



01/2021

Misurazione e documentazione della resistenza di terra

Il Gruppo d'interessi delle imprese di controllo degli impianti elettrici IGK [*Interessengemeinschaft Elektrotechnikunternehmen IGK*] voleva sapere dall'ESTI se la misurazione della resistenza di terra è prescritta e quali valori di misurazione devono essere raggiunti. Il presente articolo tecnico riassume le norme rilevanti e illustra le disposizioni dell'ESTI.

L'IGK constata che nella pratica spesso non vengono effettuate misurazioni della resistenza di terra in caso di nuovi sistemi di messa a terra risp. di modifiche a sistemi di messa a terra esistenti e ciò nonostante la resistenza di terra sia di fondamentale importanza per la sicurezza e debba essere documentata nel rapporto di sicurezza.

Parte 1: - Introduzione alla tematica

La messa a terra è una componente essenziale dei nostri sistemi di approvvigionamento dell'energia elettrica. Essa ha diversi scopi, ma in particolare serve a creare un potenziale comune tra i circuiti di corrente e le parti dell'impianto (collegamento equipotenziale). Inoltre, la messa a terra è indispensabile per l'organizzazione efficace di misure di protezione contro le scosse elettriche nei sistemi TN e TT. La messa a terra è impiegata anche per proteggere dalle sovratensioni, ad es. da sovratensioni di comando o atmosferiche, negli impianti elettrici. Tuttavia, le tubazioni e le installazioni dei serbatoi devono anche essere collegate correttamente al sistema di collegamento equipotenziale funzionale in relazione alla protezione dalla corrosione. Oggigiorno la messa a terra acquista un'importanza sempre maggiore anche in relazione alla compatibilità elettromagnetica (CEM). Sia le misure di protezione con conduttori di protezione sia la protezione contro le sovratensioni richiedono una messa a terra a bassa resistenza. I controllori elettricisti e le persone esperte che eseguono le verifiche devono sempre ponderare, nell'ambito delle procedure di misurazione a disposizione, se il metodo è adeguato ed efficace per la misura di protezione da verificare; è la sfida più grossa.

Resistenza di terra

In cosa consiste effettivamente la resistenza di terra? Si tratta della resistenza elettrica che si verifica tra il materiale del dispersore e il terreno vero e proprio (figura 1). Il dispersore in sé è praticamente privo di resistenza. In considerazione delle dimensioni delle sezioni impiegate, di 30 mm x 3 mm per i conduttori di acciaio/ 25 mm x 2 mm rame o di 50 mm² per la fune in rame o di 10 mm per il tondo di acciaio, la resistenza del dispersore è inferiore a un milliohm al metro. Anche la terra (risp. il suolo o il terreno) in quanto tale conduce relativamente bene. La resistenza dipende principalmente dalla conformazione del terreno, dall'umidità e dalla temperatura. Determinante per la funzione del dispersore è l'impedenza di passaggio



sulla superficie del dispersore (figura 1). La messa a terra è costituita dalla conduttività di terra, dal dispersore e dalla resistenza di distribuzione (Figura 2).



Figura 1: la corretta esecuzione degli impianti di terra prima della copertura e dell'elettrodo di terra nello scavo di fondazione **prima della gettata di cemento** deve essere controllata da una persona esperta oppure deve essere documentata mediante materiale fotografico d'intesa con l'autorità competente in materia di protezione contro gli incendi o l'organo di controllo.
Vedere: SNG 483755 + SNR 464113

