

La sicurezza elettrica

OBIETTIVI CONTENUTI

- 1 Generalità
- 2 La corrente elettrica e il corpo umano
- 3 Limiti di pericolosità della corrente elettrica
- 4 Resistenza elettrica del corpo umano
- 5 Protezione contro i contatti diretti e indiretti

Conoscenze

- La pericolosità della corrente elettrica
- Gli effetti della corrente elettrica sul corpo umano
- Le protezioni da adottare per la protezione delle persone

Abilità

- Scegliere in maniera appropriata i dispositivi idonei per la sicurezza delle persone

1 Generalità



Gli infortuni dovuti all'esercizio, alla conduzione e alla manutenzione di qualsiasi dispositivo, apparecchio o sistema costituiscono un problema sociale di notevole gravità.

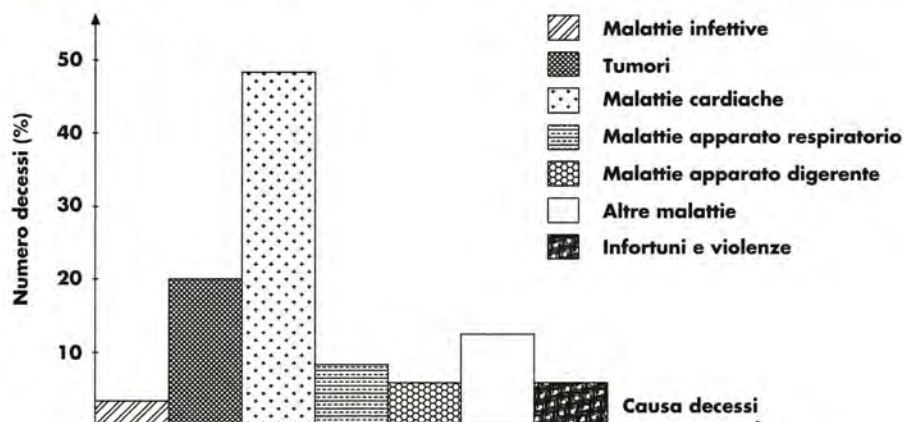
Dal grafico dalla **figura 1** (a pagina seguente) si nota che gli infortuni costituiscono una causa di morte non secondaria.

In particolare l'utilizzo dell'energia elettrica, se da un lato costituisce un vantaggio ormai irrinunciabile, dall'altro ha introdotto un elemento di pericolosità nei confronti di cose e persone.

Per salvaguardare le persone e le cose da eventi dannosi occorre concepire gli impianti in maniera tale da ridurre al minimo la probabilità di guasti o di utilizzi impropri da parte di persone inesperte, che possono compromettere la sicurezza e la continuità del servizio. La sicurezza e la salute del cittadino sono garantite da precise leggi e norme, già viste nell'unità 1; in questa unità si esaminano nel dettaglio gli aspetti legati alla pericolosità della corrente elettrica e agli interventi necessari per raggiungere un livello di sicurezza accettabile nel suo utilizzo.

Figura 1

Decessi in Italia causati da infortuni



2 La corrente elettrica e il corpo umano

Il corpo umano è molto sensibile a qualsiasi tipo di corrente elettrica; nelle sue funzioni l'apporto di elettricità è sempre direttamente o indirettamente riscontrabile.

Le contrazioni delle fibre muscolari sono determinate da particolari impulsi elettrici che si trasmettono lungo il nostro corpo tramite fibre nervose che possono essere paragonate a fasci di conduttori. Il cervello guida la distribuzione e il dosaggio degli impulsi ai vari organi.

Se a queste correnti fisiologiche interne si sommano delle correnti elettriche esterne, si ha nel corpo umano un'alterazione delle funzioni vitali.

L'elettrocuzione

La corrente circolante nel corpo umano provoca in esso complessi fenomeni fisici, chimici, magnetici, tali da alterare anche sensibilmente la struttura e le funzioni degli organi interessati.



Gli effetti sopra descritti si manifestano con l'**elettrocuzione**, ossia con il contatto del nostro corpo con sorgenti di energia elettrica.

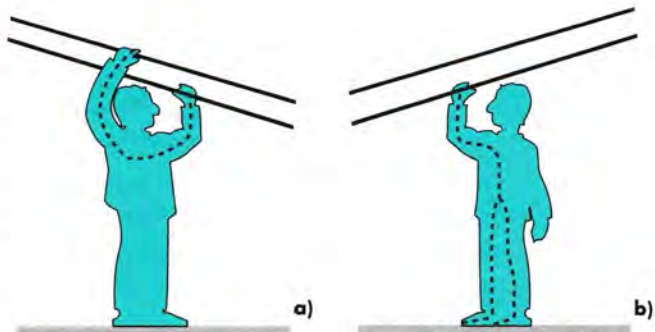
È importante notare che l'elettrocuzione è conseguenza diretta della corrente circolante attraverso il corpo e non della tensione applicata, anche se la corrente dipende, attraverso la resistenza del corpo, dal valore della tensione.

L'elettrocuzione può avvenire per:

- contatto diretto;
- contatto indiretto.

Figura 2

Contatto diretto tra due conduttori di diversa polarità (a) e tra un conduttore di fase e la terra (b)



Si ha **contatto diretto** quando si toccano parti che normalmente sono sotto tensione, come ad esempio il contatto tra due conduttori di diversa polarità (**figura 2a**) o il contatto tra un conduttore di fase e la terra (**figura 2b**).

