10/07/2018

Battistotti Giancarlo
- Responsabile tecnico per le verifiche impianti di terra secondo DPR 462 del 22/10/2001
- Docente “sicurezza lavori elettrici Norma CEI 11-27 “ presso ***QSA*** - Trento

Impianto elettrico di terra e misure relative.

Premessa.

Come molti sanno “ mettere a terra”, nel gergo elettrotecnico vuole dire collegare un punto di un sistema elettrico alla massa terrestre attraverso un opportuno dispositivo detto “dispersore”.
Tale dispersore deve presentare nei punti di collegamento al terreno la più bassa resistenza possibile, inoltre tale resistenza non deve subire grandi variazioni nel corso del tempo.
La realizzazione a Norma di un impianto di terra efficiente comporta l'utilizzo di materiali (sopratutto per la parte interrata) che mantengano le loro caratteristiche nel tempo, cioè che non subiscano repentini fenomeni di degrado quali la **rottura** per effetti dovuti scavi oppure a forti correnti impulsive e fenomeni più lenti quali la **corrosione**, che può essere di origine **interna** per l'errata scelta e posa dei materiali oppure di origine **esterna** per la zona nella quale l'impianto è stato realizzato.
Detto questo sappiamo che *“nulla è per sempre”* quindi anche il miglior impianto di terra è destinato a degradare con il passare degli anni, per questo sono previste le verifiche periodiche degli impianti di terra, tali verifiche saranno sostanzialmente : *a)* la misura ogni due o cinque anni del valore della resistenza di terra, permettendo così di capirne l'evoluzione e controllarne l'efficienza ;
b) la verifica della continuità elettrica dei conduttori di protezione e dei conduttori per l'equipotenzialità.
In queste poche righe cerco di spiegare nella maniera più semplice il funzionamento di un impianto di terra per quanto riguarda i **dispersori** interagenti con il terreno e i fenomeni elettrici che ne derivano.
Vedremo quali sono le misure da eseguire per valutare l'efficienza di un impianto di terra e gli errori nel quale il verificatore può incorrere nell'eseguire tali misure, verrà chiarito il concetto di ”flesso” sul quale posizionare i picchetti di tensione , verranno inoltre descritti altri metodi, oltre a quello classico detto **voltamperometrico** o della **caduta di tensione.**

Componenti.

Iniziamo con il definire le parti essenziali costituenti un impianto di terra, esse sono :

1. **Dispersore artificiale (DA)** corpo metallico, solitamente in Cu oppure in FeZn, in intimo contatto con il terreno, può essere formato da corde, piastre, nastri, picchetti di varie forme esso costituisce una parte importantissima dell'impianto di terra e serve a “disperdere” le correnti nel terreno in **maniera intenzionale**, cioè viene utilizzato proprio per questo scopo.

2. **Dispersore di fatto (DN)** è costituito da vari elementi metallici, che pur non essendo stati costruiti per disperdere la corrente nel terreno si comportano come ottimi dispersori, sono dispersori di fatto : i ferri d'armatura del calcestruzzo , tubi metallici della rete idrica, pilastri e tralicci metallici..eccetera.

3. **Conduttore di terra (CT)** collega tra loro i vari dispersori ed **collettore di terra**,

solitamente è un conduttore nudo a contatto con il terreno e contribuisce anch'esso alla dispersione delle correnti.

4. **Collettore o nodo principale di terra (BTH)** è un elemento metallico (sbarra in rame stagnato o no) perforata in più punti allo scopo di imbullonare i conduttori di terra, i conduttori di protezione (PE) rigorosamente di colore giallo verde, i conduttori equipotenziali ed eventualmente il centro stella BT del trasformatore (sistema TN-S , oppure trasformatori cabine secondarie enti distributori)

5. **Conduttori di protezione (PE)** per il collegamento delle masse e masse estranee **(EQS** conduttori equipotenziali supplementari**)** al collettore di terra.

6. **Conduttori equipotenziali principali (EQP)** per il collegamento delle masse estranee al collettore di terra.

In questo primo articolo ci occuperemo unicamente dei dispersori e della loro funzione interagendo con il terreno **,** nonché come anticipato delle misure da eseguire per valutare la bontà impianto di terra.

Dispersori.

Il dispersore è il componente metallico fondamentale dell'impianto di terra, può avere più forme (picchetto a croce, piastra , nastro , tondino , corda ecc.) ed i metalli che lo costituiscono sono fondamentalmente rame e ferro zincato , tali dispersori sono detti **"intenzionali"** poiché il loro unico scopo è proprio quello di "disperdere" la corrente attraverso il terreno.

Funzionamento dei dispersori.

Se una corrente viene inviata nel terreno attraverso due elettrodi emisferici posti ad una certa distanza tra loro ed ammettendo che il terreno sia isotropo, cioè che abbia la stessa resistività in ogni punto avremo la seguente situazione : vedi Fig.1

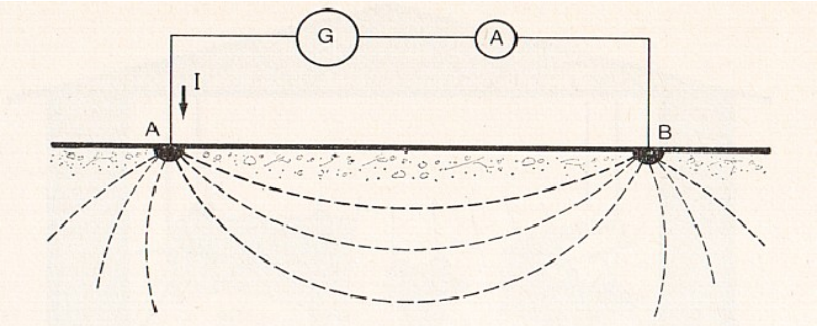


Fig.1

Come si può notare la corrente circolando tra i due elettrodi interessa il terreno in **ogni direzione**, quindi mentre nelle immediate vicinanze ed a contatto dell'elettrodo la sezione di terreno interessata sarà modesta, allontanandomi dall'elettrodo tale sezione, come vedremo in seguito, aumenterà con il quadrato della distanza dall'elettrodo stesso.

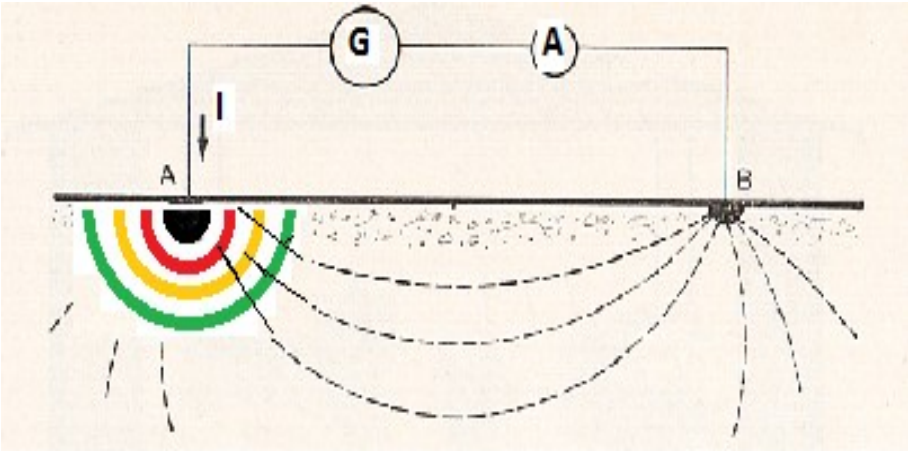


Fig.2

Come vediamo in Fig.2 la massima resistenza è nella zona rossa dove la sezione del terreno è piccola, poi diminuisce progressivamente nella zona gialla e nella zona verde ed in quest'ultima è pressoché nulla. Ovviamente gli stessi fenomeni si verificano nell'elettrodo B.

