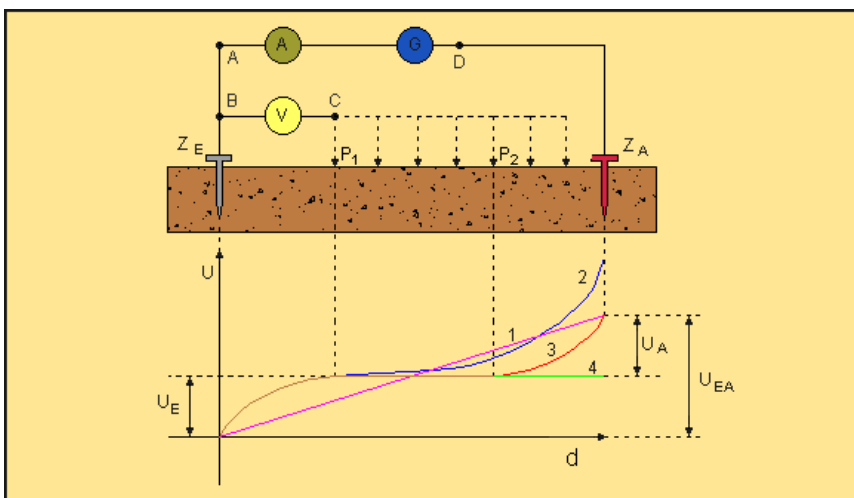


Fig. 25 – Andamento del potenziale nel terreno tra due dispersori collegati allo stesso generatore

- 1) Se il collegamento fosse ottenuto, anziché attraverso il terreno, con un conduttore a sezione costante

- 2) In presenza di impedenza (quando la resistenza del dispersore in misura è molto bassa) non trascurabile sull'anello costituito dal circuito di prova
- 3) Lungo la retta che unisce i due dispersori
- 4) Lungo la retta, in direzione opposta alla precedente, che esce dal dispersore in misura

Spostando l'elettrodo di tensione dal dispersore E verso il dispersore A, lungo la retta che congiunge i due dispersori, le indicazioni fornite dal voltmetro tendono a crescere in modo non lineare fino a raggiungere il punto P₁ (curva n. 3). Tra il punto P₁ e il punto P₂ la tensione si mantiene costante per riprendere a crescere da P₂ verso A sino a quando l'elettrodo di tensione si congiunge col dispersore ausiliario A. Il tratto P₁-P₂ si può considerare a potenziale nullo o meglio, la resistenza del terreno assume tra P₁-P₂ valore zero rispetto ai punti E-A. Se l'elettrodo del voltmetro viene spostato lungo la retta che si sviluppa in direzione opposta alla precedente la tensione tende ad aumentare fino a raggiungere un valore asintotico costante rappresentato in figura dalla curva n. 4. Qualora la resistenza di terra del dispersore fosse molto bassa potrebbe non essere più trascurabile la componente induttiva. Si deve allora considerare l'impedenza determinata dall'anello costituito dal circuito percorso dalla corrente di prova e la curva assume la forma n. 2. Abituamente si parla di resistenza di terra piuttosto che di impedenza di terra perché si considera, come normalmente accade, prevalente l'effetto resistivo rispetto a quello induttivo. La semplificazione risulta accettabile nel caso di impianti di piccole dimensioni (resistenze di terra maggiori di 1ohm), mentre potrebbe non esserlo per gli impianti molto estesi quando presentano valori di resistenza minori di 0,1 ohm.

8.2.1. Misura della resistività del terreno

La conoscenza della resistività del terreno risulta fondamentale per una corretta progettazione dell'impianto di terra e influenza in modo determinante il valore complessivo della resistenza che si potrà ottenere. Uno dei metodi di misura più comuni è il metodo del Wenner (fig. 26).

