

WEB Le verifiche strumentali

Le verifiche strumentali sono effettuate mediante opportuni strumenti di misura. Tra gli strumenti di misura fondamentali, il più diffuso e conosciuto è il **tester** o **multimetro**. Questi strumenti, realizzati sia in versione portatile sia in versione da laboratorio, consentono, generalmente, di eseguire almeno misure di **tensione**, di **corrente** e di **resistenza** in corrente continua (DC) e in corrente alternata (AC), con diverse portate per ogni funzione. Per questo motivo, essi sono denominati strumenti multifunzione o multimetri.

Tali strumenti sono disponibili in versione sia analogica sia digitale e hanno diverse portate, ottenute mediante commutazione manuale o automatica.

Un altro strumento molto diffuso è la **pinza amperometrica**, che consente di misurare correnti anche molto elevate senza bisogno di interrompere il circuito di misura.

Normalmente, per eseguire misure di corrente con un amperometro, è necessario interrompere il circuito e inserire, in serie all'utilizzatore, lo strumento di misura.

Per conoscere il valore della corrente che percorre l'utilizzatore, usando invece una pinza amperometrica, è sufficiente abbracciare con la pinza apribile il conduttore isolato che lo alimenta.

Le pinze amperometriche sono strumenti multifunzione e consentono di misurare, oltre alle correnti, anche tensioni e resistenze, e possono avere funzioni speciali come, per esempio, la memorizzazione delle correnti di spunto dei motori elettrici.

Le pinze amperometriche più diffuse effettuano solo misure in corrente alternata perché sfruttano il principio dell'induzione magnetica; ci sono comunque pinze amperometriche che eseguono anche misure su circuiti in corrente continua, utilizzando uno speciale sensore ad effetto Hall, che consente di rilevare la corrente continua.

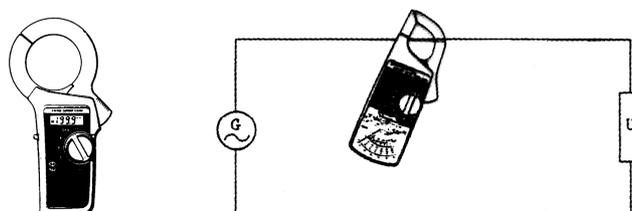


Fig. 1 - Pinza amperometrica e relativa inserzione per la misura della corrente assorbita da un utilizzatore monofase.

Anche le pinze amperometriche, come gli altri strumenti di misura portatili, sono realizzate in versione sia analogica sia digitale; inoltre, hanno un sistema per bloccare e, quindi, memorizzare l'indicazione.

Ci sono, infine, pinze amperometriche molto sensibili, in grado di misurare correnti anche nell'ordine di qualche milliampere, particolarmente adatte a rilevare le correnti di dispersione degli impianti elettrici. Le stesse pinze amperometriche sensibili alle correnti di dispersione sono utilizzate per la misura della corrente di primo guasto, come mostrato nella fig. 2b.

La corrente di primo guasto dei sistemi IT, e comunque dove si adotta il sistema di protezione contro i contatti indiretti mediante la separazione elettrica, può essere misurata con una pinza amperometrica ad alta sensibilità, in grado cioè di rilevare le correnti di primo guasto che sono nell'ordine dei milliampere.

Per l'esecuzione della misura, si collega un conduttore fra la terra e, successivamente, fra ognuna delle fasi del circuito separato.

Qualora non si conosca il valore presunto della corrente di primo guasto, e comunque quale precauzione per la sicurezza, è bene inserire un reostato fra il conduttore di fase e la terra ed effettuare la misura escludendo gradualmente.

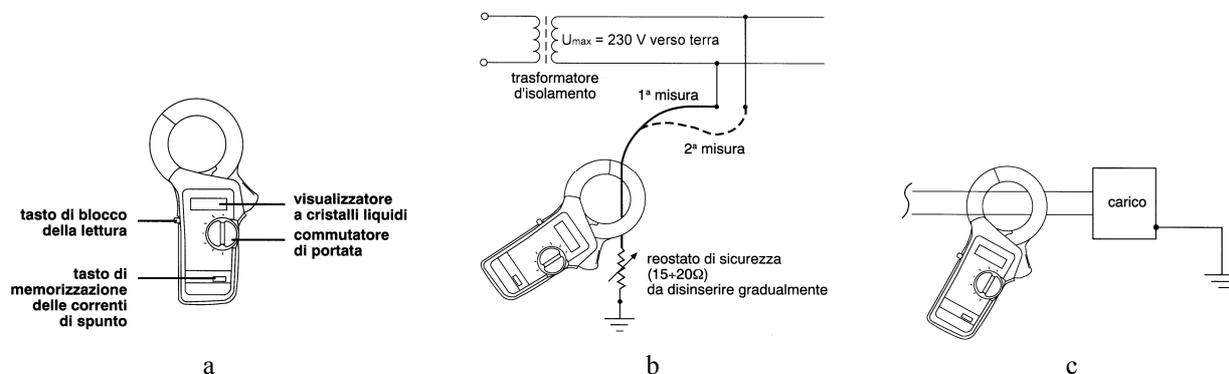


Fig. 2 - a) Caratteristiche di una pinza amperometrica digitale - b) Misura della corrente di primo guasto sul circuito secondario separato da un trasformatore di isolamento negli impianti elettrici adibiti ad uso medico - c) Inserzione per la misura delle correnti di dispersione su un carico monofase.

Si ricorda che la corrente di primo guasto dei circuiti separati nei locali adibiti ad uso medico non deve essere superiore a 2 mA con gli apparecchi scollegati.

Le pinze amperometriche idonee ad eseguire questa misura sono generalmente realizzate per ricercare e misurare le correnti di dispersioni.