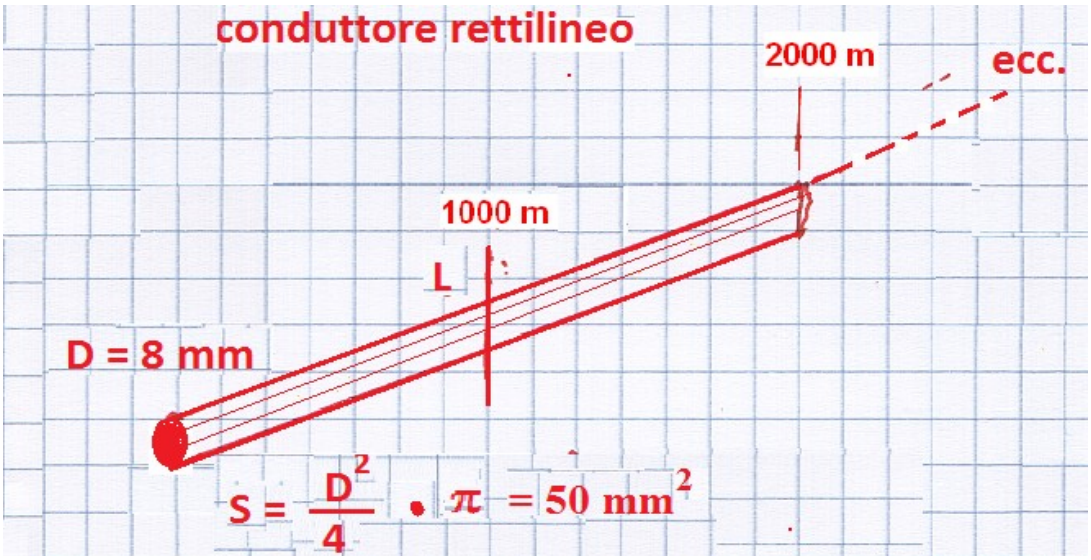


Fig. 3

La nostra abitudine è quella di considerare la resistenza di un conduttore di **sezione costante e di lunghezza variabile**, per cui come in Fig. 3 , un conduttore di rame avente una sezione di 50 mm2 avrà una resistenza (a 20°C con resistività **ρ** del rame pari a 0,0176 Ω cm) di :

R = ρ . L / S , quindi per mille metri di lunghezza avremo una resistenza di 0,352 Ω , per 1500 m 0,528 Ω , per 2000 m 0,704 Ω ….e così via.

Completamente diversa risulta invece la situazione relativa ad un dispersore infisso nel terreno.

Infatti partendo dal dispersore *(poniamo di forma emisferica per facilitare la comprensione)* ed allontanandomi da esso,come possiamo constatare la sezione in questo caso aumenta con il quadrato della distanza dal dispersore .

Seguiamo infatti il seguente ragionamento:

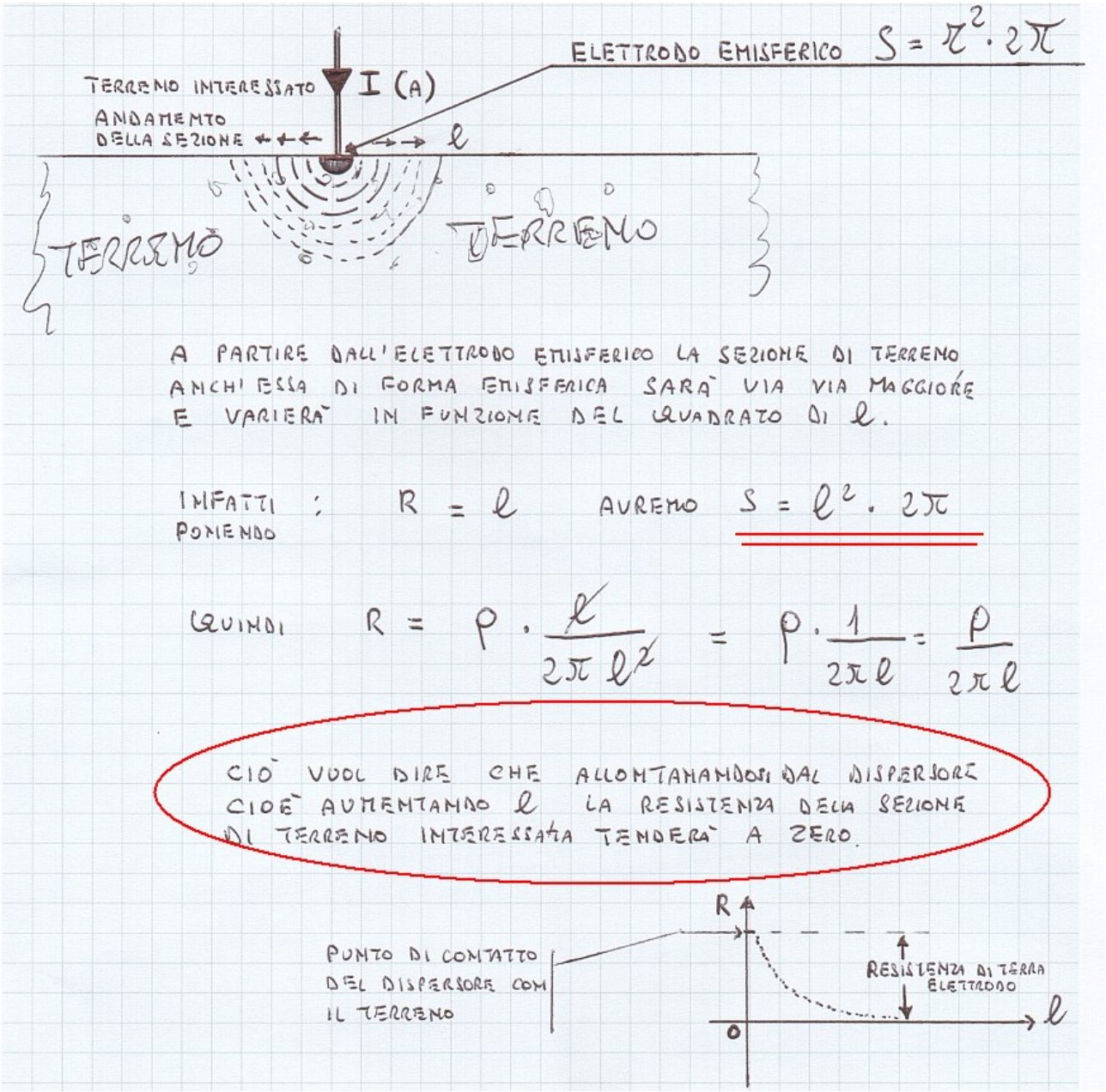


Fig.4

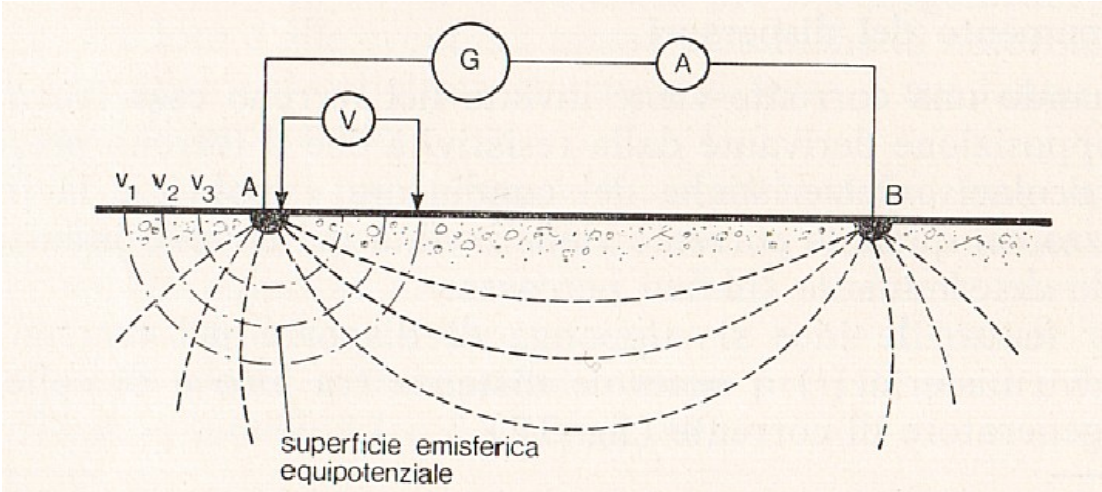


Fig.5

Sempre ricordando che abbiamo considerato la resistività del terreno omogenea, *se con un voltmetro misuro le differenze di potenziale tra l'elettrodo ed il terreno circostante* percorso da corrente scoprirò i seguenti fenomeni, fondamentali per la comprensione del funzionamento dei dispersori :

1. si rilevano delle linee circolari equipotenziali , cioè si presenterà la stessa tensione verso l'elettrodo sulla medesima linea circolare.
2. Mantenendo le stesse distanze tra le linee equipotenziali la tensione misurata tra l'elettrodo A ed il punto V3 sarà maggiore di quella misurata tra il punto V3 e V2 la quale sarà maggiore della tensione V2 – V1....e così via..
3. la massima caduta di tensione si avrà tra l'elettrodo A ed un punto sufficientemente lontano dall'elettrodo e sarà data dalla somma delle singole cadute di tensione V(A-V3) + V(V3-V2) + V (V2-V1).....eccetera.