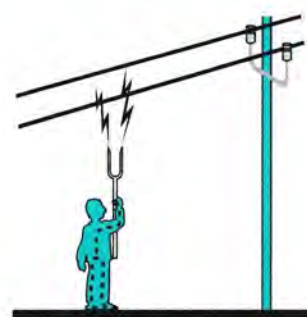
Figura 3

Contatto indiretto con una parte metallica a potenziale diverso da quello di terra



Figura 4

Contatto indiretto per scarica elettrica



Si ha **contatto indiretto** quando vengono toccate parti che normalmente non sono in tensione come ad esempio il contatto con parti metalliche che, a causa di un guasto dell'isolamento dei conduttori, hanno assunto un potenziale diverso da quello di terra (**figura 3**) oppure per **scarica elettrica** quando, non avendo toccato una parte in tensione, si verifica una scarica per la diminuzione della distanza di isolamento in condizioni particolari quali umidità, effetto punta ecc. (**figura 4**).

I principali effetti della corrente elettrica sul corpo umano

Tetanizzazione

Al passaggio di una corrente le fibre muscolari si contraggono involontariamente (**tetanizzazione**) e si ha una parziale paralisi delle parti attraversate dalla corrente. Ciò è dovuto al fatto che, sottoposto a uno stimolo, il muscolo si contrae per poi tornare a riposo; se gli stimoli si susseguono con frequenza sufficientemente elevata (50 Hz sono più che sufficienti) gli effetti si sommano portando alla **contrazione completa** del muscolo (**tetano fuso**).

Correnti di rilascio

La **corrente massima di rilascio**, cioè il valore più elevato di corrente per il quale il soggetto riesce ancora a staccarsi dalla parte in tensione, dipende da vari fattori e in generale si può dire che varia da persona a persona, diminuendo con il peso.

La tetanizzazione si verifica solitamente per tensioni intorno ai 220-380 V; per valori più elevati di tensione l'effetto provocato dalla corrente sulle fibre muscolari tende generalmente a far sì che l'infortunato venga scagliato lontano dalla parte in tensione limitando i tempi di contatto e i relativi pericolosi effetti.

Arresto della respirazione

L'arresto della respirazione è una diretta conseguenza della tetanizzazione dei muscoli addetti alla respirazione o, per valori più elevati di corrente, della paralisi dei centri nervosi che comandano gli stessi muscoli.

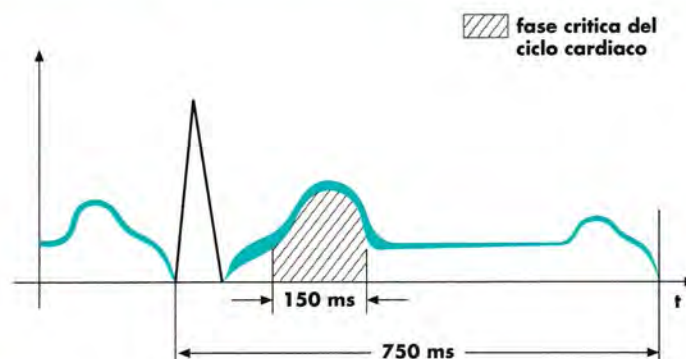
Il decesso del colpito avviene per **asfissia** in un tempo di circa 3-4 minuti.

Fibrillazione ventricolare

La fibrillazione cardiaca ventricolare consiste in una contrazione disordinata delle fibre muscolari del cuore. Questa condizione, particolarmente pericolosa, non è autonomamente reversibile e quindi per il colpito si richiede l'intervento immediato di personale specializzato con opportune apparecchiature mediche (defibrillatore). Il fenomeno della fibrillazione ventricolare è causa di numerosi decessi per folgorazione.

La soglia di fibrillazione ventricolare dipende sia da parametri fisiologici che elettrici. In corrente alternata, alla frequenza di 50 o 60 Hz, la fibrillazione può innescarsi per correnti superiori a 500 mA e per contatti di durata inferiore a 0,1 s. La fibrillazione cardiaca può innescarsi più facilmente se il passaggio di corrente avviene durante la

Figura 5
Ciclo cardiaco



fase critica del ciclo cardiaco. La **figura 5** rappresenta un ciclo cardiaco completo la cui durata media è di 750 millesimi di secondo. La fase critica corrispondente alla diastole ha una durata di circa 500 millesimi di secondo.

Arresto del cuore

L'arresto del cuore si ha quando il soggetto colpito è sottoposto a elevate intensità di corrente, superiori a 500 mA. Se il contatto è di brevissima durata, il battito cardiaco talvolta può riprendere spontaneamente.

Ustioni

Le ustioni sono lesioni caratteristiche degli infortunati sottoposti a elevate intensità di corrente che non interessano parti del corpo immediatamente vitali.

Tali lesioni si manifestano nei punti di entrata e uscita della corrente.

3 Limiti di pericolosità della corrente elettrica

Stabilire dei limiti di pericolosità della corrente elettrica è molto difficile in quanto ogni persona manifesta un diverso comportamento nei confronti dell'elettrocuzione. È comunque possibile stabilire i principali fattori che influenzano la pericolosità della corrente. Essi sono:

- percorso della corrente attraverso il corpo;
- condizioni fisiche del soggetto;
- intensità della corrente e durata del contatto;
- forma d'onda della corrente;
- frequenza della corrente;
- fase del ciclo cardiaco all'inizio dell'elettrocuzione.

