

SICUREZZA ELETTRICA

La sicurezza elettrica è una sezione molto importante degli impianti elettrici, perché deve proteggere contestualmente gli apparati/sistemi elettrici in qualunque condizione di funzionamento (in transitorio, a regime, in condizioni anomale o di guasto) e gli essere umani. La complessità che ne deriva è oggetto di interi corsi di insegnamento e certamente non può trovare tutte le risposte nel presente capitolo. Scopo di questa trattazione è fornire una panoramica generale di tutti i più importanti aspetti legati alla sicurezza elettrica, rinviando il lettore alla letteratura specializzata per gli approfondimenti.

Il capitolo introduce la problematica della sicurezza elettrica, portando in conto due aspetti principali, peraltro legati tra loro. Il primo riguarda la *sicurezza degli impianti elettrici* (sicurezza interna di funzionamento), intesa come insieme degli accorgimenti ed apparecchiature di protezione che: a) consente il regolare funzionamento degli impianti elettrici; b) è sensibile ad anomalie di funzionamento; c) è in grado di eliminare l'anomalia rilevata; d) garantisce l'integrità fisica dei componenti elettrici; e) consente il ripristino del normale esercizio del sistema elettrico dopo aver eliminato l'origine dell'anomalia. Il secondo aspetto riguarda, invece, la *sicurezza delle persone dagli impianti elettrici*, intesa come insieme dei sistemi di protezione idonei a preservare la salute e la sicurezza degli essere umani che interagiscono con i sistemi elettrici. Tenendo bene in mente questa distinzione, si osserva che molto spesso non è possibile né logico considerare un sistema di protezione appartenente all'una o all'altra categoria, in quanto essenziale per entrambe. Ad esempio, l'isolante del cavo di alimentazione di un comune elettrodomestico è funzionale al normale esercizio dell'apparecchio (in sua assenza si verificherebbe un corto circuito), ma ha anche una funzione di protezione per la persona che lo adopera. Si evince da ciò che una trattazione organica della sicurezza elettrica dovrà basarsi necessariamente su un approccio integrato della protezione dei sistemi elettrici con quella delle persone.

Prima di poter affrontare le tematiche specifiche della sicurezza, è necessario conoscere da quali componenti è costituito un sistema elettrico di potenza, quali sono le loro funzioni e come sono connessi tra di loro. A tal fine è introdotto il sistema di generazione, trasporto e distribuzione primaria e secondaria di un sistema elettrico, ponendo un accento particolare sulle reti di distribuzione in BT. Sono introdotti i concetti di sovratensione, sovracorrenti e relative protezioni. Infine, si affrontano gli aspetti legati alla sicurezza dell'uomo, analizzando la pericolosità della corrente e della tensione elettrica. Sono introdotte alcune nozioni relative a contatti diretti, contatti indiretti e relativi sistemi di protezione.

Obiettivi di apprendimento:

1. saper classificare un sistema elettrico in base alla tensione di esercizio;
2. saper classificare un sistema elettrico di distribuzione in base al collegamento del neutro e delle masse;
3. conoscere le problematiche derivanti da *sovratensioni* nei sistemi elettrici e le relative protezioni da adottare;
4. conoscere le problematiche derivanti da *sovracorrenti* nei sistemi elettrici e le relative protezioni da adottare;
5. conoscere gli effetti sul corpo umano derivanti dal passaggio della corrente elettrica;
6. conoscere i sistemi di protezione per l'uomo per evitare i danni provenienti da *contatto diretto* con le parti attive degli impianti;
7. conoscere i sistemi di protezione per l'uomo per evitare i danni provenienti da *contatto indiretto* con le *masse* degli impianti.

Un sistema elettrico di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica è definito da tre parametri caratteristici: tensione nominale di esercizio, frequenza nominale e stato di funzionamento del neutro. Come già detto nei capitoli precedenti, la frequenza nominale di esercizio per i sistemi elettrici in Italia è 50 Hz, indipendentemente dalla tensione di esercizio e dallo stato del neutro, mentre per *tensione nominale* si intende la tensione per la quale è stato progettato l'impianto o parte di esso. Focalizziamo l'attenzione prima sulla classificazione dei sistemi elettrici in base alla tensione di esercizio e poi sulla classificazione delle reti in base allo stato del neutro.

11.1 CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI ELETTRICI IN BASE ALLA TENSIONE DI ESERCIZIO

La norma CEI 64-8 (CEI sta per Comitato Elettrotecnico Italiano) suddivide i sistemi elettrici in 4 categorie a seconda della tensione nominale di funzionamento, V_n . Per ciascuna categoria sono riportate due soglie per tener conto del tipo di alimentazione (in alternata $V_{n,a}$ o in continua $V_{n,c}$):

$$\begin{aligned}
 \text{Categoria 0} &\rightarrow \begin{cases} V_{n,a} \leq 50\text{V} \\ V_{n,c} \leq 120\text{V} \end{cases} \\
 \text{Categoria 1} &\rightarrow \begin{cases} 50\text{V} \leq V_{n,a} \leq 1.000\text{V} \\ 120\text{V} \leq V_{n,c} \leq 1.500\text{V} \end{cases} \\
 \text{Categoria 2} &\rightarrow \begin{cases} 1.000\text{V} \leq V_{n,a} \leq 30.000\text{V} \\ 1.500\text{V} \leq V_{n,c} \leq 30.000\text{V} \end{cases} \\
 \text{Categoria 3} &\rightarrow 30.000\text{V} \leq V_n \text{ sia in alternata sia in continua}
 \end{aligned} \tag{11.1}$$

I sistemi di Categoria 0, a loro volta, sono suddivisi in tre categorie:

- SELV (bassissima tensione di sicurezza);
- PELV (bassissima tensione di protezione);
- FELV (bassissima tensione funzionale).

Molto spesso è utilizzata anche la seguente classificazione:

- bassa tensione (BT), quando $V_n \leq 1.000\text{V}$;
- media tensione (MT), quando $1.000 < V_n \leq 30.000\text{V}$;
- alta tensione (AT), quando $30.000\text{V} < V_n$.

La Fig. 1 riporta uno schema generale di una porzione di rete elettrica trifase. Per una maggiore comprensione è stata adottata la rappresentazione unifilare, consistente nel disegnare un'unica linea di collegamento tra i vari componenti, riportando su essa un numero di tratti obliqui pari al numero reale di cavi di collegamento (nell'esempio in figura tutti i componenti sono connessi con cavi a tre conduttori).

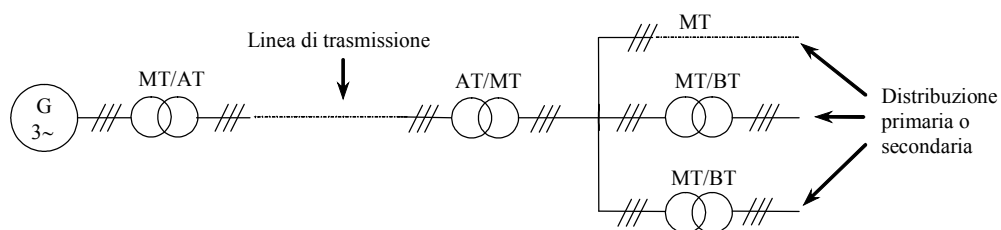


Fig. 1. Schema di porzione di rete trifase

Ai morsetti del generatore elettrico trifase in corrente alternata ($G3\sim$) è disponibile una tensione nominale di 20 kV. Per trasferire l'energia prodotta dal generatore trifase agli utilizzatori è necessaria una linea di trasmissione, i cui conduttori devono avere una sezione dipendente dalla corrente in transito; ovviamente minore è la corrente che attraversa i conduttori, più piccola sarà la sezione dei cavi, minore sarà il loro peso, più basso sarà il loro costo. Queste considerazioni consentono di affermare che è economicamente più vantaggioso trasportare l'energia elettrica impiegando bassi valori di corrente piuttosto che alti valori della stessa. Il risparmio economico che si realizza riguarda i *costi di installazione e manutenzione* della linea.

Inoltre, le perdite per effetto Joule lungo la linea dipendono dal quadrato della corrente; quindi, se la corrente in transito si dimezza, le perdite si riducono ad un quarto e aumenta così l'efficienza dell'intera linea di trasmissione. In sostanza, a parità di potenza assorbita dai carichi all'arrivo della linea bisognerà fornire meno potenza in partenza dalla linea, poiché si sono ridotte le perdite di trasmissione. Questo accorgimento tecnico consente un ulteriore risparmio sui *costi di esercizio* dell'intero impianto.

Dalle precedenti considerazioni si evince l'importanza di trasferire energia elettrica con bassi valori di corrente e che tale esigenza diventa tanto più pressante quanto maggiori sono le distanze da percorrere.

