

# Capitolo 6

## Sicurezza elettrica

In questo capitolo verranno presi in esame i diversi metodi di protezione dalla elettrocuzione, la ‘scarica elettrica’ del linguaggio comune, allo scopo di aumentare il livello di sicurezza di tutte quelle attività che comportano l’uso dell’elettricità. D’altra parte, la voce sicurezza, dal punto di vista etimologico, rappresenta la condizione di ciò che è sicuro ed esente da pericoli. È bene, tuttavia, chiarire subito che l’obiettivo dei diversi metodi di protezione non è realizzare la sicurezza assoluta, quanto piuttosto ottenere un accettabile livello di sicurezza, in relazione all’attività svolta, alle persone coinvolte, all’entità del danno probabile che si avrebbe qualora dovesse verificarsi un evento sfavorevole. Il richiamo alle persone coinvolte è tanto significativo che le stesse norme fanno una distinzione tra personale addestrato e non addestrato (norma CEI 64 - 8):

### 2.1.20. Persona addestrata

Persona avente conoscenze tecniche oppure esperienza, o che ha ricevuto istruzioni specifiche sufficienti per permetterle di prevenire i pericoli dell’elettricità, in relazione a determinate operazioni condotte in condizioni specificate.

Risulta, allora, molto più importante predisporre sistemi che impediscano il contatto con parti manifestamente in tensione in una abitazione, piuttosto che in una centrale elettrica, proprio in ragione del diverso livello di conoscenza del pericolo delle persone interessate. Dal punto di vista tecnico, è importante chiarire il concetto di pericolo ed attraverso quali contromisure un’apparecchiatura elettrica pericolosa possa e debba essere resa sicura. Allo scopo vengono introdotte alcune definizioni, utili non solo quando si parla di sicurezza elettrica ed ormai diventate patrimonio comune di diverse aree tecnologiche.

#### » Pericolo, sicurezza ed affidabilità

Si consideri un insieme di  $N$  apparecchi, funzionanti nelle medesime condizioni di tensione, temperatura e così via, e si indichi con  $g(t)$  l’insieme di questi apparecchi che presentano un certo guasto dopo un tempo  $t$ . Quando si parla di pericolo, si intende una circostanza oppure una situazione da cui si teme derivi grave danno; nell’ambito di questa trattazione, si definirà il **pericolo**  $P(t)$  come la probabilità

che si verifichi un evento sfavorevole da cui possa derivare grave danno, dopo un tempo  $t$ :

$$P(t) = \frac{g(t)}{N} .$$

Il pericolo di un certo evento sfavorevole è quindi espresso da un numero compreso tra 0 ed 1 e rappresenta la probabilità che questo evento si verifichi in un tempo  $t$  prestabilito. La grandezza  $S(t)$  viene, invece, chiamata **sicurezza** rispetto al guasto

$$S(t) = 1 - P(t) = 1 - \frac{g(t)}{N} = \frac{N - g(t)}{N} = \frac{n(t)}{N} ,$$

in cui  $n(t)$  rappresenta il numero di dispositivi non guastatisi dopo il tempo  $t$ . Si faccia attenzione a non confondere sicurezza con affidabilità: l'**affidabilità** di una apparecchiatura è la probabilità che esso non presenti difetti o guasti durante un certo tempo prestabilito di funzionamento. L'affidabilità include, dunque, tutti i guasti che possono pregiudicare le prestazioni dell'apparecchiatura, mentre la sicurezza si riferisce solo a quelli in grado di pregiudicarla.

» Tasso di guasto

Parlando di sicurezza e rischio di guasto di apparecchiature elettriche, si può senza dubbio definire una grandezza che definisce la bontà di una apparecchiatura in termini di affidabilità: il tasso di guasto. Il **tasso di guasto** viene definito come il rapporto tra gli oggetti guastatisi nell'unità di tempo ed il numero di quelli sopravvissuti. Se si suppone il tasso di guasto costante nel tempo, si verifica agevolmente che

$$S(t) = \frac{n(t)}{N} = \exp(- \lambda t) .$$

Dalla definizione di tasso di guasto si deduce che la sicurezza di un sistema o di una apparecchiatura diminuisce all'aumentare del tempo di esposizione al pericolo e che tende a zero per tempi elevati, anche se  $\lambda$  ha un valore molto piccolo. Si dice anche che si ha 'sicurezza zero' quando non si deve attendere un guasto per il verificarsi di una situazione sfavorevole per le persone ( $\lambda$  tendente ad infinito).

» Rischio e fattore di rischio

Non sempre come conseguenza di un evento sfavorevole si ha un danno; ciò vuol dire che anche il danno ha una certa probabilità di verificarsi. Pertanto,

riprendendo alcune definizioni indicate nelle linee guida comunitarie 'Guidance on risk assessment at work' del 1996, si hanno le seguenti definizioni:

il **rischio** è da intendersi come la probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego, ovvero di esposizione, di un determinato fattore;

il **fattore di rischio** è un qualsiasi agente fisico, chimico, biologico, umano presente nell'ambiente di lavoro in grado di causare un danno al lavoratore.

La definizione è ambigua e poco utile; in realtà, al verificarsi di un evento di rischio non necessariamente segue un danno, e se un danno si verifica, la sua entità non è relazionata all'evento di rischio, se non come causa scatenante del danno stesso. La definizione riportata non dice in che misura rischio e possibile danno conseguente siano correlati. Per fare chiarezza, almeno in termini matematici, detta 'd' l'entità del danno e 'k' la probabilità che si verifichi un danno in conseguenza di un incidente, si intende per rischio il prodotto

$$r(t) = P(t) k d = [1 - S(t)] k d ,$$

laddove il prodotto 'k d' viene chiamato danno probabile. Si capisce allora che, a parità di sicurezza, il rischio assume valori molto diversi in dipendenza del danno probabile, di modo che ad un danno maggiore non necessariamente corrisponde un rischio maggiore.

Nel calcolo della sicurezza globale di un sistema si deve distinguere principalmente tra sistemi serie e sistemi parallelo. Nel primo caso, il tasso di guasto complessivo è pari alla somma dei singoli tassi di guasto per cui la sicurezza risultante è minore della sicurezza del componente meno sicuro; nel secondo caso, invece, la sicurezza aumenta con il numero di componenti ed è maggiore della sicurezza del componente più sicuro.

» Livello di sicurezza accettabile

Un danno può verificarsi per cause di forza maggiore, incidenti di natura sconosciuta o non prevedibili, oppure per caso fortuito, rischio accettabile oppure fallimento delle misure di protezione previste. È necessario, quindi, definire un 'livello di sicurezza accettabile', senza cadere nell'assurdo di volere a tutti i costi ridurre a zero il rischio. La ricerca di questo livello di sicurezza accettabile è un compromesso tra economia e sicurezza, che si può ottenere considerando tutti i parametri che concorrono al buon funzionamento di un impianto o di una apparecchiatura

Tutte le misure che contribuiscono al miglioramento della sicurezza di un sistema comportano un costo da parte di chi deve provvedere a tali misure e teoricamente è richiesto un costo infinito per raggiungere il valore di  $S(t) = 1$ . È ovvio, allora, che si deve stabilire un criterio di massimo costo o di minima sicurezza accettabile per poter adottare le necessarie misure di protezione. La via normalmente adottata è quella di mettere a confronto l'incremento di sicurezza per unità di costo: considerata la curva che collega la sicurezza al costo, quando l'incremento di sicurezza risulta irrisorio rispetto all'investimento di capitale si è raggiunto il punto voluto.

## 6.1 Pericolosità della corrente elettrica

Per mettere a punto degli efficaci sistemi di protezione dai pericoli della corrente elettrica, è necessario avere conoscenza di tale pericolosità, proprio ciò che ci si prefigge di fare in questo paragrafo. Chi volesse approfondire questo delicato soggetto può riferirsi al fascicolo CEI 1335P, che è la traduzione italiana dei rapporti IEC 479 - 1 del 1984 e 479 - 2 del 1987. Per un'adeguata valutazione del rischio elettrico, comunque, vale la pena riflettere su alcuni dati statistici relativi ad anni recenti.

Tra tutti gli incidenti elettrici, 'solo' il 5% di essi ha un esito mortale, contro lo 0.2% degli incidenti non elettrici: nel nostro paese si verificano circa 400 infortuni mortali ogni anno, circa il doppio della media europea, la maggior parte dei quali è di tipo domestico e si verifica nel bagno. Il 15% degli incendi ha cause di natura elettrica e, spesso, la causa dell'infortunio può essere indiretta: un operaio che lavora su una scala, toccando un filo elettrico attivo, subisce una scarica che può provocargli un grave infortunio cadendo dalla scala. Il 5% degli infortuni elettrici ha esito mortale, valore 30 volte superiore al resto degli infortuni mortali di natura non elettrica; circa il 15% degli incendi vengono originati da un guasto elettrico, cioè circa 5000 incendi sono di origine elettrica.

<b>Tipo di infortunio</b>	<b>Media statistica</b>
Infortuni mortali per elettrocuzione	400 all'anno
Infortuni elettrici con esito mortale	5% del totale degli infortuni elettrici
Incendi originati per un guasto elettrico	5000 incendi (12% del totale degli incendi)
Incendi elettrici per guasto ai cavi	31%
Incendi per guasto alle giunzioni dei cavi	21%
Incendi per guasto ai motori	30%
Incendi elettrici per guasto ad altri apparecchi	11%
Incendi elettrici per altri guasti elettrici	7%

Se a tutto ciò aggiungiamo che, molto spesso, la causa elettrica di un decesso sfugge ad una pur accurata analisi autoptica per la mancanza di segni evidenti, la prima conclusione sorge spontanea: in Italia, manca una vera cultura della sicurezza elettrica e troppo spesso tanti fattori di rischio vengono improvvidamente sottovalutati. Pertanto, se da un lato gli impianti vanno costruiti ‘a regola d’arte’, dall’altra devono soddisfare criteri di sicurezza, in grado di rendere minima la probabilità di infortuni per gli operatori.

### • Effetti fisiopatologici

Alla fine del XVIII secolo si scoprì che l’elettricità produceva diversi effetti sulle strutture muscolari degli esseri viventi: sono molto conosciuti gli esperimenti di Luigi Galvani sulla contrazione del muscolo di una rana, sottoposto ad una differenza di potenziale elettrico. Da allora, la conoscenza dei fenomeni elettrici è cresciuta e gli effetti di correnti elettriche introdotte nel corpo umano sono stati ampiamente studiati, tanto da consentire la nascita di in una disciplina scientifica denominata Elettrofisiologia.

Dal punto di vista elettrico, le cellule del corpo umano sono circondate da una soluzione salina conduttrice composta principalmente dagli ioni potassio, sodio e cloro; anche il citoplasma delle cellule è formato dalla stessa soluzione salina. Queste due soluzioni sono separate dalla membrana cellulare, che presenta una permeabilità diversa per ogni tipo di ione, essendo particolarmente permeabile agli ioni potassio e molto impermeabile agli ioni sodio. Assieme a questo fenomeno, occorre considerare un particolare meccanismo cellulare per cui la cellula espelle gli ioni sodio ed assorbe gli ioni potassio: l’insieme di questi processi metabolici avviene a spese dell’energia cellulare e causa una concentrazione differente degli ioni, dentro e fuori il corpo cellulare.

Come conseguenza di questa differenza di concentrazione, il citoplasma cellulare presenta una differenza di potenziale elettrico rispetto alla soluzione esterna, detto potenziale di riposo, il cui valore è approssimativamente di - 70 mV.

La membrana cellulare si comporta come un condensatore che mantiene separate delle cariche elettriche differenti. Tuttavia, dato che non è perfettamente isolante e viene attraversata da un certo numero di ioni, la membrana presenterà, oltre ad un valore di capacità, una resistenza elettrica. In questo modo, il modello elettrico semplificato delle cellule umane sarà costituito da un condensatore, da un resistore variabile e da un generatore di tensione che rappresenta il potenziale di riposo originato dalla diversa concentrazione di ioni nella cellula.

Alcune cellule possono essere eccitate da stimoli elettrici, meccanici, termici; queste cellule, generalmente, sono parte del sistema nervoso o dei muscoli. Se una di queste cellule è eccitata, il potenziale interno della cellula varia dal valore negativo, corrispondente al potenziale di riposo, ad un valore positivo, per poi tornare al

valore del potenziale di riposo originale. Questa variazione del potenziale interno della cellula è conseguenza dell'eccitazione cellulare ed è chiamata potenziale di azione. Quando lo stimolo eccita la cellula, la permeabilità della membrana cellulare agli ioni positivi aumenta considerevolmente, ciò che produce l'invasione degli ioni sodio all'interno del citoplasma e, quindi, il potenziale interno della cellula, originariamente negativo, diviene positivo. Quando lo stimolo finisce, la cellula torna al potenziale di riposo grazie al normale processo metabolico cellulare. Uno stimolo elettrico riesce a eccitare la cellula soltanto se produce un flusso di corrente la cui intensità e durata corrispondono alla disuguaglianza

$$I > \frac{I_0}{1 - \exp(-t/K)}$$

Questa disuguaglianza indica che, per stimoli di corrente inferiori ad  $I_0$ , non si produce alcuna eccitazione e, per questo motivo, viene indicata con il nome di reobase; per stimoli di intensità superiore alla reobase, l'eccitazione avviene soltanto se la durata dello stimolo e l'intensità di corrente la verificano. La curva ottenuta nel caso valga il segno di uguaglianza rappresenta il limite per cui uno stimolo riesce ad eccitare una cellula.

È oggi noto che il passaggio di una corrente elettrica attraverso gli organi del corpo umano può alterare le funzioni vitali fino a provocare effetti irreparabili: il livello di pericolosità dipende da numerosi fattori tra i quali il percorso della corrente attraverso il corpo, l'intensità della corrente, la frequenza e la forma d'onda della corrente, la durata del contatto, le condizioni fisiche del soggetto. I numerosi fattori in gioco rendono difficile la determinazione di soglie di correnti non pericolose, dato che i parametri tipici del corpo umano sfuggono ad una standardizzazione. L'IEC ha, tuttavia, elaborato dei documenti, recepiti poi dal CEI, che riportano i risultati di studi ed esperimenti da utilizzare come base per fissare i requisiti di protezione contro l'elettrocuzione. Prima di esaminare in qualche dettaglio i limiti imposti dalle raccomandazioni internazionali, è utile raccontare quali siano i principali effetti prodotti dal passaggio di una corrente elettrica, sia continua che alternata, nel corpo umano.

» La **tetanizzazione** consiste nella contrazione involontaria dei muscoli interessati al passaggio della corrente, non più comandati dagli impulsi elettrici fisiologici: quando un impulso elettrico arriva ad un terminale nervoso, questo è inviato al muscolo che si contrae per un istante. Se l'impulso si ripete parecchie volte, il muscolo inizia a contrarsi fino al suo massimo valore e rimane in quello stato mentre gli impulsi persistono. I tessuti muscolari sono interessati, pertanto, da una serie di stimoli che si ripetono in maniera regolare, determinando uno stato di

contrazione permanente: il malcapitato, che tocchi accidentalmente un oggetto in tensione, si troverà nell'impossibilità di lasciarlo, impedito proprio dalle contrazioni dei muscoli della sua stessa mano, che, nella forma più grave, non consentono all'interessato di staccarsi dalla parte in tensione, prolungando il contatto e producendo effetti dannosi. Il più grande valore di corrente per il quale una persona può ancora lasciare la presa, usando i muscoli direttamente stimolati, viene detta *corrente di rilascio*. Un'analisi statistica ha dimostrato che una persona può essere sottoposta ripetutamente, senza conseguenze deleterie, alla corrente di rilascio, almeno per il tempo necessario a staccare il contatto: con una corrente sinusoidale di 50/60 Hz, il 50% delle persone costituenti il campione in prova riesce a staccarsi dal contatto per valori efficaci di circa 16 mA per gli uomini ed 11 mA per le donne. Vale la pena notare che correnti molto elevate non producono la tetanizzazione perché, quando il corpo entra in contatto con esse, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente staccano il soggetto della sorgente.

» Correnti di durata maggiore e leggermente superiori al limite di rilascio possono provocare difficoltà ed **arresto della respirazione**, con effetti sempre più gravi all'aumentare della corrente e della durata del contatto, a causa dei quali il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia. La causa va ricercata nella contrazione dei muscoli addetti alla respirazione e nella paralisi dei centri nervosi da cui dipende questa funzione. Il fenomeno è reversibile solo se si interviene entro pochi minuti dall'infortunio; se il blocco supera 2 o 3 minuti, si possono causare danni irreversibili al cervello. Per questo motivo le vittime dell'elettrocuzione presentano un colorito cianotico.

» Una corrente alternata sufficientemente elevata, maggiore di 50 mA a frequenza industriale, che interessi la regione toracica, può provocare la perdita del coordinamento dei muscoli cardiaci che iniziano a pulsare in maniera scoordinata, determinando la cosiddetta **fibrillazione ventricolare**. Il cuore, quale organo principale per il sostegno della vita, ha la funzione di pompare il sangue lungo le vene e le arterie del corpo. Per realizzare questo, i muscoli del cuore, chiamati fibrille, si contraggono e si espandono ritmicamente ad un ritmo di circa 60/100 volte al minuto: questi movimenti si denominano sistole e diastole. La coordinazione di questi movimenti è dovuta al nodo seno-atriale che è un vero generatore di impulsi elettrici: gli impulsi, così generati, si propagano attraverso appositi tessuti conduttori ed arrivano alle fibre muscolari del cuore e, quando arrivano alle fibrille, queste ultime producono le contrazioni che nell'insieme formano il battito cardiaco.

La natura elettrica del funzionamento del cuore lo rende molto vulnerabile a qualunque corrente elettrica esterna che lo attraversa, sia essa originata da uno shock elettrico o volutamente introdotta come nel caso del pace-maker. La corrente

generata dal pace-maker non è altro che un 'rinforzo' degli impulsi elettrici prodotti nel nodo seno-atriale e, quindi, non produce alcuna alterazione nel normale funzionamento del cuore, ma aiuta a correggere certe disfunzioni.

Se una corrente esterna, conseguenza di uno shock elettrico, attraversa il cuore, gli effetti di questa corrente possono essere catastrofici per l'infortunato, perché la sincronizzazione ed il coordinamento nei movimenti del cuore sono gravemente alterati paralizzando l'operazione di pompaggio del sangue. Questa mancanza di sincronizzazione e coordinamento si chiama fibrillazione ed è particolarmente pericolosa nella zona ventricolare, laddove diventa un fenomeno non reversibile; in altre parole, la fibrillazione persiste anche se lo stimolo è cessato. La fibrillazione atriale, invece, è meno pericolosa grazie alla sua natura reversibile.

Se la fibrillazione persiste per qualche minuto, può produrre gravi danni al tessuto del cuore stesso, al cervello e può provocare la morte dell'infortunato. La fibrillazione ventricolare è reversibile entro i primi due a tre minuti, soltanto se il cuore affetto è sottoposto all'influsso di una scarica elettrica molto violenta: questo è l'obiettivo del defibrillatore, un'apparecchiatura medica che applica un impulso elettrico al torace dell'infortunato tramite due elettrodi.

Il cuore non riesce più a pompare il sangue, causando ipossia e danni irreparabili al cervello, se la fibrillazione non cessa entro pochi minuti. Per la fibrillazione cardiaca c'è una metafora classica: un sacchetto di vermi. Anziché contrarsi e distendersi in modo ripetitivo, il tessuto del muscolo cardiaco si contorce, si scoordina, incapace di pompare sangue. In un cuore che batte normalmente, il segnale elettrico viaggia come un'onda coordinata attraverso la struttura tridimensionale del cuore: quando il segnale arriva, ciascuna cellula si contrae. Poi, ogni cellula si distende per un periodo refrattario critico, durante il quale non può essere riattivata prematuramente. In un cuore che fibrilla l'onda si indebolisce. Il cuore non è mai tutto disteso oppure tutto contratto. A seguito, dunque, di una stimolazione intensa ed incoerente, ciascuna delle 'fibrille' del ventricolo può risultare soggetta a contrazioni disordinate, il cui perdurare può essere letale.

Sono diversi i fattori che rendono probabile l'innescò della fibrillazione ventricolare. Innanzitutto è da tenere presente l'intensità della corrente che attraversa il corpo, di cui una piccola frazione passa attraverso il cuore e causa la fibrillazione. Numerosi studi sono stati realizzati per valutare la corrente minima necessaria per iniziare questo fenomeno, ma l'impossibilità di realizzare esperimenti diretti con l'uomo rendono molto difficile la determinazione di risultati attendibili.

Poi è da considerare che la quantità di corrente necessaria ad innescare la fibrillazione è diversa da individuo a individuo; nonostante questa variabilità, il percorso seguito dalla corrente ha una grande influenza sulla probabilità d'innescò. È stato definito un 'fattore di percorso' che indica la pericolosità dei diversi

percorsi seguiti dalla corrente considerando come riferimento il percorso mano sinistra-piedi.

Percorso	Fattore di percorso
Mani - Piedi	1
Mano sinistra - Piede sinistro	1
Mano sinistra - Piede destro	1
Mano sinistra - Piedi	1
Mano sinistra - Mano destra	0.4
Mano sinistra - Dorso	0.7
Mano sinistra - Torace	1.5
Mano destra - Piede sinistro	0.8
Mano destra - Piede destro	0.8
Mano destra - Piedi	0.8
Mano destra - Dorso	0.3
Mano destra - Torace	1.3
Glutei - Mani	0.7

Il ciclo cardiaco normale, inoltre, ha un istante di tempo in cui è molto instabile e, quindi, se lo shock coincide con questo istante la fibrillazione viene innescata con un'elevatissima probabilità. Questo periodo d'instabilità viene detto 'periodo vulnerabile' e corrisponde con l'inizio dell'onda T nell'elettrocardiogramma. Se l'infortunato è in contatto con la corrente esterna per una durata maggiore del ciclo cardiaco, la probabilità d'innescamento della fibrillazione aumenta.

» Le **ustioni** sono prodotte dal calore sviluppato per effetto Joule dalla corrente che fluisce attraverso il corpo. L'aumento di temperatura che ne consegue risulta direttamente proporzionale al quadrato della densità di corrente, alla resistività del tessuto interessato ed alla durata del contatto. Densità di corrente di pochi mA/mm<sup>2</sup> possono creare ustioni apprezzabili se agiscono per qualche secondo, in special modo nelle parti del corpo dotate di maggiore resistività. Se la densità di corrente diventa più grande, superando 50 mA/mm<sup>2</sup>, si ha una vera e propria carbonizzazione dei tessuti la quale ha come effetto un aumento notevole della resistenza locale che, paradossalmente, può avere un effetto protettivo, evitando danni più gravi.

D'altra parte, la stessa norma CEI 64 - 8, parlando di protezione contro le ustioni, sostiene che

- a) le parti a portata di mano dei componenti elettrici e degli apparecchi utilizzatori non devono superare in funzionamento ordinario le temperature massime ammesse ai fini della protezione contro le ustioni nelle relative norme CEI;
- b) le parti a portata di mano che nel funzionamento ordinario possono superare, anche per brevi periodi, le temperature massime ammesse nelle relative norme CEI, devono essere protette con involucri o barriere tali da assicurare almeno il grado di protezione IP2X (nel seguito si esplicherà cosa questa sigla voglia dire).

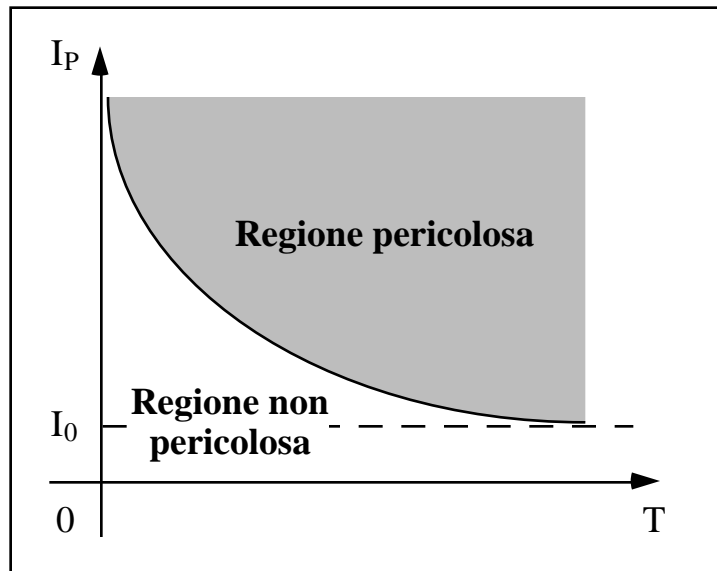
Tetanizzazione muscolare, blocco respiratorio e fibrillazione ventricolare sono provocati principalmente dalla sequenza di stimoli tipici della corrente alternata, ma possono manifestarsi anche in corrente continua, solo per correnti più elevate. La corrente continua ha, invece, effetti comparabili con quelli dell'alternata per quel che riguarda l'arresto cardiaco e le ustioni e può, a differenza di quella alternata, produrre gravi fenomeni di elettrolisi dei liquidi organici.

#### • **Limiti di sicurezza e di pericolosità della corrente**

La curva media di pericolosità, per una assegnata frequenza di lavoro, esprime un legame tra la corrente pericolosa  $I_P$  e il tempo di permanenza  $T$ : questo legame riassume in forma quantitativa il fatto che quanto più elevate sono le correnti, tanto più breve deve essere la durata del contatto. La relazione funzionale

$$I_P = I_0 + \frac{Q}{T}$$

individua un limite al di sotto del quale la corrente è percepibile, ma non pericolosa, mentre al di sopra di esso la corrente deve considerarsi potenzialmente pericolosa, iniziando a manifestarsi la tetanizzazione. Se la durata del contatto con la corrente è minore di 10 ms si deve considerare il caso delle correnti impulsive, di cui si darà qualche cenno più avanti.



**Figura 6.1:** curva media di pericolosità.

I due parametri  $I_0$  e  $Q$  che caratterizzano la curva media di pericolosità dipendono fortemente dalla frequenza di lavoro. A frequenza industriale si può assumere che

$$I_0 = (20 \div 50) \text{ mA} , \quad Q = 10 \text{ mC} .$$

Al di sotto di  $I_0$ , la corrente è da ritenersi non pericolosa; al di sopra, come illustra la Figura 6.1, tutto dipende dalla durata del contatto.



**Figura 6.2:** grafico tempo/corrente relativo alla corrente alternata a 50 Hz.

Un'analisi più approfondita può farsi su questi diagrammi che, stando alle raccomandazioni IEC, vengono dati nella forma tempo/corrente ed in scala logaritmica, come quello mostrato in Figura 6.2, che è stata presa direttamente dalle norme.

Le varie curve dividono il piano tempo/corrente in quattro regioni:

1. tutti i punti che ricadono in questa regione, delimitata dalla corrente fino a 0.5 mA, rappresentano situazioni in cui i valori della corrente ed i tempi di circolazione non producono normalmente alcun effetto fisiologico;
2. analogamente i punti della zona 2, ancora non pericolosa, rappresentano situazioni in cui non ha luogo alcun effetto fisiopatologico pericoloso e la soglia tra la seconda e la terza zona è il limite della corrente di rilascio;
3. per tutti i punti che ricadono nella zona 3 possono prodursi contrazioni muscolari, difficoltà della respirazione, aumento della pressione del sangue fino ad arrivare alla fibrillazione atriale, ma non alla fibrillazione ventricolare;
4. i punti appartenenti alla quarta zona, invece, rappresentano situazioni che possono provocare la fibrillazione ventricolare, l'arresto cardiaco, l'arresto della respirazione e gravi bruciature e la soglia tra la terza e la quarta zona è denominata la soglia di fibrillazione

Per frequenze minori di quella industriale la curva di pericolosità presenta valori più elevati, fino a raggiungere  $I_0 = 60$  mA in corrente continua. Comunque, è molto improbabile che la corrente continua inneschi la fibrillazione ventricolare se fluisce tra le due mani. Il percorso più pericoloso è quello in cui la corrente è ascendente dai piedi alla mano.