Percorso della corrente

Relativamente al **percorso della corrente** attraverso il corpo risultano particolarmente pericolosi i contatti che interessano la regione cardiaca o parti del sistema nervoso.

I principali tragitti riscontrabili nei più comuni casi di elettrocuzione sono quelli causati dal contatto, con due parti a diverso potenziale, delle mani (**figura 6a**), di una mano e dei piedi (**figura 6b**), dei piedi (**figura 6c**). I primi due casi sono i più pericolosi in quanto possono avere conseguenze più o meno gravi sul cuore.

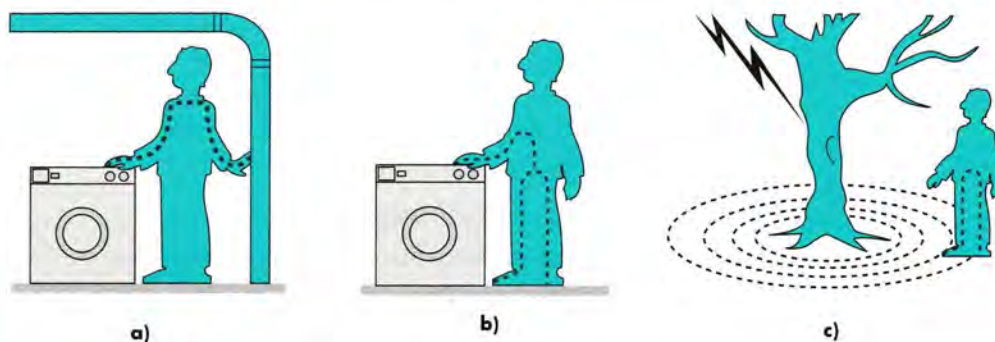
Il terzo caso è meno pericoloso ma può portare lesioni renali.

Condizioni fisiche

In relazione alle **condizioni fisiche** del soggetto colpito da elettrocuzione si può affermare che la pericolosità della corrente elettrica aumenta nei soggetti debilitati.

Particolarmente rischiose sono le malattie cardiovascolari, specie se accompagnate da stato febbrile.

Figura 6
Percorso della
corrente



**Intensità della
corrente e
durata del
contatto**

La **corrente continua** ha una **soglia di pericolosità** superiore a quella della corrente alternata a frequenza industriale (50 Hz).

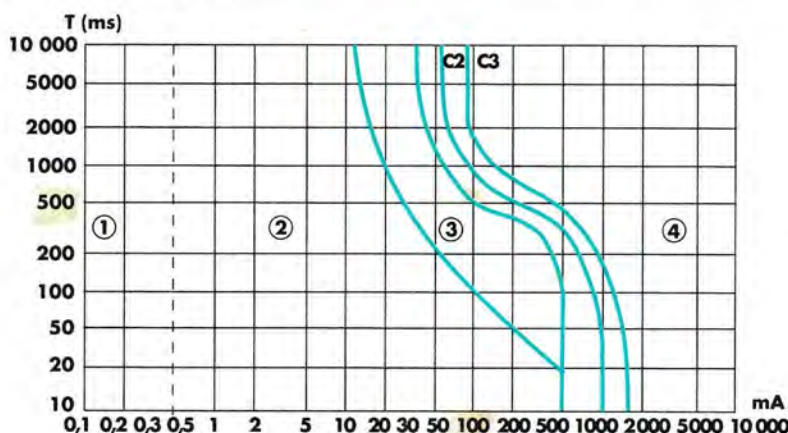
Essa produce, al suo passaggio nel corpo, un senso di calore dovuto all'effetto Joule e solo se applicata per tempi sufficientemente lunghi determina nel sangue fenomeni elettrolitici che portano alla formazione di embolie gassose.

Tuttavia, per la corrente continua, il pericolo è tanto maggiore quanto più è rapido lo stabilirsi della corrente; in corrente continua il valore limite di sicurezza è di 100 mA. Per quanto concerne invece la **corrente alternata** a frequenza industriale, da esperimenti condotti dal ricercatore americano Dalziel si sono ottenuti i seguenti valori:

- la corrente di 1 mA è già avvertibile sotto forma di formicolio delle parti del corpo direttamente a contatto con la sorgente elettrica; aumentando l'intensità il valore del tempo di sopportazione decresce rapidamente e cominciano a verificarsi dolorosi crampi sempre più violenti;
- fino a 10 mA l'infortunato riesce a staccarsi dal contatto e, anche se ciò non fosse possibile per particolari ragioni, la corrente **non è mortale** in alcun caso;
- da 10 a 50 mA la corrente non è mortale se applicata per un tempo inferiore ai 5 secondi, in caso contrario interviene la **tetanizzazione dei muscoli respiratori** con possibilità di blocco della respirazione e morte per asfissia; la corrente massima di rilascio risultante dagli esperimenti è di 10 mA per le donne e di 26 mA per gli uomini;
- da 50 a 500 mA la **pericolosità** è funzione crescente del tempo di applicazione;
- oltre 500 mA la possibilità di fibrillazione decresce aumentando invece la probabilità di morte per paralisi dei centri nervosi e per fenomeni secondari.

Nel diagramma della **figura 7**, che rappresenta la "Curva di pericolosità corrente-tempo" e tratto dalla pubblicazione IEC 479, sono riportate le zone degli effetti della corrente alternata a 50/60 Hz sugli adulti.

