Rischio ELETTRICO

Prima Parte: Pericoli e conseguenze
Seconda Parte: Aspetti Legislativi / Normativi
Terza Parte: Misure di protezione

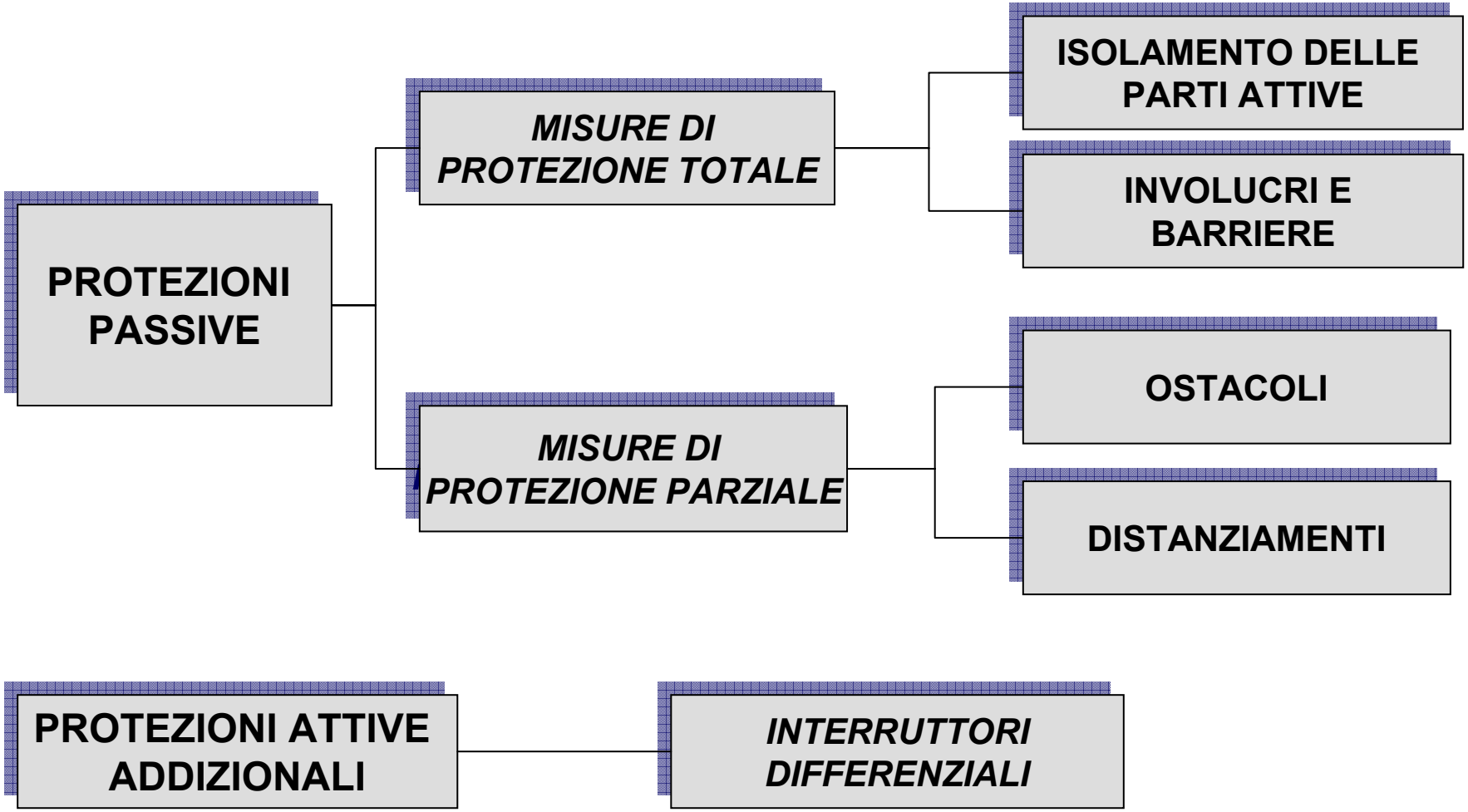
E.M.I.C.
ELETTRICISTI MACCHINISTI
ITALIANI CINEAUDIOVISIVO

CNIM
Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione
Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione

TERZA PARTE

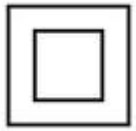
Misure di protezione

PROTEZIONI CONTRO I CONTATTI DIRETTI



PROTEZIONI CONTRO I CONTATTI INDIRETTI

Metodi senza interruzione dell'alimentazione



- ❑ Doppio isolamento
- ❑ Bassissima tensione di sicurezza o protezione (SELV - PELV)
- ❑ Separazione dei circuiti
- ❑ Locali isolanti
- ❑ Collegamento equipotenziale locale

Metodi con interruzione dell'alimentazione

- ■ Messa a terra delle masse al fine di collegare allo stesso potenziale tutte le masse metalliche

+

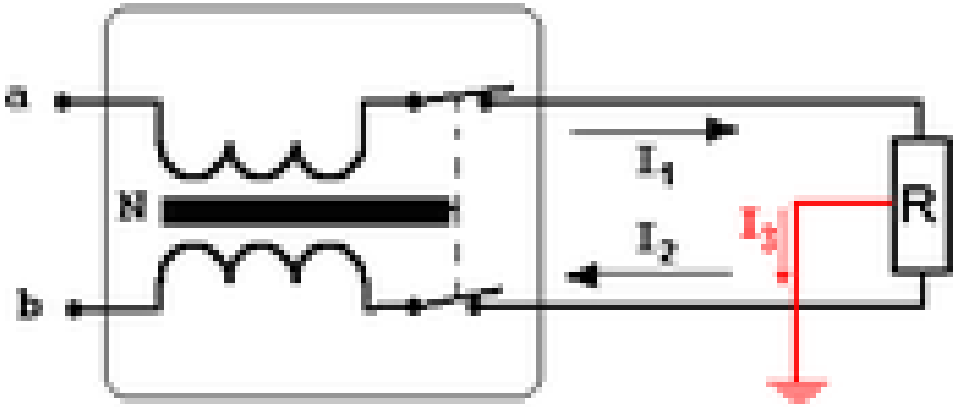
- ■ Interruttori differenziali ad alta sensibilità con correnti di soglia $I\Delta n \leq 30mA$

L'efficacia del sistema di protezione dai contatti indiretti è legato al corretto coordinamento tra impianto di terra e interruttori differenziali.

- **L'interruttore differenziale (o salvavita)**

  L'interruttore differenziale (detto anche salvavita da un nome commerciale largamente utilizzato) è un dispositivo elettrotecnico in grado di interrompere un circuito in caso di guasto verso terra (dispersione) o folgorazione fase-terra. Non offre alcuna protezione contro sovracorrente o cortocircuito tra fase e fase o tra fase e neutro, per i quali è invece richiesto un interruttore magnetotermico. Sono molto diffusi in commercio apparecchi che integrano entrambi i dispositivi.

Interruttore magnetotermico con differenziale incorporato



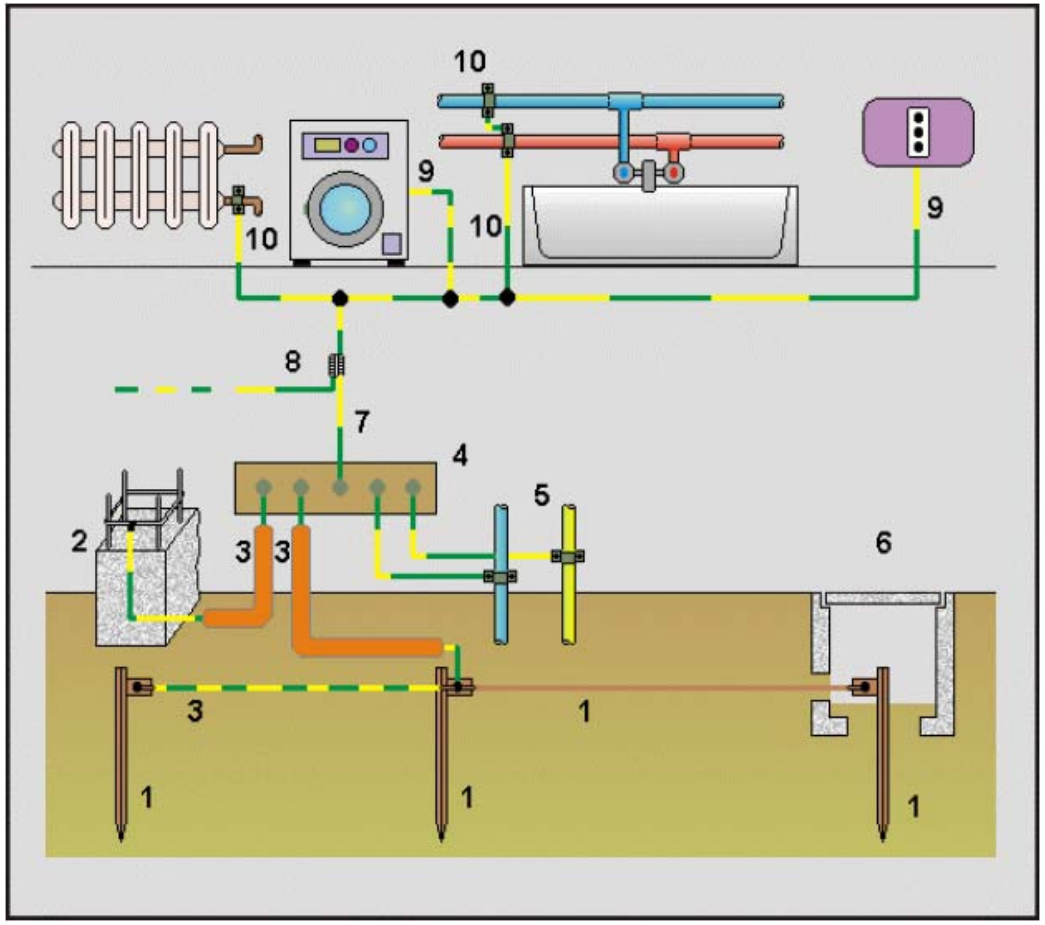
Le correnti che percorrono i conduttori di alimentazione e che entrano ed escono dal differenziale sono perfettamente uguali; se, per difetto di isolamento di un utilizzatore (ad esempio in un elettrodomestico, o in una plafoniera, ecc.), si verifica una dispersione di corrente, accade che un conduttore di alimentazione è percorso da una corrente inferiore rispetto all'altro e se la differenza tra le correnti è tale da superare almeno la metà della corrente nominale di intervento del differenziale, interviene l'interruttore differenziale che apre il circuito interrompendo l'alimentazione.

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

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

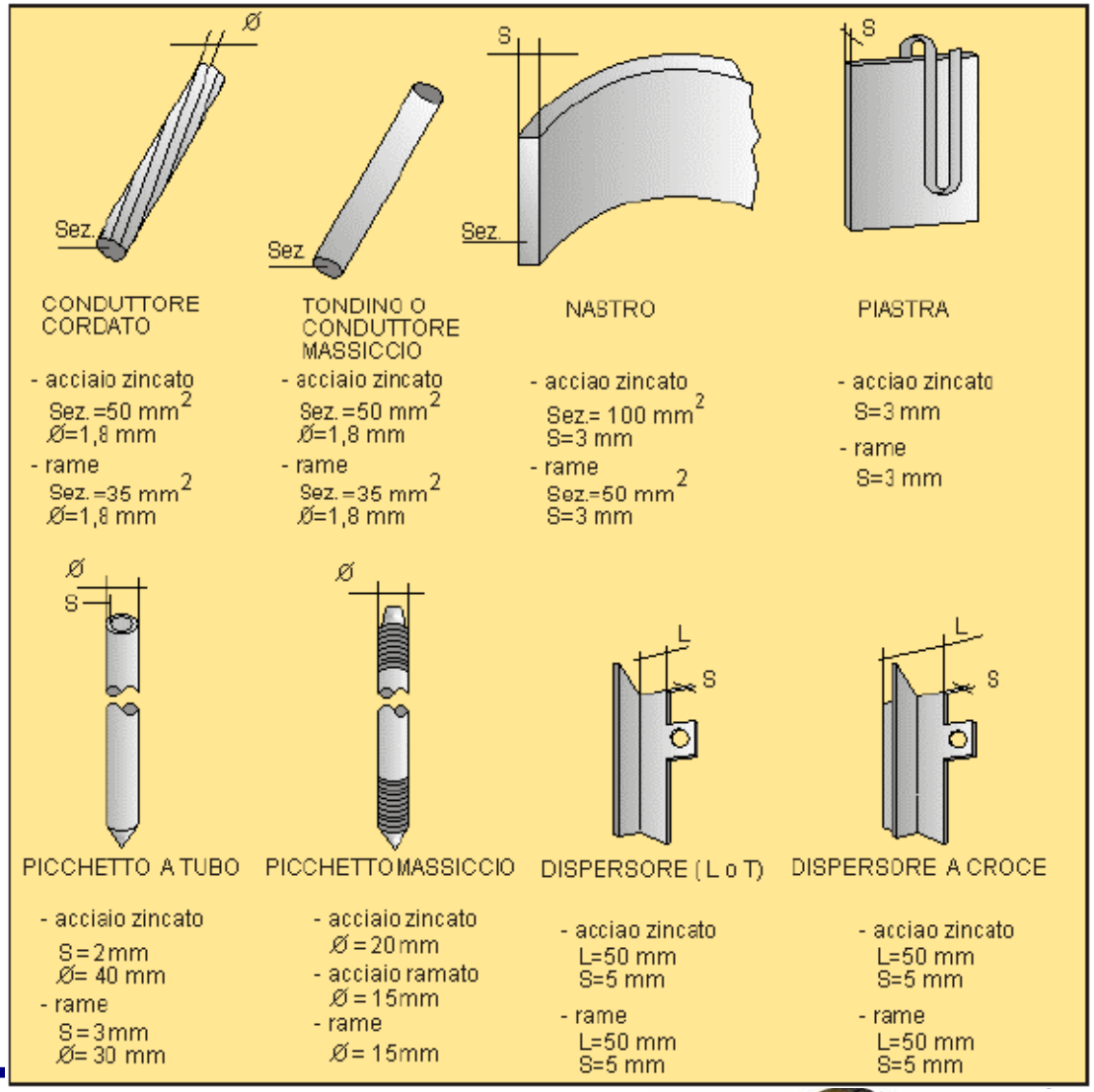
- ***messa a terra di protezione*** *- collega tutte le parti metalliche degli impianti e degli apparecchi utilizzatori con lo* scopo di limitare o, agevolando l'interruzione del circuito guasto, di eliminare le tensioni pericolose che potrebbero applicarsi alla persona che venisse malauguratamente a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

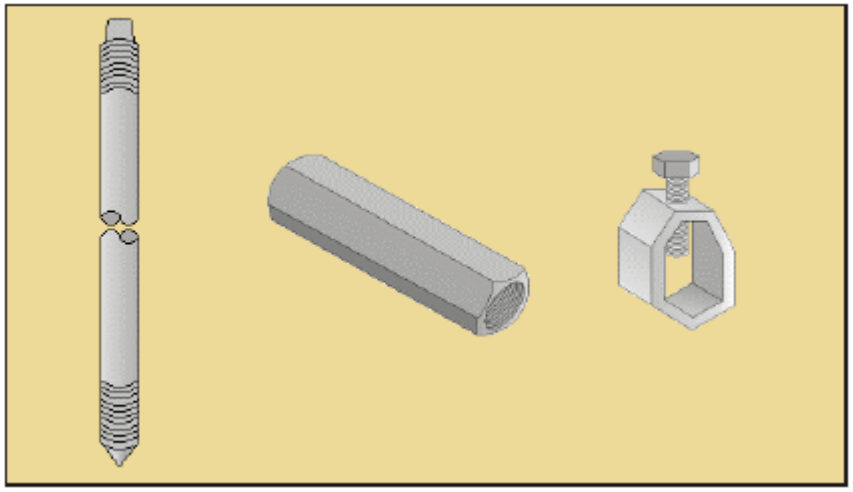
1. dispersore intenzionale o artificiale (DA), ottenuto mediante picchetti (puntazze) infissi verticalmente nel terreno, nastri, piastre oppure corde nude interrate orizzontalmente
2. dispersore di fatto o naturale (DN), costituito da strutture metalliche interrate come ferri d'armatura, tubazioni metalliche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