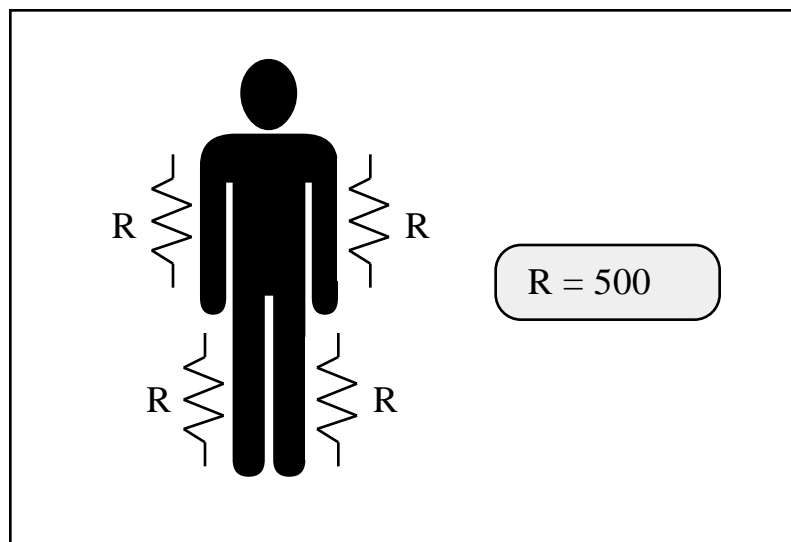
Per frequenze superiori, si possono tollerare correnti maggiori dato che, a causa dell'effetto pelle, esse tendono a diventare superficiali e, quindi, non interessano organi interni. Pertanto, la maggiore pericolosità della corrente elettrica si presenta proprio alle frequenze industriali, con la quale gli utenti sono costretti ad avere la maggiore interazione.

Per una corrente impulsiva, cioè una corrente di durata inferiore a 10 ms, durata massima del battito cardiaco, la soglia di percezione e quella di dolore dipendono dalla quantità di carica elettrica e della tensione. La soglia di fibrillazione ventricolare dipende invece dal percorso, dal valore della corrente e dall'istante in cui l'impulso di corrente viene applicato in relazione alla fase del battito cardiaco. Se l'impulso è applicato contemporaneamente al 'periodo vulnerabile' del ciclo cardiaco, le probabilità di innescare la fibrillazione sono molto elevate.

#### • Resistenza del corpo umano

Non è facile assegnare dei valori alla resistenza del corpo, dato che molte variabili la influenzano e la parte più rilevante di essa è dovuta alla pelle. Se a ciò si aggiunge che questo parametro risulta fortemente variabile da persona a persona, si intuisce il perché essa sia caratterizzabile solo in termini statistici. Tuttavia, per i nostri scopi di sicurezza elettrica, è bene avere qualche valore di riferimento per comprendere almeno l'ordine di grandezza delle quantità in gioco. Cominciamo, allora, a passare in rapida rassegna i principali fattori da cui dipende la resistenza del corpo umano.

» La consistenza della pelle gioca un ruolo decisivo: per le donne e per i bambini si possono avere valori di resistenza pericolosamente più bassi di quelli degli uomini. Anche la presenza di lesioni superficiali, esponendo al contatto elettrico i tessuti sottostanti l'epidermide, ricchi di capillari e, quindi, molto irrorati di sangue, può abbassare il valore della resistenza.



**Figura 6.3:** resistenza delle varie parti del corpo umano.

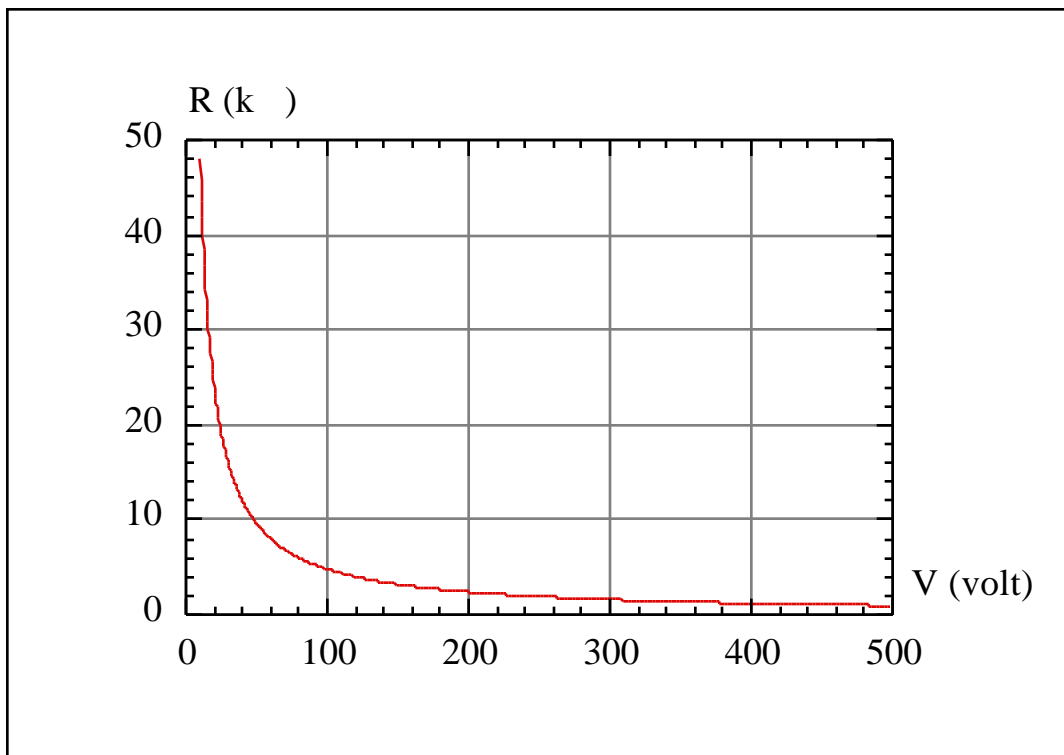
» Il valore della resistenza dipende dai punti di ingresso e di uscita della corrente. Il valore più alto si raggiunge per il contatto tra le due mani e diminuisce nel contatto fra una mano e i due piedi: i percorsi più pericolosi, tuttavia, sono quelli che coinvolgono organi vitali. I valori indicativi della resistenza del corpo umano, misurati tra le due mani, in condizioni di pelle asciutta e con elettrodi di  $(50 \div 100) \text{ cm}^2$ , sono riportati nelle IEC 479 - 1 e 479 - 2 in funzione della tensione applicata. Le misure sono state effettuate sia su esseri viventi, sia su cadaveri per le tensioni più elevate, secondo ben precise modalità di prova: per le nostre future elaborazioni assumeremo semplicemente che ciascun braccio e ciascuna gamba offrano al passaggio della corrente una resistenza di circa 500  $\Omega$ , come suggerito in Figura 6.3. Se consideriamo un valore convenzionale di 1 k $\Omega$  per l'intero corpo umano e come pericolosa una corrente di 50 mA, risultano rischiose tensioni di

$$50 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k} = 50 \text{ V} .$$

È sulla base di queste considerazioni che le norme pongono un limite di tensione sopportabile senza che alcuna forma di protezione intervenga.

Nel caso in cui il contatto avvenga mediante l'interposizione di strati isolanti, come i guanti per esempio, alla resistenza del nostro corpo bisogna aggiungere quella, molto più grande, di questi elementi: in tal modo, la resistenza complessiva può raggiungere valori molto alti, rendendo tollerabili anche tensioni assai elevate.

» Aumentando la superficie di contatto, come per gli altri conduttori, la resistenza diminuisce; allo stesso modo, una pressione elevata fa diminuire la resistenza di contatto tra elettrodo e pelle. Pertanto, venendo in contatto con un oggetto finito accidentalmente in tensione, la prima cosa da fare è tentare di allentare il contatto.



**Figura 6.4:** resistenza al variare della tensione.

» La resistenza del corpo umano dipende dalla tensione applicata, come mostrato in Figura 6.4, e, sfortunatamente, diminuisce all'aumentare della tensione, rendendo il nostro corpo sempre più vulnerabile.

» La resistenza diminuisce per contatti prolungati: si è già avuto modo di sottolineare come soltanto un'eventuale carbonizzazione da ustione ne può produrre un benefico aumento.

La resistenza del corpo umano può essere, dunque, molto variabile: agli effetti della sicurezza elettrica, la resistenza del corpo umano viene normalizzata al valore di  $3\text{ k}\Omega$ . Vale, infine, la pena di aggiungere a quanto detto che il corpo umano offre un'impedenza, piuttosto che una semplice resistenza, al passaggio della corrente. Il carattere capacitivo di questa impedenza, tuttavia, risulta evidente solo per frequenze superiori a 1 kHz. Alle frequenze industriali queste capacità si possono considerare come dei circuiti aperti e l'impedenza si riduce alla sola resistenza esaminata in precedenza.

#### • Resistenza verso terra di una persona

Consideriamo il caso più comune di corrente che fluisce a terra attraverso i piedi. Nel caso che il contatto avvenga attraverso il pavimento, per valutare correttamente la corrente che fluisce nel corpo, bisogna aggiungere alla resistenza propria del corpo umano anche quella dovuta al contatto tra corpo e terra, che tiene conto del fatto che i piedi non si trovano allo stesso potenziale della terra per l'interposizione di calzini, scarpe e pavimento. La tabella che segue riporta i valori della resistenza, espressa in chilohm, di alcuni tipi di pavimento, misurata premendo con una forza di 500 N, corrispondente ad una persona di circa 51 kg, un elettrodo di superficie di  $400\text{ cm}^2$ , equivalente all'area dei due piedi.

Tipo di pavimento	Secco			Umido		
	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo
Ceramica	3	400	1500	2	60	600
Cemento	2	200	400	0.5	2	4
Marmo	46	600	1500	1	300	1250
Parquet in legno	670	1400	1900	160	1000	1600
Grès	3	200	700	1	3	8
Moquette	77	370	1800	76	360	1700

Si consideri, per esempio, il caso di un uomo, di resistenza pari a  $1\text{ k}\Omega$ , con i piedi su un pavimento di grès: nel caso più favorevole (ai fini della sicurezza elettrica) di pavimento secco, la resistenza complessiva può salire a  $701\text{ k}\Omega$ , mentre in quello più sfavorevole di pavimento umido, può avere una resistenza di soltanto  $2\text{ k}\Omega$ .

## 6.2 La dispersione della corrente a terra

Alcune parti degli impianti elettrici vengono spesso collegate a terra mediante elementi metallici, detti **dispersori**, posti a contatto diretto con il suolo. Questo collegamento viene effettuato sia per motivi funzionali, come per esempio il collegamento a terra del neutro dei sistemi trifasi, sia per motivi di sicurezza, come

accade per il collegamento a terra delle masse. Per capire come funzioni il fenomeno della dispersione della corrente nel terreno, è necessario capire come il terreno si comporti dal punto di vista elettrico.

### • Resistività del terreno

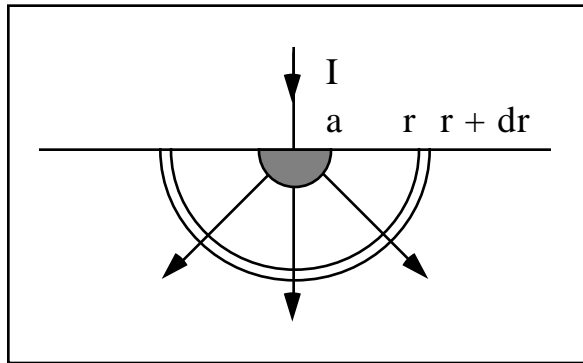
Da un punto di vista elettrico, il terreno si può considerare un conduttore, più o meno omogeneo, caratterizzato da una certa resistività: assegnare dei valori a questo parametro non è cosa facile, dato che le misure risentono molto delle condizioni climatiche che determinano l'umidità e la temperatura. I fattori che influenzano maggiormente la resistività del terreno sono il tipo di terreno (terreni rocciosi, particolarmente granitici, presentano le resistività più elevate), il contenuto di umidità (il contenuto d'acqua presente rende più o meno conduttore il terreno) e la temperatura del terreno (al di sotto del punto di congelamento dell'acqua la resistività può aumentare di 4 o 5 volte).

La tabella che segue riporta i valori medi di resistività, in condizioni normali di umidità e temperatura, per alcuni terreni, ai quali si è aggiunto, per confronto, anche la resistività dell'acqua dolce e di quella marina.

Mezzo disperdente	$T$ ( m )
Acqua dolce	50 ÷ 150
Acqua marina	1
Argilla	30 ÷ 150
Terreni pietrosi con erba	200 ÷ 300
Sabbia secca	200 ÷ 300
Rocce calcaree secche	2000 ÷ 5000
Torbiere umide	200 ÷ 300
Calcestruzzo	1000 ÷ 5000
Sabbia marina	0.3 ÷ 3

### • Dispersore emisferico

Si consideri un dispersore emisferico: si tratta di un conduttore, che si suppone a resistività nulla, a forma di mezza sfera di raggio 'a', e conficcato nel terreno come mostrato in Figura 6.5. I dispersori reali non vengono costruiti in forma emisferica: qui si è interessati a studiare questo caso poiché è semplice da trattare e consente di stabilire relazioni che, almeno qualitativamente, forniscono informazioni valide anche per dispersori di forma più complicata. Le linee di corrente sono, per esempio, radiali nel caso emisferico, mentre nel caso reale le linee si addensano nelle zone a maggiore conducibilità o più appuntite, diradandosi nelle zone a conducibilità minore o più piane.



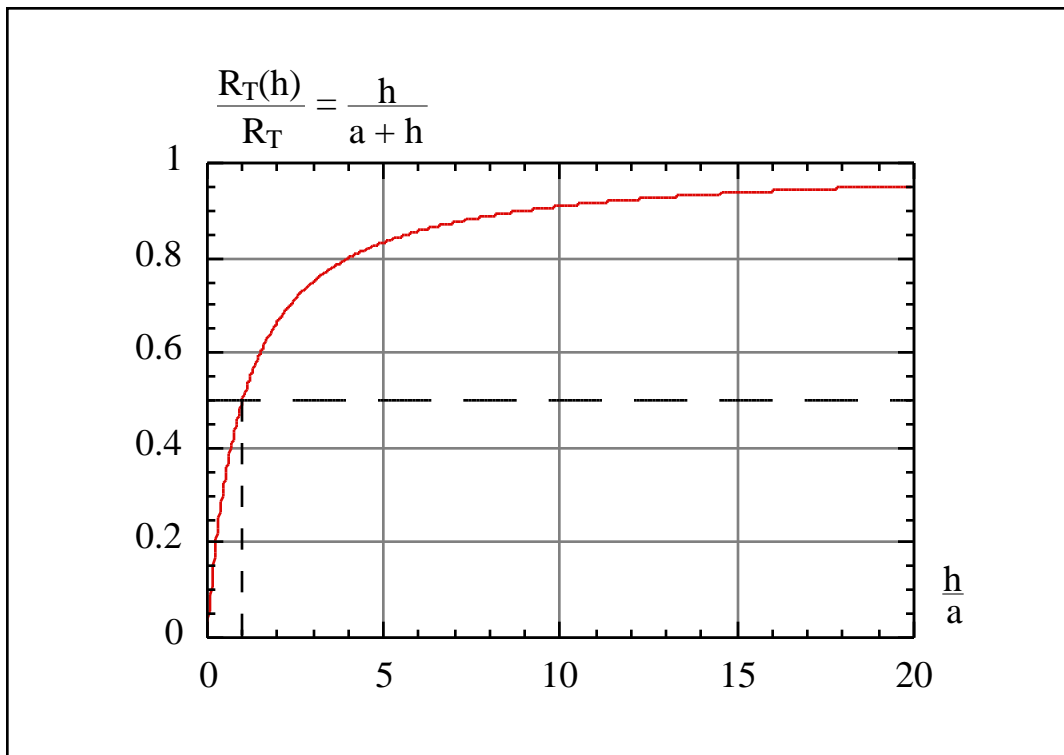
**Figura 6.5:** dispersore emisferico.

Si consideri, allora, due mezze sfere di raggi 'r' e 'r + dr': la resistenza offerta da questo straterello conduttore alla corrente può scriversi, per la legge di Ohm alle grandezze specifiche, nella forma

$$dR_T = \frac{\tau \, dr}{2 \, r^2},$$

in cui con  $\tau$  è stata indicata la resistività del terreno. Volendo conoscere la resistenza offerta da una corona sferica finita di spessore h, bisogna integrare la precedente espressione tra 'a' e 'a + h':

$$R_T(H) = \frac{\tau}{2} \int_a^{a+h} \frac{dr}{r^2} = -\frac{\tau}{2} \left[ \frac{1}{r} \right]_a^{a+h} = -\frac{\tau}{2} \left( \frac{1}{a+h} - \frac{1}{a} \right) = \frac{\tau}{2} \frac{h}{a(a+h)}.$$



**Figura 6.6:** resistenza di terra in funzione della distanza dal dispersore.

Se lo strato sferico preso in esame è grande, cioè se  $h \gg a$ , allora il fattore

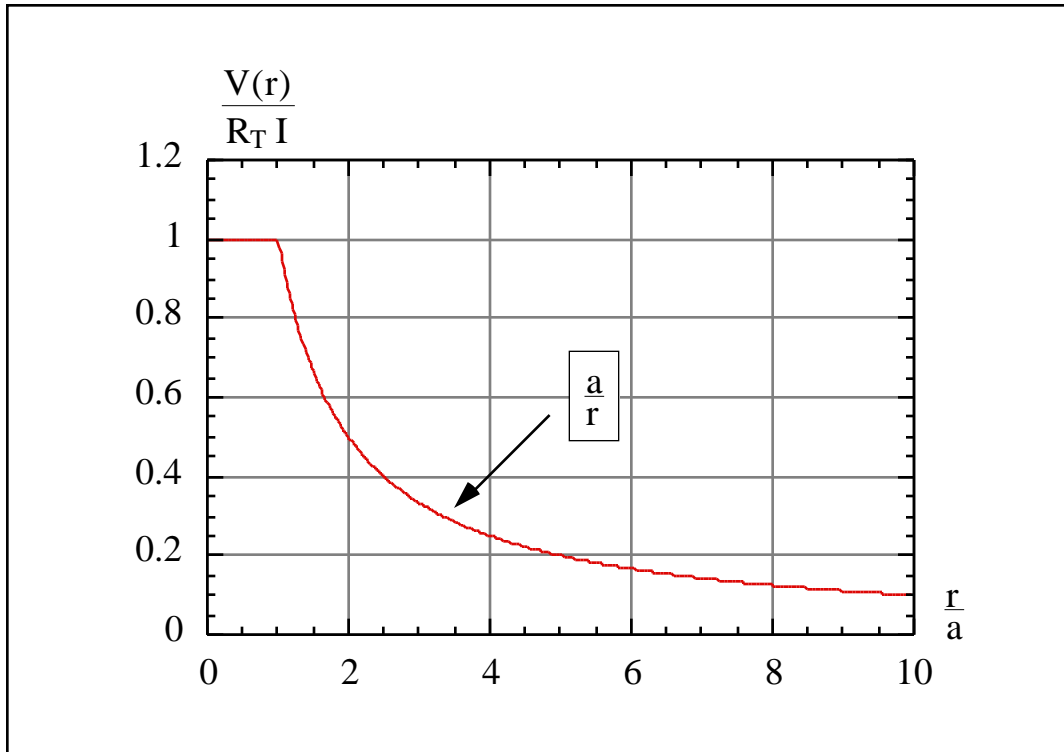
$$\frac{h}{a+h} \approx \frac{h}{h} = 1,$$

e, pertanto, la resistenza offerta dall'intero semispazio conduttore in cui la mezza sfera disperde la corrente, diventa semplicemente

$$R_T(\infty) = R_T = \frac{\rho}{2a}.$$

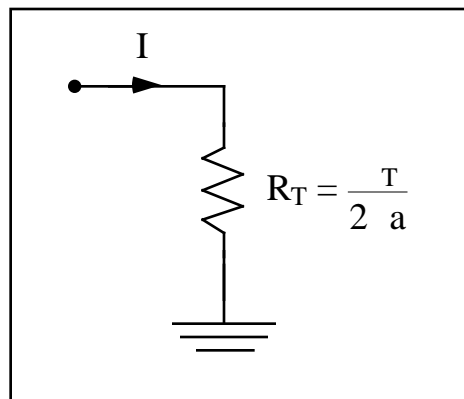
Questa resistenza, che nel seguito verrà indicata soltanto con  $R_T$ , mostra come la resistenza offerta dal terreno sia direttamente proporzionale alla resistività ed inversamente proporzionale al raggio del dispersore. Per ottenere piccole resistenze, a parità di resistività, bisogna fare dispersori di raggio grande. In Figura 6.6 si è rappresentato il rapporto tra la resistenza di un strato di spessore  $h$  e l'intero semispazio: si noti che, non appena  $h = a$ , la resistenza introdotta è la metà di  $R_T$ . La Figura 6.7, invece, mostra l'andamento del potenziale al variare della coordinata radiale 'r': esso si mantiene costante in corrispondenza dell'emisfero conduttore, poi decade in maniera inversamente proporzionale alla distanza 'r'. Si potrebbe dimostrare che il potenziale costante in corrispondenza dell'emisfero vale

$$V(r) = R_T I, \quad \text{per } 0 \leq r \leq a.$$



**Figura 6.7:** andamento del potenziale.

Ogni volta che si tenta di disperdere la corrente con un dispersore emisferico, per simularne il comportamento elettrico si può anche adoperare il circuito equivalente di Figura 6.8.



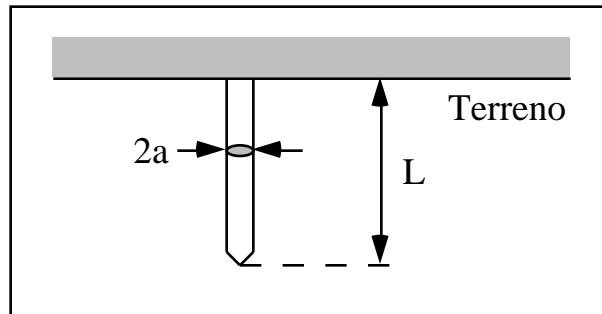
**Figura 6.8:** circuito equivalente di un dispersore emisferico.

Tutto ciò, a parte la forma ‘didattica’ del dispersore, ha alcune pesanti limitazioni. Il terreno è schematizzato come un conduttore omogeneo e, pertanto, la  $T$  è stata ritenuta costante. Nel calcolo della resistenza del terreno sono stati trascurati i contributi alla resistenza introdotti da altre parti dell’impianto. Infine, la definizione di resistenza di terra contiene una difficoltà concettuale di misura dato che, per misurare  $R_T$ , bisognerebbe poter portare un elettrodo di misura

all'infinito, cosa impossibile da realizzare concretamente: nel seguito si mostrerà come si possa superare questa difficoltà nella misura della resistenza di terra.

• **Altri tipi di dispersori**

Il dispersore emisferico esaminato ha soprattutto un interesse teorico: in pratica, si usano altri tipi di dispersori come i picchetti cilindrici, mostrati in Figura 6.9.



**Figura 6.9:** dispersore cilindrico.

Va subito detto che la determinazione analitica della resistenza di un dispersore cilindrico presenta non poche difficoltà; per questa ragione, indicando con ‘a’ il raggio del dispersore e con ‘L’ la sua lunghezza, si afferma, senza dimostrare, che la resistenza offerta da un tale dispersore vale

$$R_T = \frac{\rho}{2L} \ln \left( \frac{L}{a} + \sqrt{1 + \frac{L^2}{a^2}} \right).$$

Se  $L \gg a$ , si può adoperare anche la formula approssimata

$$R_T \approx \frac{\rho}{2L} \ln \frac{2L}{a}.$$

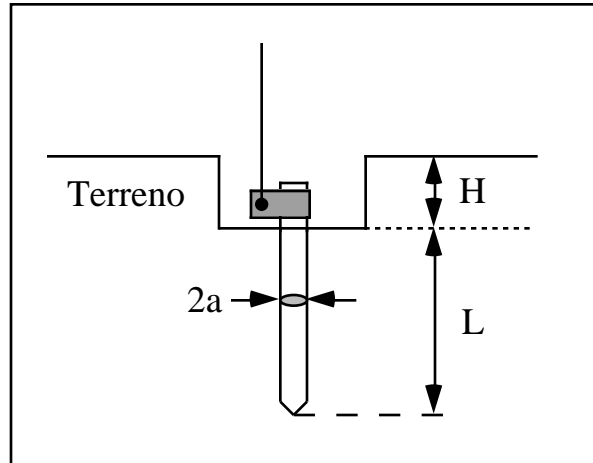
Ad esempio, considerando un terreno con  $\rho = 200 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ , posto  $L = 2 \text{ m}$  e  $a = 2 \text{ cm}$ , risulta:

$$R_T = \frac{\rho}{2L} \ln \left( \frac{L}{a} + \sqrt{1 + \frac{L^2}{a^2}} \right) = \frac{200}{4} \ln \left( 100 + \sqrt{1 + 100^2} \right) \approx 84.326 \text{ } \Omega.$$

Come si mostrerà nel prossimo paragrafo, questo valore, un tantino elevato, di resistenza può essere ridotto ponendo più dispersori in parallelo.

Se il picchetto non è infisso a filo del terreno, ma ad una profondità H, come mostrato in Figura 6.10, il valore della resistenza di terra si modifica. In particolare, si può usare la precedente espressione per il picchetto cilindrico, modificata secondo il fattore correttivo:

$$K_H = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{L}{L + H} \right).$$



**Figura 6.10:** picchetto cilindrico infisso a una profondità H.

Si supponga, per esempio, di voler determinare la resistenza di terra di un dispersore cilindrico a picchetto, lungo 2 m e di diametro esterno 10 cm, conficcato in un terreno di resistività  $\tau = 280 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ , 50 cm al di sotto del piano del terreno. Il fattore di correzione, allora, risulta

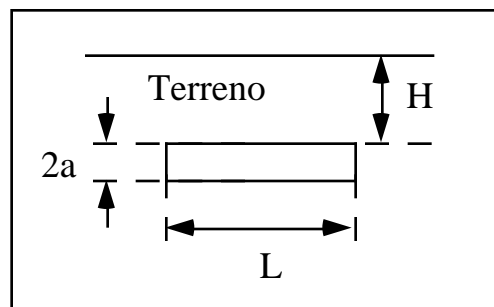
$$K_H = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{L}{L + H} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2}{2 + 0.5} \right) = 0.9,$$

e, quindi, la resistenza vale

$$R_T = K_H \frac{\tau}{2L} \ln \frac{2L}{a} = \left( 0.9 \frac{280}{2} \ln 80 \right) = 87.87 \text{ } \Omega.$$

La resistenza del dispersore lineare, mostrato in Figura 6.11 e costituito da una barra cilindrica, vale approssimativamente

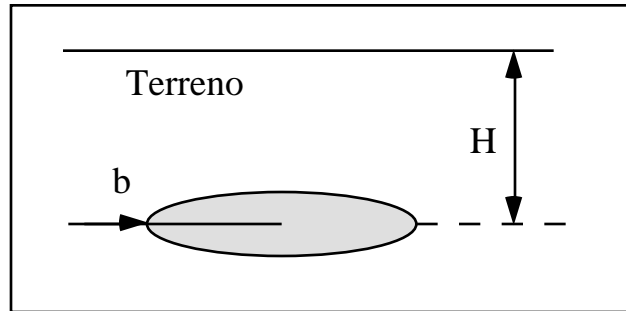
$$R_T = \frac{\tau}{2L} \left( \frac{2H}{L} - 2 + \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{L}{H} \right).$$



**Figura 6.11:** dispersore lineare.

La resistenza di un dispersore cilindrico, costituito da un sottile conduttore di raggio 'a' avvolto come un anello di raggio 'b', mostrato in Figura 6.12, è pari a

$$R_T = \frac{T}{2b} \left( \ln \frac{8b}{a} + \ln \frac{4b}{H} \right).$$



**Figura 6.12:** dispersore ad anello.

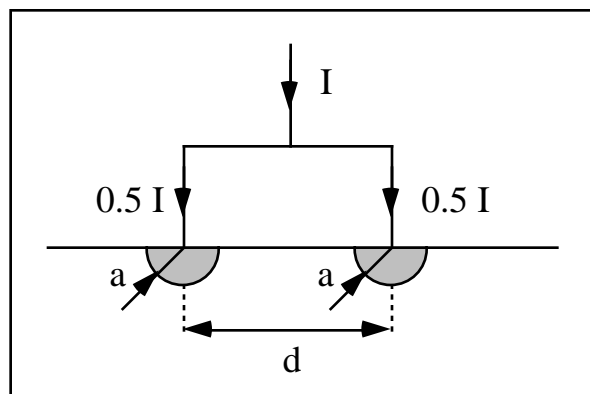
Infine, un'altra struttura adoperata in pratica è la rete magliata di conduttori, la cui resistenza può essere valutata per mezzo della formula

$$R_T = \frac{T}{4b} + \frac{T}{L},$$

in cui 'b' rappresenta il raggio del cerchio di area equivalente alla rete ed 'L' la lunghezza totale dei conduttori che costituiscono la rete.