Figura 7
Zone degli
effetti della
corrente
elettrica sul
corpo umano
(pubblicazione
IEC 479)



I dati ricavabili da questo diagramma sono indispensabili per la realizzazione di apparecchiature per la protezione contro la folgorazione, essendo appunto la funzione di queste apparecchiature, quella di interrompere il circuito prima che il valore tempo-corrente superi la soglia di pericolosità.

La curva presenta quattro zone di rischio.

- **zona 1:** abitualmente nessuna reazione;
- **zona 2:** abitualmente nessun effetto fisiologico pericoloso;
- **zona 3:** abitualmente nessun danno organico; probabilità di contrazioni muscolari e difficoltà respiratoria; disturbi reversibili nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi fibrillazione atriale e arresto cardiaco provvisorio senza fibrillazione ventricolare, che aumentano con l'intensità della corrente e il tempo;
- **zona 4:** in aggiunta agli effetti della zona 3, la probabilità della fibrillazione ventricolare aumenta fino a circa il 5% (curva C2), al 50% (curva C3) oltre il 50% al di là della curva C3. Effetti pato-fisiologici, come arresto cardiaco, arresto respiratorio, gravi ustioni, possono presentarsi con l'aumentare dell'intensità della corrente e del tempo.

Forma d'onda

In relazione alla **forma d'onda** della corrente, e quindi della tensione applicata, cambiano anche le reazioni del corpo al suo passaggio.

Si sottolinea comunque che la maggior parte dei casi di elettrocuzione è dovuta a correnti sinusoidali.

Frequenza

Con l'aumentare della **frequenza** il grado di pericolosità della corrente diminuisce, ma vantaggi apprezzabili, ai fini della sicurezza, si hanno comunque con valori molto elevati di frequenza, cioè oltre i 100000 Hz.

Ciò è dovuto al fatto che l'ampiezza dello stimolo necessario a eccitare la cellula è tanto più grande quanto più è breve la sua durata; inoltre, con le alte frequenze, interviene l'**effetto pelle**, grazie al quale la corrente tende a percorrere solo le parti esterne del corpo senza interessare quindi gli organi vitali.

Fase del ciclo cardiaco

In ultimo si sottolinea che la pericolosità della corrente dipende anche dalla **fase del ciclo cardiaco** all'inizio dell'elettrocuzione.

Il pericolo è massimo se l'**inizio del contatto** coincide con l'intervallo tra la fine della contrazione cardiaca (*sistole*) e l'inizio dell'espansione (*diastole*).

4 Resistenza elettrica del corpo umano

Per la determinazione dei valori di tensione pericolosi in caso di guasto, è necessario determinare i valori di resistenza relativi ai predetti limiti di corrente.

La resistenza del corpo umano è praticamente concentrata sull'epidermide in quanto le parti interne, per la loro costituzione, non presentano che una bassissima resistenza.

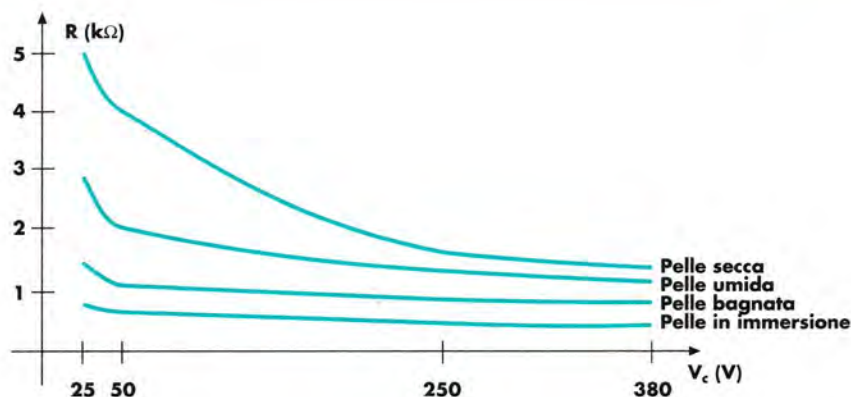
La resistenza della pelle

La **resistenza dell'epidermide** è fortemente variabile e dipende dall'ispessimento, dall'uniformità, dalle condizioni di umidità, dall'estensione del contatto.

I valori misurati variano da alcune centinaia di ohm a diversi chilohm.

Si passa da valori di circa 100 Ω tra tempia e tempia e di 500 Ω tra mani bagnate a valori di 50000 Ω e oltre tra mani e piedi di operai addetti a lavori manuali e abituati a camminare scalzi. La resistenza del corpo umano varia inoltre con la tensione applicata, tendendo a diminuire all'aumentare di essa.

Figura 8
Correlazione
tra la
resistenza del
corpo umano
e la tensione
di contatto



Nella **figura 8** viene riportato un grafico di correlazione tra la resistenza del corpo umano e la tensione di contatto in funzione dello stato della pelle.

Vista quindi la grande imprecisione nella determinazione di un univoco valore di resistenza, convenzionalmente sono stati stabiliti i seguenti valori:

- in ambienti accessibili a tutti, molto umidi e bagnati:
 $R(\text{persona}) < 3000 \, \Omega$
- in ambienti accessibili a tutti ma aventi caratteristiche fisiche normali:
 $R(\text{persona}) > 3000 \, \Omega$

**Valore
convenzionale
di resistenza del
corpo umano**

Mediamente, quindi, il **valore convenzionale di resistenza** che si attribuisce al corpo umano, e a cui si fa riferimento, è di $3000 \, \Omega$.



