

Dispensa generale di elettrotecnica e impianti industriali

Rev.0 – Maggio 2026

A cura di Andrea Scaturro

1

Sommario

Dispensa generale di elettrotecnica e impianti industriali	1
PARTE 1 – FONDAMENTI DI ELETTRONICA.....	4
1.1 LA STRUTTURA DELL'ATOMO	4
1.2 IL FLUSSO DEGLI ELETTRONI	5
1.3 LA TENSIONE	6
1.4 LA CORRENTE ELETTRICA	7
1.5 CORRENTE ALTERNATA E CORRENTE CONTINUA AC/DC.....	8
1.6 LA RESISTENZA ELETTRICA	9
1.7 LA PRIMA LEGGE DI OHM	10
1.8 SECONDA LEGGE DI OHM.....	12
PARTE 2 – CIRCUITI ELETTRICI	13
2.1 IL CIRCUITO ELETTRICO	13
2.2 CIRCUITI ELETTRICI CON RESISTENZE IN SERIE E PARALLELO.....	14
2.3 LA POTENZA ELETTRICA	15
2.4 ENERGIA ELETTRICA	16
PARTE 3 – SICUREZZA E PROTEZIONI ELETTRICHE	17
3.1 INTERRUTTORE MAGNETO TERMICO	17
3.2 INTERRUTTORE DIFFERENZIALE	18
3.3 L'IMPIANTO DI MESSA A TERRA	19
PARTE 4 – MACCHINE ELETTRICHE.....	20
4.1 SISTEMA MONOFASE E TRIFASE	20
4.2 IL TRASFORMATORE	22
4.3 IL MOTORE ASINCRONO TRIFASE	24
PARTE 5 – IMPIANTI INDUSTRIALI	27
5.1 INTRODUZIONE	27
5.2 CIRCUITO DI POTENZA E CIRCUITO DI COMANDO	28
5.3 COMPONENTI DEL QUADRO ELETTRICO INDUSTRIALE	29
PARTE 6 – COMPrensione E LOGICA DEGLI SCHEMI ELETTRICI	34
6.1 CIRCUITO DI START E STOP DI UN MOTORE SINCRONO TRIFASE	34
6.2 AUTORITENUTA	36
PARTE 7 – STRUMENTI DI MISURA.....	37

7.1 MULTIMETRO	37
7.2 PINZA AMPEROMETRICA	40

PARTE 1 – FONDAMENTI DI Elettrotecnica

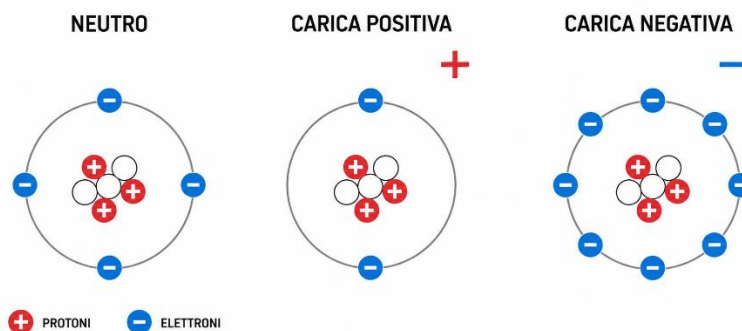
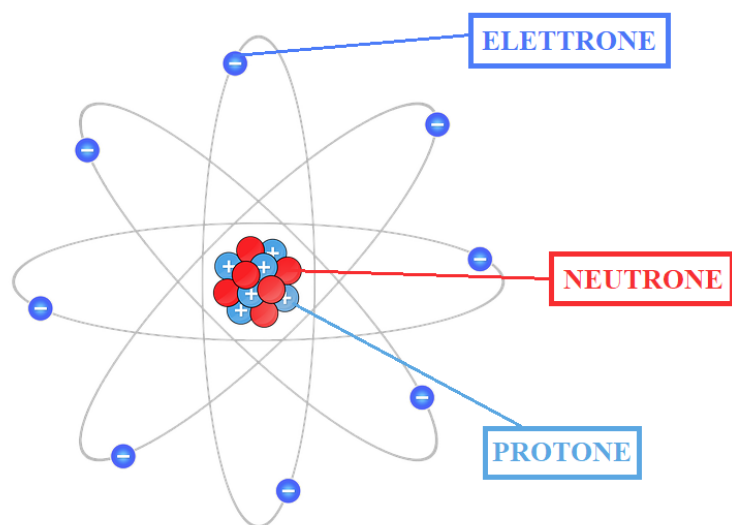
1.1 LA STRUTTURA DELL'ATOMO

L'**elettricità** nasce dal comportamento delle particelle presenti all'interno dell'atomo. L'atomo è la più piccola parte della materia e contiene tre particelle fondamentali: protoni, neutroni ed elettroni. I **protoni** hanno carica **positiva (+)**, i **neutroni** non hanno carica elettrica, mentre gli elettroni hanno **carica negativa (-)**.

Al centro dell'atomo si trova il **nucleo**, formato da **protoni e neutroni**. Intorno al nucleo ruotano gli elettroni disposti su diverse orbite. Gli elettroni più esterni sono chiamati **elettroni liberi** perché possono spostarsi più facilmente da un atomo all'altro.

Un atomo è elettricamente neutro quando il numero di protoni è uguale al numero di elettroni. Se invece un atomo perde elettroni, diventa positivo; se acquista elettroni, diventa negativo. Questo squilibrio delle cariche è alla base dei fenomeni elettrici.

La teoria dell'elettrome afferma che l'elettricità è dovuta proprio al movimento degli elettroni. Per comprendere il funzionamento dei circuiti elettrici è quindi fondamentale conoscere la struttura dell'atomo e il comportamento delle sue cariche elettriche.



1.2 IL FLUSSO DEGLI ELETTRONI

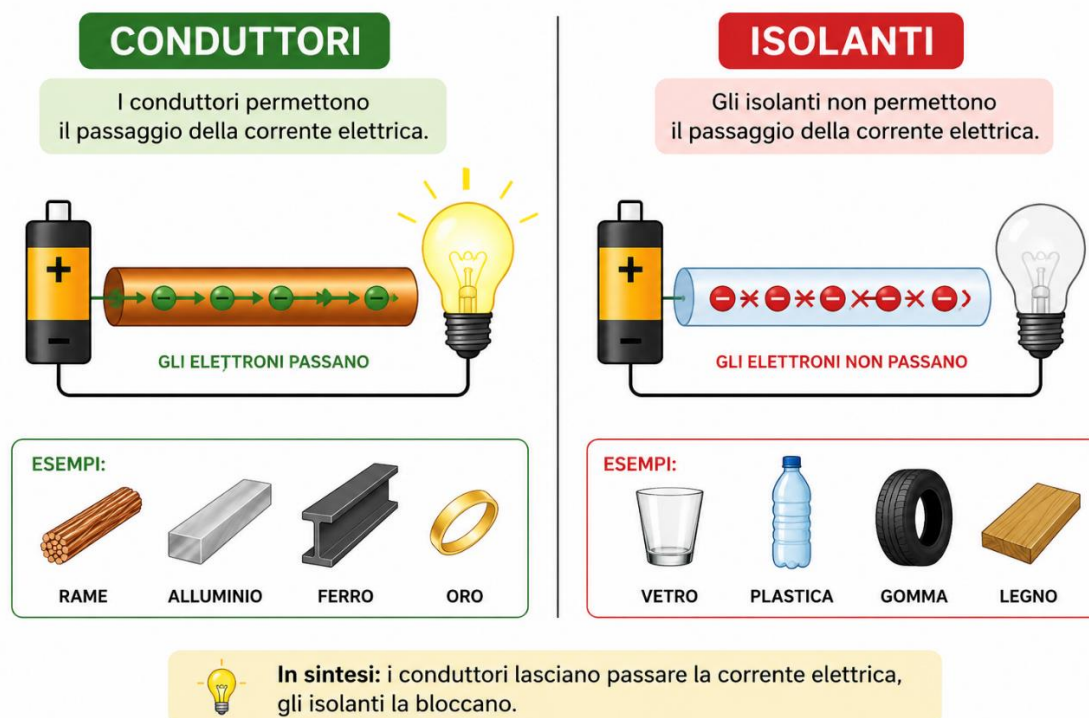
Gli elettroni negli atomi sono sempre in movimento. Tuttavia, in condizioni normali, questo movimento è casuale e non produce corrente elettrica. Quando invece viene applicata una forza che spinge gli elettroni in una direzione precisa, si crea un flusso ordinato di elettroni chiamato corrente elettrica.