La tensione misurata tra il punto della zona più lontana (V1) ed il dispersore A viene definita tensione totale di terra dispersore A (Vt) . Logicamente ci sarà una tensione totale di terra anche per il dispersore B , come si può vedere la somma di queste due tensioni danno la tensione fornita dal generatore G.
Si conclude quindi che quando una corrente percorre il terreno tra i due dispersori provoca passando i successivi strati *una caduta di tensione mentre la densità di corrente che attraversa un'area unitaria decresce via via allontanandosi dal dispersore in quanto aumenta la superficie di terreno interessata dalla corrente*, praticamente possiamo immaginare il terreno tra i dispersori composto **da tante resistenze poste in serie di valore sempre più piccolo allontanandosi dal dispersore.**

Considerato quanto esposto possiamo immaginare la resistenza di terra di un dispersore nella maniera seguente :

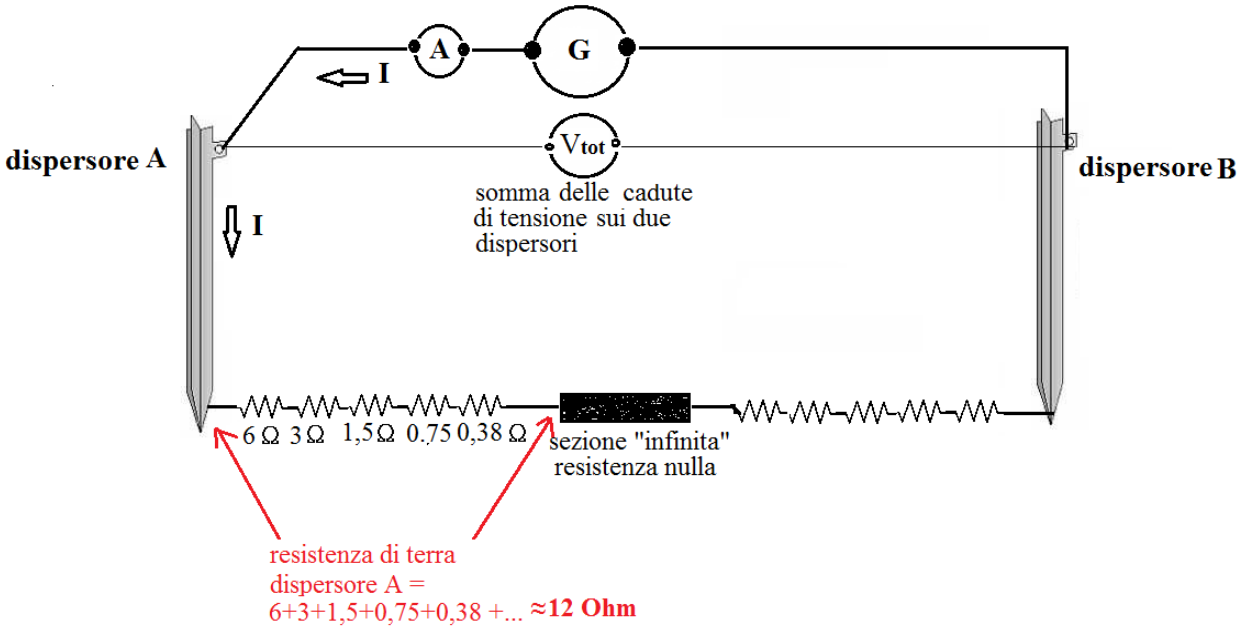


Fig.6

analoga situazione si verificherà sul dispersore B, possiamo subito notare che se le caratteristiche del terreno, la forma del dispersore e la superficie di contatto con il terreno sono uguali anche la resistenza risulta uguale a quella del dispersore A.

Nella seguente figura 7 possiamo vedere il comportamento di due dispersori lontani uno dall'altro, cioè non interferenti tra di loro, ognuno svolge al pieno la sua funzione. Una regola pratica per dispersori a picchetto di lunghezza 1 – 2 metri, in un terreno di media resistività (100 – 500 Ω/m) è quella di tenerli distanti tra loro almeno a **8-10 volte la loro lunghezza,** per esempio due picchetti della lunghezza di 1,5 m vanno tenuti almeno a 12–15 metri di distanza perché possano considerarsi in parallelo tra loro.
Il disegno della fig. 6 rappresenta quanto avviene tra i due dispersori nella tratto contrapposto più breve ma è evidente che questo stesso fenomeno avviene in tutte le direzioni (360°) dal dispersore

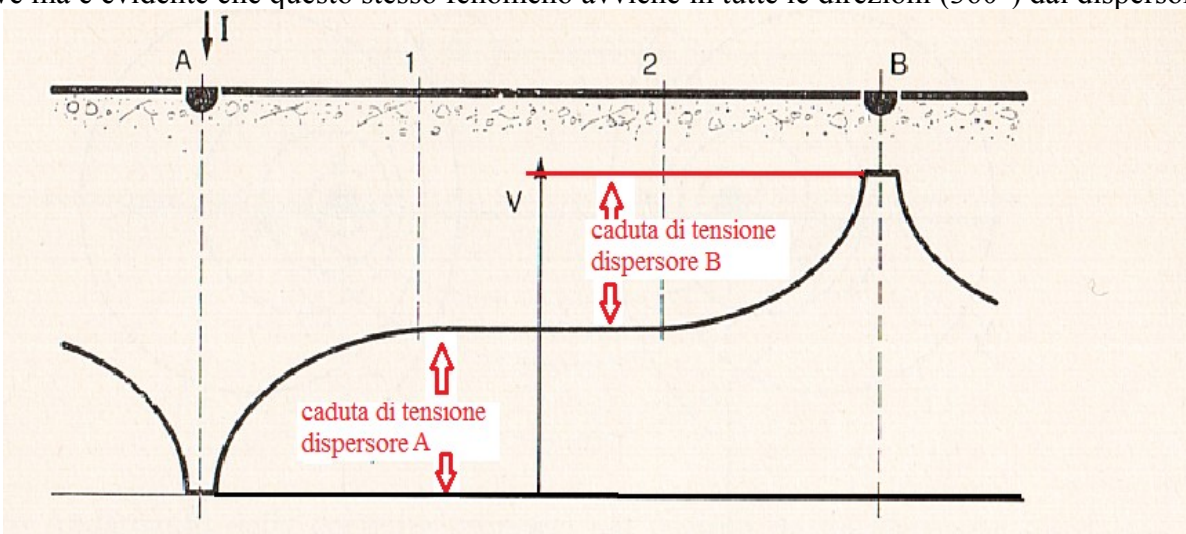


Fig.7

MISURA DELLA RESISTENZA ELETTRICA DELL'IMPIANTO DI TERRA
(metodo della caduta di tensione, voltamperometrico)

Per misurare la resistenza di terra del dispersore A è quindi sufficiente far circolare una corrente tra i due dispersori, misurare con un voltmetro la tensione tra il dispersore A ed un elettrodo di prova infisso nel terreno nella zona 1-2 della figura 7 (tale zona corrisponde alla sezione "infinita resistenza nulla " della figura 6 tecnicamente definita "**flesso**") la resistenza di terra A sarà senz'altro :

$$RA = Vup / I A$$

La figura seguente mostra nella sua essenzialità il circuito di misura descritto :

