

# Fonica: Scheda 1

(a cura di Pietro Di Mascolo)

## Elettricità

Fin dall'antichità si è potuto osservare sperimentalmente che corpi di particolari materiali (le prime esperienze furono fatte con ebanite e vetro), strofinati con un panno di lana, acquistano delle proprietà particolari:

- Una bacchetta di ebanite o di vetro ha la capacità di attrarre dei pezzettini di carta.
- Una bacchetta di ebanite ed una di vetro si attraggono reciprocamente.
- Due bacchette di ebanite, o di vetro, si respingono reciprocamente.
- Se una bacchetta di ebanite entra in contatto, direttamente o tramite un corpo di un particolare materiale (conduttore), con una bacchetta di vetro, entrambe perdono le proprietà che abbiamo visto. Se si strofinano nuovamente con un panno di lana, queste proprietà vengono riacquistate.

Definendo **elettricità** lo stato in cui un corpo possiede queste proprietà, da queste esperienze deduciamo che:

- Un corpo può possedere due stati distinti di elettricità, convenzionalmente denominati positivo (+) e negativo (-).
- Corpi elettrizzati dello stesso segno si respingono e corpi elettrizzati di segno contrario si attraggono.

La scelta di denominare i due stati come positivo e negativo è dovuta al fatto che si credeva che sul corpo elettrizzato positivamente ci fosse un eccesso di *cariche elettriche*, mentre su quello elettrizzato negativamente ve ne fosse un difetto.

Quando, nel secolo scorso, con la scissione dell'atomo, si capì effettivamente la natura di queste *cariche elettriche*, ci si rese conto dell'errore commesso nell'attribuire i segni + e - . Infatti queste *cariche elettriche* non sono altro che gli *elettroni* che in un atomo orbitano intorno al nucleo. Elettrizzando un corpo aumentiamo o diminuiamo in esso la quantità di *elettroni*. Dal momento che per definizione *l'elettrone* ha carica elettrica negativa, si deduce che in realtà sono i corpi elettrizzati *negativamente* ad avere un eccesso di *elettroni* ossia di *cariche elettriche* in contraddizione con quanto fino a quel momento teorizzato.

Tuttavia giustamente non si ritenne opportuno stravolgere le convenzioni finora adottate sulla polarità dei corpi elettrizzati, per cui ancora oggi continuiamo a chiamare positivo quello stato elettrico in cui vi è un difetto di *elettroni*, e negativo quello in cui ve ne è un eccesso.

Anche se in contraddizione con quello che avviene in realtà, anche noi da qui in avanti ci uniformeremo alle convenzioni internazionali.

## Potenziale elettrostatico

Possiamo dire che un corpo elettrizzato possiede un certo **potenziale elettrostatico**, infatti, come vedremo in seguito questa proprietà può generare un certo lavoro. Quindi con la grandezza *potenziale elettrostatico*, che è la prima che incontriamo esaminando i fenomeni elettrici, definiamo in che quantità un corpo è elettrizzato.

È importante notare che non ha senso immaginare un corpo un potenziale elettrostatico uguale a zero ed attribuire di conseguenza un valore assoluto al potenziale elettrostatico di un corpo. In pratica si considera sempre la *differenza di potenziale elettrostatico* fra due corpi (ddp) che prende anche il nome di **tensione elettrica**.

Questa grandezza ha come unità di misura il **volt (V)** con i suoi multipli e sottomultipli. I più usati sono:

- **chilovolt (KV) = 1.000 V**
- **millivolt (mV) = 1/1.000 V**
- **microvolt ( $\mu$ V) = 1/1.000.000 V**

### Corrente Elettrica

Delle esperienze precedentemente citate, ha una particolare importanza quella secondo la quale se due *corpi elettrizzati* con polarità differente (ossia con una *differenza di potenziale elettrostatico* non nulla), vengono posti in contatto, direttamente o tramite un corpo di un particolare materiale (conduttore), entrambe perdono il loro stato di elettrizzazione (ossia la loro *differenza di potenziale elettrostatico* si annulla). È facile quindi teorizzare che le *cariche elettriche* in eccesso sul corpo elettrizzato negativamente, trasmigrino sul corpo elettrizzato positivamente a colmare le *lacune* provocate dal difetto di *elettroni*. Questo passaggio di *cariche elettriche* in un *conduttore* prende il nome di **corrente elettrica**.

Quindi:

- La *corrente elettrica* si genera dal passaggio di cariche elettriche fra due corpi fra i quali sia presente una *differenza di potenziale elettrostatico* o *tensione elettrica* non nulla).

È anche importante, per quello che vedremo in seguito, riflettere sul fatto che:

- La *tensione elettrica* è la condizione necessaria affinché vi sia *corrente elettrica*, di conseguenza se in un conduttore scorre *corrente elettrica* ai suoi capi deve per forza esserci una *tensione elettrica*. Possiamo dire che *tensione elettrica* e *corrente elettrica* sono legate da una relazione logica di causa-effetto.

Per quantificare la *corrente elettrica* quale grandezza fisica prendiamo in considerazione la quantità di carica che passa in un conduttore nell'unità di tempo (un secondo). Per tale grandezza l'unità di misura è l'**ampère (A)** con i suoi multipli e sottomultipli:

- **chiloampère (KA) = 1.000 A**
- **milliampère (mA) = 1/1.000 A**
- **microampère ( $\mu$ A) = 1/1.000.000 A**

In accordo alle convenzioni internazionali, anche se, come si è detto, in contraddizione con quello che avviene nella realtà, si stabilisce che la corrente elettrica scorre dal corpo elettrizzato positivamente a quello negativamente.

### Conduttori ed isolanti

Chiamiamo **conduttori** quei materiali che permettono il passaggio della corrente elettrica, ed **isolanti** o **dieletrici**, quelli che non lo consentono. Queste caratteristiche dipendono essenzialmente dalla natura dei materiali: sono buoni conduttori di corrente elettrica i metalli in genere, l'acqua e in varia misura i corpi umidi. Sono isolanti l'aria, il legno, la carta, la ceramica, alcune materie tessili e

alcune materie plastiche. Il corpo umano essendo composto per una grande percentuale di acqua, può essere considerato un **conduttore**.

### Resistenza elettrica

La *corrente elettrica* che fluisce in un conduttore che unisce due corpi elettrizzati, è maggiore quanto maggiore la *differenza di potenziale elettrostatico* fra i due corpi, anzi, varie esperienze hanno dimostrato che fra queste due grandezze vi è una diretta proporzionalità, ossia: se per ipotesi una *differenza di potenziale elettrostatico* di 10V produce una *corrente elettrica* di 10 A, sicuramente una *differenza di potenziale elettrostatico* di 100V produrrà una *corrente elettrica* di 100 A. Tale regola, nota come **prima legge di Ohm**, può essere riassunta dalla seguente formula:

$$I = V/R \quad (I = \text{intensità della corrente, } V = \text{differenza di potenziale elettrostatico})$$

Ossia: la corrente elettrica che scorre in un conduttore ha un'intensità pari al valore della differenza di potenziale elettrostatico che vi è alle sue estremità, diviso per un fattore **R che dipende unicamente dal conduttore stesso**. Il fattore **R** prende il nome di **resistenza elettrica**.