### • Dispersori in parallelo

Se la resistenza introdotta da un dispersore risulta troppo elevata, si possono sempre usare due, o più, dispersori in parallelo. Per comprendere quanto valga la resistenza equivalente al parallelo di due dispersori, si consideri la Figura 6.13.

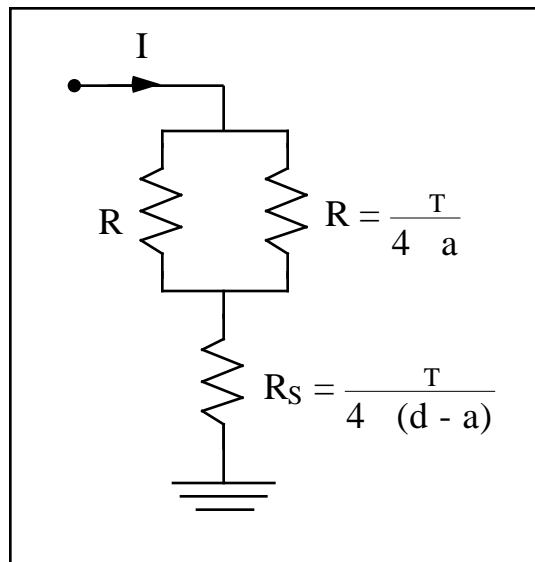


**Figura 6.13:** due dispersori emisferici in parallelo.

Si potrebbe dimostrare che la resistenza totale dei due dispersori in parallelo è data dalla relazione

$$R_T = \frac{T}{4a} + \frac{T}{4(d-a)}.$$

Il primo termine rappresenta semplicemente il valore ottenuto considerando le due resistenze in parallelo, mentre il secondo termine è dovuto alla mutua influenza tra i due dispersori e fa aumentare la resistenza totale. Il circuito equivalente è mostrato in Figura 6.14.



**Figura 6.14:** circuito equivalente per il parallelo di due dispersori.

In teoria, i due dispersori non sono mai rigorosamente in parallelo; in pratica, basta scegliere  $d \gg a$  (ad esempio  $d = 10a$ ) per rendere ininfluenza la resistenza mutua

$$R_S = \frac{T}{4(d-a)} \approx 0, \text{ se } d \gg a.$$

I concetti esposti restano validi quale che sia la geometria del dispersore; considerando  $N$  dispersori di resistenza  $R$ , collegati in parallelo, si ottiene la resistenza totale

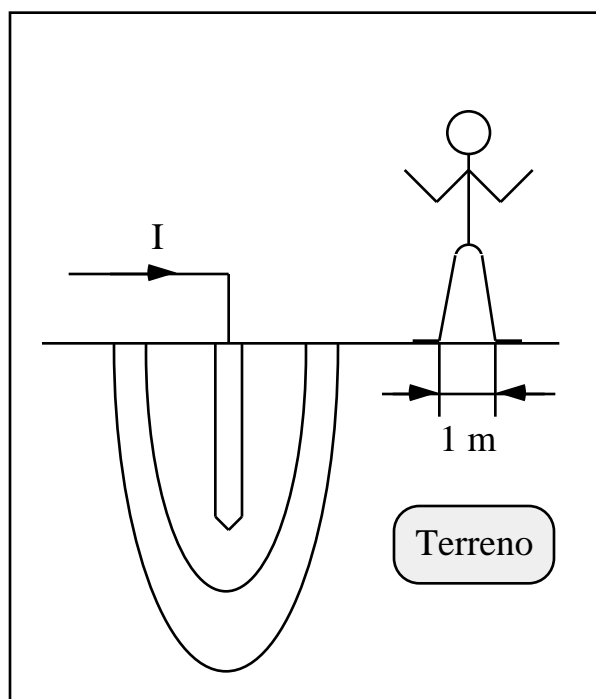
$$R_N = \frac{R}{N},$$

solo se è trascurabile la reciproca influenza tra i vari dispersori. Per ogni dispersore, pertanto, si è soliti individuare una zona di dispersione in cui non ve ne dovranno essere altri, per avere influenze mutue ridotte al minimo. Nel caso

tecnicamente più interessante dei picchetti, si può concludere che la distanza relativa ottimale è circa  $6 \div 8$  volte la lunghezza  $e$ , scendendo al limite di due volte la lunghezza, si spreca solo materiale ... senza ridurre sensibilmente la resistenza.

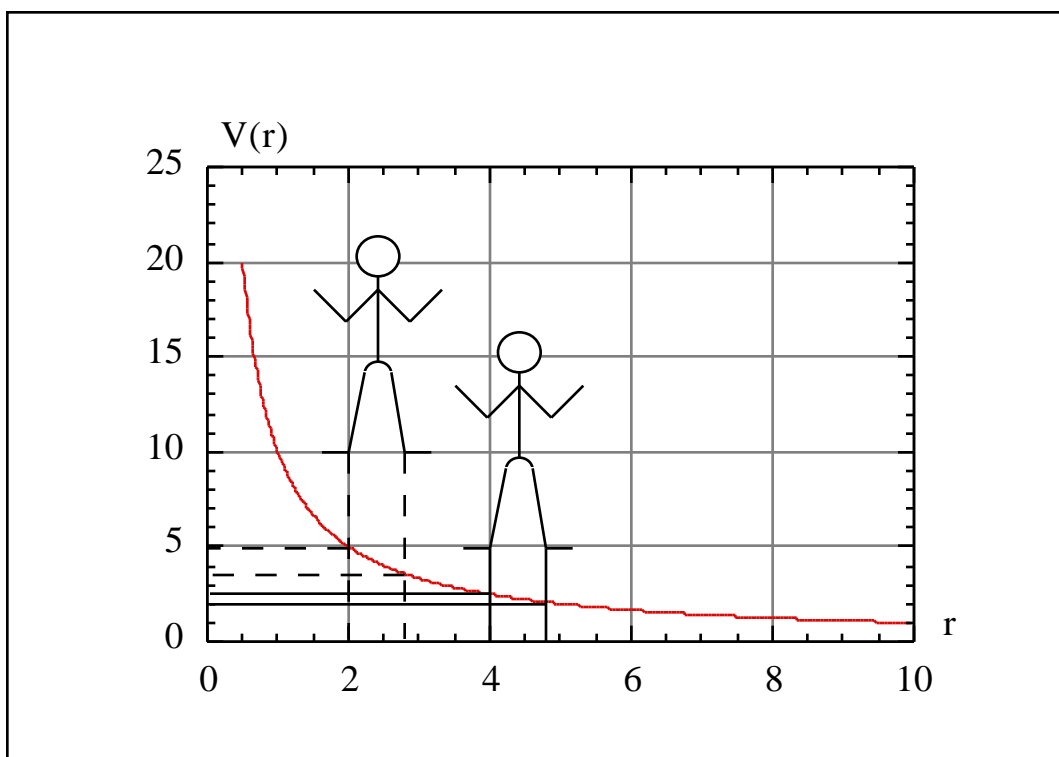
### • Tensione di passo

Si è già accennato al fatto che uno studio effettivo dei campi attorno ad un dispersore, che non sia emisferico, è compito non semplice. D'altra parte, uno studio analitico può essere evitato per mezzo di opportune misure che possono fornire, almeno qualitativamente, gli andamenti delle linee di campo elettrico, oppure la forma delle superfici equipotenziali.



**Figura 6.15:** linee equipotenziali attorno a un dispersore a picchetto.

In Figura 6.15, sono state rappresentate, in maniera qualitativa, linee equipotenziali attorno ad un dispersore a picchetto. Dal punto di vista del rischio elettrico, non è necessario costruire il campo elettrico, ma basta considerare la cosiddetta **tensione di passo**, definita come la tensione che si manifesta tra i piedi di una persona, posti alla distanza convenzionale di un metro (CEI 11 - 8). L'andamento del potenziale con la distanza dal dispersore, approssimativamente iperbolico, consente di comprendere per quale motivo la tensione di passo sia più elevata in prossimità del dispersore, come suggerisce la Figura 6.16.



**Figura 6.16:** tensioni di passo a distanze diverse dal dispersore.

Essa decresce rapidamente man mano che ci si allontana dal dispersore, fino a scendere al di sotto della soglia di pericolosità: ciò consente di definire una zona di pericolo attorno al dispersore da proteggere, eventualmente con una recinzione, che ne limiti l'accesso. La normativa tecnica stabilisce, infine, le modalità di misura della tensione di passo, che va misurata tra due elettrodi ausiliari, posti a un metro di distanza l'uno dall'altro.

#### • **Tensione di contatto**

Si supponga che la massa di un apparecchio sia collegata a terra tramite un dispersore di resistenza  $R_T$ . Se si presenta un guasto per cui la carcassa viene ad essere in contatto con una parte attiva dell'impianto elettrico, si genera una corrente di guasto  $I_G$ , corrispondente alla tensione di guasto  $V_G$ . Se una persona entra in contatto con la carcassa dell'apparecchio sarà sottoposta ad una tensione equivalente alla partizione della tensione  $V_G$  fra la resistenza dell'uomo e quella del pavimento. La tensione alla quale è sottoposto l'uomo, denominata **tensione di contatto**, sarà minore se la resistenza del pavimento è maggiore e viceversa.

### **6.3 Impianto di terra**

Dopo aver parlato della resistenza del corpo umano e del fenomeno della dispersione della corrente verso terra, si è pronti a comprendere cosa si intenda per **impianto di terra** e come lo si realizzi. Un tale impianto costituisce una misura di

protezione contro diversi tipi di guasti nelle apparecchiature elettriche connesse all'impianto stesso che, senza l'impianto di terra, sarebbero causa di potenziale pericolo per gli utenti. Ora, nella maggior parte degli incidenti elettrici, la corrente che fluisce nel corpo umano si chiude attraverso il terreno, che si comporta come un conduttore elettrico se viene applicata una tensione elettrica fra due suoi punti; è per questo che la terra è generalmente coinvolta nella maggiore parte dei sistemi di sicurezza elettrica. Un impianto di terra è l'insieme di dispersori, conduttori di terra, conduttori di protezione e conduttori equipotenziali destinati a realizzare la messa a terra di protezione e/o di funzionamento. Già il D.P.R. 547 del 27 aprile 1955 prescriveva:

Art. 271 - Le parti metalliche degli impianti ad alta tensione, soggette a contatto delle persone e che per difetto di isolamento o per altre cause potrebbero trovarsi sotto tensione, devono essere collegate a terra. Il collegamento a terra deve essere fatto anche per gli impianti a bassa tensione situati in luoghi normalmente bagnati od anche molto umidi oppure in immediata prossimità di grandi masse metalliche, quando la tensione supera i 25 V verso terra per corrente alternata ed i 50 V verso terra per corrente continua. Devono parimenti essere collegate a terra le parti metalliche dei ripari posti a protezione contro il contatto accidentale delle persone con conduttori od elementi ad alta tensione, oppure anche a bassa tensione nei casi previsti nel precedente comma.

Procedendo con ordine, si inizi a definire i diversi termini del problema usando le norme. Si chiamerà **terra** la massa del terreno assunta, convenzionalmente, a potenziale nullo ovunque. L'**impianto di terra** è l'insieme di dispersori, conduttori di terra, conduttori di protezione e conduttori equipotenziale destinati a realizzare la messa a terra di protezione e/o di funzionamento.

Il **dispersore**, come dovrebbe essere chiaro da quanto detto in precedenza, è composto da uno o più corpi metallici, posti in contatto elettrico con il terreno, avente la funzione di effettuare la connessione a terra. Il dispersore deve presentare una bassa resistenza ed una costituzione tale da resistere alla corrosione nel terreno. Ci sono vari tipi di dispersori: i più comuni sono i picchetti verticali, orizzontali e vari tipi di dispersori a stella. La resistenza del dispersore verso terra dipende dalla forma e dal tipo del dispersore. Per migliorare la conduttività del terreno si usano dei composti particolari che si versano sul terreno circondante il dispersore: questi composti, denominati 'terra artificiale', possono essere sali minerali o gel artificiali; questi ultimi sono di maggiore affidabilità ed efficienza.

Un impianto di terra utilizza generalmente dispersori sotterrati con l'unico fine di connettere l'impianto al terreno; questo tipo di dispersori sono denominati propri. In altri casi, si utilizzano, come dispersori, materiali metallici sotterrati per altri

scopi che, però, possono contribuire a realizzare il collegamento elettrico con la terra; in questo caso si parla di dispersori naturali. Esempi di dispersori naturali sono l'armatura metallica delle fondazioni, tubazioni metalliche sotterrate, e così via. Un impianto di terra contiene più dispersori interconnessi in diverse topologie, denominate geometrie dei dispersori. Le geometrie più diffuse sono quella ad anello, in cui i dispersori formano un anello lungo il perimetro dell'impianto, e quella a maglie, in cui i dispersori formano una rete a maglie. Generalmente queste geometrie sono rinforzate con picchetti periferici per ridurre ancora di più la resistenza verso terra.

Il collegamento tra un impianto elettrico e quello di terra avviene tramite un unico nodo denominato nodo principale di terra o nodo collettore. Il **conduttore di terra**, non in contatto col terreno, collega i dispersori al nodo principale di terra o collettore.

La **resistenza di terra** è definita come il rapporto tra la tensione verso terra dell'impianto, valutata rispetto ad un punto posto a distanza infinita, in pratica a grande distanza, dal dispersore e la corrente dispersa a terra.

Collegare, o mettere, a terra un impianto vuol dire collegare parte di esso ad un impianto di terra e questa operazione si può fare per tre motivi principali:

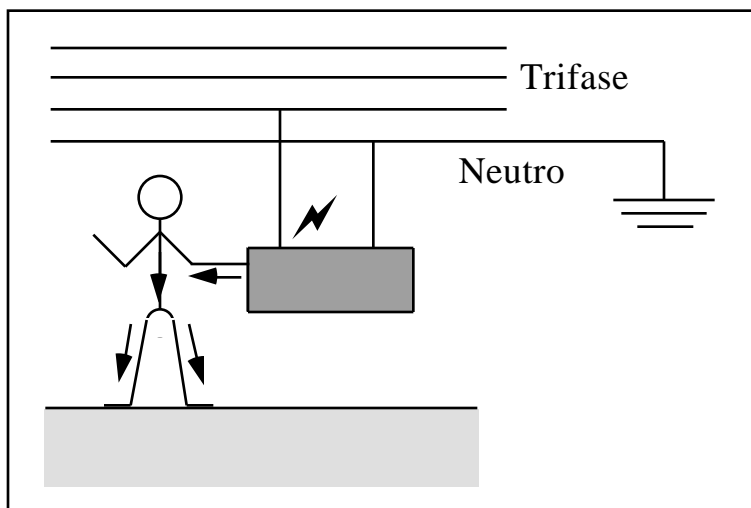
- a) la *messa a terra di funzionamento* è quella legata alle esigenze di esercizio degli impianti elettrici, si pensi, per esempio, alla messa a terra del centro stella dei generatori o dei carichi nei sistemi trifasi;
- b) la *messa a terra di protezione* viene generalmente coordinata con interruttori differenziali oppure a massima corrente che aprono il circuito di alimentazione in caso di pericolo, come si discuterà in maggior dettaglio più avanti;
- c) la *messa a terra per lavori*, a carattere provvisorio, viene adottata come misura precauzionale per lavori di manutenzione di impianti normalmente in tensione, come, ad esempio, le linee aeree della trazione ferroviaria.

Fatte queste premesse, la prima cosa da capire è quale sia, in termini di sicurezza elettrica, l'efficacia di un impianto di terra e come lo si debba realizzare.

#### • **Efficacia della messa a terra**

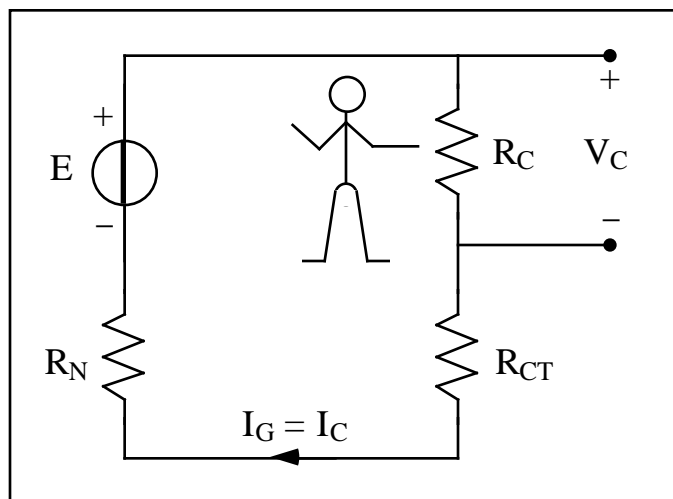
In questo paragrafo si vuole determinare, in maniera approssimata ma ragionevole ed utile per i nostri scopi, la tensione di contatto e la corrente che attraversa una persona venuta in contatto con carcasse in tensione, sia nel caso in cui la carcassa non sia stata collegata a terra, sia nel caso contrario, per comprendere quale azione benefica possa avere la messa a terra per la sicurezza delle persone.

Si consideri con attenzione la situazione schematizzata in Figura 6.17: una persona viene in contatto con la carcassa di un dispositivo ritenuto non in tensione. Sfortunatamente la carcassa è in tensione e *non è collegata a terra* e, pertanto, una corrente di guasto attraversa il corpo della persona (nel seguito, questo tipo di contatto verrà denominato indiretto). La tensione alla quale è sottoposto il corpo umano per contatto con carcasse o parti metalliche di apparecchiature, andate in tensione a causa di un cedimento dell'isolamento, viene detta tensione di contatto, come si è già avuto modo di sottolineare.



**Figura 6.17:** contatto con *parti metalliche non messe a terra*.

Supponendo di trascurare tutti i parametri reattivi, come se si trattasse di un circuito in corrente continua, il contatto viene schematizzato per mezzo del circuito equivalente mostrato in Figura 6.18, in cui  $R_C$  rappresenta la resistenza della persona,  $R_{CT}$  la resistenza della persona verso terra,  $R_N$  la resistenza del neutro verso terra, che dipende dal sistema di alimentazione,  $E$  la tensione di fase che nel nostro paese vale 230 V.



**Figura 6.18:** schematizzazione del contatto con una *carcassa non messa a terra*.

La corrente di guasto, che coincide con quella che attraversa il corpo umano, vale

$$I_G = I_C = \frac{E}{R_N + R_C + R_{CT}},$$

e, di conseguenza, la tensione di contatto risulta

$$V_C = E \frac{R_C}{R_N + R_C + R_{CT}}.$$

In tal caso la sicurezza viene garantita da un elevato valore della resistenza del corpo verso terra. Assumendo, per esempio,  $R_C = 1 \text{ k}$  e la resistenza  $R_N$  limitata a pochi ohm, la corrente  $I_C$  è

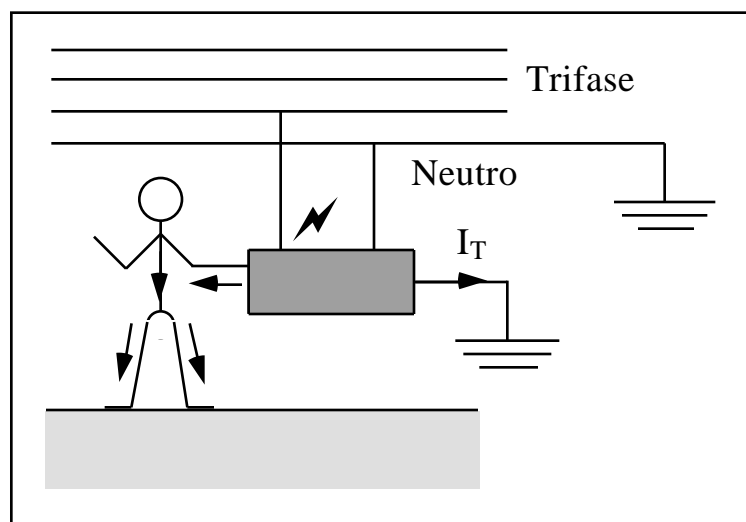
$$I_C = 11.5 \text{ mA},$$

se il contatto è avvenuto quando l'individuo poggiava i piedi su un pavimento ben asciutto, per cui  $R_{CT} = 19 \text{ k}$ . Questa corrente risulta certamente non pericolosa.

Tuttavia, se il contatto avviene nelle condizioni particolarmente sfortunate di pavimento bagnato, posto  $R_{CT} = 2 \text{ k}$ , risulta

$$I_C = 78.4 \text{ mA},$$

un valore di corrente certamente letale per la maggior parte degli individui.



**Figura 6.19:** contatto con *parti metalliche messe a terra.*

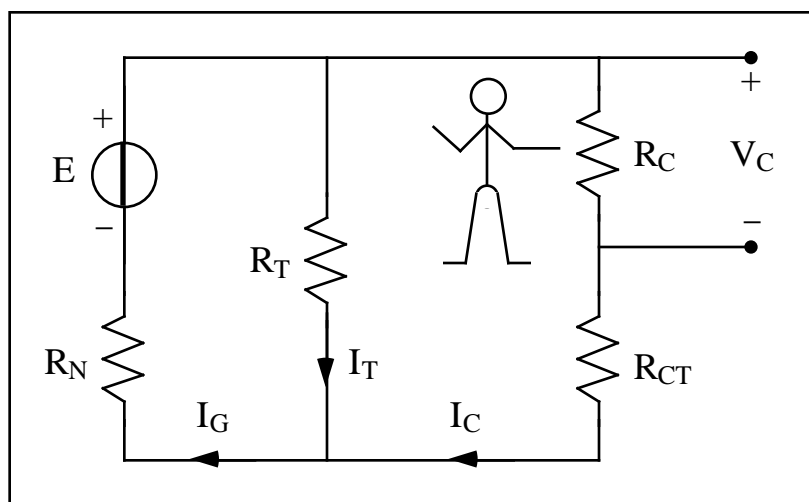
Si immagina, ora, che lo stesso incidente precedente avvenga con una carcassa messa a terra, come suggerito in Figura 6.19. Il circuito equivalente di Figura 6.20 consente di ottenere, con buona approssimazione, la corrente di elettrocuzione  $I_C$ :

$$I_C = E \frac{R_T}{R_N(R_T + R_C + R_{CT}) + R_T(R_C + R_{CT})}.$$

Una superficiale analisi dell'ultima relazione induce a concludere che, per rendere piccola quanto vogliamo la corrente di elettrocuzione, basta diminuire la resistenza di terra  $R_T$ , che dipende dall'impianto di terra; al limite, se la resistenza di terra fosse nulla, avremmo una corrente, attraverso il corpo del malcapitato, nulla. È evidente, anche osservando lo schema equivalente di Figura 6.20, che, se al tempo stesso anche la resistenza del neutro verso terra diventa piccola, la corrente di elettrocuzione può non essere più piccola. Più precisamente, consideriamo il caso limite  $R_N = 0$  ; in tal caso, risulta che

$$I_C = \frac{E}{R_C + R_{CT}},$$

e, pertanto, la resistenza di terra non ha più alcun effetto sulla corrente  $I_C$ . Si intuisce allora che, al fine di rendere efficace la messa a terra di una carcassa, è necessario rendere piccola, rispetto a quella del neutro verso terra, la resistenza  $R_T$ . In tal caso, la corrente di elettrocuzione può essere piccola quanto basta e la corrente di guasto può, al tempo stesso, assumere valori tali da far entrare in azione meccanismi automatici di protezione.



**Figura 6.20:** circuito che schematizza il contatto con una *carcassa messa a terra*.

Questa precauzione può essere del tutto insoddisfacente qualora il neutro non presenti alcuna resistenza verso terra, ovvero quando non sia possibile ottenere una

resistenza di terra molto bassa. In tal caso, la stessa corrente di guasto potrebbe essere insufficiente a provocare l'entrata in azione di un interruttore automatico.

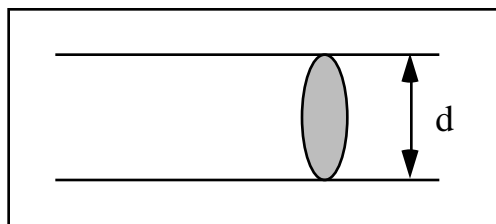
### • Il dispersore di terra

Come è forse già noto, il dispersore di terra è costituito da un insieme di corpi metallici che hanno il compito, una volta posti in contatto con il terreno, di realizzare il collegamento elettrico con la terra per disperdere la corrente elettrica. Il materiale costitutivo deve impedire un facile deterioramento dovuto all'umidità oppure all'aggressività chimica del terreno: la corrosione, infatti, aumenta la resistenza di terra. I più adoperati sono il rame, l'acciaio rivestito di rame ed i materiali ferrosi zincati.

Si trovano dispersori a picchetto, tubolari o profilati, dispersori a nastri e corde, dispersori a forma di piastre. Spesso vengono anche adoperati i ferri di armatura del calcestruzzo incorporato nel terreno.

La norma CEI 64 - 8 prescrive le sezioni minime dei dispersori. Per esempio, usando un picchetto massiccio, il diametro (d) del picchetto deve essere

$$d = \begin{cases} 20 \text{ mm} , & \text{se si usa acciaio zincato a caldo;} \\ 15 \text{ mm} , & \text{se si usa il rame.} \end{cases}$$



**Figura 6.21:** sezione di un picchetto massiccio.

L'interramento si effettua, di norma, ad una profondità di (0.5 ÷ 1) m; l'uso dei pozzetti non è richiesto dalla norma, ma da motivi pratici, legati alla possibilità di effettuare ispezioni alle giunzioni, che vanno comunque protette dalla corrosione.

Una maniera abbastanza efficace per abbassare la resistenza di terra consiste nel sostituire il terreno attorno al dispersore con grafite, torba, argilla oppure altro materiale a bassa resistività. Questa operazione migliora la conducibilità nelle zone immediatamente circostanti il dispersore, quelle che danno il maggior contributo alla resistenza di terra.

Oltre ai dispersori propri, oppure intenzionali, appena descritti, si possono utilizzare dispersori naturali, o di fatto, che sono costituiti da corpi metallici immessi nel terreno per altri scopi, ma che collaborano, se collegati in maniera opportuna, alla dispersione a terra della corrente. Un dispersore naturale particolarmente efficiente si può ottenere collegando le numerose ed estese parti

metalliche che costituiscono le fondazioni di un edificio in cemento armato: l'impianto viene completato collegando i dispersori naturali con una struttura ad anello di dispersori intenzionali. Le condutture metalliche della rete idrica possono essere usate come dispersori solo nel caso in cui questa sia sotto il completo controllo dell'utilizzatore. Nel caso del pubblico acquedotto, occorre il consenso esplicito da parte della società che lo gestisce e questo consenso dà il diritto all'utente di essere informato delle modifiche alla rete idrica che possano alterare le caratteristiche di dispersione. Le norme fanno divieto di utilizzare come dispersori tubazioni diverse da quelle idriche, come quelle del gas; queste tubazioni, tuttavia, possono essere usate come rete di collegamenti equipotenziali in un sistema di sicurezza globale. L'installazione di dispersori direttamente nelle acque di fiumi, di laghi, di canali o del mare viene sconsigliato dalle norme.