Il metodo è rigorosamente valido solamente per elettrodi sferici di piccole dimensioni interrati e con connessioni isolate. Ciononostante, se la parte di elettrodo infissa nel terreno a è minima rispetto alla distanza d fra gli elettrodi, i dispersori possono essere assimilati a emisfere e il metodo fornisce risultati sufficientemente attendibili. Si infiggono nel terreno quattro sonde, allineate e ad uguale distanza (d) le une dalle altre, ad una stessa profondità, trascurabile rispetto alla distanza d . Due picchetti, collegati ad un generatore di corrente alternata, sono detti amperometrici, mentre gli altri due, detti voltmetrici sono collegati ad un voltmetro. La resistività del terreno può essere ricavata dalla semplice relazione:

$$\rho = 2\pi d \frac{U}{I}$$

dove U è la tensione misurata col voltmetro (ad alta resistenza interna) tra la coppia di elettrodi intermedi, I la corrente di prova iniettata nel terreno attraverso la coppia di elettrodi estremi e d la distanza tra gli elettrodi (per evitare rischi di sovrapposizione di correnti vaganti può essere utile impiegare un'alimentazione a frequenza leggermente diversa da quella di rete).

Poiché normalmente il terreno non è omogeneo la resistività del terreno non risulta uniforme. La resistività varia al variare della distanza fra le sonde e può essere utile effettuare una serie di misure variando la distanza d e mantenendo costante la profondità di infissione a .

La distanza fra i picchetti viene proporzionalmente aumentata allargandosi verso l'esterno rispetto ad un punto centrale preso come riferimento. La serie di risultati forniti dalle misure permette di ottenere dati relativi a profondità diverse di terreno aumentando, all'aumentare della distanza fra gli elettrodi aumenta, infatti, anche la penetrazione della corrente nel suolo. La resistività del terreno è data dalla media aritmetica dei valori misurati.

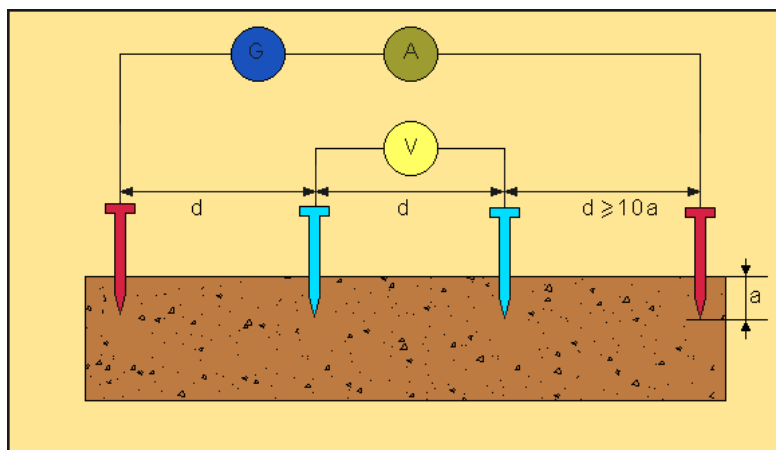


Fig. 26 – Circuito di misura della resistività del terreno col metodo dei quattro punti.

8.3. Misura della resistenza di terra

I sistemi di misura della resistenza di terra sono numerosi e le tecniche sono ormai consolidate e in uso da molto tempo. Il metodo più diffuso e consigliato dalle norme CEI è il metodo della caduta di tensione o voltamperometrico (fig. 27).

Il metodo prevede di iniettare una corrente alternata (la corrente continua non viene utilizzata perché essendo il terreno un conduttore di natura elettrolitica le misure potrebbero essere viziata da forze elettromotrici di tipo elettrolitico o da correnti continue vaganti) attraverso i dispersori in misura e di permetterne la richiusura attraverso un dispersore ausiliario. La correttezza della misura dipende dalla posizione che assumono il dispersore ausiliario e l'elettrodo di tensione fra di loro e rispetto al dispersore in misura. Il dispersore ausiliario deve essere posto in un punto del terreno sufficientemente lontano rispetto a quello in prova in modo che la misura non sia viziata dall'influenza reciproca. Si può ritenere con buona approssimazione che ad una distanza di circa cinque volte la lunghezza del dispersore o cinque volte la diagonale se si considera una