L'unità di misura della *resistenza elettrica* è l'**ohm ( $\Omega$ )**. I suoi multipli più usati sono:

- **chiloohm ( $K\Omega$ ) = 1.000  $\Omega$**
- **megaohm ( $M\Omega$ ) = 1.000.000  $\Omega$**

Quindi possiamo dire che un conduttore ha una *resistenza elettrica* di 1  $\Omega$  se applicata alle sue estremità una *differenza di potenziale elettrostatico* di 1 V, in esso scorre una *corrente elettrica* di 1 A.

La **seconda legge di Ohm** specifica quali caratteristiche del conduttore in oggetto determinano la sua *resistenza elettrica*: in particolare questa dipende dal materiale di cui è composto, dalla sua *lunghezza* e dalla sua *sezione*. La *sezione* di un conduttore è l'area della superficie che otteniamo tagliandolo trasversalmente.

$$R = \rho l / S \quad (l = \text{lunghezza del conduttore, } S = \text{sezione del conduttore})$$

Il fattore  $\rho$  viene chiamato **resistività** o **resistenza specifica** e riassume le caratteristiche del materiale per quanto riguarda la sua resistenza elettrica. Più grande è il suo valore, maggiore sarà la *resistenza elettrica* del conduttore. Inoltre questo indice varia con la temperatura: in genere cresce col crescere della temperatura.

Possiamo dire che i corpi isolanti hanno una *resistività* infinita, mentre i corpi conduttori la hanno molto bassa. *Resistività* prossime allo zero possono essere trovate unicamente in particolarissimi materiali denominati **superconduttori** a temperature prossime allo zero assoluto (-273,15°C).

Riportiamo a titolo d'esempio la *resistività* di alcuni metalli (a 0 gradi, in  $\Omega \cdot m$ ):

- **Ag** argento  $1,49 \cdot 10^{-8}$
- **Cu** rame  $1,56 \cdot 10^{-8}$
- **Au** oro  $2,02 \cdot 10^{-8}$
- **Al** alluminio  $2,56 \cdot 10^{-8}$

Quindi riassumendo la *seconda legge di Ohm* può essere enunciata nel seguente modo:

- La *resistenza elettrica* che un conduttore oppone al passaggio della corrente elettrica è direttamente proporzionale alla sua *lunghezza* e alla sua *resistività*, ed inversamente proporzionale alla sua *sezione*.

Vogliamo osservare che la *resistenza elettrica* di un conduttore connesso a due corpi aventi una determinata differenza di potenziale elettrostatico, influenza direttamente il *tempo* necessario affinché questa differenza si annulli. Infatti se a causa di un'elevata resistenza elettrica nel conduttore scorre una piccola quantità di cariche elettriche in un secondo, dovrà passare un certo tempo affinché esse si riequilibrino, si annulli la tensione elettrica e con essa la corrente. In definitiva:

- Maggiore è la *resistenza elettrica* del conduttore che unisce due corpi elettrizzati, e maggiore sarà il *tempo* necessario per far terminare la loro elettrizzazione.

Questa proprietà risulterà fondamentale quando parleremo dei *condensatori*, il cui funzionamento può essere per molti versi paragonato a quello di una coppia di corpi elettrizzabili.

La *resistenza elettrica* può essere sfruttata per determinare l'intensità di corrente elettrica che deve scorrere in un conduttore o in un *circuito*. A tale scopo esiste un *componente elettronico passivo* denominato *resistore* che altro non è che un conduttore dotato di una resistenza elettrica nota. Il simbolo elettronico del *resistore* è il seguente:



Per indicare il valore in  $\Omega$  della sua *resistenza elettrica* si usa il *codice dei colori*. Tale codice associa ad ogni colore un numero. In genere sui resistori di uso comune sono presenti tre anelli colorati corrispondenti i primi due alle prime due cifre, il terzo al numero degli zeri che segue tali cifre. I colori sono i seguenti:

0 = nero	5 = verde
1 = marrone	6 = blu
2 = rosso	7 = viola
3 = arancio	8 = grigio
4 = giallo	9 = bianco

Vi è inoltre un quarto anello colorato che indica la *tolleranza*, ossia di quanto la resistenza indicata può discostarsi da quella reale. I colori usati sono: argento = 10% oro = 5%

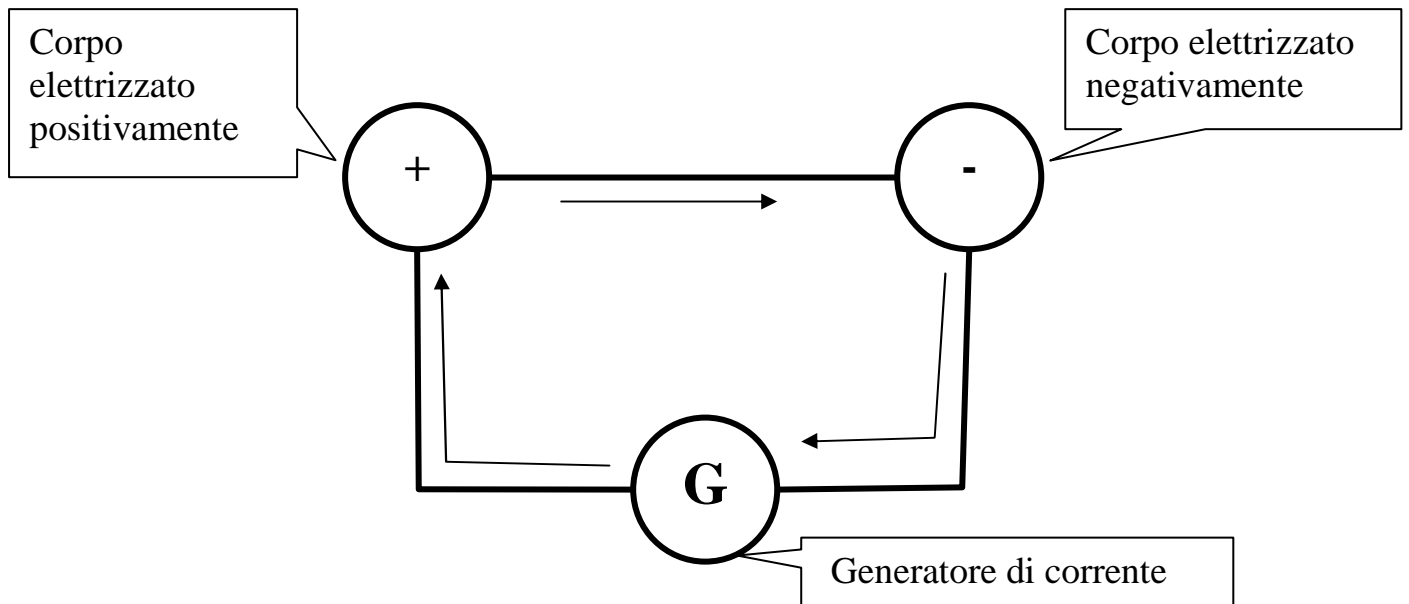
Per fare un esempio: se su un resistore leggiamo i colori giallo – viola – arancio – argento il resistore avrà una resistenza di  $47.000 \Omega \pm 10\%$  ossia una resistenza effettiva compresa fra  $42.300 \Omega$  e  $51.700 \Omega$ .