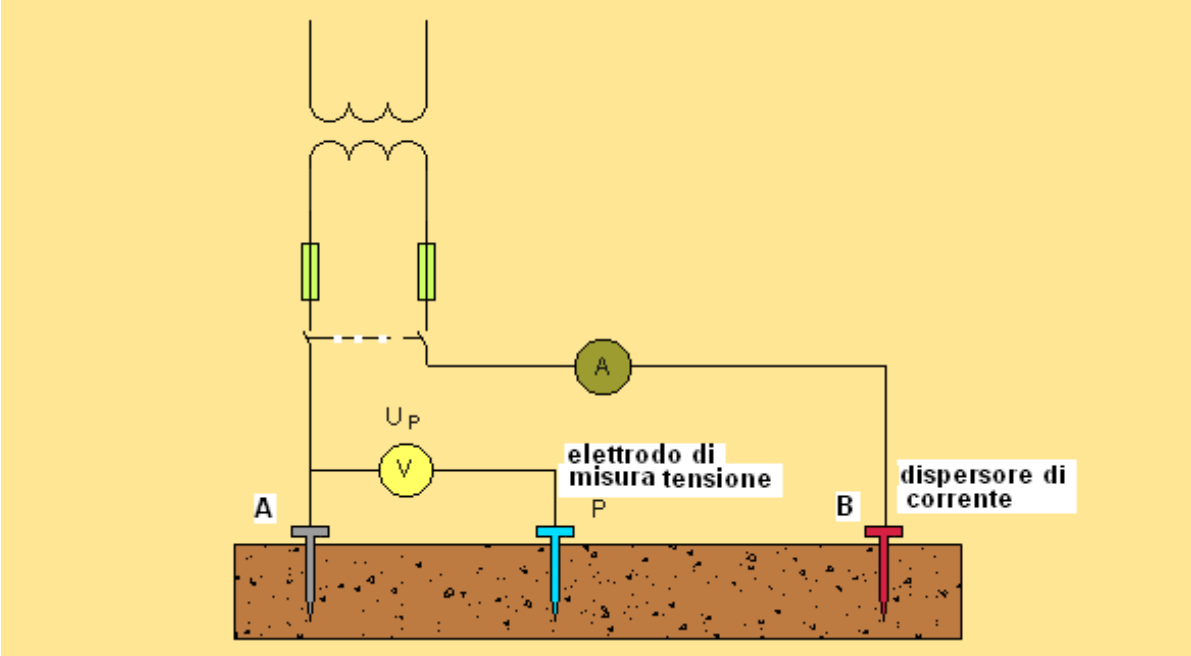


Fig.8

Nota importante : Questo metodo di misura chiamato " della caduta di tensione " è valido per tutti i tipi di dispersori, anche di grandi dimensioni, dove i dispersori di prova (sonde) devono essere posti anche a distanze di km dal dispersore soggetto alla misura, questo è il metodo di gran lunga più utilizzato. Uno dei gravi errori che vengono commessi in questo tipo di misura è quello di posizionare l' elettrodo di misura tensione (sonda di tensione) troppo vicina al punto A , cioè tornando alla figura 7. nel bel mezzo della serie di resistenze , **misureremo una caduta di tensione inferiore a quella reale ed otterremo un valore di resistenza inferiore e quindi a scapito della sicurezza !** Altro errore, meno grave ma comunque da evitare è quello di posizionare la sonda di tensione troppo vicino al dispersore B , in questo caso la misura della resistenza risulterebbe maggiore del reale valore.

NOTE :

1. La tensione da applicare per la prova è alternata 50 Hz (Norma CEI 64-14)

2. Durante la misura fare molta attenzione alle tubature metalliche interrate, alle linee elettriche con funi di guardia, ai fili metallici dei frutteti ecc. Tali elementi infatti possono falsare in maniera **enorme** il risultato della misura.

Per questo tipo di misura esistono degli stumenti detti “MULTIFUNZIONE” , vorrei far notare che in commercio ci sono innumerevoli aziende costruttrici di tali strumenti *ma solo alcune di esse producono degli strumenti veramente affidabili e con un basso margine di errore.*

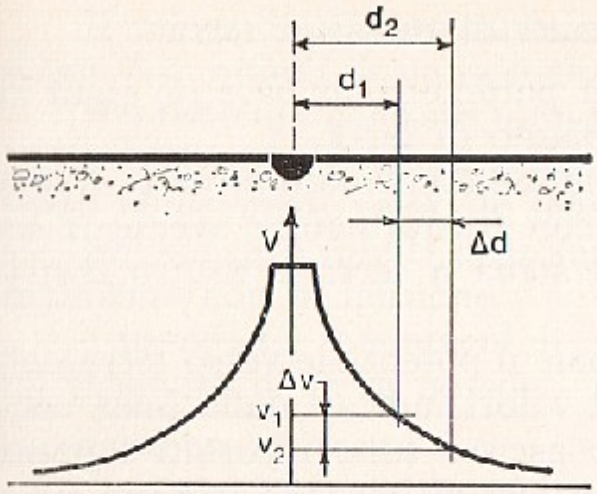
In ogni caso questi strumenti vanno benissimo per la misura di **medio-piccoli impianti di terra,** qualora però ci trovassimo ad eseguire la misura su un impianto molto esteso od in sistemi elettrici di II o III categoria (MT – AT) occorre eseguire la prova con delle tensioni e correnti significative che tali strumenti non son in grado di erogare, infatti la Norma CEI 64-14 per misure di dispersori di grandi dimensioni, **a pagina 30 di 110 recita testualmente :** *“ Per evitare di commettere errori significativi quando si misura un dispersore con valore di resistenza di terra **molto basso** si consiglia di adottare le seguenti indicazioni :*

- *utilizzo di apparecchiature o strumenti **con elevata corrente di prova (alcuni A)** per evitare l'influenza **dei disturbi di origine elettromagnetica e**, quindi, per aumentare l'attendibilità della lettura della tensione;*
- *collegamento a quattro fili per eliminare l'errore operativo di collegamento*

Questa tecnica di misura , riportata in Fig. 2.5a, è quella da preferire nel caso di misure di un dispersore associato a sistemi elettrici di II (MT) e di III (AT) categoria.
In questo caso la corrente di prova , deve avere un valore significativo.

*E' prassi consolidata degli organismi di controllo, per analogia con quanto richiesto per la misura delle tensioni di contatto e di passo (2.3.2,5), che tale valore non sia inferiore possibilmente al 1% di quella di terra , con un minimo **di 5 A** per sistemi a neutro isolato (MT) ed **a 50 A** per sistemi (AT) con neutro a terra.”*

Gradiente di potenziale nel terreno.



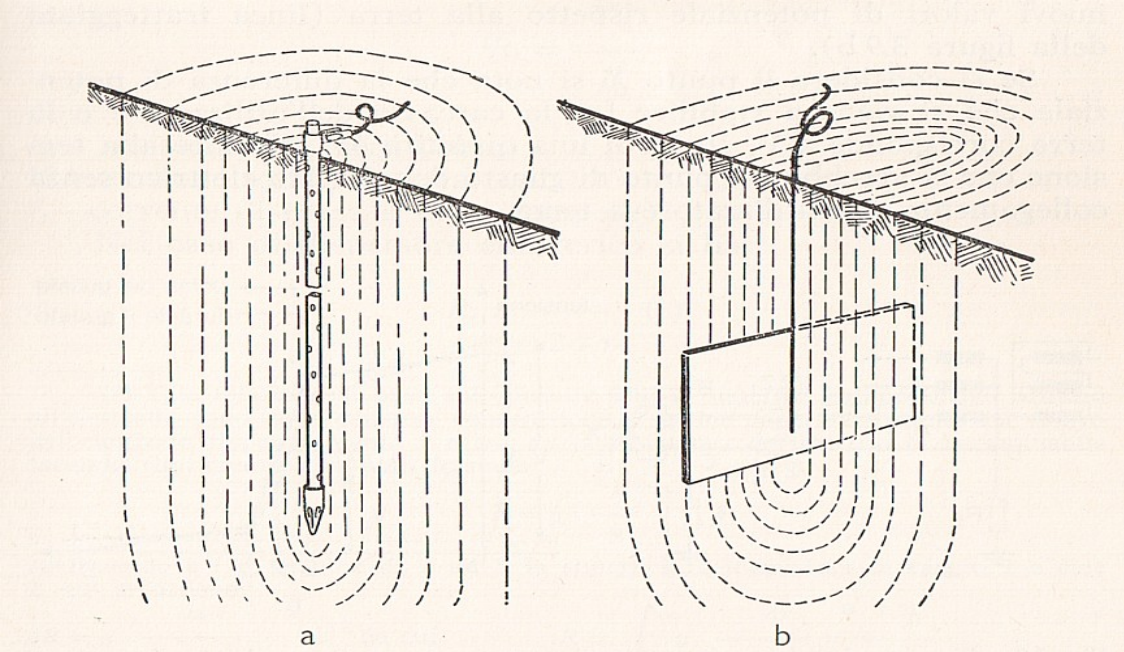
Il gradiente di potenziale è definito dal rapporto fra la variazione di potenziale Δv (incremento di potenziale) e la variazione corrispondente della distanza dallo spandente Δd (incremento della distanza).

$$\frac{v_1 - v_2}{d_2 - d_1} = \frac{\Delta v}{\Delta d}$$

Tale rapporto che prende il nome di *gradiente di potenziale* si misura in volt/metro o volt/centimetro.