Vale la pena ricordare che, nelle moderne installazioni sia civili sia industriali, sta crescendo sempre più l'utilizzo di apparecchiature costituenti i cosiddetti "carichi non lineari" (reti di computer, dispositivi per la regolazione della velocità dei motori elettrici, alimentatori, ecc.), che contribuiscono a deformare anche notevolmente la forma d'onda dei segnali ad esso applicati, allontanandola sempre più dalla tradizionale forma d'onda sinusoidale tipica dei carichi "lineari" (resistenze, induttanze e capacità).

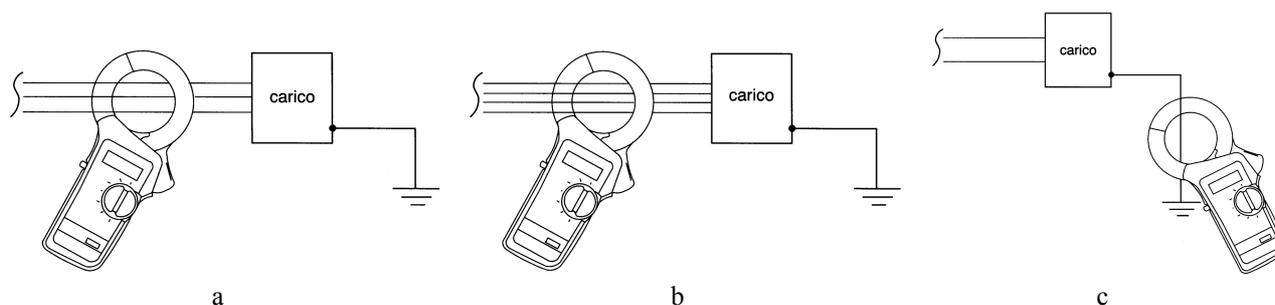


Fig. 3 - Inserzioni: a) Per la misura delle correnti di dispersione su un sistema trifase senza neutro distribuito - b) Per la misura delle correnti di dispersione su un sistema trifase con neutro distribuito - c) Per la misura delle correnti di drenaggio a terra.

I normali strumenti di misura (multimetri e pinze amperometriche) per la misura delle tensioni e delle correnti alternate del tipo a **valore medio** consentono di effettuare misure precise solamente su forme d'onda sinusoidale di segnali e, dunque, su carichi di tipo lineare.

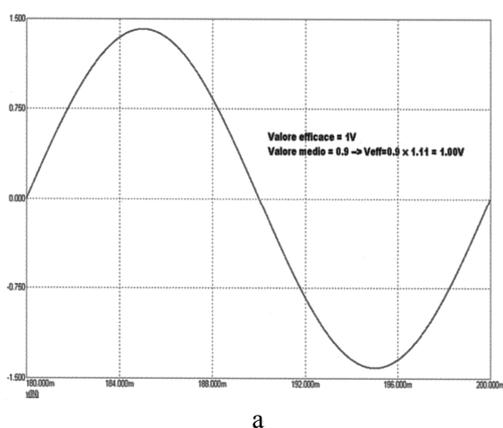
Per misure su carichi non lineari, l'insorgere di componenti armoniche, che provocano la distorsione della forma d'onda del segnale, rende necessario l'impiego di strumenti in **vero valore efficace** (TRMS, *True Root Mean Square*) in quanto gli strumenti in valore medio, considerando il valore della sola frequenza fondamentale di 50 Hz, possono dare luogo a errori anche notevoli sulla lettura dei valori.

Gli strumenti in TRMS forniscono, invece, oltre al valore efficace della fondamentale, anche il valore efficace dell'intera onda, comprese le armoniche, entro la banda passante per cui sono progettati.

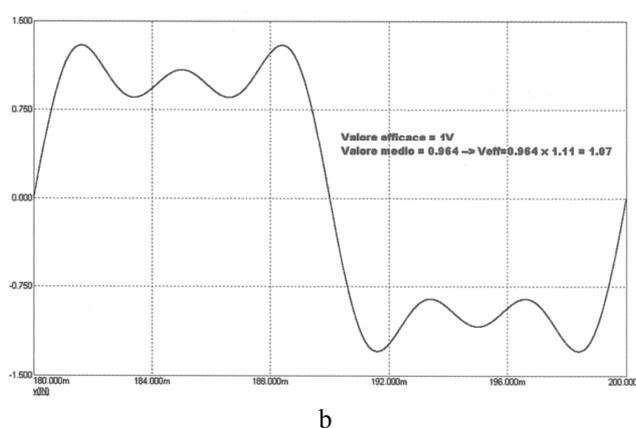
Di conseguenza, misurando la stessa grandezza con strumenti di entrambe le famiglie, i valori ottenuti sono identici solo se l'onda del segnale è puramente sinusoidale, mentre, per forme d'onda distorte, gli strumenti in TRMS forniscono valori sempre maggiori rispetto ai corrispondenti strumenti in valore medio.

In definitiva, è importante l'uso di strumenti di misura in TRMS quando occorre eseguire misure ed effettuare manutenzioni su impianti elettrici al fine di ottenere valori di lettura veritieri delle grandezze esaminate.

Ogni strumento di misura elettrica, oltre ad assolvere alla propria funzione, deve porre in sicurezza l'operatore dalle sovratensioni istantanee, che possono insorgere per effetto della presenza di reti di carico complesse, situazioni di cortocircuito, scariche atmosferiche e così via.



a



b



c

Fig. 4 - Forma d'onda sinusoidale su un carico lineare - b) Forma d'onda distorta su un carico non lineare - c) Esempio di pinza amperometrica digitale multifunzione per misure fino 600 A - AC/DC. Si noti la scritta True RMS a sinistra sopra il display e la scritta CAT III 600 V posta in alto a sinistra vicino alla pinza (HT).