La forza che provoca il movimento degli elettroni prende il nome di **forza elettromotrice (F.E.M.)** oppure **tensione elettrica** ed è misurata in **volt (V)**. La corrente elettrica, invece, si misura in **ampere (A)**.

Secondo la teoria del flusso elettrico, gli elettroni si muovono dal polo negativo verso il polo positivo. Storicamente però si usa anche il verso convenzionale della corrente, che considera il flusso dal positivo al negativo.

I materiali che permettono facilmente il passaggio degli elettroni sono chiamati conduttori, ad esempio rame, alluminio e argento. **I materiali che invece ostacolano il passaggio della corrente vengono chiamati isolanti**, come plastica, vetro e gomma.

La resistenza è l'opposizione al passaggio della corrente elettrica. Essa controlla la quantità di corrente che può fluire in un circuito ed è misurata in **ohm (Ω)**.



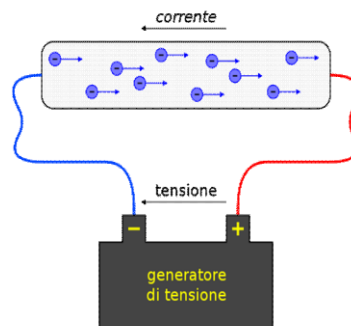
1.3 LA TENSIONE

La **tensione elettrica**, chiamata anche **F.E.M.** (*forza elettromotrice*) o **d.d.p.** (*differenza di potenziale*), è la grandezza che permette il movimento degli elettroni all'interno di un circuito elettrico, generando così la **corrente elettrica**.

Per comprendere meglio questo concetto, possiamo fare un paragone con l'acqua all'interno di un tubo: affinché l'acqua possa scorrere, è necessario che esista una differenza di altezza tra due punti. L'acqua, infatti, si sposta dal punto più alto verso quello più basso grazie alla pressione generata da questa differenza.

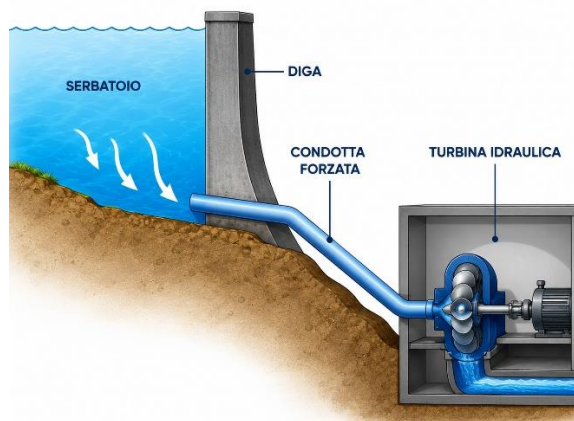
Allo stesso modo, in un circuito elettrico, la corrente si muove da un punto a **potenziale elettrico maggiore** verso un punto a **potenziale elettrico minore**. La tensione rappresenta quindi la "spinta" che mette in movimento gli elettroni.

L'unità di misura della tensione è il **Volt (V)** e lo strumento utilizzato per misurarla è il **voltmetro**.



Valori di tensione più comuni

- **230 V** → tensione normalmente presente negli impianti elettrici domestici.
- **400 V** → tensione trifase frequentemente utilizzata negli impianti industriali.
- **12 V / 24 V** → tensioni usate nei circuiti di comando e nell'automazione industriale.
- **1,5 V – 9 V – 12 V** → valori tipici di pile e batterie.



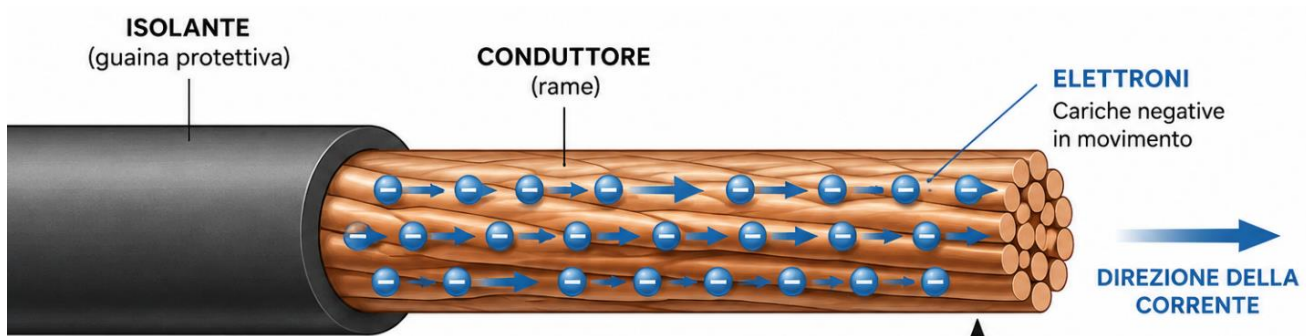
1.4 LA CORRENTE ELETTRICA

La corrente elettrica è un flusso ordinato di elettroni che si muovono all'interno di un materiale conduttore, come ad esempio un filo elettrico. Questo movimento avviene grazie alla presenza di una forza, chiamata tensione elettrica, che spinge gli elettroni lungo il circuito.

Possiamo immaginare la corrente elettrica come l'acqua che scorre all'interno di un tubo: più acqua passa nel tubo in un determinato tempo, maggiore sarà la portata. Allo stesso modo, la corrente elettrica rappresenta la quantità di cariche elettriche che attraversano un conduttore nell'unità di tempo.

La corrente elettrica si indica con la lettera **I** e la sua unità di misura è l'**Ampere (A)**.

Per misurare la corrente si utilizza uno strumento chiamato **amperometro**, che viene collegato in serie al circuito o all'utilizzatore, così da poter rilevare tutta la corrente che lo attraversa.



1.5 CORRENTE ALTERNATA E CORRENTE CONTINUA AC/DC

CORRENTE ALTERNATA– AC

La **corrente alternata** è una corrente elettrica che cambia verso periodicamente. Questo significa che gli elettroni non scorrono sempre nello stesso senso, ma oscillano avanti e indietro nel conduttore.

È la corrente utilizzata normalmente negli impianti domestici e industriali, ad esempio nella rete elettrica di casa.

CORRENTE CONTINUA – DC

La **corrente continua** è una corrente elettrica che scorre sempre nello stesso verso, dal polo negativo al polo positivo secondo il flusso reale degli elettroni.

È tipica di batterie, pile, accumulatori e alimentatori in corrente continua. In questo caso la tensione mantiene sempre la stessa polarità: un polo rimane positivo e l'altro negativo.

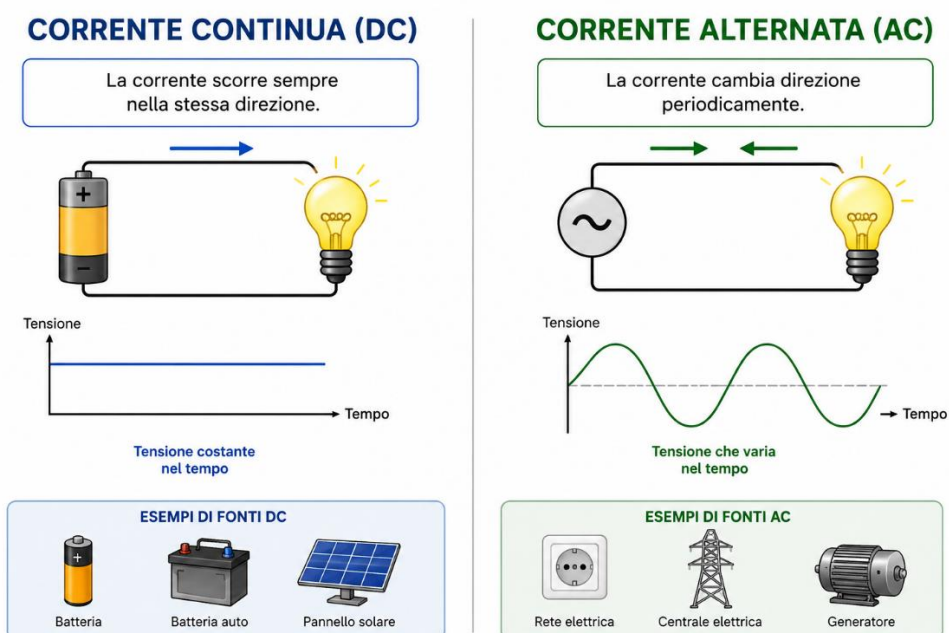
DIFFERENZA PRINCIPALE

La differenza fondamentale è questa:

Corrente continua = scorre sempre nello stesso verso

Corrente alternata = cambia verso periodicamente

Quindi, nella **corrente continua** la polarità resta fissa, mentre nella **corrente alternata** la polarità si inverte continuamente.