Vale la pena sottolineare, infine, che il collegamento dei dispersori di terra deve essere effettuato con saldature, morsetti e giunzioni di sezione adeguata e sufficientemente robusti da sopportare eventuali sollecitazioni meccaniche.

#### • Il conduttore di terra

Si tratta di un conduttore, non in contatto con il terreno, che collega i dispersori tra loro ed al collettore principale. Deve essere costituito di materiale metallico dotato di buona conducibilità e resistenza meccanica, di sezione non inferiore a:

- ⌘ 16 mm<sup>2</sup> per conduttori in rame e ferro protetti contro la corrosione in modo non meccanico, per esempio zincati, ma senza tubo protettivo;
- ⌘ 25 mm<sup>2</sup> per il rame e 50 mm<sup>2</sup> per il ferro non protetti contro la corrosione.

La sezione del conduttore di terra deve essere uguale a quella dei conduttori di protezione, se sono protetti meccanicamente contro la corrosione. Allo scopo di evitare incidenti quasi sempre fatali, il conduttore di terra deve essere chiaramente identificato ed il suo rivestimento isolante deve essere colorato esclusivamente a strisce longitudinali gialle e verdi. Il conduttore di neutro è, invece, riconoscibile dal colore blu chiaro (azzurro). L'uso di colori diversi da quelli codificati costituisce un vero crimine, la cui conseguenza è certamente la morte dell'ignaro operatore.

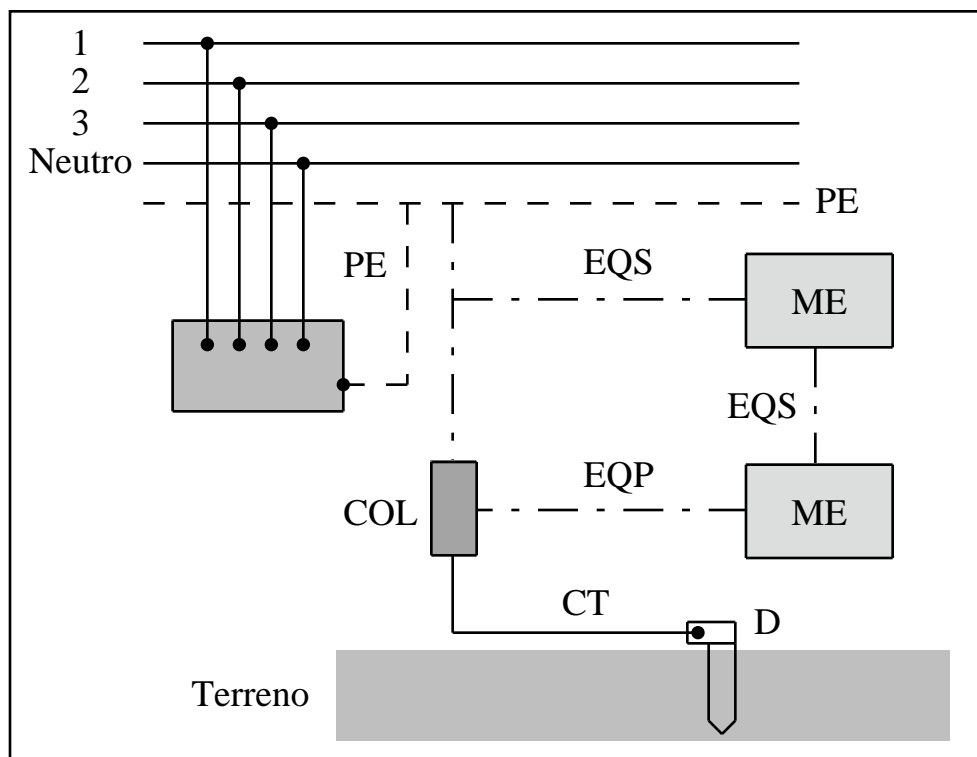
Le norme prescrivono che i conduttori di terra devono avere percorso breve, non devono essere soggetti a sforzi meccanici, devono essere giuntati mediante una saldatura forte oppure autogena, o mediante appositi morsetti o manicotti, e le giunzioni devono essere protette contro la corrosione. Devono, infine, essere provvisti, in posizione accessibile, di un dispositivo di apertura manovrabile solo con attrezzo, il sezionatore di terra, per consentirne la verifica.

### • Schema di un impianto di terra

La Figura 6.22 mostra in forma schematica i componenti principali di un impianto di terra. Tutti i conduttori di terra, protezione e di equipotenzialità vengono collegati al **collettore o nodo principale di terra (COL)**, realizzato mediante una sbarra o un morsetto. I **conduttori di protezione (PE)** collegano le masse al collettore principale e, secondo la norma CEI 64 - 8, le loro sezioni minime vanno scelte secondo i seguenti criteri:

- per  $S \leq 16$  ,      deve essere  $S_p = S$  ,
- per  $16 < S \leq 35$  ,      deve essere  $S_p = 16$  ,
- per  $S > 35$       deve essere  $S_p = 0.5 S$  ,

in cui  $S$  e  $S_p$  sono, rispettivamente, le sezioni, in millimetri quadri, del generico conduttore di fase e del conduttore di protezione.



**Figura 6.22:** rappresentazione schematica di un impianto di terra.

Nella norma CEI 64 - 8 si trova una possibile definizione di **massa**, come quella ‘parte conduttrice, facente parte dell’impianto elettrico, che può essere toccata e che non è in tensione durante le normali condizioni di funzionamento, ma che può andare in tensione a causa di un guasto dell’isolamento principale’. Le carcasse e gli involucri metallici di molti apparecchi elettrici sono un esempio di massa. Bisogna fare attenzione a non confondere come massa, le parti conduttrici elettricamente in contatto con le carcasse. Inoltre, le parti conduttrici separate da quelle attive da un

isolamento doppio o rinforzato, non sono da considerarsi elementi di massa proprio in base alla norma CEI che abbiamo citato.

Un commento a parte merita la cosiddetta **massa estranea**. Sempre la norma CEI 64 - 8 recita: ‘parte conduttrice non facente parte dell’impianto elettrico, suscettibile di introdurre il potenziale di terra o comunque altri potenziali’. Questa definizione permette di considerare masse estranee tutti quegli elementi metallici che presentano una bassa resistenza verso terra (tubazioni idriche, del gas, e così via) e che potrebbero avere un ruolo importante in caso di guasto.

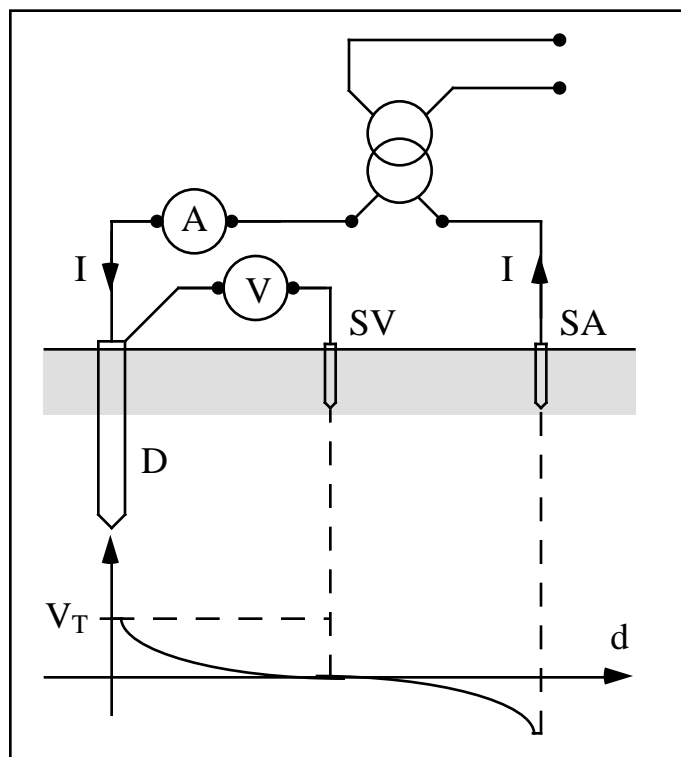
I **conduttori equipotenziali** sono destinati ad assicurare l’equipotenzialità fra le masse e le masse estranee. I collegamenti equipotenziali principali (EPQ) collegano le masse esterne al collettore di terra; i collegamenti equipotenziali supplementari (EQS) collegano le masse estranee al PE e le masse estranee tra loro.

#### • Misura della resistenza di terra

La misura della resistenza di terra rappresenta la più classica applicazione della tecnica volt-amperometrica. L’operazione, effettuata secondo lo schema mostrato in Figura 6.23, consente di ottenere la resistenza operando il rapporto

$$R_T = \frac{V_T}{I},$$

tra la tensione totale di terra  $V_T$  e la corrente dispersa a terra  $I$ .



**Figura 6.23:** misura della resistenza di terra.

Il circuito è alimentato, tipicamente, per mezzo di un trasformatore con tensione secondaria (125 ÷ 230) V e disperde nel terreno una corrente, misurata dall'ampmetro A, che viene raccolta dal dispersore ausiliario SA. Generalmente la strumentazione e l'alimentazione in alternata sono racchiusi in una sola apparecchiatura. Il dispersore in prova D e quello ausiliario SA vanno posti tanto lontano da poter essere considerati indipendenti, in modo che le due curve di distribuzione del potenziale di terra, aventi segno opposto a causa dell'opposto senso di circolazione della corrente, abbiano una zona intermedia a potenziale nullo. Con l'ausilio della piccola sonda di tensione SV si può tracciare una vera e propria mappa della distribuzione del potenziale sul terreno. La funzione della sonda di tensione è misurare la tensione di terra del dispersore in prova e va, pertanto, posta nella zona intermedia tra i due dispersori: la corretta posizione può essere ricercata sperimentalmente effettuando una serie di misure in diversi punti, fino a trovare la condizione che, per un dato spostamento, dia la più piccola variazione di tensione. Nel caso di impianti più complessi la sonda di tensione ed il dispersore ausiliario vanno posti a una distanza dal contorno dell'impianto di terra pari ad almeno cinque volte la massima dimensione dell'impianto stesso.

#### **6.4 Classificazione dei sistemi in relazione al collegamento a terra**

Il secondario dei trasformatori presenti nelle cabine di trasformazione in bt è, in generale, collegato a stella e rende disponibile tre fasi ed il neutro. Il centro stella può essere collegato a terra oppure isolato da terra. Allo stesso modo, gli impianti utilizzatori possono avere o meno le masse collegate a terra.

Dal punto di vista strutturale ed in relazione allo stato del neutro ed alla situazione delle masse, i sistemi elettrici di categoria zero e di prima categoria sono identificati da due lettere, la prima indica lo stato del neutro, la seconda, la situazione delle masse, secondo lo schema:

##### prima lettera

T collegamento diretto del neutro a terra,

I isolamento da terra o collegamento mediante impedenza,

##### seconda lettera

T collegamento diretto a terra delle masse,

N collegamento delle masse al punto di sistema messo a terra.

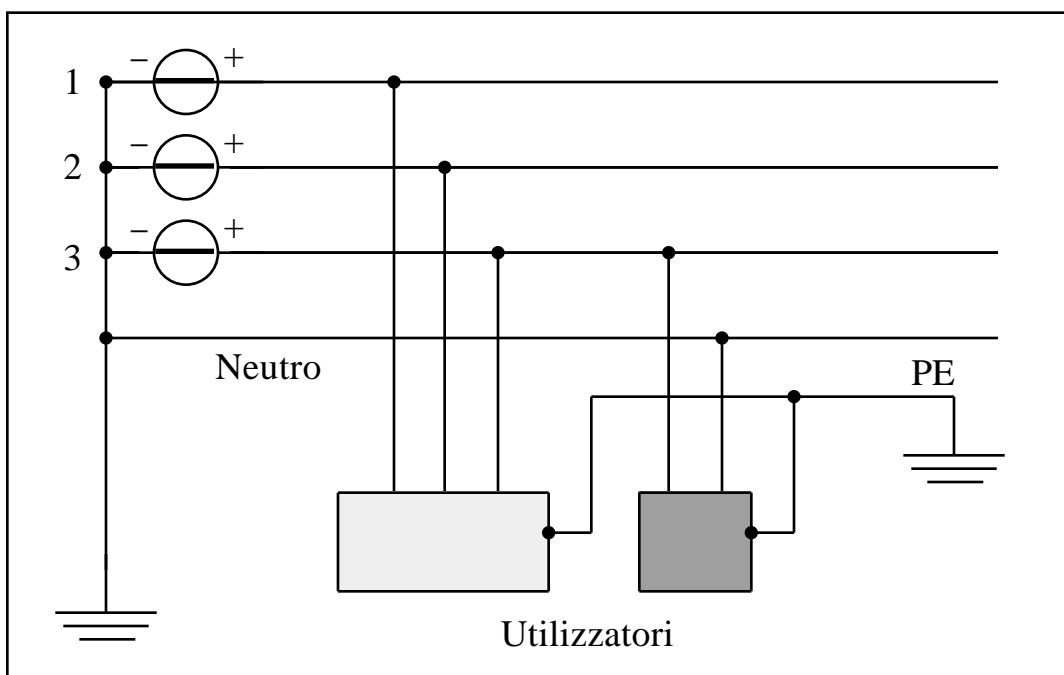
Da quanto detto scaturiscono le seguenti possibili combinazioni.

#### **• Sistemi TT**

Nei sistemi TT il neutro è collegato a terra e le masse degli apparecchi utilizzatori sono anche esse collegate a terra, ma con un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del neutro, come mostrato in Figura 6.24.

Sono molto usati nel nostro paese per l'alimentazione degli impianti utilizzatori in bassa tensione della rete di distribuzione pubblica. Le masse sono collegate all'impianto di terra mediante un conduttore di protezione che, convenzionalmente, si indica con la sigla PE, di cui si è già fatto cenno in precedenza.

Vale la pena notare che il conduttore di neutro deve essere considerato attivo come gli altri tre e, pertanto, deve essere sezionabile per evitare situazioni pericolose in caso di circuito aperto con neutro non interrotto. Al contrario, il conduttore PE, dovendo collegare le masse ai dispersori dell'impianto di terra, non deve mai essere sezionabile.



**Figura 6.24:** sistema TT.

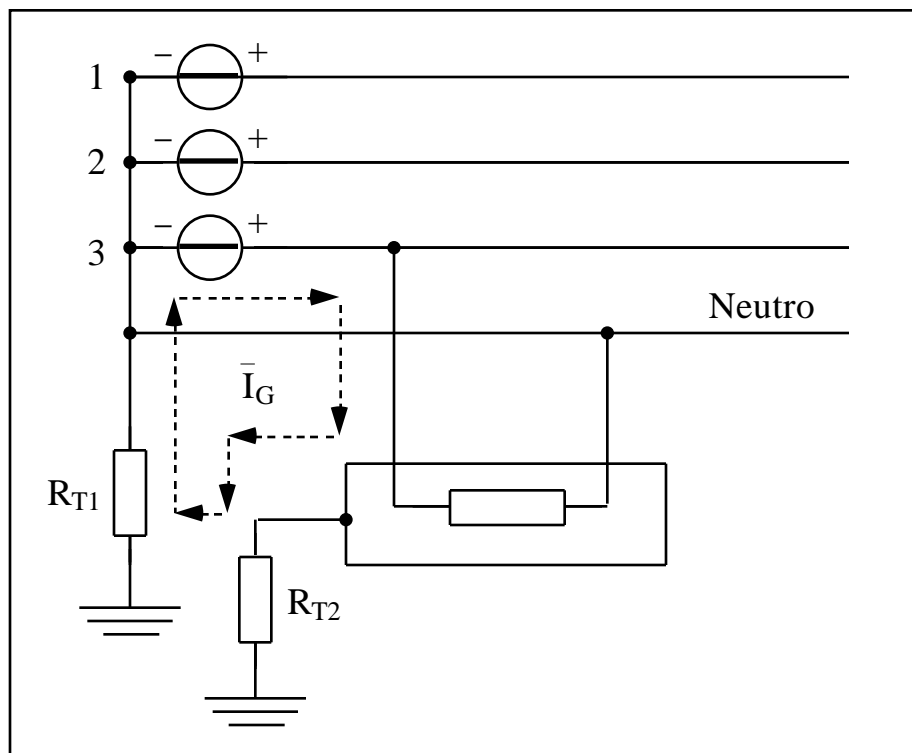
I valori tipici per un sistema trifase TT, detta  $V_O$  la tensione di fase, sono

$$V_O = (230 \div 400) \text{ V}, \quad R_{\text{NEUTRO}} < 1 \quad .$$

Il problema principale degli impianti TT è legato al fatto che per mantenere sulle masse una tensione inferiore alla tensione di sicurezza di 50 V, soltanto in caso di guasto ovviamente, si dovrebbe avere una resistenza di terra minore di 0.5  $\Omega$ , valida quando si ha a disposizione una potenza di 3 kW (abitazione civile). In questo caso, la corrente nominale è pari a 15 A e la corrente di cortocircuito, che è 7 ÷ 8 volte la corrente nominale, cioè circa 100 A. Si ha, allora,

$$R_{\text{TERRA}} = \frac{50 \text{ V}}{100 \text{ A}} = 0.5 \quad .$$

Da questi dati si intuisce che nei sistemi TT non è conveniente limitare la tensione di contatto sulle parti metalliche, in quanto sarebbero necessarie resistenze di terra difficilmente ottenibili negli impianti di bassa tensione: bisogna ricordare che, se si utilizzasse l'impianto di terra come metodo principale di sicurezza, si renderebbe il livello di tale sicurezza dipendente dalle variazioni di resistenza del neutro. Si devono, quindi, adottare metodi di apertura automatica del circuito in modo da limitare il permanere di tensioni pericolose sulle masse. Inoltre, nel caso di guasto non franco con resistenza di guasto diversa da zero, la corrente di guasto può essere molto bassa e ritardare perciò il tempo di intervento delle protezioni.



**Figura 6.25:** circuito di guasto a terra nei sistemi TT.

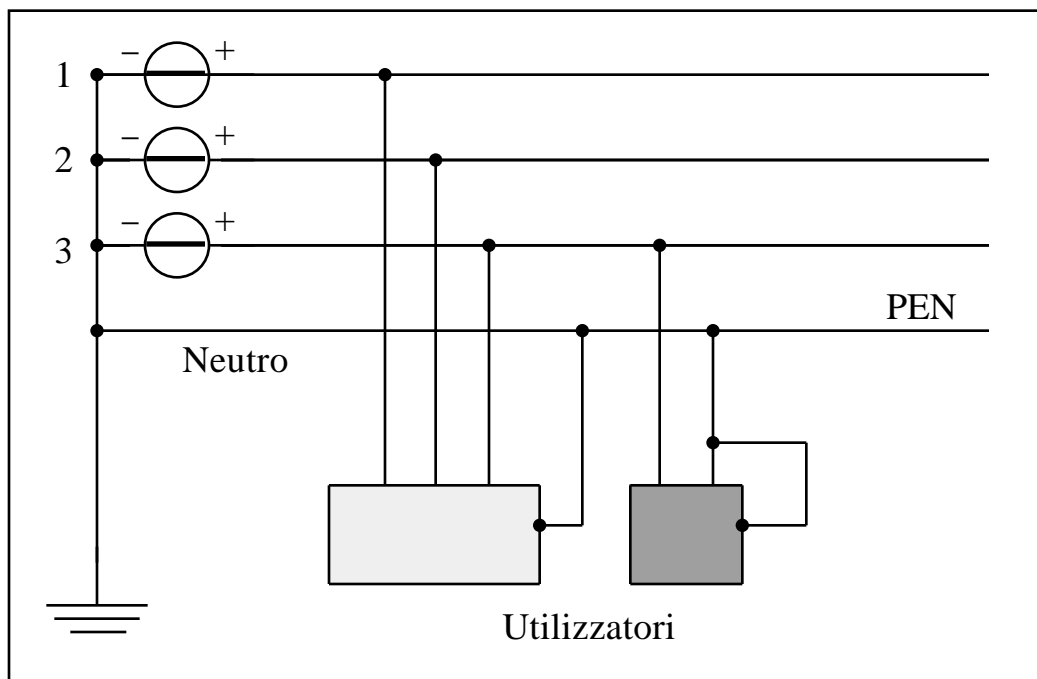
Da quanto detto, per fare in modo che, per qualunque valore della corrente di guasto, i dispositivi di interruzione automatica del circuito intervengano in modo da soddisfare la curva di sicurezza, è necessario utilizzare sistemi quali fusibili ed interruttori automatici: questi dispositivi a massima corrente difficilmente riescono a soddisfare la curva di sicurezza, essendo invece molto adatti a proteggere gli impianti dalle sovracorrenti. L'interruttore differenziale è, invece, il migliore strumento utilizzabile per la protezione delle persone contro in contatti indiretti e, per comprenderne il motivo, si osservi la Figura 6.25, che illustra il meccanismo di formazione di un circuito di guasto, riportato con una linea tratteggiata, in un sistema TT: la corrente di guasto, sostenuta dal secondario del trasformatore, è

limitata dalle sole resistenze dei due impianti di terra, essendo generalmente trascurabili le impedenze delle linee di collegamento e supponendo nulla quella del guasto interno (guasto franco). Di norma è  $R_{T2} > R_{T1}$  e questo valore di resistenza limita la corrente a valori talmente piccoli che gli interruttori di protezione non intervengono, a meno che non siano di tipo differenziale e di elevata sensibilità, causando problemi di sicurezza all'installazione; gli interruttori differenziali hanno la particolarità di intervenire, aprendo il circuito, quando la corrente differenziale supera la corrente nominale di intervento per la quale l'interruttore è stato costruito.

Una misura di protezione aggiuntiva è la cosiddetta 'equipotenzialità'. In uno stabile, è normale che esistano diverse parti conduttrici, come tubazioni e tondini, che hanno una resistenza verso terra diversa a seconda dell'estensione. Queste parti metalliche si comportano come masse estranee e, quindi, possono assumere potenziali diversi da quelli normali di terra con pericolo elevato in caso di contatto contemporaneo. È buona norma, quindi, collegare a terra tutte queste masse estranee con conseguente aumento della sicurezza, in quanto si diminuisce la resistenza di terra complessiva dell'impianto e si attenuano le tensioni di contatto.

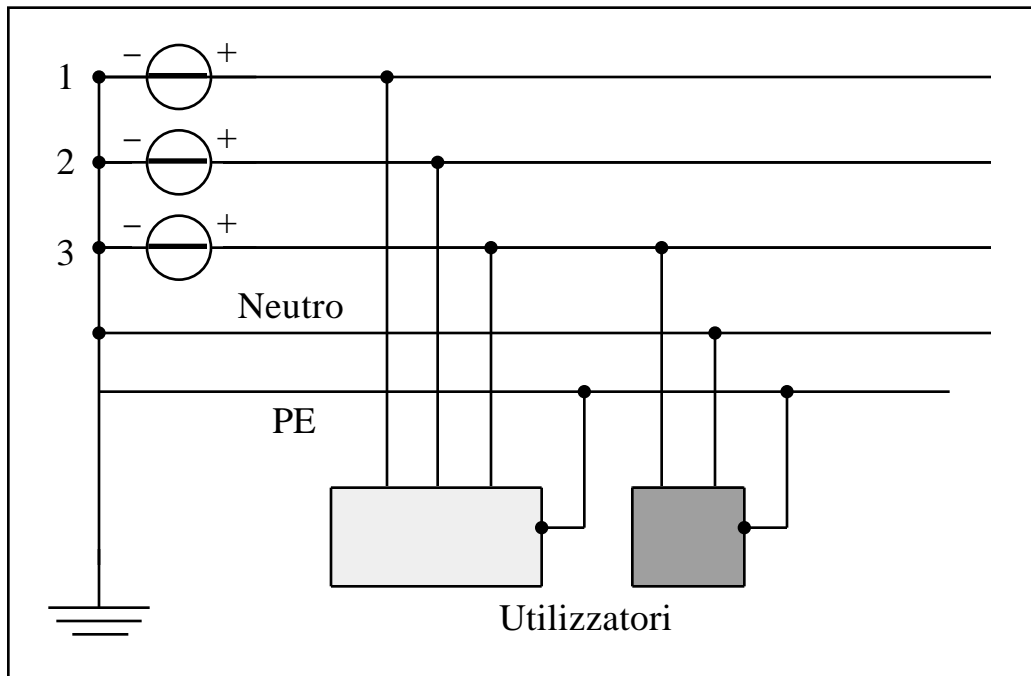
### • Sistemi TN

Si tratta di sistemi che hanno il neutro collegato direttamente a terra e le masse collegate al conduttore di neutro, secondo tre possibili schemi: sistemi TN - C, TN - S e TN - C - S.



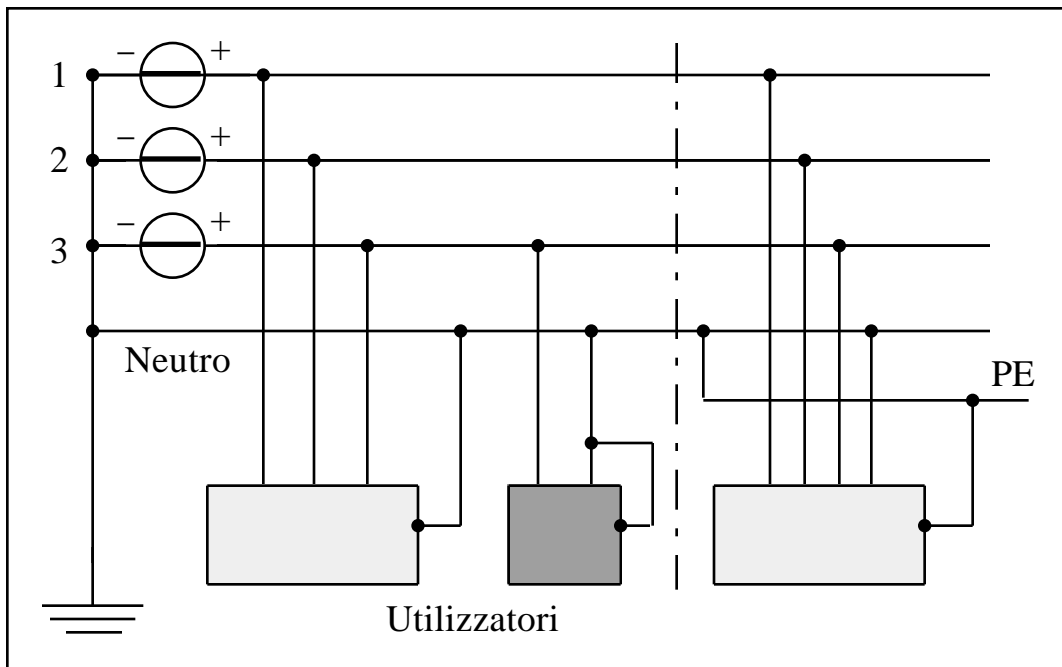
**Figura 6.26:** sistema TN - C.

Per il sistema **TN - C**, rappresentato in Figura 6.26, le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un solo conduttore, indicato, per convenzione, con PEN. Il neutro, cui sono collegate direttamente le masse, essendo anche un conduttore di protezione non deve essere sezionabile e deve avere una sezione che risponda ai requisiti della normativa sulla costruzione degli impianti di terra.