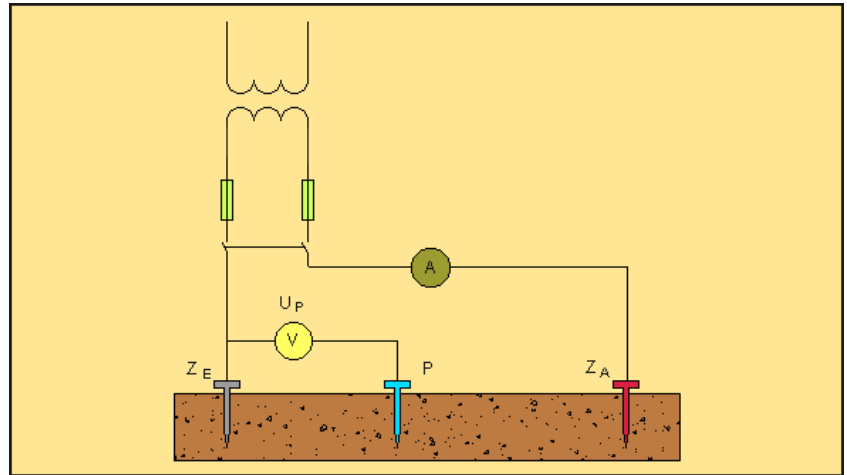


Fig. 27– Misura della resistenza di terra con metodo voltamperometrico

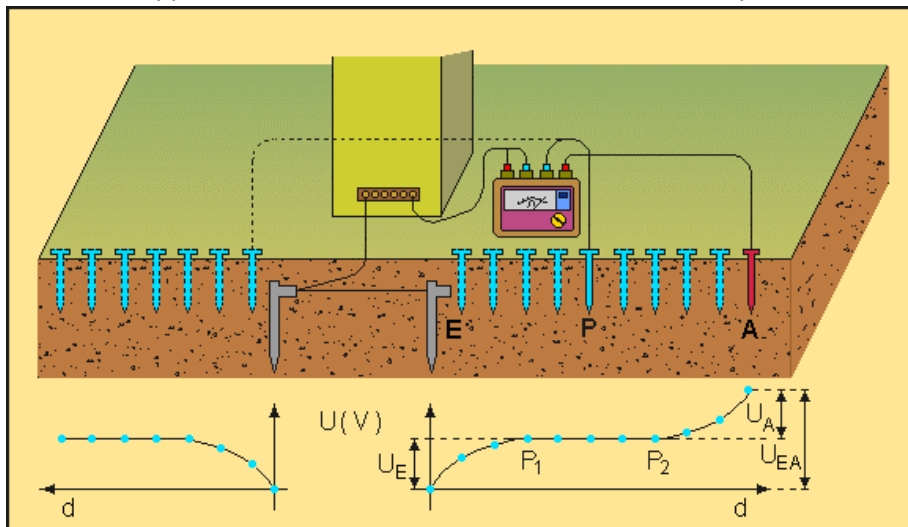


Fig. 28 - Variazione del potenziale del potenziale nel terreno tra due dispersori

rete di dispersori cessi la zona di influenza fra i dispersori. L'andamento che assume la curva relativa ai potenziali del terreno in queste condizioni è quella di fig. 28. Tale andamento è giustificato dal fatto che la sezione del "conduttore terreno" che è attraversato dalla corrente di prova non è costante in tutti i suoi punti. La sonda di tensione deve essere conficcata in un punto dove la resistenza può essere considerata trascurabile e il potenziale uguale a zero (zona B1-B2 della curva di fig. 28).

Lo schema di collegamento rappresentato in fig. 27 presuppone un'alimentazione dalla rete tramite un trasformatore di sicurezza e l'impiego di un voltmetro e di un amperometro. Innanzitutto, prima di far circolare corrente nel circuito di misura, occorre verificare che il voltmetro non indichi alcuna tensione dovuta a correnti di dispersione estranee al circuito di prova la cui origine, se ne fosse rilevata la presenza, dovrà essere individuata ed eliminata. Si alimenta quindi con un generatore facendo circolare una corrente nel circuito di prova tra il dispersore in misura e il dispersore ausiliario.

