

Guida alla realizzazione dell'impianto di terra - prima parte -

di *Gianluigi Saveri*

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**, messa a terra **per lavori**, messa a terra **di funzionamento**.

1. Generalità

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.

I componenti fondamentali dell'impianto di terra sono (fig. 1):

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. È consigliabile proteggere la parti interrate e quelle emergenti mediante tubi per

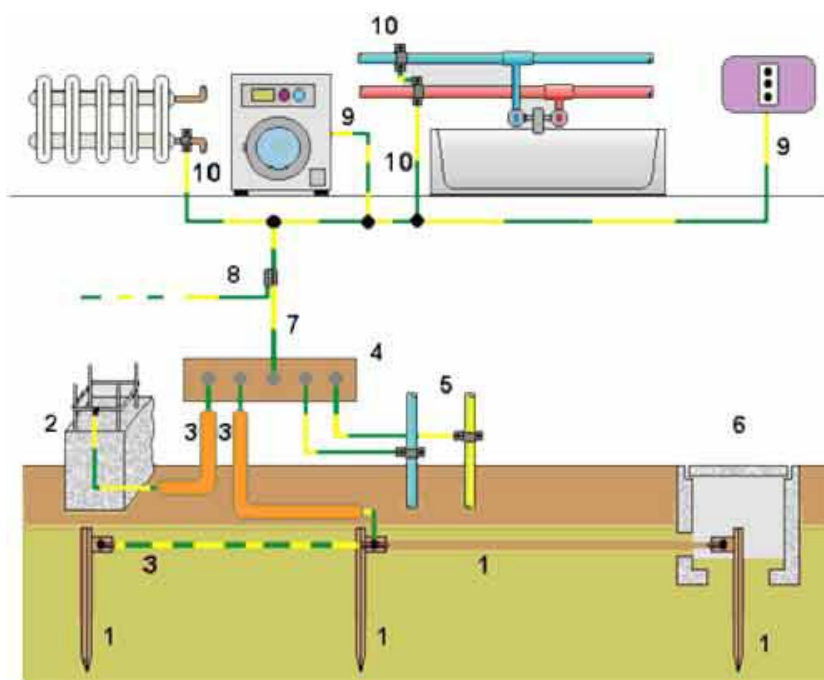


Fig.1: Struttura fondamentale di un impianto di terra

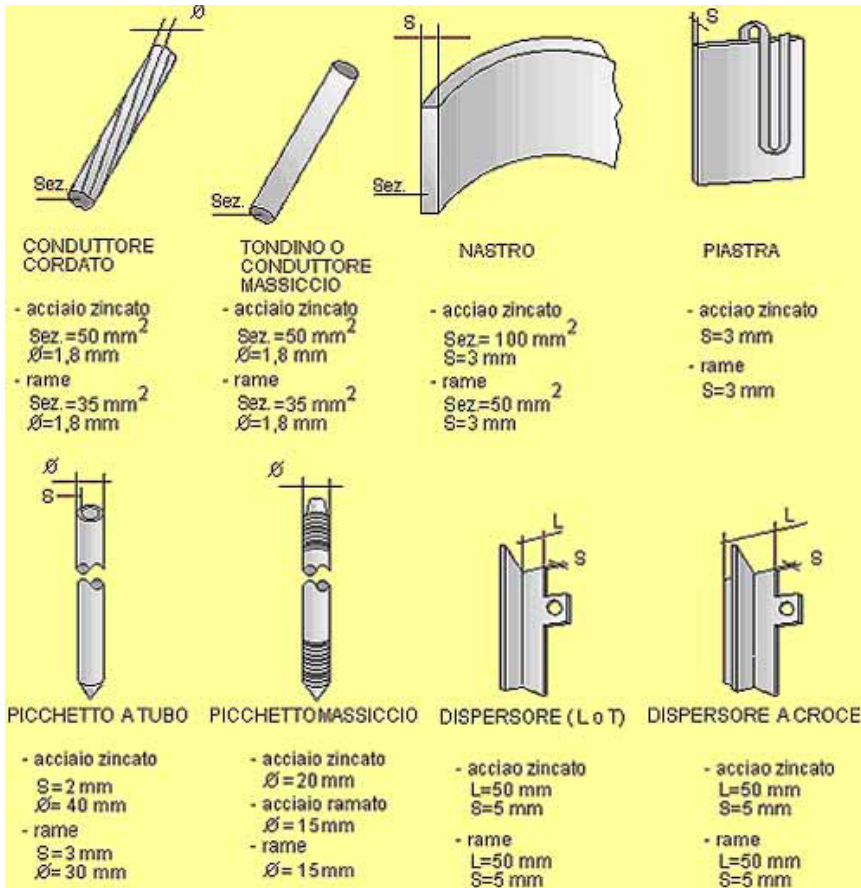
migliorare le difese contro la corrosione e contro gli urti