### Circuito Elettrico

Abbiamo visto come il passaggio della corrente elettrica fra due corpi elettrizzati, provochi in un certo tempo, la fine del loro stato di elettrizzazione, e come conseguenza l'interruzione della stessa corrente elettrica. Affinché la corrente elettrica si mantenga nel tempo, è necessario che ai capi del

conduttore sia mantenuta una certa tensione elettrica. Questa è la funzione dei **generatori di corrente elettrica** che possono essere di varia natura e che verranno esaminati in seguito.

Se noi abbiamo due corpi elettrizzabili, un conduttore che li metta in contatto, e un generatore che mantenga l'elettrizzazione, avremo senz'altro una corrente elettrica che si mantiene nel tempo. Abbiamo in questo modo realizzato un primo semplice **circuito elettrico**.

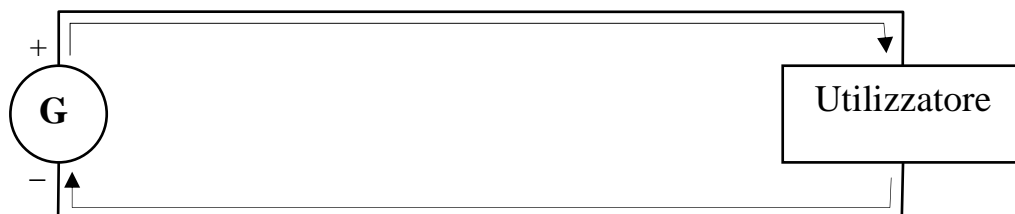


Le frecce indicano ovviamente la direzione della corrente elettrica.

Da questo schema notiamo che l'esistenza dei due corpi elettrizzati non ha più molta importanza. Il generatore è in grado di far comunque circolare una corrente elettrica. Per questo motivo da ora in poi, non parleremo più di *corpi elettrizzati*, ma solo di *circuito elettrico*. La *tensione elettrica* non è più data dalla *differenza di potenziale elettrostatico*, ma dalla *forza elettromotrice* del generatore. Anche per quest'ultima l'unità di misura naturalmente rimane il **volt (V)** con i suoi multipli e sottomultipli.

- Una *forza elettromotrice* di 1 volt agli estremi di un conduttore produce gli stessi effetti di una *differenza di potenziale* di 1 volt.
- Possiamo definire **circuito elettrico** quell'insieme di apparati e di conduttori nel quale possa circolare stabilmente una *corrente elettrica*.

Un circuito elettrico elementare è composto da un generatore, un utilizzatore, e due conduttori che uniscono questi due componenti

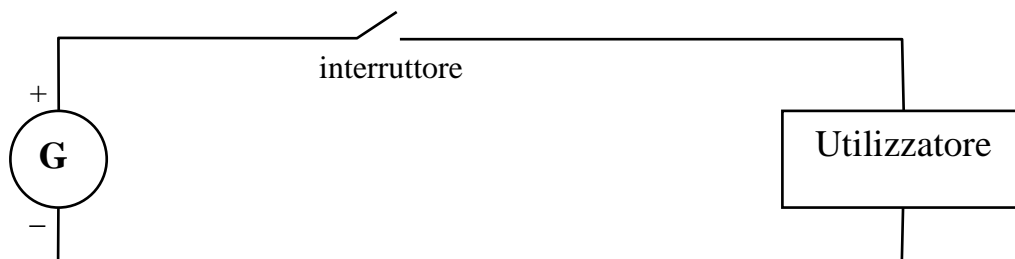


**Utilizzatore** è quel dispositivo che *utilizza* la corrente elettrica per svolgere la propria funzione.

Osserviamo che in un circuito sono necessari almeno due conduttori: uno che può essere definito “di andata” ed uno “di ritorno”. Usualmente questi due conduttori sono contenuti in un unico **cavo** detto **bipolare**.

I cavi che sono normalmente usati praticamente in tutte le applicazioni elettriche sono **tripolari**, in quanto oltre ai due qui visti, contengono un terzo conduttore, detto **di terra**, la cui importante funzione verrà illustrata in seguito.

### Circuito aperto e chiuso

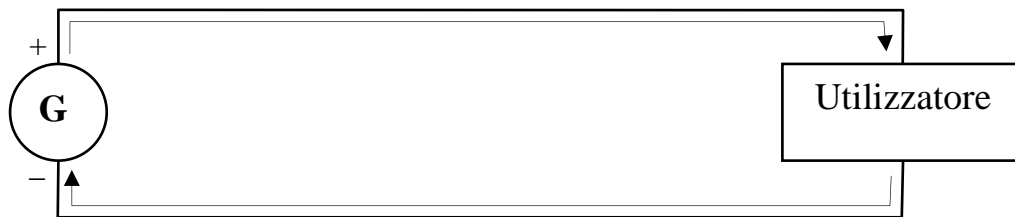


Nel circuito elettrico qui sopra raffigurato è stato inserito un **interruttore**, ossia un dispositivo elettromeccanico in grado di interrompere a comando la *continuità elettrica* del conduttore superiore. In queste condizioni non vi è passaggio di corrente elettrica. Si dice che il circuito è **aperto**. Se azioniamo l'interruttore in modo da ristabilire la *continuità elettrica*, riprenderà il passaggio di corrente elettrica ed il circuito si dirà **chiuso**.

È molto importante far notare come la terminologia relativa agli interruttori molte volte sia in contraddizione con quanto intuitivamente si pensi. Ad esempio quando *accendiamo* una lampadina, noi *chiudiamo* il circuito e quindi *chiudiamo* l'interruttore. Viceversa quando la *spegniamo* dobbiamo *aprire* il circuito e possiamo farlo *aprendo* l'interruttore. Per ovvi motivi di sicurezza, quando chiediamo a qualcuno di *aprire* o di *chiudere* un interruttore dobbiamo essere sicuri che questi ne interpreti correttamente il senso.

Gli interruttori sono componenti fondamentali in ogni applicazione elettrica, per cui ne parleremo diffusamente in seguito.