**Figura 6.27:** sistema TN - S.

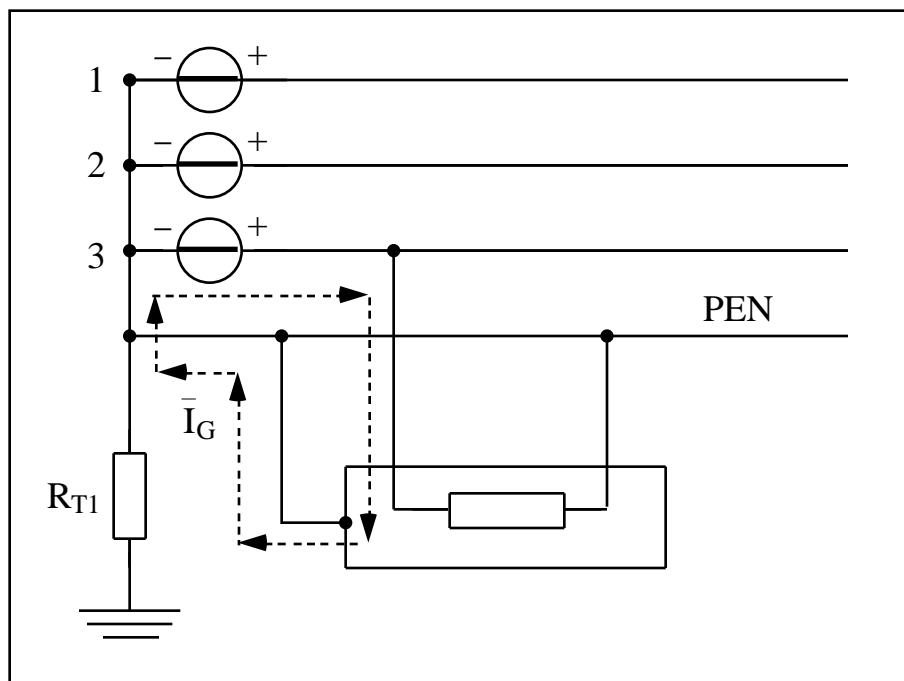
Il conduttore di neutro e quello di protezione sono, invece, separati nei sistemi **TN - S**.



**Figura 6.28:** sistema TN - C - S.

Le masse sono collegate, come mostrato in Figura 6.27, alla terra della cabina per mezzo del conduttore di protezione PE. Il neutro, non dovendo svolgere funzione di protezione, può essere sezionabile, senza aggravio per i costi a causa dell'adozione degli interruttori onnipolari.

Dall'unione dei due precedenti sistemi discende il sistema **TN - C - S**, mostrato in Figura 6.28 e costituito per una parte da un sistema TN - C e per un'altra parte da un sistema TN - S.



**Figura 6.29:** circuito di guasto nei sistemi TN.

In ogni caso, un circuito di guasto, quale che sia il tipo di sistema TN adottato, determina una elevata corrente di guasto che, alimentata dal secondario del trasformatore, si chiude su un circuito a bassissima impedenza, come schematicamente mostrato in Figura 6.29. Il circuito di guasto non interessa il terreno e l'elevato valore di corrente di guasto determina l'intervento di interruttori a massima corrente per proteggere il circuito. Prima che entrassero in uso interruttori differenziali ad elevata sensibilità, proprio la forte corrente di guasto rendeva i sistemi TN più sicuri rispetto ai sistemi TT. La sicurezza del sistema TN, tuttavia, è legata all'efficienza del neutro e dell'impianto di terra della società elettrica che gestisce il servizio. I sistemi TN sono, attualmente, in servizio nella distribuzione pubblica negli Stati Uniti, in Russia, in Canada, in Svizzera, in Svezia, in Brasile ed in Australia. Nel nostro paese, l'uso dei sistemi TN è consentito solo per impianti utilizzatori alimentati da una propria cabina o da una stazione di trasformazione.

Tornando al caso di guasto, la tensione alla quale è sottoposta la persona, che tocca l'apparecchiatura durante un guasto di questo tipo, dipende quasi esclusivamente dalle impedenze del conduttore di fase e di protezione: come si è già accennato, il guasto franco a massa può essere considerato un cortocircuito e la corrente è limitata solo dalle impedenze sopra citate. Per contenere le tensioni sulle masse al di sotto dei valori limite dettati dalla curva di sicurezza, si deve necessariamente ricorrere a dei metodi di interruzione automatica del circuito. Nei sistemi TN le correnti di guasto sono di solito di valore sufficientemente elevato da permettere l'utilizzo di sistemi a massima corrente (si è in presenza di un cortocircuito, anche se si sta studiando un contatto indiretto).

Non sempre, però, questi sistemi garantiscono i limiti voluti di sicurezza: nel caso di guasti nella parte terminale della linea, l'impedenza totale di guasto è molto grande e, quindi, la corrente di guasto più piccola; la tensione sulle masse, tuttavia, non diminuisce, mentre a causa della corrente minore, le protezioni a massima corrente non intervengono in tempo utile.

Una misura essenziale, per la limitazione delle tensioni sulle masse nei sistemi TN, è l'equipotenzialità. Come già visto per i sistemi TT, questa misura è auspicabile ovunque la si possa realizzare; nei sistemi TN, essa riduce la tensione di contatto, in quanto la resistenza di terra delle masse estranee viene a trovarsi in parallelo con l'impedenza del neutro. Inoltre, si abbassa la tensione di contatto contemporaneo con le masse estranee: se il collegamento equipotenziale viene effettuato più volte all'interno dello stesso edificio, questa condizione di sicurezza viene ulteriormente migliorata. L'obiettivo di questo collegamento è quello di diminuire la tensione di contatto contemporaneo con le masse estranee: se il collegamento equipotenziale viene effettuato più volte all'interno dello stesso edificio, questa condizione di sicurezza viene ulteriormente migliorata.

Le norme CEI prevedono una semplice relazione da soddisfare

$$\frac{V_0}{Z_{\text{GUASTO}}} > I_5 ,$$

in cui  $V_0$  rappresenta la tensione di fase,  $Z_{\text{GUASTO}}$  è il modulo dell'impedenza di guasto e  $I_5$  la corrente necessaria affinché le protezioni a massima corrente intervengano in un tempo inferiore a 5 secondi. La norma richiede solo questo, perché è molto difficile determinare il rapporto tra le impedenze di fase e di neutro, mentre è possibile conoscere l'impedenza totale di guasto. Inoltre, non sarebbe pratico misurare tale rapporto, né utile ai fini della sicurezza.

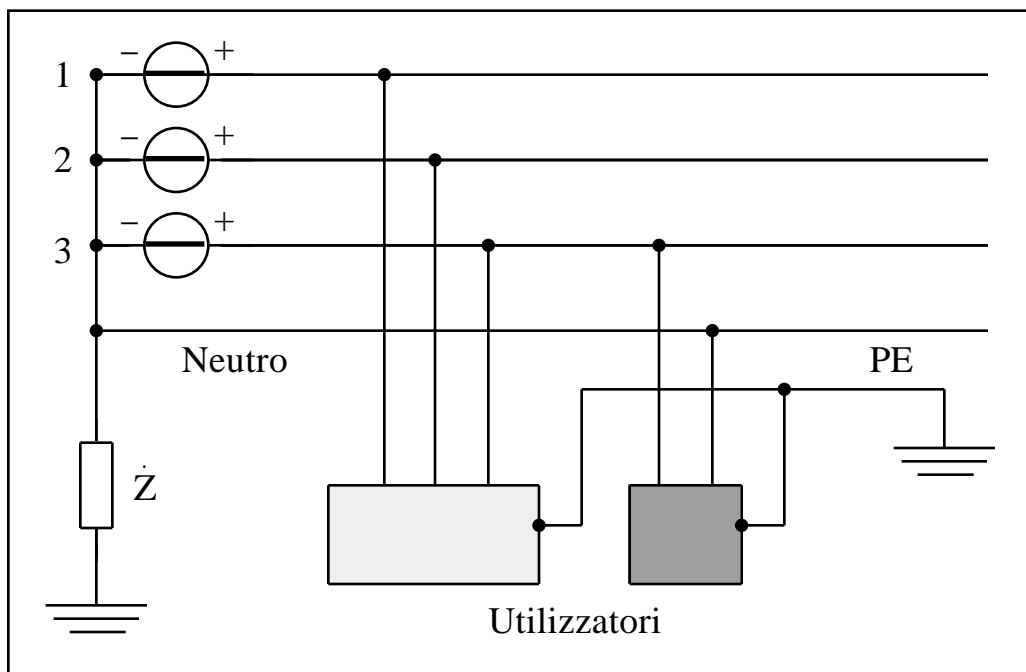
Una condizione estremamente critica si verifica quando il neutro assume valori di potenziale verso terra pericolosi. Bisogna ricordarsi che nei sistemi TN le masse sono collegate al conduttore di protezione oppure al neutro: in presenza di

condizioni anomale, le masse delle apparecchiature possono assumere potenziali diversi da zero senza che vi siano guasti di isolamento. In generale, queste condizioni anomale possono essere causate da tensioni sull'impianto di terra o sul conduttore di neutro.

Infine, nei sistemi TN, la protezione dei contatti diretti è affidata ai sistemi a massima corrente. A volte, però, non si ha la conoscenza a priori dell'impedenza di guasto per cui l'utilizzo degli interruttori differenziali si rende assolutamente necessario: l'utilizzo di questi interruttori permette l'apertura del circuito in tempi brevissimi, in quanto le correnti di guasto tipiche dei sistemi TN sono estremamente elevate. Si avrebbe, in questo caso, una protezione totale anche nel caso di guasti al termine della linea (impedenza di guasto molto grande) o nel caso di guasto non franco. L'interruttore differenziale non protegge, tuttavia, nel caso di anomalie del neutro.

### • Sistemi IT

Questi sistemi hanno le parti attive isolate da terra, o collegate per mezzo di un'impedenza, e le masse collegate a terra tramite il conduttore PE, come in Figura 6.30: il sistema di alimentazione è, in altri termini, completamente isolato da terra. In questo caso, il neutro è un conduttore attivo senza compiti di protezione e deve essere sempre sezionabile.



**Figura 6.30:** sistema IT.

La sua utilizzazione, a causa dei numerosi inconvenienti cui può dar luogo, non è molto diffusa. La norma CEI 11 - 1 esclude la possibilità di una distribuzione pubblica a bassa tensione con il sistema IT, che viene, invece, utilizzato in quegli

impianti, o parti di impianti, in cui è prevalente l'esigenza della continuità del servizio e, comunque, il suo esercizio è soggetto a numerose prescrizioni normative.

Se una apparecchiatura presenta un guasto franco verso terra, la corrente che scorre nella resistenza di terra è una corrente prevalentemente capacitiva: la capacità verso terra del sistema di alimentazione è dovuta essenzialmente alla capacità dei cavi. Il valore della corrente capacitiva, che scorre in caso di guasto franco a terra in un sistema IT, assume raramente valori pericolosi: normalmente questa corrente vale qualche ampere e supera la decina di ampere solo negli impianti più estesi, a maggiore capacità verso terra.

Il principale vantaggio dei sistemi IT, come si è già accennato, risiede nel fatto che non è necessario interrompere il servizio di erogazione al sopraggiungere di un primo guasto verso terra: questa caratteristica è particolarmente importante nei sistemi dove l'interruzione di energia elettrica causerebbe gravi danni economici o metterebbe in pericolo la sicurezza delle persone: si pensi a locali ospedalieri di pronto intervento oppure ai sistemi di illuminazione di sicurezza. Nonostante ciò, i sistemi IT non presentano alcun vantaggio nei confronti dei contatti diretti: la corrente di guasto è minore che in altri sistemi, ma pur sempre pericolosa. Esistono, inoltre, condizioni molto pericolose anche nei sistemi IT, dovute essenzialmente a sovratensioni o di secondo guasto a terra.

Le sovratensioni possono causare gravi danni sia a persone che ad apparecchiature, in quanto causano condizioni di lavoro dell'apparecchiatura molto diverse da quelle normali. In genere, sono causate da contatti con sistemi a tensione superiore, risonanze o primi guasti a terra: si pensi al caso di un primo guasto a terra, in cui le varie fasi possono assumere valori di tensione verso terra pari alla somma (vettoriale) delle tensioni presenti sulle varie fasi, proprio a causa del collegamento di terra dovuto al guasto. Queste tensioni anomale possono permanere per un tempo molto lungo e causare quindi danni agli isolamenti.

Il secondo guasto a terra è, invece, molto pericoloso, in quanto le condizioni di sicurezza precedentemente fissate non sono più rispettate. Si crea una situazione molto pericolosa, in quanto si genera una corrente di guasto alimentata da una tensione pari alla somma (vettoriale) delle tensioni sulle singole fasi: la sola cosa da fare è fare intervenire un sistema di protezione su entrambe le fasi, capace di interrompere l'erogazione del servizio. Si deve, pertanto, prevedere un controllo continuo dell'isolamento delle fasi verso terra, al fine di determinare il primo guasto a terra. Così facendo, è possibile ridurre il tempo di permanenza di condizioni anomale sull'impianto, limitando il rischio di secondo guasto a terra. Il sistema più semplice per effettuare questo controllo consiste nel collegare una lampada tra ogni fase e la terra: le lampade, collegate in tal modo, sono tutte

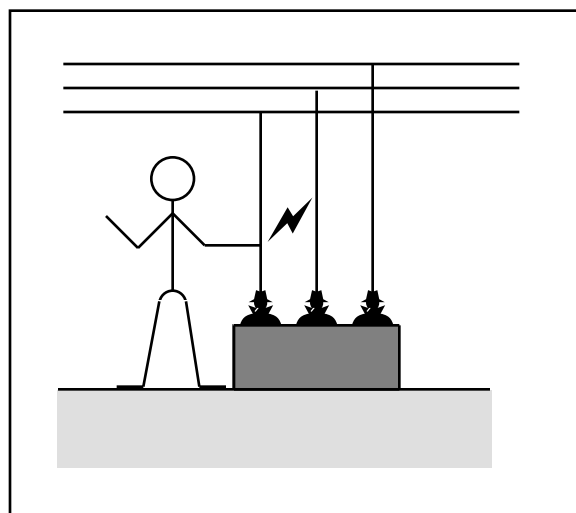
illuminate in condizioni normali; in presenza di un primo guasto a terra una delle lampade si spegne mentre le altre diventano più luminose.

## 6.5 Tipi di contatto e di isolamento

Una persona è percorsa da una corrente elettrica quando le parti diverse del suo corpo vengono in contatto, accidentale o meno, con oggetti a diverso potenziale. Gli incidenti elettrici vengono classificati in due grosse categorie a seconda del contatto dal quale deriva la folgorazione del malcapitato.

### » Contatto diretto

Si verifica ogni qual volta la persona viene accidentalmente in contatto con parti di un impianto elettrico o dell'apparecchiatura normalmente in tensione, come in Figura 6.31. Questo può avvenire a causa di azioni incaute, come tagliare cavi sotto tensione con una forbice non isolata, o perché una parte dell'impianto è diventata improvvisamente accessibile, ad esempio per la guaina danneggiata di un conduttore. Nella classe dei contatti diretti, dobbiamo includere anche il caso di masse estranee, quali tubazioni, che entrano casualmente in contatto con parti in tensione. Queste parti, non essendo considerate delle vere e proprie masse, causano un contatto diretto quando sono casualmente sotto tensione.

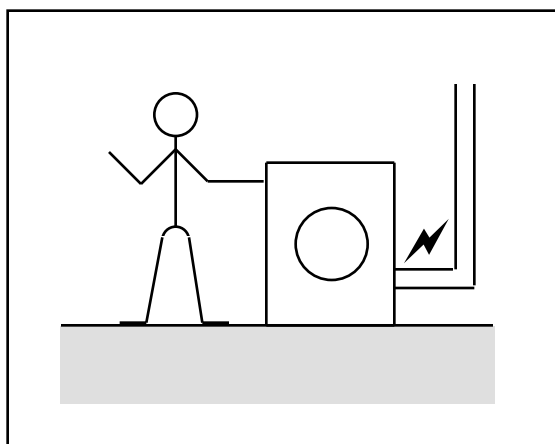


**Figura 6.31:** esempio di contatto diretto.

### » Contatto indiretto

Si parla, invece, di contatto indiretto quando una persona viene in contatto con parti metalliche che normalmente non dovrebbero essere in tensione, ma che lo sono a causa di un difetto di isolamento, come la carcassa di un elettrodomestico mostrata in Figura 6.32, in occasione di una dispersione di corrente verso terra. Questo tipo di contatto è normalmente più pericoloso di quello diretto, in quanto l'utilizzo delle

apparecchiature mette molto spesso l'operatore nelle condizioni di dover toccare delle parti di massa: la sicurezza globale dipende, quindi, solo ed esclusivamente dal sistema di protezione adottato.



**Figura 6.32:** esempio di contatto indiretto.

Per comprendere appieno le definizioni riportate, è utile classificare i vari tipi di isolamento.

#### 1. Isolamento funzionale

Si tratta di un isolamento che rende possibile il funzionamento dell'apparecchiatura elettrica, mantenendo isolate tra loro le parti a diversa tensione.

#### 2. Isolamento principale

È quello che normalmente avvolge i conduttori in tensione evitando che vengano a contatto con il corpo umano. In pratica, si tratta di un involucro, tipicamente in PVC, che ricopre i conduttori nudi. L'isolamento principale e quello funzionale non sempre coincidono: in una linea aerea l'aria tra i conduttori fornisce un isolante funzionale, ma manca l'isolamento principale.

#### 3. Isolamento supplementare

Viene tipicamente aggiunto all'isolamento principale per assicurare la protezione dalle tensioni di contatto in caso di cedimento di quest'ultimo. L'insieme dei due viene detto **doppio isolamento**.

#### 4. Isolamento rinforzato

Si tratta di un unico isolamento in grado di assicurare lo stesso grado di protezione, rispetto alle sollecitazioni elettriche e meccaniche, del doppio isolamento.

Oltre alla classificazione dei sistemi elettrici in categorie, anche gli apparecchi sono stati suddivisi secondo il loro grado di protezione contro possibili incidenti elettrici. In particolare, in relazione al rischio da contatto indiretto, i componenti elettrici vengono classificati in quattro diverse classi, riassunte brevemente nella tabella seguente.

Classe	Descrizione
0	Componente di classe zero è quello destinato ad essere usato in locali completamente isolati, per cui, la protezione risiede nell'ambiente e non occorre prendere provvedimenti contro i contatti nell'apparecchio. Un caso particolare di questa classe è costituita dagli apparecchi che hanno una alimentazione elettrica autonoma e di bassa potenza, ad esempio, apparecchi a batteria ed accumulatori.
I	Componente di classe uno è quello destinato ad essere protetto mediante l'interruzione automatica del circuito, per cui è dotato di isolamento principale e la massa è munita di un morsetto per il collegamento del conduttore di protezione. Questo tipo di protezione è anche denominata protezione attiva.
II	Apparecchio di classe due è quello con isolamento doppio o rinforzato, ma privi di collegamento delle masse al conduttore di protezione.
III	Componente di classe tre è quello alimentato con bassissima tensione (BTS) non superiore al limite di sicurezza. Questi apparecchi non dispongono di sistemi di protezione, perché la protezione risiede nel dispositivo di alimentazione.

## 6.6 Protezioni contro il contatto diretto

La norma CEI 64 - 8 prescrive che le persone devono essere protette dai pericoli che possono derivare dal contatto diretto con le parti attive di un impianto, di categoria zero o prima, o facendo in modo che non circoli corrente attraverso il corpo, limitandola comunque a valori non pericolosi.

### • Protezione totale

Le misure di protezione totale impediscono sia il contatto accidentale, sia quello volontario, a patto di non usare attrezzi o di danneggiare il sistema di protezione. Esse vengono adottate normalmente nel caso di impianti accessibili anche a persone non addestrate, cioè persone non aventi conoscenze tecniche o sufficiente esperienza per evitare i pericoli dell'elettricità e consistono o nell'isolamento delle parti attive, o nella protezione con involucri o barriere. Precisamente la norma CEI 64 - 8, al fine di specificare il grado di protezione meccanica degli apparecchi, definisce, come segue, un involucro, una barriera ed un ostacolo.

#### 2.1.57. Involucro

Elemento che assicura un grado di protezione appropriato contro determinati agenti esterni ed un determinato grado di protezione contro i contatti diretti in ogni direzione.

#### 2.1.58. Barriera

Elemento che assicura un determinato grado di protezione contro i contatti diretti nelle direzioni abituali di accesso.

#### 2.1.59. Ostacolo

Elemento inteso a prevenire il contatto involontario con le parti attive, ma che non impedisce il contatto intenzionale.

Le parti attive, normalmente in tensione, vanno ricoperte completamente con uno strato isolante non rimovibile, a meno che non venga distrutto, in grado di resistere agli sforzi meccanici, elettrici e termici che si manifestano durante il funzionamento. È pure evidente che i morsetti, ad esempio, non possono essere completamente isolati: in tal caso, la protezione può essere effettuata per mezzo di involucri e barriere che, saldamente fissati, devono avere sufficiente stabilità e durata nel tempo, a seconda delle condizioni di servizio ed ambientali. Gli involucri assicurano un certo grado di protezione contro la penetrazione di corpi solidi o liquidi, mentre le barriere assicurano soltanto un certo grado di protezione contro i contatti diretti lungo le direzioni normali di accesso. L'apertura degli involucri esterni o la rimozione delle barriere sono soggetti a determinate limitazioni, come l'uso di una chiave o di un attrezzo, oppure di barriere intermedie.

Le norme IEC utilizzano la sigla IP seguita da due numeri: il primo indica la protezione contro i corpi estranei o comunque contro i contatti diretti, mentre il secondo quella contro i liquidi. Se, per caso, si deve indicare uno solo dei due gradi di protezione, si pone una X al posto del numero mancante. Così il grado di protezione IP2X indica che, come si evince dalla tabella che segue, le parti attive sono inaccessibili al normale tentativo di contatto.

<b>Grado di protezione contro corpi estranei</b>	<b>Prova di validazione</b>
1	Una sfera di 50 mm di diametro non deve poter passare attraverso l'involucro e/o entrare in contatto con parti attive oppure in movimento.
2	Il cosiddetto dito di prova non deve entrare in contatto con parti attive oppure in movimento. Inoltre una sfera di 12 mm di diametro non deve poter passare attraverso l'involucro.
3	Un filo di 2.5 mm di diametro non deve poter passare attraverso l'involucro.

4	Un filo di 1 mm di diametro non deve poter passare attraverso l'involucro.
5	Con l'apparecchiatura in una camera a polvere di talco in sospensione, si deve verificare che la quantità di polvere che entra nell'apparecchiatura stessa non superi un certo quantitativo.
6	Con l'apparecchiatura in una camera a polvere di talco in sospensione, si deve verificare che la quantità di polvere che entra nell'apparecchiatura stessa sia nulla.

La tabella che segue indica, invece, il grado di protezione contro i liquidi.

<b>Grado di protezione contro liquidi</b>	<b>Prova di validazione</b>
1	L'apparecchiatura deve essere protetta contro la caduta di gocce in verticale.
2	L'apparecchiatura deve essere protetta contro la caduta di gocce con una angolazione massima di 15 gradi.
3	L'apparecchiatura deve essere protetta contro la pioggia.
4	L'apparecchiatura deve essere protetta contro gli spruzzi.
5	L'apparecchiatura deve essere protetta contro i getti d'acqua.
6	L'apparecchiatura deve essere protetta contro le ondate.
7	L'apparecchiatura deve essere protetta contro l'immersione.
8	L'apparecchiatura deve essere protetta contro l'immersione a tempo indefinito ed a profondità specificata.

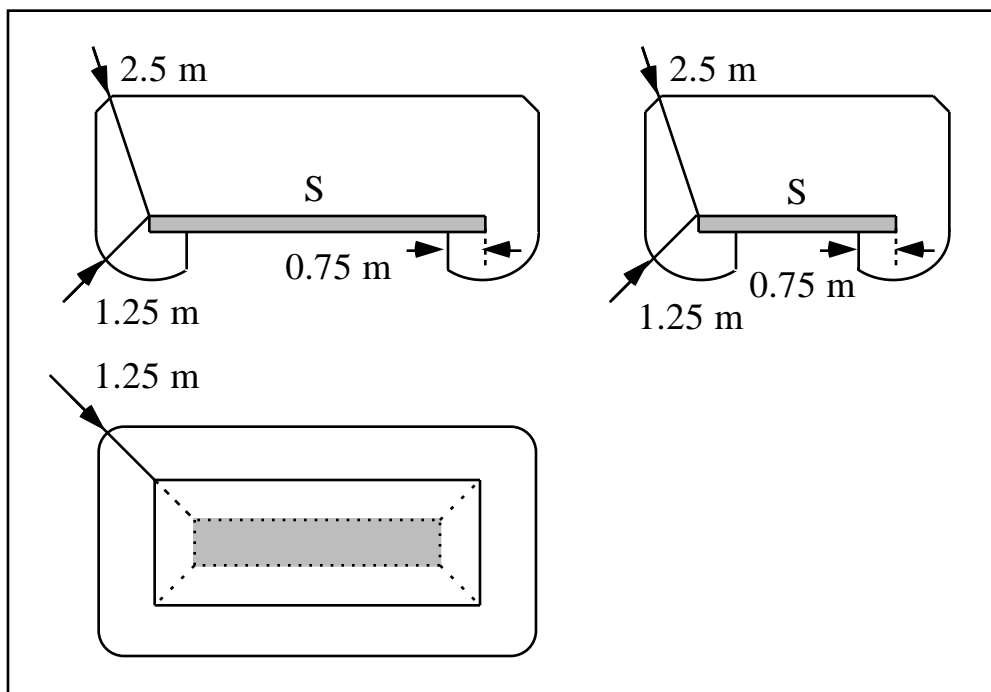
Alcune delle prove di test del grado di protezione vengono effettuate con appositi strumenti in grado di verificare la validità delle protezioni utilizzate. Come suggerito dalle due tabelle precedenti, si utilizzano sfere di varie dimensioni, fili di diverso diametro ed alcuni strumenti che si chiamano rispettivamente dito di prova, spina di prova, ago di prova e cono di prova, tutti strumenti citati nella norma CEI 64 - 8. Il dito di prova riproduce abbastanza fedelmente il dito di una mano e permette di verificare l'efficacia delle barriere di protezione contro i contatti

diretti. La spina, l'ago ed il cono di prova riproducono oggetti metallici di uso comune, coltelli, cacciavite, e così via, utilizzabili per toccare facilmente parti normalmente in tensione e difficilmente accessibili.

### • Protezione parziale

Le misure di protezione parziale hanno il compito di proteggere solo dai contatti accidentali e vengono usate in luoghi accessibili solo ad un personale addestrato, essendo realizzate mediante ostacoli o distanziamento. Le cabine elettriche, le sale macchine ed altri locali di questo tipo, sono di solito locali senza protezioni totali contro i contatti diretti in quanto si suppone che le persone che accedono ai suddetti locali siano tecnici addestrati.

Gli ostacoli impediscono, ovviamente, l'avvicinamento accidentale del corpo a parti attive; il distanziamento si realizza quando parti conduttrici, quali elementi in tensione, masse, pavimenti e pareti non isolate, simultaneamente accessibili, che distano tra loro non più di 2.5 m in verticale e non più di 2 m in orizzontale, sono poste fuori della portata di mano, ovvero all'esterno del volume che si estende attorno al piano S di calpestio dei luoghi ordinatamente occupati o percorsi dal personale e limitato dalla superficie che la mano non può raggiungere senza far uso di mezzi ausiliari. Convenzionalmente questo volume è delimitato come mostrato in Figura 6.33.



**Figura 6.33:** parti convenzionalmente 'a portata di mano'.

Quanto detto si può ritrovare nella norma CEI 64 - 8.

#### 2.1.61. Parti simultaneamente accessibili

Conduttori o parti conduttrici che possono essere toccati simultaneamente da una persona; convenzionalmente si ritengono simultaneamente accessibili due parti che distano fra di loro non più di 2.5 m in verticale o di 2.5 m in orizzontale (1.25 m se entrambi fuori dalla portata di mano). Nei posti dove vengono usualmente manipolati oggetti conduttori di grande lunghezza o volume, le distanze sopra dette devono essere adeguatamente aumentate. Parti simultaneamente accessibili possono essere ad esempio: parti attive, masse, masse estranee, conduttori di protezione, dispersori, pavimenti e pareti non isolanti.

