

## LO SHOCK ELETTRICO – PARTE 2

### MISURE DI PROTEZIONE

#### Premessa

Nella prima parte della trattazione (documento "Lo shock elettrico - parte 1 - modalità di accadimento ed effetti" allegato alla pagina "Eventi dannosi") è stato chiarito che il passaggio di correnti pericolose attraverso il corpo umano può essere causato solo sottoponendolo ad una differenza di potenziale (tensione). Le norme tecniche individuano essenzialmente due modalità con cui si può verificare tale situazione, i contatti diretti ed i contatti indiretti. Le misure di protezione sono diverse nei due casi.

#### 1. Protezione dai contatti diretti

Per la protezione dai contatti diretti le norme tecniche per la realizzazione degli impianti e dei componenti elettrici prevedono misure di "protezione totale" e misure di "protezione parziale".

##### 1.1. Protezione totale

Sono le misure adottate in tutti i luoghi in cui è prevista la presenza di persone non addestrate. Proteggono sia contro i contatti accidentali sia contro i contatti volontari, a meno che non si utilizzino attrezzi o si danneggi il sistema di protezione.

##### 1.1.1. Isolamento delle parti attive

Per la protezione contro i contatti diretti si fa affidamento all'isolamento principale.

Le parti attive devono essere ricoperte completamente dall'isolante che non può essere rimosso a meno che non sia distrutto (figg. 1 e 2). L'isolante deve essere adeguato alle tensioni di funzionamento e resistere, oltre che alle sollecitazioni elettriche, anche a quelle meccaniche, termiche e chimiche a cui può essere sottoposto durante l'impiego. Nei casi in cui le condizioni di utilizzo lo richiedano, l'isolamento principale deve essere coadiuvato da ulteriori protezioni contro tali sollecitazioni (es. cavi con guaina o posati in tubi protettivi).

Figura n.1

Nei cavi elettrici i conduttori sono completamente ricoperti dall'isolante; questo ha il duplice scopo di consentire il funzionamento dei circuiti, senza che si verifichino contatti tra conduttori a diversa tensione e di proteggere le persone dai contatti diretti.

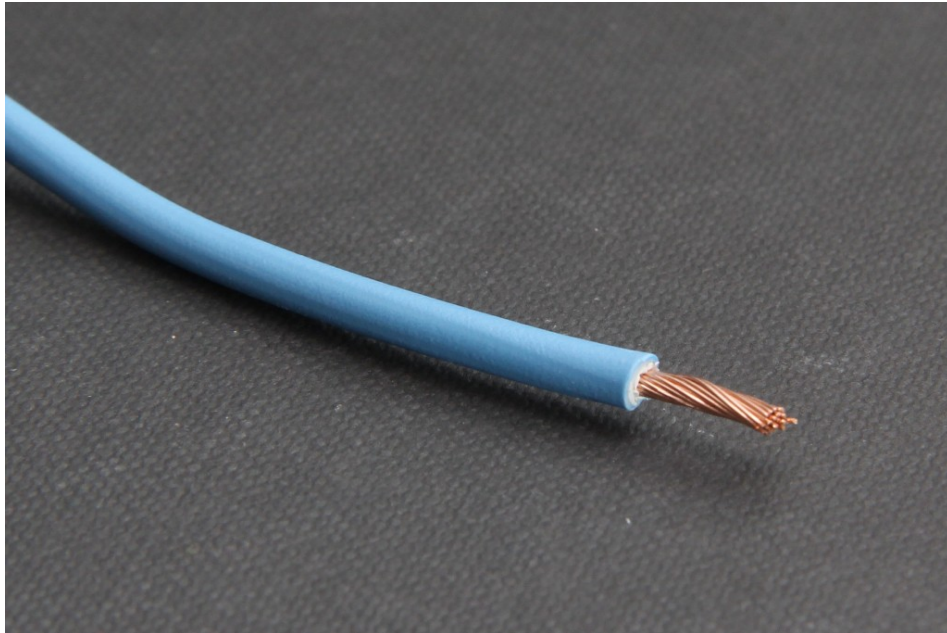
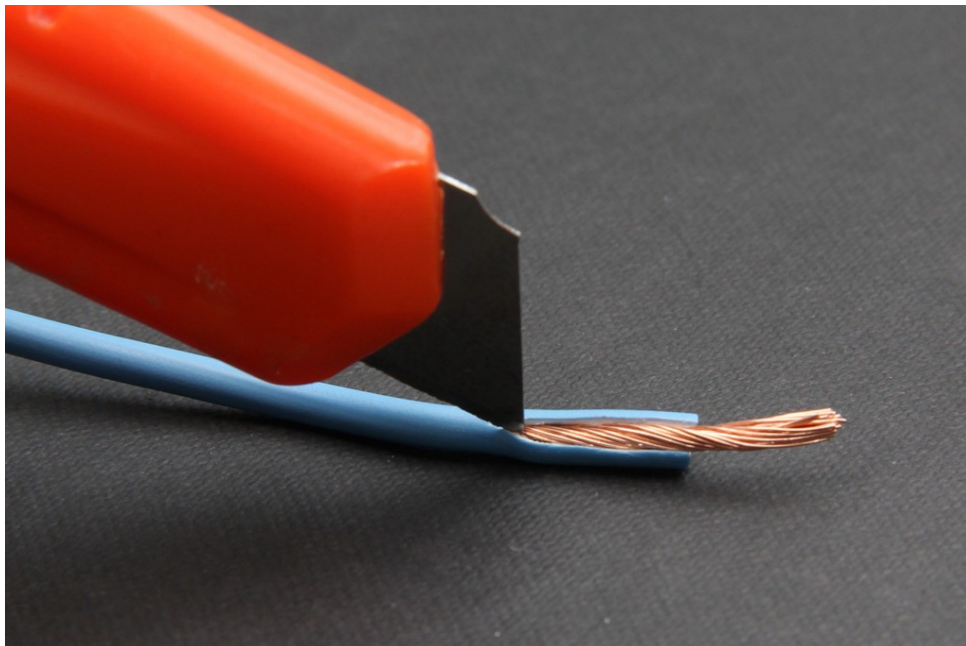


Figura n.2

L'isolamento dei cavi può esser rimosso solo distruggendolo



### 1.1.2. Protezione con involucri e barriere

Gli involucri (fig. 3) garantiscono la protezione contro il contatto diretto da ogni direzione, oltre a proteggere i componenti interni dalle sollecitazioni esterne; le barriere (fig. 4) garantiscono la protezione solo lungo le normali direzioni di accesso.



Sia gli involucri sia le barriere sono caratterizzati da un grado di protezione preciso, definito attraverso un codice composto dalle due lettere IP (International Protection), due cifre, una lettera aggiuntiva ed una lettera addizionale:

### IP 2 3 C H

Tabella n.1		Significato della prima cifra del codice IP	
Prima cifra	Protezione del materiale	Protezione delle persone	
0	non protetto		
1	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 50 mm.	protetto contro l'accesso con il dorso della mano	
2	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm	protetto contro l'accesso con un dito	
3	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 2.5 mm	protetto contro l'accesso con un attrezzo	
4	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1 mm	protetto contro l'accesso con un filo	
5	protetto contro la polvere	protetto contro l'accesso con un filo	
6	totalmente protetto contro la polvere	protetto contro l'accesso con un filo	

La "seconda cifra" (3) è relativa al grado di protezione contro la penetrazione di liquidi (può assumere valori da 0 a 8, oppure X quando non viene specificata), secondo quanto indicato in tabella 2.

La "lettera aggiuntiva" (C) indica la protezione dal contatto diretto ottenibile per la presenza di ostacoli o barriere o distanziamenti interni all'involucro (può essere A, B, C, D o non essere specificata), secondo quanto indicato in tabella 3.

La "lettera supplementare" (H) fornisce ulteriori informazioni relative al componente. Può essere omessa.

Il grado di protezione viene stabilito mediante prove convenzionali. Ad esempio il grado di protezione IP2X indica che nell'involucro non può penetrare una sfera di diametro 12,5 mm, premuta con forza di 30 N, e che il "dito standard di prova"<sup>1</sup>, premuto con una forza di 10 N, pur potendo penetrare nell'involucro, rimane ad una distanza adeguata dalle parti in tensione.

<sup>1</sup> Dispositivo di prova articolato di diametro 12 mm e di lunghezza di 80 mm che simula in modo convenzionale un dito di una persona per verificare l'adeguata distanza in aria dalle parti pericolose.

Tabella n.2	Significato della seconda cifra del codice IP
<b>Seconda cifra</b>	<b>Protezione del materiale</b>
0	non protetto
1	protetto contro la caduta verticale di gocce d'acqua
2	protetto contro la caduta di gocce d'acqua con inclinazione max di 15°
3	protetto contro la pioggia
4	protetto contro gli spruzzi d'acqua
5	protetto contro i getti d'acqua
6	protetto contro le ondate
7	protetto contro gli effetti dell'immersione
8	protetto contro gli effetti della sommersione

Tabella n.3	Protezione delle persone
<b>Lettera aggiuntiva</b>	<b>Protezione delle persone</b>
A	protetto contro l'accesso con il dorso della mano
B	protetto contro l'accesso con un dito
C	protetto contro l'accesso con un attrezzo
D	protetto contro l'accesso con un filo

Il grado di protezione delle barriere e degli involucri è garantito dal costruttore del componente o dell'apparecchio. Tuttavia il grado di protezione effettivo dipende anche dalla correttezza dell'installazione e dalle condizioni di esercizio e manutenzione dell'impianto.

Fino all'edizione del 2007, la norma CEI 64-8 (relativa ad impianti utilizzatori in bassa tensione) richiedeva almeno il grado di protezione IP2X o IPXXB, ad eccezione delle superfici orizzontali, per i quali era previsto il grado di protezione IP4X o IPXXD. Nelle ultime due edizioni (2007 e 2012), la norma fa invece riferimento ai soli gradi di protezione IPXXB (fig. 5) e IPXXD, rispettivamente.