A tal fine, a valle del generatore trifase di Fig. 1 si nota un trasformatore elevatore MT/AT, che ha proprio il compito di innalzare il livello della tensione nominale, considerando che, a parità di potenza, una tensione più alta implica una minore corrente. Trasformatori di tipo MT/AT consentono di avere un livello di tensione dal lato AT pari a 220-380 kV ed oltre. Tali valori di tensione sono da considerarsi solo per il trasporto di energia su lunghissime distanze. Man mano che ci si avvicina agli utenti finali il livello di tensione diminuisce gradualmente. Le linee di trasmissione AT terminano nelle *stazioni di trasformazione* di tipo AT/MT. Da esse partono le linee di *distribuzione primaria* che trasportano energia in MT fino alle *cabine primarie o di smistamento*. Infine da queste ultime cabine partono le linee in MT che giungono in *cabine secondarie o di trasformazione*. Queste possono essere sia pubbliche sia private. La fornitura di energia ad utenti che richiedono una notevole potenza è fatta in MT (di solito $V_n = 20$ kV) ed è l'utente stesso che realizza la cabina di trasformazione MT/BT (cabina privata). La fornitura di energia per piccoli impianti ed utenze domestiche è realizzata invece in bassa tensione (tensione nominale pari a 220-380V, secondo che la distribuzione sia monofase o trifase) e la cabina di trasformazione MT/BT è pubblica. La distribuzione in BT è detta *distribuzione secondaria*.

In generale, quindi, le reti di trasporto in AT e di distribuzione in MT sono trifasi, mentre quelle di distribuzione in BT sono sia trifasi che monofasi.

Il materiale impiegato per le linee di trasmissione può essere di rame o alluminio; il primo è preferibile per la minore resistività elettrica (quindi a parità di corrente in transito è sufficiente una sezione più piccola), il secondo per il minor peso.

Infine è opportuno evidenziare che spesso le linee di trasmissione sono protette dal rischio di fulminazione tramite uno o due cavi – detti *funi di guardia* – che corrono al di sopra della linea di trasmissione e sono collegati direttamente al suolo tramite connessione con i tralicci in ferro (Fig. A).

11.2 CLASSIFICAZIONE DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IN BT: TT, TN, IT

Dal precedente paragrafo si evince una notevole complessità dell'intero sistema elettrico, a partire dalla produzione dell'energia fino all'impiego da parte dell'utente finale. Poiché scopo del presente capitolo è fornire gli strumenti conoscitivi di base per comprendere il funzionamento dei sistemi elettrici di potenza con cui più facilmente il lettore potrà interagire, si focalizza l'attenzione soltanto sulla parte finale della rete elettrica, ossia sulla distribuzione in BT.

In generale, il trasformatore trifase MT/BT della cabina di trasformazione secondaria ha l'avvolgimento lato MT collegato a triangolo e quello lato BT collegato a stella, come riportato in Fig. 2. In particolare, il rapporto 20kV/400V porta in conto le tensioni nominali dei rispettivi

avvolgimenti di MT e BT, mentre le lettere R-S-T-N, per il lato BT, rappresentano le tre fasi e il conduttore di neutro (N).

Sul lato BT possono essere collegati sia carichi trifasi (tra i morsetti R-S-T) sia monofasi (tra una delle fasi e il neutro).



Fig. A. Traliccio in ferro (in alto la fune di guardia)

In base alla funzione da assolvere e alle condizioni di funzionamento, le parti costituenti un

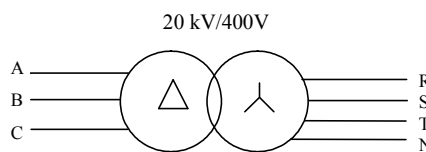


Fig. 2. Trasformatore MT/BT

impianto elettrico possono o meno essere sottoposti ad una certa tensione. In particolare si individuano le seguenti tipologie:

- *parte attiva*, ad esempio un conduttore, avente una determinata tensione necessaria per il normale funzionamento del sistema elettrico;
- *isolante*, ad esempio il rivestimento di un conduttore, avente la funzione di evitare il contatto fra parti attive o parte attiva e massa oppure parte attiva e uomo;
- *massa*, involucro metallico contenente un'apparecchiatura elettrica (ad esempio carcassa di un motore), normalmente non in tensione, ma che in caso di deterioramento dell'isolante può essere in tensione;
- *massa estranea*, elemento conduttore non appartenente all'impianto (ad esempio tubature interrate non collegate), che può introdurre un potenziale nell'impianto stesso.

In base allo stato del neutro e al collegamento delle masse, le reti di distribuzione in BT sono classificate con due lettere. La prima indica lo stato del neutro, la seconda rappresenta la situazione delle masse (Tabella I).

Tabella I

1 ^a lettera (stato del neutro)	2 ^a lettera (collegamento masse)
T = neutro connesso direttamente a terra	T = masse collegate direttamente a terra
I = neutro isolato o collegato con impedenza	N = masse collegate al conduttore di neutro

Le reti di distribuzione possono essere, quindi, classificate come TT, TN, IT. Nel seguito se ne dà una descrizione più puntuale per ciascuno di essi.

11.2.1 Sistema TT

Nel sistema TT (Fig. 3) il neutro è collegato a terra direttamente o tramite impedenza trascurabile, mentre le masse sono collegate ad un impianto di terra locale, elettricamente indipendente da quello del neutro. Analizziamo ora qual è, in caso di cedimento dell'isolamento, il percorso della corrente di guasto. Tale aspetto sarà ripreso in maniera più dettagliata in 11.7 quando si affronterà la problematica della protezione dai contatti indiretti.

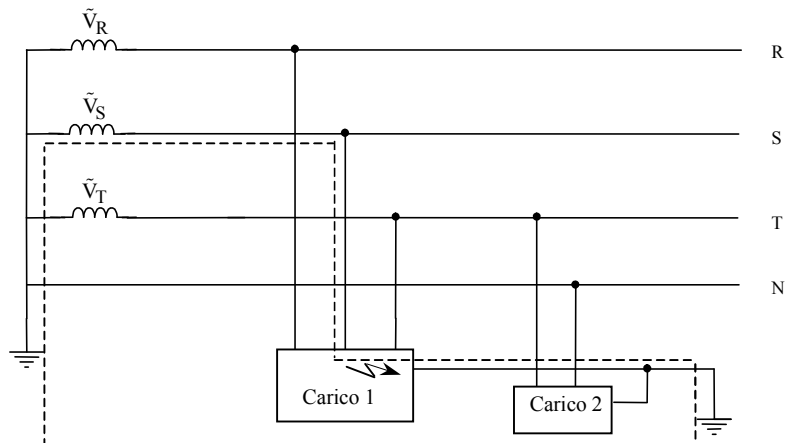


Fig. 3. Sistema di distribuzione TT (carico 1 trifase, carico 2 monofase)

In caso di guasto dell'isolamento (nella figura 3 si è ipotizzato un contatto diretto tra la fase S e la massa), si realizza un cammino chiuso per la corrente elettrica (indicato in figura dalla linea tratteggiata), detto *circuito di guasto*, alimentato dal trasformatore. Tale corrente è limitata solo dalle impedenze dei due impianti di terra. Se tali impedenze sono sufficientemente piccole nel circuito si instaura una corrente elevata e gli interruttori di protezione intervengono distaccando la linea; tuttavia può accadere che a volte l'impedenza dell'impianto di terra dell'utente non sia così piccola da far intervenire il dispositivo di protezione, a meno che quest'ultimo non sia un interruttore differenziale ad elevata sensibilità (vedi 11.6.3).

Il sistema TT è il sistema di alimentazione della rete pubblica.

11.2.2 Sistema TN

Nel sistema TN il neutro è collegato direttamente a terra o tramite impedenza trascurabile, mentre le masse sono collegate a terra tramite un *conduttore di protezione* (PE). Se le funzioni di protezione e di neutro sono realizzate tramite due conduttori *separati*, il sistema è classificato come TN-S (Fig. 4a)); se, invece, le funzioni sono raggruppate in un unico conduttore *comune* (PEN), il sistema è classificato come TN-C (Fig. 4b). Esistono anche configurazioni miste, classificate come TN-C-S.