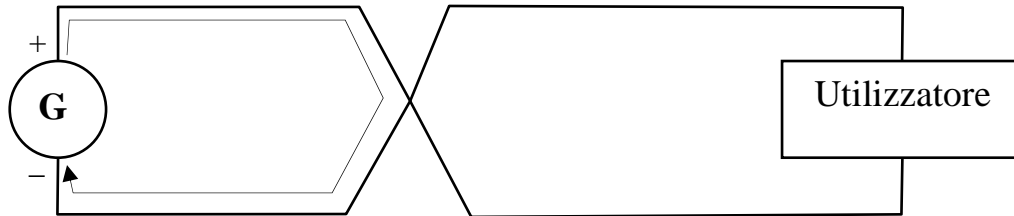
## Corto circuito



Nel circuito elettrico elementare che abbiamo fin qui illustrato possiamo individuare quattro componenti:

- Un generatore, avente una resistenza elettrica (detta interna) molto bassa
- Un utilizzatore, avente una resistenza elettrica abbastanza alta
- Due conduttori aventi una resistenza elettrica molto bassa

La *resistenza elettrica* complessiva del circuito, che secondo la prima legge di Ohm determina la corrente elettrica che in esso scorre, è data dalla *somma* delle resistenze dei singoli componenti, ma in pratica sarà simile a quella del solo *utilizzatore*, essendo quella degli altri componenti particolarmente bassa.



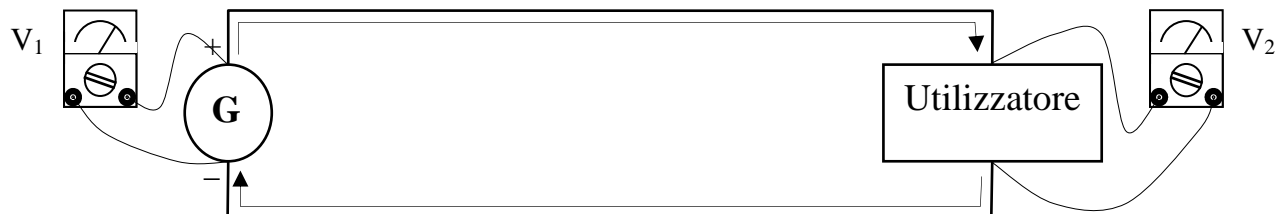
Se i due conduttori vengono accidentalmente in contatto, la resistenza elettrica totale del circuito tende a zero, e di conseguenza la corrente elettrica che circola nel circuito tende a diventare infinita. Questo caso rappresenta il **corto circuito**. L'altissima intensità della corrente provoca lo sviluppo di una grande quantità di calore che può provocare un incendio, e che porta senz'altro alla fusione dei conduttori.

È necessario quindi prestare la massima attenzione per evitare il verificarsi del corto circuito, verificando l'integrità degli strati isolanti nei cavi e nelle apparecchiature.

Esistono tuttavia particolari dispositivi (fusibili, interruttori automatici) che interrompono il circuito in caso di corto circuito.

## Caduta di tensione

La **caduta di tensione** è quel fenomeno per cui quando un utilizzatore è posto al termine di un cavo molto lungo, o di sezione insufficiente, la tensione che arriva ai suoi capi è minore di quella che troviamo ai capi del generatore.



Ai morsetti del generatore misuriamo una tensione  $V_1$ . Al termine del conduttore una tensione  $V_2$  minore di  $V_1$ . La caduta di tensione che si verifica lungo il conduttore è pari a  $V_1 - V_2$ .

Le conseguenze negative della caduta di tensione sono facilmente immaginabili: l'utilizzatore riceve una potenza minore di quella prevista, per cui svolgerà il suo compito in maniera meno efficace. Facciamo un esempio: su una linea allacciata ad un generatore con tensione 220 V si verifica una caduta di tensione di 20 V. All'utilizzatore arrivano solo 200 V. Se questo fosse una lampada ad incandescenza si accenderebbe con una potenza nettamente minore. Ma se questo fosse un finale di potenza, una tensione di 200 V potrebbe non essere sufficiente per chiudere i relais sulle linee di uscita impedendone il funzionamento.

Per questi motivi consigliamo sempre di connettere l'impianto audio e l'impianto luci a due linee diverse.

Ma da cosa è provocata la caduta di tensione? Nel circuito elementare che abbiamo esaminato finora abbiamo supposto che la resistenza elettrica dei conduttori sia trascurabile rispetto a quella dell'utilizzatore. Per la seconda legge di Ohm la resistenza di un conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed inversamente alla sua sezione. Nel caso quindi di conduttori molto lunghi o di sezione insufficiente, la loro resistenza elettrica ha un certo valore  $R$  non trascurabile.

La prima legge di Ohm ci dice che se in un conduttore avente una certa resistenza  $R$  circola una corrente elettrica  $I$ , ai suoi capi si misura una tensione  $V$  proporzionale alla resistenza  $R$  ed alla corrente elettrica  $I$

$$\mathbf{V = IR}$$

Possiamo quindi dire che la caduta di tensione lungo un conduttore particolarmente lungo è proporzionale alla corrente elettrica che vi scorre.

Per ridurre al minimo questo effetto, che provoca una diminuzione della potenza disponibile per l'utilizzatore, occorre scegliere opportunamente la sezione dei conduttori da utilizzare.



In particolare per conduttori bipolari con lunghezza inferiore ai 50 metri può essere opportuno applicare la seguente tabella:

<b>Intensità corrente</b>	<b>Sezione conduttore</b>
6 A	1 mmq
10 A	1,5 mmq
16 A	2,5 mmq
32 A	6 mmq
63 A	12 mmq
128 A	25 mmq

Per lunghezze superiori è necessario aumentare proporzionalmente la sezione.

La caduta di tensione può anche essere sfruttata costruttivamente in particolari circuiti elettronici denominati *partitori resistivi*. Lo studio di tali circuiti tuttavia esula dai nostri scopi.

### Potenza elettrica

La potenza elettrica ha una grande importanza per le nostre applicazioni: essa rappresenta la capacità di svolgere un lavoro elettrico, quale accendere una lampada o far suonare un altoparlante. Rappresenta anche l'energia utilizzata nell'unità di tempo.

La potenza di una lampada determina direttamente la sua luminosità, quella di un impianto di diffusione sonora determina la pressione acustica generata.