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
7. conduttore di protezione principale montante (PE), connette il collettore principale di terra con i PE di collegamento alle masse e con i conduttori equipotenziali di collegamento alle masse estranee
8. derivazione principale sul PE con collegamento passante senza interruzione del PE montante
9. conduttore di protezione secondario (PE), collega le masse al collettore principale di terra tramite il PE montante
10. collegamenti equipotenziali supplementari (EQS), collegano le masse estranee fra loro e al conduttore di protezione

2. Dispersore

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 (fig. 2).

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. Nelle figure seguenti sono rappresentati alcuni tra i componenti più comuni impiegati per la costruzione di un impianto di terra.

Fig.2: Dimensioni minime degli elementi di un dispersore intenzionale

2.1. Dimensionamento del dispersore

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.

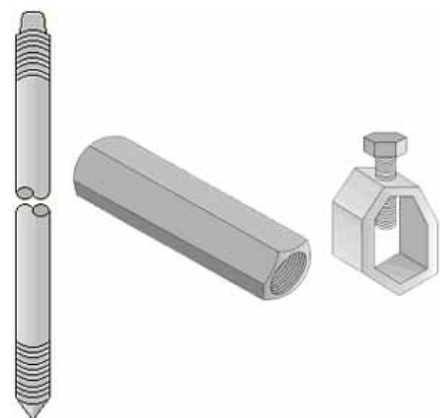
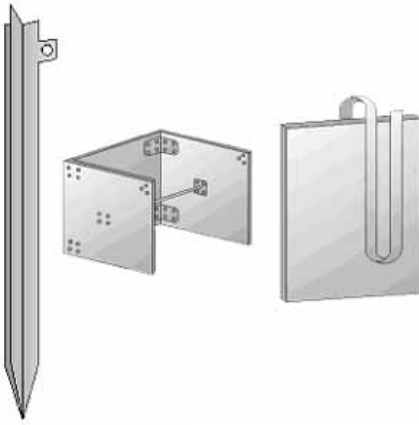


Fig.3: Elemento per dispersore di profondità - manicotto per prolunga - morsetto di collegamento



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. Il suo valore può essere determinato solo attraverso misure o stabilito approssimativamente in funzione del tipo di terreno. In tab. 1 sono riportati i valori indicativi di resistività dei più comuni tipi di terreno.

Fig.4: Esempi di dispersori: Dispersore a croce in profilato - dispersore a piastra modulare - dispersore a piastra





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

Tabella 1: Valori orientativi della resistività in funzione del tipo di terreno (ohm-metro)