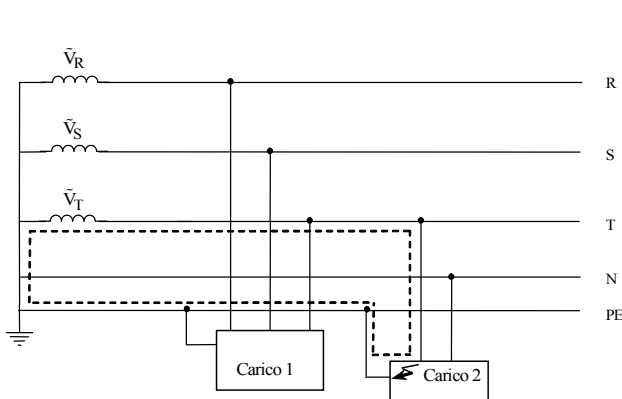


Fig. 4a. Sistema di distribuzione TN-S (1 = trifase, 2 = monofase)

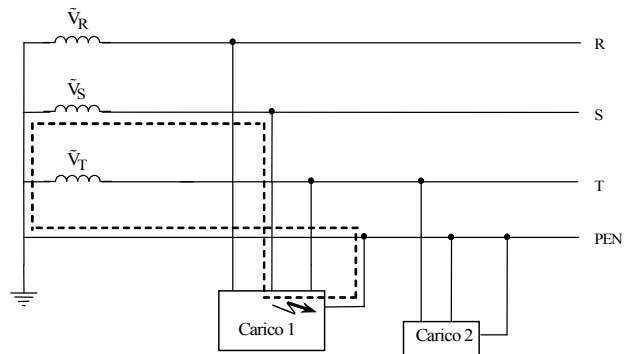


Fig. 4b. Sistema di distribuzione TN-C (1 = trifase, 2 = monofase)

In caso di guasto d'isolamento si verifica un corto circuito tra un conduttore di fase e il conduttore di neutro, alimentato dal trasformatore. In questo caso le uniche impedenze presenti nel circuito di guasto sono quelle relative ai conduttori stessi (supponendo nulla l'impedenza di guasto); ovviamente in tale situazione la corrente circolante è sufficientemente elevata da far intervenire gli interruttori di protezione di massima corrente.

La distribuzione TN è utilizzata in impianti con propria cabina di trasformazione MT/BT.

11.2.3 Sistema IT

Nel sistema IT il neutro è isolato o collegato a terra tramite impedenza non trascurabile (parte tratteggiata), mentre le masse sono collegate a terra (Fig. 5).

In questo caso, in caso di guasto dell'isolamento la corrente attraversa l'impedenza dell'impianto di terra e si richiude attraverso capacità parassite (se isolato) o attraverso l'impedenza del centro-stella (che però ha valore elevato). In entrambi i casi il circuito di guasto presenta un'elevata impedenza, consentendo quindi la circolazione di una piccola corrente. Per questo motivo non intervengono i dispositivi di protezione a seguito di un primo guasto, garantendo così una maggiore continuità del servizio.

Il sistema IT è adottato nelle strutture ospedaliere o dove sono presenti apparecchiature elettromedicali, per le quali la continuità di esercizio è un requisito indispensabile.

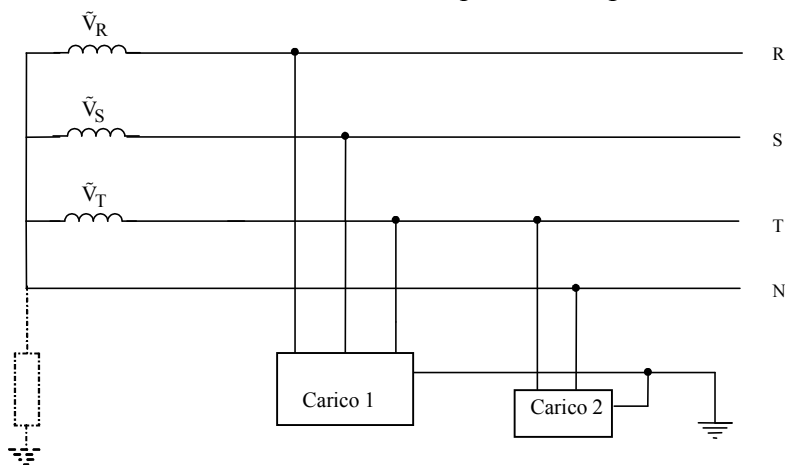


Fig. 5. Sistema di distribuzione IT (1 = trifase, 2 = monofase)

11.3 ORIGINE DI SOVRATENSIONI E CRITERI DI PROTEZIONE

Ogni sistema elettrico è progettato per condizioni di funzionamento ben definite; se il sistema elettrico è un'apparecchiatura/dispositivo, tali informazioni sono riportate nei dati di targa. I valori di tensione, corrente e frequenza riportati prendono il nome di *valori nominali* delle rispettive grandezze. Quando il dispositivo, in esercizio, funziona con tali valori di targa (cioè assorbe la corrente nominale, a tensione e frequenza nominali) si dice che lo stesso sta funzionando in

condizioni nominali. Spesso il dispositivo elettrico assorbe una potenza inferiore a quella nominale ed anche la corrente sarà inferiore al suo valore nominale.

Quando un sistema elettrico non funziona rispettando le specifiche elettriche per le quali è stato progettato e il valore di tensione e/o di corrente è superiore al valore nominale, il funzionamento del sistema è considerato *anomalo*. Se l'anomalia (di tensione e/o corrente e/o frequenza) è limitata nel tempo e in ampiezza, probabilmente è dovuta ad un semplice disturbo derivante dall'inserzione/distacco di altro dispositivo o interferenza momentanea. Non è una condizione normale di funzionamento, ma può tuttavia essere considerata *tipica* del normale esercizio dell'impianto (ad esempio quando si avvia una macchina asincrona trifase la corrente allo spunto è pari a 6-8 volte la corrente nominale). Se, invece, l'anomalia permane nel tempo e/o ha un'ampiezza di gran lunga superiore rispetto a quella nominale, allora si è in presenza di un *guasto*. È evidente che le due situazioni devono essere gestite diversamente e che diversi dovranno essere gli accorgimenti tecnici e i dispositivi di protezione da adottare.

In questo paragrafo affronteremo gli aspetti legati alle sovratensioni, mentre nel prossimo si focalizzerà l'attenzione sulle conseguenze delle sovracorrenti e sulle relative protezioni.

Per *sovratensione* si intende un anomalo aumento della tensione rispetto al normale valore di esercizio. Si individuano due principali tipologie di sovratensioni:

- *sovratensione di origine interna*, dovuta al funzionamento stesso dell'impianto elettrico; in generale dipende da guasti o semplici manovre che alterano le condizioni di funzionamento del sistema (ad es. distacco di grosso carico, corto-circuito, apertura di interruttore che altera la topologia della rete);
- *sovratensione di origine esterna*, dovuta a cause esterne al sistema stesso; la maggior parte delle volte dipende da fenomeni elettrici di origine atmosferica, ma può anche dipendere da campi elettro-magnetici dovuti ad altri sistemi elettrici. Un caso tipico è la fulminazione diretta sulla linea elettrica o in vicinanza di essa, di cui si è già parlato nel paragrafo 11.1 a proposito delle funi di guardia.

Le sovratensioni di origine interna, a loro volta, possono suddividersi in tre tipi:

- sovratensioni che conservano la forma sinusoidale e la stessa frequenza (50 Hz) impressa dai generatori (tipiche del distacco improvviso del carico);
- sovratensioni che manifestano oscillazioni a frequenza più elevata della fondamentale (tipiche dell'apertura di interruttore sotto carico);
- sovratensioni di tipo impulsivo (tipiche della chiusura di interruttore per la messa in tensione di linee a vuoto) La Fig. 6 riporta una forma d'onda di tipo impulsivo caratterizzata da un fronte di salita molto ripido e da una coda molto più lenta; il tempo di emivalore, t_{emi} , rappresenta il tempo necessario affinché la tensione raggiunga la metà del valore di cresta

Le sovratensioni di origine esterna, invece, possono suddividersi in due categorie:

- sovratensioni a formazione lenta, dipendenti da fenomeni di induzione elettrostatica;
- sovratensioni impulsive, caratterizzate da forma d'onda impulsiva con valore di cresta fino a 5000kV raggiunto in qualche microsecondo, con t_{emi} di decine di microsecondi (tipiche delle fulminazioni).

Le sovratensioni producono effetti negativi soprattutto sugli isolamenti dei componenti elettrici. Poiché si prevede che ci possano essere delle sovratensioni, gli isolamenti sono dimensionati per una tensione superiore a quella del normale esercizio, detta *tensione massima di riferimento per l'isolamento*.