1.6 LA RESISTENZA ELETTRICA

Ogni materiale conduttore oppone una certa difficoltà al passaggio della corrente elettrica. Questa opposizione prende il nome di **resistenza elettrica**.

La resistenza elettrica può essere definita come l'impedimento che un materiale offre al movimento degli elettroni al suo interno. In altre parole, rappresenta la “fatica” che la corrente deve compiere per attraversare un conduttore. Maggiore è la resistenza, minore sarà la quantità di corrente che riuscirà a fluire nel circuito.

La resistenza si indica con il simbolo **R** e si misura in **ohm (Ω)**, unità di misura dedicata al fisico Georg Simon Ohm. Georg Simon Ohm

Nella pratica, tutti i materiali possiedono una certa resistenza elettrica:

- i **buoni conduttori**, come rame, argento e alluminio, hanno una resistenza molto bassa e permettono facilmente il passaggio della corrente;
- gli **isolanti**, come plastica, vetro e gomma, hanno invece una resistenza molto elevata e ostacolano il passaggio degli elettroni.

LE RESISTENZE COME CARICHI ELETTRICI

Le **resistenze** sono componenti elettrici che si oppongono al passaggio della corrente. Il loro compito principale è quello di **limitare, controllare o trasformare** la corrente elettrica all'interno di un circuito.

Una resistenza può essere considerata un **carico elettrico**, perché assorbe energia dal circuito.

In elettrotecnica, infatti, si chiama **carico** qualsiasi elemento che utilizza energia elettrica per svolgere una funzione.

Sono esempi di carichi:

- una lampadina;
- un motore;
- un LED;
- una ventola;
- un elettrodomestico.

Quando la corrente attraversa una resistenza, parte dell'energia elettrica viene trasformata principalmente in **calore**.

Nei circuiti elettronici viene usata anche per **proteggere i componenti**, evitando che passi troppa corrente. Esempio: Se un LED venisse collegato direttamente alla batteria si brucerebbe se non ci fosse un resistore a limitare la corrente.

1.7 LA PRIMA LEGGE DI OHM

La relazione tra tensione, corrente e resistenza è descritta dalla **Prima Legge di Ohm**, uno dei principi fondamentali dell'elettrotecnica.

Essa afferma che la corrente elettrica che attraversa un circuito è direttamente proporzionale alla tensione applicata e inversamente proporzionale alla resistenza del circuito.

La legge viene espressa dalla formula:

$$I = \frac{V}{R}$$

Questo significa che in un circuito come quello in figura 1:

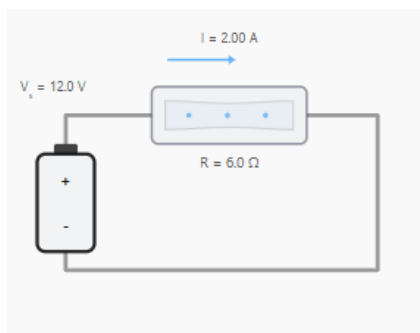
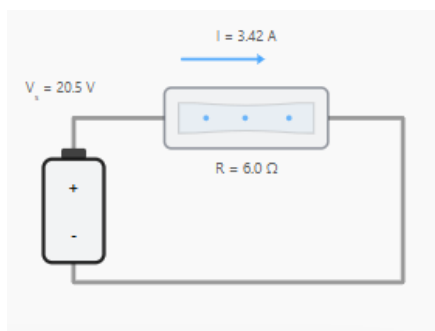
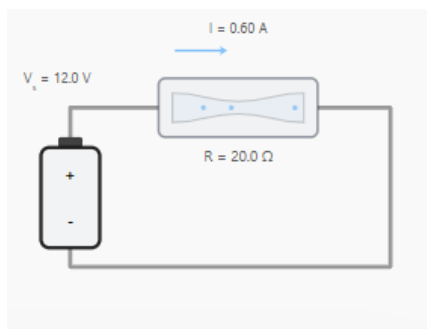


figura.1

- aumentando la tensione, la corrente aumenta;

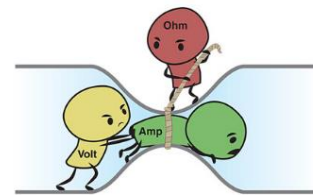


- aumentando la resistenza, la corrente diminuisce.



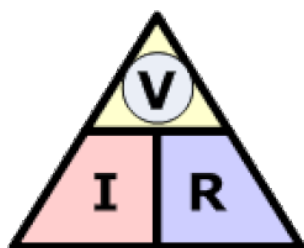
Si tenga sempre presente che:

- **V** rappresenta la tensione elettrica espressa in Volt (V);
- **R** rappresenta la resistenza espressa in Ohm (Ω);
- **I** rappresenta la corrente elettrica espressa in Ampere (A).

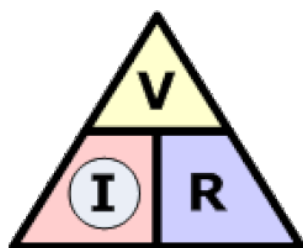


Dalla formula principale si possono ricavare anche le altre due formule utili per il calcolo della corrente e della resistenza:

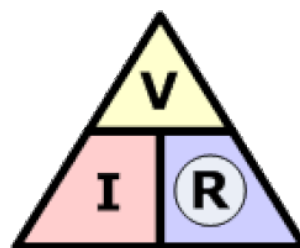
$$V = R \cdot I \quad R = \frac{V}{I}$$



$$\textcircled{V} = I \times R$$



$$\textcircled{I} = \frac{V}{R}$$



$$\textcircled{R} = \frac{V}{I}$$

1.8 SECONDA LEGGE DI OHM

Da questa relazione deriva anche la **Seconda Legge di Ohm**, che mette in relazione la resistenza con le dimensioni e il materiale del conduttore:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

dove:

- **R** è la resistenza del conduttore;
- **ρ (rho)** è la resistività del materiale;
- **l** è la lunghezza del conduttore;
- **S** è la sezione del conduttore.



Questa legge evidenzia che la resistenza aumenta con la lunghezza del filo e diminuisce all'aumentare della sua sezione.



PARTE 2 – CIRCUITI ELETTRICI

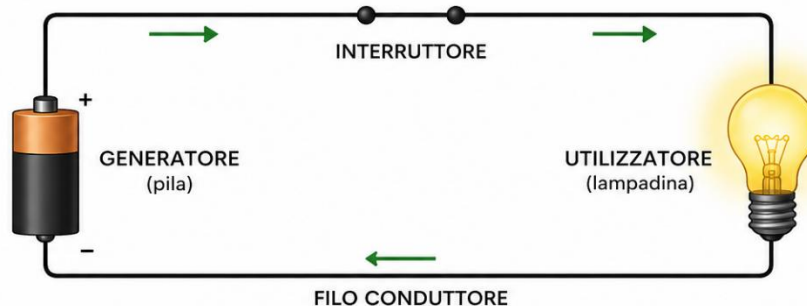
2.1 IL CIRCUITO ELETTRICO

Un circuito elettrico è un percorso completo che permette alla corrente di fluire da una sorgente di tensione, attraverso un utilizzatore, e tornare al punto di partenza. Un circuito semplice può essere composto da una batteria, dei fili conduttori, un interruttore e una lampadina.

Quando il circuito è chiuso, la corrente può circolare e la lampadina si accende. Se invece il circuito è aperto, ad esempio perché l'interruttore è spento o un filo è interrotto, la corrente non può fluire e il dispositivo non funziona.