Le norme internazionali IEC 61010-1 hanno stabilito quattro “categorie di sovratensione”, che definiscono il livello di protezione, dai transitori di tensione, di ogni strumento, in funzione della distanza dalla sorgente di alimentazione.

Strumenti appartenenti alla categoria più elevata richiedono maggiore protezione interna in quanto possono operare in prossimità della sorgente. Una breve descrizione è riportata nella tab. 1.

Categoria di sovratensione	Tipologia di misura	Esempi di applicazione
CAT I	Misure effettuate su circuiti non collegati direttamente alla rete di distribuzione	Apparecchiature elettroniche protette, misure su dispositivi non derivati dalla rete
CAT II	Misure effettuate su circuiti collegati direttamente sull'installazione a bassa tensione	Apparecchiature per uso domestico, utensili portatili e similari
CAT III	Misure effettuate in installazioni all'interno di edifici	Pannelli di distribuzione, cablaggi, interruttori, prese di installazioni fisse, motori elettrici, apparecchiature industriali
CAT IV	Misure effettuate su una sorgente di un'installazione in bassa tensione	Contatori elettrici, misure su dispositivi primari di protezione dalle sovracorrenti, unità di regolazione dell'ondulazione.

Tab. 1 - Categorie di sovratensione per gli strumenti di misura secondo la norma IEC 61010-1.

Le prove principali (verifiche strumentali) da eseguire sugli impianti elettrici sono le seguenti:

- 1) prova della continuità dei circuiti di protezione;
- 2) prova di funzionalità degli interruttori differenziali;
- 3) misura della resistenza di terra;

- 4) misura della resistenza d'isolamento;
- 5) verifica della protezione per separazione elettrica;
- 6) misura dell'impedenza dell'anello di guasto e della resistenza di cortocircuito;
- 7) misura della corrente di cortocircuito;
- 8) misura della caduta di tensione.

Di seguito sono mostrate le modalità di collegamento di alcune apparecchiature necessarie per effettuare le verifiche strumentali più comuni; per ulteriori informazioni sull'uso delle apparecchiature di misura, è comunque necessario fare riferimento ai manuali di istruzione.

1) Prova della continuità dei circuiti di protezione. La continuità dei conduttori di protezione (PE), del neutro quando svolge anche la funzione di conduttore di protezione (PEN), dei conduttori equipotenziali principali (EQP) e supplementari (EQS) e del conduttore di terra (CT) deve essere accertata mediante uno strumento che eroga una corrente di almeno 0,2 A, impiegando una sorgente di tensione alternata o continua compresa fra 4 e 24 V a vuoto.

Negli impianti elettrici dei locali adibiti a uso medico, la resistenza dei conduttori equipotenziali deve essere misurata con una tensione a vuoto da 6 a 12 V e una corrente di circa 10 A; il valore misurato non deve essere superiore a 0,15 Ω .

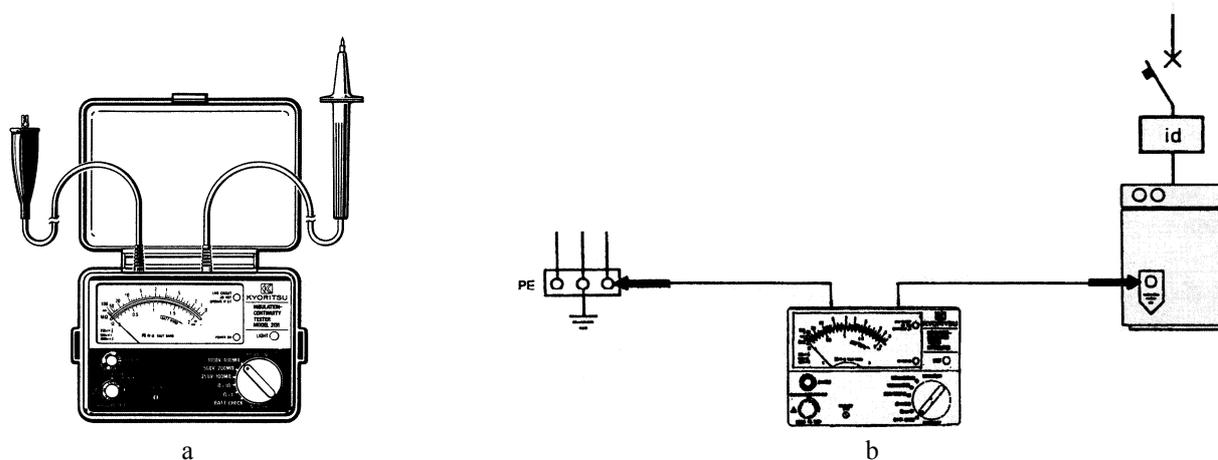


Fig. 5 - a) Strumento per le misure di isolamento e prove di continuità - b) Misura di continuità tra collettore di terra o nodo e massa di un apparecchio utilizzatore.

Per eseguire la prova, occorre verificare che vi sia continuità tra:

- il collettore di terra e i dispersori (quando accessibili);
- il collettore di terra e le masse estranee principali (tubi dell'acqua, gas, riscaldamento, ecc.);
- il collettore di terra o i nodi ed i morsetti di terra degli apparecchi utilizzatori di Classe I;
- il collettore di terra o i nodi e i poli di terra delle prese a spina;
- le masse estranee dei locali contenenti bagni o docce ed il nodo o i poli di terra delle prese a spina.

La norma di riferimento da prendere in considerazione per queste misure è la CEI 64-8.

Nella fig. 5 e fig. 6 viene mostrato un apposito strumento per effettuare le misure di continuità e alcuni esempi di collegamento.