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

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





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

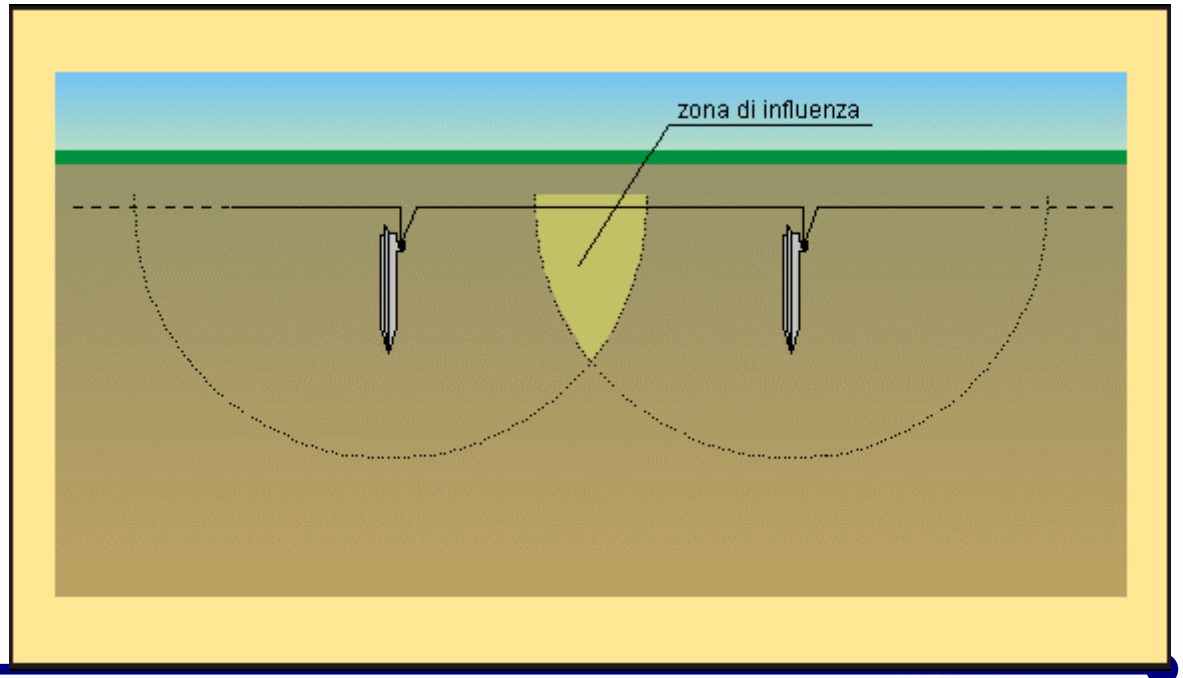
La Norma raccomanda l'impiego di metalli resistenti alla corrosione come ferro zincato, rame, acciaio ramato senza escludere la possibilità di impiegare anche altri metalli se adatti al tipo di terreno. Possono essere utilizzati anche metalli ferrosi senza rivestimenti protettivi purché lo spessore sia aumentato del 50% e le sezioni non siano inferiori a 100 mm2

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

Valori di resistività

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

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

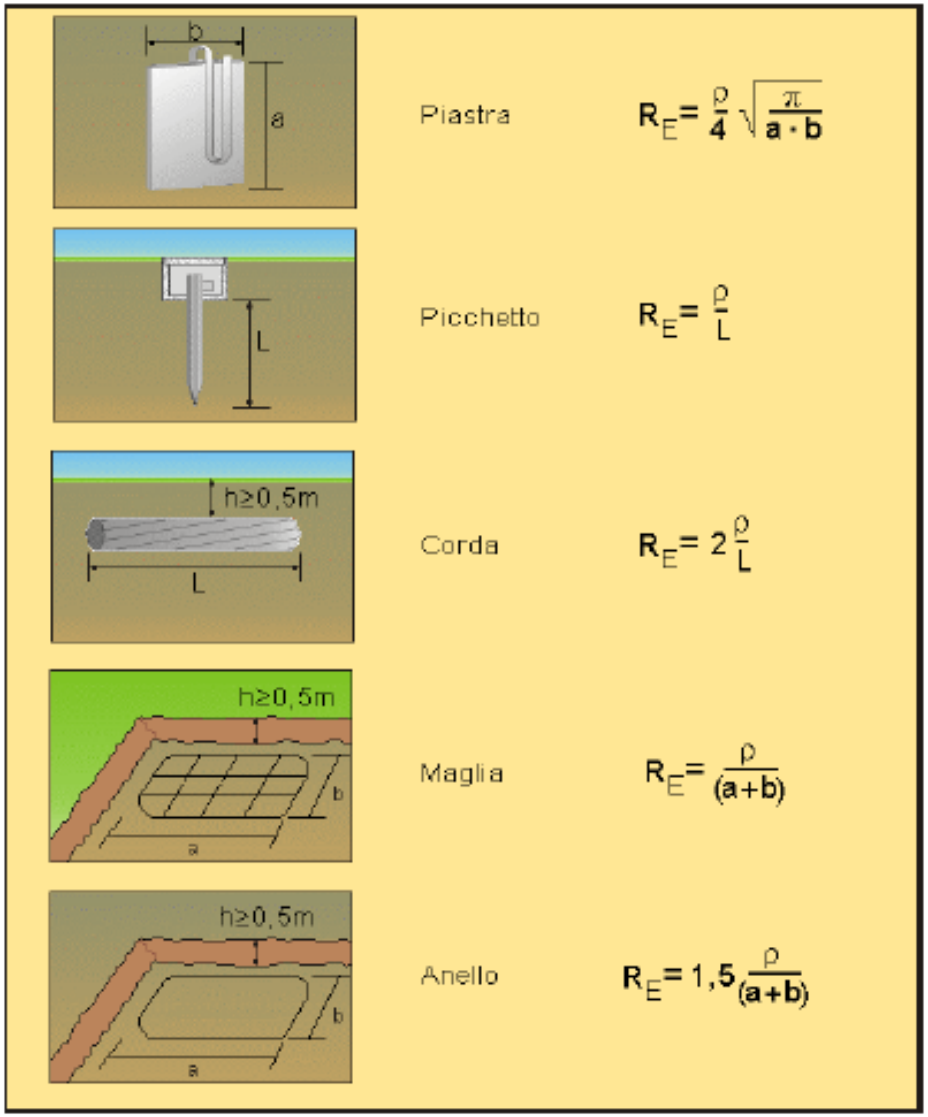


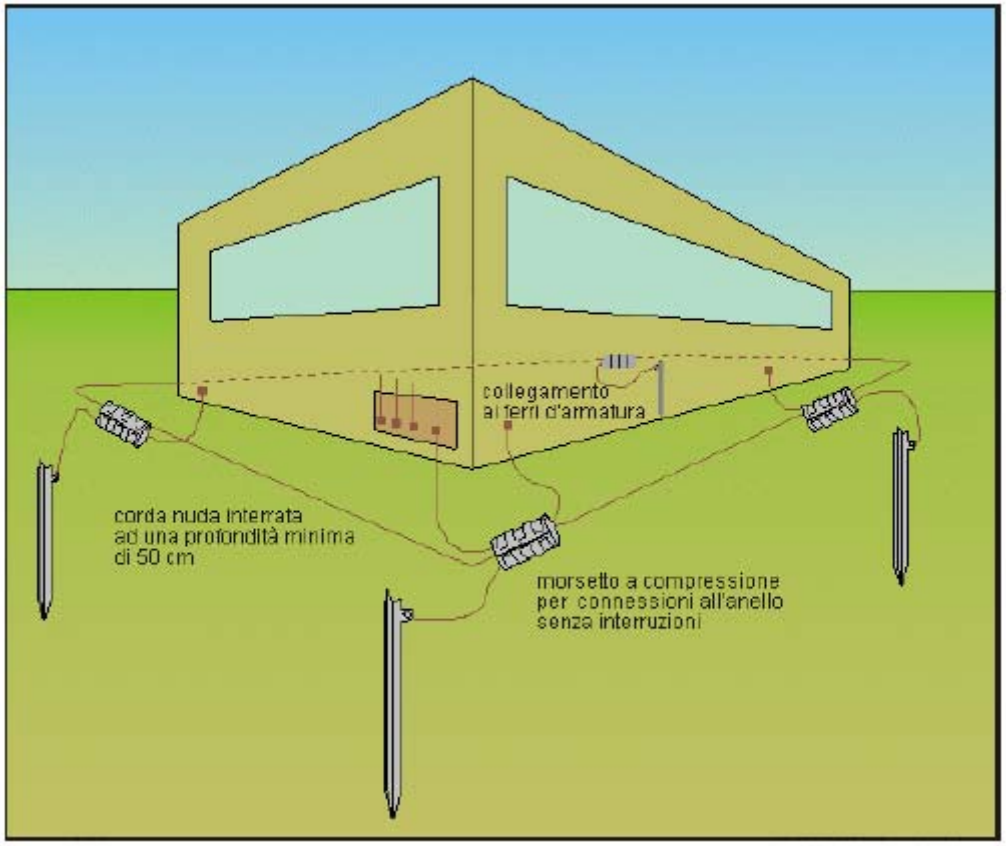
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

dove:

- *l* : distanza tra i due estremi di cui si conosce la differenza di potenziale
- *S* : area della sezione perpendicolare al gradiente di potenziale
- *ρ* è la resistività elettrica media del materiale tra i capi

Studi e rilievi sperimentali hanno consentito di scrivere delle formule semplificate per il calcolo della resistenza di terra in funzione delle caratteristiche dei diversi tipi di dispersori e della resistività del terreno

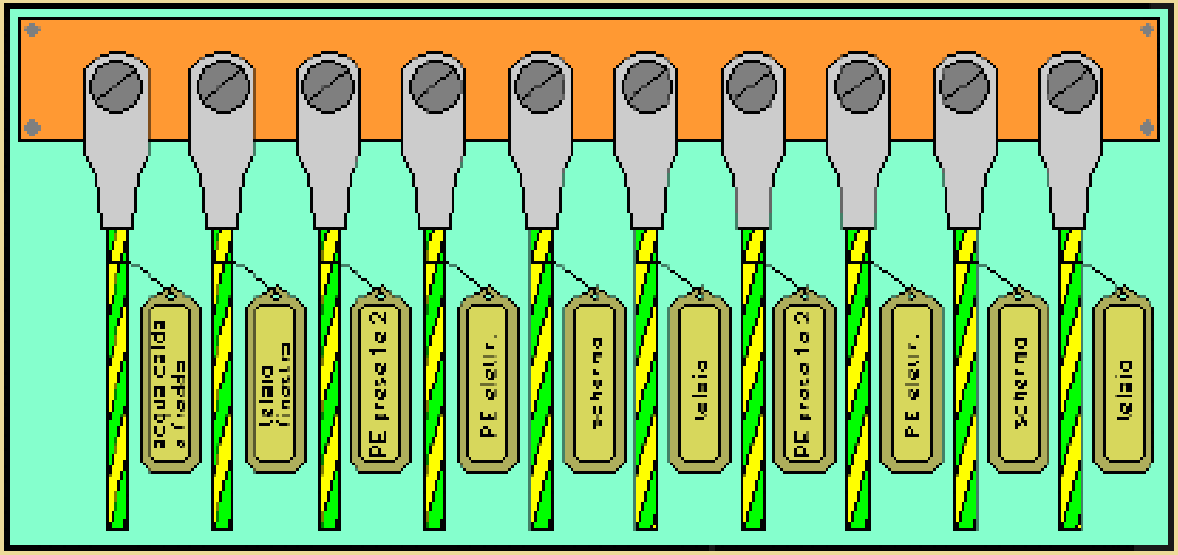




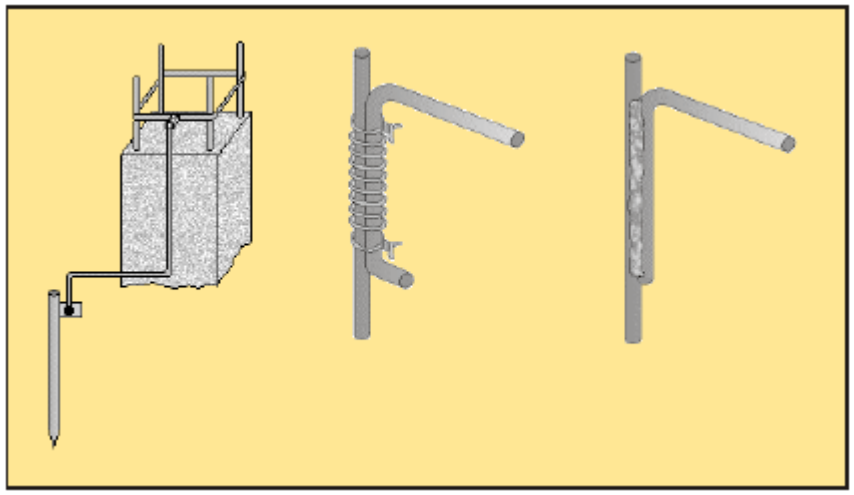
La scelta del tipo di dispersore è legata prevalentemente al tipo di terreno. Un dispersore a corda, solitamente interrato a profondità variabili di 50 -100 cm, potrà essere impiegato in terreni a bassa resistività superficiale mentre un dispersore a picchetto, raggiungendo anche gli strati profondi, sarà adatto per terreni con strati profondi bagnati. Non sarà conveniente posare un dispersore ad anello in terreni di riporto mentre un dispersore a picchetto non potrà essere utilizzato in terreni con un sottile strato di terreno che ricopre conformazioni rocciose.

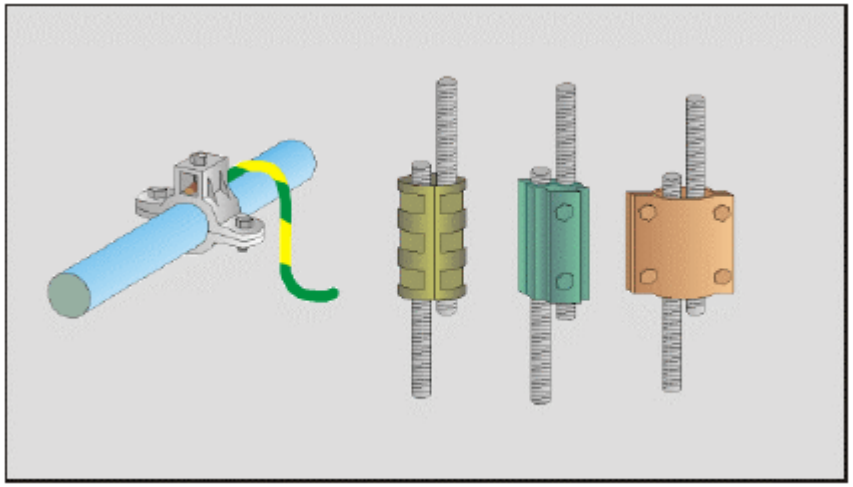
Il dispersore a maglia trova applicazione soprattutto nei sistemi TN dove si devono limitare le tensioni di passo e di contatto che si possono stabilire a causa di guasti sull'alta tensione.
Un impianto classico che sfrutta i vantaggi presentati da ciascun tipo di dispersore è descritto in figura

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



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





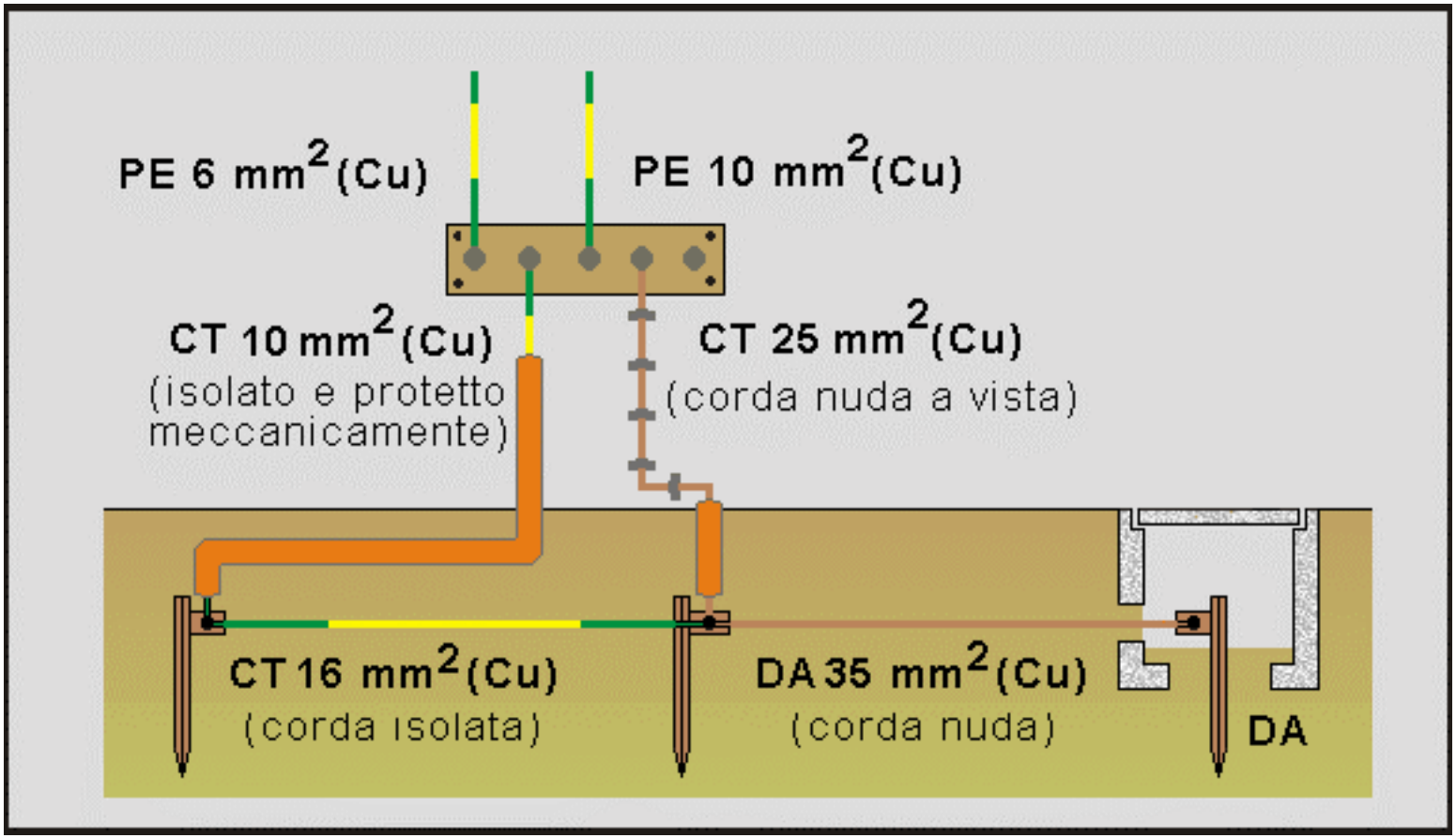
I conduttori di terra normalmente si presentano sottoforma di corde o di piattine. Se il conduttore è nudo e interrato svolge anche le funzioni di dispersore e deve quindi avere le sezioni minime stabilite per i dispersori (35 mm2 se in rame 50 mm2 se in acciaio zincato) se invece si tratta ci corda nuda installata a vista le sezioni minime previste sono di 25 mm2 se in rame e di 50 mm2 se in acciaio zincato.