Figura n.5 Il grado di protezione IPXXB



### 1.2. Protezione parziale

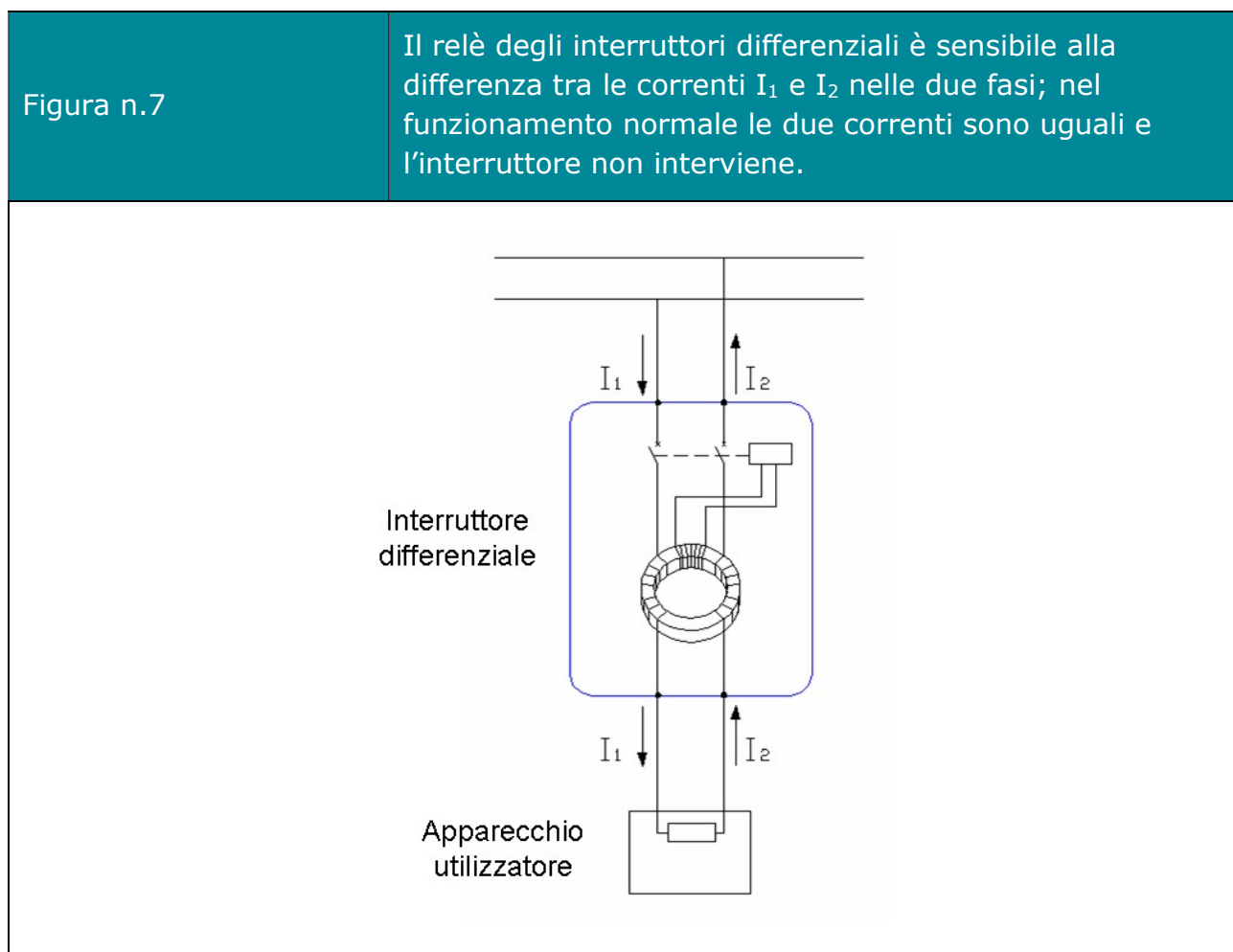
Sono misure attuate nei luoghi accessibili solo a personale addestrato. Proteggono solo da contatti accidentali, ma non dai contatti volontari. Sono attuate mediante ostacoli o distanziamenti.

### 1.3. Protezione aggiuntiva mediante interruttore differenziale

Oltre ai sistemi di protezione sopra riportati, contro i contatti diretti può essere previsto anche l'impiego di "interruttori differenziali" ad alta sensibilità, come metodo di protezione aggiuntiva.

Figura n.6 Due interruttori differenziali (sono riconoscibili dallo schema elettrico, dal valore di corrente differenziale nominale  $I_{\Delta n}$  indicata sulla targa e dal tasto di prova)





Gli interruttori differenziali sono interruttori automatici sensibili alla differenza delle correnti tra le due fasi del circuito su cui sono installati (fig. 7).

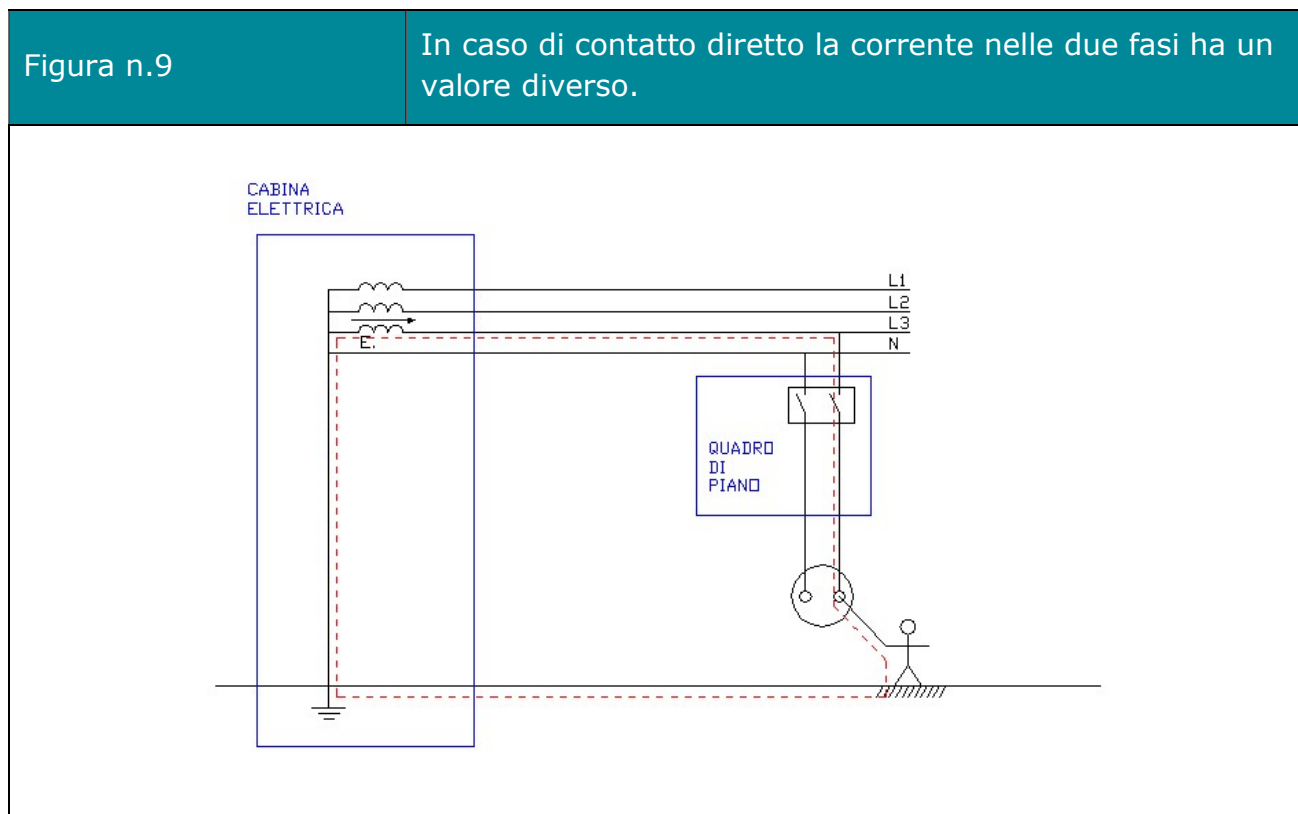
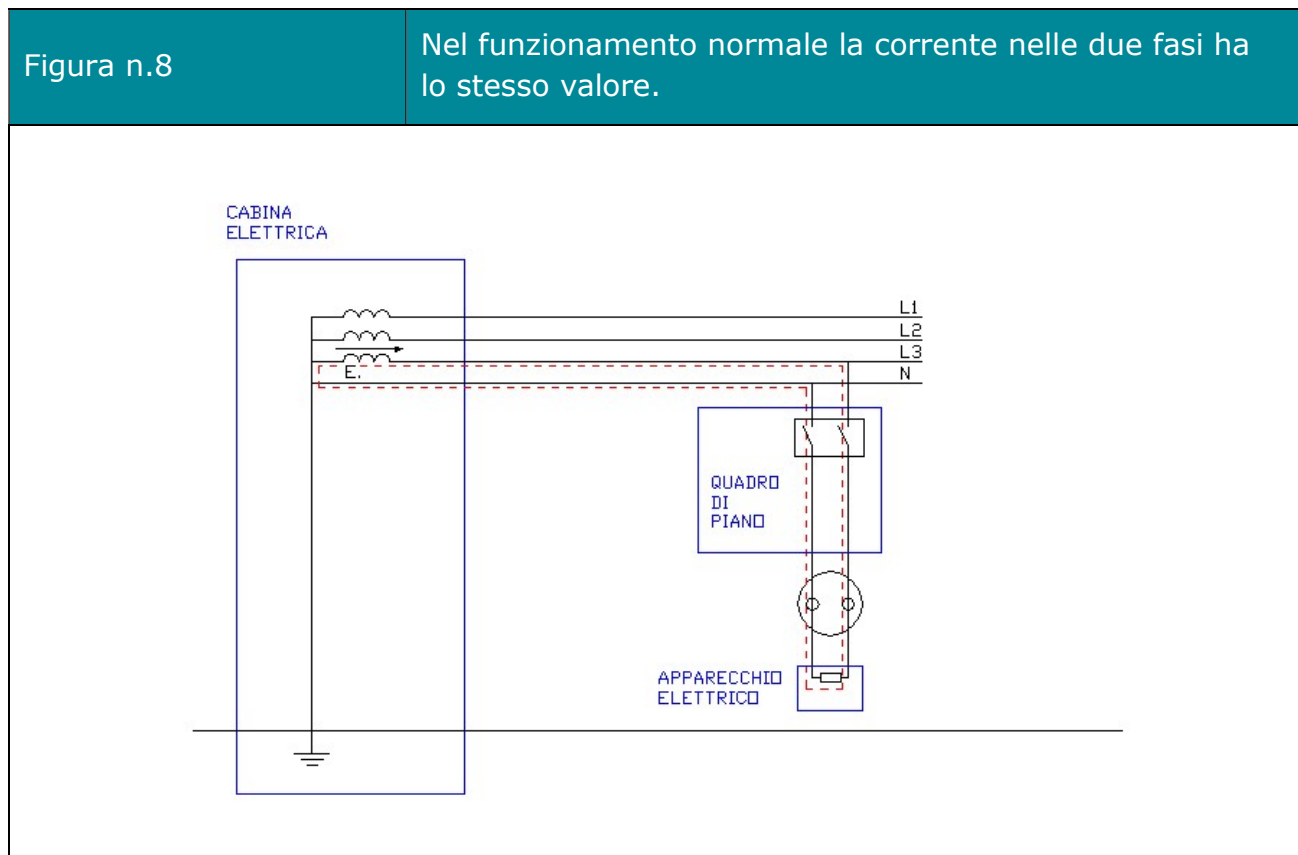
Come tutti i dispositivi elettrici, gli interruttori differenziali sono caratterizzati dalla **corrente nominale**, che è il valore di corrente che può attraversarli per un tempo indefinito.