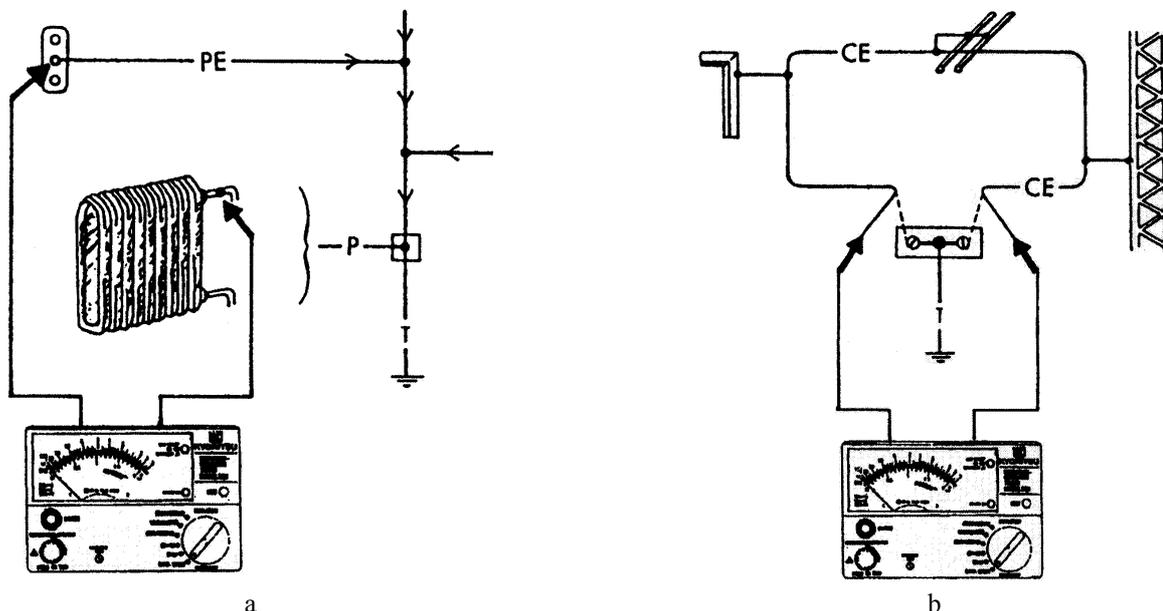


Fig. 6 - a) Misura di continuità tra alveolo centrale di una presa e massa estranea - b) Misura tra due estremi di un anello equipotenziale.

2) Prova di funzionalità degli interruttori differenziali. Questa prova consiste nell'accertare che gli interruttori differenziali installati conservino nel tempo le proprie caratteristiche.

Gli strumenti portatili di questo tipo consentono, in genere, di effettuare:

- la prova di non intervento con una corrente di dispersione pari a metà della propria corrente d'intervento I_{dn} ;
- la prova di intervento con una corrente di dispersione pari alla propria corrente d'intervento I_{dn} con la lettura dei tempi di intervento fino a 2 s;
- la prova di intervento veloce a $5 I_{dn}$ con la lettura di intervento;
- la prova di intervento entro 40 ms con una corrente di dispersione di 250 mA quando si tratta di interruttore differenziale ad alta sensibilità.

Per realizzare una verifica che accerti le funzioni di protezione per le quali l'interruttore differenziale è installato, si può verificare, per esempio, che ogni interruttore differenziale di tipo "AC":

- non intervenga con una corrente di dispersione pari a metà della propria corrente d'intervento I_{dn} ;
- intervenga entro 500 ms se $I_{dn} = 30$ mA o entro 2 s se $I_{dn} > 30$ mA con una corrente di prova di valore pari alla propria corrente d'intervento I_{dn} ;
- intervenga entro 40 ms con una corrente di dispersione di 250 mA quando si tratta di interruttori differenziali con $I_{dn} = 30$ mA, oppure con una corrente pari a $5 I_{dn}$ quando si tratta di interruttori differenziali con $I_{dn} > 30$ mA.

La corrente di prova può essere iniettata nei due opposti angoli ciclici, 0° e 180° , con riferimento all'onda di tensione, per avere, così, i due tempi d'intervento migliore e peggiore. Per ogni interruttore differenziale di tipo "A" si può anche verificare che intervenga con una corrente pulsante ad una semionda di valore efficace pari a 1,4 volte la corrente nominale sovrapposta ad una corrente continua di 6 mA.

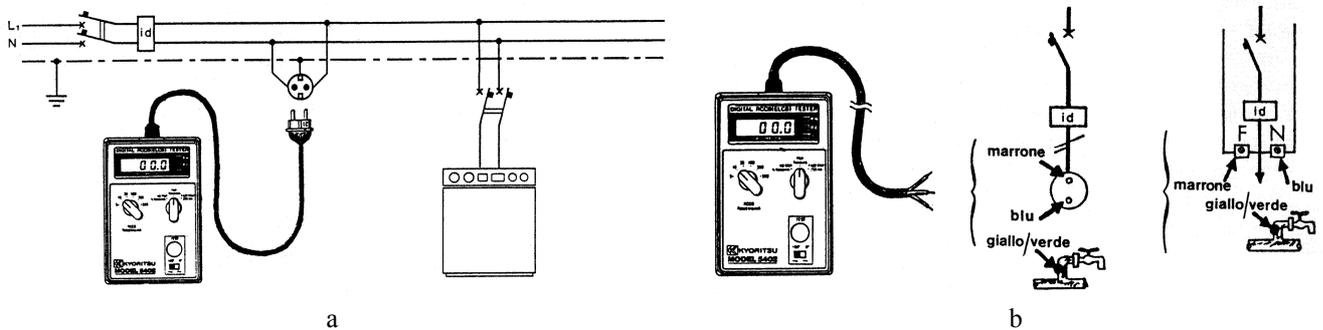


Fig. 7 - a) Modalità di collegamento dell'apparecchio prova differenziali ad una presa a spina - b) Collegamento su un impianto senza conduttore di protezione (PE) fra presa a spina e massa estranea e fra morsetti di un interruttore differenziale ed una massa estranea.