Le formule che legano la potenza (W) alle altre grandezze elettriche che conosciamo sono le seguenti:

$$W = V I \quad (\text{la potenza è uguale al prodotto della tensione con l'intensità della corrente})$$

$$W = V^2/R \quad (\text{la potenza è uguale al rapporto fra il quadrato della tensione e la resistenza})$$

$$W = I^2 R \quad (\text{la potenza è uguale al prodotto fra il quadrato della corrente e la resistenza})$$

Da queste formule si evince che:

- Possiamo ottenere la stessa potenza con una grande tensione ed una piccola corrente oppure con una piccola tensione e una grande corrente.
- In un circuito elettrico dato, quindi a parità di resistenza, la potenza aumenta o diminuisce con il quadrato della tensione. Ad esempio se un circuito alimentato con 220 volt impegna una potenza di 1000 W, aumentando la tensione del 10% (portandola ossia a 242 V) la potenza aumenta del 21% (1210 W). Viceversa se ad esempio a causa della caduta di tensione ad una lampada 220 V 1000 W arrivano solo 200 V, la lampada svilupperà una potenza di circa 826 W.

L'unità di misura della potenza elettrica è il **watt (W)**. I multipli e sottomultipli più usati sono:

- **Milliwatt (mW) = 1/1.000 W**
- **Chilowatt (KW) = 1.000 W**
- **Megawatt (MW) = 1.000.000 W**
- **Gigawatt (GW) = 1.000.000.000 W**

- Se in un circuito elettrico al quale viene fornita una tensione di 1 volt, circola una corrente elettrica di intensità pari a 1 ampère, tale circuito svilupperà una potenza di 1 watt.

### Energia elettrica

Dalla definizione di *potenza elettrica* deriva immediatamente quella di *energia elettrica*.

**L'energia elettrica** necessaria ad un circuito elettrico è pari alla potenza moltiplicata per il tempo.

L'unità di misura dell'energia elettrica è quindi il **watt · secondo**. Tuttavia in campo commerciale si preferisce usare il **watt · ora (Wh)**, o addirittura il **chilowattora (KWh)**. É questa infatti l'unità di misura con cui lavorano i contatori delle società che forniscono energia elettrica.

- Un utilizzatore elettrico consuma una quantità di energia elettrica pari a 1 KWh se lavora con una potenza di 1KW per un tempo pari a un'ora.

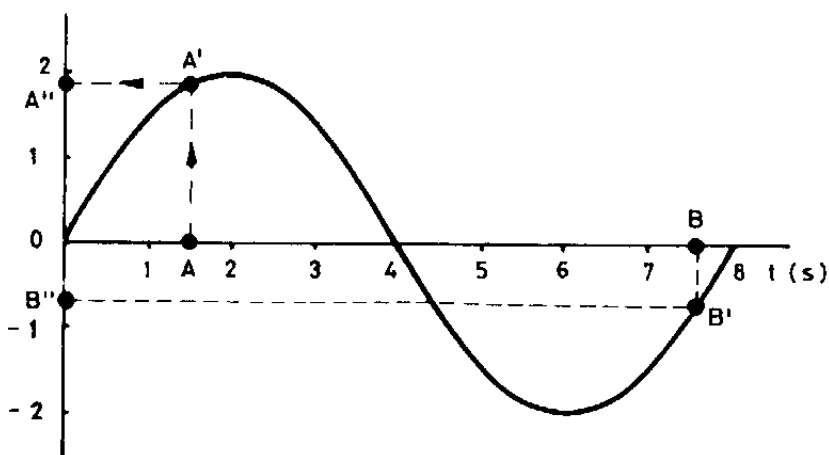
### Tensione elettrica alternata

Finora abbiamo visto generatori che producevano una *tensione* tale da provocare una *corrente elettrica* che scorre costantemente nel tempo sempre nello stesso verso del circuito. Possiamo parlare di **tensione continua** e di **corrente continua**. Tale è quella nei circuiti alimentati da pile o da accumulatori quali per esempio quelli delle automobili. In realtà esiste un altro tipo di tensione che ha un'enorme importanza: la **tensione alternata**.

In questo caso la tensione prodotta dal generatore cambia nel tempo.

Fra tutte le *tensioni alternate* ha particolare importanza lo studio di quelle ad andamento **sinusoidale**, e questo per due motivi:

- La *tensione alternata* comunemente distribuita dalle società elettriche per uso domestico o industriale è di questo tipo.
- Vedremo più avanti che, grazie al teorema di Fourier, qualunque *tensione alternata* può considerarsi la somma di un certo numero di *tensioni alternate sinusoidali*.



Nell'immagine vediamo la rappresentazione di una tensione sinusoidale avente un *periodo* (o *ciclo*) di 8 secondi. L'asse verticale rappresenta la *tensione*, quella orizzontale il *tempo*.

Osserviamo che nell'istante  $t=0$  la tensione vale 0 (nessuna tensione). La tensione sale gradualmente fino a raggiungere il massimo nell'istante  $t=2\text{sec}$ . A questo punto la tensione scende, è nulla nell'istante  $t=4\text{sec}$ ., diventa negativa, raggiunge il suo minimo nell'istante  $t=6\text{sec}$ . La tensione risale e diventa nulla nell'istante  $t=8\text{sec}$ . In seguito il ciclo si ripete esattamente.

## Perché viene distribuita tensione alternata?

I dispositivi elettrici destinati alla produzione della luce e del calore possono funzionare indifferentemente con *tensioni e correnti continue o alternate*, ma quasi tutti gli altri hanno bisogno di *tensioni e correnti continue*. Sembrerebbe quindi un controsenso distribuire *tensione alternata* che poi deve essere convertita in *continua* all'interno dei singoli apparecchi.

Il motivo è questo: la tensione distribuita viene prodotta in centrali elettriche distanti decine o addirittura centinaia di chilometri dagli utilizzatori. Questo comporterebbe una enorme caduta di tensione nel trasporto. Dal momento che la caduta di tensione come abbiamo visto dipende dall'intensità della corrente, allo scopo di mantenere la sezione dei cavi entro un limite ragionevole, è necessario ridurre l'intensità della corrente. Siccome la potenza è data dal prodotto della corrente per la tensione, per ridurre la corrente bisogna aumentare la tensione. Per questo motivo le centrali elettriche producono una tensione molto alta (220.000 o 380.000 V). Questa tensione viene convertita nelle *centrali di trasformazione primarie*, di solito una ogni città, in *media tensione* (8.000 – 20.000 V). Da qui viene distribuita nei singoli quartieri dove nelle *centrali di trasformazione secondarie*, di solito una ogni isolato, viene trasformata in *bassa tensione* (220 o 380 V), che è quella che arriva nelle nostre case, nelle nostre fabbriche, nei nostri teatri.

Per convertire la tensione da alta a media, poi a bassa sono necessari dei particolari dispositivi chiamati **trasformatori**. I *trasformatori* funzionano esclusivamente con correnti alternate, questo è il motivo per cui la tensione distribuita è alternata.

Nello studio delle tensioni e delle correnti alternate è necessario introdurre nuove grandezze. La più importante di queste è la **frequenza**.