Il valore di corrente differenziale (differenza tra le correnti delle due fasi) che determina l'apertura dell'interruttore è chiamato, invece, **corrente differenziale nominale d'intervento**  $I_{dn}$ .

In condizioni di funzionamento normale, la corrente che percorre le due fasi dell'interruttore ha lo stesso valore (fig. 8). Nel caso di un contatto diretto, la corrente che percorre la fase dell'interruttore interessata dal contatto è diversa da quella che rientra dall'altra fase (spesso nulla); la differenza è data dal valore di corrente che passa attraverso la persona in contatto con la fase (fig. 9). Se tale differenza è superiore alla corrente differenziale nominale d'intervento dell'interruttore, questo apre il circuito interrompendo la corrente.

Gli interruttori differenziali ad **alta sensibilità** sono quelli con corrente differenziale nominale d'intervento minore o uguale a 30 mA. Le loro caratteristiche di funzionamento "corrente-tempo" sono tali da consentire quasi sempre, durante un

contatto diretto, l'interruzione della corrente in tempi inferiori a quelli massimi ammissibili dalla "curva di sicurezza" descritta nella prima parte della trattazione.





Si segnala che in alcuni casi specifici, in particolare negli impianti al servizio delle abitazioni, la norma CEI 64-8 richiede espressamente l'impiego di interruttori differenziali ad alta sensibilità, come protezione aggiuntiva dai contatti diretti.

La norma parla di protezione aggiuntiva poiché ritiene imprescindibili le modalità di protezione passiva precedentemente esposte. La protezione differenziale, infatti, è inefficace per i contatti tra fase e fase o tra fase e neutro. Inoltre per correnti differenziali prossime o superiori a 400 mA, non è sempre garantito l'intervento in tempi inferiori a quelli ammessi dalla curva di sicurezza<sup>2</sup>.

A queste considerazioni di carattere tecnico, se ne aggiungono altre di carattere pratico.

La prima è che la curva di sicurezza è di tipo statistico. Per quanto conservativa, tale curva non può rappresentare con certezza le reazioni di ogni persona nelle condizioni di contatto diretto. Inoltre, affidando unicamente ad un dispositivo attivo la protezione contro i contatti diretti, in caso di mancato funzionamento o di funzionamento anomalo del dispositivo, la persona si ritroverebbe senza difesa alcuna contro la folgorazione.

Tutto ciò, unito alla relativa facilità di conseguire la protezione tramite misure passive (necessarie anche per motivi funzionali), giustifica l'impiego della protezione differenziale solamente quale protezione aggiuntiva dai contatti diretti.

## 2. Protezione dai contatti indiretti

I metodi di protezione dai contatti indiretti si classificano sostanzialmente in due categorie: protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione e protezione senza interruzione dell'alimentazione.

### 2.1. Metodi di protezione con interruzione automatica dell'alimentazione

Impediscono che sulle masse siano presenti tensioni pericolose (e quindi che si possa verificare il passaggio di correnti pericolose, in caso di contatto con il corpo umano) per tempi superiori a quelli consentiti dalle curve di sicurezza.

Essi sono basati sul coordinamento tra "impianto di terra" ed interruttori automatici, i quali devono aprire tempestivamente i circuiti che "mettono in tensione le masse" in caso di guasto. Gli apparecchi e i componenti utilizzati con questo tipo di protezione sono dotati del solo isolamento principale e sono provvisti di morsetto per il collegamento delle masse all'impianto di terra (apparecchi di **classe I**).

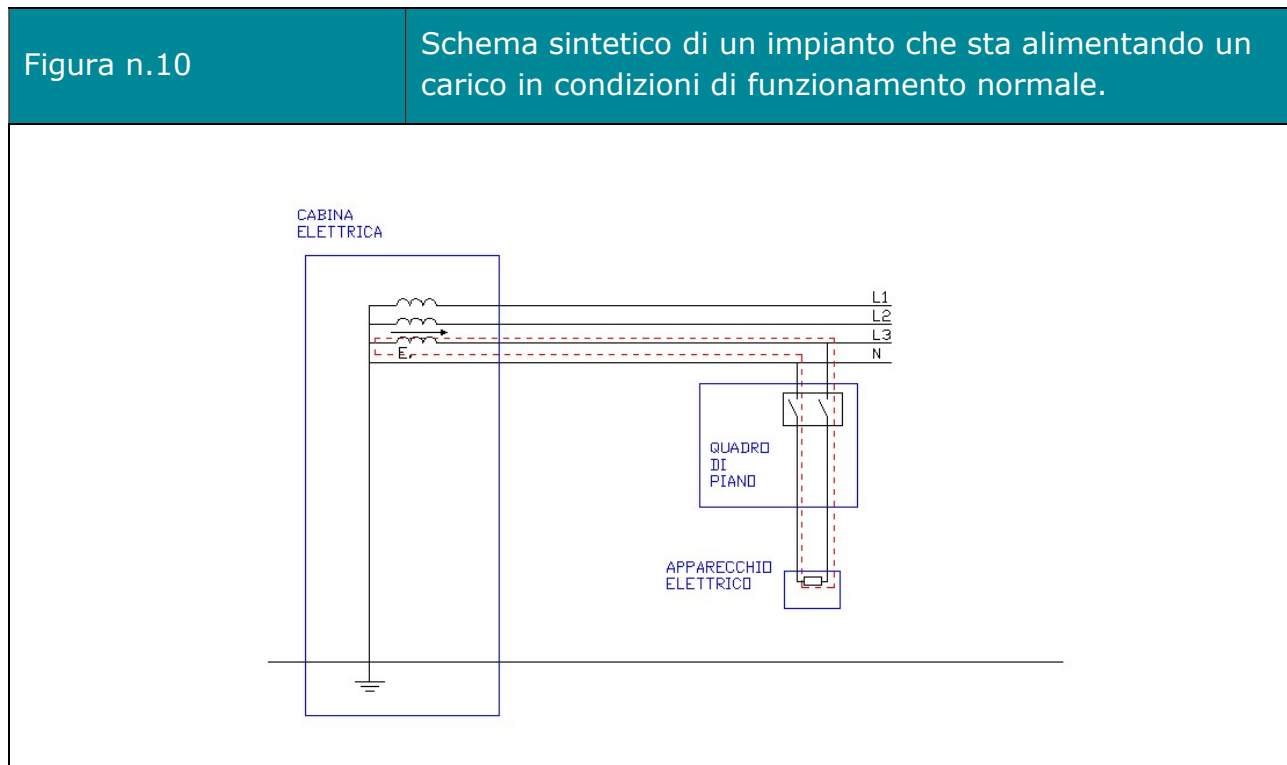
In caso di un guasto verso massa, il coordinamento tra l'impianto di terra e gli interruttori automatici garantisce la circolazione di una corrente sufficiente a determinare l'apertura degli interruttori in tempi compatibili con la curva di sicurezza.

Per illustrare il funzionamento di questo metodo di protezione si fa riferimento agli schemi già noti. In figura 10 è rappresentato un impianto che sta alimentando a 230 V

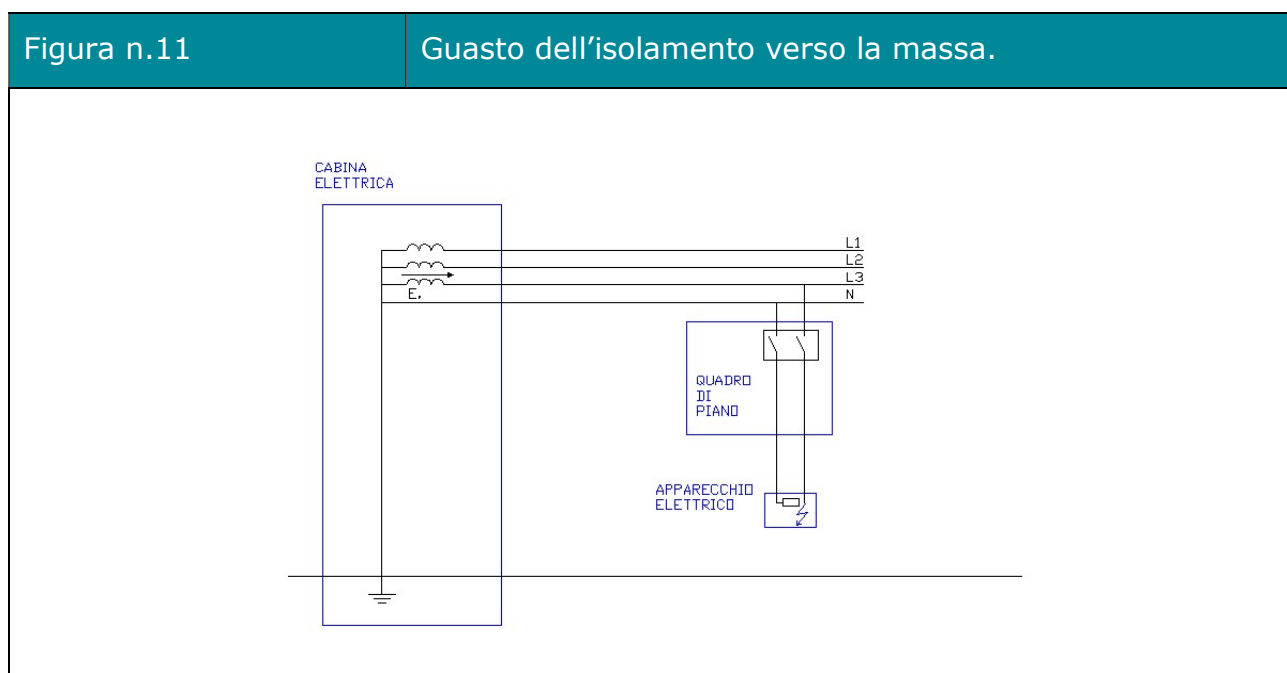
---

<sup>2</sup> Nelle abitazioni e, in generale, in condizioni di rischio ordinario, in caso di contatto diretto, la corrente attraverso il corpo umano è limitata dalla resistenza del corpo e da quella del terreno a valori generalmente inferiori a 200 mA. In presenza di maggior rischio elettrico per ridotta resistenza del terreno, come nei cantieri, i valori possono essere più elevati e raggiungere i 400 mA.

un apparecchio utilizzatore privo di collegamento a terra. In condizioni di funzionamento normale la massa non è in tensione verso terra e può esser toccata senza problemi.