Scheda integrativa

Primi soccorsi ai colpiti da scarica elettrica

Come si è visto, il corpo umano è particolarmente sensibile alle correnti; infatti, già i valori dell'ordine del centesimo di ampere possono causare gravi lesioni e provocare la morte del colpito da scarica elettrica. In moltissimi casi la tempestività di intervento dei soccorritori è determinante per la salvezza dell'infortunato; tuttavia, affinché l'intervento abbia efficacia e nel contempo non sia pericoloso per il soccorritore, occorre adottare alcuni provvedimenti.

Innanzitutto se il colpito da scarica elettrica è ancora in contatto con il circuito elettrico in tensione, occorre aprire immediatamente il più vicino apparecchio di sezionamento; se ciò non fosse possibile, occorre staccare l'infortunato con l'ausilio dei mezzi isolanti. Se l'infortunato, una volta staccato dalle parti in tensione, non dà segni di vita, occorre iniziare immediatamente la respirazione artificiale con il metodo bocca a bocca, e contemporaneamente far chiamare il pronto soccorso avvertendo che si tratta di colpito da corrente elettrica.

Il metodo di respirazione artificiale bocca a bocca viene praticato nel modo seguente:

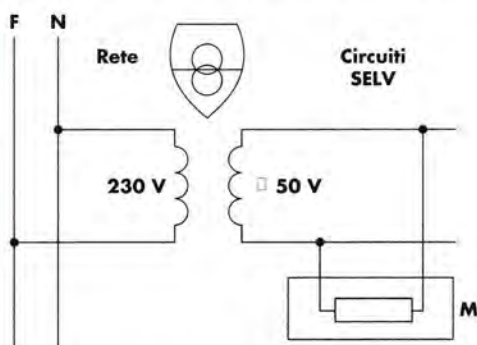
- stendere l'infortunato sul dorso;
 - piegare la testa dell'infortunato all'indietro ponendogli sotto le spalle una coperta o degli indumenti in modo tale da rendere il cavo orale quasi verticale al suolo;
 - aprire la bocca dell'infortunato e tenendogli chiuse le narici con due dita soffiare aria con forza nella bocca fino a quando il torace non si sollevi;
 - allontanare la bocca da quella dell'infortunato affinché l'aria insuffiata possa uscire;
 - ripetere l'operazione precedente a intervalli di 3-4 secondi osservando sempre che il torace si sollevi.
- La respirazione artificiale deve essere praticata ininterrottamente fino a quando l'infortunato non dà segni di ripresa. Nel caso di arresto cardiaco occorre praticare il massaggio toracico comprimendo ritmicamente la regione del cuore con un ritmo di 30-60 pressioni al minuto.

5 Protezione contro i contatti diretti e indiretti

Come già visto, l'elettrocuzione può avvenire per contatto indiretto o per contatto diretto; si rende pertanto necessario prevedere protezioni che garantiscano il minimo rischio nei confronti sia dell'utente sia delle persone addestrate.

La normativa a cui ci si deve riferire è compresa nelle norme CEI 64-8.

Figura 9
Alimentazione
in bassissima
tensione di
sicurezza
(SELV)



**Sistema
elettrico**

Un sistema elettrico a bassissima tensione di sicurezza, denominato **SELV** (*Safety Extra Low Voltage*) dalla norma 64-8, costituisce una protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti (figura 9). Tale sistema è caratterizzato da una tensione nominale non superiore a 50 V in corrente alternata e a 120 V in corrente continua, e deve essere alimentato e realizzato in modo che nessuna sua parte possa assumere tensioni maggiori.

Le citate norme CEI 64-8 definiscono come **sistema elettrico** quella parte di impianto elettrico costituita dal complesso dei componenti elettrici aventi una determinata tensione nominale e la tensione nominale di un sistema come il valore intermedio fra i valori massimo e minimo in condizioni regolari d'esercizio e con il quale il sistema è denominato; per i sistemi trifase si considera la tensione concatenata.

Contatti diretti

Le protezioni contro i contatti diretti si distinguono in:

- totali;
- parziali.

Protezioni totali

Le misure di protezione totale riguardano impianti accessibili a persone non addestrate, ossia impianti in luoghi ordinari, frequentati da persone che non hanno una specifica conoscenza tecnica o esperienza tale da porli in guardia contro i pericoli dell'elettricità. Tali misure di protezione consistono nell'isolamento e negli involucri o barriere.

Isolamento

L'**isolamento** che effettua una protezione totale è l'isolamento delle parti attive, ossia delle parti che normalmente sono in tensione.

Esso deve possedere essenzialmente i seguenti requisiti:

- deve ricoprire completamente le parti attive;
- deve essere asportabile solo mediante rottura;
- deve resistere a tutte le sollecitazioni di carattere elettrico, meccanico, termico, alle quali può essere soggetto durante l'uso.

Un chiaro esempio di questo tipo di protezione si ha nell'isolamento dei cavi.

Involucri e barriere

Per quelle parti attive che devono essere accessibili per riparazione o manutenzione, si adottano gli **involucri** se la protezione deve essere garantita in tutte le direzioni, oppure le **barriere** se la protezione deve aversi solo nella direzione normale di accesso. Un esempio di involucro è costituito da una cassetta di derivazione, all'interno della quale è possibile effettuare la giunzione fra due tratti di cavo.