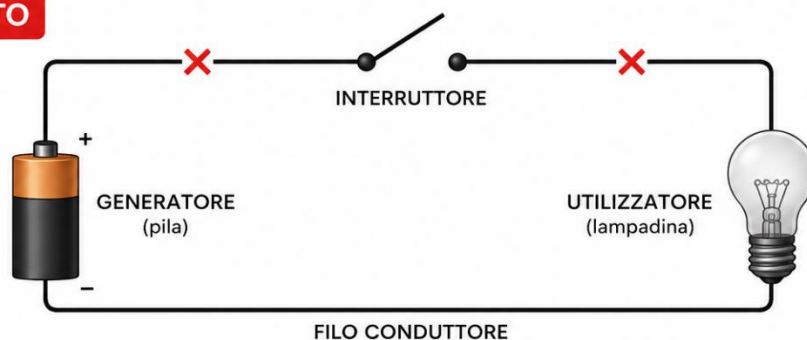
CIRCUITO CHIUSO

(lampadina accesa)



CIRCUITO APERTO

(lampadina spenta)



2.2 CIRCUITI ELETTRICI CON RESISTENZE IN SERIE E PARALLELO

Esistono diversi tipi di circuiti elettrici:

- **Circuito in serie:** In un circuito in serie le resistenze sono collegate una dopo l'altra, formando un unico percorso per la corrente elettrica. La corrente che attraversa ogni resistenza è la stessa, mentre la tensione si divide tra i vari componenti. La resistenza totale del circuito si ottiene sommando tutte le resistenze:

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3$$

- **Circuito parallelo:** la corrente può seguire più percorsi. Ogni componente riceve corrente indipendentemente dagli altri. Se una lampadina si guasta, le altre continuano a funzionare. La tensione è uguale su ogni ramo; La corrente si divide tra le varie resistenze. La resistenza totale risulta sempre minore della resistenza più piccola presente nel circuito.

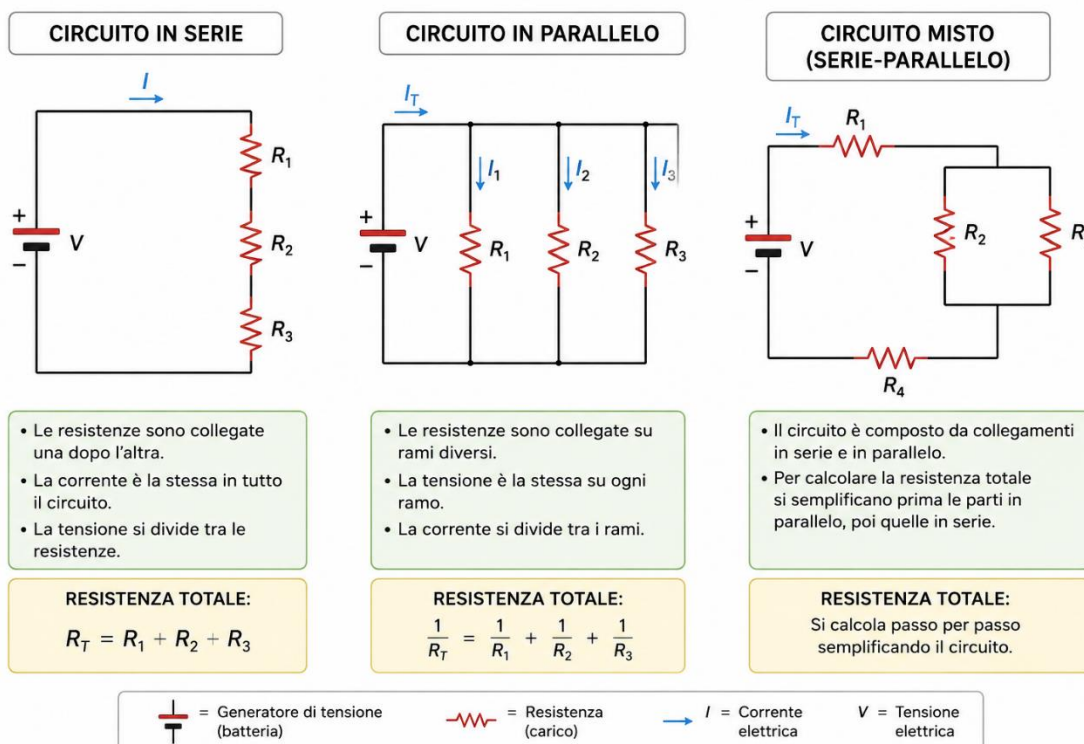
$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Formula semplificata:

- **Circuito serie-parallelo:** combina le caratteristiche dei circuiti serie e parallelo. Alcuni componenti sono collegati in serie e altri in parallelo.

14



2.3 LA POTENZA ELETTRICA

In elettrotecnica, la **potenza elettrica** rappresenta la quantità di energia elettrica trasformata o utilizzata nell'unità di tempo.

In modo semplice, indica quanto “lavoro” elettrico un dispositivo è in grado di compiere.

La potenza dipende dalla tensione di alimentazione e dalla corrente assorbita dal circuito ed è espressa dalla formula:

$$P = V \cdot I$$

dove:

- **P** = Potenza elettrica espressa in Watt (W);
- **V** = Tensione elettrica espressa in Volt (V);
- **I** = Corrente elettrica espressa in Ampere (A).

La potenza si misura in **Watt (W)** e corrisponde a un Joule al secondo (J/s).

Dalla formula principale si possono ricavare anche le formule per calcolare corrente e tensione:

$$I = \frac{P}{V} \quad V = \frac{P}{I}$$

15

Esempio 1 – Calcolo della Potenza

Un generatore produce una tensione di **230 V** con una corrente di **8 A**.
Qual è la sua potenza?

$$P = 230 \cdot 8 = 1840W$$

Quindi la potenza erogata è:

- **1840 W**
- **1,84 kW**

Esempio 2 – Calcolo della corrente assorbita

Un elettrodomestico funziona a **230 V** ed ha una potenza di **2500 W**.
Quanta corrente assorbe?

$$I = \frac{2500}{230} = 10.86A$$

L'elettrodomestico assorbe quindi circa **10,86 A**.

2.4 ENERGIA ELETTRICA

Con il termine energia elettrica si indica la quantità di elettricità consumata dai dispositivi e dagli impianti durante il loro funzionamento.

L'energia è ciò che permette di alimentare luci, elettrodomestici, motori e apparecchi elettronici presenti nelle abitazioni e nelle industrie.

Le aziende fornitrici di energia elettrica, come Enel o Hera, calcolano i consumi attraverso il contatore elettrico e utilizzano questo valore per determinare il costo riportato in bolletta.

L'unità di misura dell'energia elettrica consumata è il: **chilowattora (kWh)**

Osservando bene questa unità di misura possiamo notare che è composta da: una potenza espressa in kilowatt (kW); un tempo espresso in ore (h).

L'energia si calcola quindi moltiplicando la potenza di un dispositivo per il tempo di utilizzo.

La formula dell'energia è:

$$E = P \cdot t$$

dove:

- **E** = energia elettrica;
- **P** = potenza del dispositivo;
- **t** = tempo di funzionamento.

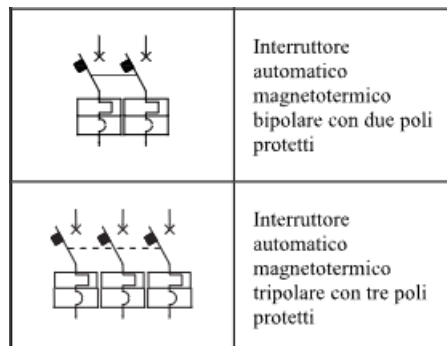
PARTE 3 – SICUREZZA E PROTEZIONI ELETTRICHE

3.1 INTERRUTTORE MAGNETO TERMICO

L'**interruttore magnetotermico** è un dispositivo di protezione utilizzato negli impianti elettrici per interrompere automaticamente il passaggio della corrente in caso di guasto o anomalie del circuito.

Il magnetotermico interviene in presenza di una **sovracorrente**, che può essere causata da:

- un **sovraccarico**;
- un **cortocircuito**.



Questo dispositivo sostituisce sia il vecchio fusibile sia l'interruttore termico, offrendo maggiore precisione e la possibilità di essere facilmente riarmato dopo l'intervento semplicemente agendo sulla leva di comando.

Il nome **magnetotermico** deriva dal fatto che il dispositivo utilizza due differenti sistemi di protezione:

- una protezione **termica** contro i sovraccarichi;
- una protezione **magnetica** contro i cortocircuiti.



17

PROTEZIONE MAGNETICA

Il cortocircuito è un guasto molto più pericoloso e improvviso. Si verifica quando due punti a differente potenziale entrano direttamente in contatto, generando una corrente elevatissima.

In questo caso interviene la protezione **magnetica**, costituita da un **solenioide**. La corrente elevata genera un forte campo magnetico che provoca lo scatto immediato dell'interruttore, aprendo il circuito in pochi millesimi di secondo.