Il conduttore di terrà può essere anche isolato, normalmente in PVC, e quindi, essendo garantita una buona protezione contro la corrosione, la sezione minima può essere di 16 mm2 sia se di rame sia se di acciaio zincato.
La sezione può essere ulteriormente ridotta se si adottano contemporaneamente difese contro le aggressioni chimiche e contro le sollecitazioni meccaniche, ad esempio conduttore isolato posato entro tubazione di tipo pesante.

In questo caso la <u>sezione minima non deve però essere inferiore alla maggiore sezione del conduttore di protezione collegato al collettore principale di terra</u>.

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

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



Si definisce **MASSA** una parte metallica di un dispositivo in tensione (per esempio la carcassa della lavagna luminosa).
Si definisce **MASSA ESTRANEA** una parte metallica di un dispositivo che normalmente non é alimentato ma che é in grado di riportare un potenziale diverso da quello di terra in un ambiente in cui non esiste alcun guasto (per esempio il radiatore del termosifone).

Il collegamenti di terra va fatto per tutte le *masse e solo in particolari ambienti quello* supplementare sulle *masse estranee.*

4.19 Messa a terra di masse e masse estranee

CEI 64-8/4 art. 413.1.2
CEI 64-8/5 Sez. 547

Le masse devono essere collegate al conduttore di protezione. Si ricorda che una parte metallica che può andare in tensione solo perché in contatto con una massa non è una massa; ad esempio lo sportello di un quadro, con pannello frontale di chiusura, senza parti elettriche.[1]

CEI 64-8/2 art. 23.2

Il collegamento equipotenziale principale deve essere eseguito alla base dell'edificio ed è sufficiente che comprenda:[2]

- i tubi che alimentano i servizi dell'edificio (acqua, gas, ecc.);
- le parti strutturali metalliche dell'edificio e i tubi del riscaldamento centrale e i condotti del condizionamento d'aria;
- i ferri delle fondazioni in cemento armato, se praticamente possibile.

Il collegamento equipotenziale supplementare è richiesto nei bagni/docce, piscine, stalle, luoghi conduttori ristretti e locali adibiti ad uso medico. È sufficiente collegare le tubazioni e le altre masse estranee entranti all'ingresso del locale. Non sono necessari cavallotti a valle.[3]

Ricorda!!

Nei locali suddetti, oltre alle parti metalliche entranti, sono da ritenere masse estranee le parti metalliche che presentano verso terra una resistenza inferiore a:

- 200 Ω nei cantieri edili, stalle e locali adibiti ad uso medico;[4]
- 1000 Ω nei bagni/docce, piscine e luoghi conduttori ristretti.

CEI 64-8/2 art. 23.3

Il collegamento equipotenziale supplementare è richiesto nei bagni/docce, piscine, stalle, luoghi conduttori ristretti e locali adibiti ad uso medico. È sufficiente collegare le tubazioni e le altre masse estranee entranti all'ingresso del locale. Non sono necessari cavallotti a valle.[3]

Ricorda!!

Nei locali suddetti, oltre alle parti metalliche entranti, sono da ritenere masse estranee le parti metalliche che presentano verso terra una resistenza inferiore a:

- 200 Ω nei cantieri edili, stalle e locali adibiti ad uso medico;[4]
- 1000 Ω nei bagni/docce, piscine e luoghi conduttori ristretti.

CEI 64-8/7 art. 23.3

Nei locali ordinari non è richiesto alcun collegamento equipotenziale, nel senso che il collegamento equipotenziale principale è richiesto all'ingresso (alla base) nell'edificio mentre il collegamento equipotenziale supplementare è limitato ai locali particolari suindicati.

MASSE, MASSE ESTRANEE E SEMPLICI PARTI METALLICHE

una parte conduttrice diviene una massa solo
quando è parte di un componente o di un impianto elettrico e, in caso di guasto, può di conseguenza andare in tensione

MASSE IMPROPRIE

Recita la Norma CEI 64-8: “Una parte conduttrice che può andare in tensione solo perché è in contatto con una massa non è da considerare una massa”

Forse questo concetto, nella sua estrema semplicità, è reso ostico da Capire…

……se una semplice parte metallica, che nulla ha a che fare con un componente, un impianto o un equipaggiamento elettrico, si trova a contatto con una massa, non per questo diviene essa stessa una massa.

Per fare qualche esempio:

1. la mensola e la trave metallica di sostegno di una canaletta metallica portacavi non divengono massa per il semplice fatto d’ essere a contatto con la cabaletta (questa si è un massa);
2. il basamento metallico su cui si trova appoggiato un motore in classe I non diviene per questo motivo una massa;
3. la porta di una armadietto elettrico metallico, senza montato alcun componente elettrico su di essa, non diviene una massa per il semplice fatto d’ essere incardinata sulla struttura fissa dell’ armadietto.

Se tali parti non sono masse, non vanno collegate all’ impianto di terra o non devono essere equipotenzializzate.

MASSE, MASSE ESTRANEE E SEMPLICI PARTI METALLICHE

Il collegarle a terra o l'equipotenzializzarle non è una "precauzione in più", bensì un peggioramento della situazione di rischio. Esse non avrebbero alcun motivo di entrare in tensione, perché estranee a qualsiasi guasto elettrico. Se, però, le si lega elettricamente al potenziale di terra o a masse circostanti, saranno costrette a seguirne la messa in tensione accidentale, estendendo con ciò la probabilità che qualcuno possa trovarsi a toccarle in concomitanza al verificarsi del guasto.

Masse estranee o semplici parti metalliche?

Le strutture metalliche non facenti parte dell'impianto elettrico (telai di porte e finestre, tubazioni, pali, ponteggi, ecc.) vanno considerate masse estranee se sono in grado di introdurre il potenziale di terra[10]. Nella definizione che ne da la Norma, "massa" significa elemento conduttore portatore di un potenziale elettrico, "estranea" significa non facente parte di componenti o impianti elettrici.

Una parte metallica è in grado, secondo le ultime Norme, di introdurre un potenziale di terra se presenta rispetto ad una resistenza inferiore a 1.000 Ω (da ridurre a 200 Ω nei locali per uso zootecnico e nei cantieri di costruzione che presentino una tensione di contatto limite pari a 25 V anziché 50 V, essendo la protezione per contatti indiretti realizzata mediante l'interruzione automatica dell'alimentazione)

Le parti conduttrici che non risultino essere masse estranee sono semplici strutture metalliche.

MASSE, MASSE ESTRANEE E SEMPLICI PARTI METALLICHE

Le parti conduttrici che non risultino essere masse estranee sono semplici strutture metalliche.
Le masse estranee devono essere equipotenzializzate con le masse, cioè collegate ad esse o all'impianto di terra mediante conduttori equipotenziali, solo in condizioni particolari, ben identificate delle Norme. E' il caso di locali ad uso medico, dove la vulnerabilità dei pazienti è elevata. E' il caso della cabine e stazioni elettriche, dove le elevate correnti di guasto a terra potrebbero generare differenze di potenziale pericolose tra le masse e le masse estranee (entrambe prive di copertura isolante).

Tuttavia, nelle cabine e nelle stazioni l'equipotenzializzazione tra due tipi di masse non è necessario quando non siano toccabili contemporaneamente. Ad esempio, quando tra il quadro elettrico e gli infissi metallici vi sia una distanza, in orizzontale, pari a 2,5 metri.
Su porte e finestre metalliche è sufficiente equipotenzializzare i telai di sostegno. Quale potenziale potrebbe, infatti, mai introdurre le parti mobili incernierate o scorrevoli?

MASSE, MASSE ESTRANEE E SEMPLICI PARTI METALLICHE

Ponteggi metallici dei cantieri

I ponteggi metallici dei cantieri non sona masse estranee (a meno che non vengano infissi nel terreno) e tanto meno sono da considerarsi masse.
Per cui, non è richiesta la loro messa a terra, che in certi casi potrebbe risultare controproducente ai fini della

Tubazioni dei bagni

Il collegamento equipotenziale supplementare richiesto dalle Norme [14] per le tubazioni metalliche presenti nei locali comprendenti vasche da bagno e docce (non è assolutamente necessario nei bagni privi di tali sanitari), serve per impedire che eventuali guasti elettrici verificatisi verso tali tubazioni, ad esempio nelle altre stanze dell'abitazione, possano indurre potenziali pericolosi sulle parti metalliche accessibili presenti in un locale (il bagno) dove le persone potrebbero essere estremamente vulnerabili all'elettrocuzione. A tal fine, le tubazioni metalliche devono essere adeguatamente equipotenzializzate soilo nel loro punto di ingresso nel bagno.
La vasca da bagno, cosi come il piano doccia, non essendo in contatto con i ferri del cemento armato non rappresentano una massa estranea e non vanno, perciò, equipotenzializzati.

- **L'interruttore differenziale (o salvavita)**

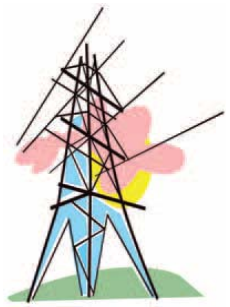
L'interruttore differenziale (detto anche salvavita da un nome commerciale largamente utilizzato) è un dispositivo elettrotecnico in grado di interrompere un circuito in caso di guasto verso terra (dispersione) o folgorazione fase-terra. Non offre alcuna protezione contro sovracorrente o cortocircuito tra fase e fase o tra fase e neutro, per i quali è invece richiesto un interruttore magnetotermico. Sono molto diffusi in commercio apparecchi che integrano entrambi i dispositivi.

Interruttore magnetotermico con differenziale incorporato

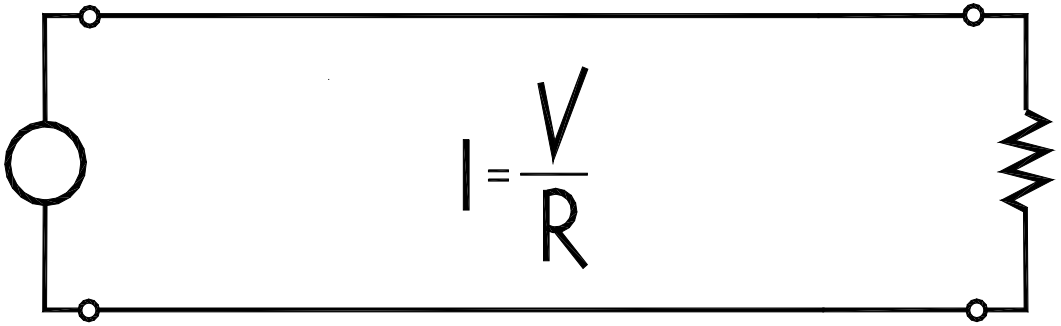
E' utile vedere che le correnti di intervento nell'uno e nell'altro caso sono molto diverse tra loro. Infatti in un magnetotermico le correnti sono dell'ordine di decine o centinaia di Ampere, mentre in un differenziale sono di 0,1 ÷ 0.3 A o di poco superiori.

Circuito elettrico

SORGENTE



CONDUTTORE DI ANDATA



CONDUTTORE DI RITORNO

CARICO

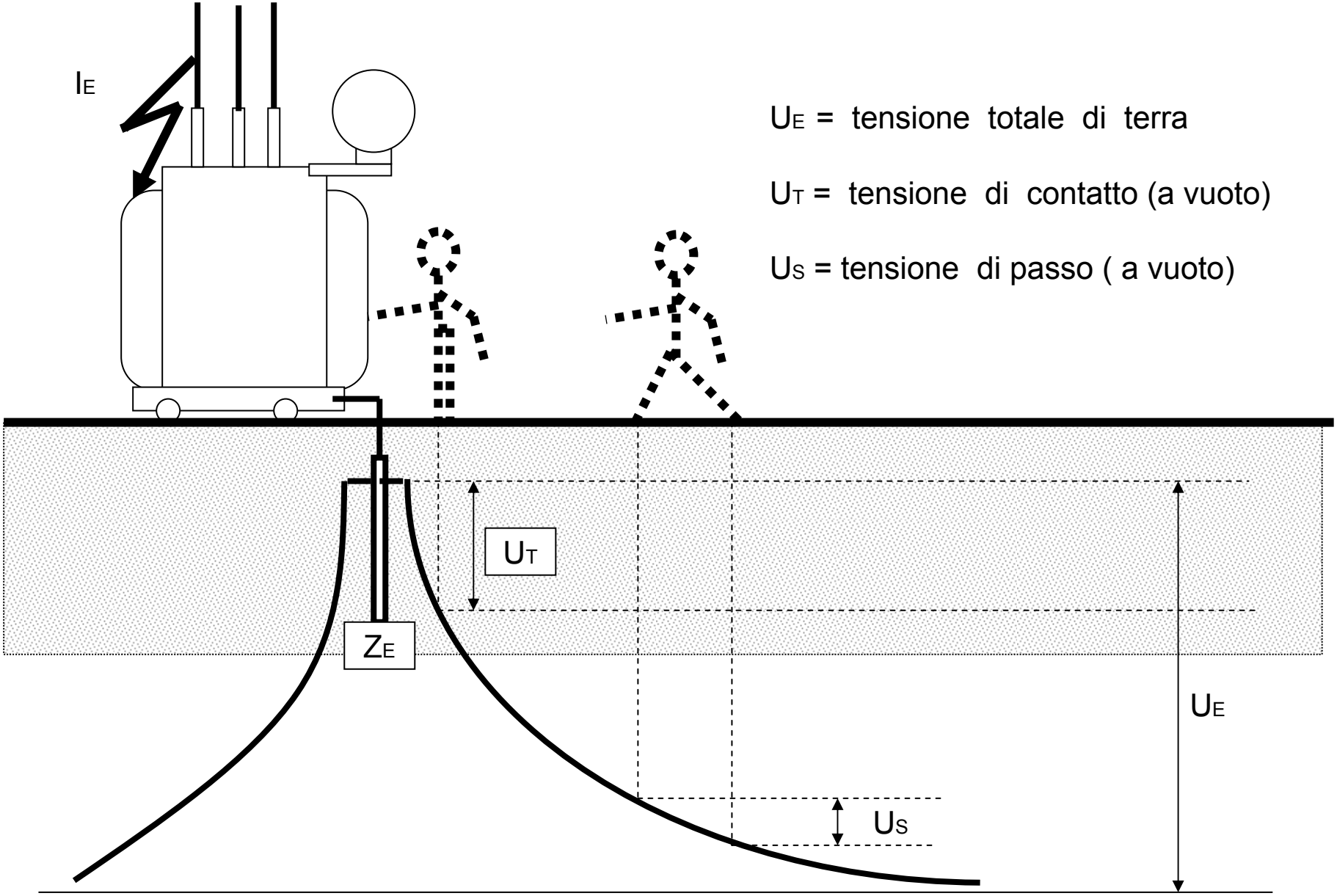
IL TERRENO CONDUTTORE ELETTRICO

- ***Ogni volta che il terreno è interessato dal passaggio di una corrente elettrica (es. corrente di fulmine) tra due suoi punti si localizza una differenza di potenziale.***

e viceversa

- ***Ogni volta che applichiamo tra due suoi punti una differenza di potenziale il terreno è percorso da una corrente.***

PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI



U_E = tensione totale di terra

U_T = tensione di contatto (a vuoto)

U_S = tensione di passo (a vuoto)

Protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione

I sistemi elettrici trifase sono classificati in base allo stato del neutro (prima lettera) e delle masse (seconda lettera) rispetto alla terra:

1a lettera = T : Il neutro è collegato a terra

1a lettera = I : Il neutro non è presente o non è collegato a terra oppure è collegato a terra tramite un'impedenza di valore sufficientemente elevato

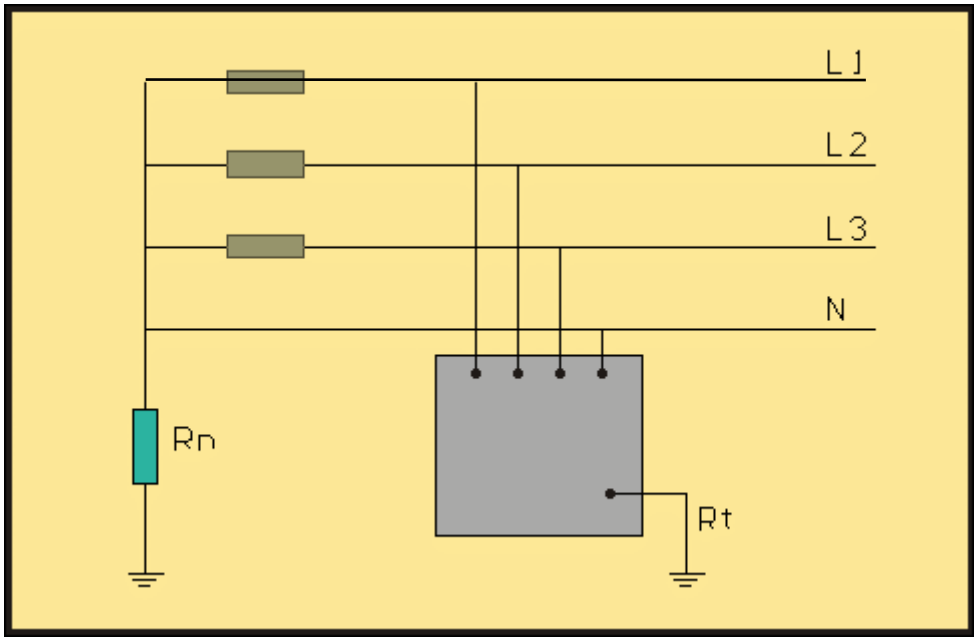
2a lettera = T : Masse collegate a terra

2a lettera = N : Masse collegate al neutro del sistema

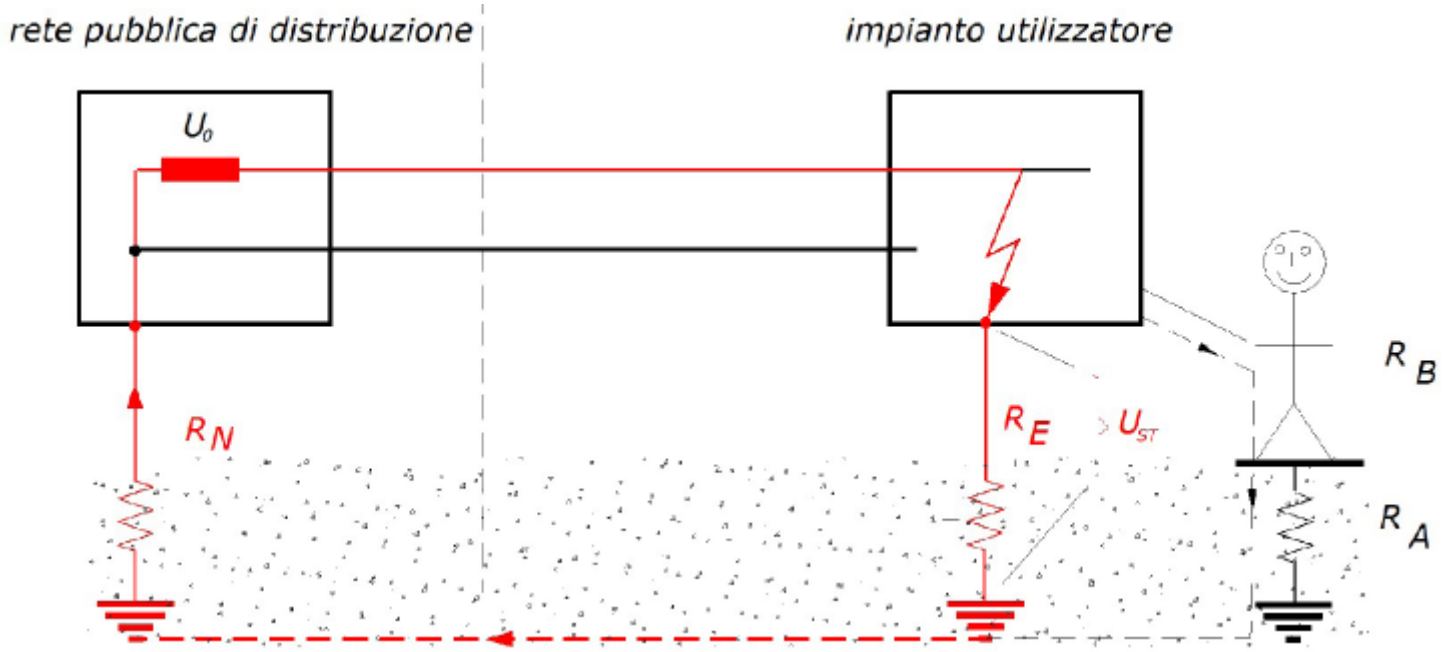
Fondamentalmente esistono tre tipi di sistemi elettrici di distribuzione: **TT – TN – IT**

Sistema TT

il centro stella (e quindi il neutro) ha un proprio impianto di terra in cabina; le masse sono collegate all'impianto di terra locale dell'utente mediante il conduttore di protezione (PE). Il conduttore di neutro è considerato attivo a tutti gli effetti (può assumere tensioni pericolose) come tale deve essere sezionabile; gli interruttori devono aprire su tutti i poli. Il conduttore PE invece non deve mai essere sezionato.



Anello di guasto nel Sistema TT



il conduttore di ritorno è costituito essenzialmente dal terreno (dai due impianti di terra R_E ed R_N). Viene interessata anche la persona che tocca la massa sotto tensione (contatto indiretto) schematizzata da R_B resistenza del corpo umano + R_A resistenza aggiuntiva. L'impianto di terra di fatto shunta il corpo umano. Le grandezze in gioco dipendono dal circuito di guasto.

Sistema TT

Approccio DPR 547/55 (abrogato)

Caratteristiche dell'impianto di terra

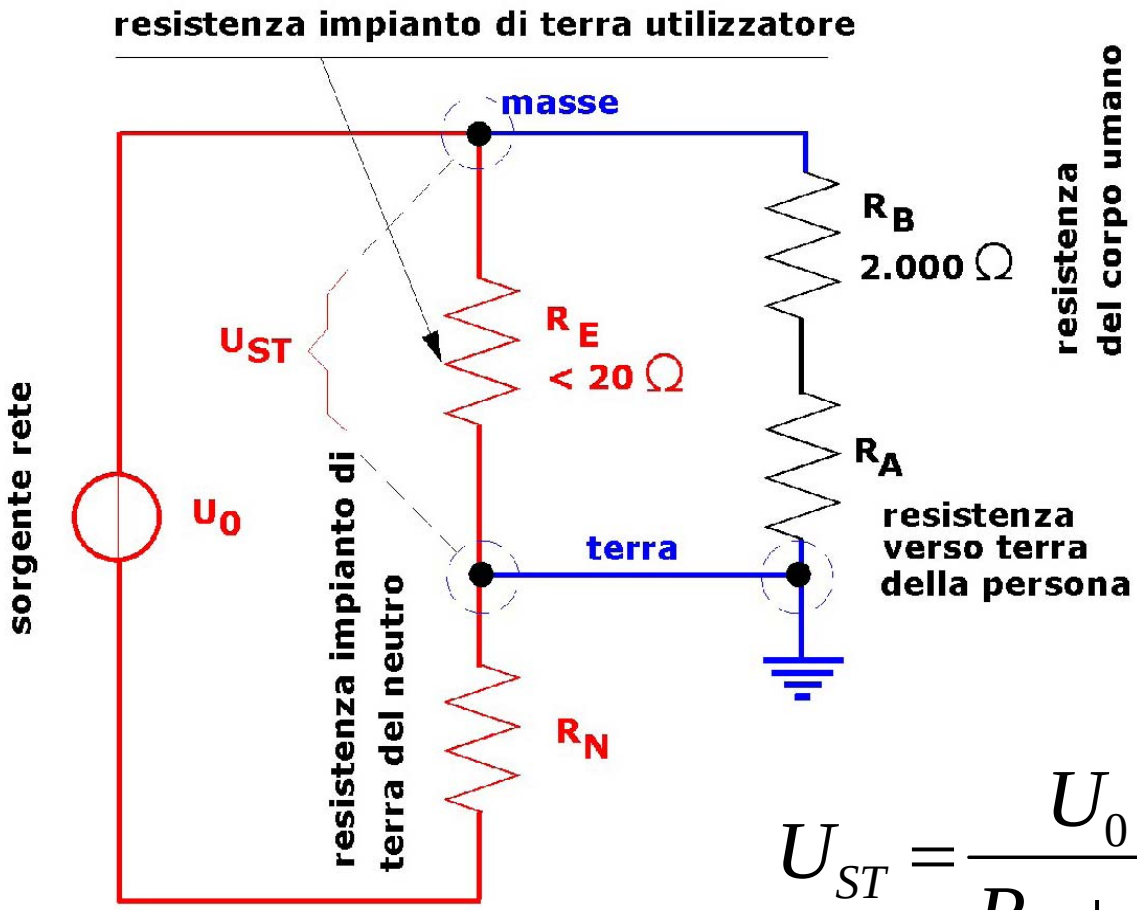
- robustezza meccanica: la sezione dei conduttori dei collegamenti di terra non deve essere minore di 16 mm^2;
- basso valore della resistenza dell'impianto di terra: non deve essere superiore a 20 Ω.

I 20Ω furono scelti ipotizzando un valore di impedenza del corpo umano di 2000Ω; porre in parallelo al corpo un impianto di terra di R<20Ω significava imporre che il 99% della corrente di guasto passasse sull'impianto di terra e solo l'1% attraverso la persona

Ma l'1% della corrente di guasto può essere un valore molto pericoloso

Bastano poche decine di mA per avere contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, ecc

Tensione di contatto U_{ST} (Sistema TT)



Se poniamo U_0= 230V, R_N= 1Ω, R_E = 20 Ω le masse assumono la tensione U_{ST} = 219 V.

$$U_{ST} = \frac{U_0}{R_N + R_E} \cdot R_E = \frac{U_0}{1 + \frac{R_N}{R_E}} \leq U_L$$

Sistema TT

Approccio Norme CEI

La tensione limite che convenzionalmente può permanere sulle masse per un tempo indefinito senza creare pericoli per la persona è U_L = 50 V

Prendendo i dati dell'esempio precedente, per contenere la tensione di contatto entro il limite ammesso di U_L = 50 V, dato che l'utilizzatore non può agire sugli altri parametri del circuito di guasto, la resistenza del suo impianto di terra dovrebbe essere $R_E \leq 0{,}28\ \Omega$ (meno di un terzo della resistenza di terra del neutro). Valori di resistenza così bassi non sono facilmente raggiungibili e non possono essere comunque garantiti nel tempo.

Pertanto, nel sistema TT, il collegamento delle masse all'impianto di terra è una condizione necessaria, ma può non essere sufficiente anche se il valore della resistenza è di 20 Ω, nel rispetto dell'ex DPR 547/55!

Da qui la necessità di intervenire sull'altro parametro (il tempo) della curva di sicurezza, eventualmente con l'uso di interruttori differenziali.

Sistema TT

$$R_E = \frac{U_L}{I_{dn}} = \frac{50}{I_{dn}}$$

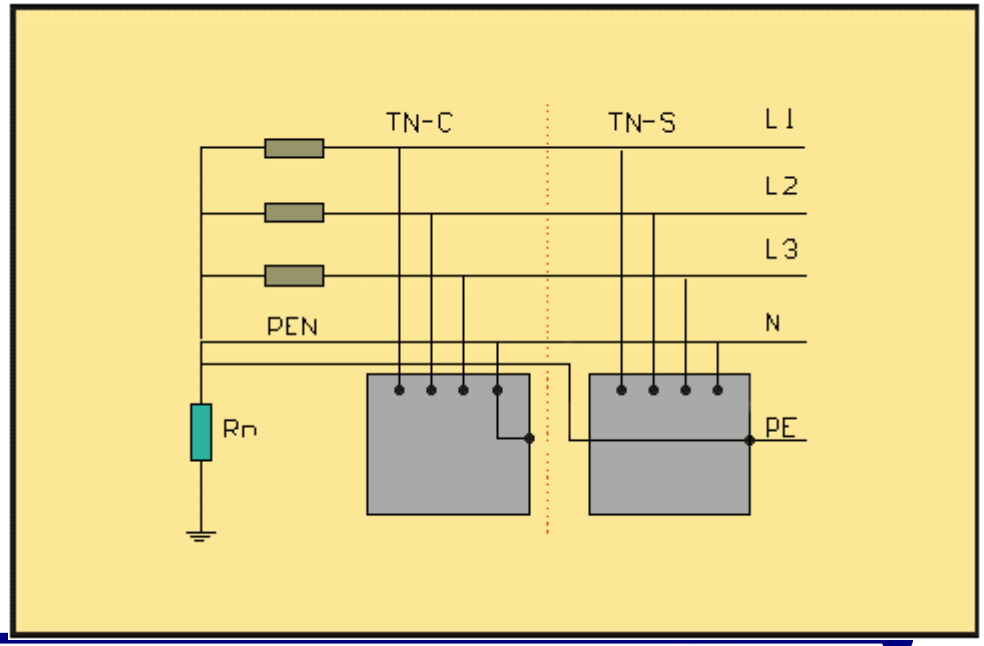
R_E è la resistenza del dispersore (impianto di terra dell'utilizzatore), in ohm **I_{dn}** è la corrente differenziale, in ampere

TABELLA 1	
Valori di intervento differenziale I_{dn} (A)	***Valori della resistenza dell'impianto di terra*** R_E (Ω)
5	10
2,5	20
1	50
0,5	100
0,3	167
0,1	500
0,03	1667
0,01	5000

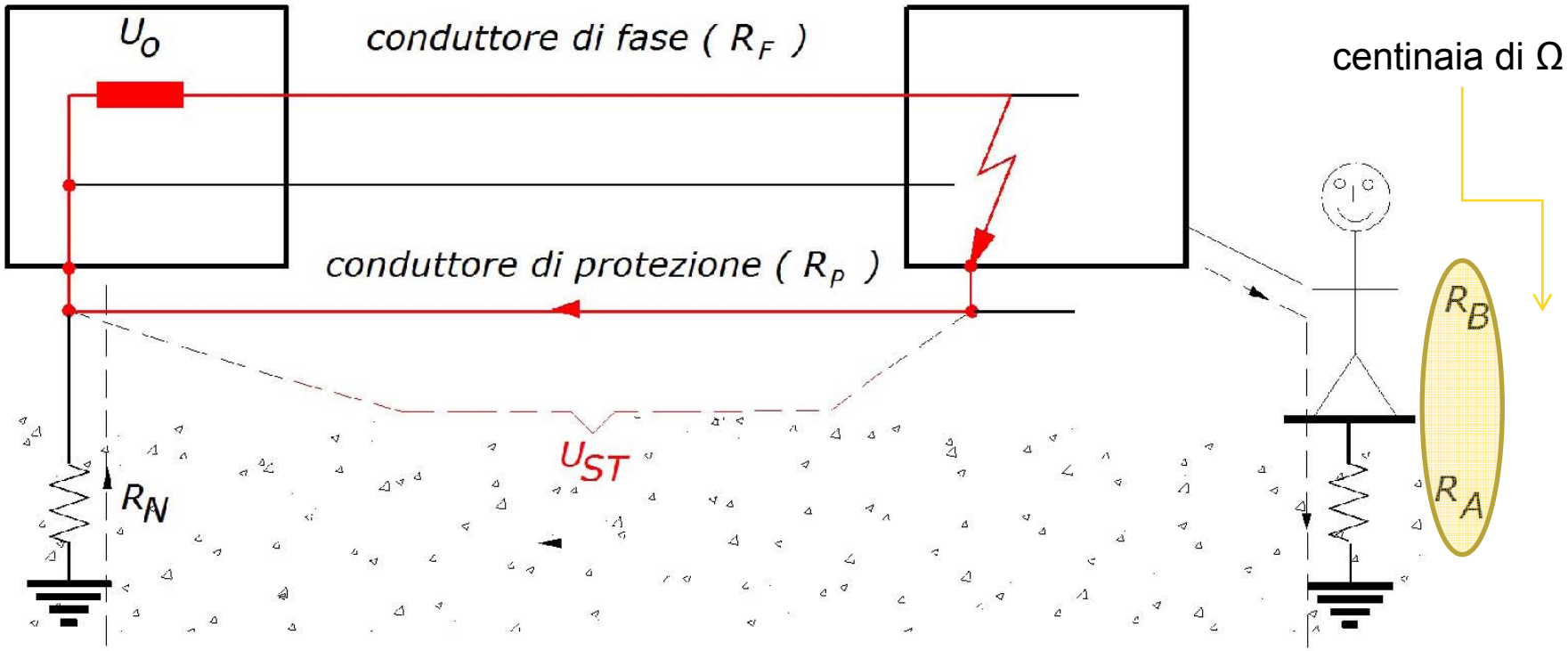
Sistema TN

il neutro in cabina è collegato a terra e le masse sono collegate direttamente al neutro (TN - C "comune" - il neutro, fungendo anche da conduttore di protezione, non deve essere sezionabile e deve avere sezione rispondente alle normative sugli impianti di terra) oppure tramite il conduttore di protezione (TN - S "separato").