Protezioni parziali

Le protezioni parziali si ottengono mediante *ostacoli* o *distanziamento*.

Ostacoli

Lo scopo degli **ostacoli** è quello di **impedire** l'avvicinamento e il contatto **non intenzionale** della persona con le parti attive dell'impianto sotto tensione; essi devono essere rimossi solo intenzionalmente. La rete metallica che impedisce l'accesso alla cella di un trasformatore è un esempio di ostacolo.

Distanziamento

Il **distanziamento** deve evitare che parti di impianto a tensione diversa siano accessibili contemporaneamente.

In base al D.M. n. 37 del 22.01.08 gli impianti elettrici, sia nuovi sia esistenti, devono essere dotati di **impianti di messa a terra**, di cui si parlerà in seguito, e di **interruttori differenziali** ad alta sensibilità o di altri sistemi di protezione equivalente.

Il decreto precisa poi che: "Per **interruttori differenziali ad alta sensibilità** si intendono quelli aventi **corrente nominale differenziale 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**.

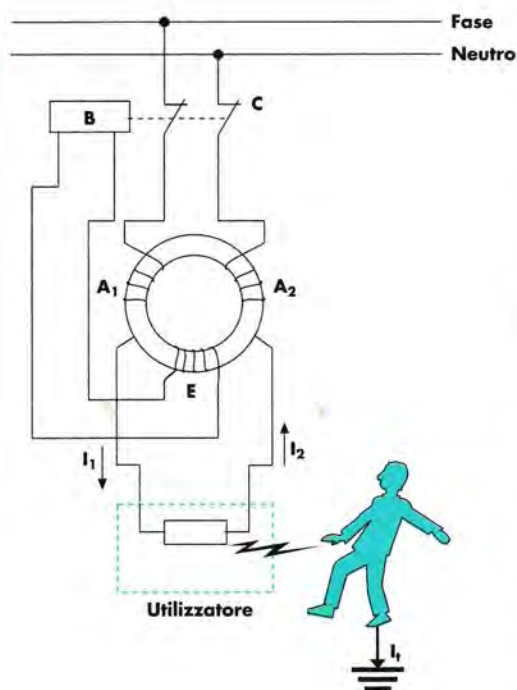
Per sistemi di protezione equivalente si intende ogni sistema di protezione previsto dalle Norme CEI contro i contatti indiretti".

L'interruttore differenziale

L'interruttore differenziale è un dispositivo di protezione **sensibile alle correnti verso terra** e comunque alle correnti che possono essere disperse verso terra per mancanza di isolamento da:

- conduttori;
- apparecchi utilizzatori;
- persone che accidentalmente possono venire in contatto sia direttamente che indirettamente con le parti in tensione

Figura 10
Interruttore differenziale



Con riferimento alla **figura 10**, l'interruttore differenziale è costituito da un nucleo magnetico sul quale sono realizzati tre avvolgimenti.

Due di essi, A_1 e A_2 , sono uguali come numero di spire e sezione del conduttore e vengono collegati rispettivamente al conduttore di fase e al conduttore di neutro e, quando l'utilizzatore è in funzione, vengono percorsi dalle correnti I_1 e I_2 .

Il terzo avvolgimento è realizzato con un conduttore di sezione minore ma con un maggior numero di spire; esso alimenta una bobina B che, in caso di guasto, comanda l'apertura dei contatti C . In condizioni di funzionamento normale i conduttori di fase e di neutro sono percorsi da correnti uguali e pertanto $I_1 = I_2$. Tali correnti producono nei due avvolgimenti A_1 e A_2 due flussi, Φ_1 e Φ_2 , uguali e contrari.

In tali condizioni il nucleo magnetico è

percorso da un flusso nullo e sull'avvolgimento E non si induce nessuna forza elettromotrice. In caso di guasto, poiché parte della corrente si scarica a terra, si ha che I_1 e I_2 sono tra loro diversi e di conseguenza anche i due flussi prodotti negli avvolgimenti A_1 e A_2 . Il terzo avvolgimento viene pertanto interessato da un flusso differenziale $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ proporzionale alla differenza fra le due correnti $\Delta I = I_1 - I_2$ e su di esso si induce una forza elettromotrice E .

Se E è sufficientemente elevata, agisce sulla bobina del dispositivo automatico e lo apre, togliendo l'alimentazione al carico. Il valore di ΔI che fa intervenire l'interruttore differenziale si chiama *corrente differenziale nominale* ΔI_n e per i più comuni interruttori è 30 mA.

Contatti indiretti

Le protezioni contro i contatti indiretti possono essere realizzate nei seguenti modi:

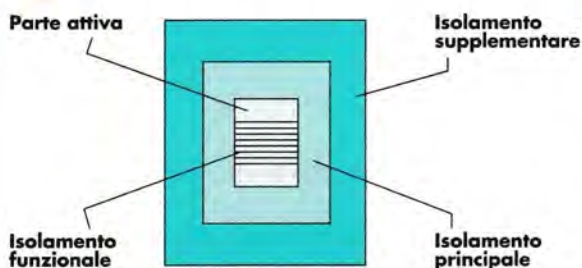
- senza interruzione automatica del circuito;
- con interruzione automatica del circuito.