PROTEZIONE TERMICA

Il sovraccarico si verifica quando un circuito assorbe più corrente del valore previsto per un tempo prolungato. In questo caso entra in funzione la parte **termica** dell'interruttore, composta da una **lamina bimetallica**. Quando la corrente è troppo elevata, la lamina si riscalda e si deforma fino a provocare l'apertura del circuito.

3.2 INTERRUTTORE DIFFERENZIALE

L'**interruttore differenziale**, comunemente chiamato **salvavita**, è un dispositivo di sicurezza che interrompe automaticamente il circuito elettrico in presenza di una dispersione di corrente verso terra, proteggendo le persone dal rischio di folgorazione.

Il suo funzionamento si basa sul confronto tra:

- la corrente che entra nel circuito;
- la corrente che esce dal circuito.

In condizioni normali queste correnti sono uguali.

Se invece una parte della corrente si disperde verso terra, il differenziale rileva una differenza e apre immediatamente il circuito.

Le dispersioni possono verificarsi:

- per guasti dell'impianto;
- per isolamento danneggiato;
- per contatto accidentale con parti in tensione.

Il differenziale protegge sia:

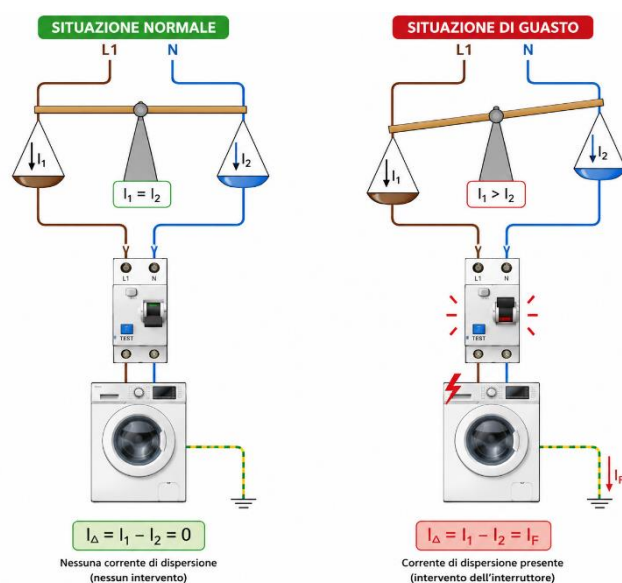
- dai **contatti indiretti**, cioè quando si tocca accidentalmente una carcassa metallica andata in tensione a causa di un guasto;
- dai **contatti diretti**, cioè quando si entra direttamente in contatto con un conduttore elettrico in tensione.

Per garantire una protezione efficace è fondamentale la presenza di un corretto **impianto di messa a terra**, che permette alla corrente di guasto di disperdersi rapidamente verso terra favorendo l'intervento del dispositivo.

Negli impianti civili si utilizzano normalmente differenziali ad alta sensibilità con corrente differenziale nominale pari a:

$$I_{\Delta n} = 30mA$$

Il pulsante **TEST** serve a verificare periodicamente il corretto funzionamento del dispositivo simulando una dispersione di corrente. È consigliato effettuare questa prova almeno una volta al mese.



3.3 L'IMPIANTO DI MESSA A TERRA

L'**impianto di messa a terra** è un sistema di sicurezza che ha lo scopo di proteggere persone e impianti elettrici dal rischio di folgorazione in caso di guasto.

La sua funzione principale è convogliare verso terra la corrente di dispersione, favorendo l'intervento automatico dell'interruttore differenziale ed evitando che le masse metalliche rimangano in tensione.

Normalmente le carcasse metalliche degli elettrodomestici e delle apparecchiature non sono in tensione. In caso di guasto, però, potrebbero assumere un potenziale pericoloso rispetto al terreno. La messa a terra permette di scaricare questa corrente direttamente nel terreno, mantenendo le masse metalliche allo stesso potenziale della terra.

La protezione contro i **contatti indiretti** si ottiene proprio collegando carcasse metalliche, strutture dell'edificio, tubazioni, impianti metallici all'impianto di terra.

In presenza di un guasto verso terra:

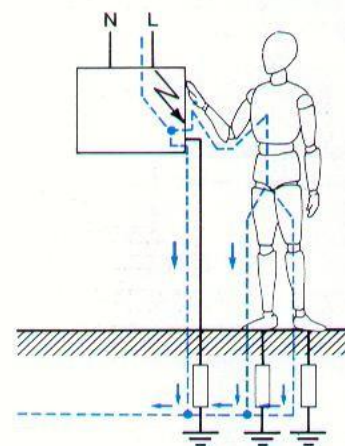
- la corrente di dispersione viene scaricata nel terreno;
- l'interruttore differenziale rileva lo squilibrio;
- il circuito viene aperto automaticamente.

L'impianto di messa a terra serve a:

- proteggere contro i contatti indiretti;
- favorire l'intervento del differenziale;
- evitare tensioni pericolose sulle masse metalliche;
- scaricare correnti di guasto e cariche elettrostatiche;
- proteggere gli impianti anche in caso di fulmini.

Per garantire la sicurezza, tutti i conduttori di terra devono essere identificati con i colori:

- **giallo-verde**



PARTE 4 – MACCHINE ELETTRICHE

4.1 SISTEMA MONOFASE E TRIFASE

L'energia elettrica prodotta nelle centrali viene generata e distribuita principalmente in **corrente alternata trifase**. Questa scelta permette di ottenere maggiore efficienza nella trasmissione dell'energia, minori perdite elettriche, riduzione della sezione dei cavi, migliore funzionamento delle macchine elettriche.

Il sistema trifase è molto utilizzato in ambito industriale perché consente di alimentare motori elettrici potenti e affidabili, come i motori asincroni trifase.

SISTEMA MONOFASE

Il sistema **monofase** è quello normalmente utilizzato nelle abitazioni civili.

È composto da una **fase** e un **neutro**.

La tensione disponibile tra fase e neutro è generalmente:

$$V = 230V$$

Il monofase viene utilizzato per illuminazione, prese domestiche, piccoli elettrodomestici, carichi di potenza ridotta, quindi maggiormente in ambito civile.

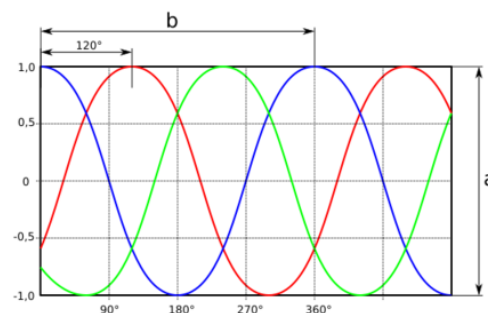
SISTEMA TRIFASE

Il sistema **trifase** è composto da **tre fasi** e un eventuale **neutro**.

Le tre fasi vengono indicate con: **R – S – T**
oppure: **L1 – L2 – L3**

Le tensioni generate sono sinusoidali e risultano sfasate tra loro di: 120°

Questo significa che ogni fase raggiunge il proprio valore massimo in momenti differenti, garantendo una distribuzione più uniforme della potenza.



Il sistema trifase viene prodotto da una macchina elettrica chiamata **alternatore trifase**, costituita da tre avvolgimenti disposti tra loro a 120° . Quando gli avvolgimenti ruotano all'interno di un campo magnetico, si genera una forza elettromotrice alternata sulle tre fasi.