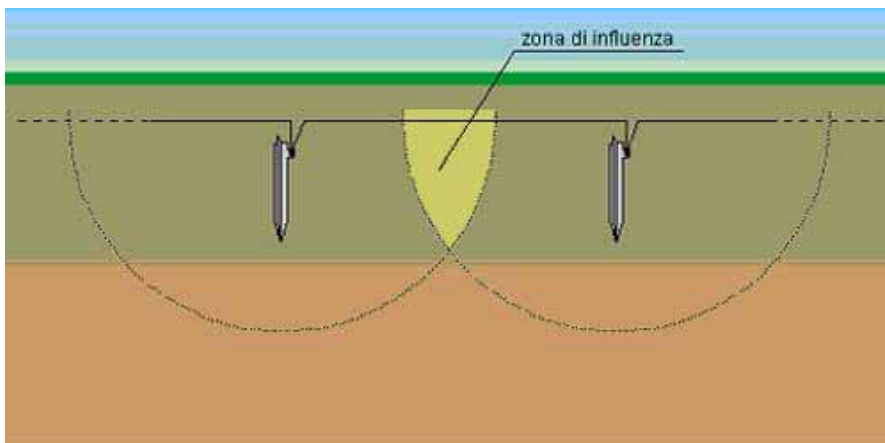
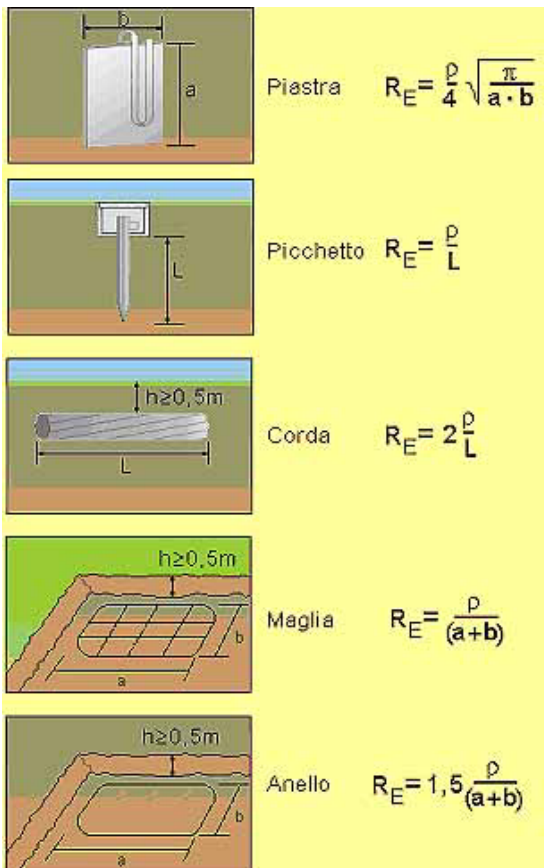


Fig.5: Influenza reciproca fra picchetti

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 (fig. 5).



La resistenza di terra può essere determinata preliminarmente mediante calcoli sufficientemente approssimati che non possono però prescindere da misure effettuate sul campo durante i lavori di posa per recuperare eventuali errori (valutazione della resistività del terreno, influenza reciproca fra dispersori o con strutture metalliche interrate) ed operare gli appropriati correttivi. 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 (fig. 6).

Fig.6: Formule semplificate per il calcolo della resistenza di terra di alcuni fra i più comuni tipi di dispersore

2.2. Scelta e criteri realizzativi

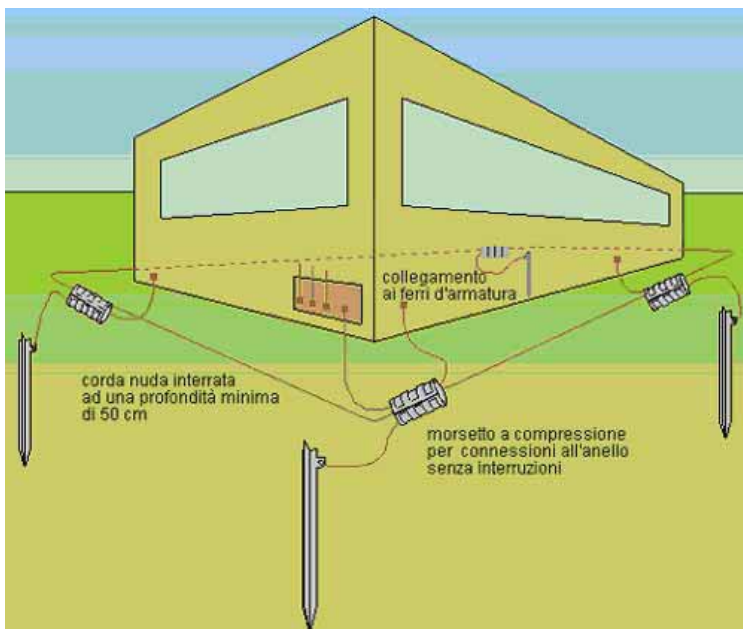


Fig.7: Dispersore integrato anello-picchetti

dell'edificio ad una profondità non inferiore a 50 cm integrato da un certo numero di picchetti e collegato in più punti ai ferri d'armatura.