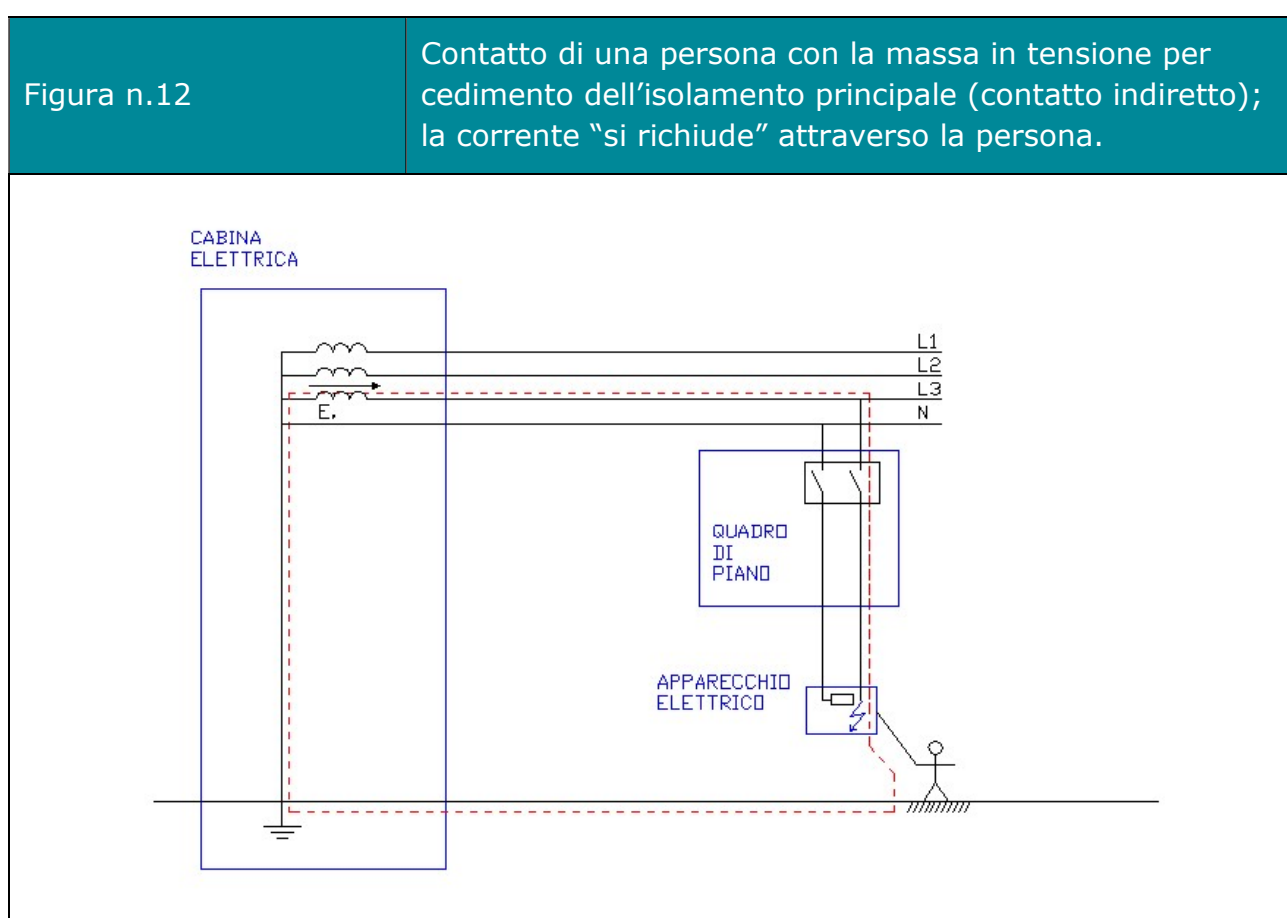


Se per un guasto all'isolamento il conduttore di fase entra in contatto con la massa dell'apparecchio, questa assume rispetto al terreno una tensione pericolosa, senza che però la situazione possa determinare l'intervento di alcun dispositivo di protezione. Il circuito infatti risulta aperto e perciò non passa corrente (fig. 11).

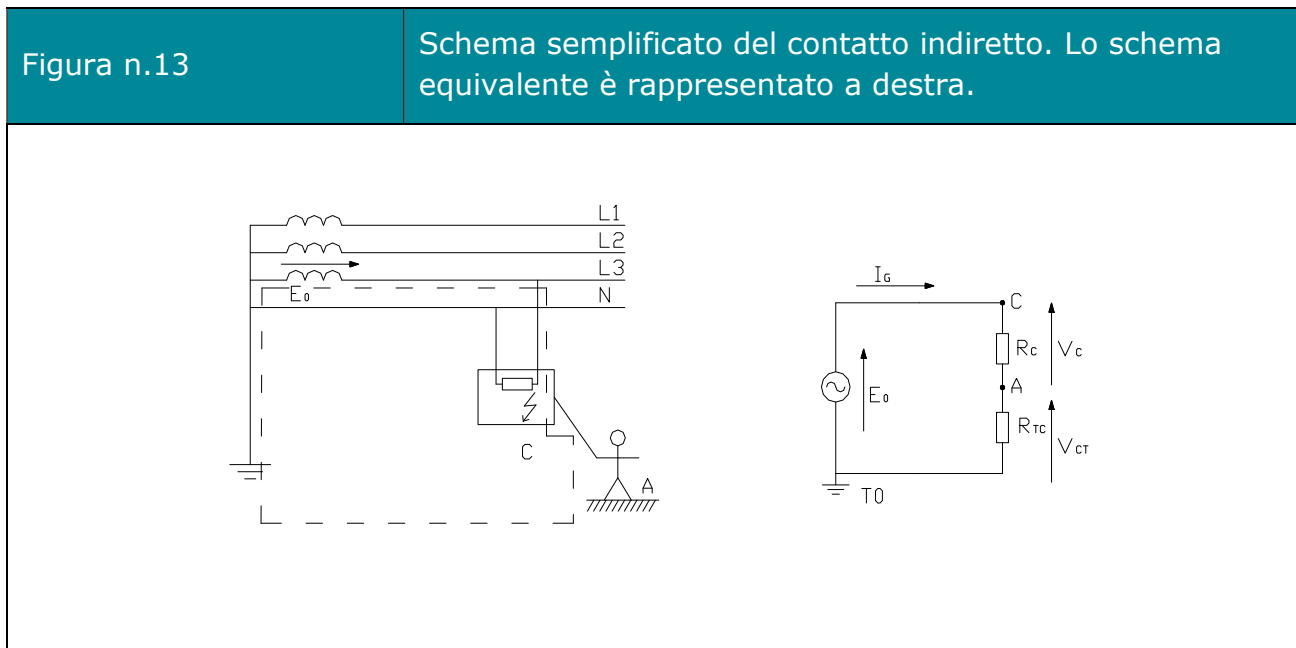


Se durante il guasto una persona tocca la massa, il circuito si chiude attraverso il corpo della persona, il terreno e l'impianto di messa a terra di cabina. In questo circuito viene a passare una corrente di guasto  $I_g$  il cui valore dipende dalla resistenza totale del percorso (figg. 12 e 13).

Per quanto detto in precedenza, il valore di corrente, determinato essenzialmente dalla resistenza della persona  $R_C$  e da quella del terreno  $R_{TC}$  tra il punto di contatto della persona e il punto di messa a terra della cabina<sup>3</sup>, è valutabile convenzionalmente a poco meno di 200 mA in condizioni ordinarie e 400 mA in condizioni di maggior rischio (ambienti bagnati, all'aperto). Tali valori sono sufficienti ad innescare la fibrillazione dell'infortunato ma non a far intervenire l'interruttore magnetotermico, posto a protezione del circuito contro gli effetti termici e dimensionato per far passare correnti di carico dell'ordine degli ampere, delle decine o delle centinaia di ampere.



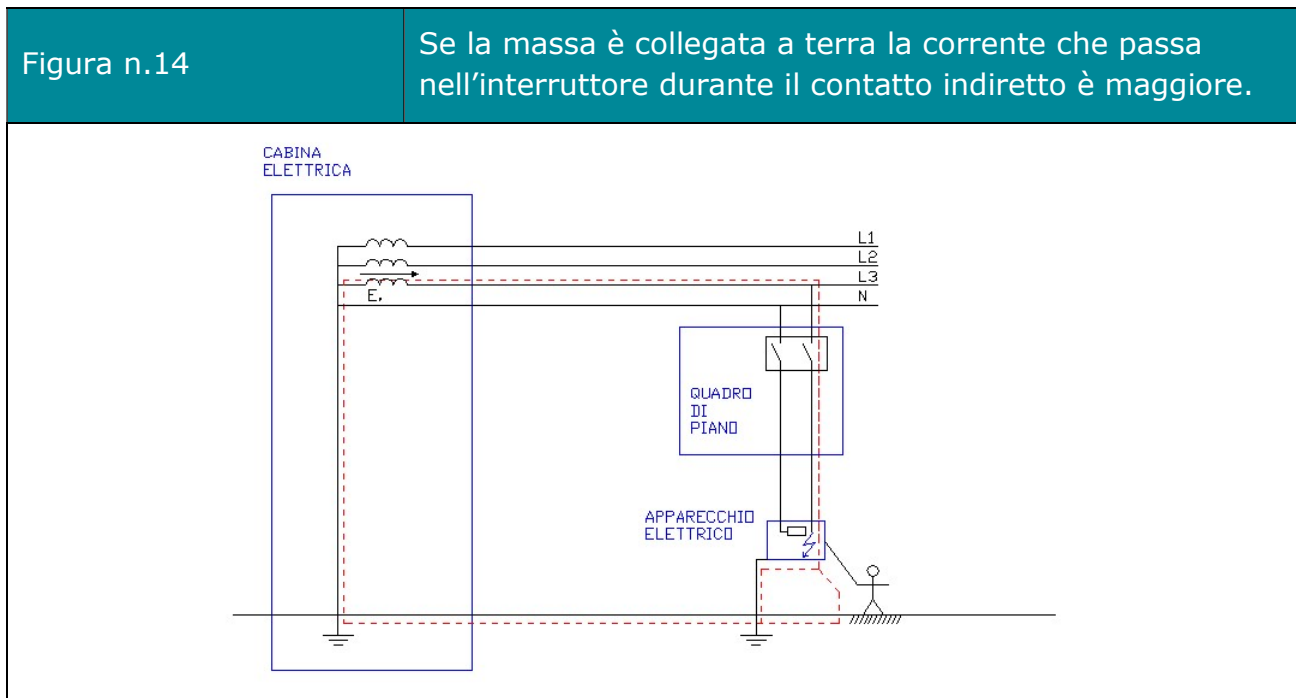
<sup>3</sup> Si ritiene trascurabile rispetto alle altre resistenze del circuito, la resistenza di messa a terra della cabina.