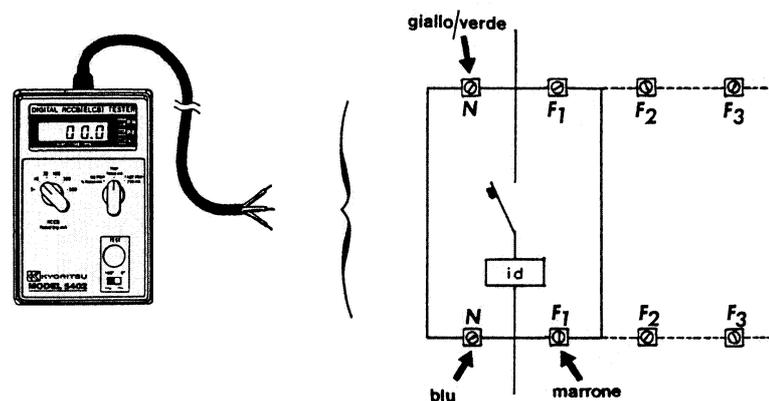


Fig. 8 - Collegamento diretto all'interruttore differenziale su un impianto con tensione 400/230 V.

Per gli accertamenti di cui sopra è possibile collegare i terminali dello strumento:

- direttamente ai morsetti a valle dell'interruttore di prova e la terra;
- tra i morsetti a valle e quelli a monte dell'interruttore di prova;
- direttamente alle prese a spina o ai circuiti protetti dallo stesso differenziale di prova, possibilmente con gli apparecchi utilizzatori non collegati.

Le norme di riferimento da prendere in considerazione per queste misure sono la CEI 64-8 e la CEI 17-5.

Nella fig. 7 sono mostrati alcuni esempi di utilizzo di uno strumento per la verifica della funzionalità degli interruttori differenziali.

3) Misura della resistenza di terra. La misura della resistenza del dispersore D è eseguita conficcando nel terreno un dispersore ausiliario (o sonda) di corrente D_a e una sonda di tensione D_v ad una distanza di circa $5 \div 10$ m tra loro e rispetto al dispersore in esame.

La fig. 9 illustra come è effettuato il collegamento dei due dispersori ausiliari D_a e D_v e del dispersore in prova D con il misuratore della resistenza di terra.

La distanza di $5 \div 10$ m è puramente indicativa ed è valida solo per la misura dei singoli dispersori a picchetto. Quando si eseguono misure su impianti molto estesi, il dispersore di corrente D_a deve essere conficcato ad una distanza (2) dal contorno dell'impianto da verificare, pari almeno alla massima dimensione lineare (1) del suolo impegnato dall'impianto di terra stesso (fig. 10).

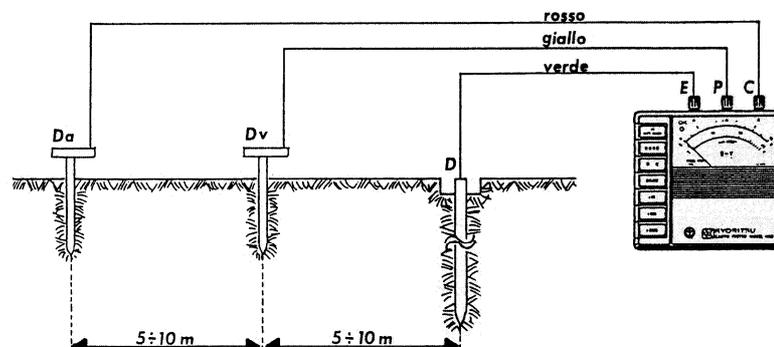


Fig. 9 - Modalità di collegamento di un misuratore di resistenza di terra.

Per accertare l'attendibilità della misura e, quindi, l'indipendenza dell'impianto in verifica rispetto al dispersore ausiliario D_a , bisogna ripetere la misura spostando la sonda di tensione D_v prima di qualche metro verso l'impianto D in verifica (posizione D_{v1}) e, successivamente, di qualche metro verso il dispersore di corrente D_a (posizione D_{v2}), così da individuare se la zona dove è conficcato il dispersore di tensione D_v è a potenziale indisturbato.

Se i valori ottenuti sono uguali, o comunque non si differenziano in maniera considerevole, è confermata l'attendibilità della misura, poiché si ha l'indipendenza dei dispersori ausiliari rispetto all'impianto di terra.

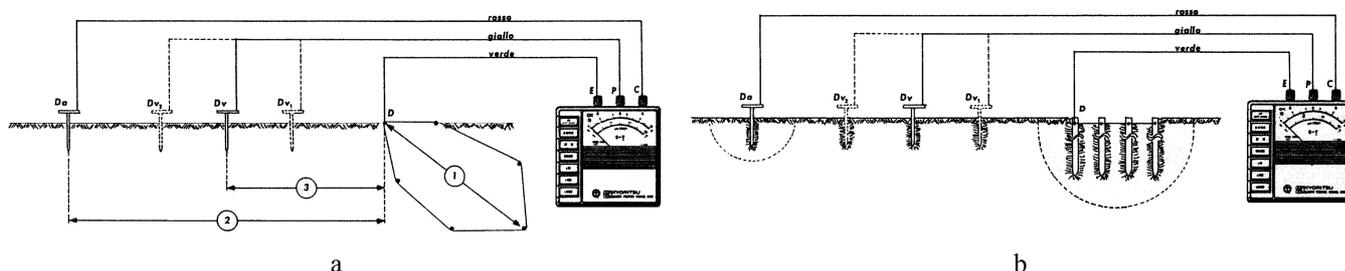


Fig. 10 - a) Collegamento diretto all'interruttore differenziale su un impianto con una tensione 400/230 V - b) Individuazione della zona a potenziale indisturbato.