Tuttavia, tale accorgimento non è sufficiente a garantire la protezione del sistema dalle sovratensioni, in quanto fortemente dipendente dalla causa che l'ha generato. Infatti una sovratensione dovuta a fulminazione diretta risulta essere sicuramente molto più gravosa rispetto ad una sovratensione per parziale distacco di carico. Né tuttavia è economicamente percorribile la strada della protezione rispetto al caso peggiore; tale scelta infatti porterebbe a sovradimensionare in maniera eccessiva la gran parte dei componenti. La soluzione, non alternativa alla prima ma integrata con essa, può essere ottenuta impiegando un dispositivo, detto *scaricatore di*

sovratensione, che limita il valore della sovratensione sui componenti quando gli stessi sono interessati da una tensione prossima a quella di riferimento per l'isolamento. Tale dispositivo si collega in prossimità del componente da proteggere con un morsetto direttamente collegato alla linea in tensione e l'altro collegato al suolo. I due morsetti sono posti ad una prefissata distanza, tale che in condizioni normali di funzionamento si comporta da circuito aperto, mentre in presenza di sovratensione prossima alla tensione di isolamento si manifesta un arco elettrico tra gli elettrodi. In questo modo la sovratensione è 'assorbita' dallo scaricatore e non dai componenti. Ovviamente l'intervento dello scaricatore si presenta come un guasto a terra e provocherà un fermo dell'impianto. Eliminata la causa e ripristinato il normale esercizio dell'impianto, lo scaricatore dovrà nuovamente comportarsi da circuito aperto.

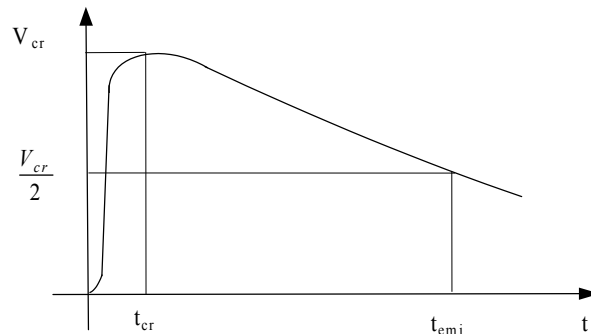


Fig. 6. Forma d'onda impulsiva

11.4 ORIGINE DI SOVRACORRENTI E CRITERI DI PROTEZIONE

Come abbiamo già detto nel paragrafo precedente, quando un'apparecchiatura/dispositivo funziona con una corrente superiore al valore nominale si dice che è attraversata da una sovracorrente.

Anche in questo caso possono presentarsi due situazioni diverse, a seconda che la sovracorrente sia dovuta ad un *sovraccarico* (condizione anomala) o ad un *corto circuito* (guasto).

11.4.1 Sovraccarico

Il primo caso è tipico di un sistema elettricamente sano ma che, a seguito di determinate condizioni di funzionamento, eroga o assorbe una corrente superiore a quella di progetto (*corrente nominale*). Una situazione tipica di sovraccarico è quella che si verifica in una civile abitazione in cui più dispositivi (forno elettrico, lavatrice, phon, ecc.) sono azionati contemporaneamente. In tale situazione può accadere che dopo un po' di tempo intervengano le protezioni per disalimentare tutto il sistema. Altra situazione tipica è quella relativa all'avviamento di un motore trifase che può assorbire, allo spunto, fino a 6-8 volte la corrente nominale. In tutte queste situazioni le sollecitazioni al sistema sono sostanzialmente di tipo termico, ossia provocano delle sovratemperature. Le parti isolanti dei sistemi elettrici (ad esempio le guaine esterne dei conduttori) sono progettati per garantire la loro funzione fino a determinate temperature. Un eccesso di temperatura sollecita in maniera abnorme gli isolanti producendo due tipi di effetti. Il primo è legato ad un'alterazione della funzione isolante e quindi ad un invecchiamento precoce dell'isolante stesso, che pertanto dovrà essere sostituito prima del previsto. Il secondo aspetto è legato alla sicurezza del sistema; infatti, a causa dell'alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche dell'isolante possono verificarsi scariche elettriche o veri e propri corto-circuiti. In questo secondo caso l'anomalia evolve in guasto.

11.4.2 Corto circuito

A differenza del sovraccarico, il corto circuito rappresenta un guasto del sistema elettrico. Tale situazione si verifica quando due punti a tensione diverse vengono direttamente a contatto. In questa situazione l'impedenza di guasto è molto piccola (in prima approssimazione nulla) e la corrente che l'attraversa ha valori molto elevati. In questo caso le sollecitazioni non sono solo di

tipo termico ma anche di tipo elettrodinamico. Tra le conseguenze più gravi che possono innescarsi a seguito di un corto circuito sono da elencare incendi ed esplosioni. Oltre ai danni che tali fenomeni provocano sui sistemi elettrici, bisogna tener conto anche delle loro conseguenze sull'uomo. Infatti a seguito di un incendio possono svilupparsi fumi, a volte anche tossici, che limitano la visibilità e rendono più difficile la respirazione. Unendo a tali difficoltà un prevedibile stato di panico e di ansia che si verifica a seguito di un incendio/esplosione, si capisce bene che un corto-circuito può essere molto pericoloso per l'uomo. Poiché le correnti di corto circuito assumono valori elevatissimi immediatamente dopo il verificarsi del corto circuito, è evidente che devono essere interrotti il prima possibile e che eventuali effetti già presenti restino confinati. Ad esempio, è ovvio che i cavi elettrici, contenuti in canali di plastica (canaline, Fig. B.) o disposti su struttura sospese (passerelle), potrebbero far propagare un incendio da una zona ad un'altra. A tal fine le norme CEI prevedono che i cavi, a seconda del tipo di installazione, debbano verificare determinate condizioni di non propagazione delle fiamme e degli incendi, oltre che bassa o nulla emissione di fumi. Norme specifiche esistono anche per tutte le altre parti costituenti i sistemi elettrici. Da quanto detto, appare evidente che le protezioni per il sovraccarico e per il corto circuito devono rispondere ad esigenze completamente differenti.

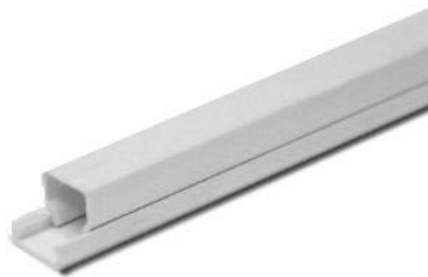


Fig. B. Canalina per cavi elettrici

11.4.3 Protezioni da sovracorrenti

I dispositivi per la protezione da sovracorrenti possono essere classificati in modo diverso a seconda dell'aspetto che si vuole evidenziare. Possono essere di tipo *a carico* o *a vuoto*, secondo che gli stessi possano intervenire in presenza di corrente (interrompono una corrente in fase di apertura o la stabiliscono in fase di chiusura) o solo in sua assenza. Possono essere, inoltre, di tipo *manuale* o *automatico*, secondo che l'operazione debba essere eseguita da un operatore oppure possa essere controllata da un altro dispositivo (timer, circuito di comando, ecc.). Ad esempio, l'interruttore per accendere/spegnere le luci o per avviare/fermare un motore è sicuramente un interruttore a carico, normalmente manuale; se però è inserito un timer che ne regola accensione e spegnimento, allora il comando non è più manuale ma automatico.

Definiamo ora alcune caratteristiche specifiche per i dispositivi di protezione dal sovraccarico. Poiché tali apparecchi devono garantire il normale funzionamento dei sistemi che proteggono e devono intervenire prima che il sovraccarico produca danni, allora per essi devono essere definite due correnti: una *corrente nominale* non inferiore a quella di normale esercizio del conduttore cui è collegato e una *corrente di intervento* non superiore alla portata massima del conduttore. In questo modo si è certi che non ci siano scatti intempestivi dell'interruttore e che il conduttore sia protetto. Ovviamente l'interruttore dovrà intervenire tanto prima quanto più gravoso è il sovraccarico. In gergo tecnico si dice che la sua caratteristica d'intervento è *a tempo inverso*.

Le specifiche, invece, per un dispositivo idoneo alla protezione da corto circuito sono diverse. In questo caso il dispositivo dovrà ancora garantire il normale funzionamento del sistema (ed avrà quindi una corrente nominale non inferiore a quella di normale esercizio del conduttore), ma dovrà anche essere in grado di interrompere molto rapidamente le elevate correnti di guasto. A tal fine si definisce il *potere d'interruzione* come la massima corrente che il dispositivo è in grado di interrompere. Questo implica che bisogna prima conoscere il valore presunto della massima

corrente di corto circuito che può interessare la linea e poi scegliere un interruttore avente un potere d'interruzione non inferiore al valore di tale corrente. Inoltre, dato l'elevato valore delle correnti di corto circuito è importante che tali dispositivi intervengano quasi istantaneamente al verificarsi del guasto.