La corrente di guasto  $I_G$  attraversa interamente la persona che tocca la massa, e il guasto si manifesta solo nel momento in cui si verifica il contatto della persona.

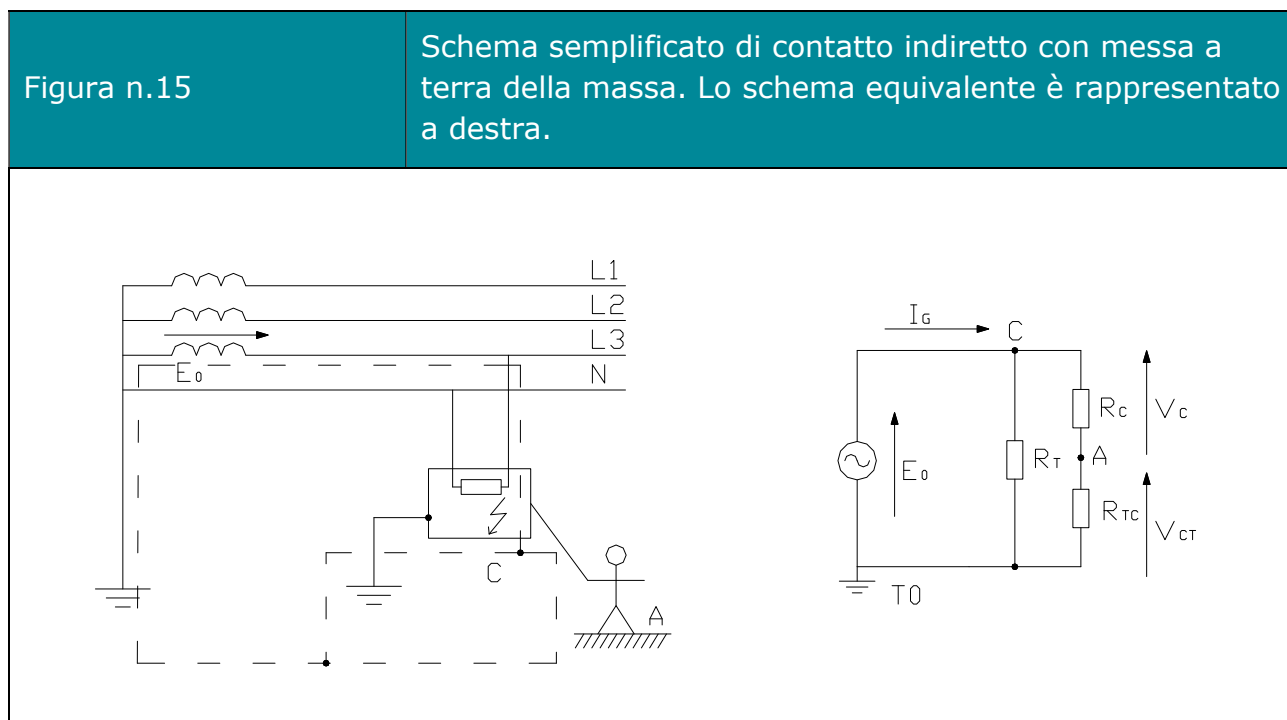
Nelle figure 14 e 15 è rappresentata la stessa situazione nella quale, però si è provveduto ad effettuare il collegamento a terra delle masse mediante un conduttore che presenta verso il punto di messa a terra della cabina una certa resistenza  $R_T$ .

Per semplicità di trattazione e sotto opportune ipotesi, si può considerare che alla resistenza totale della persona e del terreno tra la persona e la cabina ( $R_C + R_{TC}$ ), sia collegata in parallelo<sup>4</sup> la resistenza  $R_T$  (fig.15).



<sup>4</sup> A rigore, le resistenze possono essere considerate in parallelo solo quando il punto di messa a terra della massa e il punto di contatto della persona sul terreno sono sufficientemente distanti.

Per note leggi di elettrotecnica, la resistenza equivalente alle due resistenze in parallelo ha un valore minore di quello della più piccola delle due. Pertanto, se il valore della resistenza di messa a terra della massa  $R_T$  è sufficientemente piccolo, la resistenza totale del circuito, risulta molto minore di quella ( $R_C + R_{TC}$ ) che si avrebbe in assenza di collegamento a terra della massa, e prossima ad  $R_T$ . Il valore della corrente di guasto  $I_G$  che attraversa l'interruttore automatico può essere ora sufficientemente grande da provocare l'intervento dell'interruttore magnetotermico e aprire il circuito in un tempo compatibile con la curva di sicurezza.

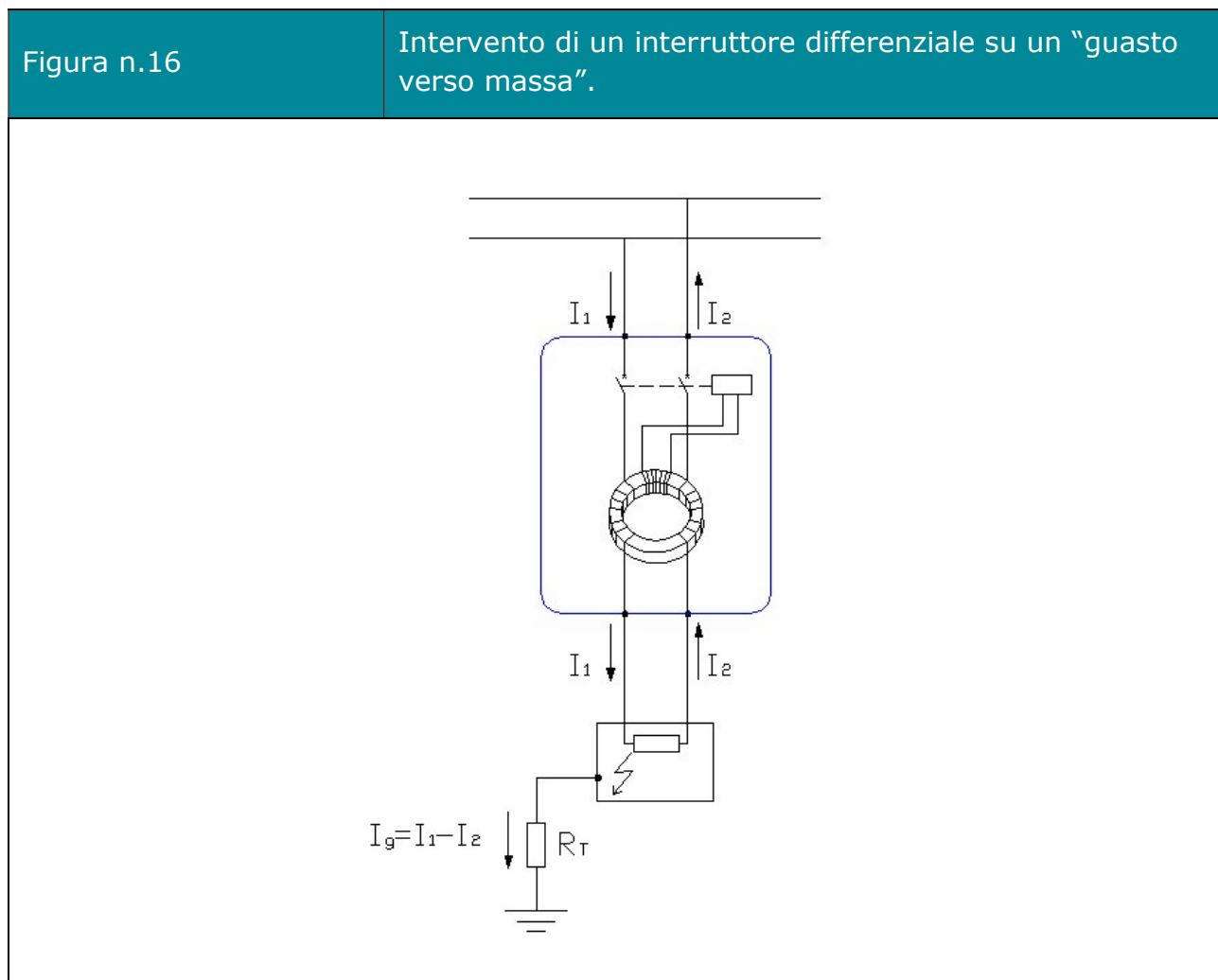


Ad esempio, con una resistenza  $R_T = 1 \Omega$  (valore ottimistico per un impianto di terra di utente), la corrente di guasto varrebbe 230 A, e potrebbe consentire l'intervento "istantaneo" dei comuni interruttori magnetotermici posti a protezione dalle sovracorrenti (l'intervento istantaneo sarebbe garantito fino a certi valori di correnti nominali degli interruttori<sup>5</sup>). Tuttavia con valori di resistenza  $R_T$  maggiori, ad esempio  $10 \Omega$  (valore più realistico rispetto al precedente) la corrente di guasto varrebbe solo 23 A, ciò che non consentirebbe l'intervento "istantaneo" di un interruttore magnetotermico.

È necessario evidenziare che il valore della resistenza di terra di un impianto di utente ha mediamente valori di diverse decine di ohm, peraltro molto variabili nel tempo, soprattutto per la variabilità delle condizioni del terreno.

<sup>5</sup> I più comuni interruttori magnetotermici per la protezione generale dei circuiti sono previsti per intervenire certamente con lo sganciatore magnetico, per correnti superiori a 10 volte la loro corrente nominale. Un interruttore con corrente nominale di 16 A interviene istantaneamente per correnti superiori a 160 A.

Per garantire la sicura interruzione della corrente nei tempi compatibili con la curva di sicurezza, è allora necessario ricorrere ad un'altra soluzione: l'impiego di interruttori differenziali, sensibili agli squilibri di corrente tra le due fasi del circuito su cui sono installati. Di fatto, quando si verifica un guasto all'isolamento verso una massa collegata a terra, la corrente che passa nella fase dell'interruttore è diversa da quella che rientra dal neutro, perché la corrente di guasto si richiude sul circuito realizzato dall'impianto di terra: si instaura cioè una corrente differenziale (fig. 16). Se la differenza tra la corrente di fase e quella di neutro è superiore alla corrente differenziale nominale dell'interruttore, questo apre il circuito, ponendo la massa fuori tensione.