Tensioni nel Sistema Trifase

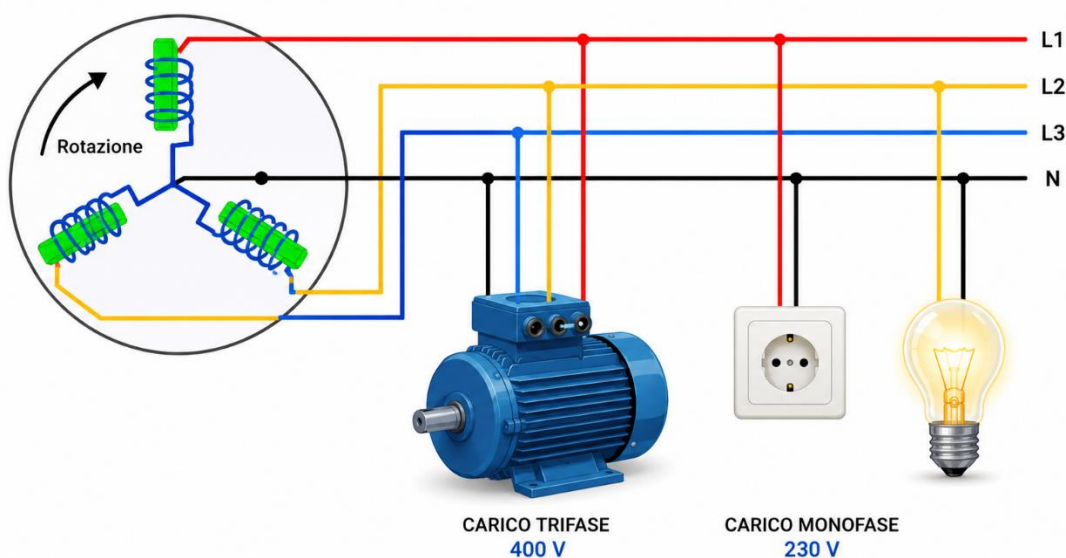
Nel trifase esistono due tipi di tensione: **Tensione di fase (Vf)** Tensione tra fase e neutro;
Tensione concatenata (VL) Tensione tra due fasi delle tre fasi.

Nel sistema trifase a stella, utilizzato normalmente nelle reti elettriche, la relazione tra le due tensioni è:

$$V_L = V_f \cdot \sqrt{3}$$

In pratica:

- tensione fase-neutro ≈ 230 V;
- tensione tra due fasi ≈ 400 V.



4.2 IL TRASFORMATORE

Il **trasformatore** è una macchina elettrica statica, cioè priva di parti in movimento, utilizzata per modificare i valori di tensione e corrente in un circuito elettrico in corrente alternata.

La sua funzione principale è **aumentare la tensione o diminuire la tensione**;

Il funzionamento del trasformatore si basa sul principio dell'**induzione elettromagnetica**.

STRUTTURA DEL TRASFORMATORE

Un trasformatore è composto principalmente da un **avvolgimento primario**, un **avvolgimento secondario** e un **nucleo magnetico** in materiale ferromagnetico.

L'avvolgimento collegato alla rete di alimentazione prende il nome di **primario**, mentre quello da cui viene prelevata l'energia si chiama **secondario**.

I due avvolgimenti sono avvolti attorno ad un nucleo magnetico che permette il trasferimento dell'energia tramite il campo magnetico.

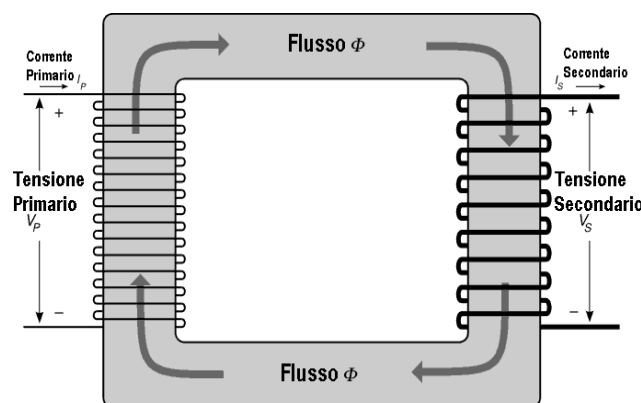
FUNZIONAMENTO

Quando al primario viene applicata una tensione alternata, la corrente genera un campo magnetico variabile nel nucleo.

Questo campo magnetico induce nel secondario una nuova tensione elettrica secondo la legge di Faraday-Neumann-Lenz.

Il trasformatore funziona quindi solo in **corrente alternata (AC)**, perché necessita di un campo magnetico variabile.

Il rendimento del trasformatore è molto elevato e le perdite di energia sono generalmente molto basse.



RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE

La tensione in uscita dipende dal rapporto tra il numero delle spire del primario e quelle del secondario:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

dove:

- **V_p** = tensione primaria;
- **V_s** = tensione secondaria;
- **N_p** = numero spire primario;
- **N_s** = numero spire secondario.

Se il secondario ha meno spire del primario, la tensione viene ridotta.

Se invece ha più spire, la tensione viene aumentata.

UTILIZZO NEI CIRCUITI DI COMANDO

Nei circuiti industriali si utilizzano spesso trasformatori con:

- ingresso a **230 V**;
- uscita a **24 V**.

23

La bassissima tensione a 24 V viene utilizzata nei circuiti di comando per aumentare la sicurezza degli operatori che devono interagire con pulsanti, contattori e dispositivi della macchina.

Ridurre la tensione significa infatti diminuire il rischio di folgorazione durante l'utilizzo e la manutenzione degli impianti.

4.3 IL MOTORE ASINCRONO TRIFASE

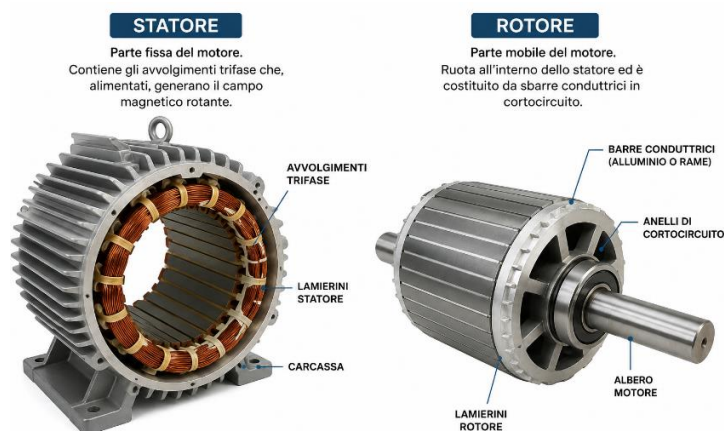
Il **motore asincrono trifase** è una delle macchine elettriche più utilizzate in ambito industriale grazie alla sua semplicità, affidabilità e ridotta manutenzione. Viene impiegato in numerose applicazioni come: pompe; ventilatori; compressori; nastri trasportatori; ascensori; impianti di ventilazione e climatizzazione.

Il motore asincrono trasforma l'energia elettrica in energia meccanica sfruttando il principio del **campo magnetico rotante** generato dalla corrente trifase.

STRUTTURA DEL MOTORE

Il motore asincrono è composto principalmente da due parti:

- **Statore**
Parte fissa del motore contenente gli avvolgimenti alimentati dalla rete trifase.
- **Rotore**
Parte mobile posta all'interno dello statore che ruota grazie al campo magnetico generato.

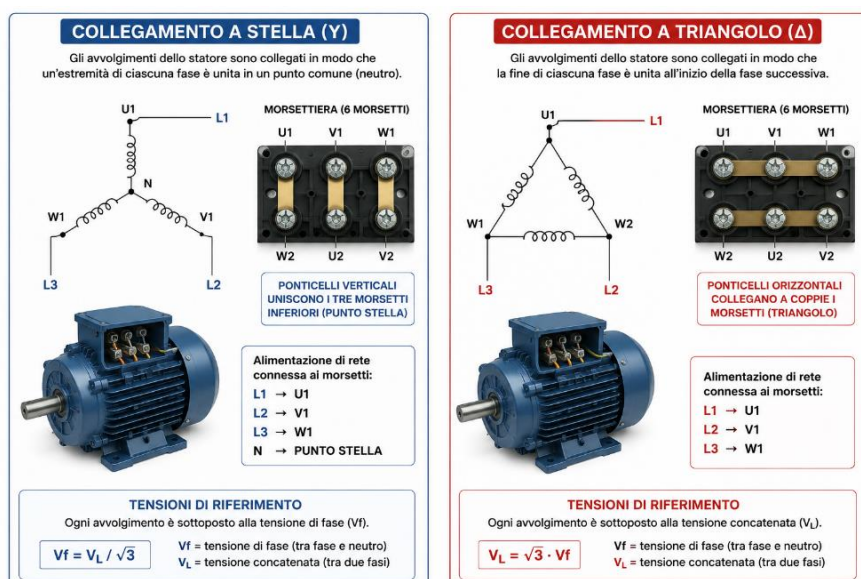


25

Gli avvolgimenti dello statore possono essere collegati:

- a **stella (Y)**;
- a **triangolo (Δ)**

in base alla tensione di alimentazione del motore.



ROTORE A GABBIA DI SCOIATTOLO

Il tipo più diffuso è il motore con **rotore a gabbia di scoiattolo**, costituito da sbarre conduttrici in cortocircuito tra loro.