Un sistema TN si realizza localmente (es. in uno stabilimento o in un laboratorio) mediante trasformatore: un morsetto (o, nel caso trifase il centro stella) del secondario va collegato con le masse metalliche all'impianto di terra in un unico punto (*nodo principale o barra equipotenziale).*



Anello di guasto nel Sistema TN



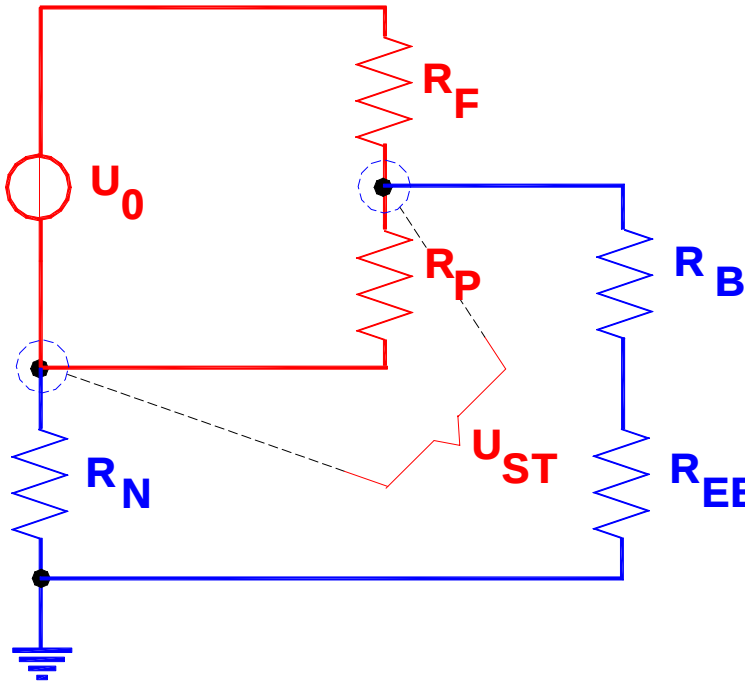
In caso di guasto il carico viene praticamente cortocircuitato ed il conduttore di ritorno diventa essenzialmente il conduttore di protezione (R_P). La corrente di guasto non interessa l'impianto di terra!! Viene interessata in minima parte anche la persona che tocca la massa sotto tensione (contatto indiretto).

Tensione di contatto U_{ST} (Sistema TN)

U_{ST} coincide con la tensione ai capi del conduttore di protezione.

$$U_{ST} = \frac{U_0}{R_F + R_P} \cdot R_P = \frac{U_0}{1 + \frac{R_F}{R_P}} = \frac{U_0}{1 + \frac{S_P}{S_F}} \leq U_L$$

U_L → 50 V



Ai fini della protezione contro i contatti indiretti, con U_O = 230 V se la sezione del conduttore di protezione Rp è ≥ 3,6 volte il conduttore di fase R_F, non è necessario, l'intervento delle protezioni.

In caso contrario:

INTERRUZIONE AUTOMATICA

Tensione di contatto U_{ST} (Sistema TN)

NORMA: la condizione da soddisfare per la sicurezza è

$$Z_s \cdot I_a \leq U_o$$

Zs è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente, in ohm

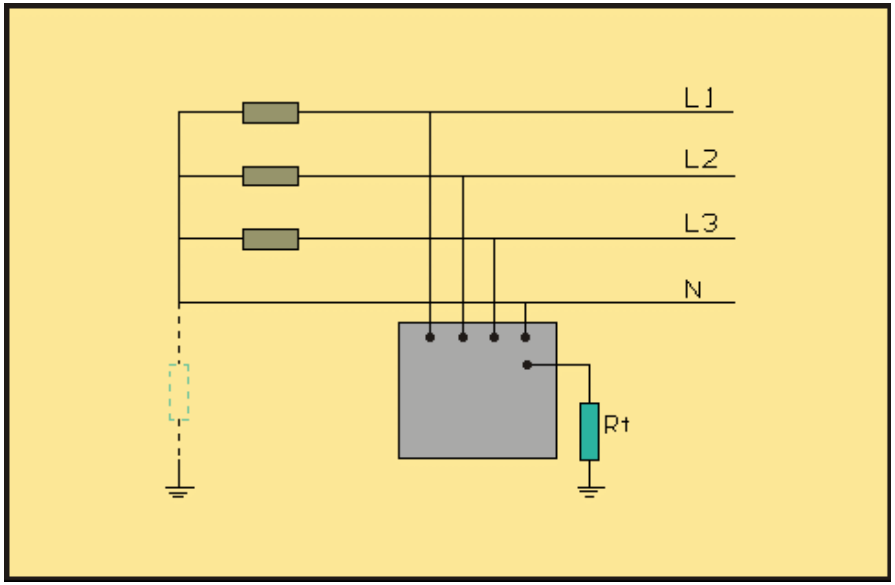
Ia è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro il tempo definito dalla tabella 2 in funzione della tensione nominale Uo fra fase e terra, in ampere; se si usa un interruttore differenziale *Ia* è la corrente differenziale nominale d'intervento.

Uo è la tensione nominale verso terra, in volt.

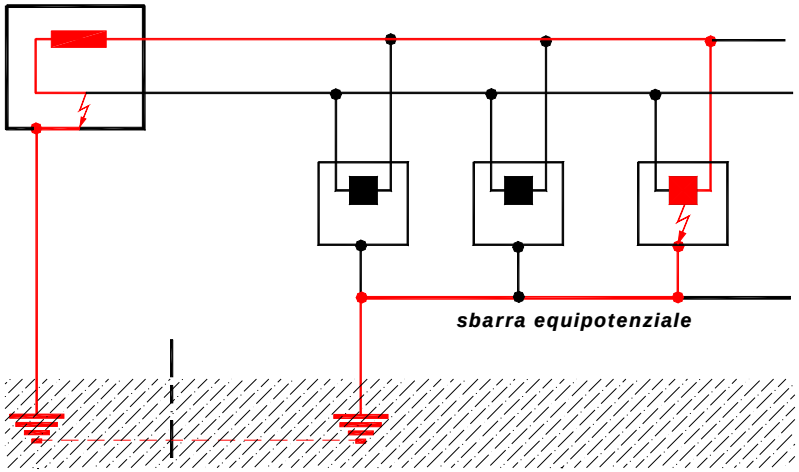
TABELLA 2 - **Tempi massimi di interruzione per i sistemi TN**							
$50\ V < U_o \leq 120\ V$ s		$120\ V < U_o \leq 230\ V$ s		$230\ V < U_o \leq 400\ V$ s		$U_o > 400\ V$ s	
c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
0.8	0,8	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1

Sistema IT

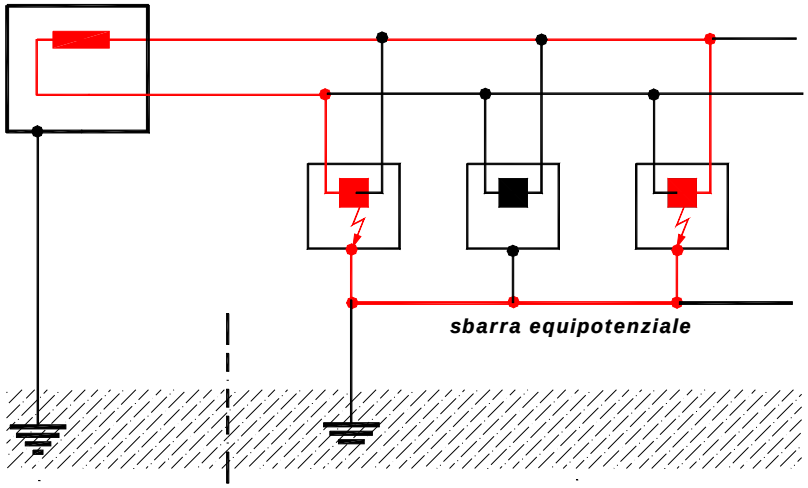
il neutro è isolato mentre le masse sono collegate ad una terra locale (il neutro deve essere sempre sezionabile). Questo è un sistema utilizzato per impianti con particolari esigenze di continuità di esercizio purché vi sia un collegamento ad un unico impianto di terra delle parti metalliche da proteggere, la tensione sulle masse non superi i 25V nel caso di primo guasto a terra, il tempo di intervento del dispositivo di protezione non superi i 5s quando si verifica il secondo guasto a terra e **vi sia un dispositivo di controllo continuo dell'isolamento delle parti attive verso terra**.



Con il primo guasto a terra, si ricade in uno dei sistemi precedenti



Il Sistema IT evolve in un *Sistema TT* se le masse interessate dal primo e dal secondo guasto sono messe a terra separatamente



Il Sistema IT evolve in un *Sistema TN* se le masse interessate dal primo e dal secondo guasto sono collegate insieme

Riassumendo, nella protezione che prevede l'interruzione automatica dell'alimentazione:

- si crea innanzi tutto una via preferenziale alla corrente di guasto con minore impedenza rispetto a quella del corpo umano (*impianto di terra nel sistema TT, adeguata sezione del conduttore di protezione nel sistema TN*);
- allo stesso momento si interrompe l'alimentazione in un tempo convenzionale e prestabilito derivante dalla curva di sicurezza tensione-tempo:
  - nel sistema TT, in funzione della tensione di contatto ammissibile, verificata convenzionalmente in corrispondenza della tensione limite (U_L);
  - nel sistema TN, in funzione della tensione nominale dell'impianto.

Il valore limite di resistenza di 20 Ω, che era fissato dal vecchio DPR 547/55, non ha praticamente senso nel sistema TT (dato che l'uso del differenziale diventa necessario nella stragrande maggioranza dei casi) e nessun significato nel sistema TN (dato che l'impianto di terra non partecipa al circuito di guasto).

sistema TT

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

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

dove:

- ***SE** è la sezione minima del conduttore di terra in mm2,*
- ***I** è la corrente di guasto in ampere che percorre il conduttore di terra per un guasto franco a massa,*
- ***t** è il tempo di intervento in secondi del dispositivo di protezione,*
- ***Kc** è un coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale e della temperatura iniziale e finale che* assume il conduttore

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

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

Se il tempo di intervento delle protezioni fosse di un secondo (i relè differenziali intervengono generalmente in un tempo più breve) e il conduttore di protezione fosse un conduttore unipolare

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

Normalmente l'impianto di terra presenta valori di resistenza superiori a quelli ipotizzati e i tempi di intervento delle protezioni sono generalmente più bassi per cui un conduttore avente sezione di 16 mm2 è quasi sempre sufficiente per un sistema TT.

sistema TN

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

• *Media tensione*

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

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

Anche in questo caso una sezione di 16 mm2 potrebbe essere adatta per la maggior parte delle situazioni con valori di correnti e di tempi di intervento (come normalmente si verifica) delle protezioni inferiori a quelli ipotizzati

• *Bassa tensione*

La corrente di guasto in BT può raggiungere anche valori di alcune decine di kA ma normalmente interessa solo il conduttore di protezione. Non risulta quindi necessario nemmeno in questo caso, se si rispettano le dimensioni minime, operare particolari verifiche.

SISTEMI ELETTRICI

CATEGORIA 0 ➔ *tensione minore o uguale a 50Vc.a. o 120 c.c.*

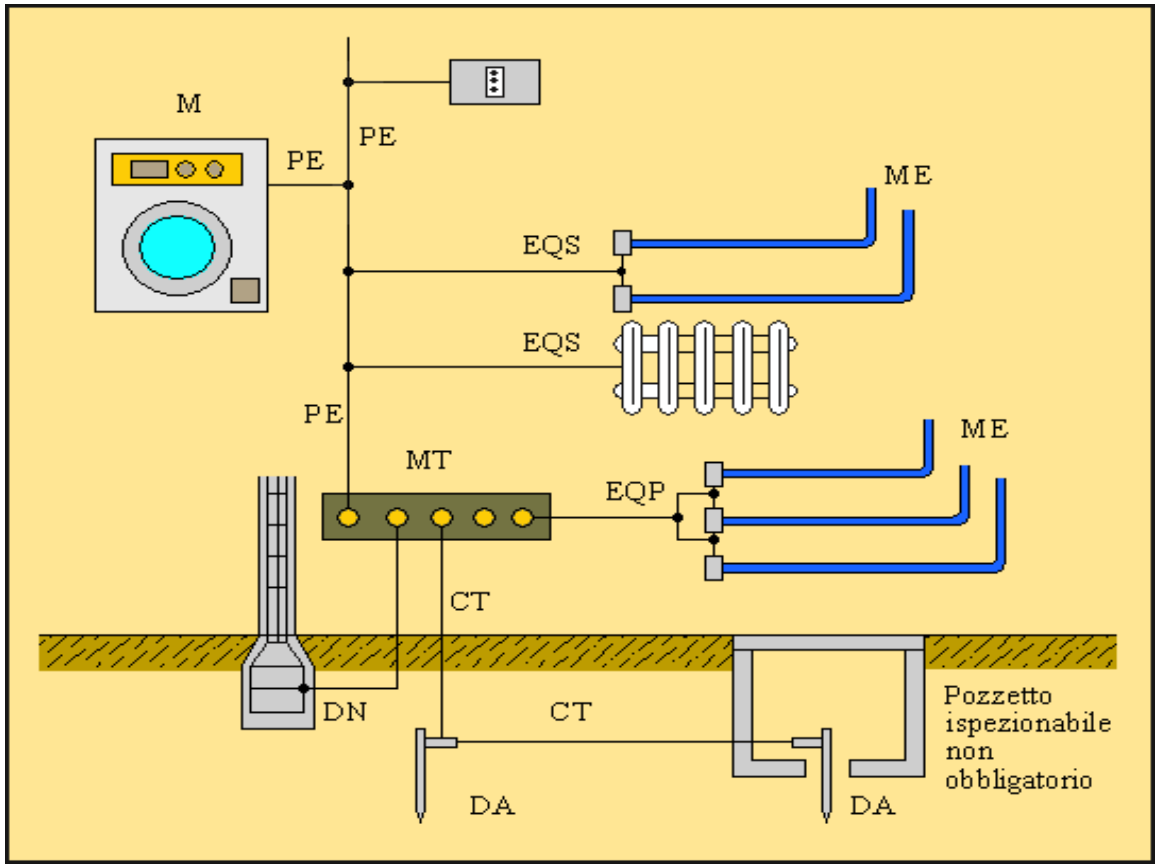
CATEGORIA I ➔ *tensione fino a 1000 V c.a. o fino a 1500 V c.c.*