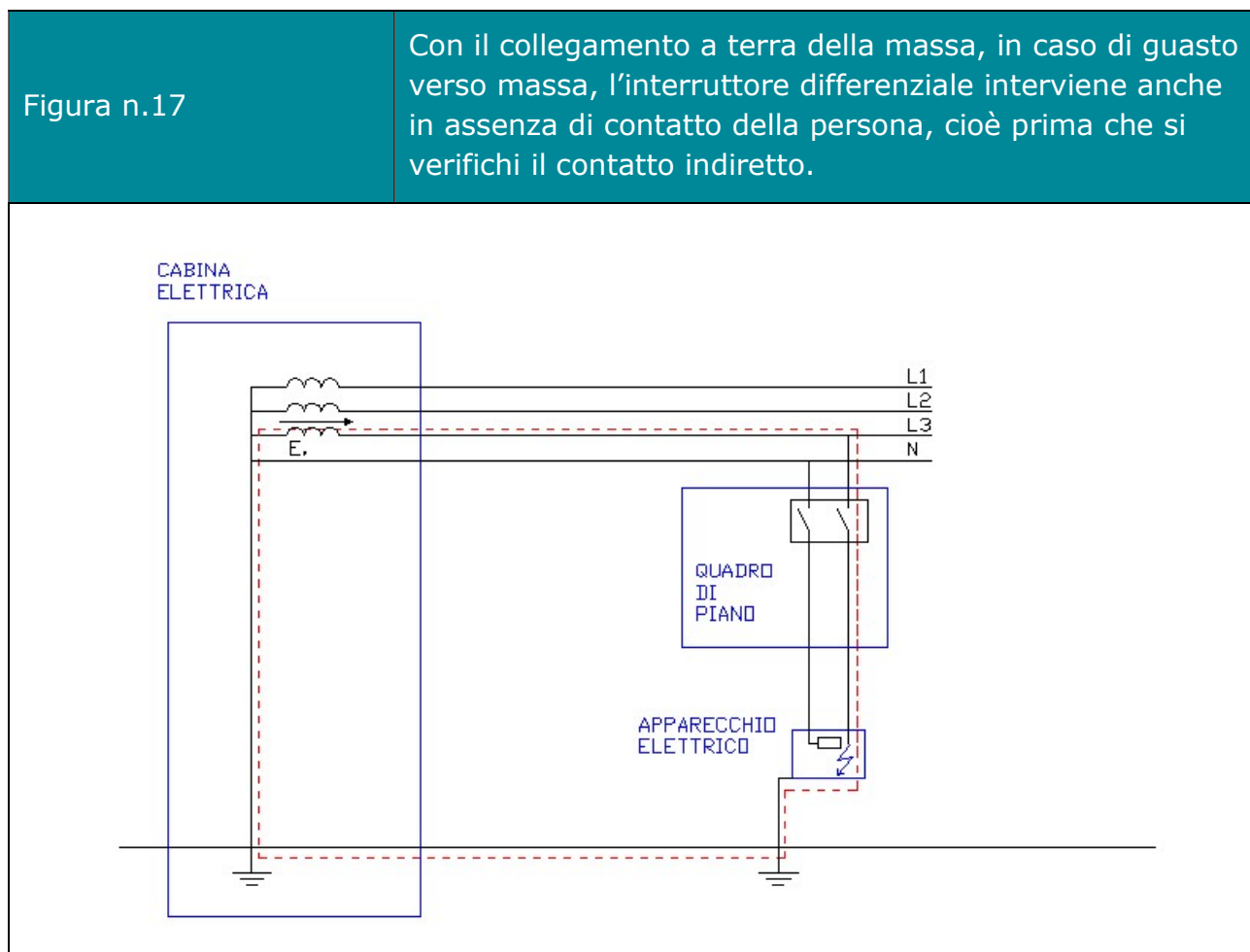
Con l'uso di interruttori differenziali ad alta sensibilità (soglia di intervento pari o inferiore a 30 mA), in caso di guasto verso una massa, il circuito viene aperto "istantaneamente" già con valori della resistenza  $R_T$  di messa a terra dell'ordine dei 50 o 100  $\Omega$ , facilmente conseguibili. A tali valori di resistenza corrispondono infatti correnti differenziali di alcuni Ampere, ampiamente superiori alla corrente di intervento degli interruttori ad alta sensibilità<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> È bene evidenziare che gli interruttori differenziali non intervengono in caso di sovraccarico o di corto circuito tra le due fasi del circuito ad essi sotteso, anzi, se il guasto non viene interrotto tempestivamente, lo stesso dispositivo



Si fa osservare ancora che, per effetto del collegamento a terra della massa, la corrente di guasto  $I_G$  (ora più grande che in assenza di collegamento) non attraversa interamente la persona che tocca la massa, ma si ripartisce tra la persona ed il collegamento a terra della massa. Sostanzialmente la persona viene ad essere attraversata da una corrente leggermente minore di quella che la attraverserebbe in caso di contatto indiretto in assenza di collegamento a terra della massa.

Inoltre, in presenza di un opportuno coordinamento tra l'impianto di terra e gli interruttori di protezione, al verificarsi di un guasto di isolamento tra una fase ed una massa, la corrente di guasto provoca l'apertura del circuito anche in assenza di contatto da parte della persona. Questa evenienza risulta particolarmente favorevole alla sicurezza perché annulla o riduce il tempo di esposizione al pericolo, agendo sulla fonte senza attendere il manifestarsi delle conseguenze (vedi fig. 17).



Si giunge pertanto alle seguenti conclusioni di carattere generale:

- con il collegamento a terra delle masse aumenta la corrente totale di guasto  $I_G$ ;

differenziale può esser danneggiato dal passaggio di correnti superiori a quelle nominali. È molto frequente l'impiego di interruttori automatici equipaggiati contemporaneamente con relè magnetotermici e relè differenziali per conseguire sia la protezione dei circuiti da sovracorrenti, sia la protezione delle persone da folgorazione.

tale corrente è quella che passa attraverso gli interruttori automatici e per valori opportuni ne determina l'apertura;

- la corrente che attraversa la persona diminuisce leggermente;
- gli interruttori differenziali intervengono anche senza che una persona tocchi la massa in tensione.

Lo schema illustrato in figura 17 rappresenta un particolare metodo di collegamento a terra delle masse. È il cosiddetto SISTEMA TT: la prima T indica che il neutro e l'origine degli avvolgimenti di bassa tensione del trasformatore sono collegati a terra in cabina; la seconda T che le masse degli utilizzatori sono collegate direttamente a terra mediante l'impianto di terra di utente.

È il metodo utilizzato in tutti i casi in cui la cabina di trasformazione non sia di proprietà degli utilizzatori, ma dell'ente distributore.

In tale sistema, come detto, il corretto coordinamento tra la resistenza dell'impianto di terra e tempi di intervento del dispositivo di interruzione si ottiene impiegando interruttori differenziali<sup>7</sup>, come richiesto dalle norme tecniche.

Ove la cabina di trasformazione sia di proprietà dell'utente, si utilizzano invece i cosiddetti SISTEMI TN, nei quali le masse non sono collegate al terreno, ma, mediante un particolare conduttore chiamato conduttore di protezione (PE), direttamente al punto di origine del neutro e degli avvolgimenti del trasformatore (fig. 18).

Con questa soluzione impiantistica, in caso di guasti dell'isolamento verso una massa si realizza un circuito di richiusura della corrente a bassa resistenza, attraverso il conduttore di protezione (PE) (fig. 19).

Le correnti che passano in questo circuito sono molte volte più grandi di quelle di normale funzionamento dell'impianto (di fatto si tratta di correnti di corto circuito), limitate non più dalle resistenze dei carichi, ma da quelle dei conduttori di linea e di protezione, e sono in grado generalmente di far intervenire gli interruttori magnetotermici a protezione dei circuiti contro le sovracorrenti (non è più indispensabile l'uso del differenziale).

Nei sistemi TN, le norme tecniche ammettono la protezione dai contatti indiretti mediante l'uso dei soli interruttori magnetotermici; è necessario tuttavia verificare, in sede progettuale, che i tempi di intervento degli interruttori, in relazione ai valori di resistenza (più correttamente impedenza) del circuito di guasto, siano compatibili con la curva di sicurezza.