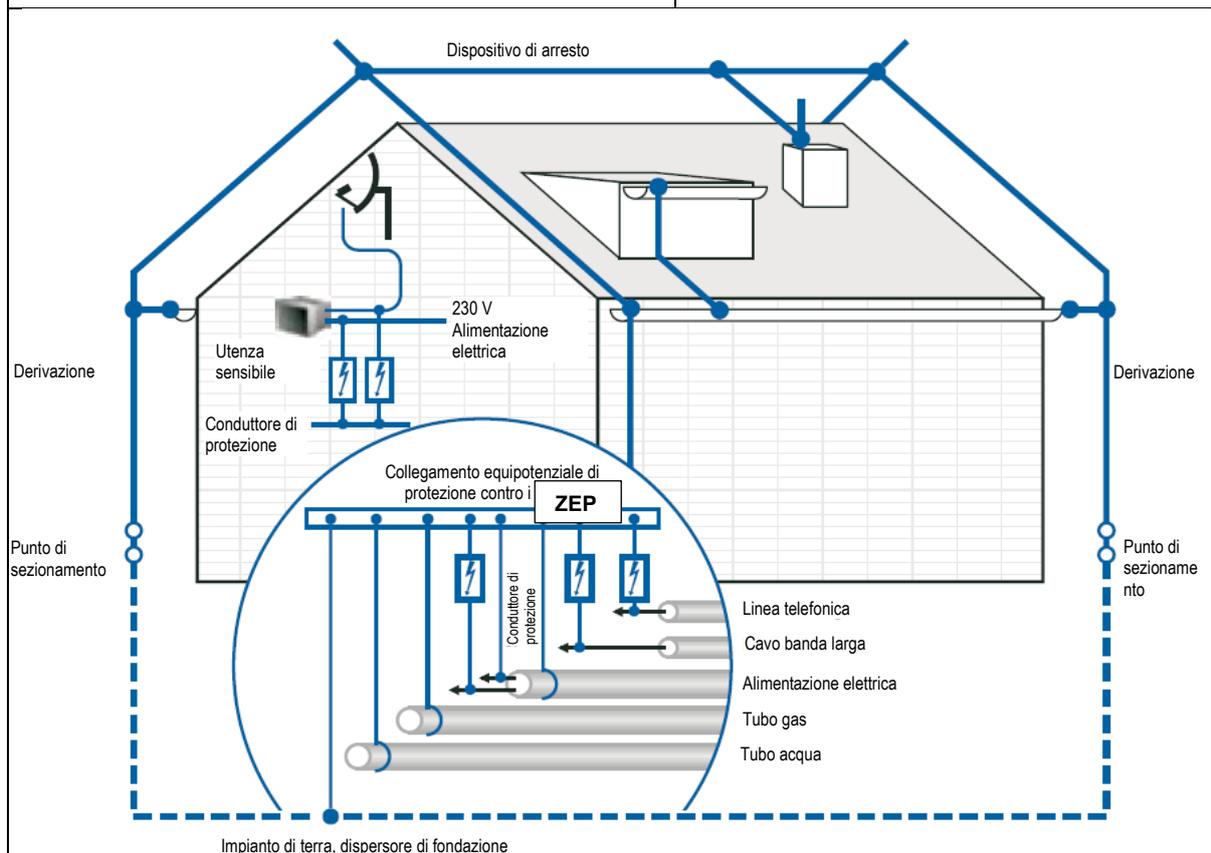


Figura 2: sia la protezione contro i fulmini interna sia quella esterna richiedono controlli regolari da parte di personale opportunamente formato.

Messa a terra con punto centrale di messa a terra "ZEP" Collegamento equipotenziale di protezione, barra di messa a terra principale

Fonte: Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) di VDE



Scelta della corrente di guasto nominale per il dispositivo di protezione contro la corrente di guasto (RCD)

Nelle reti TT primario, e in teoria anche nelle reti TN, la resistenza di terra massima consentita viene limitata dal dispositivo di protezione a corrente di guasto (RCD). In una rete TT, il dispersore dell'impianto ha la quota maggiore della resistenza dell'intero sistema. Tuttavia, in caso di guasto, attraverso il dispersore dell'impianto deve poter passare sufficiente corrente affinché il RCD sia in grado di attivarsi, prima che sia raggiunta la tensione di contatto massima consentita nell'impianto. La resistenza di terra massima si calcola successivamente in base al RCD che presenta la corrente nominale di apertura maggiore:

$R_A = \frac{U_B}{I_{\Delta N}}$	<p>RA = resistenza di terra al momento dell'attivazione del RCD UB = tensione di contatto max. 50V I_{ΔN} = corrente nominale di apertura applicata al RCD 10 mA / 30 mA / 300 mA</p>
----------------------------------	--

Da questo calcolo, nella pratica risultano i valori limiti riportati nella tabella 1.