Questa soluzione rende il motore: semplice; robusto; economico; molto affidabile. Grazie a queste caratteristiche il motore asincrono trifase è oggi il più utilizzato nell'industria.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

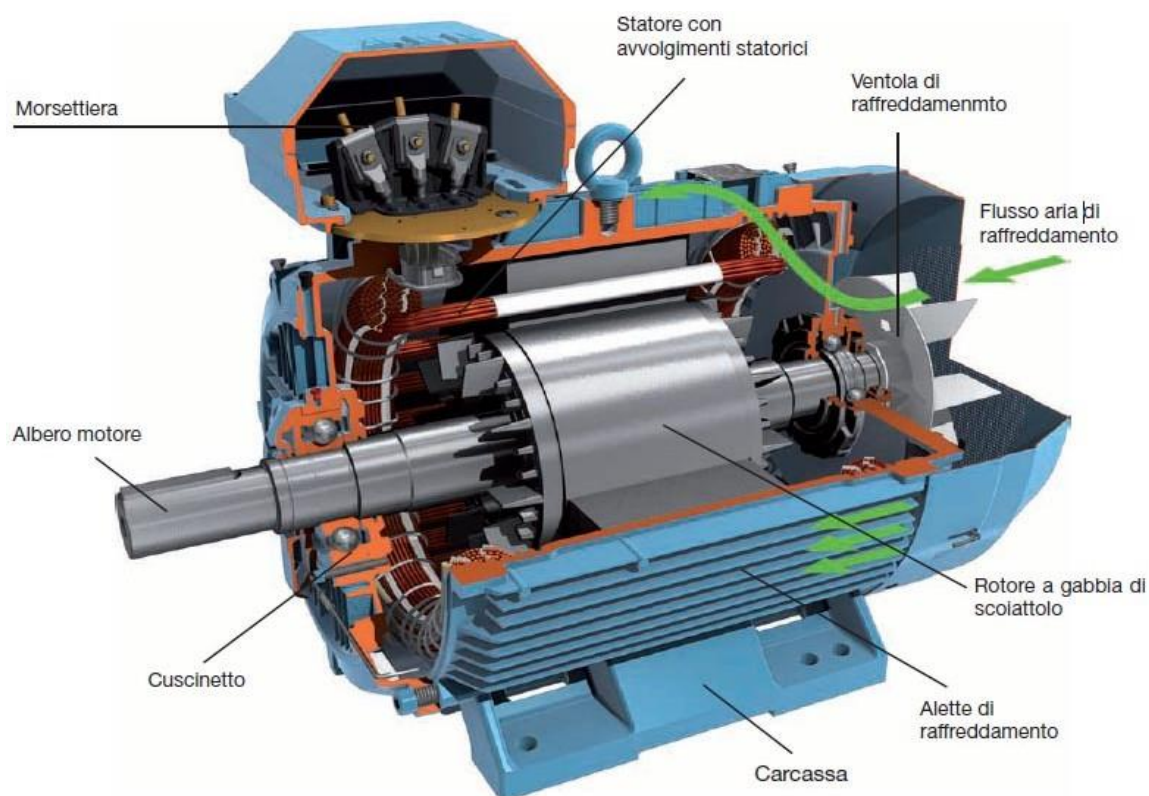
Quando gli avvolgimenti dello statore vengono alimentati in corrente trifase, si genera un campo magnetico rotante. Questo campo magnetico induce correnti nel rotore che producono una forza capace di mettere in rotazione l'albero motore.

Il motore viene chiamato "asincrono" perché la velocità del rotore è leggermente inferiore a quella del campo magnetico rotante.

COMPONENTI PRINCIPALI

I principali componenti del motore asincrono sono: **statore**; **rotore**; **albero motore**; **cuscinetti**; **carcassa**; **ventola di raffreddamento**; **morsettiera di collegamento**.

La ventola serve a dissipare il calore prodotto durante il funzionamento. Per migliorare ulteriormente l'efficienza energetica si utilizzano spesso inverter e motori ad alta efficienza energetica.



PARTE 5 – IMPIANTI INDUSTRIALI

5.1 INTRODUZIONE

Gli impianti elettrici industriali sono sistemi progettati per alimentare, controllare e proteggere macchinari e apparecchiature utilizzate nei processi produttivi. A differenza degli impianti civili, gli impianti industriali devono gestire potenze elevate, motori elettrici, automazioni e sistemi di sicurezza più complessi.

IL QUADRO ELETTRICO

Il **quadro elettrico** rappresenta il centro di gestione e protezione dell'impianto industriale, poiché consente di distribuire l'energia elettrica, controllare il funzionamento delle macchine e garantire la sicurezza dell'intero sistema.

Un quadro elettrico, sia nell'industria che nel civile, serve a contenere tutti i dispositivi elettromeccanici, i cablaggi, i componenti elettrici, ecc... che compongono la logica di comando del sistema.

All'interno di un quadro elettrico di un impianto industriale è fondamentale distinguere:

- il **circuito di potenza**, che alimenta direttamente i carichi come motori, pompe, cilindri pneumatici;
- il **circuito di comando e segnalazione**, che controlla il funzionamento dell'impianto tramite pulsanti, relè, contattori e dispositivi di sicurezza.

27

Nei quadri industriali vengono utilizzati principalmente sistemi trifase a **400V** per garantire maggiore potenza ed efficienza nel funzionamento delle macchine elettriche.

La sicurezza riveste un ruolo fondamentale: per questo motivo i circuiti di comando lavorano spesso a bassa tensione, ad esempio **24V** riducendo il rischio per gli operatori durante l'utilizzo e la manutenzione. Gli impianti industriali comprendono numerosi componenti elettrici ed elettromeccanici, tra cui:

- contattori;
- relè;
- temporizzatori;
- magnetotermici;
- differenziali;
- pulsanti e segnalatori luminosi.



Lo studio dell'impiantistica industriale permette di comprendere il funzionamento dei sistemi automatici utilizzati nell'industria moderna e rappresenta la base per la realizzazione di quadri elettrici, automazioni e circuiti di comando motori.

5.2 CIRCUITO DI POTENZA E CIRCUITO DI COMANDO

CIRCUITO DI POTENZA

Nel quadro elettrico industriale il sistema che gestisce e alimenta direttamente il carico è il **Circuito di Potenza**. Normalmente il carico, esempio un motore asincrono trifase, lavora a tensioni elevate:

400V trifase

Nel circuito di potenza vengono compresi:

- magnetotermici;
- contattori;
- motori;

CIRCUITO DI COMANDO E SEGNALAZIONE

È la parte che controlla il funzionamento dell'impianto. Lavora generalmente a bassa tensione, spesso a **24V** per aumentare la sicurezza degli operatori.

Comprende:

- pulsanti;
- relè;
- temporizzatori;
- spie luminose;
- contatti ausiliari



5.3 COMPONENTI DEL QUADRO ELETTRICO INDUSTRIALE

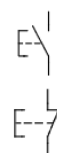
PULSANTI

Il **pulsante** è un dispositivo di comando utilizzato negli impianti elettrici e industriali per controllare il funzionamento di un circuito. Permette all'operatore di inviare un comando elettrico.

I pulsanti vengono utilizzati principalmente nei **circuiti di comando e segnalazione**, dove lavorano generalmente a bassa tensione per aumentare la sicurezza.

Quando il pulsante viene premuto, i suoi contatti cambiano stato:

- un contatto normalmente aperto si chiude; NO
- un contatto normalmente chiuso si apre. NC



Il pulsante è un dispositivo monostabile in quanto mantiene stabilmente solo una posizione; in altre parole, quando il pulsante viene rilasciato, una molla interna riporta automaticamente il dispositivo nella posizione iniziale.



Un pulsante che troviamo montato sulla maggior parte delle macchine è il pulsante di emergenza.

Il **pulsante di emergenza** è un dispositivo di sicurezza utilizzato per arrestare immediatamente una macchina o un impianto in caso di pericolo. È generalmente di colore rosso con sfondo giallo, a contatto normalmente chiuso (NC), e la sua pressione provoca l'apertura del circuito interrompendo il funzionamento dell'impianto in condizioni di sicurezza. Per sganciarlo e riportarlo alla posizione di iniziale è necessario l'intervento dell'operatore.



LAMPADE DI SEGNALAZIONE

Le **lampade di segnalazione** sono dispositivi luminosi utilizzati negli impianti industriali per indicare lo stato di funzionamento di una macchina o di un circuito elettrico.