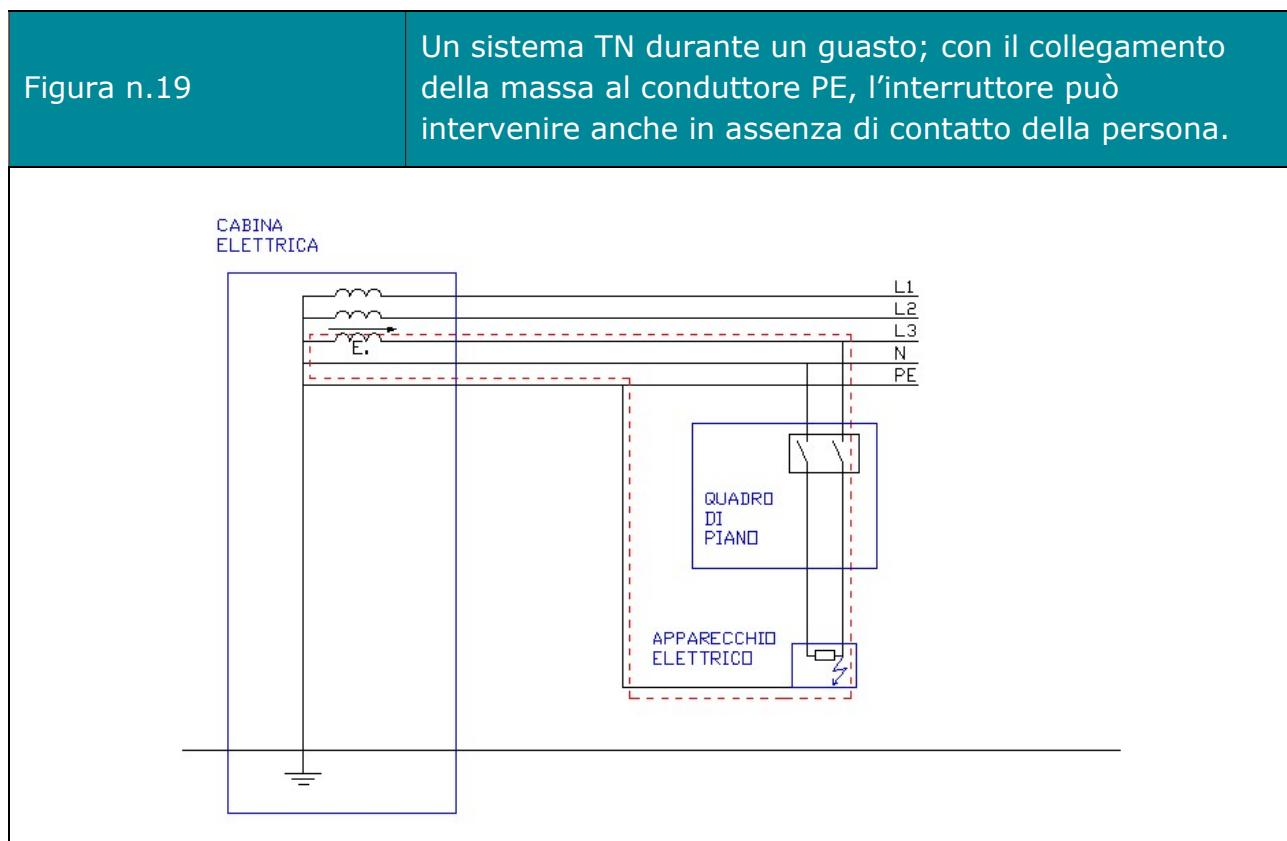
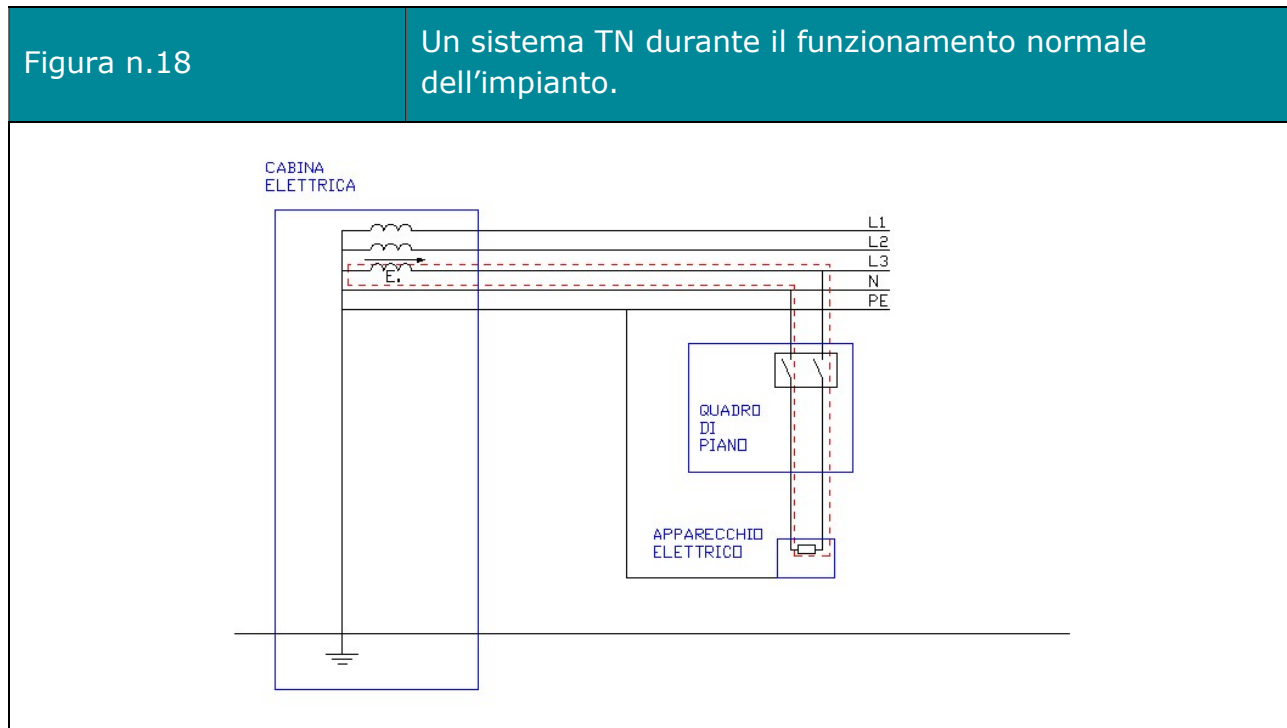
Anche in questo caso tuttavia, gli interruttori differenziali, avendo soglie più basse rispetto alle protezioni dalle sovracorrenti, offrono maggiori garanzie di intervento. In ogni caso, essi non sono richiesti obbligatoriamente dalle norme tecniche, a patto che

---

<sup>7</sup> Il coordinamento tra il valore della resistenza di messa a terra delle masse  $R_T$  e la corrente di intervento degli interruttori differenziali è fatta sulla base della massima tensione ammissibile. In condizioni ordinarie tale valore è pari a 50V. Applicando la legge di Ohm, la  $R_T$  viene dimensionata in maniera tale che, in caso di guasto, la corrente che fa intervenire l'interruttore moltiplicata per il valore della  $R_T$  non superi 50 V. Per interruttori differenziali ad alta sensibilità, tale condizione fornisce valori ammissibili di resistenza di terra fino a 1666  $\Omega$ , facilmente ottenibili.

la protezione attuata con gli interruttori magnetotermici soddisfa già la curva di sicurezza.

Viene da domandarsi perché, per la protezione dai contatti indiretti, le norme tecniche non prevedano il semplice impiego dell'interruttore differenziale ad alta sensibilità, anche senza collegamento a terra delle masse.



In realtà, senza collegamento a terra, in caso di guasto all'isolamento e contatto tra una fase ed una massa, l'interruttore differenziale non interviene fino a che una persona non tocca la massa, provocando il passaggio di una corrente di valore sufficiente. Fino a tale momento, la massa rimane in tensione, determinando una situazione di estremo pericolo della quale si è completamente ignari.

Il collegamento a terra fa intervenire l'interruttore differenziale nel momento in cui si verifica il guasto, in genere prima ancora del contatto della persona.

Il collegamento a terra, peraltro, garantisce un valore di resistenza più affidabile e stabile nel tempo di quello offerto, suo malgrado, da una persona che si trovi a toccare la massa, a vantaggio della sicura scelta (o verifica dell'adeguatezza) delle caratteristiche di intervento del dispositivo di interruzione.

Per questi motivi, il metodo di protezione dai contatti indiretti mediante interruzione della corrente, se correttamente applicato, non può prescindere dalla presenza dell'impianto di terra<sup>8</sup>.

### 2.1.1. Elementi fondamentali dell'impianto di terra

Un impianto di terra in bassa tensione è costituito dai componenti seguenti:

- **dispersori**  
sono gli elementi metallici in intimo contatto con il terreno che rendono possibile la dispersione della corrente a terra. Possono essere realizzati appositamente per tale scopo (**dispersori intenzionali**), come ad esempio picchetti, nastri, corde, piastre, ecc. oppure avere altre funzioni e partecipare alla dispersione a terra della corrente di guasto, se opportunamente connessi all'impianto di terra (**dispersori di fatto**), come i ferri di armatura dell'edificio;
- **conduttori di terra**  
sono i conduttori che collegano i vari dispersori tra loro realizzando anche la connessione di questi al nodo principale di terra (o collettore). Non sono in intimo contatto con il terreno;
- **nodo principale di terra o collettore**  
è l'elemento metallico (sbarra, piastra, morsetto) al quale sono collegati i conduttori di terra, i conduttori di protezione (PE), i conduttori equipotenziali principali e, nel sistema TN, il neutro;
- **conduttori di protezione**  
sono i conduttori che collegano le masse al nodo principale di terra. Possono essere cavi elettrici, conduttori nudi o anche involucri o canali metallici, tubi protettivi, ecc. purché rispondenti a precisi requisiti. Nei sistemi TT, TN-S, IT, sono separati dal neutro e sono indicati con la sigla PE. Nei sistemi TN-C il conduttore di protezione di neutro svolge anche la funzione di conduttore di protezione e viene indicato con la sigla PEN;

---

<sup>8</sup> Per gli stessi motivi, l'interruttore differenziale risulta molto più efficace nella protezione dai contatti indiretti, se opportunamente coordinato con l'impianto di terra, che nella protezione dai contatti diretti, per la quale è considerato solamente una misura addizionale.

- **conduttori equipotenziali**

realizzano il collegamento tra masse e masse estranee assicurandone l'equipotenzialità.

I collegamenti equipotenziali principali collegano le masse estranee al collettore principale di terra. I collegamenti equipotenziali supplementari collegano le masse estranee al PE, le masse tra di loro, le masse alle masse estranee, le masse estranee tra loro.

Le **masse estranee** sono parti conduttrici non facenti parte dell'impianto elettrico, in grado tuttavia di introdurre tensioni pericolose nell'ambiente o ridurre l'efficacia delle protezioni contro i contatti indiretti.

Si è visto che le curve di sicurezza tempo-tensione sono state ottenute considerando in serie alla resistenza del corpo umano  $R_C$  dei valori convenzionali della resistenza  $R_{TC}$ , che rappresenta la resistenza tra il corpo umano ed il punto a tensione zero (convenzionalmente a grande distanza nel terreno o, per praticità e sotto opportune ipotesi, all'origine degli avvolgimenti di bassa tensione del trasformatore). Se, durante un contatto indiretto, si tocca contemporaneamente una massa metallica che presenta verso il punto di riferimento una resistenza di valore inferiore a quello convenzionalmente scelto (cioè una massa estranea), la resistenza totale soggetta alla tensione di contatto sarà sempre  $R_C + R_{TC}$ , ma con la  $R_{TC}$  molto più bassa (tensione di contatto applicata quasi per intero a  $R_C$ , cioè al corpo umano) e la corrente che attraversa il corpo risulterà superiore a quella considerata per lo sviluppo delle curve di sicurezza e quindi più pericolosa. Ciò può succedere, ad esempio, toccando tubazioni metalliche connesse a reti interrate, che presentano verso il terreno una bassa resistenza.

In altri casi le masse estranee possono introdurre potenziali pericolosi diversi da quello di terra.

La riduzione del rischio dovuto alla presenza di masse estranee si ottiene realizzando collegamenti equipotenziali tra le masse e le masse estranee, in conformità a quanto previsto dalle norme tecniche, per impedire che, in condizioni di maggior rischio<sup>9</sup>, le persone possano toccare parti conduttrici a tensione diversa.