Tabella 1: resistenze di terra massime a seconda della corrente nominale di apertura di un RCD e della tensione di contatto consentita

Corrente nominale di apertura del RCD I _{ΔN}	Resistenza di terra massima per U _B = max. 50 V
10 mA	5000 Ω
30 mA	1650 Ω
300 mA	165 Ω

Valori limite per determinati casi di applicazione

Per il rispetto di misure di protezione non esiste un valore limite generalmente valido che indichi a quanto deve ammontare la resistenza di terra di un impianto. Si trovano piuttosto, per determinati casi di applicazione, diversi valori limite per rispettare la tensione di contatto e/o il tempo d'interruzione (tabella 2).

Tabella 2: valori limite, valori di riferimento della resistenza di terra per determinati casi di applicazione (selezione)

Resistenza di terra massima consentita R _E	Descrizione	Prescrizione/norma
10 Ω	Protezione contro i fulmini: resistenza di terra della protezione contro i fulmini esterna con dispersore di fondazione	SNR 464022:2015 – 6.3.5 Condizioni particolari per uno scaricatore



20 Ω (Indicativo)	Non è prescritto un determinato valore, per contro, in base alla pluriennale esperienza, l'impedenza di messa a terra non deve superare i 20 Ω . La messa a terra indipendente deve essere calcolata e disposta in maniera tale da soddisfare le condizioni di cui all'articolo 55 e all'articolo 57 capoverso 2.	SNG 483755:2019 – 10.1.3 Misurazione della messa a terra indipendente Tutti gli edifici con sistema TN senza stazioni di trasformazione Tuttavia tempi d'interruzione adempiti = 0,4 sec. o 5 sec. NIBT 4.1.1.3.2.
1.6 Ω	Se presso una stazione di trasformazione la corrente di estinzione è pari a 30 A, la resistenza del dispersore è pari a 50 V/30 A \cong massimo 1,6 Ω . Il punto del nucleo del trasformatore è messo a terra e collegato al conduttore PEN della bassa tensione. (messa a terra del sistema)	Ordinanza sulla corrente forte giusta artt. 54, 55, 61 In caso di edifici con stazioni di trasformazione in reti estinte o tempi d'interruzioni adempiti: 50V \cong 5 sec. U1-t1 500V \cong 0,1 sec. U2-t2 80V \cong 0,8 sec.
0,44 Ω	In edifici con sistema TN;TT e in sottostazioni con 30 A corrente di estinzione la resistenza di terra deve essere al di sotto di 0,44 Ω (si veda l'esempio sottostante).	Giusta artt. 54, 55, 61 Ordinanza sulla corrente forte 1,6 / 3,6 \cong 0,44 Ω
1 Ω (valore guida) I collegamenti con il sistema di messa a terra come l'efficacia del collegamento equipotenziale di protezione	Il collegamento di tutti i punto d'allacciamento con il sistema di messa a terra deve essere verificato mediante una misurazione del passaggio (misurazione della bassa resistività; valore indicativo \leq 1 Ω).	SNR 464022:2015 – 11.3. Sistemi di protezione contro i fulmini Condizioni speciali



Sistema TN / TT ed esempio tratto dall'Ordinanza sulla corrente forte

LA NIBT 2020 (SN 411000:2020) prescrive per il sistema TN e TT il seguente rapporto (NIBT 4.1.1.4.1):