#### 2.1.62. Parti a portata di mano

Conduttori o parti conduttrici situati nel volume che si estende attorno al piano di calpestio (o di transito) dei luoghi ordinariamente occupati (o percorsi) da persone e limitato dalla superficie che la mano non può raggiungere senza far uso di mezzi ausiliari; convenzionalmente tale volume è delineato come in figura.

#### • Misure addizionali

Le norme prevedono l'impiego di un interruttore differenziale, con corrente nominale non superiore a 30 mA, quale misura addizionale di protezione contro i contatti diretti, da associare a quelli esaminati un precedenza. Questo dispositivo aumenta significativamente la sicurezza dell'utente, ma non può essere riconosciuto come misura di protezione completa contro i contatti diretti, in quanto non consente di evitare gli infortuni provocati dal contatto bipolare con due fasi del circuito. Nelle installazioni civili oppure industriali, anche se non espressamente richiesto, l'uso di interruttori differenziali ad alta sensibilità è sempre utile; qualora tutte le altre misure di protezione risultassero inefficaci, esso è l'unico dispositivo in grado di interrompere il circuito. Il rischio, però, sta nel considerare l'interruttore differenziale ad alta sensibilità come la panacea per ogni male: questa illusione può risultare dannosa, dato che fa trascurare le altre misure di protezione che devono, invece, sempre essere integrate tra loro.

### **6.7 Protezioni contro il contatto indiretto**

Il metodo più semplice e comune, per la protezione dal contatto indiretto, consiste nel collegare a terra la massa dell'apparecchio, utilizzando un apposito cavo detto di protezione. Inoltre, quasi tutti i sistemi di protezione contro i contatti indiretti prevedono l'interruzione automatica del circuito mediante dispositivi di sezionamento. Le norme CEI prescrivono, per la protezione contro il contatto indiretto, diversi sistemi che si possono annoverare in due grandi categorie: i sistemi che per la protezione prevedono l'interruzione automatica del circuito e quelli che non la prevedono. Nel prossimo paragrafo verranno esaminati i sistemi di sicurezza a bassissima tensione, idonei alla protezione contro il contatto diretto

ed indiretto, in cui si realizza la separazione dei circuiti e l'apparecchiatura è alimentata attraverso un trasformatore d'isolamento che separa il secondario da qualunque altro circuito elettrico o di terra.

#### • **Protezione con interruzione automatica del circuito**

Il metodo più diffuso per proteggere le persone contro i contatti indiretti è quello della interruzione automatica: si realizza ciò per mezzo di un coordinamento tra l'impianto di terra ed un dispositivo che apre il circuito ogni volta che si verifichi un guasto. Solo combinando le caratteristiche di questi dispositivi con l'impianto di terra si può ottenere un elevato grado di sicurezza.

I dispositivi che attuano l'apertura del circuito appartengono fondamentalmente a due categorie:

- interruttori a massima corrente;
- interruttori differenziali.

Per dispositivi di protezione a massima corrente si intendono generalmente i fusibili e gli interruttori automatici. Durante un contatto, la corrente che attraversa il corpo della persona interessata, a volte non è sufficiente per far intervenire questi dispositivi ed, inoltre, i tempi di intervento di queste protezioni sono in genere abbastanza lunghi e comunque accettabili solo in caso di forti correnti. I sistemi di protezione attiva a massima corrente, dunque, possono essere non sufficienti ad aprire il circuito in un tempo tale da garantire l'incolumità dello sfortunato protagonista dell'incidente elettrico: gli unici dispositivi di protezione utilizzabili sono allora gli interruttori differenziali. Questi dispositivi, come dice il nome stesso, sono in grado di misurare la differenza di corrente tra le varie fasi ed intervengono nel caso in cui questa differenza superi un certo valore limite. L'interruttore differenziale viene considerato come una misura di protezione addizionale e non sostitutiva di altre, attive o passive. In particolare, questo tipo di protezione attiva non è in grado di sostituire un impianto di terra e quindi si richiede **sempre** che le parti metalliche accessibili siano collegate a terra. Questa misura addizionale garantisce anche l'intervento immediato dell'interruttore differenziale in caso di guasto; se la carcassa metallica non fosse collegata a terra, l'interruttore entrerebbe in funzione solo a causa della corrente che fluisce attraverso la persona. Questo, se non pericoloso, potrebbe essere quanto meno un effetto spiacevole per il malcapitato.

Ora, da quanto detto in precedenza quando si sono definiti i sistemi TT e TN, risulta evidente che, nei sistemi TT, si ottiene un elevato grado di protezione adoperando interruttori differenziali; viceversa, nei sistemi TN, gli interruttori a massima corrente fanno la parte del leone.

Tutti i dispositivi di interruzione automatica devono, in ogni caso, intervenire entro un tempo limite dettato da una curva tensione-tempo, detta curva di sicurezza. Questa curva mette in relazione la tensione applicata al corpo umano ed il massimo tempo di intervento delle protezioni per rimanere in condizioni di sicurezza.

Tensione di contatto in ca (V)	Tensione di contatto in cc (V)	Tempo di sopportabilità (s)
< 50	< 120	infinito
50	120	5
75	140	1
90	160	0.5
110	175	0.2
150	200	0.1
220	250	0.05
280	310	0.03

La tabella precedente è tratta dalla norma IEC 364 e fa riferimento alle massime tensioni di contatto a vuoto. La tensione che corrisponde al tempo di sopportabilità di 5 secondi viene chiamata tensione di contatto limite. In questa tabella i valori della resistenza del corpo umano e della persona verso terra sono state scelte in modo da ottenere valori massimi di tensione di contatto e garantire così il caso peggiore.

Per comprendere fino in fondo le relazioni sulle quali si fonda il coordinamento tra l'impianto di terra ed i dispositivi di apertura del circuito, è bene sottolineare che la protezione contro i contatti indiretti è efficace quando la tensione di contatto non supera un valore limite convenzionale  $V_L$ , posto a 50 V per gli ambienti ordinari ed a 25 V per ambienti ed applicazioni particolari. Si noti che per tensione di contatto le norme fanno riferimento alla tensione di contatto a vuoto, cioè a quella tensione assunta dalla massa in occasione di un guasto di isolamento senza che, però, vi sia contatto con la persona. Questa tensione è superiore, al più uguale, a quella di contatto effettiva e questo va a tutto vantaggio della sicurezza.

» Coordinamento con il relè a massima corrente

Se la resistenza di terra  $R_T$  è sufficientemente piccola, detta  $I_A$  la corrente che provoca l'intervento automatico del dispositivo di protezione entro 5 secondi, ha senso ottenere la limitazione della tensione di contatto

$$R_T I_A \leq V_L$$

per mezzo di interruttori a massima corrente. Questo tipo di interruttore, per essere efficace, ha bisogno di essere attraversato da una corrente non piccola, proprio come accade nei sistemi TN.

» Coordinamento con il relè differenziale

Una resistenza di terra relativamente elevata può vanificare la funzione protettiva dell'interruttore a massima corrente. In tal caso, bisogna affidarsi ad un relè differenziale, la cui sensibilità possa essere 'tarata' sul valore della resistenza di terra effettivamente disponibile. La limitazione della tensione di contatto può risciversi in questo caso come una disuguaglianza per la resistenza di terra

$$R_T \leq \frac{V_L}{I_N},$$

in cui con  $I_N$  si è indicato il valore della corrente differenziale che determina l'intervento dell'interruttore automatico.

$I_N$ (A)	10	1	0.1	0.01	0.001
$R_T$ ( )	5	50	500	5 k	50 k

La tabella precedente mostra la versatilità e l'efficacia dell'interruttore differenziale nel caso di una tensione limite di contatto per ambienti ordinari. I valori più comuni di corrente, espressamente previsti da decreti e capitolati, sono 10 mA e 30 mA, il più piccolo dei quali viene prudenzialmente adottato nei casi che richiedono un elevato margine di sicurezza, come gli ospedali, le piscine ed i bagni.

» Due casi concreti

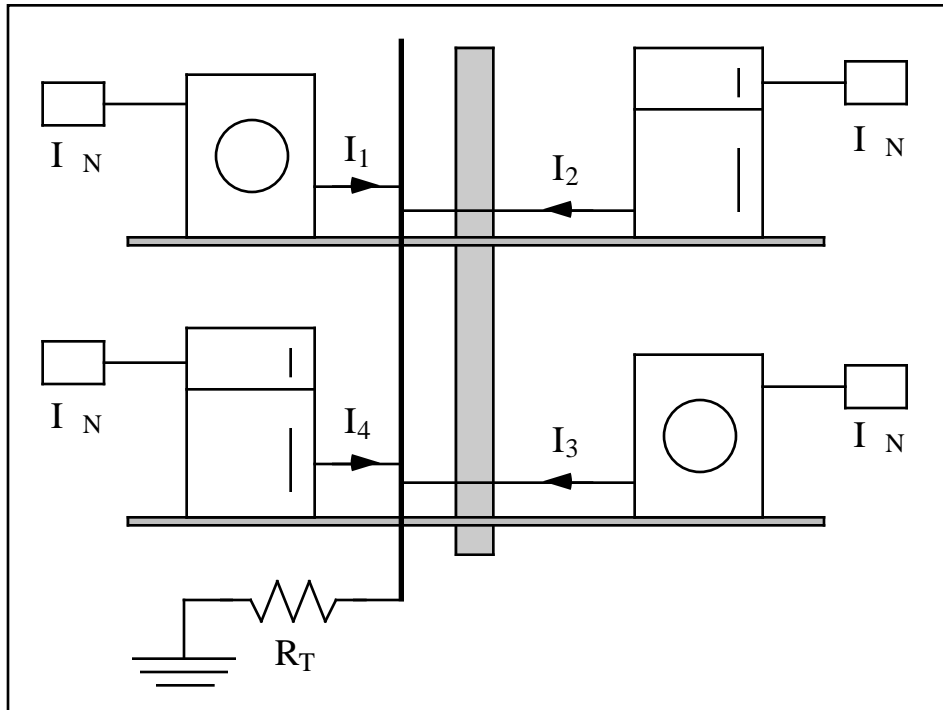
In questa sezione si vuole applicare le cose dette a due casi che, frequentemente, si presentano nella pratica tecnica.

Il **primo caso** interessante è mostrato in Figura 6.34. Si supponga che ciascuna utenza, per difetto di isolamento, disperda verso terra una corrente  $I_k$ , tanto piccola da rimanere al di sotto della soglia di sensibilità  $I_N$  della protezione differenziale. Trascurando, per semplicità, le componenti reattive dei carichi, possiamo affermare che la corrente di dispersione totale verso terra è semplicemente la somma delle singole correnti disperse

$$I_{TOT} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4,$$

mentre la tensione di contatto a vuoto vale

$$V_C = R_T (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) .$$



**Figura 6.34:** messa a terra condominiale.

Se questa tensione di contatto supera il valore limite previsto dalle norme, si può creare una situazione pericolosa. La resistenza di terra andrà, dunque, coordinata tenendo conto anche di questa corrente dispersa, e non solo di quella differenziale. In altri termini bisogna imporre che

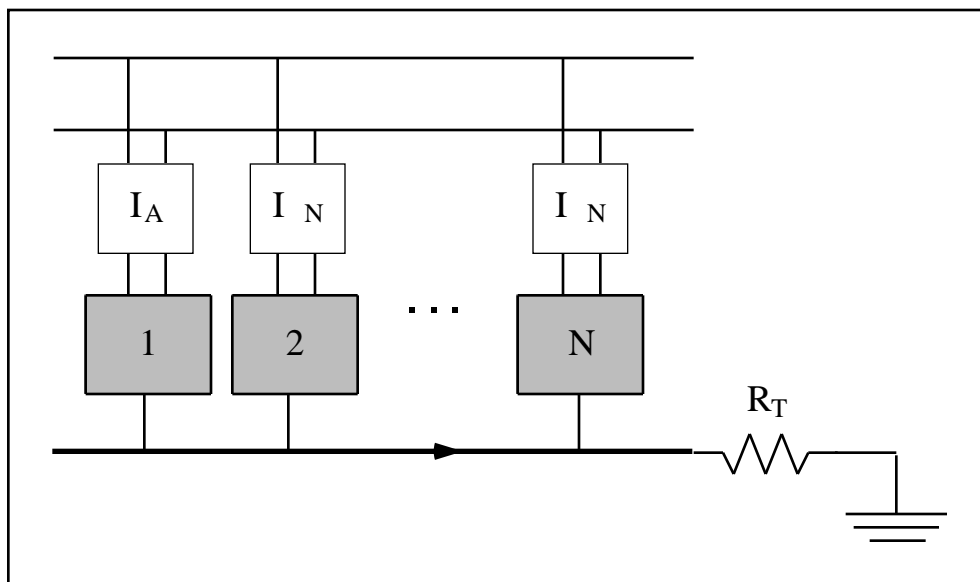
$$R_T \frac{V_L}{I_N + I_1 + I_2 + I_3 + \dots} ,$$

che mostra la necessità di una diminuzione, anche significativa, della resistenza di terra.

Il **secondo caso** ha interesse perché rappresenta una situazione realmente molto pericolosa. Si consideri ancora un condominio in cui tutti i residenti hanno installato interruttori di tipo differenziale, tranne uno che è a massima corrente, come mostrato in Figura 6.35. Le norme di sicurezza impongono che la resistenza di terra sia contenuta a valori molto piccoli

$$R_T \frac{V_L}{I_A} ,$$

dato che la corrente  $I_A$  può non essere piccola. Qualora questo vincolo non venisse rispettato, nonostante che la maggior parte dei condomini sia dotata di differenziale, potrebbero instaurarsi pericolose tensioni di contatto e la presenza dei salvavita negli appartamenti finirebbe con l'indurre un mal riposto senso di sicurezza.



**Figura 6.35:** una situazione potenzialmente pericolosa.

Questa situazione, che è estremamente diffusa nei condomini, andrebbe sanata con l'obbligo, prescritto dalla Legge 46 del 1990, di installazione generalizzata della protezione differenziale.

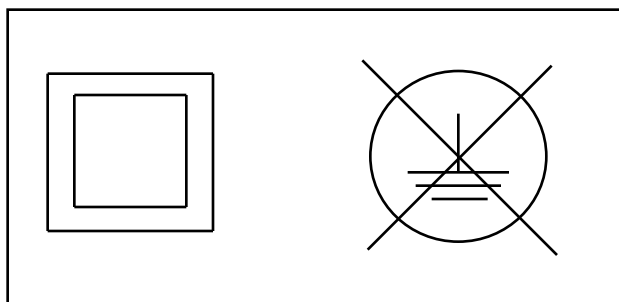
#### • Protezione senza interruzione automatica del circuito

Questo secondo tipo di protezione rappresenta un'azione preventiva, atta ad impedire che possano verificarsi condizioni di pericolo e la mancata interruzione del circuito va tutta a vantaggio della continuità del servizio.

##### » Componenti di II classe

Questo tipo di protezione consiste nell'utilizzare materiale elettrico, come conduttori ed apparecchi, con doppio isolamento o con isolamento equivalente, proprio quelli che sono stati definiti componenti di II classe, non provvisti di alcun dispositivo per il collegamento al conduttore di protezione (PE).

Appartengono a questa categoria tutti quei componenti che riportano sull'involucro il segno grafico, mostrato in Figura 6.36, costituito da due quadrati inseriti l'uno nell'altro. Questa tecnica di protezione può essere usata in ogni tipo di impianto. Normalmente essa interessa alcuni elettrodomestici, utensili elettrici o parti di impianto: il resto dell'impianto viene protetto con interruzione automatica.



**Figura 6.36:** apparecchio di II classe e divieto di collegamento a terra.

» Separazione elettrica

Un trasformatore di isolamento è un trasformatore caratterizzato da una separazione elettrica tra l'avvolgimento primario e quello secondario. Questa separazione è ottenuta mediante un doppio isolamento, oppure per mezzo di un isolamento rinforzato. La tensione nominale del circuito secondario non deve superare 500 V, mentre la potenza del trasformatore non deve superare 25 kVA se monofase, 40 kVA se trifase.

Si ottiene una protezione per il contatto indiretto mediante isolamento da terra del circuito elettrico che deve essere alimentato da un trasformatore di isolamento conforme alla norma CEI 14 - 6, oppure impiegando sorgenti di energia che presentino analoghe caratteristiche di sicurezza, per quel che riguarda la separazione elettrica tra circuito primario e secondario. Il circuito separato non deve, pertanto, avere parti attive in contatto con altri circuiti o connesse a terra; deve presentare un livello di isolamento equivalente a quello della classe II rispetto alle masse ed agli altri sistemi elettrici eventualmente presenti.

Se il circuito alimenta un solo utilizzatore la sua massa deve rimanere isolata; se alimenta più utilizzatori, le masse vanno collegate tra loro, ma non al conduttore di protezione del circuito principale. Le prese devono avere il contatto di terra collegato al conduttore equipotenziale, mentre gli utilizzatori, quelli di classe II esclusi, devono essere muniti di conduttore da utilizzare come conduttore equipotenziale. Nel caso in cui si verificano due guasti a massa su due fasi distinte, è obbligatoria la protezione contro le sovracorrenti.

» Locali equipotenziali

In questo tipo di locale tutte le parti con le quali una persona può venire in contatto, pavimento e pareti comprese, sono allo stesso potenziale che agisce sulla persona. L'unico reale pericolo è rappresentato dall'interruzione del collegamento equipotenziale che comporterebbe pericolose tensioni tra masse non più collegate. L'impianto deve essere sotto il controllo di personale addestrato ed il locale equipotenziale non va in alcun modo collegato a terra, nemmeno attraverso masse estranee. Questa tecnica, comunque, non è idonea per gli edifici residenziali.

#### » Locali isolanti

Si tratta di interporre tra il luogo da proteggere e l'ambiente esterno un isolamento supplementare in modo che, pure adoperando apparecchi di classe zero, abbiamo una protezione equivalente a quella che si ottiene con gli apparecchi di seconda classe. La norma CEI 64 - 8 specifica che:

- ⌘ le pareti ed i pavimenti devono avere una resistenza verso terra non inferiore a 50 k $\Omega$  per tensioni nominali non superiori a 500 V, una resistenza verso terra di 100 k $\Omega$  per tensioni nominali superiori a 500 V;
- ⌘ le masse non vanno collegate ad alcun conduttore di protezione;
- ⌘ le masse estranee uscenti dal locale vanno interrotte per mezzo di elementi isolanti allo scopo di non indurre potenziale pericoloso all'esterno del locale;
- ⌘ il contatto simultaneo con due masse o con una massa ed una massa estranea va evitato per mezzo di allontanamento o di ostacoli isolanti.

### **6.8 Protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti**

Quando vengono utilizzati sistemi elettrici a bassissima tensione che sono caratterizzati da particolari requisiti di sicurezza, si può realizzare la protezione combinata contro i contatti diretti ed indiretti. La norma 64 - 8 definisce tre differenti sistemi, tutti caratterizzati da una tensione nominale in regime sinusoidale di valore efficace non superiore a 50 V, o 120 V in regime stazionario:

Safety Extra - Low Voltage a bassissima tensione di sicurezza;

Protection Extra - Low Voltage a bassissima tensione di protezione;

Functional Extra - Low Voltage a bassissima tensione funzionale.

Dal punto di vista della sicurezza i tre sistemi offrono una protezione combinata di livello decrescente: massima nei SELV, ridotta e dipendente dal verificarsi o meno di guasti, nei sistemi FELV, per i quali la bassissima tensione svolge un ruolo prevalentemente funzionale.

#### » Circuiti SELV

La tecnica di protezione SELV è basata sulla separazione galvanica sia nei riguardi dei circuiti elettrici, sia rispetto alle masse di altri sistemi elettrici. Le masse e le parti attive delle utenze e dei circuiti SELV non vanno collegate né a terra, né ai conduttori di protezione, né alle masse di altri circuiti elettrici. Per realizzare adeguatamente questa separazione, nei circuiti SELV l'alimentazione deve essere fornita da una delle sorgenti seguenti:

un trasformatore di sicurezza, conforme alla CEI 14 - 6;

un motore-generatore con avvolgimenti isolati, conforme alla CEI 14 - 6;

un gruppo elettrogeno;

una batteria;

un dispositivo elettronico caratterizzato dall'isolamento galvanico tra l'ingresso e l'uscita tale che, anche in caso di guasto, la tensione ai morsetti di uscita non superi 50 V in corrente alternata e 120 V in corrente continua.

Il trasformatore di sicurezza è una versione particolare del trasformatore di isolamento, caratterizzata da una tensione secondaria non superiore a 50 V. La potenza di questi trasformatori non può superare 10 kVA se monofasi, 16 kVA se trifasi.

Queste caratteristiche rendono questi circuiti sicuri rispetto ai contatti indiretti. Per assicurare una protezione anche rispetto ai contatti diretti, le parti attive dei circuiti SELV, utilizzatori compresi, vanno protette mediante involucri, oppure con un isolamento in grado di sopportare per un minuto una tensione di 500 V in corrente alternata. Per i circuiti con tensione nominale non superiore a 25 V in corrente alternata oppure a 60 V in corrente continua, non è richiesta alcuna protezione, a meno che questi non si trovino in ambienti critici, come, per esempio, quelli bagnati. Le prese a spina dei sistemi SELV non devono avere alcun contatto per il collegamento del conduttore di protezione e non devono essere compatibili con quelle di altri sistemi.

#### » Circuiti PELV

Per questo tipo di circuiti valgono le prescrizioni indicate per i circuiti SELV per quel che riguarda la fonte di energia e la separazione dagli altri circuiti. In questo caso, tuttavia, le masse dei circuiti ed un punto del circuito attivo vanno collegate a terra. In pratica, il sistema PELV presenta le stesse caratteristiche del sistema SELV, con la sola differenza di avere un punto a terra. Essi garantiscono la protezione contro i contatti indiretti, mentre quella contro i contatti diretti si ottiene proteggendo le parti attive per mezzo di involucri o barriere, oppure con un isolamento capace di sopportare per un minuto una tensione di 500 V in corrente alternata. Nessuna protezione viene richiesta per i circuiti con tensione nominale non superiore a 25 V in corrente alternata oppure, in corrente continua, a 60 V, purché installati entro la zona equipotenziale dell'impianto di terra, in luoghi secchi, che, per loro conformazione, non consentano il contatto tra le parti attive dei circuiti ed ampie zone del corpo umano. Se queste ultime due precauzioni vengono meno, la non pericolosità del contatto diretto può essere garantita solo per valori di tensione non superiori a 6 V in corrente alternata, oppure 15 V in corrente continua. Le prese a spina dei sistemi PELV possono avere un contatto per

il collegamento del conduttore di protezione. In ogni caso, non devono essere compatibili con quelle di altri sistemi.

#### » Circuiti FELV

L'alimentazione di questi circuiti può avvenire mediante un trasformatore (non di sicurezza), un variatore di tensione oppure un alimentatore elettronico. La protezione contro i contatti indiretti può essere assicurata collegando le masse dei componenti del circuito FELV al conduttore di protezione del circuito primario, ovviamente provvisto di opportuni sistemi di protezione, o collegando una parte attiva del circuito FELV al conduttore di protezione del circuito primario sul quale deve essere prevista la protezione mediante interruzione automatica. Soltanto un isolamento, proporzionato in base alla tensione del circuito primario, è previsto per garantire la separazione per questi circuiti. La protezione contro i contatti diretti è realizzata mediante involucri o barriere, oppure con un isolamento corrispondente alla minima tensione di prova richiesta dal circuito primario e, comunque, non inferiore ad 1.5 kV applicati per un minuto. Le prese a spina vanno munite di un contatto per il collegamento del conduttore di protezione e devono risultare incompatibili con quelle di altri sistemi elettrici.

### **6.9 Altri tipi di pericoli elettrici**

L'elettricità può rappresentare un pericolo non soltanto quando la persona entra in contatto con essa, ma in maniera indiretta innescando incendi ed esplosioni, accumulando elettricità statica sui corpi o quando si manifesta sotto forma di fulminazione diretta di una struttura.

#### **• Incendi**

L'innescò di incendi ed esplosioni, causato per guasti nell'impianto elettrico, può essere evitato seguendo delle normative che mantengono i livelli di pericolo sotto soglie accettabili. I guasti dell'impianto elettrico possono causare l'innescò di esplosioni se l'impianto è all'interno di atmosfere sature di sostanze esplosive: in questi casi occorre prevenire, innanzitutto, l'emissione di queste sostanze con l'adozione di adeguati metodi di contenimento e ventilazione e, poi, ridurre la probabilità di formazione di inneschi elettrici agendo sull'impianto stesso. Le norme CEI 64 - 2 classificano i luoghi in quattro classi, riassunte nella tabella che segue, in funzione del pericolo che presentano all'innescò di incendi oppure esplosioni.

<b>0</b>	Appartengono alla classe zero i luoghi dove vi è pericolo di esplosione per la presenza di sostanze esplosive.
----------	--

<b>1</b>	I luoghi di classe uno sono quelli in cui vi è pericolo di esplosione ed incendio per la presenza di sostanze infiammabili che possono generare vapori esplosivi.
<b>2</b>	I luoghi di classe due sono quelli in cui possono generarsi miscele esplosive per la presenza di polveri infiammabili.
<b>3</b>	I luoghi di classe tre sono quelli in cui sono presenti sostanze infiammabili che, però, non possono formare miscele esplosive.

Ai fini della scelta dell'impianto elettrico si devono delimitare delle zone dove la probabilità di incendio o di esplosione non è trascurabile e la sicurezza degli impianti deve essere rinforzata per mezzo di particolari misure; queste zone sono conosciute come **zone AD**. In funzione della probabilità di innesco di esplosione o dell'incendio, le differenti zone del luogo o dello stabilimento sono valutate dal punto di vista della 'qualifica AD' ed in base alla loro estensione.

Sempre la norma CEI 64 - 2 indica un procedimento convenzionale per valutare la probabilità di atmosfere pericolose. Il primo passo consiste nell'identificazione dei cosiddetti centri di pericolo che sono i punti che possono emettere sostanze pericolose. Questi centri sono stati classificati in tre gruppi:

- » centri di pericolo di primo grado ad emissione continua, che emettono molto frequentemente sostanze pericolose;
- » centri di pericolo di primo grado, che possono emettere sostanze pericolose in condizioni di funzionamento particolari;
- » centri di pericolo di secondo grado, che emettono sostanze pericolose soltanto in caso di guasto.

Si definisce **ambiente** la parte del luogo con condizioni di ventilazione conosciute. La ventilazione dei centri di pericolo può essere di tre tipi:

- ventilazione naturale, quando non ci sono ostacoli al movimento dell'aria;
- ventilazione naturale limitata, quando ci sono ostacoli al movimento dell'aria, però l'aria ha un movimento che consente di effettuare la ventilazione;
- ventilazione impedita, quando, in pratica, non vi sono movimenti dell'aria e le sostanze pericolose possono accumularsi liberamente.

Le diverse zone AD ricevono una qualifica in funzione della loro pericolosità, secondo una scala di quattro valori; nei luoghi di classe due, le zone non sono classificate e le condizioni di ventilazione influiscono solo sull'estensione della zona AD. Nei luoghi di classe tre non sono considerate né la qualifica delle zone AD, né le condizioni di ventilazione. Le zone contigue a zone AD sono oggetto di attenzione dal punto di vista della probabilità di innesco di incendi perché,

soprattutto grazie alla ventilazione, possono costituire zone altrettanto pericolose e la qualifica AD delle zone contigue dipende, ovviamente, della qualifica delle zone AD principali.

L'estensione delle zone AD dipende da diversi parametri: più elevata è la portata dell'emissione di sostanze pericolose, maggiore sarà l'estensione della zona; più elevata è la velocità di emissione, minore sarà l'estensione della zona perché un'elevata velocità di emissione di vapori favorisce la dissoluzione in aria delle sostanze pericolose; più elevate sono la temperatura di emissione o la temperatura di infiammabilità, maggiore sarà l'estensione; più elevato è il limite di infiammabilità della sostanza, maggiore sarà l'estensione; più alto è il peso specifico della sostanza in relazione all'aria, maggiore sarà l'estensione della zona; più elevata è la velocità dell'aria, minore sarà l'estensione.