Se si indica con I la corrente che circola nel circuito e con U_E la tensione indicata dal voltmetro, applicando la legge di ohm si può calcolare la resistenza di terra R_E :

$$R_E = \frac{U_E}{I}$$

La misura può essere considerata attendibile e tale rapporto rappresenta l'effettiva resistenza di terra solo se la sonda di tensione è infissa nella zona di non influenza del dispersore in misura e del dispersore ausiliario di corrente.

Per verificarne l'esatta posizione, disposta la sonda di corrente alla maggior distanza possibile dal dispersore in prova, si sposta di alcuni metri la sonda di tensione da e verso il dispersore in prova finché le letture del voltmetro, non subendo più variazioni significative, possono essere considerate attendibili.

La misurazione della resistenza di terra è relativamente semplice, ma può comportare difficoltà operative e indurre a incertezze e a errori anche rilevanti. Dal punto di vista operativo si riscontrano difficoltà nell'individuare aree a distanza utile, spesso private e diverse da quelle di proprietà, ove installare il dispersore ausiliario o far transitare le interconnessioni tra i dispersori e nel realizzare un dispersore ausiliario di resistenza adeguata che permetta la circolazione della corrente di prova quando si alimenta in bassa tensione. Per motivi di sicurezza occorre inoltre presidiare e rendere inaccessibile il dispersore ausiliario dove potrebbero stabilirsi tensioni di contatto elevate e pericolose per le persone (fig. 29).

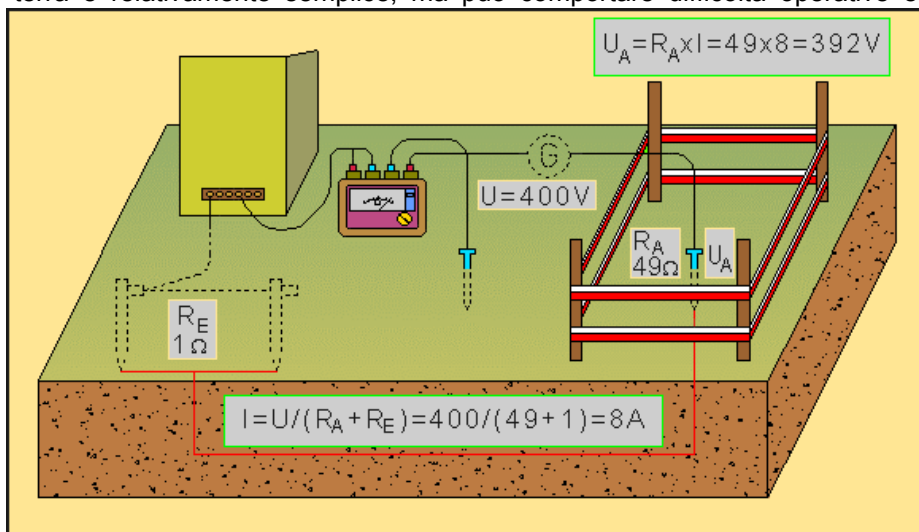


Fig. 29 – Inaccessibilità dell'area del dispersore ausiliario per evitare contatti con tensioni pericolose. Ipotizzando una RE di 1 ohm, una RA di 49 ohm e di applicare al circuito di prova una tensione U di 400V sul dispersore ausiliario si stabilisce una tensione pericolosa UA di 392V

Le difficoltà susposte e soprattutto la mancanza di spazi adeguati alla realizzazione dei dispersori ausiliari può portare ad eseguire misure non corrette:

- 1) I dispersori sono troppo vicini, le reciproche influenze fanno assumere al dispersore in misura un potenziale che dipende solo da una parte della resistenza di terra (fig.30);
- 2) La sonda voltmetrica è posizionata troppo vicina al dispersore in prova in un punto a potenziale maggiore di zero e il voltmetro misura solo una parte della tensione totale di terra U_E (fig. 31);
- 3) La sonda di tensione è troppo vicina al dispersore ausiliario il voltmetro misura una tensione superiore alla tensione totale di terra U_E (fig.32).