CATEGORIA II ➔ *tensione fino a 30000 V*

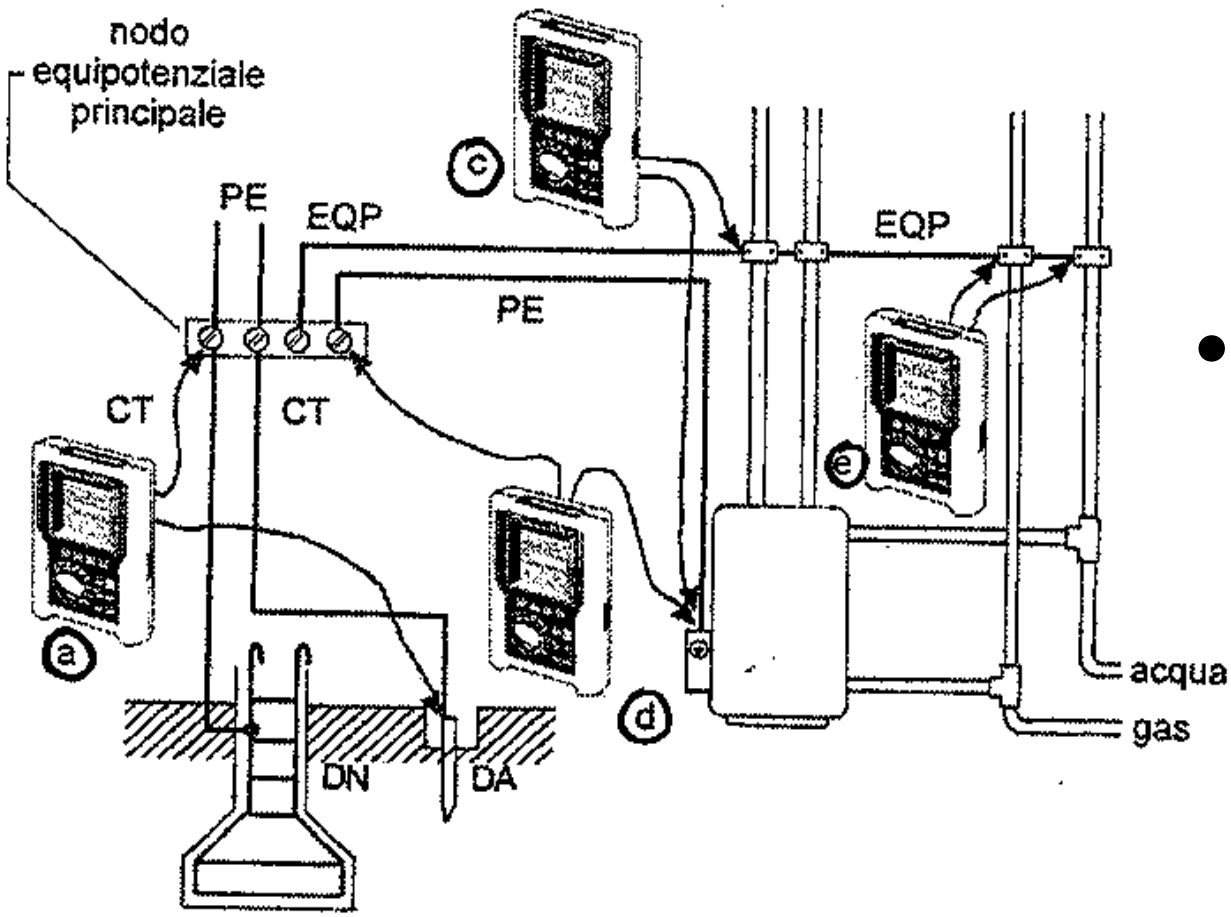
CATEGORIA III ➔ *tensione oltre 30000 V*

- **Verifiche periodiche**

- Verifiche atte ad accertare che i componenti
- dell’impianto, presi singolarmente e nel loro
- insieme, mantengano i livelli di efficacia e di
- efficienza stabiliti dalle norme.



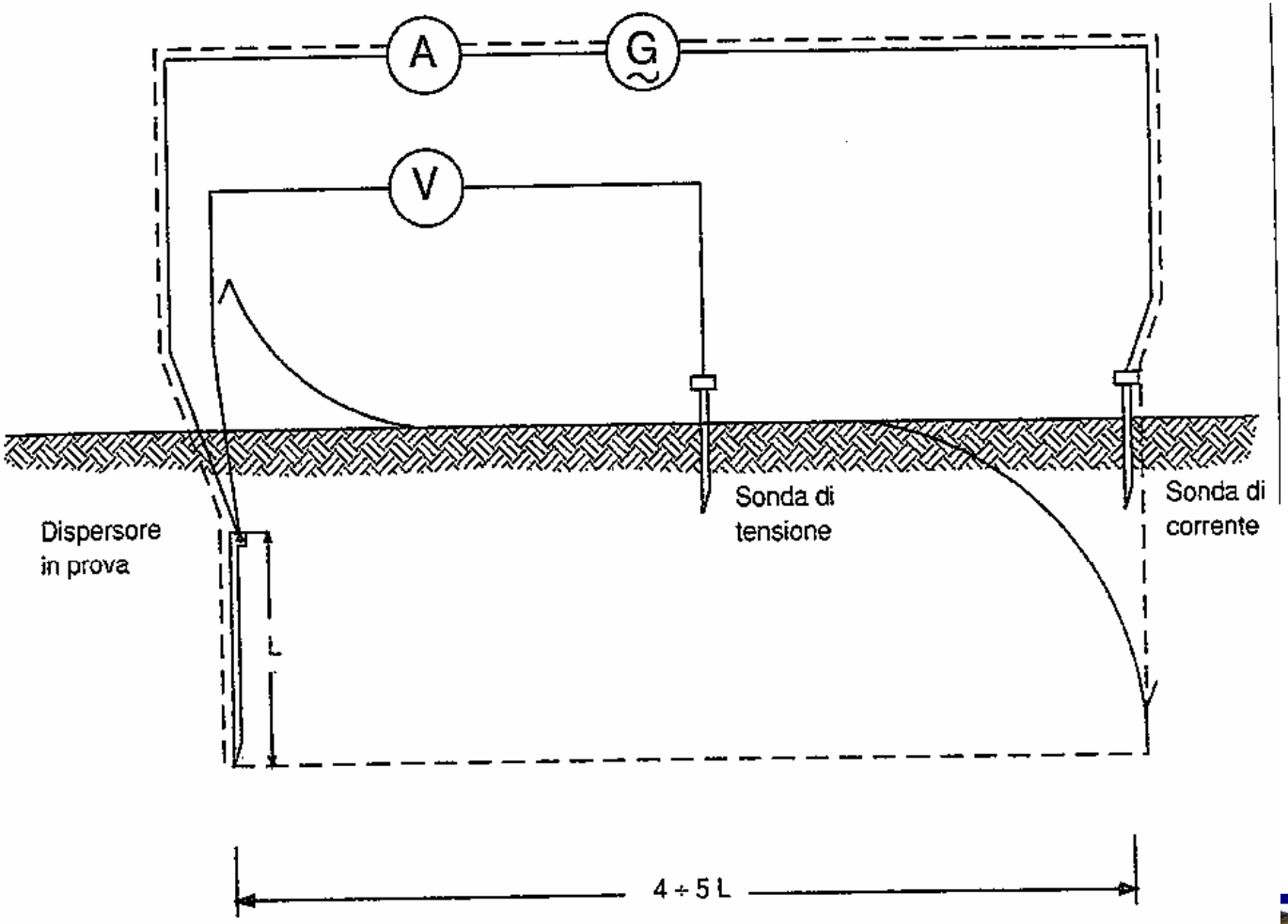
DA: dispersore intenzionale
DN: dispersore di fatto
CT: conduttore di terra
MT: collettore o nodo principale di terra
PE: conduttore di protezione
EQP: conduttori equipotenziali principali
EQS: conduttori equipotenziali supplementari (per es. in locale da bagno)
M: masse
ME: masse estranee



- Alcuni esempi della prova di continuità sull'impianto di terra.

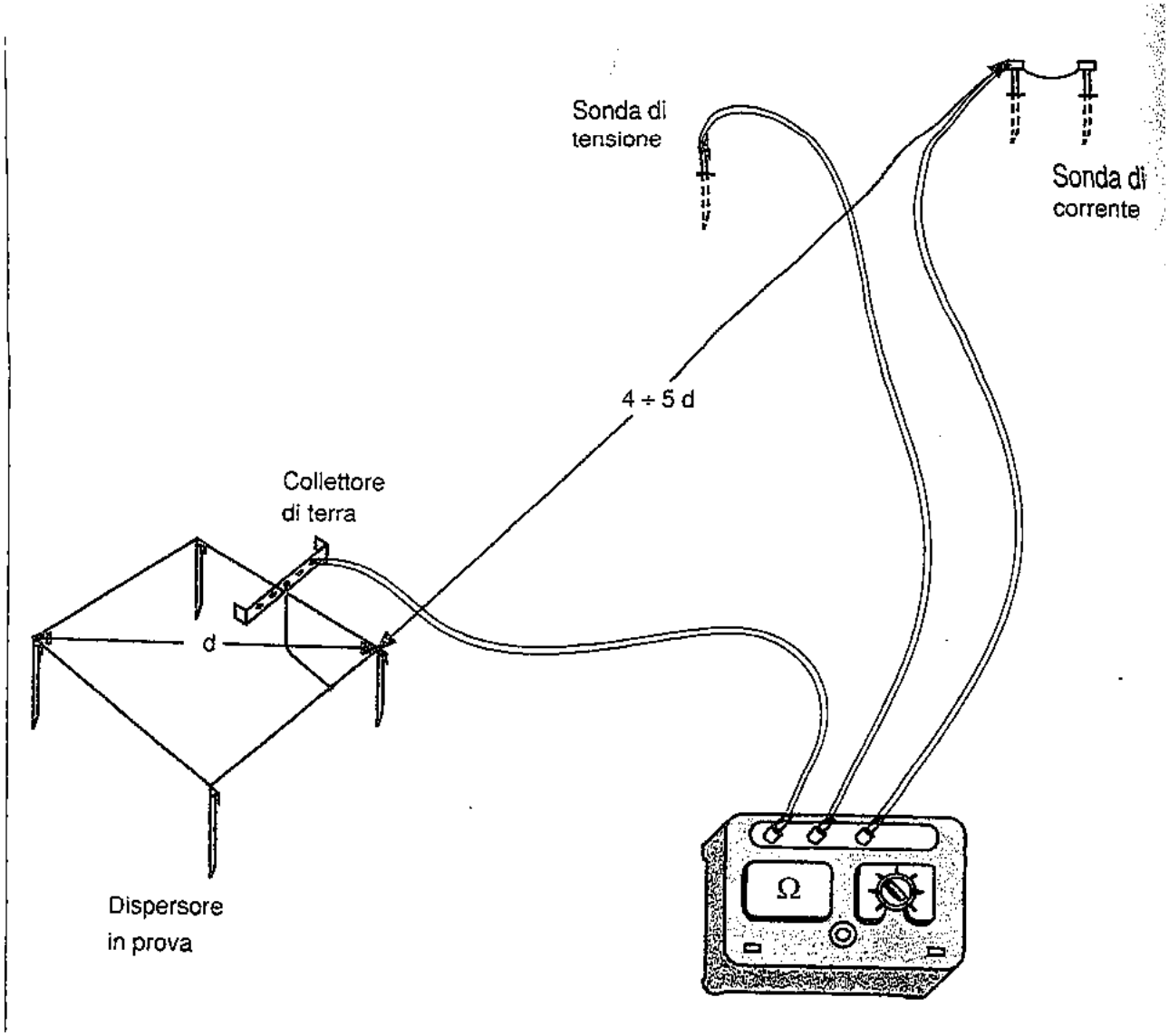
- VERIFICHE DI CONTINUITA'