In tanti impianti industriali con atmosfere pericolose dal punto di vista degli incendi, esistono dei sistemi di ventilazione artificiali che, però, possono modificare la scelta dell'impianto elettrico se la portata ed il tipo di ventilazione diluiscono uniformemente le sostanze pericolose, mantenendo la loro concentrazione al di sotto del 30% del limite inferiore di infiammabilità in ogni punto del locale, se il funzionamento continuo del sistema di ventilazione è garantito; in caso di guasto del sistema di ventilazione, l'impianto elettrico viene messo automaticamente fuori tensione e, prima dell'accensione, il locale è appositamente ventilato.

Nei luoghi appartenenti alla classe zero, oltre ad adottare le misure di sicurezza necessarie, si devono utilizzare componenti che a loro volta garantiscano la sicurezza. I componenti utilizzati in questi impianti si denominano 'componenti Ex' ed offrono diversi gradi di sicurezza, come riassunto nella tabella che segue.

Tipo	Descrizione
Ex - d	Componenti a prova di esplosione: sono componenti rinchiusi in una custodia di sicurezza tale da garantire la sua incolumità in caso di esplosione interna oppure esterna.
Ex - p	Componenti a sovrappressione interna: sono componenti rinchiusi in una custodia ad alta pressione in modo di evitare che l'atmosfera esplosiva penetri all'interno.
Ex - i	Componenti a sicurezza intrinseca: sono componenti che vengono utilizzati in sistemi elettrici la cui potenza ed energia accumulata sono sufficientemente ridotte da non rappresentare un pericolo di innesco di incendio. Ci sono due classi Ex - ia ed Ex - ib, a seconda che si possa mantenere la sicurezza nei confronti di un guasto o di due guasti simultanei.
Ex - o	Componenti elettrici immersi in olio di modo che non possano innescare un'atmosfera esplosiva.
Ex - q	Componenti elettrici immersi in sabbia di quarzo di modo che non possano innescare un'atmosfera esplosiva.

Ex - e	Componenti con la sicurezza aumentata in modo di ridurre la probabilità di guasto; questi componenti sono usati negli impianti che in funzionamento normale non rappresentano un pericolo di innesco, ma in caso di guasto potrebbero innescare un incendio.
Ex - m	Componenti elettrici inglobati in blocchi di resina.
Ex - n	Componenti adoperati in impianti dove la probabilità di formazione di atmosfere esplosive è piccola; questi sono componenti che sviluppano poco calore o che hanno una chiusura ermetica.

Gli impianti elettrici che hanno misure di sicurezza contro incendi ed esplosioni si chiamano impianti a sicurezza AD o brevemente impianti AD. Per realizzare un impianto AD non è sufficiente utilizzare componenti speciali, ma occorre rispettare le norme generali e particolari degli impianti elettrici, soprattutto per quanto riguarda il dimensionamento, in modo che i componenti siano in grado di sopportare le sollecitazioni meccaniche, chimiche, termiche e, naturalmente, elettriche.

Oltre alle norme generali per gli impianti elettrici, le norme CEI 64 - 2 prevedono la normativa necessaria per gli impianti a sicurezza AD:

nei luoghi con pericolo di esplosione le prese a spina devono essere di tipo interbloccato con un interruttore di manovra, in modo che non possano essere azionate sotto carico;

non sono ammessi i sistemi TN - C, dato che la corrente che percorre il conduttore di neutro interesserebbe anche le masse e le masse estranee, con il conseguente pericolo di surriscaldamenti locali;

il conduttore di neutro deve essere sempre sezionabile per evitare scintille durante i lavori sul circuito;

deve essere predisposto un interruttore di emergenza esternamente alla zona AD.

#### • **L'elettricità statica**

Sono moltissimi i meccanismi che facilitano la formazione di cariche elettrostatiche: tra gli altri si ricordano i processi chimici e fisici, le espulsioni di gas, gli effetti termoionici. Se due corpi di natura diversa sono messi in contatto, immediatamente si produce un passaggio di cariche da un corpo all'altro; quando i due corpi si separano, le cariche tendono ad annullarsi attraverso gli ultimi punti di contatto. Questo fenomeno, tuttavia, non avviene completamente se i corpi sono isolanti a causa della difficoltà di movimento delle cariche su essi: i corpi si caricano, quindi, elettricamente con polarità opposte. Questi fenomeni sono molto frequenti negli stabilimenti di qualsiasi tipo e la quantità di carica accumulata dipende da numerosi parametri che, nella pratica, non sono facilmente e neppure totalmente

identificabili. L'elettricità statica accumulata in un corpo può scaricarsi attraverso una persona e questa scarica genera una corrente impulsiva che, pur non essendo pericolosa, può risultare spiacevole e talvolta dolorosa.

Il maggiore pericolo dell'elettricità statica è quello di innescare incendi oppure esplosioni, qualora la scarica avvenga in un'atmosfera esplosiva ed abbia sufficiente energia per innescare un'esplosione: affinché ciò avvenga, è necessario tuttavia che l'energia della scarica sia maggiore della minima energia di accensione dell'atmosfera, che dipende, tra l'altro, da fattori come la distanza, la forma e la natura dei corpi che producono la scarica. Ad ogni modo, come misura di sicurezza in un impianto, si deve garantire che l'energia posseduta dalle cariche accumulate non superi una frazione dell'energia minima di accensione dell'atmosfera presente: esistono, allora, tre possibili metodi per la protezione contro i pericoli dell'elettricità statica.

Il primo consiste nella riduzione della formazione delle cariche limitando le condizioni che favoriscono la produzione di cariche. In questo senso, i provvedimenti più usuali consistono nella riduzione della velocità relativa dei corpi a contatto, nella modifica delle superfici di contatto e nella riduzione della velocità dei liquidi e dei gas attraverso le loro tubazioni o la modifica della natura dei liquidi tramite opportuni additivi.

Il secondo metodo si basa sulla neutralizzazione delle cariche tramite l'emissione di ioni nello spazio, in particolare nelle vicinanze dei corpi che si intende proteggere: questi ioni tendono ad annullare le cariche formate nella superficie dei corpi.

Il terzo, e forse più efficace, metodo per annullare l'effetto delle cariche elettrostatiche sui corpi conduttori consiste nel disperdere a terra le cariche man mano che queste si formano; per questo il corpo deve essere collegato a terra. Questo metodo è usato anche su corpi isolanti, che vengono muniti di appositi elettrodi per il collegamento a terra.

### • **Fulminazioni**

La pericolosità dei fulmini nasce dal fatto che essi possono produrre scariche elettriche di considerevole grandezze in qualsiasi luogo. Il problema della schermatura contro i fulmini consiste nella ricerca dei metodi e dei mezzi atti a proteggere una qualsiasi installazione dalle scariche atmosferiche dirette. A seconda della natura e delle caratteristiche dell'impianto ed a seconda che si debba proteggere l'intero complesso o soltanto determinate parti di esso, il problema può assumere aspetti differenti anche se strettamente correlati alla natura del meccanismo della scarica.

Come si è già avuto modo di sottolineare, un efficace mezzo di protezione, comunemente adottato per le linee aeree ad alta tensione, è costituito dalla

installazione di una o più funi di guardia, destinate a raccogliere le scariche che altrimenti colpirebbero i conduttori di energia, dando luogo a probabili guasti nel servizio elettrico: le funi di guardia costituiscono veri parafulmini.

Ci sono diversi metodi per determinare l'area protetta dai parafulmini. Di questi, se ne illustrano due.

Il criterio di Schwaiger è un criterio molto conservativo per determinare qual è l'area protetta da un parafulmini. Secondo questo criterio, l'area protetta da un parafulmini è costituita da punti la cui distanza dal canale di scarica del fulmine è maggiore di quella esistente fra la testa del fulmine e la punta del parafulmini o la terra.

Il criterio di Langrehr è un criterio più realistico di quello di Schwaiger per determinare qual è l'area protetta da un parafulmini. Secondo questo criterio, l'area protetta da un parafulmini è costituita da punti la cui distanza dal canale di scarica del fulmine è maggiore del doppio di quella esistente fra la testa del fulmine e la punta del parafulmini o la terra.

## **6.10 Il progetto degli impianti elettrici**

Già nel primo capitolo, si è accennato al fatto che l'entrata in vigore della Legge 46 - 90 ed il relativo regolamento di attuazione, interamente riportati nell'appendice di questo capitolo, ha reso obbligatorio il progetto degli impianti elettrici (in passato li si realizzava direttamente) oltre determinati limiti dimensionali e per alcune tipologie di impianto. In base a tali disposizioni legislative *il progetto dell'impianto elettrico risulta obbligatorio* per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento degli impianti, nei seguenti casi:

- per gli impianti dei servizi comuni degli stabili condominiali quando la potenza impegnata, stabilita contrattualmente con l'ente fornitore, supera il valore di 6 kW;
- per le utenze domestiche di singole unità abitative, per esempio appartamenti, quando la superficie è superiore a 400 m<sup>2</sup>, indipendentemente dalla potenza;
- per gli impianti relativi agli immobili destinati ad attività produttive, al commercio, al terziario (per esempio uffici) oppure ad altri usi, quando la superficie è superiore a 200 m<sup>2</sup>, oppure quando la tensione di alimentazione è superiore ad 1 kV;
- per gli impianti dei locali adibiti ad uso medico, per i luoghi a maggior rischio in caso di incendio, per i luoghi con pericolo di esplosione e per tutti gli ambienti non ordinari soggetti a normativa CEI specifica, quando la potenza impegnata è non inferiore ad 1.5 kW;

- per gli impianti di illuminazione impieganti lampade fluorescenti a catodo freddo collegati ad impianti elettrici con obbligo di progetto oppure con potenza complessiva fornita dagli alimentatori superiore ad 1.2 kVA.

Circa le modalità di redazione del progetto, il CEI ha pubblicato la guida CEI 0 - 2, intitolata 'Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici'. Essa prevede la preparazione dei seguenti principali documenti:

- » relazione tecnica, contenente la descrizione sommaria dell'impianto, i dati di progetto, i dati dei carichi, i criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche, il dimensionamento dei componenti principali;
- » schema elettrico generale, di tipo a blocchi, unifilare o multifilare, che mostra le principali connessioni tra i componenti ed indica i loro dati principali;
- » disegni planimetrici, in cui vengono indicati i componenti elettrici in relazione alla loro ubicazione;
- » schemi dei quadri elettrici, in cui sono raggruppate le apparecchiature di protezione e manovra;
- » tabelle oppure diagrammi di coordinamento delle protezioni, derivanti dai calcoli di dimensionamento effettuati dal progettista;
- » elenco dei componenti elettrici;
- » elenco delle condutture elettriche.

I documenti elencati non sono obbligatori per tutti i tipi di progetto, per motivi legati alla complessità ed importanza delle installazioni: un piccolo appartamento non è ovviamente paragonabile ad un grosso complesso industriale. Ai fini della documentazione da produrre è importante la distinzione che viene fatta nella guida relativamente a: *progetto di massima*, detto anche *progetto preliminare*, costituente il primo stadio della progettazione ed avente lo scopo di definire i dati fondamentali dell'impianto e la sua integrazione nell'ambito della progettazione globale dell'opera, che tiene conto anche degli altri settori coinvolti; *progetto definitivo*, detto anche *progetto esecutivo*, il quale richiede una maggiore documentazione in quanto deve fornire tutte le informazioni atte alla realizzazione dell'impianto.

Altra importante classificazione è quella che riguarda i luoghi di installazione degli impianti, di seguito riportata: CIVAB (civile abitativo), unità immobiliari o loro parti per uso abitativo, facenti parte di un edificio con unità immobiliari, ad esempio appartamento, non soggetto a progettazione obbligatoria; CIVBT (civile bassa tensione), unità immobiliari ad uso civile (abitativo, studi professionali, sedi di persone giuridiche private) con alimentazione a tensione non superiore ad 1 kV; CIVCB (civile con cabina propria), unità immobiliari come sopra, alimentate con tensione superiore ad 1 kV e quindi dotate di cabina propria; TERBT (terziario

bassa tensione), tutti i luoghi ove si svolgono attività del terziario (negozi, uffici, scuole, alberghi) con alimentazione a tensione non superiore ad 1 kV; TERCB (terziario con cabina propria), luoghi come sopra con alimentazione a tensione superiore ad 1 kV, dotati di cabina propria; INDBT (industriale bassa tensione), tutti i luoghi adibiti ad attività produttive (industria, artigianato, cantieri) con alimentazione a tensione non superiore ad 1 kV; INDCB (industriale con cabina propria), luoghi come sopra con alimentazione a tensione superiore ad 1 kV, dotati di cabina propria; AGRBT (agricola bassa tensione), tutti i luoghi adibiti ad attività agricole con alimentazione a tensione non superiore ad 1 kV; AGRCB (agricola con cabina propria), luoghi come sopra, con alimentazione a tensione superiore ad 1 kV, dotati di cabina propria.

Nella tabella che segue riportiamo la documentazione di progetto richiesta dalla Guida CEI 0 - 2 per le varie tipologie di impianto, distinguendo tra quelli obbligatori (O), previsti nella generalità dei casi, e quelli facoltativi (F), da prevedere quando le caratteristiche del progetto lo richiedano.

Documentazione di progetto		Destinazione d'uso degli edifici, delle costruzioni e dei luoghi								
		CIV AB	CIV BT	CIV CB	TER BT	TER CB	IND BT	IND CB	AGR BT	AGR CB
2.1	Documentazione del progetto di massima									
2.1.1	Relazione tecnica	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.1.2	Schema elettrico generale			O	O	O	O	O	O	O
2.1.3	Schemi e piani di installazione, disegni planimetrici, tabelle delle dotazioni impiantistiche	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.1.4	Preventivo sommario delle spese	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.2	Documentazione del progetto definitivo									
2.2.1	Relazione tecnica sulla consistenza e sulla tipologia dell'impianto elettrico	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.2	Schema elettrico generale		F	O	O	O	O	O	O	O
2.2.3	Schemi e piani di installazione	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.4	Potenze installate, assorbite e relativi dimensionamenti		F	O	O	O	O	O	O	O
2.2.5	Tabelle e diagrammi di coordinamento delle protezioni		F	O	F	O	O	O	F	O
2.2.6	Elenco dei componenti elettrici		O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.7	Elenco delle condutture elettriche		O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.8	Specifiche termiche dei componenti elettrici	F	O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.9	Documenti di disposizione funzionale		O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.10	Schemi delle apparecchiature assiemate di protezione e di manovra (quadri)	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.11	Disegni planimetrici		F	F	O	O	O	O	O	O
2.2.12	Dettagli di installazione		F	O	O	O	O	O	O	O
2.2.13	Documentazione specifica relativa agli ambienti e alle applicazioni particolari		O	O	O	O	O	O	O	O
2.2.14	Documentazione relativa alla protezione contro i fulmini		O	O	O	O	O	O	O	O

2.2.15	Capitolato speciale di appalto prestazionale e descrittivo		F	F	F	F	F	F	F	F
2.2.16	Computi metrici, stime e prezzi unitari	F	F	F	F	F	F	F	F	F
2.2.17	Disposizioni di sicurezza, operative e di manutenzione, conseguenti alle scelte progettuali	F	F	F	F	F	F	F	F	F

## 6.11 Soccorsi di emergenza

L'efficacia dell'aiuto che può essere prestato ad una persona colpita da elettrocuzione dipende essenzialmente dalla rapidità con la quale i soccorritori operano. La prima operazione è, ovviamente, quella di togliere tensione all'impianto ed allontanare il colpito dalle parti in tensione; qualora non fosse possibile togliere subito la tensione, si deve tranciare, mediante pinze dotate di impugnatura isolante, i conduttori e sperare che questa operazione non dia luogo ad inconvenienti peggiori. Se non si dispone nemmeno delle pinze, allora bisogna cercare di staccare il corpo della persona folgorata dalle parti in tensione: questa operazione è molto pericolosa e richiede oculatezza e tempestività. Il soccorritore dovrà isolarsi dal pavimento mediante pedane isolanti, pezzi di legno secco, scarpe di gomma, e non toccherà mai a mani nude il corpo del mal capitato, ma interporrà guanti isolanti oppure indumenti, purché asciutti, di grosso spessore. Il distacco dell'infortunato deve essere effettuato con movimento rapido e deciso, avendo cura di non afferrarlo per delle parti umide, come, per esempio, le ascelle.

Quando non si possa allontanare il conduttore dall'infortunato, trascinare questo ultimo fuori del contatto di esso, usando le stesse precauzioni di cui sopra. Se è necessario afferrare l'infortunato con le mani, isolarle con parecchi strati di stoffa asciutta o con guanti di gomma. Prendere l'infortunato solo per gli abiti ed allontanarlo dal contatto con le parti sotto tensione con movimento rapido, impiegando se possibile una mano sola. Se l'infortunato è attaccato al conduttore con due mani, è più facile staccare prima una mano e dopo l'altra. Se l'infortunato è percorso da una corrente di scarica verso terra, prima isolarlo da terra e poi dal conduttore.

Non potendo ottemperare a queste precauzioni e dovendo operare direttamente sui conduttori in tensione, ricordatevi di non agire mai a mani nude, ma di adoperare bastoni, scale oppure altri isolanti. Si rammenti che tutte le raccomandazioni precedenti vanno commisurate ai valori delle tensioni in gioco: quanto più elevate sono queste, tanto maggiore devono essere le precauzioni da adottare per mantenere il soccorritore isolato da terra. Non si dimentichi, infine, di chiamare con urgenza un medico.

Ogni ambiente di lavoro, comunque, deve disporre del materiale per una medicazione di pronto intervento: è buona norma affidare la cassetta per il pronto

soccorso ad un responsabile che ne sappia adoperare il contenuto e che ne curi la manutenzione. Si inserisca nella cassetta un lista con i recapiti degli ospedali più vicini, del medico di fabbrica, di un altro medico abitante nelle vicinanze, della Croce Rossa Italiana o di altre organizzazioni simili, dei Vigili del Fuoco, dei Carabinieri e degli Agenti di Pubblica Sicurezza.

» Come si pratica la respirazione artificiale?

Se l'infortunato, una volta lasciata la presa con le parti in tensione, non mostra segni di vita, è necessario iniziare senza indugi la respirazione artificiale che deve essere praticata ininterrottamente, anche per parecchie ore, fino a quando l'infortunato non dà segni di vita. Prestate attenzione che l'infortunato non abbia sostanze o corpi estranei in bocca e che la lingua non si riversi all'indietro, occludendo la gola. È assolutamente proibito somministrare bevande all'infortunato durante la respirazione artificiale; solo a respirazione ristabilita, si possono somministrare bevande non alcoliche, in piccole dosi, a cucchiaini. In ogni caso è bene tenere ben caldo l'infortunato. Dato che i tempi di intervento sono spesso prolungati, è opportuno ricorrere all'avvicendamento dei soccorritori per evitare che la stanchezza di uno di essi possa compromettere l'efficacia del soccorso.

Qui di seguito descriviamo brevemente i tre metodi per effettuare la respirazione artificiale.

L'infortunato, seguendo il **metodo Sylvester**, deve essere adagiato sul dorso, ponendo sotto la schiena una coperta o degli indumenti al fine di sollevargli leggermente il torace. Il metodo si basa su due movimenti fondamentali: afferrare le braccia dell'infortunato all'altezza dei gomiti e portarle distese dietro la testa; riportare le braccia dell'infortunato in basso, piegare i gomiti e comprimere le braccia contro i lati del torace. Il ritmo con il quale devono essere eseguiti i due movimenti deve essere circa di 16 cadenze di andata e ritorno al minuto.

L'infortunato, seguendo il **metodo Schaefer**, deve essere adagiato sul ventre e le braccia distese sopra la testa avendo cura, però, che la testa sia appoggiata a lato, in modo che l'inspirazione e la respirazione possano svolgersi regolarmente. Il soccorritore deve porre le mani aperte sulle costole più basse del soggetto e con i pollici quasi a contatto tra loro. I movimenti, da ripetere con una cadenza di 16 colpi al minuto, sono, come per la tecnica precedente, due: gravare con le braccia tese con tutto il corpo sulla base del torace, comprimendolo con forza; senza staccare le mani dal dorso dell'infortunato, il soccorritore dovrà ripiegarsi indietro cessando la compressione del torace.

Dopo aver steso l'infortunato sul dorso, seguendo il **metodo bocca a bocca**, si piega la testa fortemente indietro ponendogli sotto le spalle una coperta o degli indumenti affinché il cavo orale sia quasi verticale rispetto al suolo. Ponendosi in

ginocchio, il soccorritore apre la bocca dell'infortunato e, tenendo chiuse con due dita le narici, gli soffia aria con forza nella bocca finché il torace del soggetto non si solleva. Questo è un particolare importante e si deve constatare visivamente che il torace si sollevi; in caso contrario, ogni sforzo di rianimazione è vano. Dopo questa prima fase il soccorritore allontana la bocca da quella dell'infortunato in modo che l'aria insufflata possa uscire. Si ripete poi l'operazione precedente, sempre osservando che il torace si sollevi. Questo metodo è considerato il più efficace ed il più semplice da applicare. Il ciclo di insufflazione e di emissione di aria va ripetuto ogni 3 o 4 secondi. Qualora il contatto diretto con la bocca dell'infortunato risultasse sgradevole, si può interporre tra le due bocche una garza oppure un fazzoletto, che, però, limita parzialmente l'afflusso di aria.

» Come vanno trattate le ustioni?

Si è già avuto modo di sottolineare che, spesso, il contatto con parti in tensione può provocare delle ustioni, cioè delle lesioni dei tessuti provocate dal calore prodotto dall'arco elettrico che può innescarsi tra le diverse parti in tensione e la parte del corpo umano in contatto con esse. Le ustioni possono essere di tre tipi: ustioni di **primo grado**, se la pelle è arrossata, gonfia, lucida, dolente; in tal caso è opportuno ungere la parte ustionata con olio di vaselina o pomate idonee, affinché il dolore diminuisca rapidamente; ustioni di **secondo grado**, quando sulla pelle si formano vesciche contenenti siero che bisogna evitare di rompere e coprire con garza sterile, fasciando con benda; ustioni di **terzo grado**, per le quali vi è distruzione, più o meno profonda, dei tessuti, che vanno ricoperti con garza sterile e fasciati nell'attesa del medico.

Le ustioni estese, anche se di primo grado, possono provocare pericolosi collassi. Per lenire il dolore, si somministri all'infortunato degli antidolorifici e, se sente freddo, lo si copra, magari dandogli bevande calde (niente alcolici). Non si indugi ed, in mancanza del medico, si trasporti il ferito in ospedale. Si possono avere anche ustioni da acidi: in questo caso è bene, innanzitutto, detergere a lungo le parti infortunate; se la pelle è arrossata, spalmate del grasso; se la ferita è profonda, chiamate il medico. Occorre, in ogni caso, lavarsi le mani prima di compiere qualsiasi operazione e la respirazione artificiale, se necessaria, non deve essere sospesa durante il trattamento delle ustioni.

» Come soccorrere qualcuno colpito da un fulmine?

L'azione di un fulmine che scarica la propria elettricità addosso ad una persona provoca, talvolta, soltanto uno stato di shock e delle lievi ustioni. La folgorazione risulta, invece, mortale se il fulmine colpisce la testa ed attraversa tutto il corpo, prima di scaricarsi a terra. A volte può anche causare ustioni molto gravi, fratture dovute agli spasmi muscolari involontari, lacerazioni della pelle. Un altro rischio è

che gli indumenti di chi viene colpito prendano fuoco. Il primo soccorso da portare a chi è stato colpito da un fulmine consiste nel far distendere subito a terra la vittima e proteggere il volto da eventuali fiamme: il fuoco può essere causa di morte anche per la mancanza di ossigeno che provoca. Se gli abiti della vittima prendono fuoco, tentate di spegnere le fiamme versandole addosso dell'acqua oppure avvolgendola in una coperta, un asciugamano, un cappotto. Le ustioni vanno trattate rinfrescandole con acqua fredda, poi vanno coperte con una fasciatura, utilizzando, per esempio, un fazzoletto ripiegato e fissato con una striscia di stoffa pulita. In attesa dei soccorsi, si tenga al caldo l'infortunato, coprendolo, se necessario, con i vostri indumenti.

Le probabilità di essere colpiti direttamente da un fulmine sono scarse e, secondo recenti studi condotti dalla American Meteorological Society, la maggior parte delle vittime si verifica nei primi momenti di un temporale, con molta probabilità per la sottovalutazione del rischio. Pertanto, premesso che è sempre bene informarsi sulle condizioni del tempo prima di uscire in gita, specialmente se in montagna, vale la pena osservare alcune norme di sicurezza:

- evitare di rifugiarsi sotto gli alberi di alto fusto, specialmente se isolati, poiché i fulmini tendono a colpire le punte più elevate;

- allontanarsi dai recinti, dalle alture o dalle strutture metalliche, abbandonando temporaneamente persino l'ombrello;

- se si viene sorpresi dai fulmini in una zona priva di alberi in cui non vi sono dei ripari, ci si stenda a terra, assumendo una posizione accucciata;

- non bisogna rimanere in tenda se si è in un campeggio, ma va bene restare completamente chiusi nella roulotte;

- se si è in macchina non vale la pena muoversi, si resti dentro con porte e finestrini chiusi, evitando di toccare le parti metalliche e l'autoradio, dato che gli pneumatici sono ottimi isolanti;

- quanto detto per l'auto vale pure per la moto e la bicicletta, dato che esse sono ben isolate dal terreno dagli pneumatici;

- al mare bisogna rapidamente uscire dall'acqua ed allontanarsi dalla spiaggia, riparandosi in un luogo chiuso, restando seduti oppure accucciati;

- se si viene sorpresi da fulmini in barca è necessario rientrare in porto al più presto, restando lontani dall'albero o da strutture metalliche e, calando l'ancora, bisogna far passare la catena attorno all'albero, in modo che un eventuale fulmine verrebbe scaricato a mare;

- in prossimità di alte strutture, sedetevi su qualcosa di asciutto, raccogliendo i piedi e sollevandoli da terra, tenendo la testa riparata tra le spalle;

- si cerchi rifugio negli edifici più grandi, evitando le piccole costruzioni isolate, ed, una volta in casa, si stacchi subito la spina della televisione e dell'antenna.



## **Appendice: legge sulla sicurezza e suo regolamento di attuazione**

### **• Legge n. 46 del 5 marzo del 1990**

*Norme per la sicurezza degli impianti (G.U. n. 59 del 12 marzo 1990)*

#### **Articolo 1 (Ambito di applicazione)**

1. Sono soggetti all'applicazione della presenta legge i seguenti impianti relativi agli edifici adibiti ad uso civile:

- a) gli impianti di produzione, di trasporto, di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica all'interno degli edifici a partire dal punto di consegna dell'energia fornita dall'ente distributore;
- b) gli impianti radiotelevisivi ed elettronici in genere, le antenne e gli impianti di protezione da scariche atmosferiche;
- c) gli impianti di riscaldamento e di climatizzazione azionati da fluido liquido, aeriforme, gassoso e di qualsiasi natura o specie;
- d) gli impianti idrosanitari nonché quelli di trasporto, di trattamento, di uso, di accumulo e di consumo di acqua all'interno degli edifici a partire dal punto di consegna dell'acqua fornita dall'ente distributore;
- e) gli impianti per il trasporto e l'utilizzazione di gas allo stato liquido ed aeriforme all'interno degli edifici a partire dal punto di consegna del combustibile gassoso fornito dall'ente distributore;
- f) gli impianti di sollevamento di persone o di cose per mezzo di ascensori, di montacarichi, di scale mobili e simili;
- g) gli impianti di protezione antincendio.

2. Sono altresì soggetti all'applicazione della presenta legge gli impianti di cui al comma 1, lettera a), relativi agli immobili adibiti ad attività produttive, al commercio, al terziario, ad altri usi.