Se, invece, i valori si discostano fra loro in maniera considerevole, bisogna allontanare di più il dispersore di corrente D_a rispetto all'impianto D in verifica e ripetere la misura utilizzando lo stesso metodo, posizionando sempre il dispersore di tensione D_v alla stessa distanza (3) sia rispetto all'impianto D in verifica sia rispetto al dispersore di corrente D_a . La norma di riferimento per queste misure è la CEI 64-8.

Quando si vuole misurare la resistenza di un impianto di terra facente parte di un sistema TT in un centro urbano dove non è possibile utilizzare i dispersori ausiliari, la resistenza globale di terra può essere misurata utilizzando il loop tester, come mostrato nella fig. 11. Tale misura è effettuata collegando lo strumento anche direttamente ad una presa a spina. Il valore misurato comprenderà, oltre alla resistenza del dispersore, anche quella del dispersore della cabina dell'Ente distributore, più la resistenza delle linee e dell'avvolgimento secondario del trasformatore.

Il valore così ottenuto è sempre maggiore di quello relativo al solo dispersore per cui, ai fini del coordinamento con i dispositivi di protezione, è sempre a vantaggio della sicurezza.

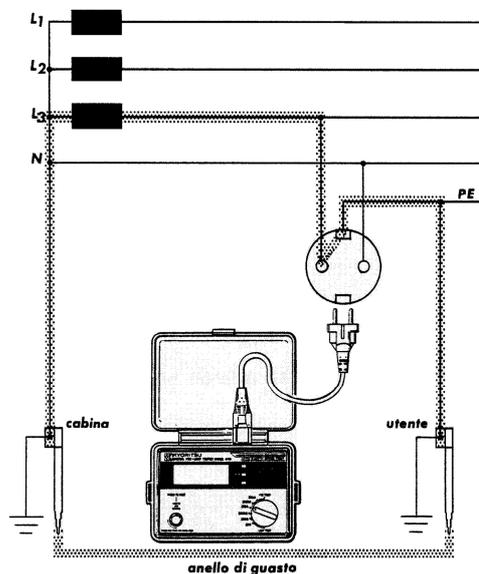


Fig. 11 - Misura della resistenza di terra con il loop tester.

4) Misura della resistenza d'isolamento. L'apparecchio da utilizzare per eseguire questa misura deve essere in grado di fornire le tensioni di prova richieste (250 V, 500 V, 1000 V) su una resistenza di carico pari al valore minimo ammesso per la resistenza d'isolamento dell'impianto (0,25 M Ω , 0,5 M Ω , 1 M Ω), facendo, quindi, circolare una corrente di 1 mA. Per la scelta di questo strumento, si deve accertare, inoltre, che i valori della resistenza d'isolamento ammessi siano facilmente leggibili sulla scala, nel caso di uno strumento analogico, o siano forniti con buona precisione dall'indicatore numerico, nel caso di uno strumento digitale.

La resistenza d'isolamento dell'impianto elettrico deve essere misurata, a circuito sezionato, tra:

- conduttori attivi e la terra, per tutte le parti di impianto comprese fra due fusibili o interruttori automatici successivi, o posti a valle dell'ultimo fusibile o interruttore automatico;
- (raccomandato) i conduttori attivi fra di loro.

In genere, negli impianti di piccola estensione, la misura della resistenza è effettuata all'origine dell'impianto ed i conduttori di fase e di neutro possono essere collegati insieme.

Quando si esegue questa misura tra i conduttori attivi, gli apparecchi utilizzatori devono essere sezionati o scollegati. Qualora non fosse possibile o agevole il loro sezionamento (per esempio, corpi illuminanti o apparecchi utilizzatori fissi), la misura della resistenza d'isolamento tra i conduttori attivi deve essere realizzata in corso d'opera oppure ci si deve limitare alla misura tra i conduttori attivi e la terra.

Nei sistemi TN-C, il conduttore PEN è considerato come parte della terra. La resistenza d'isolamento, misurata con le tensioni di prova in corrente continua indicate nella tab. 2, è accettabile quando ogni circuito, con gli apparecchi utilizzatori disinseriti, presenta un valore della resistenza d'isolamento non inferiore a quanto indicato nella stessa tabella. La norma di riferimento per queste prove è la CEI 64-8.