$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50}$	<p>$R_B \triangleq$ resistenza di terra di tutti i dispersori paralleli</p> <p>$R_E \triangleq$ resistenza minima di parti conduttrici estranee collegate alla terra e non a un conduttore di protezione, attraverso le quali è possibile il subentro di un guasto tra conduttore polare e dispersore</p> <p>$U_0 \triangleq$ tensione alternata nominale del conduttore polare verso terra</p> <p>50 V: tensione nominale massima per contatto permanente</p>
--	---

Esempio: secondo Ordinanza sulla corrente forte e SNG 483755:2019

Determinazione della resistenza di terra per un sistema TT con la formula tratta dalla NIBT, a causa del feedback dalla rete (media tensione).

$$230 \text{ V} (U_0) - 50 \text{ V} = 180 \text{ V}$$

$$180 \text{ V} / 50 \text{ V} \triangleq 3,6 \text{ volte più piccola}$$

Se presso una stazione di trasformazione la corrente di estinzione è pari a 30 A, la resistenza di terra è pari a

$50 \text{ V} / 30 \text{ A} \triangleq$ massimo 1,6 Ω . Se si divide la resistenza di terra per il fattore di 3,6 individuato, per il dispositivo d'interruzione della sovracorrente d'allacciamento si ottiene al massimo $\triangleq 0,44 \Omega$.

Risultato: la resistenza di terra all'interno dell'abitazione con stazione di trasformazione e TT non può superare gli 0,44 Ω .

Conoscenze acquisite dall'ESTI per la tensione di contatto in relazione alla resistenza di terra

Per ridurre la tensione di contatto, il PEN viene collegato con la terra al punto d'ingresso domestico. Il ritorno del conduttore PEN in posizione parallela alla terra diviene in tal modo a resistenza più bassa impedenza e l'impedenza del loop/ e la tensione di contatto diminuisce. Sistema di sicurezza a due circuiti, una volta conduttore PEN e una volta conduttore di terra.

- Più collegamenti di terra presenta un sistema e meglio risultano essere i singoli dispersori, inferiore è la possibile tensione di contatto (figura 3).
 - In caso di guasto, la corrente di contatto diviene dunque inferiore.

- In caso di sinistro, la corrente di cortocircuito diviene maggiore, in tal modo il tempo d'interruzione diminuisce e i dispositivi di protezione contro le sovracorrenti si attivano più rapidamente.
- In presenza di una sezione ridotta del conduttore PEN, la tensione di contatto sale al di sopra dei 115 V (ad es. 3 x 50 + 2 x 25 mm²). Ciò non si raccomanda più.
Non consentito per le installazioni di rete secondo l'Ordinanza sulla corrente forte.
- La tensione di contatto è sempre una parte della tensione di guasto. (tensione di terra) Figura 4
- La tensione di guasto corrisponde alla tensione di contatto massima.

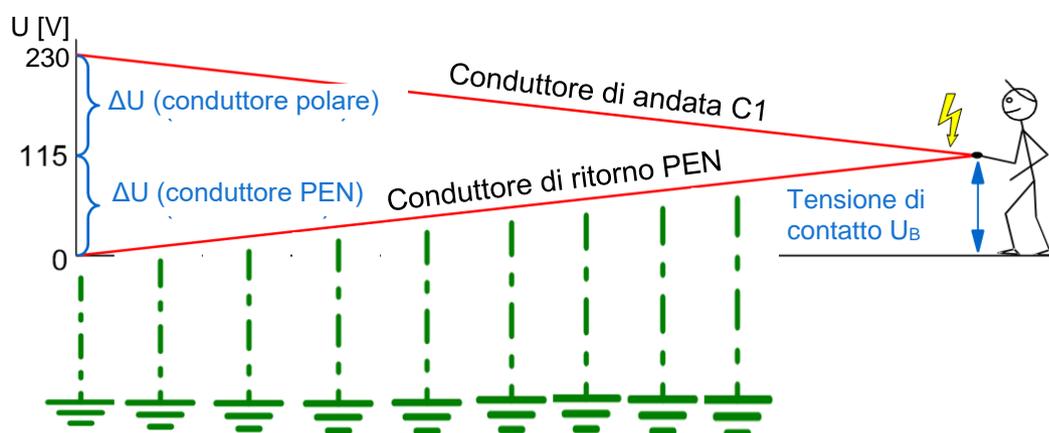


Figura 3: Tensione di contatto

Fattori che influiscono sulla misurazione

La determinazione della resistenza di terra non è sempre facile. Essa dipende in gran parte da diversi fattori ambientali:

- umidità del terreno;
- temperatura;
- profondità della costruzione.