#### **Articolo 2 (Soggetti abilitati)**

1. Sono abilitate all'installazione, alla trasformazione, all'ampliamento ed alla manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1, tutte le imprese, singole oppure associate, regolarmente iscritte nel registro delle ditte di cui al regio decreto 20 settembre 1934, n. 2011, e successive modificazioni ed integrazioni, o nell'albo provinciale delle imprese artigiane di cui alla legge 8 agosto 1985, n. 443.

2. L'esercizio delle attività di cui al comma 1 è subordinato al possesso dei requisiti tecnico-professionali, di cui all'articolo 3, da parte dell'imprenditore, il quale, qualora non ne sia in possesso, prepone all'esercizio delle attività di cui al medesimo comma 1 un responsabile tecnico che abbia tali requisiti.

#### **Articolo 3 (Requisiti tecnico-professionali)**

I requisiti tecnico-professionali di cui all'articolo 2, comma 2, sono i seguenti:

- a) laurea in materia tecnica specifica conseguita presso una università statale o legalmente riconosciuta;
- b) diploma di scuola secondaria superiore conseguito, con specializzazione relativa al settore delle attività di cui all'articolo 2, comma 1, presso un istituto statale o legalmente riconosciuto previo un periodo di inserimento di almeno un anno continuativo alle dirette dipendenze di una impresa del settore;
- c) titolo oppure attestato conseguito ai sensi della legislazione vigente in materia di formazione professionale, previo un periodo di inserimento, di almeno 2 anni consecutivi, alle dirette dipendenze di una impresa del settore;
- d) prestazione lavorativa svolta alle dirette dipendenze di un'impresa del settore nel medesimo ramo di attività dell'impresa stessa per un periodo non inferiore a tre anni escluso quello computato ai fini dell'apprendistato, in qualità di operaio installatore con qualifica di specializzato nelle attività di installazione, di trasformazione, di ampliamento e di manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1.

#### **Articolo 4** **(Accertamento dei requisiti tecnico-professionali)**

1. L'accertamento dei requisiti tecnico-professionali è espletato per le imprese artigiane dalle commissioni provinciali per l'artigianato. Per tutte le altre imprese è espletato da una commissione nominata dalla giunta della Camera di commercio, industria, artigianato ed agricoltura, composta da un minimo di cinque ad un massimo di nove membri dei quali un membro in rappresentanza degli ordini professionali, un membro in rappresentanza dei colleghi professionali, un membro in rappresentanza degli enti erogatori di energia elettrica e di gas ed i restanti membri designati dalle organizzazioni delle categorie più rappresentative a livello nazionale degli esercenti le attività disciplinate dalla presente legge; la commissione è presieduta da un docente universitario di ruolo di materia tecnica o da un docente di istituto tecnico industriale di ruolo di materia tecnica.
2. Le imprese, alle quali siano stati riconosciuti i requisiti tecnico-professionali, hanno diritto ad un certificato di riconoscimento secondo i criteri stabiliti dal regolamento di attuazione di cui all'articolo 15.

#### **Articolo 5** **(Riconoscimento dei requisiti tecnico-professionali)**

1. Hanno diritto ad ottenere il riconoscimento dei requisiti tecnico-professionali, previa domanda da presentare entro un anno dalla data di entrata in vigore della presente legge, alla commissione provinciale per l'artigianato, coloro che dimostrino di essere iscritti, alla medesima data, da almeno un anno nell'albo provinciale delle imprese artigiane di cui alla legge 8 agosto 1985, n. 443, come imprese installatrici o di manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1.
2. Hanno altresì diritto ad ottenere il riconoscimento dei requisiti tecnico-professionali, previa domanda da presentare entro un anno dalla data di entrata in vigore della presente legge, alla camera di commercio, industria, artigianato ed agricoltura, coloro che dimostrino di essere iscritti, alla medesima data, da almeno un anno nel registro delle ditte di cui al regio decreto 20 settembre 1934, n. 2011, e

successive modificazioni ed integrazioni, come imprese installatrici o di manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1.

## **Articolo 6 (Progettazione degli impianti)**

1. Per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento degli impianti di cui ai commi 1, lettera a), b), c), e) e g), e 2 dell'articolo 1, è obbligatoria la redazione del progetto da parte di professionisti iscritti negli albi professionali, nell'ambito delle rispettive competenze.

2. La redazione del progetto per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento degli impianti di cui al comma 1, è obbligatoria al di sopra dei limiti dimensionali indicati nel regolamento di attuazione di cui all'articolo 15.

3. Il progetto di cui al comma 1 è depositato:

a) presso gli organi competenti al rilascio di licenze di impianto o di autorizzazioni alla costruzione quando previsto dalle disposizioni legislative e regolamentari vigenti;

b) presso gli uffici comunali, contestualmente al progetto edilizio, per gli impianti il cui progetto non sia soggetto per legge ad approvazione.

## **Articolo 7 (Installazione degli impianti)**

1. Le imprese installatrici sono tenute ad eseguire gli impianti a regola d'arte utilizzando allo scopo materiali parimenti costruiti a regola d'arte. I materiali ed i componenti realizzati secondo le norme tecniche di sicurezza dell'ente italiano di unificazione (UNI) e del comitato elettrotecnico italiano (CEI), nonché del rispetto di quanto prescritto dalla legislazione tecnica vigente in materia, si considerano costruiti a regola d'arte.

2. In particolare, gli impianti elettrici devono essere dotati di impianti di messa a terra e di interruttori differenziali ad alta sensibilità o di altri sistemi di protezione equivalenti.

3. Tutti gli impianti realizzati alla data di entrata in vigore della presente legge devono essere adeguati, entro tre anni da tale data, a quanto previsto dal presente articolo.

## **Articolo 8 (Finanziamento dell'attività di normazione tecnica)**

1. Il 3 per cento del contributo dovuto annualmente dall'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (INAIL) per l'attività di ricerca di cui all'articolo 3, terzo comma del decreto-legge 30 giugno 1982, n. 3990, convertito, con modificazioni, dalla legge 12 agosto 1982, n. 597, è destinato all'attività di normazione tecnica, di cui all'articolo 7 della presente legge, svolta dall'UNI e dal CEI.

2. La somma di cui al comma 1 calcolata sull'ammontare del contributo versato dall'INAIL, nel corso dell'anno precedente è iscritta a carico del capitolo 3030 dello stato di previsione della spesa del Ministero dell'industria, del commercio e

dell'artigianato per il 1990 ed a carico delle proiezioni del corrispondente capitolo per gli anni seguenti.

### **Articolo 9 (Dichiarazione di conformità)**

1. Al termine dei lavori l'impresa installatrice è tenuta a rilasciare al committente la dichiarazione di conformità degli impianti realizzati nel rispetto delle norme di cui all'articolo 7. Di tale dichiarazione sottoscritta dal titolare dell'impresa installatrice e recante i numeri di partita IVA e di iscrizione alla Camera di commercio, industria, artigianato ed agricoltura, faranno parte integrante la relazione contenente la tipologia dei materiali impiegati nonché, ove previsto, il progetto di cui all'articolo 6.

### **Articolo 10 (Responsabilità del committente o del proprietario)**

1. Il committente oppure il proprietario è tenuto ad affidare i lavori di installazione, di trasformazione, di ampliamento e di manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1 ad imprese abilitate ai sensi dell'articolo 2.

### **Articolo 11 (Certificato di abitabilità e di agibilità)**

1. Il sindaco rilascia il certificato di abitabilità o di agibilità dopo aver acquisito anche la dichiarazione di conformità oppure il certificato di collaudo degli impianti installati, ove previsto dalle leggi vigenti.

### **Articolo 12 (Ordinaria manutenzione degli impianti e dei cantieri)**

1. Sono esclusi dagli obblighi della redazione del progetto e del rilascio del certificato di collaudo, nonché dall'obbligo di cui all'articolo 10, i lavori concernenti l'ordinaria manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1.

2. Sono altresì esclusi dagli obblighi della redazione del progetto e del rilascio del certificato di collaudo le installazioni per apparecchi per usi domestici e la fornitura provvisoria di energia elettrica per gli impianti di cantiere e similari, fermo restando l'obbligo del rilascio della dichiarazione di conformità di cui all'articolo 8.

### **Articolo 13 (Deposito presso il Comune del progetto, della dichiarazione di conformità o del certificato di collaudo)**

1. Qualora nuovi impianti tra quelli di cui ai commi 1, lettere a), b), c), e) e g), e 2 dell'articolo 1, vengano installati in edifici per i quali è già stato rilasciato il certificato di abitabilità, l'impresa installatrice deposita presso il comune, entro trenta giorni dalla conclusione dei lavori il progetto di rifacimento dell'impianto e la dichiarazione di conformità oppure il certificato di collaudo degli impianti

installati ove previsto da altre norme o dal regolamento di attuazione di cui all'articolo 15.

2. In caso di rifacimento parziale degli impianti, il progetto e la dichiarazione di conformità oppure il certificato di collaudo, ove previsto, si riferiscono alla sola parte degli impianti oggetto dell'opera di rifacimento. Nella relazione di cui all'articolo 9 dovrà essere espressamente indicata la compatibilità con gli impianti preesistenti.

#### **Articolo 14 (Verifiche)**

1. Per eseguire i collaudi, ove previsti, e per accertare la conformità degli impianti alle disposizioni della presente legge e della normativa vigente, i comuni, le unità sanitarie locali, i comandi provinciali dei vigili del fuoco e l'istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza del lavoro (ISPESL) hanno la facoltà di avvalersi della collaborazione di liberi professionisti, nell'ambito delle rispettive competenze, di cui all'articolo 6, comma 1, secondo le modalità stabilite dal regolamento di attuazione di cui all'articolo 15.

2. Il certificato di collaudo deve essere rilasciato entro 3 mesi dalla presentazione della relativa richiesta.

#### **Articolo 15 (Regolamento di attuazione)**

1. Entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge è emanato, con le procedure di cui all'articolo 17 della legge 23 agosto 1988, n. 400, il regolamento di attuazione. Nel regolamento di attuazione sono precisati i limiti per i quali risulti obbligatoria la redazione del progetto di cui all'articolo 6 e sono definiti i criteri e le modalità di redazione del progetto stesso in relazione al grado di complessità tecnica dell'installazione degli impianti tenuto conto della evoluzione tecnologica, per fini di prevenzione e di sicurezza.

2. Presso il Ministero dell'industria, del commercio e dall'artigianato è istituita una commissione permanente presieduta dal direttore generale della competente Direzione generale del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, o da un suo delegato, e composta da sei rappresentanti designati dalle organizzazioni sindacali maggiormente rappresentative delle categorie imprenditoriali ed artigiane interessate, da sei rappresentanti delle professioni designati pariteticamente dai rispettivi consigli nazionali e da due rappresentanti degli enti erogatori di energia elettrica e di gas.

3. La commissione permanente di cui al comma 2 collabora ad indagini e studi sull'evoluzione tecnologica del comparto.

#### **Articolo 16 (Sanzioni)**

1. Alla violazione di quanto previsto dall'articolo 10 consegue, a carico del committente o del proprietario, secondo le modalità previste dal regolamento di attuazione di cui all'articolo 15, una sanzione amministrativa da lire centomila a lire

cinquecentomila. Alla violazione delle altre norme della presente legge consegue, secondo le modalità previste dal medesimo regolamento di attuazione, una sanzione amministrativa da lire un milione a lire dieci milioni.

2. Il regolamento di attuazione determina le modalità della sospensione delle imprese dal registro o dall'albo di cui all'articolo 2, comma 1, e dei provvedimenti disciplinari a carico dei professionisti iscritti nei rispettivi albi, dopo la terza violazione delle norme relative alla sicurezza degli impianti, nonché gli aggiornamenti dell'entità delle sanzioni amministrative di cui al comma 1.

### **Articolo 17**

#### **(Abrogazione ed adeguamento dei regolamenti comunali e regionali)**

1. I comuni e le regioni sono tenuti ad adeguare i propri regolamenti qualora siano in contrasto con la presente legge.

### **Articolo 18**

#### **(Disposizioni transitorie)**

1. Fino all'emanazione del regolamento di attuazione di cui all'articolo 15 sono autorizzati ad eseguire opere di installazione, di trasformazione, di ampliamenti e di manutenzione degli impianti di cui all'articolo 1, le imprese di cui all'articolo 2, comma 1, le quali sono tenute ad eseguire gli impianti secondo quanto prescritto dall'articolo 7 ed a rilasciare al committente oppure al proprietario la dichiarazione di conformità recante i numeri di partita IVA e gli estremi dell'iscrizione alla Camera di commercio, industria, artigianato ed agricoltura.

2. La dichiarazione di cui al comma 1 sostituisce a tutti gli effetti la dichiarazione di conformità di cui all'articolo 9.

### **Articolo 19**

#### **(Entrata in vigore)**

1. La presente legge entra in vigore il giorno successivo a quello della sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale.

#### **• DPR n. 447 del 6 dicembre 1991**

*Regolamento di attuazione della legge n. 46 del 5 marzo 1990, in materia di sicurezza degli impianti (G.U. n. 38 del 15 febbraio 1992)*

### **Articolo 1**

#### **(Ambito di applicazione)**

1. Per edifici adibiti ad uso civile, ai fini del comma 1 dell'articolo 1 della legge n. 46 del 5 marzo 1990, di seguito denominata 'legge', si intendono le unità immobiliari o le parti di esse destinate ad uso abitativo, a studio professionale oppure a sede di persone giuridiche private, associazioni, circoli o conventi e simili.

2. Sono soggetti all'applicazione della legge, per quanto concerne i soli impianti elettrici di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a) della legge, anche gli edifici adibiti

a sede di società, ad attività industriale, commerciale oppure agricola o comunque di produzione o di intermediazione di beni o servizi, gli edifici di culto, nonché gli immobili destinati ad uffici, scuole, luoghi di cura, magazzini, depositi oppure in genere a pubbliche finalità, dello Stato o di Enti pubblici territoriali, istituzionali o economici.

3. Per gli impianti di utilizzazione dell'energia elettrica si intendono i circuiti di alimentazione degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina con esclusione degli equipaggiamenti elettrici delle macchine, degli utensili, degli apparecchi elettrici in genere. Nell'ambito degli impianti elettrici rientrano anche quelli posti all'esterno di edifici se gli stessi sono collegati ad impianti elettrici posti all'interno. Gli impianti luminosi pubblicitari rientrano altresì nello stesso ambito, qualora siano collegati ad impianti elettrici posti all'interno.

4. Per impianto radiotelevisivo ed elettronico si intende la parte comprendente tutte le componenti necessarie alla trasmissione ed alla ricezione dei segnali e dei dati ad installazione fissa funzionanti in bassissima tensione, mentre tutte le componenti funzionanti a tensione di rete nonché i sistemi di protezione contro le sovratensioni sono da ritenersi appartenenti all'impianto elettrico.

Per gli impianti telefonici interni collegati alla rete pubblica, continua ad applicarsi il decreto 4 ottobre 1982 del Ministero delle poste e delle telecomunicazioni, pubblicato nella G.U. n. 8 del 10 gennaio 1983, con riferimento all'autorizzazione, all'installazione e agli ampliamenti degli impianti stessi.

5. Per impianto del gas a valle del punto di consegna si intende l'insieme delle tubazioni e dei loro accessori dal medesimo punto di consegna all'apparecchio utilizzatore, l'installazione ed i collegamenti del medesimo, le predisposizioni edili e/o meccaniche per la ventilazione del locale dove deve essere installato l'apparecchio, le predisposizioni edili e/o meccaniche per lo scarico all'esterno dei prodotti della combustione.

6. Per impianti di protezione antincendio si intendono gli idranti, gli impianti di spegnimento di tipo automatico e manuale, nonché gli impianti di rilevamento di gas, fumo ed incendio.

## **Articolo 2** **(Requisiti tecnico-professionali)**

1. Con la dizione 'alle dirette dipendenze di un'impresa del settore' di cui all'articolo 3, comma 1, lettere b) e c) della legge deve intendersi non solo il rapporto di lavoro subordinato, ma altresì ogni altra forma di collaborazione tecnica continuativa nell'ambito dell'impresa artigiana da parte del titolare, dei soci o dei familiari.

## **Articolo 3** **(Certificato di riconoscimento dei requisiti tecnico-professionali)**

1. Il certificato di riconoscimento dei requisiti tecnico-professionali è rilasciato alle imprese artigiane dalla Commissione provinciale per l'artigianato che ha provveduto all'accertamento dei requisiti a norma dell'articolo 4 della legge oppure al riconoscimento degli stessi a norma del successivo articolo 5, comma 1.

2. Alle altre imprese singole, associate oppure al responsabile tecnico di cui al comma 2 dell'articolo 1 della legge, il certificato di riconoscimento è rilasciato dalla Camera di commercio competente presso la quale è stata presentata la domanda di cui all'articolo 5, comma 2, della legge o presso la quale si è concluso positivamente l'accertamento di cui all'articolo 4 della legge ad opera della commissione nominata dalla giunta della medesima Camera di commercio.

3. Il certificato è rilasciato sulla base di modelli approvati con decreto del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, che fisserà altresì le modalità per l'effettuazione di periodiche verifiche circa la permanenza in capo alle imprese dei requisiti tecnico-professionali.

#### **Articolo 4 (Progettazione degli impianti)**

1. Fatta salva l'applicazione di norme che impongono una progettazione degli impianti, la redazione del progetto di cui all'articolo 6 della legge è obbligatoria per l'installazione, la trasformazione e l'ampliamento dei seguenti impianti:

a) per gli impianti elettrici di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a) della legge, per tutte le utenze condominiali di uso comune aventi potenza impegnata superiore a 6 kW e per le utenze domestiche di singole unità abitative di superficie a 400 metri quadri, per gli impianti effettuati con lampade fluorescenti a catodo freddo, collegati a impianti elettrici, per i quali è obbligatorio il progetto ed in ogni caso per impianti di potenza maggiore a 1200 VA rese agli utilizzatori;

b) per gli impianti di cui all'articolo 1, comma 2 della legge relativi agli immobili adibiti ad attività produttive, al commercio, al terziario, ad altri usi, quando le utenze sono alimentate a tensione superiore a 1000 V, inclusa la parte in bassa tensione o quando le utenze sono alimentate in bassa tensione qualora la superficie superi i 2000 metri quadri;

c) il progetto è comunque obbligatorio per gli impianti elettrici con potenza impegnata superiore oppure uguale ad 1.5 kW per tutta l'unità immobiliare provvista, anche solo parzialmente, di ambienti soggetti a normativa specifica del Comitato elettrotecnico italiano, in caso di locali adibiti ad uso medico o per i quali sussista pericolo di esplosione o maggior rischio di incendio;

d) per gli impianti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera b) della legge, per gli impianti elettronici in genere, quando coesistono con impianti elettrici con obbligo di progettazione, nonché per gli impianti di protezione da scariche atmosferiche in edifici di volume superiori a 200 metri cubi dotati di impianti elettrici soggetti a normativa specifica CEI oppure in edifici con volume superiore a 200 metri cubi e con altezza superiore a cinque metri;

e) per gli impianti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera c) della legge, per le canne fumarie collettive ramificate, nonché per gli impianti di climatizzazione per tutte le utilizzazioni aventi una potenzialità frigorifera pari o superiore a 40000 frigoriferie/ora;

f) per gli impianti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera e) della legge, per il trasporto e l'utilizzazione di gas combustibili con portata termica superiore a 34.8 kW o di gas medicali per uso ospedaliero e simili, nel caso di stoccaggi;

g) per gli impianti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera g) della legge, qualora siano inseriti in un'attività soggetta al rilascio del certificato prevenzione incendi e

comunque quando gli idranti sono in numero pari o superiore a 4 o gli apparecchi di rilevamento sono in numero pari o superiore a 10.

2. I progetti devono contenere gli schemi dell'impianto e disegni planimetrici, nonché una relazione tecnica sulla consistenza e sulla tipologia dell'installazione della trasformazione o dell'ampliamento dell'impianto stesso, con particolare riguardo all'individuazione dei materiali e componenti da utilizzare ed alle misure di prevenzione e di sicurezza da adottare. Si considerano redatti secondo la buona tecnica professionale i progetti elaborati in conformità alle indicazioni delle guide dell'Ente italiano di unificazione (UNI) e del CEI.

3. Qualora l'impianto a base del progetto sia variato in corso d'opera, il progetto presentato deve essere integrato con la necessaria documentazione tecnica attestante tali varianti in corso d'opera, alle quali, oltre che al progetto, l'installatore deve far riferimento nella sua dichiarazione di conformità.

### **Articolo 5 (Installazione degli impianti)**

1. I materiali e componenti costruiti secondo le norme tecniche per la salvaguardia della sicurezza dell'UNI e del CEI, nonché del rispetto della legislazione tecnica vigente in materia di sicurezza, si considerano costruiti a regola d'arte.

2. Si intendono altresì costruiti a regola d'arte i materiali ed i componenti elettrici dotati di certificati oppure attestati di conformità alle norme armonizzate previste dalla legge 18 ottobre 1977 n. 791, o dotati altresì di marchi di cui all'allegato IV del decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato 13 giugno 1989, pubblicato nel S.O. alla G.U. n. 171 del 24 luglio 1989.

3. Gli impianti realizzati in conformità alle norme tecniche dell'UNI e del CEI, nonché alla legislazione tecnica vigente si intendono costruiti a regola d'arte.

4. Nel caso in cui per i materiali ed i componenti gli impianti non siano state eseguite le norme tecniche per la salvaguardia della sicurezza dell'UNI e del CEI, l'installatore dovrà indicare nella dichiarazione di conformità la norma di buona tecnica adottata.

5. In tale ipotesi si considerano a regola d'arte i materiali, componenti ed impianti per il cui uso o la cui realizzazione siano state rispettate le normative emanate dagli organismi di normalizzazione di cui all'allegato II della direttiva 83/189/CEE, se dette norme garantiscono un livello di sicurezza equivalente.

6. Per interruttori differenziali ad alta sensibilità si intendono quelli aventi corrente nominale non superiore ad 1 A. Gli impianti elettrici devono essere dotati di interruttori differenziali con il livello di sensibilità più idoneo ai fini della sicurezza nell'ambiente da proteggere e tale da consentire un regolare funzionamento degli stessi.

Per sistema di protezione equivalente ai fini del comma 2 dell'articolo 7 della legge, si intende ogni sistema di protezione previsto dalle norme CEI contro i contatti indiretti.

7. Con riferimento alle attività produttive, si applica l'elenco delle norme generali di sicurezza riportate nell'articolo 1 del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 31 marzo 1989 pubblicato, nel S.O. alla G.U. n. 93 del 21 aprile 1989.

8. Per l'adeguamento degli impianti già realizzati alla data di entrata in vigore della legge è consentita una suddivisione dei lavori in fasi operative, purché

l'adeguamento complessivo avvenga comunque nel triennio previsto dalla legge, vengano rispettati i principi di progettazione obbligatoria con riferimento alla globalità dei lavori e venga rilasciata per ciascuna fase la dichiarazione di conformità che ne attesti l'autonoma funzionalità e la sicurezza. Si considerano comunque adeguati gli impianti elettrici preesistenti che presentino i seguenti requisiti: sezionamento e protezioni contro le sovracorrenti, posti all'origine dell'impianto, protezione contro i contatti diretti, protezione contro i contatti indiretti o protezione con interruttore differenziale avente corrente differenziale nominale non superiore a 30 mA.

## **Articolo 6** **(Attività di normazione tecnica)**

1. L'UNI ed il CEI svolgono l'attività di elaborazione di specifiche tecniche per la salvaguardia della sicurezza di cui all'articolo 7 della legge, anche sulla base di indicazioni del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato (Direzione generale alla produzione industriale) e della Commissione permanente di cui all'articolo 15, comma 2, della legge ed inviano semestralmente alla Direzione generale predetta la descrizione dei lavori svolti in tale settore, per l'attribuzione delle somme, di cui all'articolo 8 della legge, che verranno erogate secondo criteri da determinarsi con regolamento del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di concerto con il Ministro del tesoro.

## **Articolo 7** **(Dichiarazione di conformità)**

1. La dichiarazione di conformità viene resa sulla base di modelli predisposti con decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, sentiti l'UNI e il CEI.
2. La dichiarazione di conformità è rilasciata anche sugli impianti realizzati dagli uffici tecnici interni delle ditte non installatrici, intendendosi per uffici tecnici interni le strutture aziendali preposte all'impiantistica.
3. Copia della dichiarazione è inviata dal committente alla Commissione provinciale per l'artigianato oppure a quella insediata presso la Camera di commercio.

## **Articolo 8** **(Manutenzione degli impianti)**

1. Per la manutenzione degli impianti di ascensori e montacarichi in servizio privato continuano ad applicarsi le disposizioni di cui all'articolo 5 della legge n. 1415 del 24 ottobre 1942.
2. Per interventi di ordinaria manutenzione degli impianti si intendono tutti quelli finalizzati a contenere il degrado normale d'uso nonché a far fronte ad eventi accidentali che comportino la necessità di primi interventi che comunque non modifichino la struttura essenziale dell'impianto o la loro destinazione d'uso.

## **Articolo 9** **(Verifiche)**

1. Per l'esercizio della facoltà prevista dall'articolo 14 della legge, gli enti interessati operano la scelta del libero professionista nell'ambito di appositi elenchi presso le Camere di commercio e comprendenti più sezioni secondo le rispettive competenze. Gli elenchi sono formati annualmente sulla base di documentata domanda di iscrizione ed approvati dal Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato.
2. Con decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, sentiti gli ordini ed i collegi professionali, sono adottati schemi uniformi di elenchi e di sezioni a cui dovranno adeguarsi gli elenchi e le sezioni predisposti dalle Camere di commercio.
3. I soggetti direttamente obbligati ad ottemperare a quanto previsto dalla legge, devono conservare tutta la documentazione amministrativa e tecnica e consegnarla all'avente causa in caso di trasferimento dell'immobile a qualsiasi titolo, nonché devono darne copia alla persona che utilizza i locali.
4. All'atto della costruzione o ristrutturazione dell'edificio contenente gli impianti di cui all'articolo 1, comma 1 e 2 della legge, il committente oppure il proprietario affiggono ben visibile un cartello che, oltre ad indicare gli estremi della concessione edilizia ed informazioni relative alla parte edile, deve riportare il nome dell'installatore dell'impianto o degli impianti e, qualora, sia previsto il progetto, il nome del progettista dell'impianto o degli impianti.

## **Articolo 10 (Sanzioni)**

1. Le sanzioni amministrative, di cui all'articolo 16, comma 1 della legge, vengono determinate nella misura variabile tra il minimo ed il massimo, con riferimento alla entità e complessità dell'impianto, al grado di pericolosità ed alle altre circostanze obiettive e soggettive della violazione.
2. Le sanzioni amministrative sono aggiornate ogni cinque anni con regolamento del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato sulla base dell'evoluzione tecnologica in materia di prevenzione e sicurezza e della svalutazione monetaria.
3. Le violazioni della legge accertate, mediante verifica oppure in qualunque altro modo, a carico delle imprese installatrici sono comunicate alla Commissione di cui all'articolo 4 della legge competente per territorio, che provvede all'iscrizione nell'Albo provinciale delle imprese artigiane o nel registro delle ditte in cui l'impresa inadempiente risulta iscritta, mediante apposito verbale.
4. La violazione reiterata più di tre volte delle norme relative alla sicurezza degli impianti da parte delle imprese abilitate comporta altresì, in casi di particolare gravità, la sospensione temporanea dell'iscrizione delle medesime imprese dal registro delle ditte o dall'albo provinciale delle imprese artigiane, su proposta dei soggetti accertatori e su giudizio delle commissioni che sovrintendono alla tenuta dei registri e degli albi.
5. Dopo la terza violazione alle norme riguardanti la progettazione ed i collaudi, i soggetti accertatori propongono agli ordini professionali provvedimenti disciplinari a carico dei professionisti iscritti nei rispettivi albi.

6. All'applicazione delle sanzioni di cui al presente articolo provvedono gli Uffici provinciali dell'industria, del commercio e dell'artigianato.