Apparecchi in grado di interrompere le sovracorrenti sono alcuni tipi di interruttori, i fusibili ed alcuni tipi di relé. I *sezionatori* interrompono la continuità di linee a vuoto, quando cioè è stata già interrotta la corrente elettrica (tuttavia esistono sezionatori sotto carico), mentre *teleruttori* o *contattori* possono interrompere soltanto la normale corrente di esercizio. Particolare importanza rivestono gli *interuttori magneto-termici*, i *fusibili* e i *relé di massima corrente*. I magneto-termici (la cui *caratteristica d'intervento* tempo-corrente è riportata in figura 7) sono idonei alla protezione sia dal sovraccarico che dal corto circuito. Infatti, la prima parte a tempo inverso garantisce l'intervento della protezione tanto più rapidamente quanto più aumenta il valore della corrente (protezione termica per il sovraccarico); la seconda parte prevede un intervento rapidissimo in presenza di elevate correnti (protezione magnetica per il corto circuito).

I fusibili, collegati in serie al dispositivo da proteggere, sono costituiti da un conduttore riposto in un contenitore; alle estremità del conduttore sono presenti due parti conduttrici collegate al filamento interno. In condizioni di sovracorrente il filamento tende a fondere e tale processo sarà tanto più rapido quanto maggiore è la corrente che lo attraversa.

Il relé di massima corrente, infine, è un dispositivo che interviene soltanto dopo che la corrente ha superato una soglia prefissata.

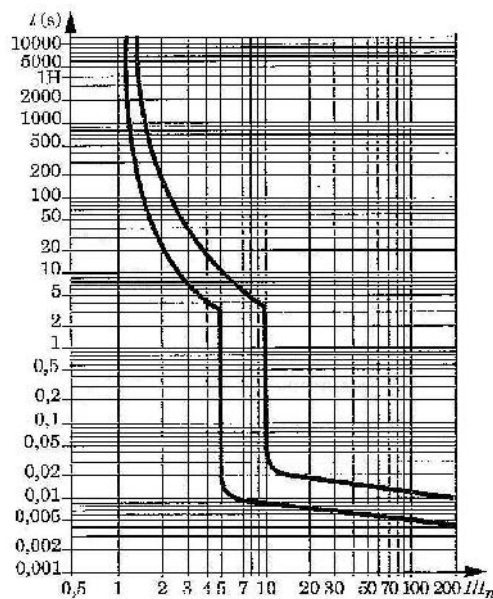


Fig. 7. Caratteristica tempo corrente per interruttore magneto-termico.

11.5 RESISTENZA ELETTRICA DELL'UOMO, PERICOLOSITA' DELLA CORRENTE ELETTRICA E DELLA TENSIONE ELETTRICA

11.5.1 Pericolosità della corrente elettrica

All'interno del corpo umano esistono fenomeni di natura elettrica regolati dal sistema nervoso, come ad esempio il battito cardiaco o la respirazione. Quando l'uomo è sottoposto a segnali elettrici esterni, le funzioni degli organi vengono alterate e possono manifestarsi fenomeni più o meno gravi per la salute dell'essere umano (ustioni, tetanizzazione dei muscoli, arresto della respirazione, fibrillazione ventricolare).

La figura 9 riporta la durata del contatto in funzione dell'intensità della corrente (si suppone una corrente a 50 Hz); tali diagrammi sono detti *grafici di pericolosità convenzionale*. È possibile

individuare diverse zone, ciascuna delle quali caratterizzata da un predefinito livello di pericolosità. Tale figura evidenzia che una corrente di 200 mA può non avere alcun effetto sull'uomo o provocare la fibrillazione a seconda che il tempo di esposizione vari da alcune decine di millisecondi fino ad alcuni secondi. Ciò evidenzia che il tempo entro cui i dispositivi di protezione devono intervenire è di 'vitale' importanza. Alle cinque zone evidenziate corrispondono i seguenti effetti:

1. nessuna percezione della corrente elettrica, qualunque sia la durata del contatto.
2. Nessun effetto fisiologico o patologico pericoloso. Valori di corrente fino a 10 mA sono percepite dall'uomo ma possono essere tollerate per un tempo indefinito; non così per valori superiori di corrente.
3. Basso rischio di fibrillazione ventricolare, ma effetti fisiologici pericolosi quali difficoltà di respirazione ed alterazioni del ritmo cardiaco;
4. Rischio di fibrillazione ventricolare inferiore al 50% e possibilità di arresto cardiaco ed arresto respiratorio;
5. Rischio di fibrillazione ventricolare superiore al 50% e possibilità di arresto cardiaco ed arresto respiratorio.

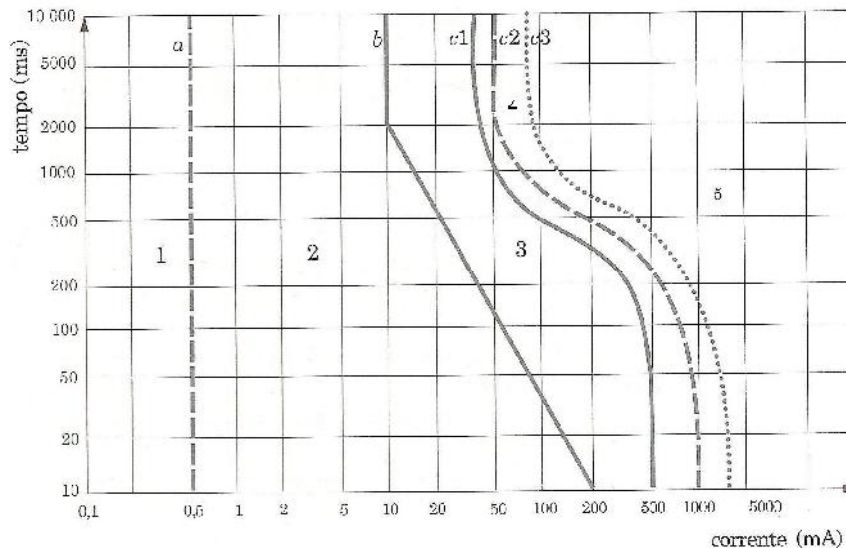


Fig. 8. Curva di pericolosità corrente-tempo a 50 Hz.

Poiché all'interno del corpo umano sono già presenti fenomeni elettrici, segnali elettrici esterni sono percepiti soltanto se superiori ad una certa soglia; tale valore è diverso da persona a persona e dipende fortemente dalla frequenza del segnale. In generale, i segnali a frequenza di 50/60 Hz sono percepiti già con un'intensità di 1 mA, mentre segnali costanti sono percepiti a partire da 5 mA; all'aumentare della frequenza la soglia di percezione tende ad aumentare, nel senso che, per avvertire il segnale elettrico, lo stesso deve avere un'intensità maggiore. Il fatto che a 50/60 Hz si abbia la minima soglia di percezione è legato ad alcuni processi fisiologici dell'uomo caratterizzati proprio da tale frequenza.

11.5.2 Resistenza elettrica dell'uomo e resistenza convenzionale

Gli effetti della corrente elettrica sul corpo umano dipendono da molti parametri, alcuni dei quali direttamente connessi al segnale elettrico che investe l'uomo (intensità della corrente, tipologia della corrente – costante, sinusoidale, impulsiva – frequenza della stessa, durata del contatto, ecc.), altri dipendenti dal soggetto stesso (massa corporea, sesso, stato di salute, livello di sudorazione), altri ancora dalle condizioni al contorno (livello di umidità, tipologia di pavimento, tipologia di abbigliamento, ecc). Altrettanto importante è il percorso seguito dalla corrente nell'attraversare il corpo umano; una corrente che attraversa il corpo umano seguendo il percorso torace-mano sinistra

investe direttamente il cuore ed è certamente più pericolosa della stessa corrente che segua il percorso mano destra-piede destro.

Il corpo umano si comporta, rispetto al passaggio della corrente elettrica, come un'impedenza di valore compreso in 0.5-3 kΩ, a seconda delle condizioni precedentemente evidenziate; in generale si assume il valore di 1000 Ω come *resistenza convenzionale* del corpo umano. A seguito di contatto con corrente costante, l'uomo si comporta semplicemente da resistore e si presentano effetti dovuti al riscaldamento resistivo dei tessuti fino alla bruciatura della pelle. In caso di contatto con sorgente di tipo sinusoidale si manifesta un effetto pelle sempre più importante al crescere della frequenza. A seguito di ciò la corrente penetra sempre meno all'interno del corpo umano è ciò giustifica perché le correnti ad alta frequenza sono percepite a partire da una soglia più elevata rispetto a quella delle basse frequenze.

11.5.3 Pericolosità della tensione elettrica

La circolazione di corrente elettrica nel corpo umano si ha quando si toccano (volontariamente o involontariamente) due punti a potenziale diverso. Noti gli effetti della corrente elettrica sull'uomo (paragrafo 11.5.1) e la variabilità dell'impedenza dell'uomo (paragrafo 11.5.2), è possibile definire come *tensione pericolosa* quella che fa circolare nell'uomo una corrente pericolosa (Fig. 8). In generale tale tensione sarà:

$$\tilde{V}_u = \dot{Z}_u \cdot \tilde{I}_u \quad (11.2)$$

dove \tilde{V}_u rappresenta la tensione di contatto cui è sottoposto l'uomo - rappresentato dall'impedenza \dot{Z}_u - in cui circolerà la corrente \tilde{I}_u . Per bassi valori di frequenza (ad es. 50 Hz) sono trascurabili gli effetti capacitivi della pelle ed altri effetti secondari, per cui l'uomo può essere rappresentato tramite una semplice resistenza R_u .