Protezioni senza interruzione automatica

I provvedimenti per le protezioni senza interruzione automatica sono:

- impiego di componenti con doppio isolamento, cioè dotati sia di isolamento principale, sia di isolamento supplementare; l'isolamento supplementare garantisce la sicurezza in caso di cedimento dell'isolamento principale (figura 11);

Figura 11
Doppio
isolamento



- *locali isolanti*, ovvero locali con pavimento e pareti di materiale isolante, caratterizzato da un valore di resistenza verso terra non inferiore ai limiti stabiliti dalle norme e costante nel tempo; la sicurezza è garantita, inoltre, facendo in modo che, mediante allontanamento e con ostacoli, all'interno di detti locali le per-

sone non possano essere soggette a differenze di potenziale per contatto con masse o masse estranee;

- *separazione elettrica*, cioè l'impianto deve essere alimentato e realizzato in maniera tale da garantire che, in seguito a eventuali contatti indiretti, non si determini un circuito chiuso attraverso cui possa fluire la corrente;
- *locali resi equipotenziali e non connessi a terra*, cioè la protezione è ottenuta collegando tra loro le masse e le masse estranee presenti nell'ambiente, in modo che esse non possano dar luogo a differenze di potenziale pericolose.

Le norme CEI 64-8 definiscono la *massa* e la *massa estranea* nel modo seguente.

- **Massa**: parte conduttrice, facente parte dell'impianto elettrico o di un apparecchio utilizzatore, che non è in tensione in condizioni ordinarie di isolamento, ma che può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale, e che può essere toccata.
- **Massa estranea**: parte conduttrice, non facente parte dell'impianto elettrico, suscettibile di introdurre il potenziale di terra; in casi particolari si considerano masse estranee quelle suscettibili di introdurre altri potenziali.

Protezioni mediante interruzione automatica

Questo tipo di protezione si basa sul collegamento a terra di tutte le masse e le masse estranee presenti nell'ambito dell'impianto.



Collegare a terra le masse e le masse estranee significa far sì che esse assumano un potenziale, per quanto possibile, uguale a quello di terra.

Impianto di messa a terra

Ciò può essere ottenuto collegando con un conduttore di opportuna sezione tutte le masse a un corpo metallico (*dispersore*) posto in intimo contatto con il terreno.

In tal modo la corrente conseguente al guasto viene dispersa a terra e interessa solo in minima parte il corpo della persona eventualmente in contatto con la massa in tensione. La protezione è completata inserendo un dispositivo di interruzione, a monte del circuito, che interviene quando si manifesta la corrente di guasto.

Le figure 12 e 13 rappresentano rispettivamente una presa di terra realizzata con picchetti e una realizzata con un anello sotto le fondamenta di una abitazione.

Figura 12 Presa di terra con picchetti

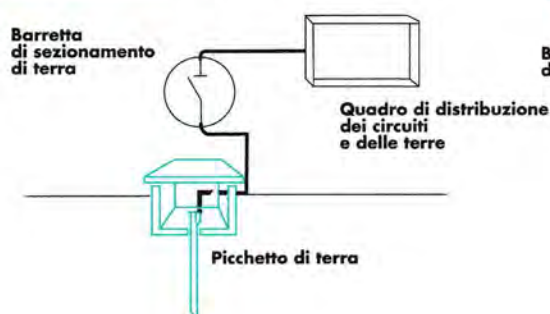
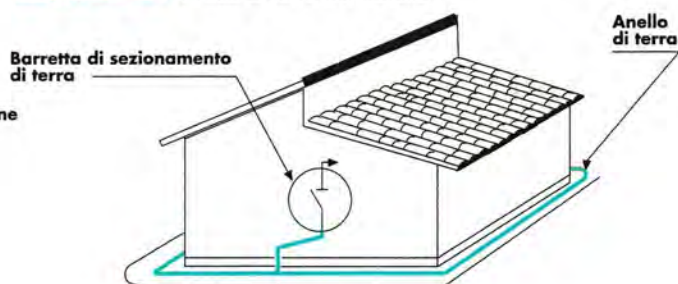


Figura 13 Presa di terra con anello



Nel caso di impianti TT il coordinamento delle protezioni installate a monte dell'impianto elettrico con l'impianto di terra si ottiene quando il valore della resistenza di terra soddisfa la relazione:

$$R = \frac{50}{I_a}$$

dove R_t è la somma delle resistenze del dispersore e dei conduttori di protezione delle masse e I_a è la corrente che provoca il funzionamento automatico del dispositivo di protezione.

Con gli interruttori differenziali più comunemente utilizzati, che hanno corrente nominale differenziale di intervento $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$, il valore della resistenza di terra dovrà essere:

$$R_t \leq \frac{50}{30 \cdot 10^{-3}} \cong 1600$$

valore facilmente ottenibile.

In un sistema TT, maggiormente diffuso sul territorio nazionale, il neutro è collegato direttamente a terra mentre le masse sono collegate a un impianto di terra locale, elettricamente indipendente da quello del neutro.



Scheda integrativa

I sistemi di distribuzione dell'energia elettrica in funzione del collegamento a terra

La distribuzione dell'energia elettrica in bassa tensione viene classificata dalla norma CEI 64-8 nei tre sistemi fondamentali in funzione del collegamento a terra e della situazione delle masse rispetto a terra. Per la classificazione dei sistemi viene utilizzata una sigla di due lettere con il significato di seguito illustrato.

Sistema TT

Il sistema elettrico TT ha il neutro messo direttamente a terra e le masse collegate a un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del neutro (figura 1).