- METODO VOLT-AMPEROMETRICO

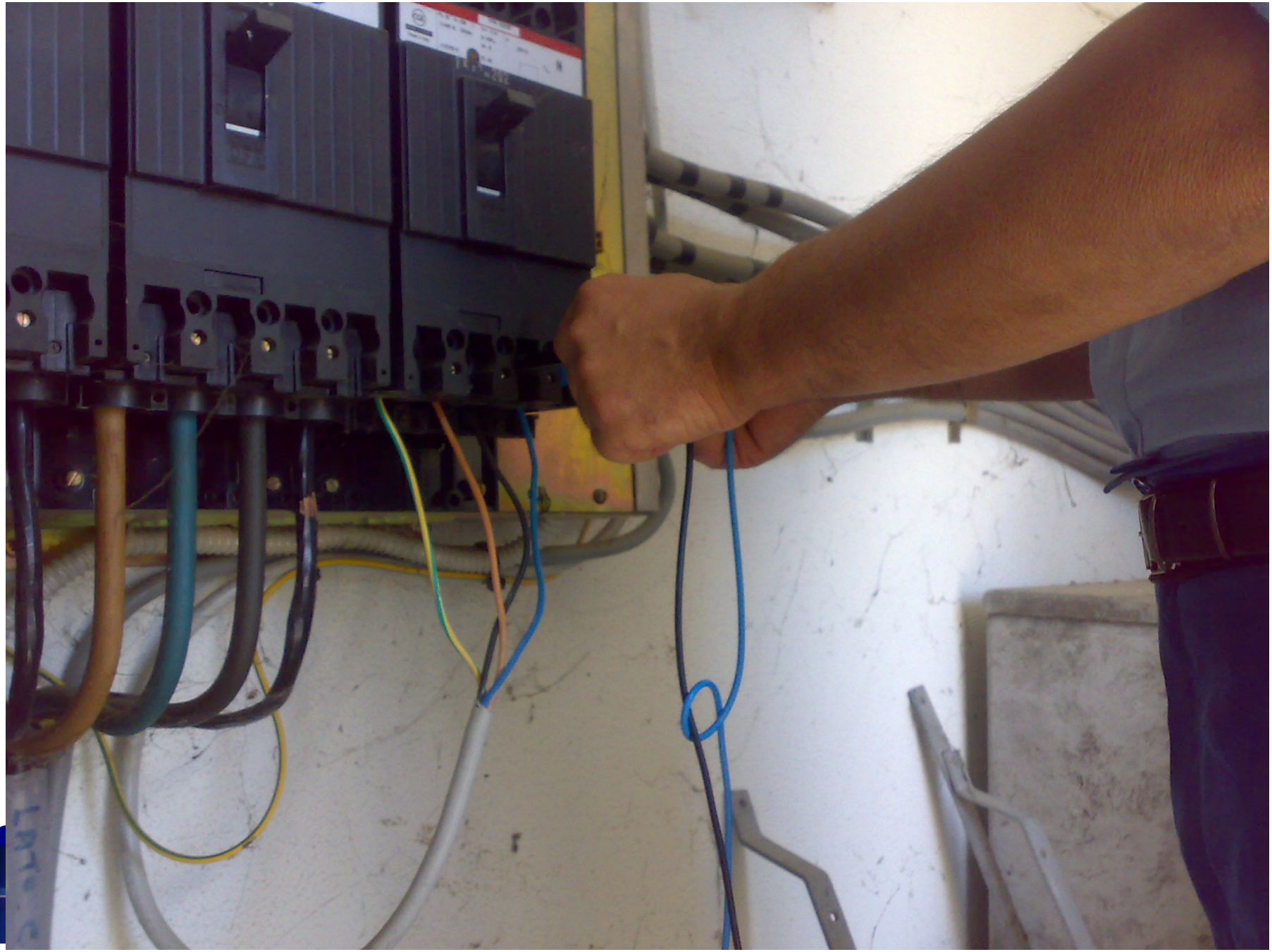


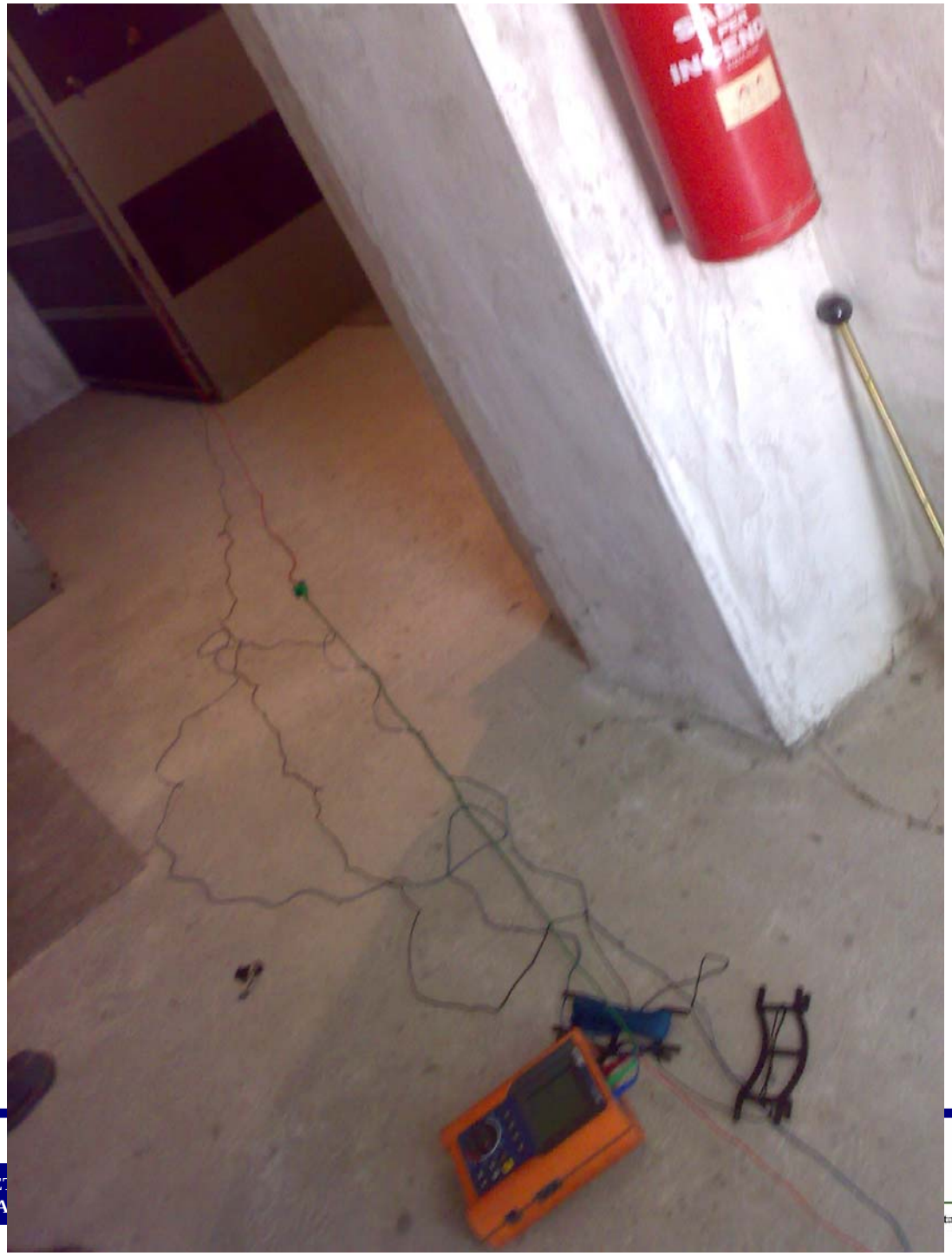
- $V = R\,I$

Tramite un generatore si fa circolare una corrente fra il dispersore in prova e un dispersore ausiliario (sonda di corrente) posto a circa quattro-cinque volte la dimensione significativa del dispersore (per un picchetto si considera la lunghezza, per una rete di terra la diagonale).
Con un voltmetro si misura la tensione tra il dispersore in prova e un picchetto (sonda di tensione) posto in un punto del terreno a potenziale zero, fig. 5.6.
Il valore della resistenza di terra è dato dal rapporto fra la tensione misurata e la corrente di prova.


Sonda di
tensione
Sonda di
corrente
4 ÷ 5 d
Collettore
di terra
d
Dispersore
in prova
Ω

IMESA





VOTA
SIBILIA
VOTA
SIBILIA
VOTA
SIBILIA
NO
NO
NO

Impianto di terra
Esempi di realizzazione

Impianto di terra
Esempi di realizzazione

Principali misure di protezione che non prevedono l'interruzione automatica dell'alimentazione:

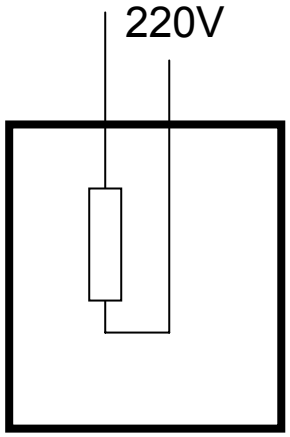
- **Protezione mediante componenti di Classe II (doppio isolamento) o con isolamento equivalente**

- **Protezione mediante separazione elettrica**

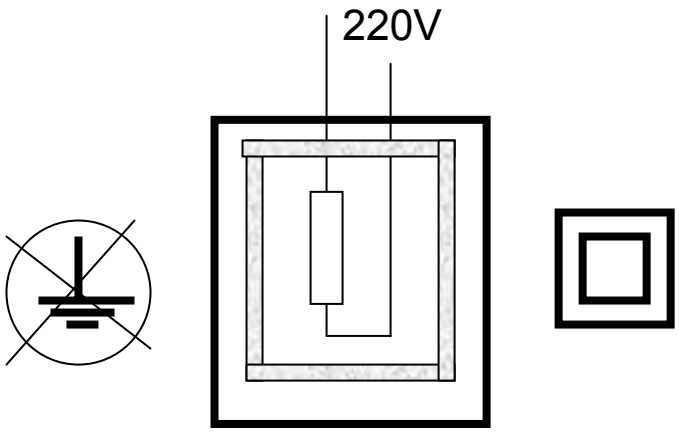
- **Protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra**

è vietata la messa a terra !

Protezione mediante componenti di Classe II (doppio isolamento) o con isolamento equivalente



Classe I

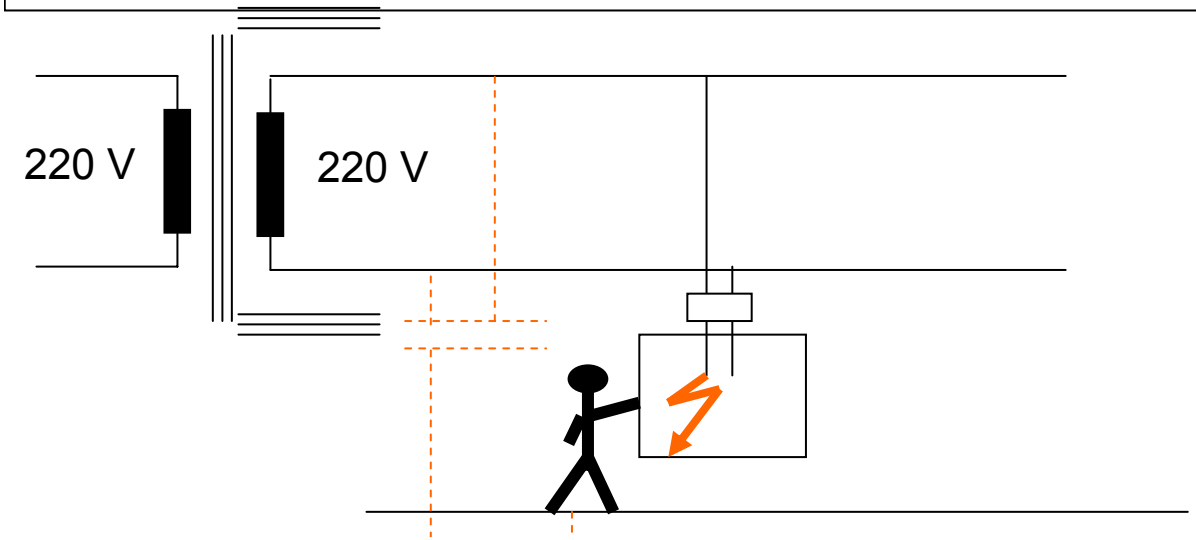


Classe II

Nell'apparecchiatura di classe II il guasto si rende improbabile grazie ad un doppio isolamento fra parte attiva e carcassa metallica.
Invece del doppio isolamento si possono realizzare sistemi equivalenti (isolamento supplementare, isolamento rinforzato, ecc)
La classe II può essere realizzata anche in fase di installazione (es. Conduttore N07 VK entro tubo in pvc)
Si considerano equivalenti alla classe II i conduttori provvisti di guaina protettiva e con livello di isolamento superiore alla tensione di alimentazione

Protezione mediante separazione elettrica

La protezione per separazione elettrica consiste nel separare uno o più utilizzatori dagli altri circuiti e dalla terra. Viene in genere utilizzata quando, per motivi di continuità di servizio, si vogliono evitare interruzioni del circuito in presenza di un guasto verso terra. Può trovare impiego anche in tutti quei casi in cui la presenza di parti in tensione accessibili consigliano, per il pericolo di un possibile contatto simultaneo fra una parte in tensione e una massa, di non introdurre il potenziale zero di terra oppure ancora quando le modeste dimensioni dell'impianto non giustificano la predisposizione di un costoso impianto di terra.



Un gruppo elettrogeno che non ha nessun punto del circuito collegato a terra è assimilabile ad un trasformatore di isolamento

Nella separazione elettrica:

Il primo guasto a terra non è pericoloso (il circuito è poco esteso, in virtù dell'elevata impedenza di isolamento verso terra, le trascurabili correnti capacitive escludono la possibilità che il circuito possa richiudersi attraverso la persona, essendo appunto la corrente capacitiva molto piccola).

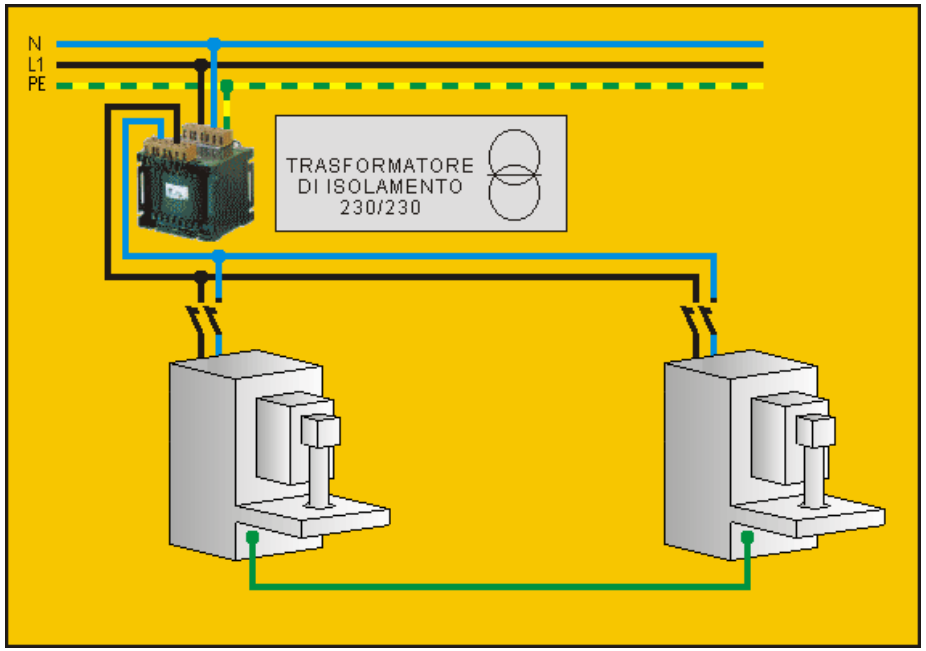
Per questo la norma pone limiti per la tensione ($U_L l$<100000 Vm), e per lunghezza della linea (l<500 m)

Protezione mediante separazione elettrica

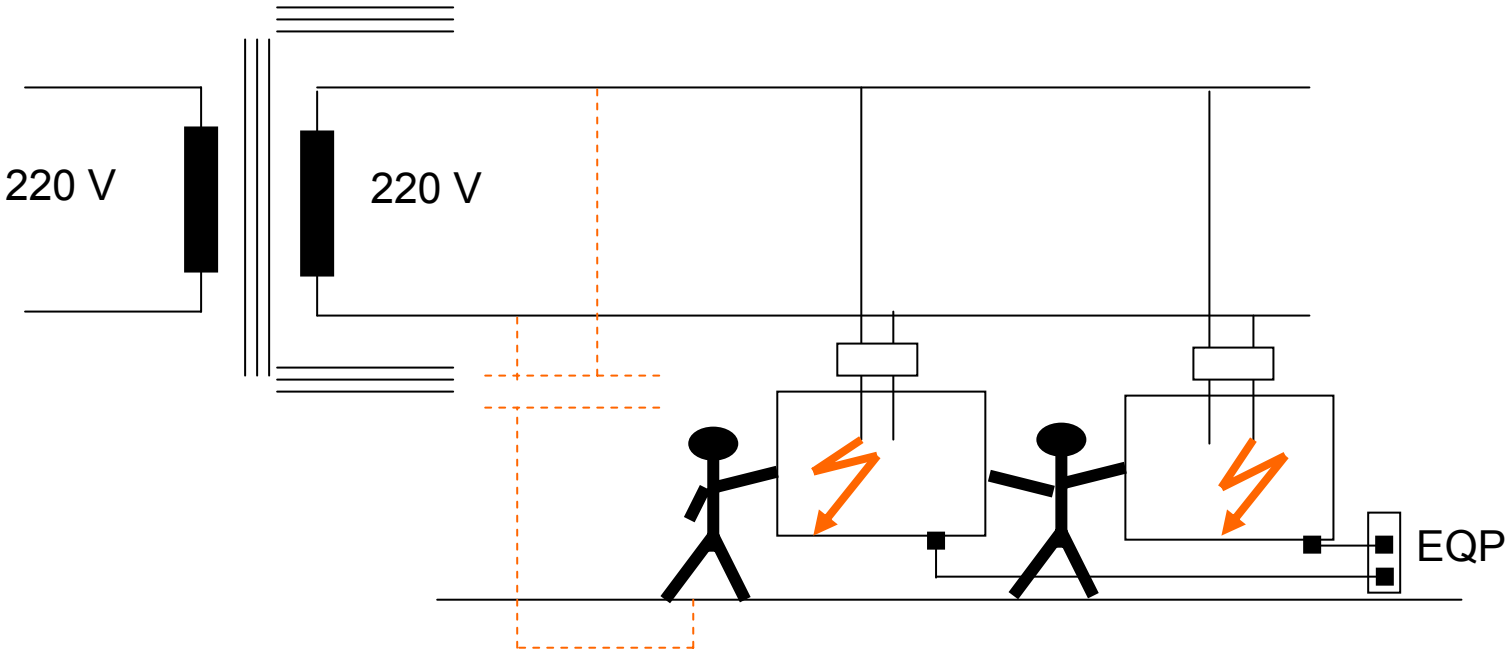
Il circuito separato deve essere di estensione ridotta per limitare il più possibile la formazione delle pur piccole correnti capacitive. La soluzione ideale sarebbe di alimentare ogni apparecchio tramite un'unica sorgente di alimentazione. Questo, per motivi di carattere pratico, non è sempre possibile e quindi, anche se con alcune limitazioni per quanto riguarda l'estensione dei circuiti, è ammesso alimentare tramite la stessa sorgente più apparecchi.

Nella separazione elettrica:

Un primo guasto di una fase sulla massa di un'utenza può perdurare per un tempo indeterminato senza pericoli per le persone. Un ulteriore guasto su di un'altra fase di un secondo apparecchio potrebbe però rivelarsi mortale se non prontamente interrotto. Per questo motivo, quando il circuito di separazione alimenta più di un utilizzator,e le masse devono essere collegate fra loro da un conduttore equipotenziale isolato da terra. In presenza di un doppio guasto l'interconnessione delle masse determina la circolazione di una corrente di corto circuito che può essere rilevata ed interrotta nei tempi previsti dalla curva di sicurezza (0,4 s per U=230 V) dai dispositivi di massima corrente installati a protezione di ogni utilizzatore.



Protezione mediante separazione elettrica

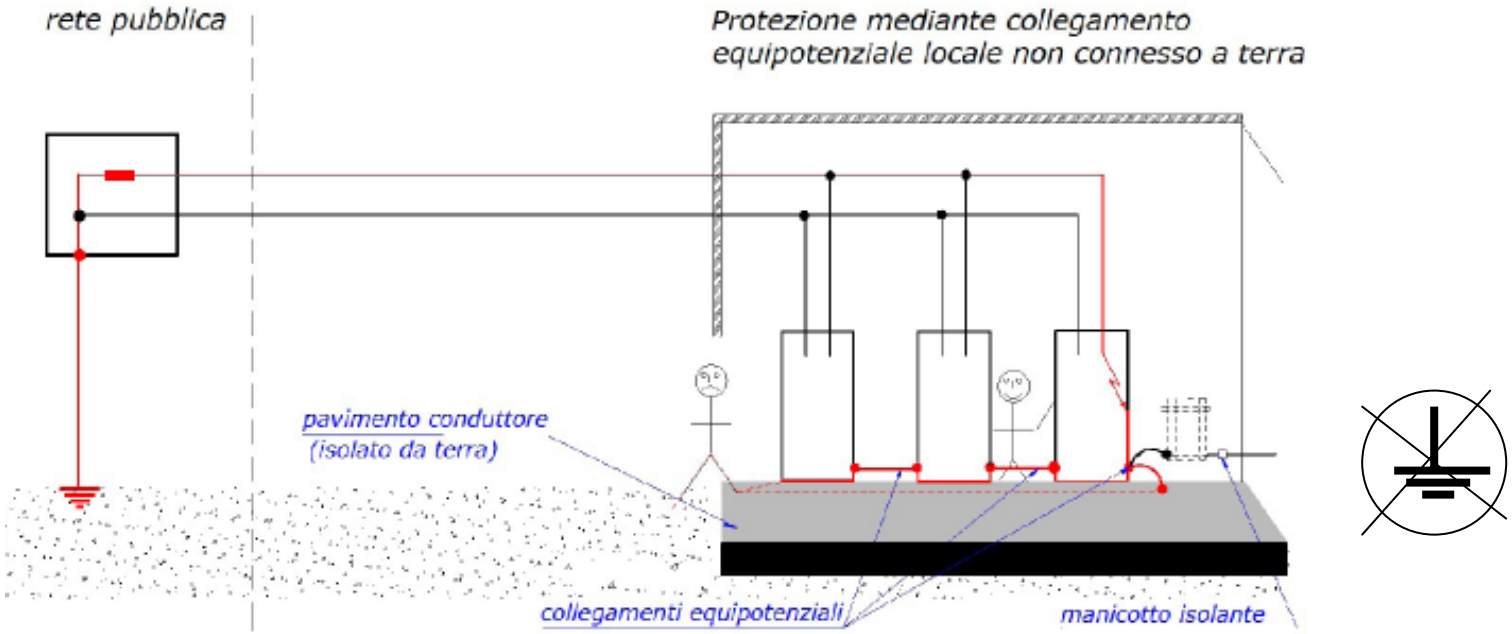


In caso di secondo guasto il circuito si chiude fra le fasi rendendo pericoloso il contatto contemporaneo fra due masse.