Inoltre, per una precisa valutazione delle corrente circolante nell'uomo si deve tener conto anche dell'ambiente circostante; si pensi al caso della scarica che accade di percepire quando si scende dall'automobile. Cerchiamo di capire innanzitutto perché si verifica la 'scossa'. Quando si verifica una dispersione di corrente dagli impianti elettrici dell'automobile, sulla parte metallica di essa si accumula della carica elettrica, poiché la macchina è isolata dal terreno (gli unici contatti sono rappresentati dalle ruote in gomma e quindi isolanti). Tale situazione fa sì che, in caso di contatto, l'uomo sia sottoposto ad una differenza di potenziale data dalla tensione della parte metallica dell'automobile e il terreno; i punti di contatto sono rappresentati dalla mano dell'uomo e dai piedi, che sono collegati al terreno indirettamente tramite le calzature. Quindi la situazione è quella indicata in Figura 9, in cui R_t rappresenta la *resistenza verso terra* dell'uomo, ossia l'insieme di tutte le resistenze tra l'uomo e il punto a potenziale nullo; nel caso precedente rappresenta la resistenza delle calzature, in altri casi può rappresentare la resistenza di un pavimento e così via. \tilde{V}_o è detta *tensione di contatto a vuoto* e rappresenta la tensione esistente prima del contatto con l'uomo.

Dalla Fig. 9 è possibile determinare il valore della tensione di contatto, applicando semplicemente la regola del partitore di tensione:

$$\tilde{V}_u = \frac{R_u}{R_u + R_t} \cdot \tilde{V}_o \quad (11.3)$$

Dall'eq. (11.3) si vede che la tensione di contatto è sempre minore della tensione a vuoto. Le situazioni limite si hanno quando R_t è molto più grande di R_u (ad esempio l'uomo si trova su di una pedana isolante) e quando R_t è molto piccola (ad esempio pavimento bagnato). Nel primo caso la tensione a cui è sottoposto l'uomo può essere molto più piccola della tensione a vuoto, mentre nel secondo caso le due tensioni possono essere quasi uguali; in ogni caso la tensione a vuoto sarà sempre maggiore della tensione di contatto.

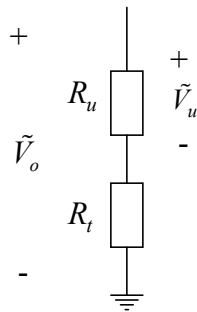


Fig. 9. Resistenza dell'uomo e resistenza verso terra

Riprendendo quanto già detto nel paragrafo 11.5.1, una tensione può diventare tanto più pericolosa per l'uomo quanto maggiore è la durata del contatto. Sono state quindi definite delle curve tensione-tempo in cui si riportano i livelli di pericolosità della tensione, dette *curve di sicurezza*.

La Fig. 10 riporta due curve, l'una riferita alle condizioni ordinarie l'altra a condizioni particolari. Per condizioni particolari si intendono tutte quelle in cui bisogna tutelare maggiormente l'uomo dai rischi della corrente elettrica (cantieri edili, locali ad uso medico, luoghi a maggior rischio d'incendio o esplosione, ecc.). In condizioni ordinarie la tensione che l'uomo può sopportare indefinitamente è inferiore a 50V, mentre in condizioni particolari la soglia si abbassa a 25V; tali soglie sono dette *tensioni di contatto limite convenzionali*. Superate tali soglie, all'aumentare del valore della tensione di contatto diminuisce il tempo di esposizione sopportabile. In caso di corrente continua le due precedenti soglie valgono, rispettivamente, 120V e 60V.

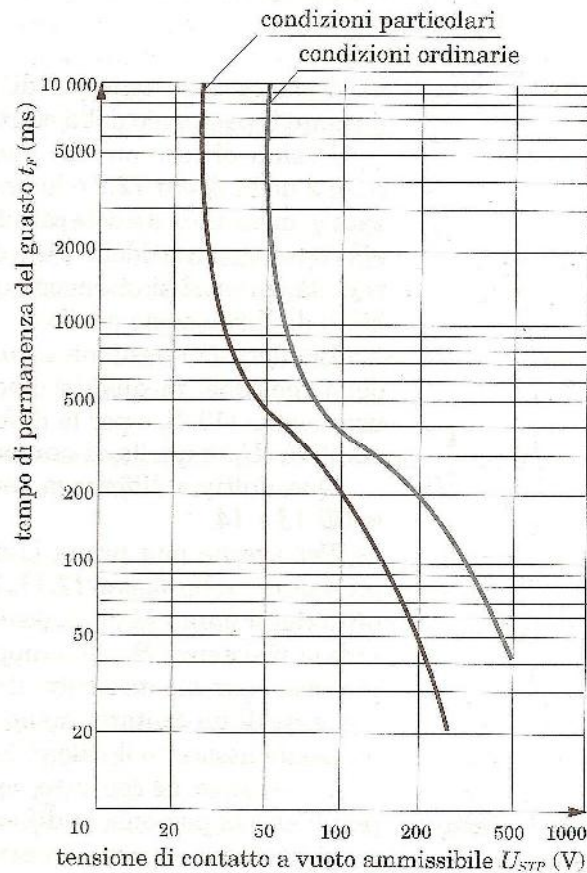


Fig. 10. Curva di sicurezza tensione-tempo

Nel paragrafo 11.1, sono stati classificati come sistemi elettrici di Categoria 0 proprio quelli aventi tensione inferiore a 50V in alternata e a 120V in continua; gli stessi sono stati poi suddivisi nelle tre sotto-categorie SELV-PELV-FELV, evidenziando il loro basso valore di tensione. Alla luce di

quanto detto si capisce bene perché sistemi elettrici a bassissima tensione siano intrinsecamente sicuri per l'uomo.

11.6 PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI

Nota la pericolosità della corrente e della tensione elettrica sull'uomo, bisogna individuare valide protezioni. In generale, la protezione può avvenire secondo due approcci: a) impedire all'uomo di entrare in contatto con parti elettriche pericolose; b) limitare il valore di tensione delle parti con cui l'uomo può, accidentalmente, avere un contatto. Tenendo bene in mente tutti e due gli approcci, in questo paragrafo si presentano i sistemi di protezione dai contatti diretti, rimandando al prossimo lo studio delle protezioni da quelli indiretti.

Per *contatto diretto* si intende il contatto che l'uomo può avere con parti elettriche attive di un impianto. Per *parti attive* (vedi 11.2) si intendono le parti conduttrici dei cavi (anime), i morsetti per il serraggio delle estremità dei conduttori, gli avvolgimenti di un motore, ecc.

La protezione dai contatti diretti può essere totale o parziale. Tale distinzione tiene conto del grado di addestramento delle persone che operano sugli impianti. Una persona non addestrata e quindi non a conoscenza dei pericoli della corrente elettrica deve essere totalmente protetta. Diversamente, un tecnico specializzato che fa manutenzione all'interno di una cabina elettrica MT/BT è sicuramente a conoscenza della situazione di rischio e quindi è prevista la possibilità di una protezione parziale.

11.6.1 Protezione totale

La protezione totale si applica ogniqualvolta gli impianti possano essere utilizzati da persone non addestrate. Con il termine totale si vuole evidenziare che tale protezione deve proteggere l'uomo non solo dai contatti involontari o accidentali ma anche da quelli volontari. In pratica tale protezione si ottiene mediante isolamento di parti attive o mediante involucri o barriere.