Per quanto riguarda l'area di influenza dell'elettrodo, questa dipende dalla forma del dispersore, dalla sua profondità di infissione e dalla natura del terreno NOTA: tensione di passo e di contatto

L'andamento del gradiente nei primissimi metri dipende anche dalla forma del dispersore :



- Esempio di superfici equipotenziali relative a dispersore a picchetto (a) e a piastra (b).

Fig.10

Il terreno.

Finora abbiamo considerato per semplicità d'esposizione il terreno isotropo, in realtà il terreno presenta caratteristiche diverse e complesse, dipendenti dalla sua natura come vedremo in seguito e dalle modificazioni introdotte dall'uomo con le varie strutture metalliche interrate.

Costituzione del terreno

Presupposto fondamentale per la progettazione di un impianto di messa a terra è la conoscenza della resistività del terreno nel quale dovranno essere posati i dispersori. Questa dipende dalla natura chimica, dall'umidità presente, dalla temperatura e da un numeroso complesso di cause più o meno legate fra di loro.

La costituzione chimica del terreno, le qualità e le quantità dei sali in esso contenuti possono influenzare in modo notevole la sua resistività.

I terreni di natura argillosa con uno spesso strato superficiale di humus sono quelli che presentano le più basse resistività e sono meno soggetti a variazioni di resistività nel tempo.

Terreni sabbiosi, ghiaiosi e rocciosi presentano resistività*molto elevate, inoltre variano in maniera notevole nel tempo le proprie caratteristiche, in funzione degli agenti atmosferici.
Nella seguente tabella di fig.11 vediamo orientativamente i valori di resistività* dei più importanti materiali che formano il terreno.

Si noterà la grande estensione della gamma dei valori che si possono incontrare.
In taluni casi alcuni materiali hanno un valore talmente alto di resistività che risulta praticamente impossibile realizzare un impianto di terra.
Per rendere l'idea del differente costo economico, se si realizzasse un impianto di terra del valore di 5Ω con il tipo di terreno relativo al punto A della seguente tabella utilizzeremo ***2*** *dispersori a picchetto, lunghi 1m, in parallelo tra loro mentre per realizzare il medesimo impianto con il tipo di terreno descritto al punto B ci serviranno ben* ***20*** *identici dispersori !*

Nota*

- Si ricorda che la resistività è una grandezza tipica del materiale, inoltre è una grandezza ottenuta dalla associazione di una grandezza concreta elettrica (resistenza) con la grandezza concreta esprimente la dimensione lineare (lunghezza), si misura quindi in Ω x cm oppure in Ω x m .

Resistività di alcuni materiali che interessano le installazioni di terra

Materiali	Resistività ρ ($\Omega \cdot m$)
Graniti compatti, gneiss	$10^6 \div 10^7$
Sieniti, dioriti, gneiss dioritici	$10^3 \div 10^6$
Rocce compatte, cemento ordinario	10^6
Carbone	$10^5 \div 10^6$
Rocce madri, basalti, diabasi	10^4
Sabbia fine secca	10^3
Sabbia, ghiaia molto umida **B**	10^2
Gabbri	$10^2 \div 10^3$
Marne, torbe, humus (molto secchi)	10^2
Marne, torbe, humus (umidi) **A**	10
Argille ferrose, piritose	10
Acqua di mare	1
Soluzioni saline	$0{,}1 \div 0{,}01$
Minerali conduttori	0,01
Grafite	0,0001

Fig.11

Umidità e temperatura.

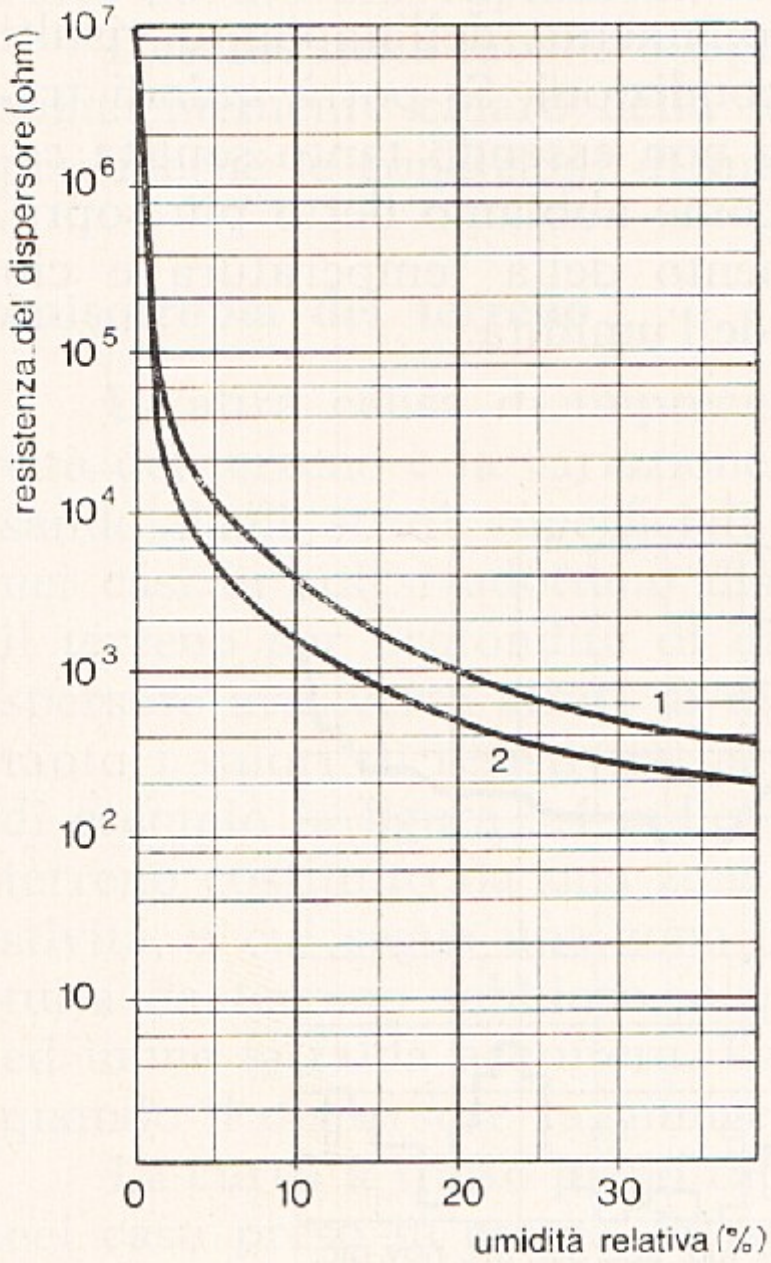
La resistività del terreno è influenzata fortemente dall'umidità ed in maniera inferiore dalla temperatura,
la resistività diminuisce con l'aumento dell'umidità e con l'aumento della temperatura

Tutti sappiamo che il terreno bagnato conduce meglio la corrente elettrica, infatti in tema di sicurezza elettrica il rischio nei lavori elettrici aumenta notevolmente quando poggiamo i piedi su terreno bagnato.
Ma perché accade questo ? Sappiamo che nella classificazione della fisica dei vari tipi di conduttori esistono questi due tipi :