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 fig. 7

Il dispersore è costituito da un anello ininterrotto di corda interrata attorno al perimetro

3. Conduttori di terra (CT)

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 (come indicato nella figura 2,35 mm² se in rame 50 mm² se in acciaio zincato) se invece si tratta di corda nuda installata a vista le sezioni minime previste sono di 25 mm² se in rame e di 50 mm² se in acciaio zincato (tab. 1).

Il conduttore di terra 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 sezione minima non deve però essere inferiore alla maggiore sezione del conduttore di protezione collegato al collettore principale di terra.

È consigliabile proteggere mediante tubi, solitamente in PVC, la parte interrata ed emergente dal terreno per migliorare le difese contro la corrosione e contro gli urti.

	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)		

Tabella 2 – Sezioni minime (S_E) dei conduttori di terra

Un esempio di applicazione delle norme, in relazione alle sezioni minime da adottare, nel caso di conduttori di terra in rame è riportato nella figura 8.

Il **dimensionamento dei conduttori di terra** deve essere condotto in modo differente a seconda che si tratti di impianto alimentato in bassa tensione o in alta tensione. Le ragioni che stanno alla base del dimensionamento dei conduttori di terra sono principalmente legate alla resistenza meccanica e alla corrosione del conduttore. La corrente di guasto, infatti, che in condizioni di normale funzionamento è zero, è quasi sempre sopportabile da conduttori di terra che rispettino le sezioni minime di tab. 1 stabilite dalle Norme. Una verifica più approfondita è comunque sempre auspicabile e richiede un'analisi dei singoli sistemi di distribuzione.

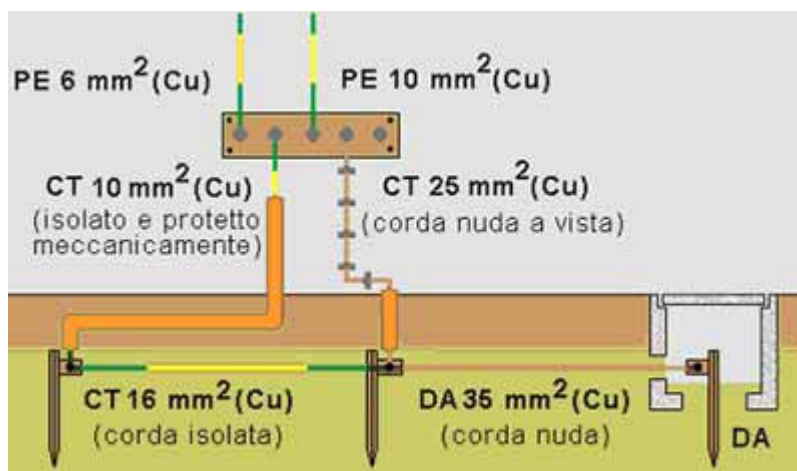


Fig.8: Esempio di applicazione delle norme in relazione alle sezioni minime ammissibili dei conduttori di terra (CT) in rame

3.1. Dimensionamento dei conduttori di terra in un 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:

- S_E è la sezione minima del conduttore di terra in mm^2 ,
- 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,
- K_C 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 $R_E=0,1$ ohm, si avrà

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

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 in EPR (tab. 3), si avrà

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

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 $16 mm^2$ è quasi sempre sufficiente per un sistema TT.

3.2. Dimensionamento dei conduttori di terra in un 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 in EPR dalla nota relazione si ottiene:

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

Anche in questo caso una sezione di $16 mm^2$ 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 nell'esempio.

▪ *Bassa tensione*

La corrente di guasto in bassa tensione può raggiungere anche valori di alcune decine di kA ma normalmente interessa solo il conduttore di protezione. Quando esistono più nodi equipotenziali il conduttore di terra può essere interessato da correnti di guasto che hanno comunque, nella quasi totalità dei casi, valori piuttosto modesti perché la corrente che lo attraversa è funzione del rapporto tra l'impedenza del conduttore di protezione e di quella del conduttore di terra ed è tanto più bassa quanto minore è la sezione del conduttore di terra. Non risulta quindi necessario nemmeno in questo caso, se si rispettano le dimensioni minime, operare particolari verifiche.