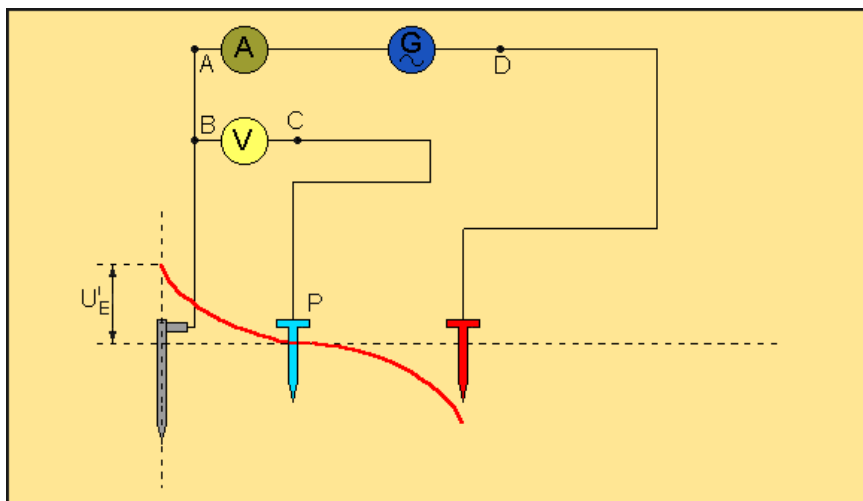


Fig. 30 – Il dispersore ausiliario è posizionato troppo vicino a quello in prova. La tensione misurata è solo una parte della tensione totale di terra U_E ($U_P \neq U_E$).

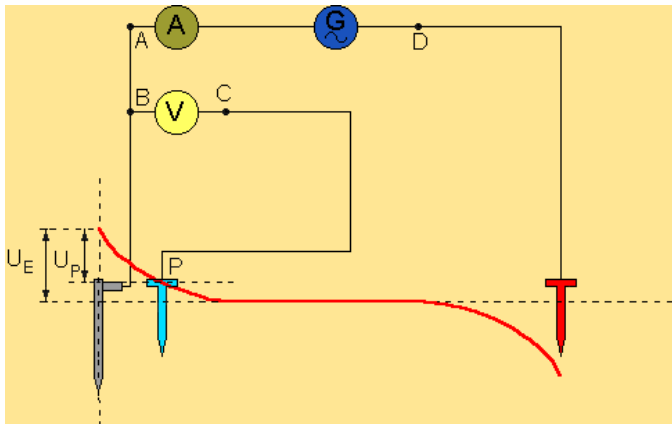


Fig. 31 - La sonda di tensione è infissa in un punto del terreno troppo vicino al dispersore in misura. Il voltmetro misura solo una parte della tensione totale di terra U_E . La misura fornisce un valore errato per difetto ($U_P < U_E$).

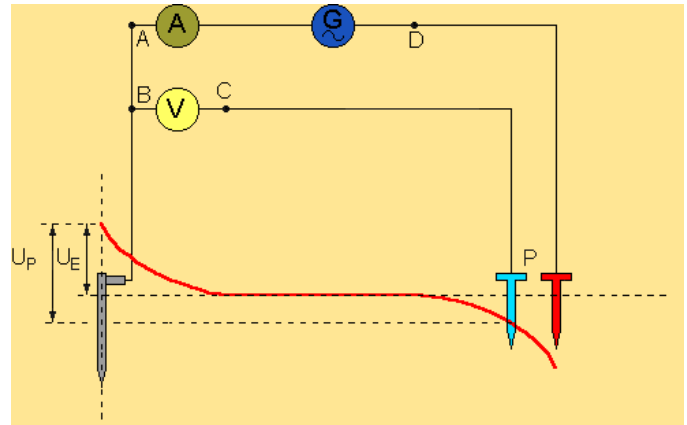


Fig. 32 - La sonda di tensione è infissa in un punto del terreno troppo vicino al dispersore ausiliario. Il voltmetro misura una tensione superiore alla tensione totale di terra U_E . La misura fornisce un valore errato per eccesso ($U_P > U_E$).