- L'*isolamento* deve essere non rimovibile se non per distruzione dello stesso. Ad esempio l'accesso all'anima di un conduttore deve avvenire soltanto distruggendo 'volontariamente' l'isolante che lo ricopre con un attrezzo o altro. Inoltre bisognerà tener conto anche delle situazioni reali in cui il componente è inserito, per valutare se l'isolante è in grado di sopportare efficacemente altre sollecitazioni eventualmente presenti (termiche, meccaniche, ecc.). Un cavo per applicazioni sottomarine dovrà soddisfare specifiche completamente diverse da un cavo per applicazioni industriali. A tal fine i cavi sono identificati con una sigla che ne definisce completamente le sue caratteristiche: normativa di riferimento, tensione nominale di esercizio, tipo di isolamento, eventuale armatura metallica, forma del conduttore, numero di conduttori e relativa sezione (Fig. C).
- L'*involucro* ha la funzione di proteggere dal contatto diretto volontario o involontario, ma che, in caso di necessità, deve poter essere aperto per accedere alle parti attive senza distruggerlo; in tal modo si ha la possibilità di ripristinare la protezione dopo l'intervento. È il caso, ad esempio, delle scatole di derivazione da cui partono più linee; intervenendo con un attrezzo si ha la possibilità di ispezionare le parti attive o per verificare i collegamenti esistenti o per realizzarne di nuovi. Analogamente ai cavi anche gli involucri sono caratterizzati da una sigla, che definisce il suo grado di protezione nei confronti dell'uomo nonché la protezione dei componenti al suo interno rispetto alla penetrazione di corpi solidi e liquidi. Anche in questo caso le specifiche tecniche cui deve soddisfare un involucro da utilizzare nel corridoio di un condominio sono completamente diverse da quelle necessarie per un involucro sommerso in una piscina d'albergo (Fig. D).
- Le *barriere* svolgono la funzione di protezione impedendo l'avvicinamento alle parti in tensione da parte dell'uomo. Affinché tale protezione sia totale, essa deve poter essere rimossa solo intenzionalmente con l'ausilio di apposito attrezzo.

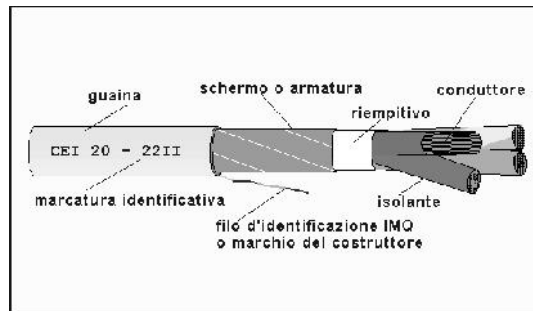


Fig. C. Parti costitutive di un cavo elettrico



Fig. D. Involucro di protezione

11.6.2 Protezione parziale

La protezione parziale è efficace solo per contatti accidentali non per quelli intenzionali; per questo motivo il suo impiego è previsto nei luoghi accessibili soltanto a personale addestrato, come nell'esempio precedente del tecnico in cabina MT/BT. In pratica viene realizzata per mezzo di ostacoli e distanze di sicurezza.

Gli *ostacoli* hanno la funzione di prevenire il contatto accidentale. La loro rimozione accidentale non deve essere possibile, mentre la rimozione volontaria deve poter avvenire senza l'ausilio di alcun attrezzo.

Le *distanze di sicurezza* hanno invece la funzione di evitare che la persona possa venire a contatto, involontariamente, con parti a tensioni diverse.

11.6.3 Protezione tramite interruttore differenziale

L'interruttore differenziale prevede l'interruzione dell'alimentazione in presenza di una dispersione di corrente. La Fig. 11 riporta uno schema di principio del dispositivo, in cui sono evidenziate tre bobine. Due di esse, di ugual numero di spire, sono collegate in serie tra loro e con il carico in modo da essere attraversate dalla stessa corrente. Se non c'è alcuna dispersione di corrente il flusso netto nel toroide sarà nullo e non ci sarà alcun intervento dello sganciatore. In caso di dispersione, invece, ci sarà un flusso netto diverso da zero all'interno del toroide, che indurrà una f.e.m. sulla terza bobina BD; tale bobina, a sua volta, attiverà lo sganciatore, interrompendo il circuito. È utilizzato per la protezione sia dai contatti diretti sia da quelli indiretti (vedi 11.7). Il valore minimo di corrente differenziale che garantisce l'apertura del circuito prende il nome di *corrente differenziale nominale d'intervento* e si indica con $I_{\Delta n}$. Per evitare scatti intempestivi la norma prevede che il differenziale non deve intervenire sicuramente per correnti di dispersione inferiori a $\frac{I_{\Delta n}}{2}$, lasciando una zona grigia per correnti comprese in $\left] \frac{I_{\Delta n}}{2} \div I_{\Delta n} \right[$. Nel gergo comune i

differenziali aventi $I_{\Delta n} \leq 30mA$ sono detti ad alta sensibilità, altrimenti sono detti a bassa sensibilità (Fig. E.).

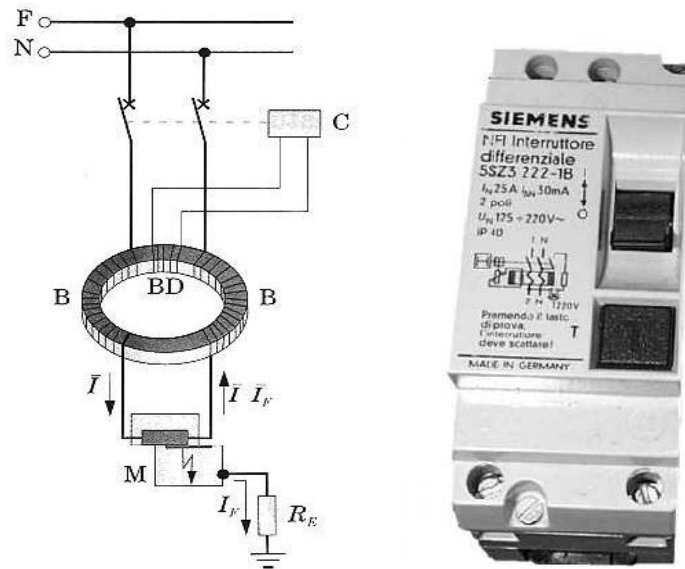


Fig. 11. a) Principio di funzionamento; Fig. E. Interruttore differenziale commerciale.

Per valutare l'efficacia dell'interruttore differenziale nella protezione dai contatti diretti bisogna sovrapporre la caratteristica d'intervento dell'interruttore differenziale con la curva di pericolosità corrente-tempo (Fig. 8) e verificare che il differenziale interrompa la corrente elettrica prima che la stessa possa diventare pericolosa per l'uomo. Si verifica (rimandando per gli approfondimenti ad altri testi specifici) che gli interruttori differenziali ad *alta sensibilità* generalmente presenti nelle civili abitazioni proteggono l'uomo dal contatto diretto per correnti fino a 500 mA, mentre risultano inefficaci per valori più elevati di correnti. Interruttori differenziali a bassa sensibilità non proteggono dai contatti diretti, poiché interverrebbero con troppo ritardo rispetto ai tempi massimi di esposizione sopportabili dall'uomo.

11.7 PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

Per *contatto indiretto* si intende il contatto che l'uomo può avere con parti conduttrici normalmente non in tensione, ma che, a seguito del cedimento di isolante, possono portarsi in tensione. L'isolante può essere *funzionale*, se finalizzato al regolare funzionamento del sistema elettrico, oppure *principale*, se predisposto per la protezione dai contatti diretti. L'isolante dei comuni conduttori assolve ad entrambe le funzioni, ma non sempre ciò accade.

La protezione dai contatti indiretti può avvenire attraverso due modalità principali: *senza interruzione automatica dell'alimentazione* e *con interruzione automatica*.

La prima rappresenta un intervento preventivo di protezione, cioè si evita l'insorgere di un guasto, mentre la seconda è un intervento a posteriori, consentendo di interrompere l'alimentazione elettrica dopo che si è verificato un guasto.

11.7.1 Protezione senza interruzione automatica dell'alimentazione

Le due più importanti soluzioni per questa tipologia di protezione sono:

- *doppio isolamento*, consistente in un secondo isolamento oltre a quello principale, per far sì che in presenza di cedimento del primo il sistema continui a funzionare; è tipico di alcuni elettrodomestici di uso comune come phon elettrico, abat-jour, ecc. In presenza di doppio isolamento, sui dati di targa del dispositivo si trova il simbolo di due quadrati l'uno interno all'altro.

- *Separazione elettrica*, consistente nell'inserire un trasformatore d'isolamento tra alimentazione e carico, in modo da realizzare una separazione galvanica tra loro; in caso di guasto a massa, le correnti sono molto piccole e il sistema continua a funzionare.

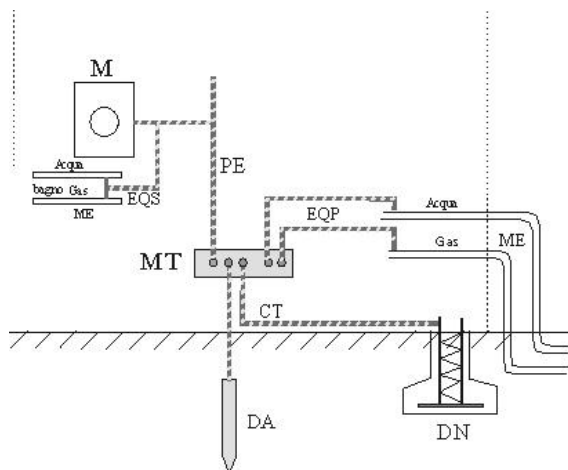
11.7.2 Impianto di terra

L'impianto di terra può assolvere a tre funzioni. Si parla di *messa a terra di protezione*, quando la sua funzione consiste nel limitare i pericoli dovuti al contatto indiretto. Si parla di *messa a terra di funzionamento*, quando si realizza il collegamento a terra di punti di un sistema elettrico ai fini di un corretto utilizzo dell'impianto elettrico (ad esempio quando si collega a terra il centro stella di un sistema trifase). Infine, si parla di *messa a terra per lavori*, quando si collegano a terra parti di impianto per garantire la sicurezza dei tecnici durante le fasi di manutenzione. Accade che uno stesso impianto di terra assolva sia al compito di protezione che a quello di funzionamento, come nel caso del sistema TN.