4. Conduttore di protezione (PE)

Col conduttore di protezione (è identificato dal colore giallo/verde e viene chiamato PE oppure, se svolge contemporaneamente anche la funzione di neutro, PEN) si realizza il collegamento delle masse con l'impianto di terra. Unitamente all'interruttore automatico garantisce la protezione dai contatti indiretti e deve essere dimensionato sia per sopportare le sollecitazioni termiche dovute alla corrente di guasto verso terra (che in condizioni di regime è nulla) sia per sopportare eventuali sollecitazioni meccaniche o azioni corrosive (le norme a tal proposito stabiliscono delle sezioni minime). Il dimensionamento può essere effettuato, con un metodo semplificato (fig. 7), in funzione della sezione del conduttore di fase (tab. 2) o con la formula sotto indicata, metodo che conduce a sezioni notevolmente inferiori rispetto a quelle ottenute col metodo semplificato

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

dove:

$I^2 t$ è l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore automatico durante l'interruzione del guasto
 K_C è un coefficiente (tab.3) che dipende dal materiale isolante e dal tipo di conduttore impiegato

Sezione di fase (mm ²)	Sezione minima del conduttore di protezione (mm ²)			
	Cu		Al	
	PE	PEN	PE	PEN
≤16	S _F	S _F	S _F	S _F
16 ÷ 35	16	16	16	25
> 35	S _F /2	S _F /2	S _F /2	S _F /2

Tabella 3: Sezioni minime dei conduttori di protezione

Valori del coefficiente K _C per conduttori costituiti da un cavo unipolare o da un conduttore nudo in contatto con il rivestimento esterno dei cavi				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 160	G2 ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 250	EPR/XLPE ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 220
Cavo unipolare	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
Cavo nudo a contatto con rivestimento esterno di cavi isolati	Cu	143	166	176
	Al	95	110	116
	Fe	52	60	64
Valori del coefficiente K _C per conduttori costituiti da un'anima di cavo multipolare				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC ϑ ₀ = 70 ϑ _f = 160	G2 ϑ ₀ = 85 ϑ _f = 250	EPR/XLPE ϑ ₀ = 85 ϑ _f = 220
Anima di cavo multipolare	Cu	115	135	143
	Al	76	89	94
Valori del coefficiente K _C per conduttori nudi non in contatto con materiali danneggiabili				
Tipo conduttore		Condizioni di posa		
		A(*) ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 500	B(*) ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 200	C(*) ϑ ₀ = 30 ϑ _f = 150
Cavo nudo non a contatto con rivestimen.. di cavi isolati	Cu	228	159	138
	Al	125	105	91
	Fe	82	58	50
(*) A: a vista in locali accessibili solo a personale addestrato				
(*) B: in condizioni ordinarie				
(*) C: in locali con pericolo di incendio, salvo diverse prescrizioni delle Norme CEI 64-2				

Valori del coefficiente K_C per conduttori costituiti dal rivestimento metallico o dall'armatura del cavo				
Tipo conduttore		Tipo di isolante		
		PVC $\varnothing_o = 30$ $\varnothing_f = 160$	G2 $\varnothing_o = 80$ $\varnothing_f = 250$	EPR/XLPE $\varnothing_o = 75$ $\varnothing_f = 220$
Rivestimento o armatura del cavo	Cu	122	140	149
	Al	79	90	49
	Fe	42	48	51
	Pb	22	19	19

Tabella 4: Valori di K_C per il calcolo dei conduttori di terra e protezione

Se la sezione che si ricava dalla relazione $S_F/2$ non è compresa fra le sezioni unificate è ammesso adottare quella che più si avvicina a quella calcolata. Tale procedimento è valido solo se il conduttore di protezione è costituito dallo stesso materiale del conduttore di fase. In caso contrario la sezione del conduttore deve essere calcolata in modo che le conduttanze dei diversi materiali abbiano lo stesso valore. Uguagliando e risolvendo si ottiene:

$$S_{PE}^I = \frac{S_{FE} \times \rho^I}{\rho}$$

Dove:

S_{PE} è la sezione ricavata dalle tabelle relative al materiale, di resistività ρ uguale a quello del

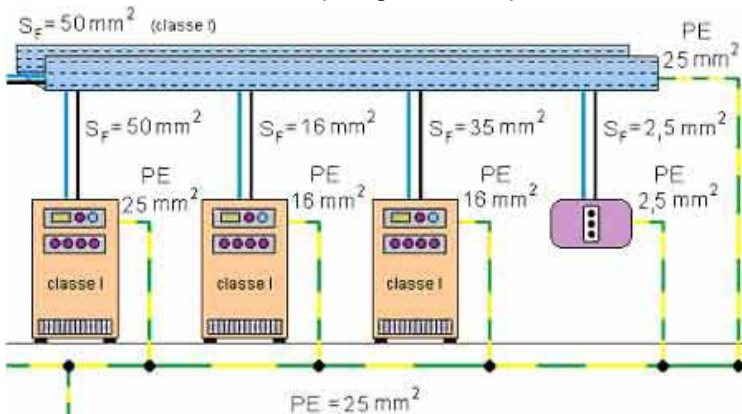


Fig.10: di parti dell'impianto che devono essere collegate all'impianto di terra

dispersione superiore a 10 mA che devono essere collegate a terra secondo una delle seguenti configurazioni:

- un cavo unipolare non inferiore a 10 mm²;
- due cavi in parallelo ciascuno di sezione non inferiore a 4 mm²;
- anima di cavo multipolare di sezione non inferiore a 2,5 mm² purché il cavo abbia una sezione complessiva non inferiore a 10 mm² per rendere minimi i danni dovuti ad eventuali sollecitazioni meccaniche;
- due cavi in parallelo di sezione non inferiore a 2,5 mm² protetti mediante componenti metallici.

4.1. Parti dell'impianto da collegare al PE

Attraverso il PE si devono collegare all'impianto di terra:

- gli alveoli delle prese a spina
- gli involucri metallici delle apparecchiature elettriche ad installazione fissa
- gli apparecchi non di classe II
- i controsoffitti metallici che portano cavi non di classe II o apparecchi elettrici di classe I
- gli apparecchi illuminanti di classe I
- i canali e i tubi protettivi metallici che portano cavi non di classe II. Canali e tubi metallici devono essere in buon contatto elettrico fra loro

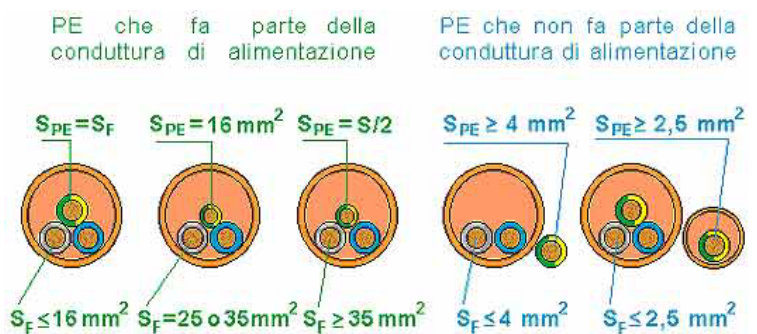


Fig.9: applicazione delle norme in base scelta della sezione SPE minima ammissibile dei conduttori di protezione (PE) in rame in base alla funzione SF del conduttore di fase e tipo di nasa

conduttore di fase ed S_{EP} e ρ^I sono rispettivamente la sezione e la resistività del materiale del conduttore di protezione prescelto.

Se il conduttore di protezione è comune a più circuiti utilizzatori il valore della sezione deve essere scelto riferendosi alla maggior sezione fra i conduttori di fase.

Per concludere occorre ricordare che quando il conduttore di protezione non fa parte della conduttura di alimentazione non deve, in ogni caso, essere inferiore a 2,5 mm² se è prevista una protezione meccanica del conduttore stesso (tubo di protezione), e a 4 mm² se non è prevista una protezione meccanica.

Una particolare nota va dedicata alle apparecchiature elettroniche con correnti di