Questi fattori possono comportare modifiche del valore di misurazione che possono arrivare sino al 50%! La conformazione del terreno in relazione alle condizioni atmosferiche e alle variazioni stagionali fanno sì che l'efficacia del dispersore dell'impianto dipenda fortemente dalle conoscenze tecniche e dalle stime degli installatori elettricisti o delle persone esperte che progettano e realizzano la stessa.

I valori delle misurazioni possono inoltre essere influenzati in maniera apprezzabile da tensioni di disturbo e correnti vaganti nel terreno. Per escludere ciò, con i moderni apparecchi di misurazione le verifiche sono eseguite con frequenze "non armoniche", che non sono solitamente utilizzate nei sistemi elettrici impiegati in loco. A seconda dell'apparecchio di verifica, è possibile scegliere liberamente tali frequenze per la misurazione (ad es. 91 Hz, 97 Hz, 111 Hz, 128 Hz, sino a 2083 Hz).



Per evitare che fenomeni di polarizzazione al passaggio del dispersore metallico sul terreno o nel terreno stesso possano falsare una misurazione, si misura in linea di massima con corrente alternata. La tensione nominale sui morsetti aperti dell'apparecchio può superare i 50 V, ma la corrente di inattività deve poi essere limitata a 10 mA.

Tuttavia, esistono anche misurazioni standardizzate con una frequenza che va sino a 25 kHz, al fine di dimostrare la conducibilità delle correnti di dispersione o di impianti di trasmissione a frequenza elevata. Alcuni apparecchi specializzati di verifica della messa a terra possono altresì eseguire una misurazione a impulsi per simulare il comportamento elettrico in caso di caduta di un fulmine (impedenze, reattanze).

Conclusioni:

Ciascuna situazione richiede il rispetto dei valori della resistenza di terra prescritti dalle norme.

La **sicurezza per le persone** di un'installazione elettrica e del suo sistema di messa a terra è valutata in base alle tensioni massime effettive (tensioni di contatto e tensione di passo) giusta gli artt. 54, 55, 61 Ordinanza sulla corrente forte.

Il rapporto di sicurezza (RaSi) deve contenere, oltre alle indicazioni di cui all'articolo 37 capoverso 1 OIBT, tutti i dati tecnici necessari alla valutazione della sicurezza di un impianto elettrico (art. 13 O-DATEC). In particolare, la descrizione delle **misure e degli organi di protezione** e la loro valutazione sono un'indicazione necessaria e dunque imperativa del RaSi.

Ritenuto che il dispersore con il conduttore di terra costituisce una parte delle **misure di protezione TN / TT**, la resistenza di terra deve essere misurata e documentata nel protocollo di misura e nel rapporto di sicurezza.

- La protezione contro i fulmini è indicata nel protocollo di misura secondo la SNR 464022:2015.
- Conformemente all'Ordinanza sulla corrente forte, occorre un protocollo di misura.