La frequenza descrive quanti cicli completi compie la tensione alternata in un secondo. Facendo riferimento alla figura di cui sopra, una tensione alternata compie un ciclo completo quando partendo da zero raggiunge il suo massimo, torna a zero, raggiunge il suo minimo e torna nuovamente a zero. Nel caso della figura il ciclo è compiuto in 8 secondi, quindi in un secondo si compie 1/8 di ciclo. La frequenza di tale tensione alternata sarà di 1/8 di ciclo al secondo.

Unità di misura della frequenza è l'**hertz (Hz)** che corrisponde a un ciclo al secondo. I suoi multipli più usati sono:

- **Chilohertz (KHz) = 1.000 Hz**
- **Megahertz (MHz) = 1.000.000 Hz**
- **Gigahertz (GHz) = 1.000.000.000 Hz**

La tensione elettrica alternata distribuita in Italia ha una frequenza di 50 Hz. In alcuni paesi del mondo viene distribuita una tensione con una frequenza di 60 Hz. Collegare un apparecchio ad una alimentazione avente frequenza diversa da quella per cui è stato progettato, può causare malfunzionamento e danneggiamento dell'apparecchio stesso.

## Tensione alternata trifase

Abbiamo visto che per trasportare energia elettrica, sia essa continua o alternata, sono necessari due conduttori: uno viene percorso dalla corrente "all'andata", uno "al ritorno". Tuttavia si è trovato che utilizzando correnti alternate aventi caratteristiche particolari, era possibile "economizzare" un conduttore.

Se infatti consideriamo tre circuiti elettrici alimentati da generatori di tensione alternata aventi la stessa tensione, la stessa frequenza, ma un ciclo sfalsato di un 1/3 l'uno rispetto all'altro, si dimostra matematicamente che la corrente elettrica che scorre in un conduttore in un certo momento, ha

intensità uguale e contraria alla somma delle intensità della corrente elettrica che scorre negli altri due.

In parole povere ciascuna di queste correnti alternate sfrutta per “l’andata” il proprio conduttore, e per il “ritorno” i conduttori degli altri circuiti.

Per le nostre applicazioni possiamo quindi considerare la tensione trifase come tre tensioni distinte, che però hanno bisogno per essere trasportate di soli 3 conduttori anziché sei.

Vi è quindi un notevole risparmio, per questo motivo tutta la tensione generata e distribuita dalle compagnie elettriche, ma anche dai gruppi elettrogeni di una certa potenza (in genere sopra ai 5 KW), è trifase.

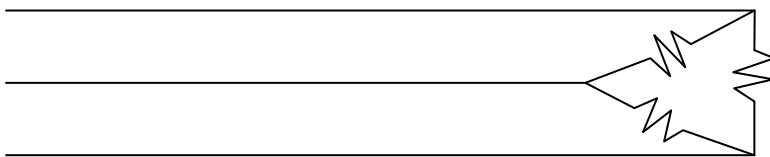
Nello spettacolo l’utilizzo della tensione e della corrente trifase in genere è da preferirsi nei casi in cui è necessaria una grande potenza (tipicamente negli impianti luce).

Data una fornitura elettrica *trifase* è molto facile ottenerne tre forniture *monofase*. Questo si può ottenere in due modi: con il collegamento a *triangolo* e con il collegamento a *stella*. La scelta fra queste due modalità determina la tensione delle 3 forniture monofase ottenute.

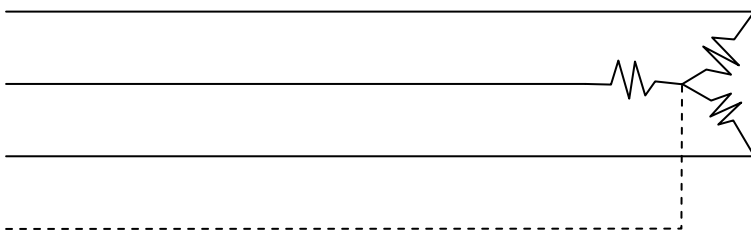
La tensione dichiarata dal fornitore di energia trifase (380 V o 220 V) si riferisce sempre al collegamento a *triangolo*. La tensione che si ottiene con il collegamento a *stella* ha un valore pari a quello riferito al collegamento a *triangolo* diviso per la radice quadrata di tre.

In pratica in Italia si verificano due casi:

- Fornitura elettrica trifase a 380 V. In questo caso con il collegamento a *triangolo* otteniamo tre tensioni di 380 V. Con il collegamento a *stella* otteniamo 3 tensioni di circa 220 V.
- Fornitura elettrica trifase a 220 V. In questo caso con il collegamento a *triangolo* otteniamo tre tensioni di 220 V. Con il collegamento a *stella* otteniamo 3 tensioni di circa 125 V.



Collegamento a *triangolo*: i resistori rappresentano gli utilizzatori, quindi le utenze monofase si ottengono collegandosi fra conduttore e conduttore. Tali conduttori sono comunemente chiamati **fasi**.



Collegamento a *stella*: anche in questo caso i resistori rappresentano gli utilizzatori, quindi le utenze monofase si ottengono collegandosi fra le fasi e un punto comune alle tre forniture. A tale punto è connesso un quarto conduttore (linea tratteggiata) comunemente chiamato **neutro**.

La funzione del *neutro* è in un certo senso quella di “equilibrare” le tre tensioni monofase, rendendole uguali. In pratica se non ci fosse il *neutro* la tensione di ogni singola monofase non sarebbe altro che la *caduta di tensione* che si verifica per il passaggio della corrente elettrica. Di conseguenza le tre tensioni sarebbero uguali fra di loro solo nell’ipotesi che nei tre utilizzatori scorresse la stessa intensità di corrente, quindi che avessero la stessa potenza, cosa che di solito non è verificata.

Per questo motivo è molto importante che nei collegamenti a stella, il neutro sia sempre collegato. In particolare occorre fare attenzione che non vi siano sul neutro dispositivi (ad es. fusibili) che ne consentano l'interruzione indipendentemente da quella delle fasi.

### Allacci elettrici

Uno dei compiti principali del tecnico consiste nel connettere alla fornitura elettrica, le proprie apparecchiature tecniche. Se allacciare una piccola utenza monofase ad una fornitura monofase non comporta grossi problemi, la situazione si complica quando abbiamo a che fare con forniture elettriche trifase o con nostri quadri elettrici trifase. Indipendentemente dal caso specifico, nel caso degli impianti che vengono usati nello spettacolo (ad esclusione dei motori elettrici sincroni trifase), una linea trifase può essere assimilata a tre linee monofase.