Solo se i dispersori sono posizionati al di fuori delle reciproche influenze (fig. 33) la misura può ritenersi affidabile.

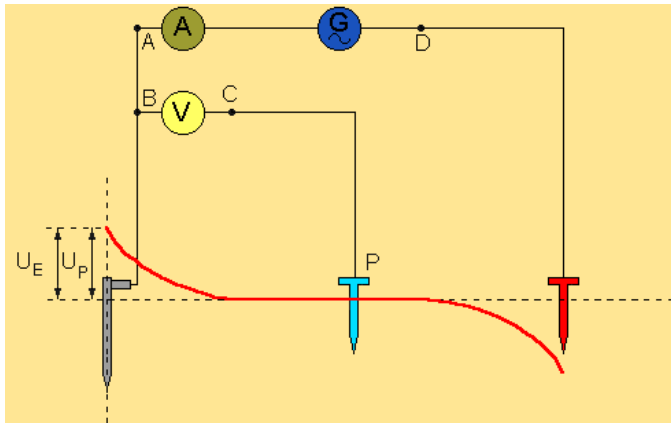


Fig. 33 - Il dispersore in misura e il dispersore ausiliario sono sufficientemente lontani e la sonda di tensione è posizionata correttamente in un punto a potenziale zero. Il voltmetro misura la tensione totale di terra U_E e la misura può ritenersi corretta ($U_P = U_E$).

Nei casi dubbi è possibile, invertendo il collegamento voltmetrico (in fig. 34 invertendo il collegamento B - A con B - D), misurare la resistenza del dispersore ausiliario per confrontare il valore misurato con quello teorico calcolato. Se la misura non è molto diversa dal valore di resistenza calcolato che ci si aspettava la misura può ritenersi corretta.

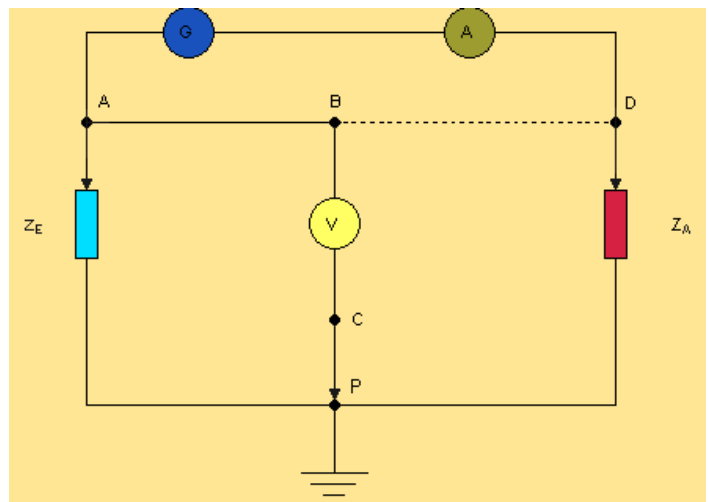


Fig. 34 - Circuito equivalente di misura della resistenza di terra col metodo voltamperometrico

La misura può essere effettuata anche con strumenti portatili, a tre o quattro morsetti dotati di generatore interno, che forniscono direttamente i valori della resistenza di terra. Lo schema di collegamento può essere quello di figura 35 o di figura 36. Nel primo caso lo strumento rileva anche la caduta di tensione sul conduttore che collega il dispersore in misura. Di questo bisogna tener conto quando la resistenza del dispersore è dello stesso ordine di grandezza di quella del conduttore di collegamento. Nel secondo caso la resistenza dei conduttori non influisce sul valore misurato della resistenza di terra essendo il circuito voltmetrico indipendente da quello amperometrico.