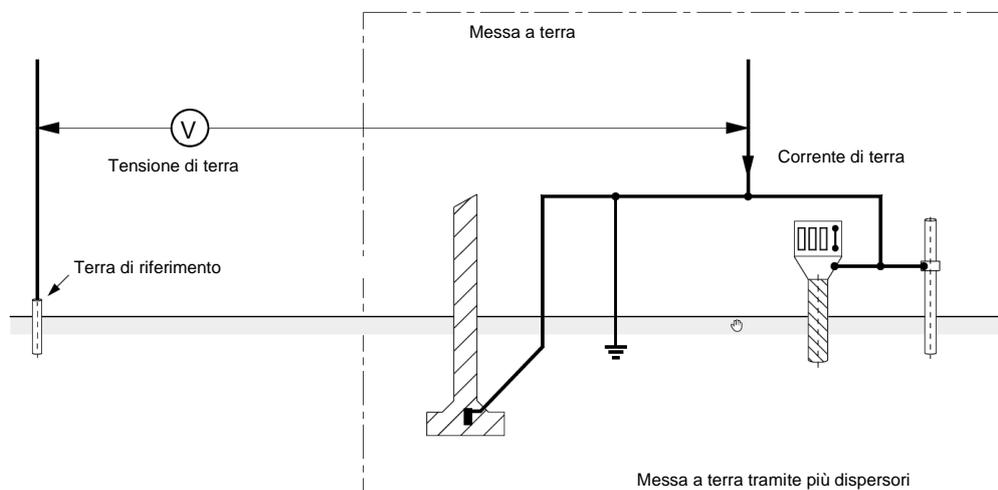




Figura 4: dimensioni della messa a terra secondo l'Ordinanza sulla corrente forte. La tensione misurata tra un dispersore e la terra di riferimento "verso l'esterno" (terreno neutro) è denominata tensione di guasto (tensione di terra). La tensione tra parti conduttrici quando esse vengono toccate contemporaneamente da un uomo o da un animale sono parte della tensione di terra (Tensione di contatto). Fonte SNG 483755:2019

Conclusionione

Sebbene nella pratica sia spesso trascurata, la misurazione della resistenza di terra presso sistemi, impianti e installazioni elettriche è prescritta e deve essere eseguita con un metodo di misurazione consono. In tal caso, occorre rispettare i valori di resistenza di terra massimi prescritti dalle norme a seconda della situazione. Inoltre, occorre indicare la realizzazione tecnica del sistema di messa a terra e redigere i relativi protocolli di misura, o nel rapporto di sicurezza e/o nell'opportuno protocollo di misura.

Daniel Otti, direttore ESTI
André Moser, esperto tecnico / addetto alla sicurezza

Ispettorato federale degli impianti a corrente forte ESTI
Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf
Tel. +41 58 595 18 18
info@esti.admin.ch
www.esti.admin.ch

Letteratura:

Ordinanza sulla corrente forte e sistema TT artt. 54, 55, 61
Ordinanza sugli impianti a bassa tensione, capitolo 4, sezione 3 OIBT:
Rapporto di sicurezza
Art. 13 Ordinanza del DATEC (O-DATEC; RS 734.272.3)
NIBT 4.1 e NIBT 6.1.3.6.2.1 – Misura della resistenza del dispersore
SNG 483755:2019 – 12.1 Notwendigkeit und Zweck von Erdungsmessungen
SNR 464113:2015 – 8. Dokumentation und Abnahme
SNR 464022:2015 – 6.3.5 +11.3 Besondere Bedingungen



Appendice: - Misurazioni della messa a terra, misurazioni della resistenza:

I diversi metodi di misurazione della messa a terra si basano tutti, chi più chi meno, sul principio della misurazione semplice della resistenza. Secondo questo principio, si misura la caduta di tensione in una resistenza in un circuito di corrente e da ciò si determina la resistenza:

$R_E = \frac{U_E}{I_E}$	<p>RE = resistenza di terra in generale</p> <p>UE = tensione sul dispersore (tensione del dispersore di terra)</p> <p>IE = corrente tramite il dispersore</p>
-------------------------	---

Principio della misurazione:

il principio della misurazione della messa a terra si basa sulla misurazione della caduta di tensione sulla resistenza di terra da misurare. Se si conosce la corrente che passa attraverso il dispersore e manca la tensione, è possibile calcolare la resistenza di terra secondo la legge ohmica. Tuttavia, il problema nel calcolo della messa a terra è che la misurazione della tensione deve essere effettuata da qualche parte:

- una volta sul dispersore e
- una volta su un "ideale terreno neutro, distante".