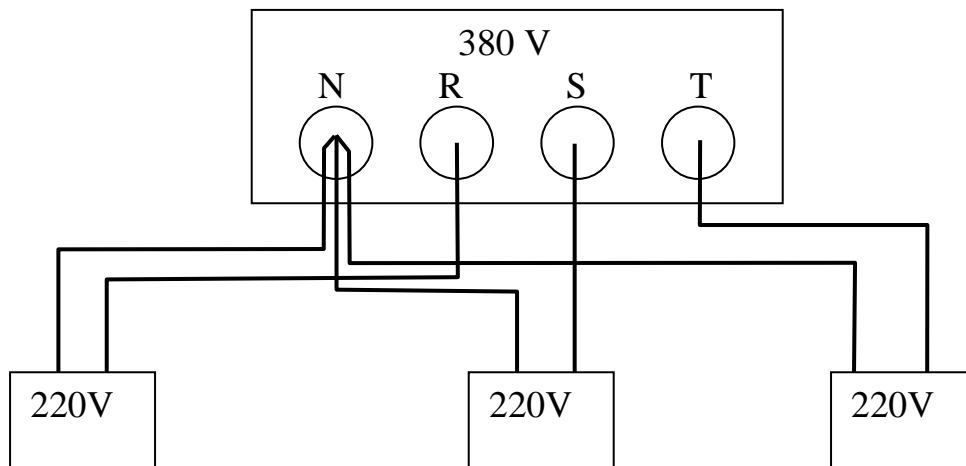
Esaminiamo separatamente i vari casi che si possono verificare:

#### 1- allaccio di tre utenze monofase 220 V ad una linea trifase 380 V

In questo caso si applica il collegamento a stella visto precedentemente.

Supponiamo di avere un interruttore tetrapolare ove sia fornita una tensione trifase 380 V. Innanzitutto dobbiamo individuare quale morsetto corrisponde al neutro: è sempre meglio controllare personalmente col tester.

Le tre utenze dovranno essere connesse in comune sul morsetto del neutro, e separatamente sulle tre fasi, come indicato in figura

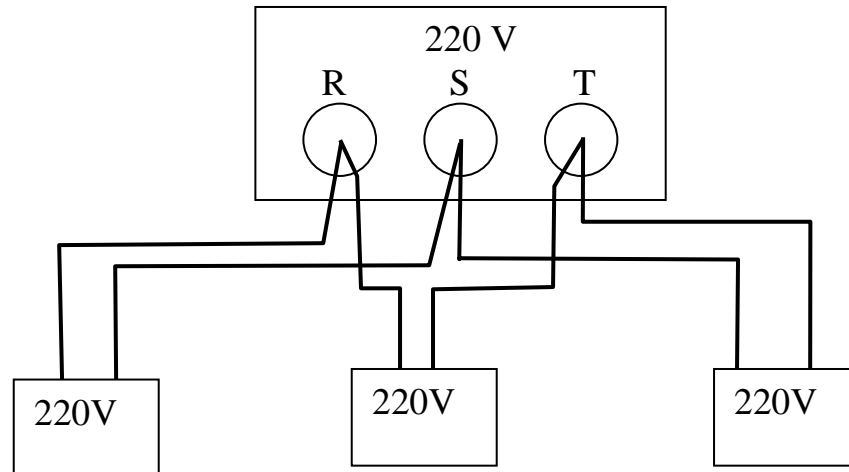


N = neutro

R, S, T, = fasi

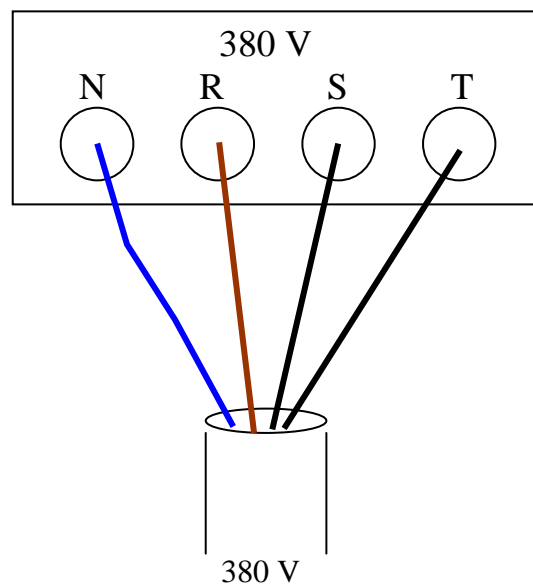
## 2- allaccio di tre utenze monofase 220 V ad una linea trifase 220 V

In questo caso si applica il collegamento a triangolo visto precedentemente. Supponiamo di avere un interruttore tripolare ove sia fornita una tensione trifase 220 V. Le tre utenze dovranno essere connesse fra fase e fase, come indicato in figura



## 3- allaccio di un'utenza trifase 380 V ad una linea trifase 380 V

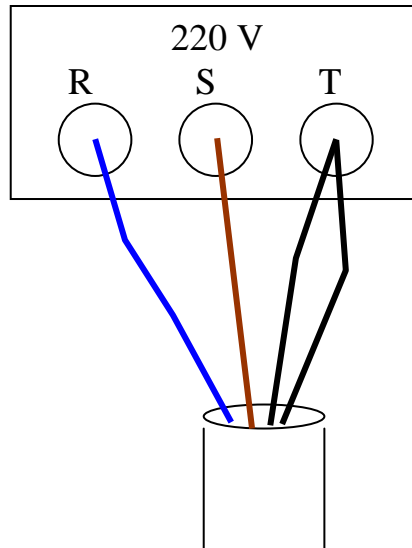
In questo caso il collegamento è diretto.



Ricordiamo che convenzionalmente il colore del neutro è il blu

#### 4- allaccio di un'utenza trifase 380 V ad una linea trifase 220 V

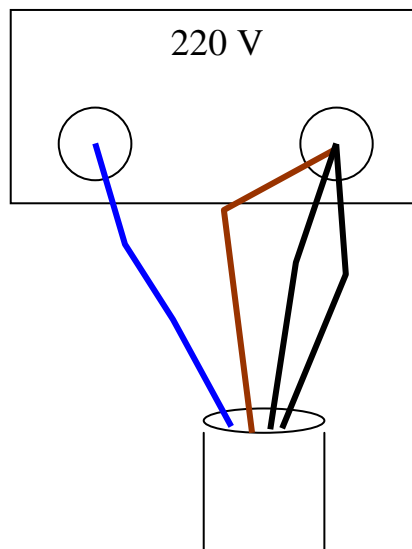
In questo caso colleghiamo il neutro ad una fase della fornitura, una fase dell'utenza alla seconda fase della fornitura, le restanti due fasi dell'utenza, unite insieme, alla terza fase della fornitura.



In questo caso pur raggiungendo il risultato di alimentare completamente gli apparati utilizzatori, la fase T dell'utenza risulta sovraccarica. È opportuno quindi collegare unite le fasi meno cariche.

#### 5- allaccio di un'utenza trifase 380 V ad una linea monofase 220 V

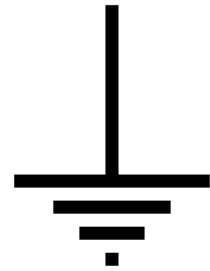
In questo caso colleghiamo il neutro ad un morsetto della fornitura, le tre fasi dell'utenza, unite insieme, all'altro morsetto della fornitura.