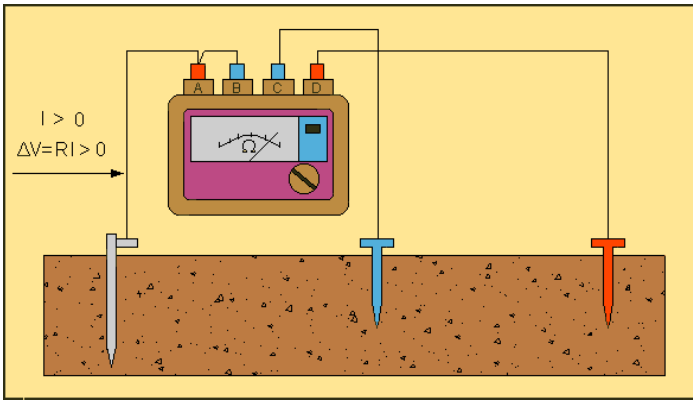


Fig. 35 - Se la resistenza di terra e la resistenza del conduttore di collegamento al dispersore in prova hanno lo stesso ordine di grandezza la misura deve tener conto della caduta di tensione su tale conduttore di collegamento.

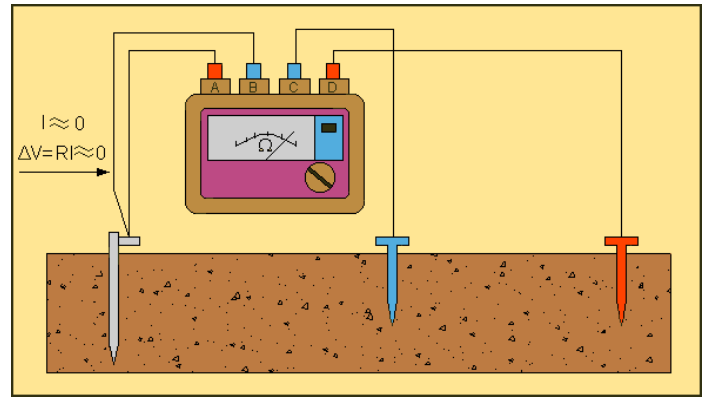


Fig. 36 - Se il circuito amperometrico e quello voltmetrico sono separati la misura della resistenza di terra non comprende la resistenza sui conduttori di collegamento.

In alcune situazioni di difficile operatività e quando è necessario effettuare rilievi preliminari della resistenza di terra (il metodo può rivelarsi affetto da considerevoli errori anche se a favore della sicurezza) si può optare per il metodo dei due punti. Se nei pressi del dispersore in prova è possibile usufruire di un dispersore ausiliario a resistenza trascurabile, facendo attraversare il circuito da una corrente alternata (fig. 3.37) è possibile applicando la legge di ohm determinare un valore di resistenza che è la somma delle resistenza dei due dispersori. La misura può essere considerata attendibile solo se la resistenza del dispersore ausiliario è trascurabile rispetto a quella del dispersore in prova; ad esempio un dispersore in prova poco esteso (uno o due picchetti) ed una tubazione idrica interrata ed estesa.

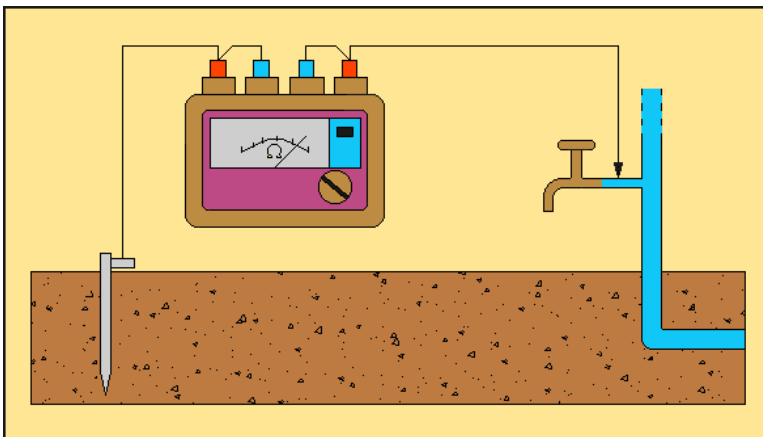


Fig. 37 - Misura della resistenza di terra col metodo del dispersore ausiliario a resistenza trascurabile (metodo dei due punti) .