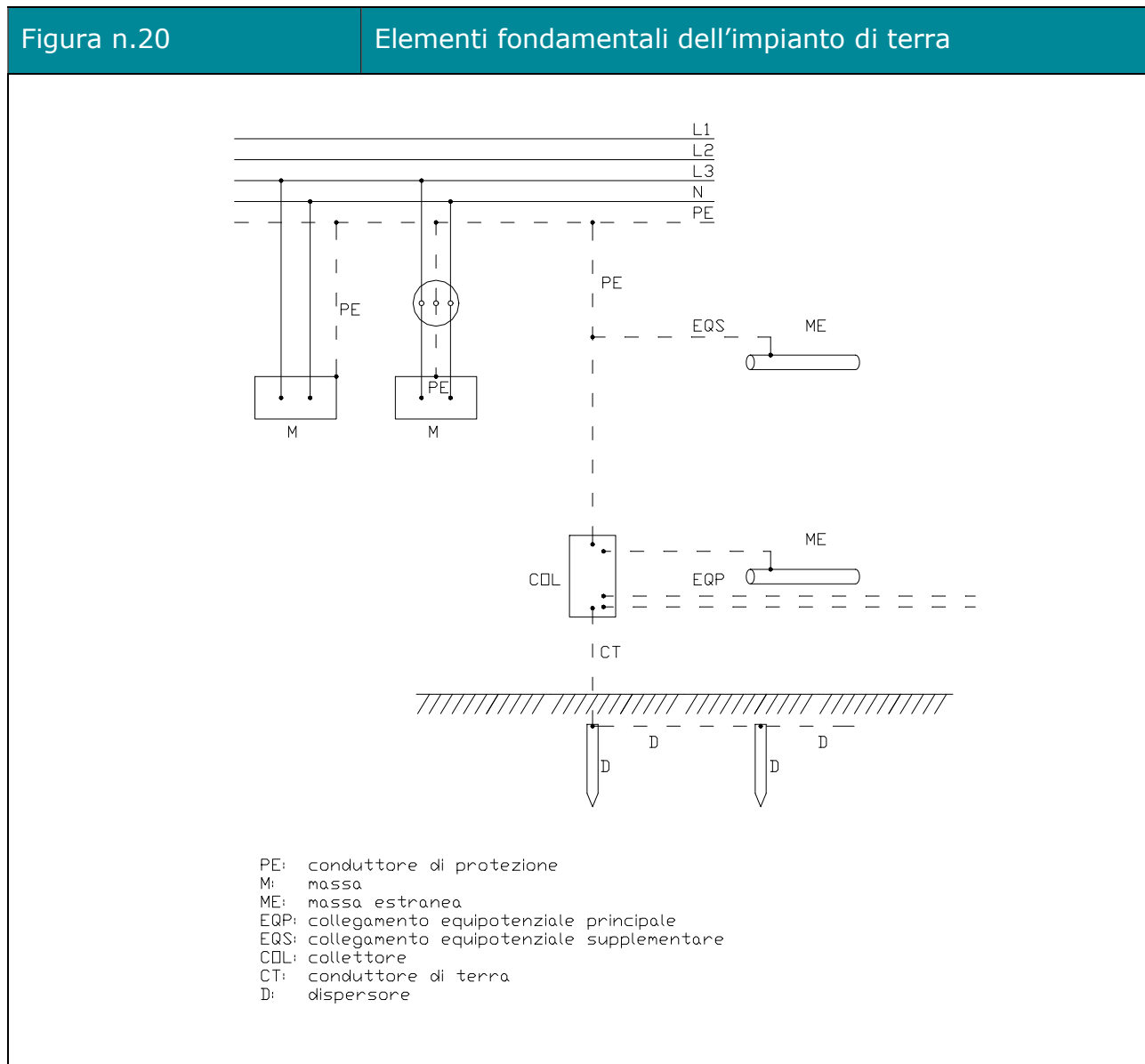
In figura 20 è illustrato schematicamente un impianto di terra di un impianto utilizzatore in bassa tensione.

Le prescrizioni per la realizzazione degli impianti di terra nei sistemi di I categoria sono riportate nella Norma CEI 64-8.

In particolare la norma prescrive di collegare all'impianto di terra tutte le masse mediante conduttore di protezione.

---

<sup>9</sup> Come detto, il maggior rischio sarebbe determinato, in questo caso, dalla riduzione della resistenza  $R_{TC}$ .



Inoltre, negli edifici, il conduttore di protezione, il conduttore di terra, il nodo principale di terra, devono essere connessi, mediante collegamento equipotenziale principale, alle tubazioni dell'acqua e del gas in ingresso all'edificio, alle parti strutturali metalliche dell'edificio, alle canalizzazioni di condizionamento e riscaldamento centralizzato e alle armature principali del cemento armato accessibili.

Il collegamento equipotenziale non è necessario per gli elementi conduttori non in grado di introdurre potenziali, come ad esempio alcuni serramenti, alcune scale metalliche, ecc.

Per alcuni ambienti specifici, ad esempio nei bagni dotati di vasca o doccia, è richiesto un collegamento equipotenziale supplementare.



## 2.2. Metodi di protezione senza interruzione automatica dell'alimentazione

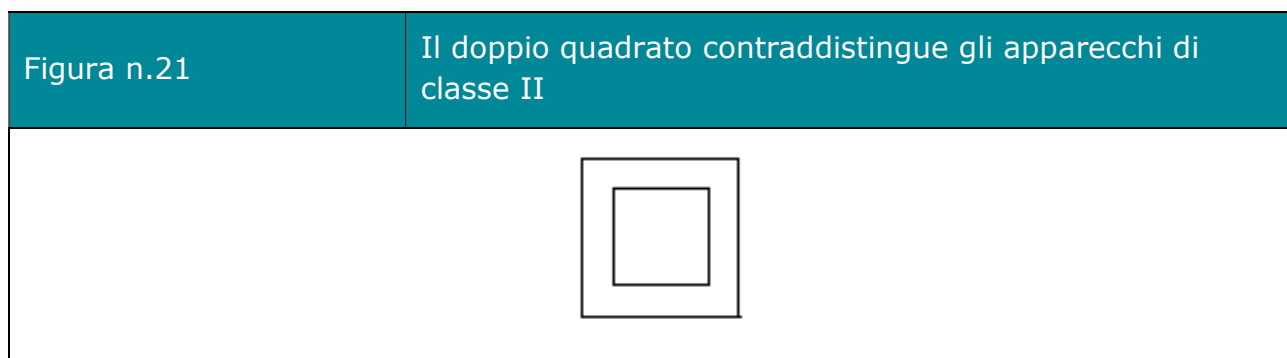
Attuano la protezione dai contatti indiretti impedendo la formazione di tensioni pericolose sulle masse. Il metodo più comune è l'impiego di apparecchi con isolamento doppio o rinforzato. Gli altri metodi si utilizzano per applicazioni specifiche.

### 2.2.1. Uso di apparecchi con isolamento doppio o rinforzato

Negli apparecchi a doppio isolamento, un guasto all'isolamento principale non mette in tensione la massa, protetta dall'isolamento supplementare. Un principio analogo si ha negli apparecchi ad isolamento rinforzato, per i quali non è prevedibile un guasto in grado di mettere in tensione la massa.

Gli apparecchi ad isolamento doppio o rinforzato sono definiti di classe II. Il costruttore deve specificare questa caratteristica. Il simbolo che contraddistingue gli apparecchi di **classe II** è il doppio quadrato (fig. 21).

Gli apparecchi di classe II non devono essere collegati a terra<sup>10</sup>.



<sup>10</sup> Si dimostra che il collegamento a terra dei componenti in classe II aumenta e non riduce il rischio di folgorazione.

### *2.2.2. Bassissima tensione di sicurezza e di protezione (SELV e PELV)*

Nei sistemi a Bassissima Tensione di Sicurezza (SELV - Safety Extra Low Voltage) la protezione è effettuata alimentando l'impianto a tensione non superiore a quella limite ammissibile (50V), mediante sorgente autonoma o trasformatore di sicurezza. L'impianto deve essere dotato di separazione di protezione verso gli altri sistemi elettrici e le masse non sono collegate a terra. In tali condizioni si assume che le masse non possano raggiungere tensioni superiori a quelle tollerabili.

In particolari condizioni la norma CEI 64-8 ritiene ammissibile anche un sistema di analogo al precedente, ma con il collegamento a terra di un punto per motivi funzionali, denominato Bassissima Tensione di Protezione (PELV - Protective Extra Low Voltage).

Gli apparecchi previsti per il funzionamento su sistemi SELV o PELV, sono definiti di **classe III**. Possono avere caratteristiche costruttive meno severe rispetto agli altri componenti. Le masse non sono collegabili a terra.

La norma CEI 64-8 ammette, sotto precise condizioni, l'uso di tali sistemi anche per la protezione dai contatti diretti.

### *2.2.3. Separazione dei circuiti*

Consiste nell'alimentare gli apparecchi tramite sorgente autonoma o dalla rete, mediante trasformatore di isolamento. Il trasformatore d'isolamento non ha punti collegati a terra. In questa situazione, per collegamenti non molto estesi, in caso di contatto indiretto le correnti di guasto che attraversano la persona si richiudono sulle capacità di linea e non sono in grado di produrre effetti pericolosi, avendo valori molto bassi.

Le masse non devono essere collegate a terra, ma, se il sistema alimenta più apparecchi, le masse devono essere interconnesse per prevenire gli effetti di un doppio guasto su fasi diverse.

### *2.2.4. Locali isolanti*

L'ambiente è isolato da terra e non sono presenti masse estranee. Guasti all'isolamento principale degli apparecchi non sono pericolosi perché le correnti che si richiudono attraverso le persone in contatto con le masse sono limitate dal grandissimo valore della resistenza verso terra della persona.

Gli apparecchi sono dotati solo di isolamento principale e sono sprovvisti di morsetto di terra. Gli apparecchi previsti per tale utilizzo sono definiti di classe 0.

### *2.2.5. Collegamento equipotenziale locale non connesso a terra.*

Consiste nel collegare in maniera equipotenziale tra loro tutte le masse degli apparecchi di classe I e tutte le masse estranee accessibili simultaneamente. Il pavimento deve essere isolante oppure collegato all'insieme equipotenziale. L'insieme equipotenziale non deve essere connesso a terra.

## **Bibliografia**

- G. Conte: "Manuale di impianti elettrici", HOEPLI, 2014.
- V. Carrescia: "Fondamenti di sicurezza elettrica", TNE, 2009.
- Norma CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.

**Data di chiusura del documento: 02/11/2018**

## **Conoscere il rischio**

Nella sezione Conoscere il rischio del portale Inail, la Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (Contarp) mette a disposizione prodotti e approfondimenti normativi e tecnici sul rischio professionale, come primo passo per la prevenzione di infortuni e malattie professionali e la protezione dei lavoratori. La Contarp è la struttura tecnica dell'Inail dedicata alla valutazione del rischio professionale e alla promozione di interventi di sostegno ad aziende e lavoratori in materia di prevenzione.

### **Per informazioni**

[contarp@inail.it](mailto:contarp@inail.it)