1. CONDUTTORI DI PRIMA SPECIE : appartengono a questa categoria tutti i metalli.

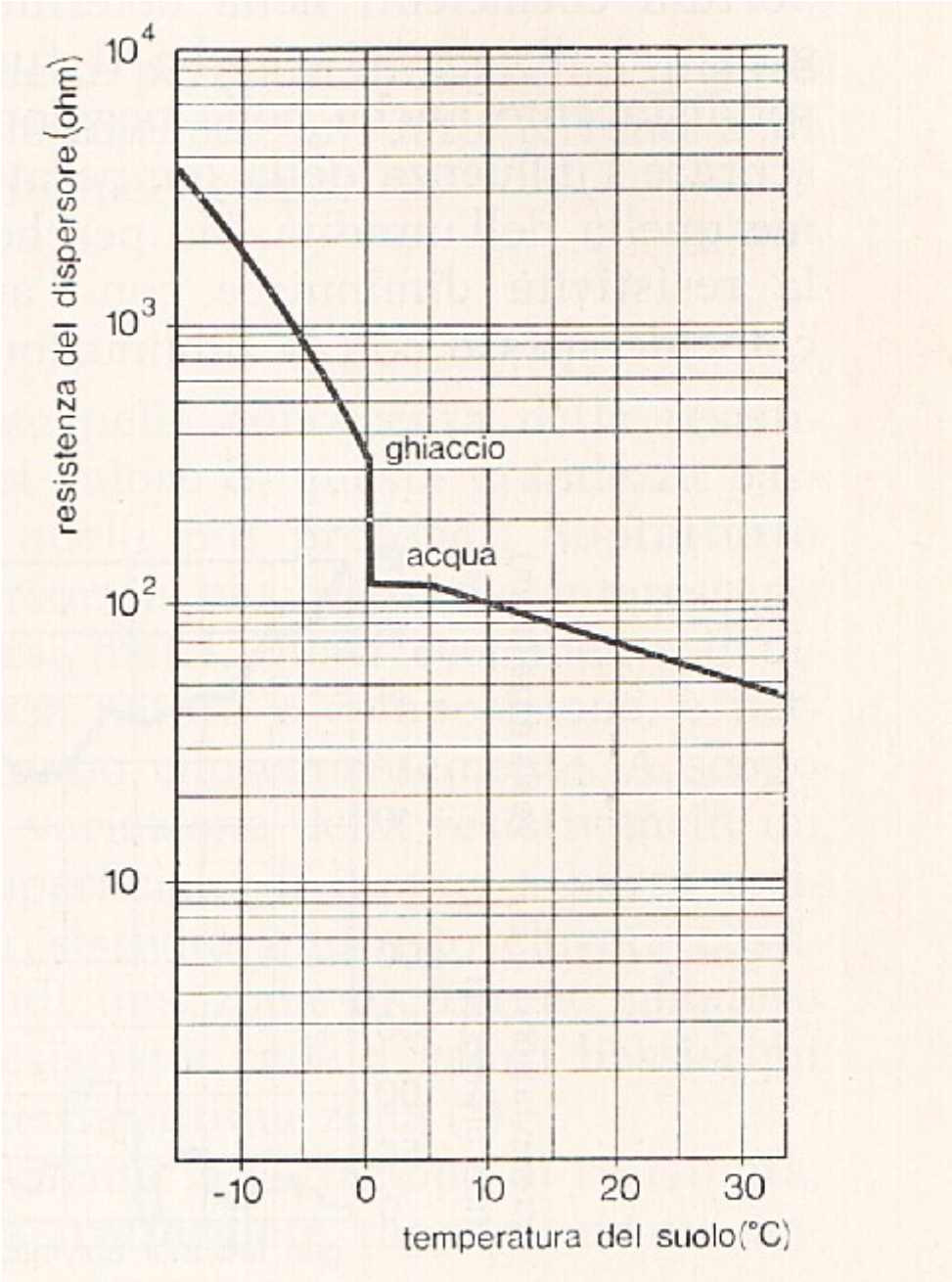
2. CONDUTTORI DI SECONDA SPECIE : appartengono a questa categoria tutte le **soluzioni elettrolitiche.**

Si ricorda che dal punto di vista macroscopico la conduzione della corrente ionica in soluzione è uguale alla conduzione di elettricità attraverso un metallo. Prendono il nome di elettroliti **tutte** le sostanze dissociabili in ioni. Sono quindi elettroliti gli acidi, le basi , ed i sali.
Le soluzioni acquose di elettroliti sono soluzioni elettrolitiche, **il fango ed il terreno bagnato rientrano tra questi.**



- Variazione della resistenza complessiva di un ipotetico dispersore in funzione dell'umidità del terreno.

3. Fig.12



- Variazione della resistenza complessiva di un ipotetico dispersore in funzione della temperatura del terreno.

Fig.13

Come si può vedere da questi grafici, oltre il fatto che è consigliabile un terreno umido, bisogna assolutamente evitare di porre il dispersore (anello in nastro Fe/Zn o corda in Cu) troppo in superficie dove il terreno ,soprattutto alle nostre latitudini ,ghiaccia per tutto il periodo invernale.
Ottima cosa è quella di utilizzare in parallelo ai dispersori intenzionali quelli "**di fatto** " come i ferri d'armatura posti nelle fondamenta della costruzione, quindi in zone normalmente sempre umide e **mai ghiacciate.**

Nella seguente figura osserviamo come varia la resistenza di un ipotetico dispersore di terra , durante un anno. Nella parte bassa del grafico è riportato il diagramma delle precipitazioni atmosferiche in mm d'acqua. **Si noti l'influenza dell'umidità sulla resistività** e quindi sulla resistenza del dispersore.

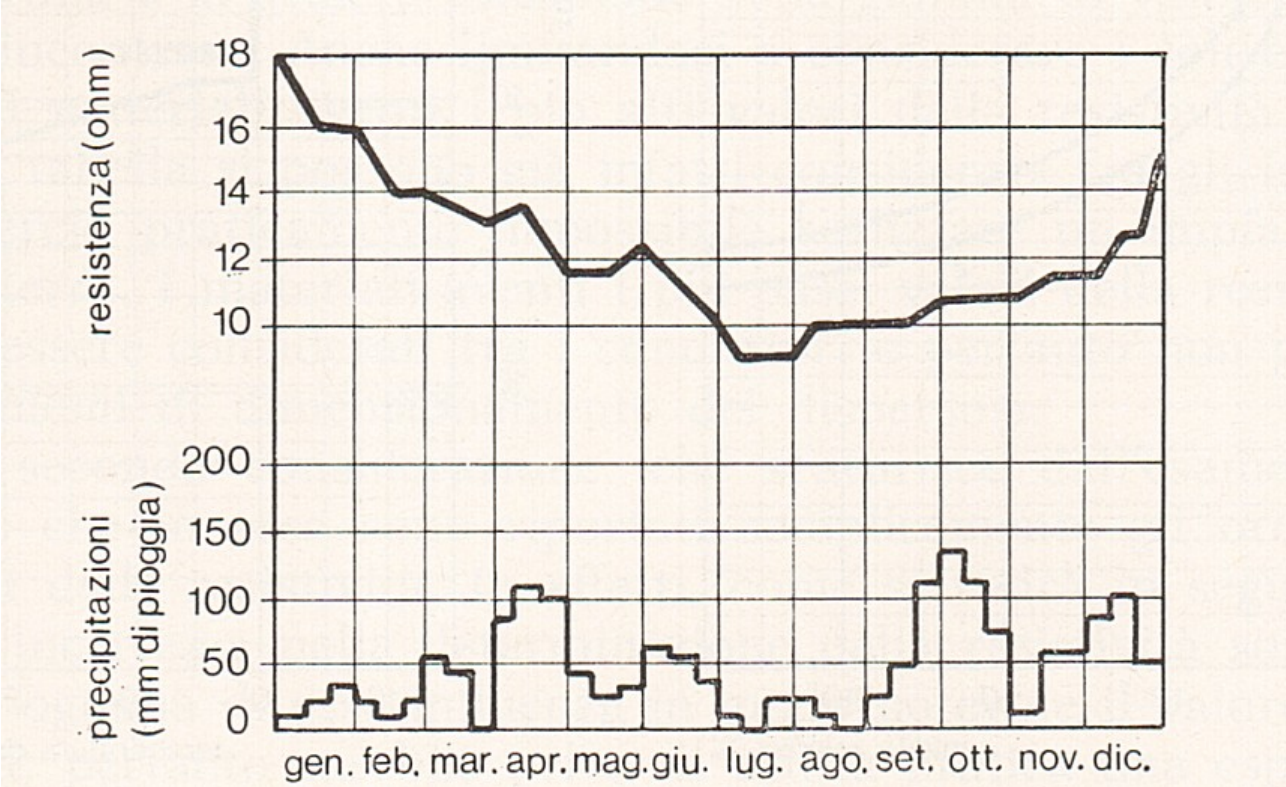


Fig.14

Considerata la **grande influenza dell'umidità** , è interessante studiare il fenomeno della permanenza dell'acqua nel terreno , nella seguente tabella di Fig. 15 abbiamo un quadro dei due principali movimenti di acqua nel terreno, quello dall'alto verso il basso dovuto alla **infiltrazione** e quello dal basso verso l'alto dovuto alla **capillarità.**