L'impianto di terra costituisce una parte molto importante di un sistema elettrico e deve soddisfare requisiti normativi specifici previste dalle norme CEI 64-8 e 11-1. Si introducono gli elementi essenziali costituenti un impianto di terra, rimandando il lettore a testi specifici per ulteriori approfondimenti, che esulano dagli scopi del presente testo.

Un impianto di terra è costituito da (Fig. F):

- *dispersori*, corpi metallici a stretto contatto con il terreno e che consentono alla corrente di disperdersi in esso (picchetti, ferri di fondazione, ecc);
- *conduttori di terra*, aventi la funzione di collegare i dispersori tra di loro e con il nodo principale di terra;
- *collettore o nodo principale di terra*, cui giungono tutti i conduttori di terra, i conduttori equipotenziali, i conduttori di protezione, ecc.
- *conduttori equipotenziali*, che evitano la presenza di tensioni diverse su componenti contemporaneamente accessibili da parte dell'uomo;
- *conduttori di protezione*, che consentono il collegamento a terra delle masse dei componenti.



Elementi di un impianto di terra

- M:** massa elettrica
- ME:** Massa estranea
- MT:** Collettore di terra
- PE:** conduttore di protezione
- CT:** conduttore di terra
- DN:** dispersore naturale
- DA:** dispersore artificiale
- EQP:** collegamenti equipotenziali principali
- EQS:** collegamenti equipotenziali secondari

Fig. F. Elementi dell'impianto di terra

11.7.3 Protezione con interruzione automatica dell'alimentazione

Tale modalità di protezione è realizzata coordinando l'impianto di terra con dispositivi automatici di interruzione (interruttori di massima corrente e interruttori differenziali). Si considera la protezione per i soli sistemi TT e TN di uso più frequente.

Nel caso di un sistema TT (Fig. 3 in 11.2.1), un guasto a terra provocherà la dispersione di una corrente (il cui percorso è indicato con la linea tratteggiata) limitata dalle resistenze dei due impianti di terra. In questo modo le masse presenteranno una tensione diversa da zero che, in caso

di contatto con l'uomo, farà circolare nello stesso una corrente elettrica. Come visto in 11.5.3, si ritiene non pericolosa per l'uomo la tensione inferiore a 50V in condizioni ordinarie e inferiore a 25 V in condizioni particolari. Indicando con R_T la resistenza del collegamento a terra delle masse (da non confondere con la R_t di 11.5.3), affinché la tensione non sia pericolosa per l'uomo deve essere verificata la disequazione:

$$R_T \leq \frac{50}{I_{pr}} \quad (11.4)$$

in cui I_{pr} rappresenta la corrente di intervento del dispositivo di protezione.

Nel caso di coordinamento dell'impianto di terra con interruttore differenziale, $I_{pr} \equiv I_{\Delta n}$. Utilizzando interruttori con $I_{\Delta n} = 30mA$ (come accade normalmente nelle civili abitazioni) l'eq. (11.4) è soddisfatta purché sia $R_T \leq 1667\Omega$; tale condizione è praticamente quasi sempre soddisfatta. Molto spesso anche con differenziali a bassa sensibilità si riesce a soddisfare la (11.4). In alcuni casi si preferiscono i differenziali ad alta sensibilità (più protettivi ma anche più costosi), o perché non si conosce con precisione il valore della R_T o per la presenza di persone non a conoscenza dei pericoli della corrente elettrica o per proteggere anche dai contatti diretti; spesso le motivazioni sono più d'una come nel caso di civile abitazione.

Nel caso di coordinamento dell'impianto di terra con interruttore magnetico-termico, dovrà essere $I_{pr} \equiv I_{5s}$, dove I_{5s} rappresenta la corrente di intervento a 5 secondi dal guasto (CEI 64-8). Dalla caratteristica di intervento dell'interruttore è possibile rilevare il valore di I_{5s} , che solitamente è pari a diverse volte il valore della corrente nominale (ad esempio per $I_n = 16A$ potrebbe risultare $I_{5s} = (4 \div 5) I_n = (64 \div 90) A$). Risulta quindi che la (11.4) potrà essere soddisfatta soltanto per valori di $R_T \leq (0.55 \div 0.78)\Omega$, difficilmente realizzabili. Il motivo dell'inefficacia dell'interruttore magneto-termico dipende dal fatto che tale tipo di interruttore è progettato per la protezione interna di funzionamento e non per la protezione dell'uomo dai contatti indiretti.

In conclusione, è opportuno che le due funzioni (protezione dei sistemi elettrici e protezione dell'uomo dai contatti indiretti) siano tenute separate, affidano al magneto-termico la prima e al differenziale la seconda. È questo il motivo per cui spesso si trovano impianti protetti da interruttore magneto-termico-differenziale (Fig. G).

Nel caso, invece, di un sistema TN (TN-S nel caso di Fig. 4a in 11.2.2), un guasto a massa provocherà la circolazione di una corrente, il cui percorso è indicato con la linea tratteggiata. In questo caso il guasto fa sì che l'intera tensione di fase T (~230V) sia applicata alla impedenza del conduttore di fase T in serie all'impedenza del conduttore di protezione PE (si è trascurata in prima approssimazione l'impedenza dell'avvolgimento T del generatore). Poiché tali impedenze hanno valori molto bassi, la corrente di guasto sarà elevata. Di conseguenza, la protezione dai contatti indiretti può avvenire efficacemente coordinando l'impianto di terra con interruttori magneto-termici. Infatti, affinché la protezione sia efficace dovrà accadere che:

$$Z_s \leq \frac{230}{I_{pr}} \quad (11.5)$$

con $\dot{Z}_s = \dot{Z}_T + \dot{Z}_{PE}$. Nell'ipotesi di considerare il magneto-termico dell'esempio precedente $I_{pr} = I_{5s} = (4 \div 5) I_n = (64 \div 90) A$, risulta $Z_s \leq (2.55 \div 3.59)\Omega$. Tali valori di impedenza sono sicuramente realizzabili e la protezione con interruttore magneto-termico può essere considerata efficace.

Bisogna tener presente, tuttavia, che tali conduttori collegano il secondario della cabina MT/BT agli utilizzatori. Se tali distanze sono particolarmente lunghe, i valori delle impedenze dei conduttori

aumentano e la relazione (11.5) potrebbe non essere più soddisfatta. Anche in questo caso l'impiego di un interruttore differenziale, avente una $I_{pr} = I_{\Delta n}$ molto piccola, fa sì che la (11.5) sia agevolmente soddisfatta. Infatti, è comune in aziende dotate di propria cabina MT/BT rilevare la presenza di differenziali con $I_{\Delta n} = 300mA$. In tali casi la (11.5) è verificata per $Z_s \leq 767\Omega$, praticamente sempre.

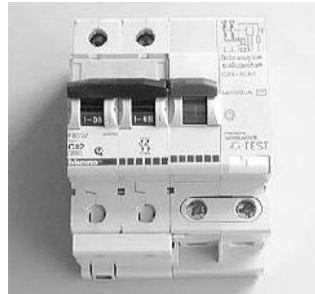


Fig. G. Interruttore magneto-termico (tasto nero) differenziale (tasto blu).

TEST FINALE

1. Un'interruttore differenziale interrompe la corrente di sovraccarico?
 - a. No (esatta)
 - b. Sì
 - c. Solo se molto sensibile
2. Una tensione di 10 V può provocare un arresto cardiaco?
 - a. Sì, sempre
 - b. No (esatta)
 - c. Solo in presenza di umidità
3. Una tensione di 380 V è classificata come:
 - a. Alta tensione
 - b. Media tensione
 - c. Bassa tensione (esatta)
4. Quale riferimento legislativo prevede il certificato di conformità?
 - a. DM 37/2008 (esatta)
 - b. D. Lgs 81/2008
 - c. DPR 462/2001
5. Il DM 37/2008 si applica agli impianti elettrici.
 - a. Falso
 - b. Vero, ma non solo agli impianti elettrici (esatta)
 - c. Vero, esclusivamente agli impianti elettrici