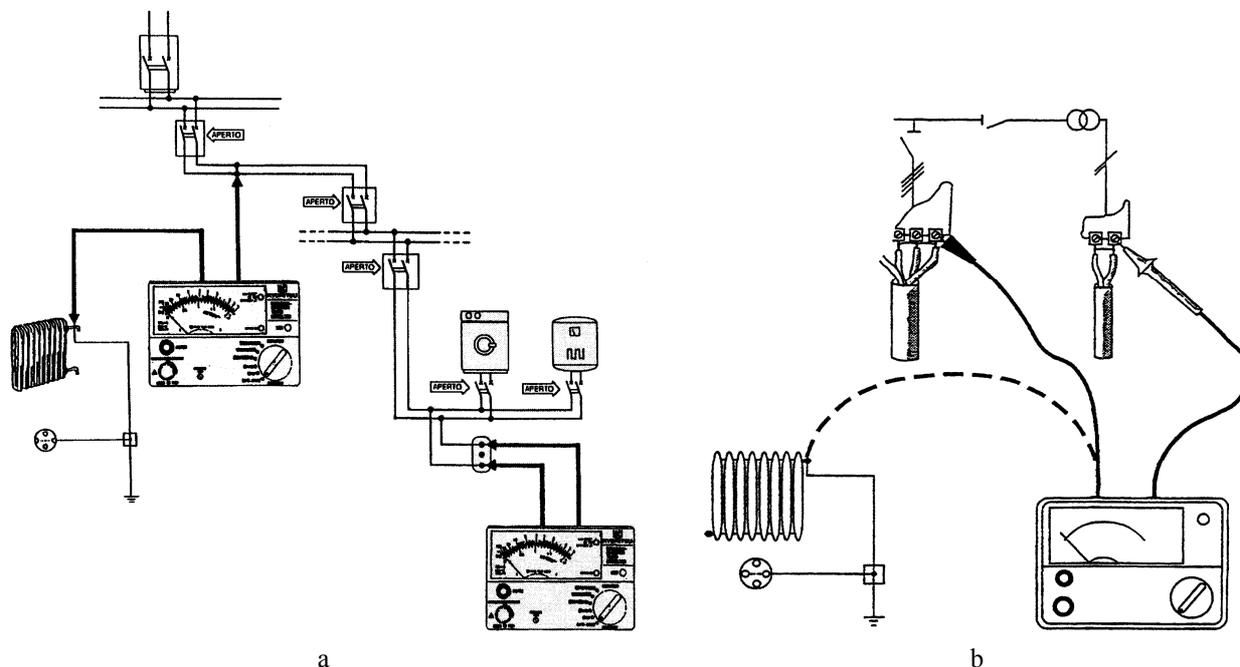


Fig. 12 - a) Misura della resistenza di isolamento - b) Per la verifica della protezione per separazione elettrica, occorre misurare la resistenza d'isolamento tra le parti attive del circuito separato e quelle di altri circuiti (anche per SELV e PELV) e tra la terra e il circuito separato (anche per SELV).

Tensione nominale dei circuiti	Tensione di prova in DC	Resistenza d'isolamento di ciascun circuito
SELV e PELV (categoria zero)	250 V DC	$\geq 0,25 \text{ M}\Omega$
Fino a 500 V compresi, con l'eccezione dei casi di cui sopra	500 V DC	$\geq 0,50 \text{ M}\Omega$
Oltre 500 V	1000 V DC	$\geq 1,00 \text{ M}\Omega$

Tab. 2 - Valore della minima resistenza di isolamento in funzione delle tensioni di prova.

5) Verifica della protezione per separazione elettrica. Per questa misura, mostrata in fig. 12b, è necessario utilizzare lo stesso strumento usato per la misura della resistenza d'isolamento per verificare la protezione mediante i sistemi SELV e PELV; inoltre, si deve accertare che la resistenza d'isolamento misurata tra:

- le parti attive del circuito (per esempio, sul primario del trasformatore d'isolamento funzionante a 220/230 V) in prova e quelle di altri circuiti per i sistemi SELV e PELV (per esempio, sul secondario del trasformatore d'isolamento funzionante a 12 V);
- le parti attive del circuito (per esempio, sul secondario del trasformatore) in prova e la terra per i sistemi SELV, non sia inferiore a $0,25 \text{ M}\Omega$, con una tensione di prova di 250 V DC.

Per verificare la protezione mediante separazione elettrica, si deve accertare che la resistenza d'isolamento tra:

- le parti attive del circuito separato e quelle di altri circuiti,
- le parti attive del circuito separato e la terra, sia in accordo con i valori presentati nella tab. 2.

6) Misura dell'impedenza dell'anello di guasto e della resistenza di cortocircuito. La misura dell'impedenza dell'anello di guasto nei sistemi TN è eseguita collegando il loop tester fra una fase immediatamente a monte dell'interruttore (v. fig. 13a), o fusibile successivo, a quello del quale si vuole accertare il coordinamento ed il conduttore di protezione della massa da proteggere.

Il loop tester rileva la resistenza totale dell'anello di guasto in luogo dell'impedenza, commettendo, così, un errore tanto maggiore quanto più basso è il $\cos \varphi$ di cortocircuito.

Per tensione tra fase e neutro di 230 V, si può ottenere il valore dell'impedenza moltiplicando i valori di resistenza R misurata per dei fattori di correzione K calcolati sulla base dei $\cos \varphi$ di cortocircuito nominali prescritti dalla norma CEI 17-5. I fattori di correzione sono riportati nella tab. 3 e nel manuale d'istruzione dell'apparecchio. La norma di riferimento per questa prova è la CEI 64-8.

R	0,01	0,018	0,034	0,058	0,13
K	3	2	1,42	1,25	1,11

Tab. 3 - Fattori di correzione K calcolati sulla base dei $\cos \varphi$ di cortocircuito nominali per una tensione tra fase e neutro di 230 V, prescritti dalla norma CEI 17-5.

7) Misura della corrente di cortocircuito. Con il loop tester collegato tra una fase ed il neutro di una linea, è possibile misurare la resistenza di cortocircuito minima o massima, a seconda che ci si trovi nel punto più vicino o più lontano dalla fonte di alimentazione, per la determinazione poi della corrente di cortocircuito, rispettivamente, massima e minima (v. fig. 13b).

I moderni strumenti a microprocessore sono in grado di indicare direttamente il valore della corrente di guasto o di cortocircuito.

8) Misura della caduta di tensione. Per effettuare questa misura (v. fig. 14), è necessario utilizzare due voltmetri aventi la stessa classe di precisione. Occorre collegare un voltmetro in un punto qualsiasi dell'impianto, con tutti gli apparecchi utilizzatori che possono funzionare simultaneamente inseriti, e l'altro al punto di consegna dell'impianto.

Le cadute di tensione date dalla differenza di letture dei due voltmetri non devono superare il 4% della tensione misurata al punto di consegna dell'impianto utilizzatore più sfavorito.