Tipo di terreno	Movimento dall'alto verso il basso (infiltrazione)	Retenzione dell'acqua (infiltrazione)	Movimento dal basso verso l'alto (capillarità)	Altezza di terreno influenzata dal fenomeno
Humus	rapida	ottima	normale	piccola
Sabbia	normale	molto	rapida	media
Creta	lenta	poco	lenta	media
Argilla	lentissima	pochissima	lentissima	grande

Fig.15

Misura della resistività del terreno.

Determinazione della resistività del terreno col metodo dei quattro elettrodi in superficie (Wenner)

Per la misura della resistività del terreno relativo alle cabine indicate, si è utilizzato il metodo del Wenner,

cioè si sono infissi quattro picchetti metallici di opportuna lunghezza ed a uguali distanze l'uno dall'altro, nel terreno adiacente la cabina, il tutto come nel disegno seguente:

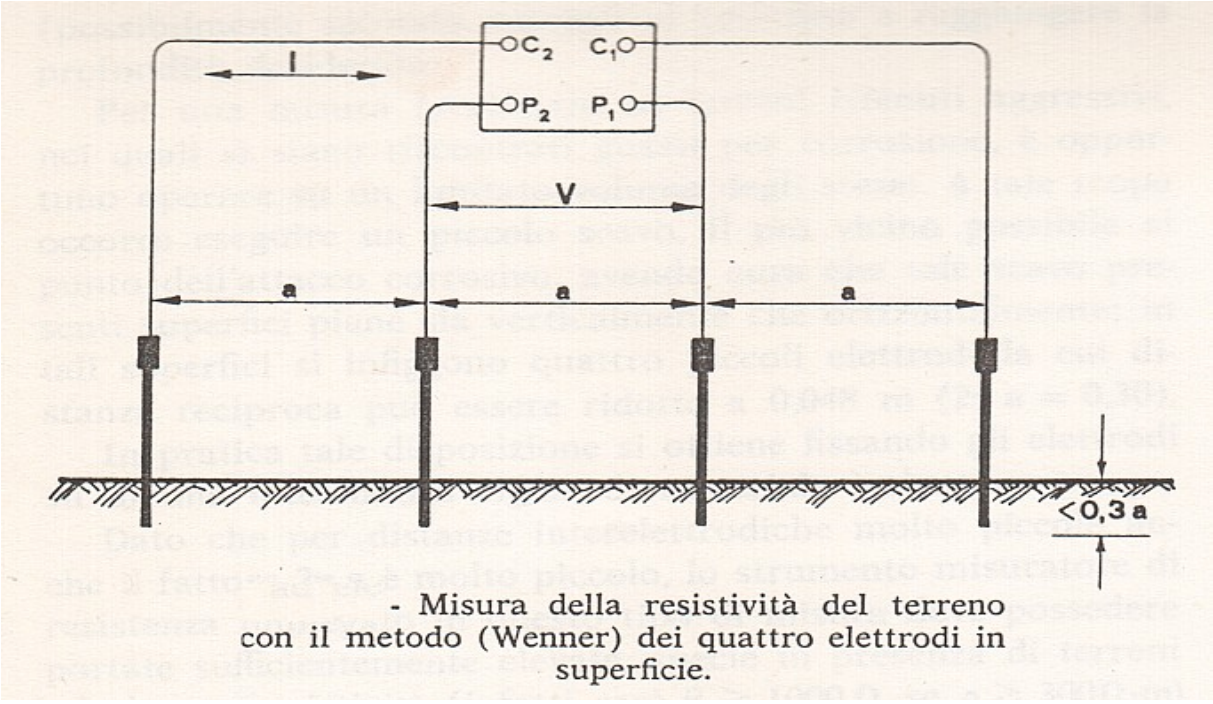


Fig.16

Alimentando con un generatore i due elettrodi più esterno facendo circolare una corrente significativa, e misurando la tensione tra i due elettrodi interni, la resistenza sarà senz'altro data da:

$$R = V/I$$

E per una distanza tra gli elettrodi di **a** metri, la resistività sarà :

$$\boldsymbol{\rho = 2\pi\ a\ R = (\Omega/m)}$$

<u>Nel nostro caso ho tenuto la distanza tra elettrodi **(a)** pari ad 1,6 metri, in modo di avere **2π a = 10**</u>

da cui risulta immediato ρ = 10 R.

Esempio di alcune misure eseguite nell'ottobre del 2004.

con una temperatura superficiale del terreno compresa tra i 16 ed i 20 °C, i valori della resistività riscontrati in alcune zone delle Valli del Chiese e della Rendena , per i terreni adiacenti le cabine secondarie MT finora misurati sono stati i seguenti:

1. Opera di presa Arnò = 400 Ω/m
2. Bellavista di Breguzzo = 610 Ω/m
3. Bondo = 230 Ω/m
4. Saone di Tione = 315 Ω/m
5. Ragoli nuova = 330 Ω/m
6. Aldrighetti = 880 Ω/m
7. Malga Nambrone = 820 Ω/m
8. Penasa= 410 Ω/m
9. Rio Bianco = 480 Ω/m

Altri metodi per la misura della resistenza di terra:

Metodo della differenza

Come abbiamo visto in precedenza il metodo più utilizzato per la misura della resistenza di terra è quello della caduta di tensione o voltamperometico.

Risulta evidente che se noi abbiamo nelle vicinanze , **ma oltre il flesso** cioè al di fuori dell'influenza del nostro impianto da misurare un impianto il cui valore di **resistenza è noto** sarà facile determinare per differenza quale sarà il valore dell'impianto da verificare, basterà infatti far circolare una corrente (Ip) tra i due impianti, misurare la tensione tra i due dispersori (Vdt) calcolare la resistenza totale (Rt) e ricavare per differenza con la resistenza nota dell'impianto (Rn) la mia resistenza (R) , cioè :

$$R = (Vdt / Ip) - Rn$$

Metodo dei tre punti

Supponiavo di avere tre (o più) impianti di terra non interferenti tra loro dei quali non conosciamo i valori, posti comunque "a portata di misura" *(a questo proposito vi confido che nel corso di ven'anni di queste misure ho percorso decine e decine di km a cercare flessi e terreni "buoni"...!)*

Chiamiamo questi 3 impianti di terra A – B – C dei quali noi dobbiamo trovare le resistenze RA ; RB ed RC

Sappiamo dall'algebra che per ricavare tre incognite serve un sistema con tre equazioni di primo grado , ricaveremo cioè con la misura tra le coppie di dispersori (come in presedenza) la resistenza totale e poi risolveremo il sistema di equazioni, cioè :

$$RA + RB = a$$
$$RA + RC = b$$
$$RB + RC = c$$

da cui moltiplicando per (– 1) la terza equazione avremo :

$$\mathbf{RA = (a + b - c) /2} \quad \textit{(1)}$$

quindi nota RA si ricavernno immediatamente i valori di RB ed RC,

Esempio :