È il sistema comunemente utilizzato in Italia per l'alimentazione degli impianti utilizzatori in bassa tensione dalla rete di distribuzione pubblica, con utilizzatori lontani dalla cabina di trasformazione. Il neutro è messo a terra in cabina (T1), mentre le masse sono collegate all'impianto di terra dell'utente (T2) mediante il conduttore di protezione indicato con PE. In questa situazione, in caso di guasto verso terra, il neutro è da ritenersi conduttore attivo e quindi sezionabile; al contrario il conduttore PE non deve mai essere sezionabile in quanto ha il compito di collegare le masse ai dispersori dell'impianto di terra.

Sistema TN

Il sistema elettrico TN ha il neutro collegato direttamente a terra e le masse collegate al conduttore di neutro. In caso di guasto la corrente viene limitata esclusivamente dall'impedenza dei conduttori e pertanto può raggiungere valori anche molto elevati, dell'ordine delle migliaia di ampere. Le correnti di dispersione delle singole utenze possono interessare

la terra solo in minima parte (essendo la resistenza PEN molto minore di quella del terreno).

Ciò significa che il neutro può considerarsi a tensione praticamente nulla anche in caso di guasto verso terra. Ne consegue che il neutro, nei sistemi TN, va considerato un conduttore non in tensione e quindi, in generale, non va sezionato.

In considerazione del fatto che i conduttori di neutro e di protezione possono essere uniti o separati, si distinguono i sistemi TN-C, TN-S e TN-C-S.

• Sistema TN-C

In tale sistema, rappresentato in figura 2, le funzioni di neutro e di protezione sono svolte da uno stesso conduttore che viene denominato PEN.

• Sistema TN-S

In tale sistema, rappresentato in figura 3 (pagina seguente), le funzioni di neutro e di protezione sono svolte da conduttori separati.

• Sistema TN-C-S

In tale sistema, le funzioni di neutro e di protezione sono, per una certa parte di circuito, combinate in un unico conduttore e successivamente separate (figura 4 pagina seguente).

Sistema IT

Il sistema elettrico IT ha il neutro isolato, o a terra, tramite un'impedenza, mentre le masse sono collegate a terra tramite il conduttore PE.

In questo caso il neutro, essendo conduttore attivo senza compiti di protezione, deve essere sempre sezionabile.

Nella figura 5 (pagina seguente) viene rappresentato quanto ora descritto.

Figura 1 Sistema TT

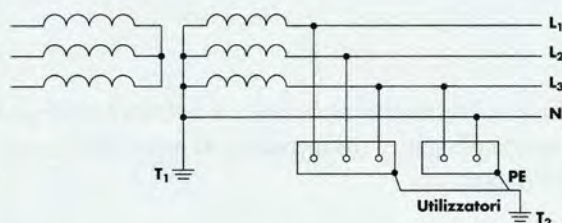


Figura 2 Sistema TN-C

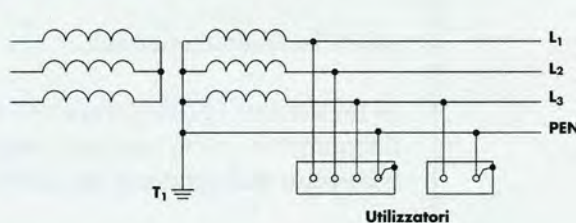


Figura 3 Sistema TN-S

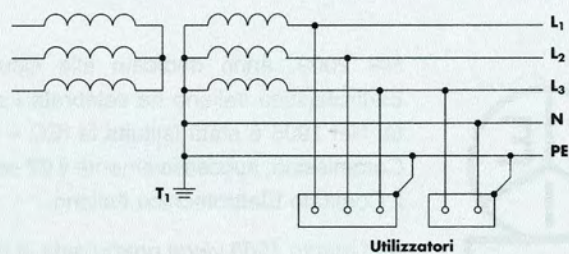


Figura 4 Sistema TN-C-S

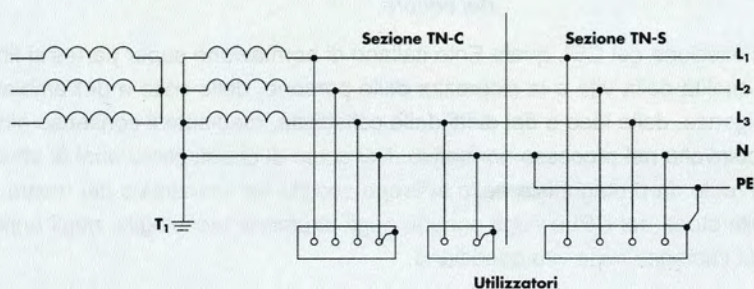
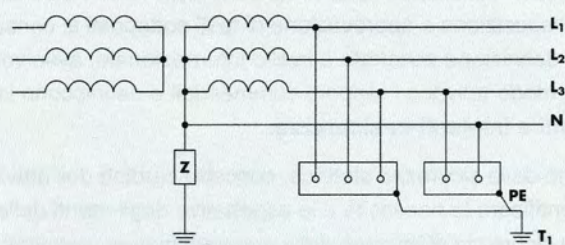


Figura 5 Sistema IT



▶ TEST DI RIEPILOGO

- 1 Che cosa si intende per contatto diretto?
- 2 Che cosa si intende per corrente di rilascio?
- 3 Da che cosa dipende la pericolosità della corrente elettrica?
- 4 Che cos'è e a cosa serve un interruttore differenziale?
- 5 A che cosa serve un impianto di messa a terra?