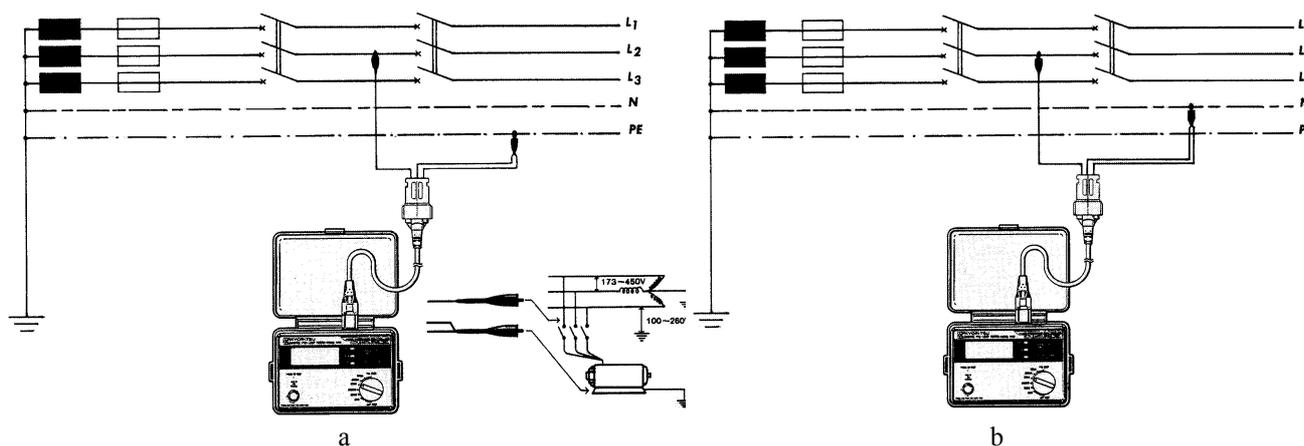


Fig. 13 - a) Misura dell'impedenza di guasto - b) Misura della corrente di cortocircuito monofase.

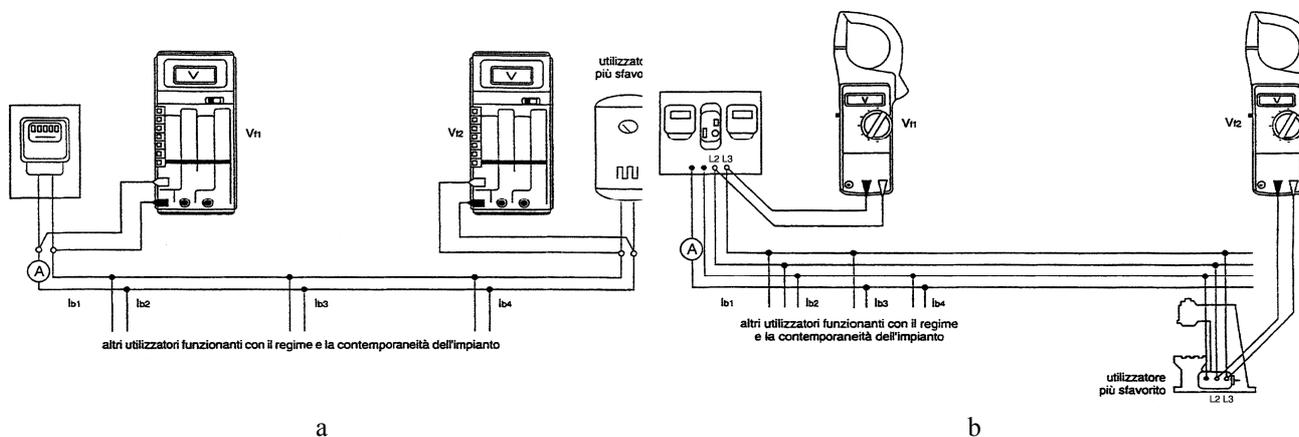
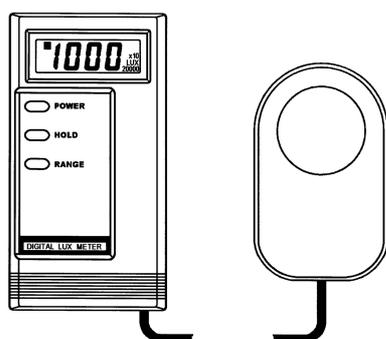


Fig. 14 - Misura della caduta di tensione: a) Schema d'inserzione monofase - b) Schema d'inserzione trifase.

Oltre alle misure elettriche elencate precedentemente, può essere necessario **misurare il livello minimo di illuminamento**. Lo scopo della misura è quello di accertare che i livelli e l'uniformità di illuminamento siano conformi alle richieste normative e di progetto.

La misura può essere effettuata per verificare l'illuminazione di sicurezza nei locali di pubblico spettacolo (illuminamento medio 5 lx nelle vie di fuga e 3 lx negli altri ambienti) oppure l'illuminazione di sicurezza nei locali di lavoro (5 lx nelle vie di fuga, oppure valori superiori per esigenze specifiche legate alla sicurezza).

La misura dell'illuminamento artificiale deve essere eseguita in assenza totale di luce naturale e, di conseguenza, durante il giorno è essenziale oscurare finestre e porte a vetri. Occorre disporre la fotocellula a 1 m dal pavimento, perpendicolare alla direzione del flusso luminoso, ed effettuare la lettura a cellula ferma.



Esempio di luxmetro digitale per luce naturale ed artificiale.
Campo di misura da 0 a 20000 lx con valore minimo leggibile di 0,01 lx.
Errore di misura non superiore a 1% del valore letto.
Fotocellula separata dallo strumento con lente di correzione dell'angolo di incidenza e possibilità di memorizzare le misure.

Fig. 15 - Esempio di luxmetro digitale e relativa fotocellula.