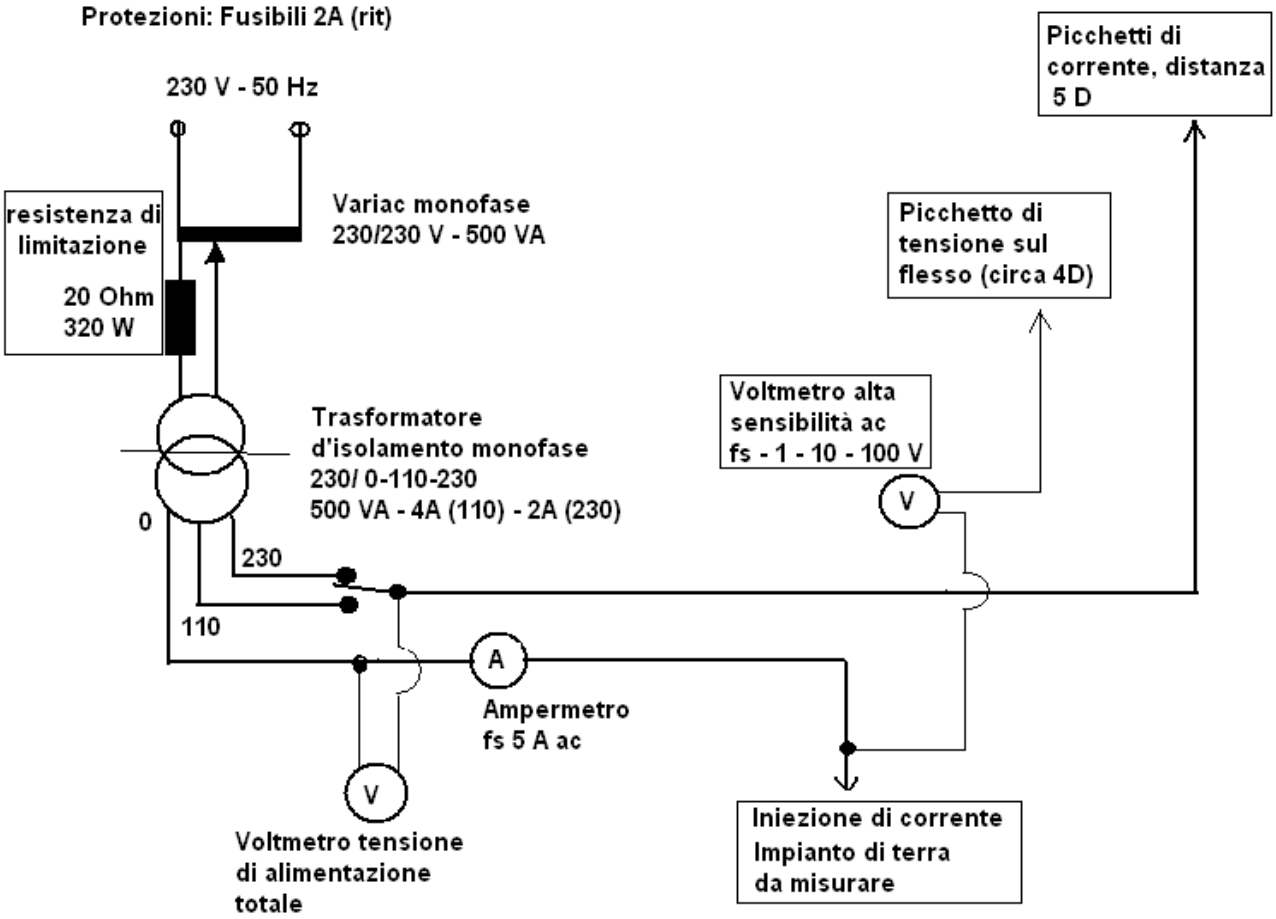
Dalle misure troviamo che : RA + RB = 10 Ω ; RA + RC = 18 Ω ;

RB + RC = 24 Ω ; dalla *(1)* avremo :

RA = (10 + 18 – 24) / 2 = 4/2 = 2 Ω da cui RB = 10 – 2 = 8 Ω e per ultimo RC = 18 – 2 = 16 Ω

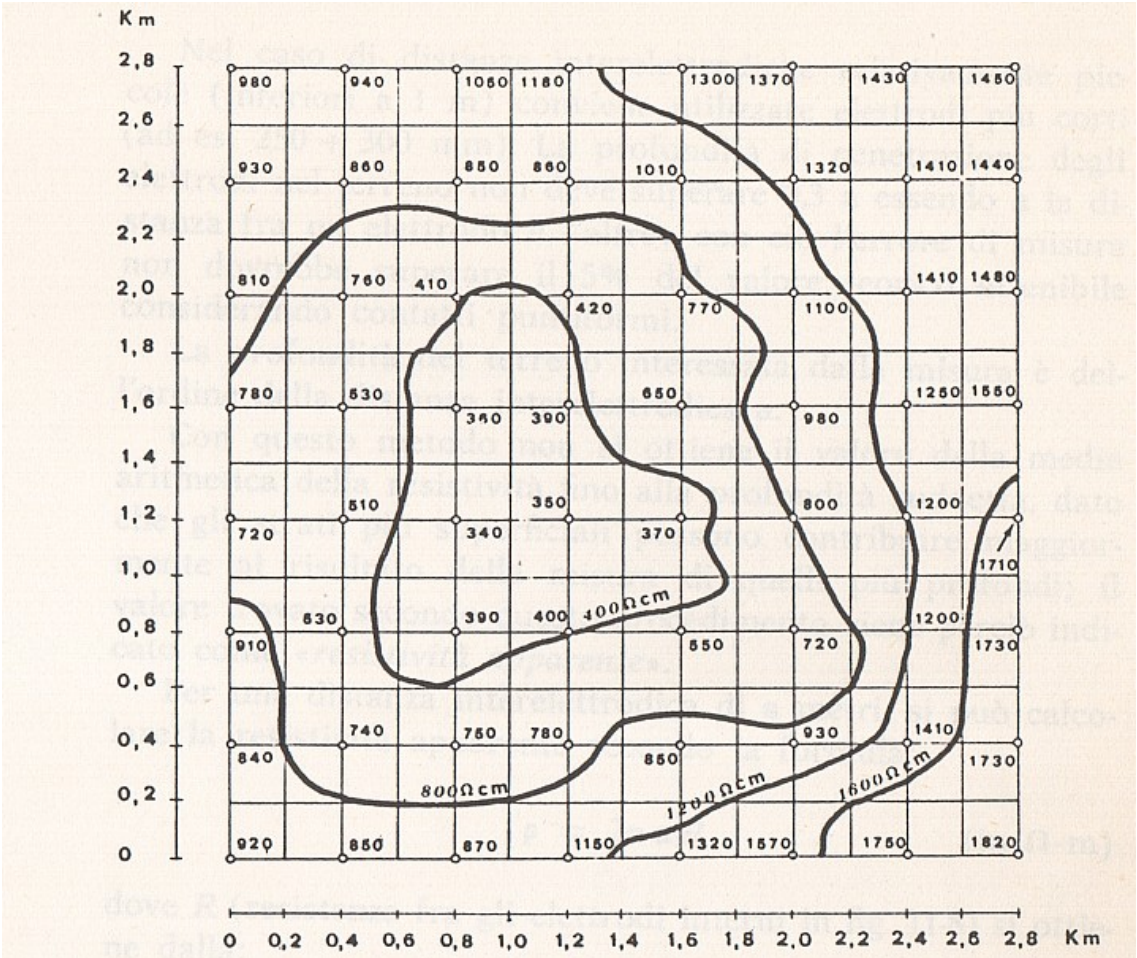
Riporto di seguito seguente lo schema del circuito di potenza relativo ad un alimentatore "autocostruito" per la prova voltamperometrica relativamente a dispersori di piccole dimensioni in sistemi di I categoria (BT)

Circuito di massima alimentatore per misura volt – amperometrica 0 – 4 A



A conclusione di questa prima parte del lavoro illustro una mappa che riporta i valori di resistività del terreno nelle varie zone di una determinata area.

Esempio di una mappa delle resistività di una determinata area di terreno.



Distribuzione della resistività del terreno (Ω·cm) sulla mappa di una zona.

G.Battistotti

Bibliografia :

- Impianti di terra – autori A. Bossi ; S. Bossi – editore Hoepli
- La messa a terra degli impianti elettrici – autore C.Clerici – editore editoriale delfino – MI
- Manuale della corrosione – autore S.Basile ed altri – editore Riccardo Pàtron – Bologna
- Norma CEI 64-14 – guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori