

13.3 MISURA DELLA RESISTENZA DI TERRA

La misura della resistenza di terra è una delle prove di verifica dell'efficienza di un impianto di terra.

È opportuno riportare alcune definizioni, tratte dalle Norme CEI, alle quali, in seguito, si fa riferimento.

Dalle Norme CEI 11-8 fascicolo 176.

... ommissis

1.2.02 Dispersore.

È un corpo metallico, o un complesso di corpi metallici, posto in intimo contatto elettrico col terreno e destinato o utilizzato per disperdere correnti elettriche. Un dispersore può essere costituito da un solo elemento o da più elementi collegati a mezzo di conduttori interrati e non isolati dal terreno.

1.2.03 Conduttore di terra.

È qualsiasi conduttore che serve al collegamento fra parti da mettere a terra e dispersori.

Per i collegamenti parzialmente interrati, tale denominazione vale per la parte non interrata; per quella interrata vale limitatamente agli eventuali tratti destinati a restare isolati elettricamente dal terreno, in quanto i tratti a contatto del terreno vanno considerati come dispersori.

1.2.04 Impianto di terra.

È un insieme di dispersori e di conduttori di terra.

L'impianto di terra può essere costituito anche da un solo dispersore col relativo conduttore di terra.

1.2.05 Mettere a terra.

Significa collegare un apparecchio o una parte di impianto elettrico a un impianto di terra.

1.2.06 Messa a terra di protezione.

È quella messa a terra che ha lo scopo di limitare eventuali tensioni verso terra di quelle parti di impianto elettrico, normalmente non in tensione, che potrebbero essere messe in tensione a causa di guasti.

1.2.07 Messa a terra di funzionamento.

È quella che, collegando a terra punti determinati di circuiti elettrici o apparecchiature ha lo scopo di permettere il funzionamento degli apparecchi o un più regolare e sicuro esercizio degli impianti.

1.2.08 Messa a terra per lavori.

È una messa a terra a carattere provvisorio, di parti di impianto elettrico, anche

normalmente in tensione, messe fuori servizio per lavori. Essa ha lo scopo di rendere possibile, senza pericolo, l'accesso a dette parti per l'esecuzione dei lavori.

1.2.09 Resistenza di terra di un impianto di terra.

È il rapporto fra la tensione verso terra dell'impianto rispetto a punti sufficientemente lontani come stabilito in 3.2.02, e la corrispondente corrente di terra da esso dispersa.

1.2.10 Tensione totale di terra di un impianto di terra.

È il prodotto della resistenza di terra dell'impianto considerato per la corrente di terra per la quale l'impianto stesso è proporzionato (2.1.02 e 2.1.03).

1.2.11 Tensione di contatto.

È la tensione alla quale può essere soggetto il corpo umano in seguito a contatto con carcasse e strutture metalliche, normalmente non in tensione, delle macchine e delle apparecchiature.

1.2.12 Tensione di passo.

È la tensione che durante il funzionamento di un impianto di terra può risultare applicata tra i piedi di una persona a distanza di passo (3.2.04).

1.2.13 Impianti di terra indipendenti.

Un impianto di terra è indipendente rispetto ad un altro quando ha dispersori separati e non assume rispetto a punti lontani, tensione di terra superiore a 50 V durante il funzionamento dell'altro (3.2.03).

1.2.14 Corrente di terra transitoria.

È la corrente di terra che si ricava con gli ordinari sistemi di calcolo quando si mettono in conto le reattanze transitorie delle macchine rotanti.

... ommissis

Sempre dalle sopracitate norme 11-8, fascicolo n. 176 al capitolo III, *Verifica degli impianti di terra*, Sezione 1, frequenza delle verifiche si ha:

3.1.01 Verifica dell'efficienza dell'impianto di terra.

L'efficienza dell'impianto di terra delle officine elettriche e degli impianti ricevitori deve essere verificata prima della messa in servizio dell'impianto e successivamente a intervalli non superiori a 5 anni per le officine elettriche e a 2 anni per gli impianti ricevitori.

3.1.02 Verifica dell'indipendenza di un impianto di terra.

La verifica deve essere effettuata prima della messa in servizio degli impianti e in occasione di ogni modifica ai dispersori o alla distribuzione di masse metalliche

nelle loro vicinanze che abbiano ad alterare le primitive condizioni di dispersione della corrente nel terreno.

3.1.03 Ridimensionamento dell'impianto di terra.

Ogni volta che, per aumento della corrente di terra che l'impianto è chiamato a disperdere o per variazione della resistenza di terra, l'impianto di terra cessasse di essere conforme alle prescrizioni della sezione 1 del capitolo 11 e superasse di oltre il 50% i valori di tensioni o resistenze prescritte, e comunque ogni volta che ciò venisse rilevato a seguito delle verifiche di cui sopra, l'impianto di terra deve essere modificato in modo da tornare a rispondere alle prescrizioni sopracitate.

Sezione 2. Esecuzione delle verifiche.

3.2.01 Modalità di verifica dell'efficienza di un impianto di terra.

La verifica dell'efficienza di un impianto di terra comprende un esame dello stato di conservazione dei conduttori di terra e dei giunti, con particolare attenzione alle eventuali corrosioni, la misura della resistenza di terra e, in quanto necessaria, la misura delle tensioni di passo e di contatto. Le misure devono essere effettuate, per quanto possibile, con l'impianto nelle ordinarie condizioni di funzionamento. Non è necessario che le misure siano effettuate in particolari condizioni meteorologiche o in particolari condizioni di terreno.

3.2.02 Misura della resistenza di terra.

Questa misura si esegue utilizzando un dispersore ausiliario M ed una sonda di tensione N, con appositi strumenti di misura o col metodo volt-amperometrico. La sonda di tensione deve essere disposta in un punto sufficientemente lontano dall'impianto di terra perché allontanandosi ulteriormente la resistenza di terra vari in modo ritenuto trascurabile.

Il dispersore ausiliario deve essere ad una distanza sia dall'impianto di terra sia dalla sonda di tensione non inferiore alla distanza della sonda di tensione dall'impianto di terra stesso.

La sonda di tensione ed il dispersore ausiliario si possono ritenere senz'altro sufficientemente lontani dall'impianto di terra quando sono posti ad una distanza dal suo contorno pari ad almeno cinque volte la dimensione massima dell'impianto stesso; questa nel caso di un semplice dispersore a picchetto, può assumersi pari alla sua lunghezza.

... omissis.

Dalle norme 11-1 fascicolo n. 206 bis. Norme generali per gli impianti elettrici.

... omissis

7.1.05 bis Protezione con messa a terra locale e coordinamento con dispositivi atti ad interrompere l'alimentazione in caso di guasto nei sistemi di I categoria.

Per attuare questa protezione ogni impianto elettrico utilizzatore, od ogni rag-

gruppamento di impianti contenuti in uno stesso edificio e nelle sue dipendenze (quali portinerie distaccate o simili), deve avere un proprio impianto di terra locale, come disposto in 2.1.09.

A tale impianto di terra devono essere collegati tutti i sistemi di tubazioni metalliche accessibili, nonché tutte le masse metalliche accessibili di notevole estensione esistenti nell'area dell'impianto elettrico utilizzatore stesso, secondo quanto prescritto in 2.1.10.

Tutte le parti metalliche accessibili da proteggere devono essere collegate all'impianto di terra di cui sopra mediante apposito conduttore di protezione. Il conduttore di protezione deve essere separato dal conduttore del neutro.

Tutte le prese a spina per l'alimentazione degli apparecchi utilizzatori, per i quali è prevista la protezione contro le tensioni di contatto mediante collegamento a terra, devono essere munite di contatto di terra, connesso al conduttore di protezione. Le protezioni devono essere coordinate in modo tale da assicurare la tempestiva interruzione del circuito guasto se la tensione di contatto (Norme CEI 11-8, 1962 art. 1.2.11) assume valori pericolosi.

È allo studio in sede internazionale una curva limite di intervento a caratteristica inversa in funzione della tensione di contatto, comprendente il punto 50 V, 5 s. Per soddisfare alla condizione prescritta mediante dispositivi di massima corrente a tempo inverso o dispositivi differenziali deve essere soddisfatta la condizione:

$$R_i \leq 50/I$$

dove: R_i è la resistenza, in ohm, dell'impianto di terra nelle condizioni più sfavorevoli; I è il valore, in ampere, della corrente di intervento in 5 s del dispositivo di protezione; se l'impianto comprende più deviazioni protette da dispositivi con correnti di intervento diverse, deve essere considerata la corrente di intervento più elevata.

... omissis

È bene tenere presente che l'art. 326 del D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547 prevede per il complesso delle derivazioni a terra di impianti utilizzatori a tensione fino a 1000 V, una resistenza non superiore a 20 Ω , indipendentemente dal tipo delle protezioni stesse.

Per effettuare la misura della resistenza di terra di un determinato dispersore, con il metodo voltamperometrico (o metodo della caduta di tensione), si ricorre come indicano le stesse norme al circuito di figura 13.3.

Il circuito di misura è alimentato dalla rete attraverso un trasformatore d'isolamento. In questo tipo di misure si impiega sempre la corrente alternata in modo da evitare gli errori introdotti dalle forze elettromotrici di origine elettrochimica che si verrebbero ad originare usando la corrente continua.

Si tratta in sostanza di immettere nel terreno, tramite un picchetto ausiliario M (denominato sonda di corrente) e il dispersore X di cui si vuol conoscere la resistenza, un'opportuna corrente I e rilevare tramite il picchetto ausiliario N (de-

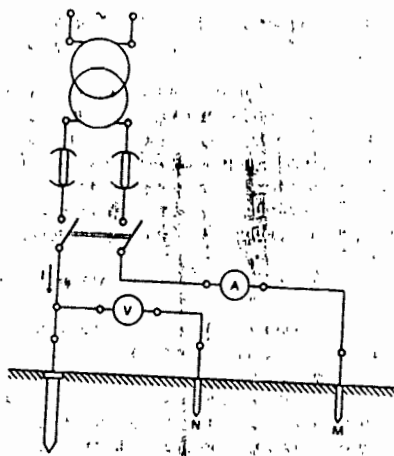


Fig. 13.3.

nominato sonda di tensione) la caduta di tensione V_T .
Il rapporto fra le indicazioni fornite dal voltmetro e dall'ampermetro fornisce il valore della resistenza di terra:

$$R_T = \frac{V_T}{I} \quad (1)$$

Per effettuare correttamente la misura è necessario che le zone di influenza (le zone attorno ai dispersori ove si localizza praticamente tutta la caduta di tensione provocata dalla corrente I) del dispersore in esame e del dispersore ausiliario M siano sufficientemente lontane. Ciò al fine di poter individuare, come mostra la figura 13.4 che riporta qualitativamente l'andamento della caduta di tensione nell'intorno dei due dispersori X ed M , un tratto intermedio CD in cui la tensione rimane costantemente nulla e quindi misurare con il voltmetro la sola e completa caduta di tensione V_T .

Infatti la caduta di tensione V_T si concentra nelle immediate vicinanze (dell'ordine di una decina di metri) dei dispersori in quanto via via che ci si allontana da essi la sezione interessata dalla corrente diventa enorme e quindi trascurabile la resistenza connessa.

Da un punto di vista pratico è facile individuare o verificare sperimentalmente la condizione di trovarsi sicuramente entro il tratto CD ovvero trovarsi al di fuori delle zone di influenza dei due dispersori. Basta a questo proposito ingegnere

la sonda di tensione in due o più punti distanti fra loro alcuni metri controllando se la tensione indicata dal voltmetro sia o meno rimasta costante.

Non risulta in pratica necessario e neppure consigliabile fare in modo che i tre dispersori risultino allineati, e spesso viene adottata una disposizione in cui le due sonde M ed N vengono infisse nel terreno a formare col dispersore i vertici di un triangolo equilatero.

Molto pratici per effettuare le misure di resistenza di terra risultano quelle apparecchiature portatili in cui il complesso di misura viene ad essere assemblato in un unico strumento munito di un proprio generatore a manovella del tipo a corrente continua.

Queste apparecchiature si possono ricondurre praticamente a due tipi ma in entrambi sono state prese opportune precauzioni per rendere l'apparecchio insensibile alle correnti telluriche vaganti convertendo la corrente continua del generatore in corrente pulsante a frequenza diversa da quella di rete per mezzo di speciali convertitori meccanici a spazzole, prima di essere iniettata nel terreno.

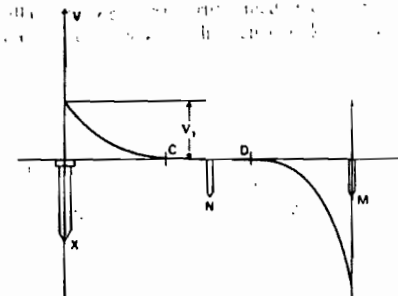


Fig. 13.4.

Nel primo tipo di apparecchio, di cui la figura 13.5 mostra lo schema di principio, il funzionamento si può ricondurre al metodo della caduta di tensione e nel quale il complesso di misura voltamperometrico viene effettuato direttamente da un ohmmetro a bobine incrociate. Alla bobina amperometrica di detto strumento viene inviata la corrente che passando attraverso un convertitore $c.c + c.a$ viene inviata al dispersore in esame e alla sonda di corrente, mentre alla bobina voltmetrica viene applicata, tramite un raddrizzatore $c.a + c.c$ la tensione esistente fra il dispersore in prova e la sonda di tensione.

Lo strumento indicatore fornisce direttamente la misura della resistenza di terra. Questo tipo di strumento è noto sotto il nome di misuratore di terre tipo Megger. Gli altri tipi di misuratori di terra, detti anche telluometri o terrometri, basano il loro principio di funzionamento sul metodo potenziometrico.

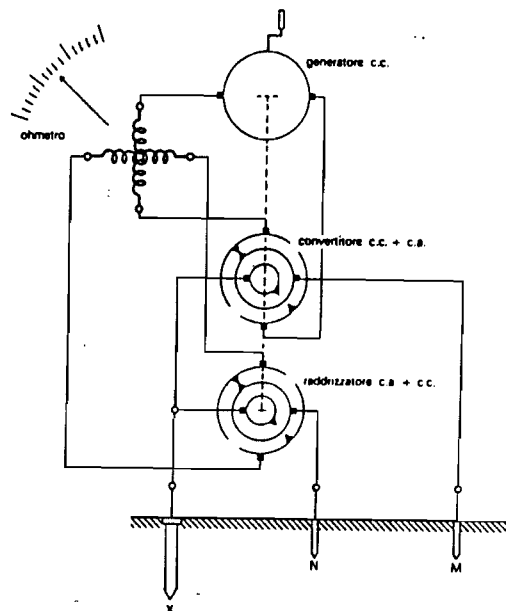


Fig. 13.5 Misuratore di terra tipo Megger.

A questa categoria appartiene ad esempio il misuratore di terra tipo MTA/3 della ditta SAMAR di cui la figura 13.6 mostra lo schema di principio.

Tale misuratore di terra è fornito di quattro morsetti in quanto permette anche la determinazione della resistenza specifica del terreno (resistività): i morsetti estremi contrassegnati con C_1 e C_2 sono detti di corrente mentre i due intermedi P_1 e P_2 sono detti di potenziale. Nelle misure per la determinazione della resistenza di terra i due morsetti C_1 e P_1 sono collegati fra loro per mezzo di un'apposita piastrina metallica fornita con l'apparecchio.

Il generatore G azionato direttamente a mezzo della sua manovella, è del tipo a magneti ruotante con due paia di poli e indotto fisso avvolto. L'induttore è montato su cuscinetti a sfere e mosso dalla manovella tramite ingranaggi di demoltiplica.

Il generatore fornisce direttamente una tensione alternata di 160 V con una frequenza di 150 Hz circa a regime, mantenute costanti, durante la misura, da un regolatore di velocità a pattini.

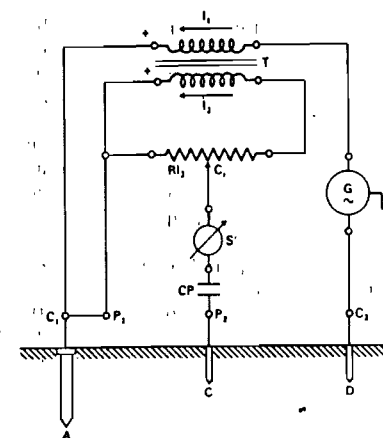


Fig. 13.6 Misuratore di terra portatile SAMAR, tipo MTA/3.

Il principio di funzionamento dell'apparecchio, come abbiamo già detto, si può ricondurre al metodo potenziometrico, ottenuto in questo caso realizzando una disposizione circuitale in cui la caduta di tensione $R_T I_1$ che una certa corrente I_1 provoca sulla resistenza R_T del dispersore di terra in prova viene messa in opposizione con una caduta $R I_2$ che si verifica su una resistenza R tarata e variabile per mezzo del cursore C , e posta al secondario di un trasformatore di corrente T .

Allorché le suddette cadute di tensione sono rese uguali spostando il cursore C , la deviazione C_1-P_2 non è percorsa da corrente in quanto il trasformatore T permette di effettuare il collegamento in modo che tali d.d.p. risultino in opposizione nel circuito C_1, P_2, C_1, P_1 .

In pratica la misura si riduce solamente ad egualizzare queste due tensioni agendo sul cursore C del reostato R , fino ad ottenere l'indicazione di zero sullo strumento S , indicazione contrassegnata da una linea di fede posta sul suo quadrante. All'equilibrio possiamo quindi scrivere:

$$R_T I_1 = R I_2 \quad (2)$$

da cui:

$$R_T = \frac{I_2}{I_1} R = K \cdot R \quad (3)$$

avendo posto con $K = \frac{I_2}{I_1}$ il rapporto del trasformatore di corrente.

In realtà il primario del trasformatore T ha tre prese, permettenti di ottenere tre portate 0-10, 0-100, 0-1000 ohm selezionabili a mezzo di un commutatore posto sul pannello dello strumento.

L'indicatore di azzerramento S, per ottenere sensibilità elevate, è del tipo a bobina mobile a magnete permanente ed è reso sensibile alla corrente alternata per mezzo di un raddrizzatore ruotante a tre spazzole, solidale al rotore del generatore G, in modo che i collegamenti si trovano periodicamente invertiti alla stessa frequenza di misura.

Con questa disposizione l'apparecchio risulta completamente insensibile alle correnti telluriche vaganti, sia continue che alternate. Infatti le correnti continue che eventualmente vengono derivate, nel circuito CP_2C , sono senza influenza in quanto la polarità dell'indicatore è periodicamente invertita.

Per maggiore sicurezza una capacità C_p blocca le correnti continue residue eliminando ogni vibrazione parassita dell'indice.

Neppure le correnti telluriche alternate hanno effetto sullo strumento indicatore, la cui sensibilità, essendo associato al raddrizzatore rotante, è limitata solamente a quelle correnti la cui frequenza concorda esattamente con quella del generatore. Inoltre le resistenze proprie R_C e R_D delle sonde ausiliarie C e D non hanno alcuna influenza sulla misura in quanto all'equilibrio R_C (sonda di tensione) non è percorsa da corrente mentre R_D può modificare I_1 e quindi I_2 ma non il loro rapporto.