In questo caso pur raggiungendo il risultato di alimentare completamente gli apparati utilizzatori, il neutro conduce una corrente di intensità pari a quella delle altre tre fasi messe insieme. Occorre quindi limitare la potenza utilizzata in modo che la corrente sia quella che il neutro può sopportare.

## Messa a terra

*Mettere a terra* un impianto vuol dire collegare tutte le sue parti metalliche esterne, ad un apposito *dispersore*, composto solitamente da una *palina di rame* conficcata nel terreno. In questo modo eventuali correnti elettriche che per guasto o per dispersione dovessero raggiungere quelle parti che possono venire in contatto con le persone, creando un pericolo per la loro incolumità, verrebbero immediatamente convogliate e disperse a terra. Questo consente di annullare la *differenza di potenziale* fra le parti metalliche e il terreno, impedendo il passaggio di corrente elettrica pericolosa attraverso una persona che dovesse toccare contemporaneamente l'impianto e il terreno.



simbolo della messa a terra

Tutte le apparecchiature che presentano superfici esterne in materiale conduttore hanno conglobato nel loro cordone di alimentazione, un terzo conduttore, convenzionalmente colorato con i due colori giallo e verde, destinato alla messa a terra. Nei quadri elettrici questi conduttori vengono raggruppati e convergono alla messa a terra generale dell'impianto.

Sono soggetti alla messa a terra anche tutte le strutture metalliche presenti. In particolar modo ricordiamo:

- I palchi se metallici
- Americane, ring, piantane o qualunque altro tipo di supporto metallico per i corpi illuminanti.

Gli impianti elettrici civili e industriali devono essere per legge dotati di *messa a terra*, per cui nell'effettuare un allaccio elettrico in un teatro, oppure in un edificio civile o industriale, è possibile allacciare anche la propria messa a terra alla messa a terra generale dell'edificio. Viceversa quando una società elettrica fornisce un allaccio provvisorio, nel caso di spettacoli all'aperto o in luoghi dove non esiste un impianto elettrico, oppure l'alimentazione è fornita tramite gruppo elettrogeno, la *messa a terra* non viene fornita, per cui occorre provvedere autonomamente a piantare un dispersore nel terreno e a collegarci il *conduttore di terra*.

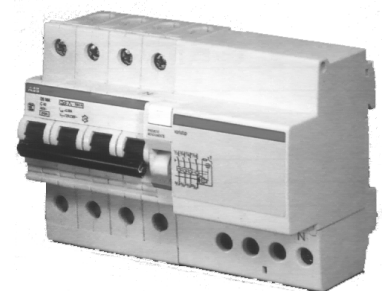
La messa a terra deve essere opportunamente dimensionata. La massima corrente che può essere dispersa equivale alla massima corrente che circola nell'impianto, quindi la sezione del conduttore di terra deve essere uguale a quella dei conduttori per l'alimentazione generale.

La natura del terreno influenza l'efficacia del dispersore. A volte può essere necessario piantare più dispersori a cui collegare la messa a terra. Esistono apposite apparecchiature per controllare l'efficacia della messa a terra. In ogni caso questa viene aumentata de manteniamo umido il terreno dove è conficcato il dispersore.

Mettere un impianto a terra, oltre ad essere un obbligo di legge, è un preciso dovere morale del tecnico, in quanto costituisce fattore di sicurezza per l'incolumità delle persone. Inoltre, per motivi che verranno affrontati più avanti, la mancata o insufficiente messa a terra può provocare l'insorgere di ronzio nell'impianto di diffusione sonora.

## Interruttori magnetotermici e differenziali

La legge impone l'uso di interruttori magnetotermici e di interruttori differenziali. Si tratta di dispositivi che in caso di cortocircuito o sovracorrente (magnetotermici) o dispersione (differenziali) interrompono il passaggio di corrente elettrica nel circuito. Queste due caratteristiche possono essere conglobate in un unico apparecchio (interruttore magnetotermico differenziale).



Interruttore magnetotermico differenziale tetrapolare



Un interruttore **magnetotermico** (detto anche automatico) è caratterizzato da un preciso valore di corrente (in ampère). Se la corrente circolante nel circuito eccede tale valore, l'interruttore si apre e ne interrompe il passaggio. Questo può accadere in due modi:

- **Magnetico**: se la corrente circolante eccede di molto il valore dell'interruttore, come nel caso di un corto circuito, l'apertura è immediata.
- **Termico**: se la corrente circolante eccede di poco il valore dell'interruttore, ad esempio se si richiede una potenza maggiore di quella prevista, l'apertura dell'interruttore avviene dopo un certo *tempo*, che è funzione della *corrente in eccesso* secondo una *curva* che si chiama **caratteristica dell'interruttore**.

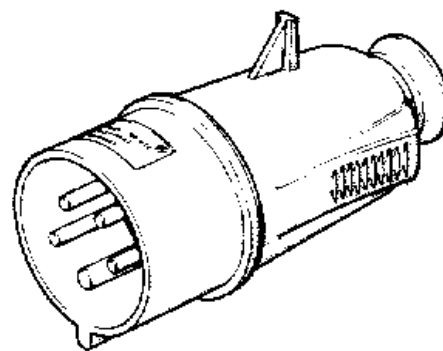
Un interruttore **differenziale** (detto anche salvavita) rileva la differenza fra la corrente elettrica che "entra" ed "esce" dal circuito. Questa differenza rappresenta l'intensità della corrente che si disperde verso terra. Quando tale differenza eccede un valore fissato, denominato **sensibilità**, l'interruttore si apre ed interrompe il passaggio di corrente.

La *sensibilità* prevista dalla legge è di **0,3 A** nel caso di impianti industriali, e di **0,03 A** nel caso di impianti civili e nello spettacolo.

### Prese e spine a norme CEE

Le norme IEC 309 prevedono l'uso di un particolare tipo di prese e spine di forma cilindrica con i conduttori disposti radialmente. Tali prese e spine sono disponibili in 4 tipi:

- Maschio volante
- Maschio da pannello
- Femmina volante
- Femmina da pannello



A seconda del numero dei conduttori si distinguono in:

- 2 poli + terra (per linee monofase)
- 3 poli + terra (per linee trifase)
- 3 poli + neutro + terra (per linee trifase con neutro)

Ciascun tipo è disponibile in 4 portate di corrente:

- 16 A
- 32 A
- 63 A
- 125 A

Il colore esterno indica la tensione:

- giallo = 110 V
- blu = 220 V
- rosso = 380 V
- nero = 500 V

Una particolare disposizione dei contatti, denominata *riferimento orario*, impedisce la connessione accidentale di prese e spine di diverso tipo.