Per la misurazione esistono diverse procedure di misurazione adeguate: figure 5-8

- misurazione di corrente/tensione;
- misurazione comparativa delle tensioni;
- metodo di ponte;
- misurazione della resistenza di loop.

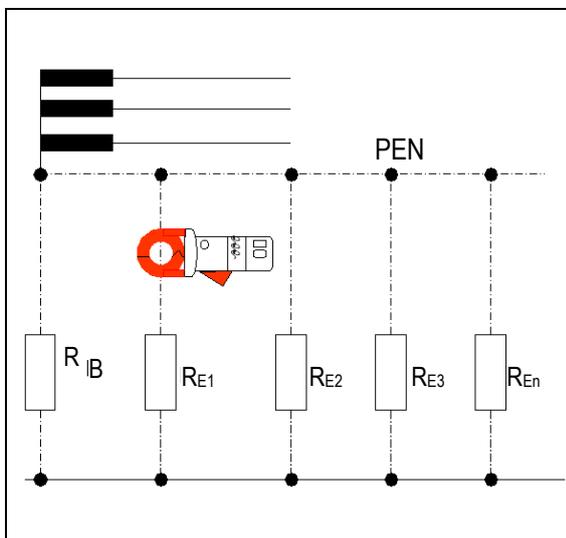


Figura 7: la misurazione, ampiamente diffusa, del loop di messa a terra con una pinza per la verifica della messa a terra non è da sola sufficiente per misurare la resistenza di terra.

Vantaggio: fonte propria di tensione e frequenza sino a 2083 Hz.

Nessuna necessità di sezionare la conduttura di terra.

Il loop di messa a terra è sempre maggiore rispetto all'effettiva resistenza di terra.

Svantaggio: si tratta di una misurazione del loop di messa a terra e non una misurazione della messa a terra, si deve sapere cosa si sta misurando. (Interpretazione)
Non dipende dal sistema, ma dall'esperto.

Consiglio pratico:

Se il loop di messa a terra è aperto, non è possibile effettuare la misurazione o il loop deve essere collegato artificialmente a un cavo di verifica.

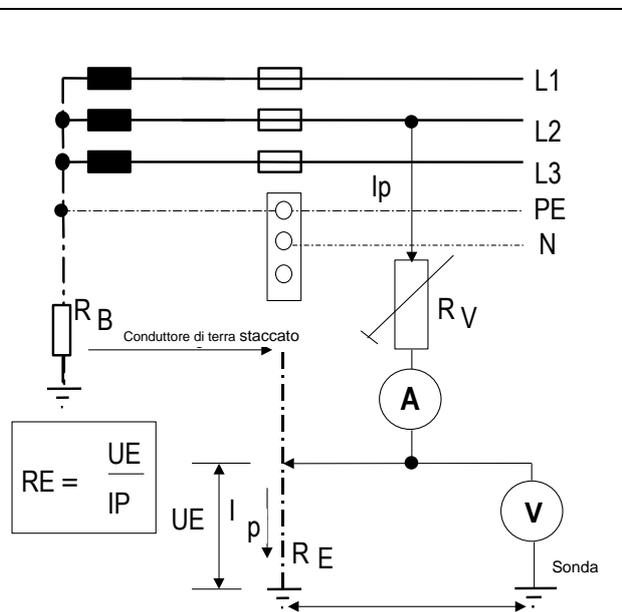


Figura 8: misurazione della messa a terra con l'ausilio della tensione di rete.

Vantaggio: la tensione a 230 V è presente ovunque.

Svantaggio: il conduttore polare è incluso nel loop; ciò significa che si deve sempre sottrarre dalla resistenza di terra 1/2 del loop di rete.

Non possibile dietro a un RCD!

$$RE \triangleq a - Ri / 2$$

RE = resistenza di terra

Ri = resistenza interna delle reti

a = valore di lettura della prima misurazione