Tuttavia le resistenze della terra ausiliarie, riducendo più o meno le correnti nei circuiti, potrebbero ridurre l'ampiezza della deviazione dell'indice dello strumento indicatore ed alterare la sensibilità del sistema. Ma il sistema indicatore-raddrizzatore presenta una sensibilità a zero talmente elevata che le terre ausiliarie C e D possono raggiungere il notevole valore di 10.000 Ω senza falsare i risultati e la facilità della regolazione a zero.

Comunque l'apparecchio MTA/3 ha, come caratteristiche particolari, la possibilità del controllo immediato delle condizioni in cui si trovano le terre ausiliarie e quindi della loro idoneità o meno; in questo caso esse devono essere migliorate affondandole maggiormente nel terreno o annaffiandole.

Come si è già avuto occasione di dire non è necessario che le due terre ausi-

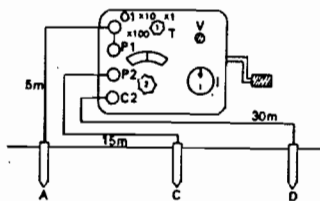


Fig. 13.7 Allacciamento picchetti e cordoni.



Fig. 13.8 Misuratore di terra portatile SAMAR, tipo MTA/3.

liarie C e D e la terra A, della quale si vuole misurare la resistenza, siano poste in linea retta, ma può risultare vantaggioso disporle secondo i vertici di un triangolo equilatero: in tal caso le rispettive zone di influenza hanno minori possibilità di influenzarsi fra loro.

Le distanze di 15 e 30 metri, rispettivamente, suggerite per le prese di terra ausiliarie C e D sono quelle che in genere danno i migliori risultati. Per le prese di terra A profonde ed estese, si consiglia di aumentare tali distanze (caso di piloni, terre per stazioni radio, ecc.).

In generale le posizioni relative delle tre prese A, C, D sono corrette quando, spostando la terra C di 2 o 3 metri verso A oppure verso D il risultato della misura della terra A in prova resta costante. In caso contrario si allontaneranno dalla terra A le terre ausiliarie C e D ripetendo le misure fino a che esse risultino costanti. In ogni caso le terre ausiliarie C e D dovranno essere infisse nel terreno naturale e mai su terreno di riporto e pietrisco.

La figura 13.7 mostra il collegamento del misuratore di terre SAMAR tipo

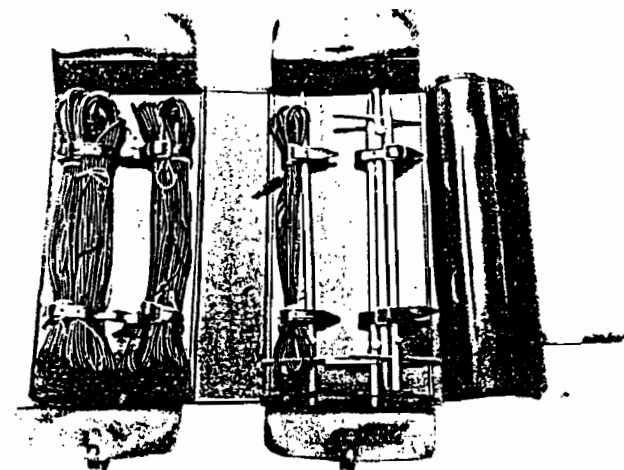


Fig. 13.9 Borsa accessori, paletti e cavi flessibili per MTA/3.

MTA/3 alla terra in prova A e ai rispettivi picchetti C e D. Infine le figure 13.8 e 13.9 mostrano rispettivamente le foto del suddetto apparecchio e della relativa borsa contenente come accessori 4 paletti in acciaio (0,5 m) con punta cementata e i cavi flessibili in gomma per i collegamenti. Con il misuratore di terre SAMAR tipo MTA/3 è inoltre possibile effettuare rapidamente misure di resistività del terreno ed inoltre può essere usato per la misura di resistenze come ohmmetro purché dette resistenze non presentino né induttanze né capacità apprezzabili dato che la misura viene effettuata in corrente alternata.