Si rende perciò necessario il collegamento EQP con intervento delle protezioni;
Tutte le masse all'interno dell'armadio protetto per separazione elettrica, devono essere rese equipotenziali

Protezione mediante collegamento equipotenziale locale, non connesso a terra

Evita il manifestarsi di una tensione di contatto pericolosa

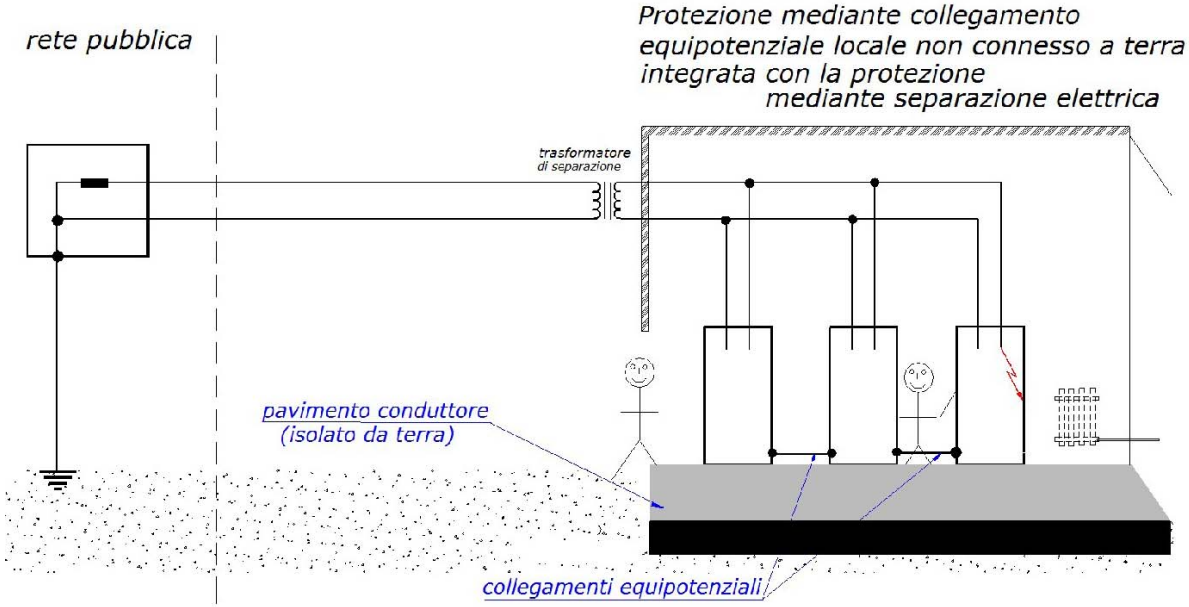


Tutte le masse e le masse estranee accessibili devono essere interconnesse da collegamento equipotenziale.
Le masse uscenti dal locale devono essere interrotte mediante elementi isolanti in modo da non propagare potenziali pericolosi all'esterno

Accorgimenti

1. Aumento della resistività del terreno nella zona di accesso al locale (strato di pietrisco o asfalto)
2. Pavimento non conduttore (solo se entrando non è possibile toccare masse estranee vicino alla porta di ingresso)
3. Trasformatore di separazione sulla linea di alimentazione (separazione elettrica)

In questo ultimo caso non vanno interconnesse le masse estranee uscenti dal locale anche se simultaneamente accessibili con quelle del locale



SISTEMI ELETTRICI

CATEGORIA 0 ➔ *tensione minore o uguale a 50Vc.a. o 120 c.c.*

CATEGORIA I ➔ *tensione fino a 1000 V c.a. o fino a 1500 V c.c.*

CATEGORIA II ➔ *tensione fino a 30000 V*

CATEGORIA III ➔ *tensione oltre 30000 V*

SISTEMI A BASSISSIMA TENSIONE

Categoria 0

Extra Low Voltage ⇒ **Bassissima Tensione**

SELV ⇒ **Bassissima Tensione di Sicurezza**

PELV ⇒ **Bassissima Tensione di Protezione**

FELV ⇒ **Bassissima Tensione Funzionale**

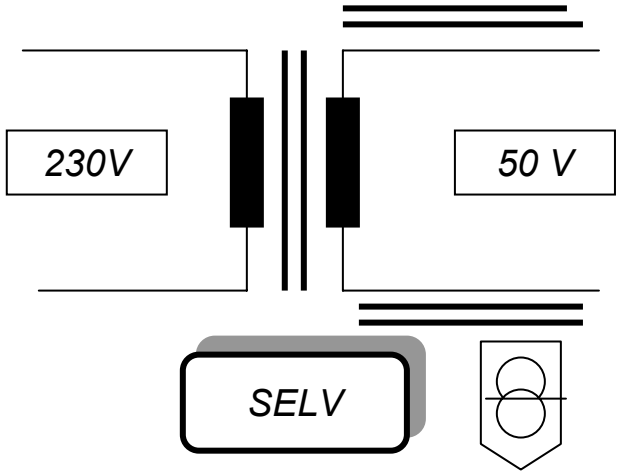
La Norma Cei 64-8 afferma che un sistema elettrico **è a bassissima tensione se è** limitato il valore di tensione al quale si può essere sottoposti in caso di guasto e soddisfa le seguenti condizioni:

- la tensione nominale non supera 50V,valore efficace in c.a. e 120V in c.c. non ondulata,
- l'alimentazione proviene da una sorgente SELV o PELV,
- sono soddisfatte le condizioni di installazione specificatamente previste per questo tipo di circuiti elettrici.

Safety Extra Low Voltage
Messa a terra ed equipotenzializzazione sono totalmente assenti.

SISTEMI A BASSISSIMA TENSIONE

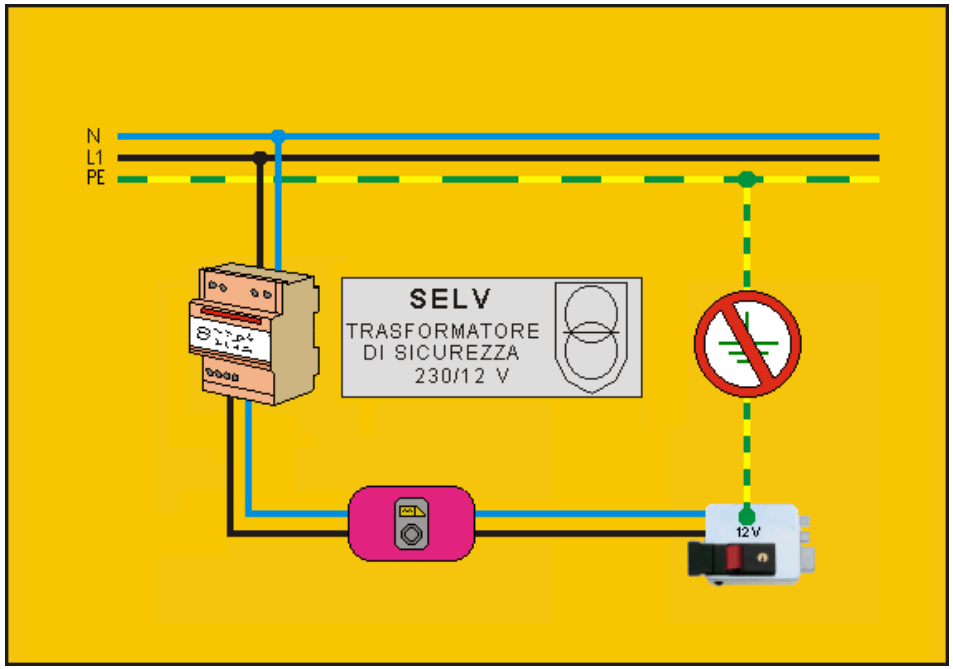
Categoria 0



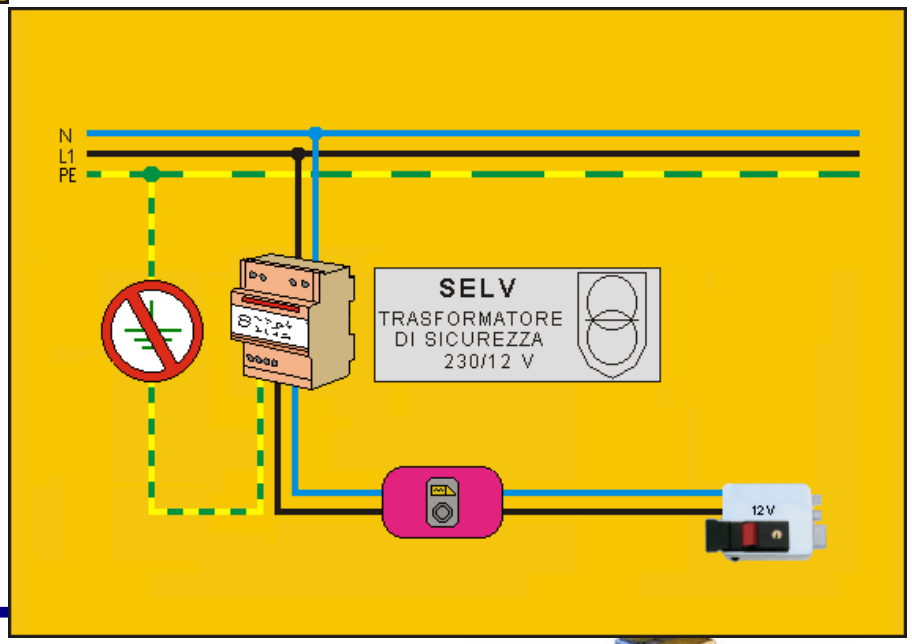
Il sistema SELV fornisce un ottimo livello di sicurezza nei confronti dei contatti diretti ed indiretti. In virtu' di questa peculiarità viene spesso utilizzato in ambienti a maggior rischio, come luoghi con pareti conduttrici, o luoghi con un alto livello di umidità.

Le caratteristiche di un sistema SELV sono :

- viene alimentato da una sorgente indipendente o da una sorgente di sicurezza,per la prima si potrebbe ottenere da comuni batterie, accumulatori o gruppi elettrogeni, mentre sono sorgenti di sicurezza le alimentazioni ottenute attraverso l'utilizzo di un trasformatore di sicurezza,
- non sono presenti punti di collegamento a terra, ed è vietato collegare a terra sia le masse sia le parti attive del sistema SELV,
- il sistema deve essere separato dagli altri sistemi elettrici, e questa separazione dovrà essere garantita per tutti i componenti, allo scopo si usa posizionare i conduttori del sistema SELV in canaline separate o dotare gli stessi conduttori di una guaina isolante supplementare.

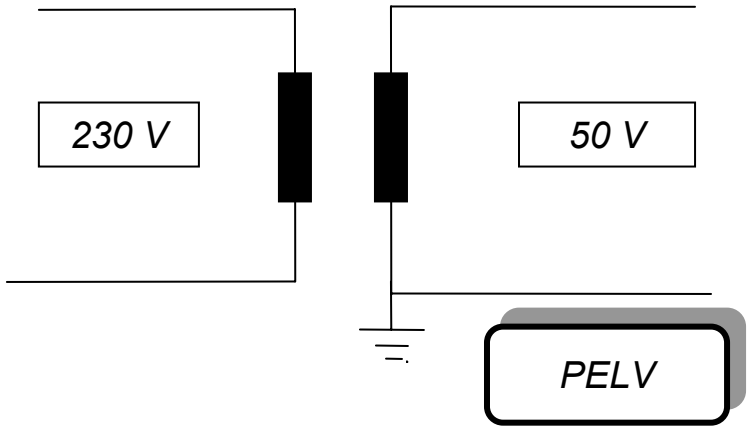


Vietato collegamento a terra masse o di qualche punto del circuito



SISTEMI A BASSISSIMA TENSIONE

Categoria 0

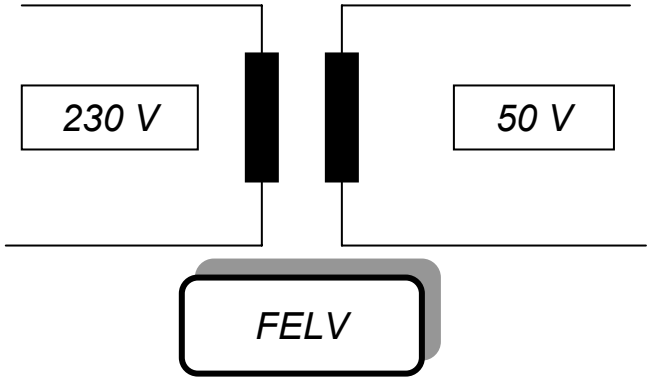


Protection Extra Low Voltage
Una polarità del circuito è collegata a terra

Il sistema PELV si utilizza quando si avverte la necessità di avere collegato a terra un punto attivo del circuito. Questo sistema garantisce un livello di sicurezza inferiore al precedente SELV poiché non risulta completamente isolato dal sistema esterno. La possibilità che si presenti un guasto verso terra del circuito primario potrebbe indurre attraverso l'impianto di terra delle tensioni pericolose sulle masse relative al sistema PELV, un rischio considerato anche per la presenza sul circuito principale di dispositivi automatici idonei alla protezione contro i contatti indiretti. Le caratteristiche del sistema PELV sono le stesse di un sistema SELV, fatta eccezione per il divieto di avere collegamenti a terra, infatti nel sistema PELV almeno un punto è collegato a terra.

SISTEMI A BASSISSIMA TENSIONE

Categoria 0



Functional Extra Low Voltage
La sorgente non è di sicurezza (trasformatore normale, autotrasformatore, ecc.).
Va collegata a terra la massa delle utenze

il sistema FELV, -Functional Extra Low Voltage, bassisisma tensione funzionale - è un sistema alimentato per motivi di funzionamento con un normale trasformatore , la cui tensione secondaria non supera il valore di 50 Volt.

Un eventuale guasto, per difetti di isolamento fra il primario ed il secondario del trasformatore potrebbe indurre tensioni pericolose, senza che le protezioni a monte dello stesso trasformatore intervengano,per questo il sistema FELV richiede la presenza di dispositivi automatici atti a garantire la protezione contro i contatti indiretti. Pertanto il sistema FELV non soddisfa i requisiti del sistema SELV e PELV, e quindi richiede la necessità di assicurare protezione contro i contatti diretti ed indiretti.

TENSIONI PERICOLOSE SECONDO CEI 64-8

CAT. 0	**SELV**	**< / = 25V c.a. (60 V c.c.)**	**Non pericolose**
CAT. 0	**SELV**	**> 25 V c.a.**	**PERICOLO !!!**
CAT. 0	**FELV**	**Qualunque valore**	**PERICOLO !!!**
CAT. 0	**PELV**	**< / = 6V c.a. (60 v C.C.)** **< 25V c.a. Con EQP**	**Non pericolose**
CAT. 0	**PELV**	**Altri casi**	**PERICOLO !!!**
CAT. I **CAT. II** **CAT. III**			**PERICOLO !!!**

Modalità di protezione

Obbligo di protezione
CEI 64-8-412

Dai contatti diretti e indiretti
CEI 64-8-412

- Circuiti a bassissima tensione SELV, PELV, FELV

Dai contatti indiretti
CEI 64-8-413

- Componenti di classe II
- Luoghi non conduttori
- Collegamento equipotenziale non connesso a terra
- Separazione elettrica

Per interruzione automatica dell'alimentazione

Continuità di servizio non indispensabile	**Continuità di servizio indispensabile**
Sistema di tipo TN, TT	**Sistema di tipo IT**

Dai contatti diretti
CEI 64-8-412

- Isolamento delle parti attive
- Involucri o barriere
- Ostacoli
- Distanziamento
- Interruttori differenziali