Permettono all'operatore di riconoscere rapidamente condizioni di marcia, arresto, allarme o guasto.



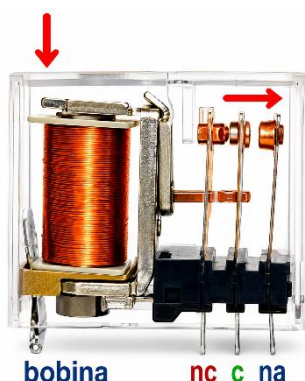
I colori hanno un significato importante e standardizzato:

1	2	3	4	5
Colore	Significato	Spiegazione	Azione dell'operatore	Esempi di applicazione
ROSSO	Emergenza	Condizioni pericolose	Risposta immediata a una situazione pericolosa, per esempio: - azionando il pulsante dell'arresto di emergenza - avviando la pompa di raffreddamento - aprendo la valvola di sicurezza	- Pressione/temperatura fuori dai limiti di sicurezza (per esempio, 20 bar) - Caduta di tensione - Guasto di un'unità principale - Arresto di macchine indispensabili, sistemi ausiliari - Temperatura di congelamento troppo alta - Superamento della posizione di STOP per un apparecchio di sollevamento
GIALLO	Anormale	- Condizioni anormali - Condizione critica imminente	Sorveglianza e/o intervento (per esempio, per ristabilire la funzione prevista)	- Pressione/temperatura al di fuori del normale livello (per esempio, 18 bar) - Scatto di un dispositivo di protezione o di un'unità ausiliaria - Trasportatore sovraccarico - Superamento fine corsa di un interruttore - Cambio di posizione di una valvola o di un nastro trasportatore - Temperatura di congelamento troppo bassa
VERDE	Normale	Condizioni normali	Facoltativa	- Pressione/temperatura entro i limiti normali (per esempio, 15 bar) - Autorizzazione a procedere - Indicazione dell'area di lavoro normale
BLU	Obbligatorio	Indica una condizione che necessita di un'azione	Azione obbligatoria	Istruzioni all'operatore per ottenere valori preselezionati
BIANCO GRIGIO NERO	Nessun significato specifico attribuito	Ogni significato può essere usato se sussiste un dubbio per l'uso di ROSSO, GIALLO, VERDE, BLU	Sorveglianza	Informazioni generali (per esempio, conferma di un comando, come la messa in marcia di un motore, indicazione di valori misurati)

L'utilizzo corretto dei colori migliora la sicurezza e rende più immediata l'identificazione dello stato dell'impianto.



I RELE'



Il relè è un dispositivo elettrico composto da una bobina e da uno o più contatti elettrici normalmente chiusi, aperti od entrambi. In pratica è un interruttore che viene azionato elettricamente.

Nella foto a lato è raffigurato un relè composto da:

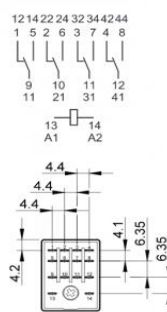
- bobina elettromagnetica;
- contatti NC. ed NO.

Relè monostabili

Negli **impianti industriali**, l'obiettivo primario è prevenire incidenti e danni a persone o macchinari. Il ritorno allo stato di riposo dei relè monostabili:

- Evita l'attivazione di carichi o macchinari in modo incontrollato.
- Garantisce che, in caso di guasto, i sistemi tornino in una condizione predefinita sicura.
- Essenziale nei sistemi di emergenza (es. pulsanti di arresto o sezionatori).

Qui sotto troviamo il **relè istantaneo** e i suoi contatti di scambio. Questo relè è un componente comunemente utilizzato per impianti a logica cablata.



È composto principalmente da:

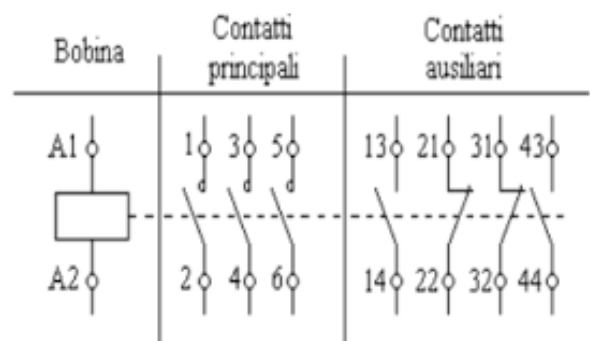
- Sono i contatti principali che collegano il carico alla linea di alimentazione. A riposo sono normalmente aperti (NO).

- Utilizzati nei circuiti di comando e segnalazione per realizzare funzioni come autoritenuta, interblocchi, segnalazioni e automazioni. Possono essere:

- Quando viene alimentata genera un campo magnetico che attira il nucleo mobile provocando il movimento dei contatti.

- i contatti NO si chiudono;
- i contatti NC si aprono.

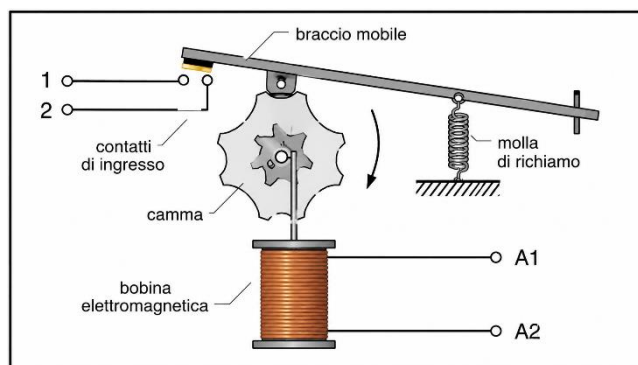
Il contattore permette quindi di controllare carichi elevati tramite circuiti di comando a bassa tensione, aumentando sicurezza e affidabilità dell'impianto.



Relè bistabili

I relè bistabili possono assumere due stati stabili. Un classico esempio è il relè passo-passo che viene utilizzato comunemente nelle abitazioni domestiche. Il suo stato passa da Off a On a Off ad ogni impulso inviato alla bobina A1-A2.

In pratica è sufficiente un impulso elettrico inviato ad una bobina per cambiare il suo stato che viene mantenuto anche in assenza di tensione.



Relè temporizzati

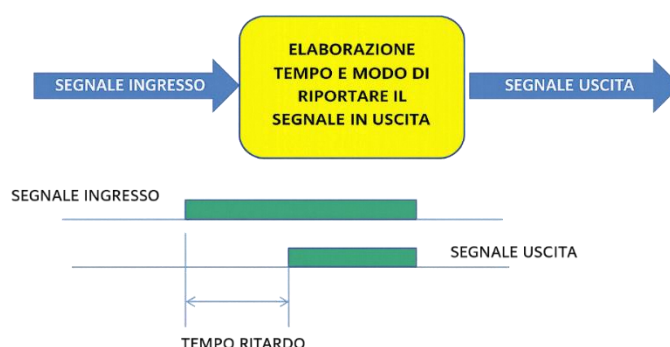
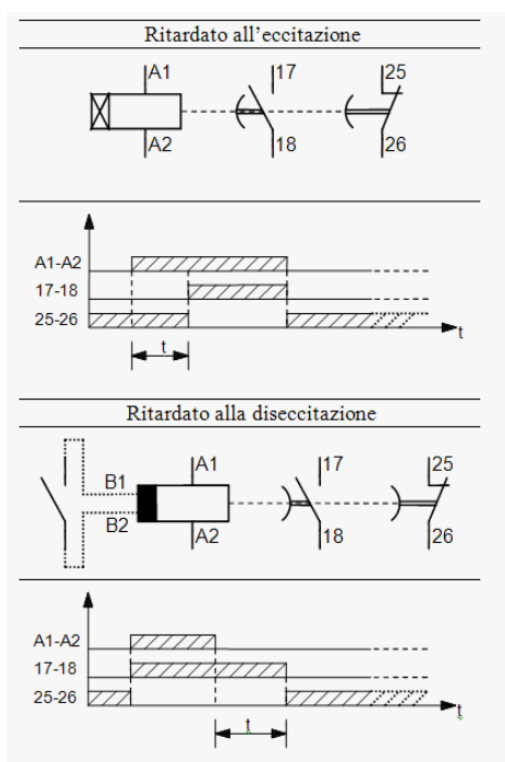
L'utilizzo del timer in elettromeccanica serve a ritardare l'apertura o la chiusura di uno o più contatti nel momento in cui viene alimentato.



Le caratteristiche importanti sono:

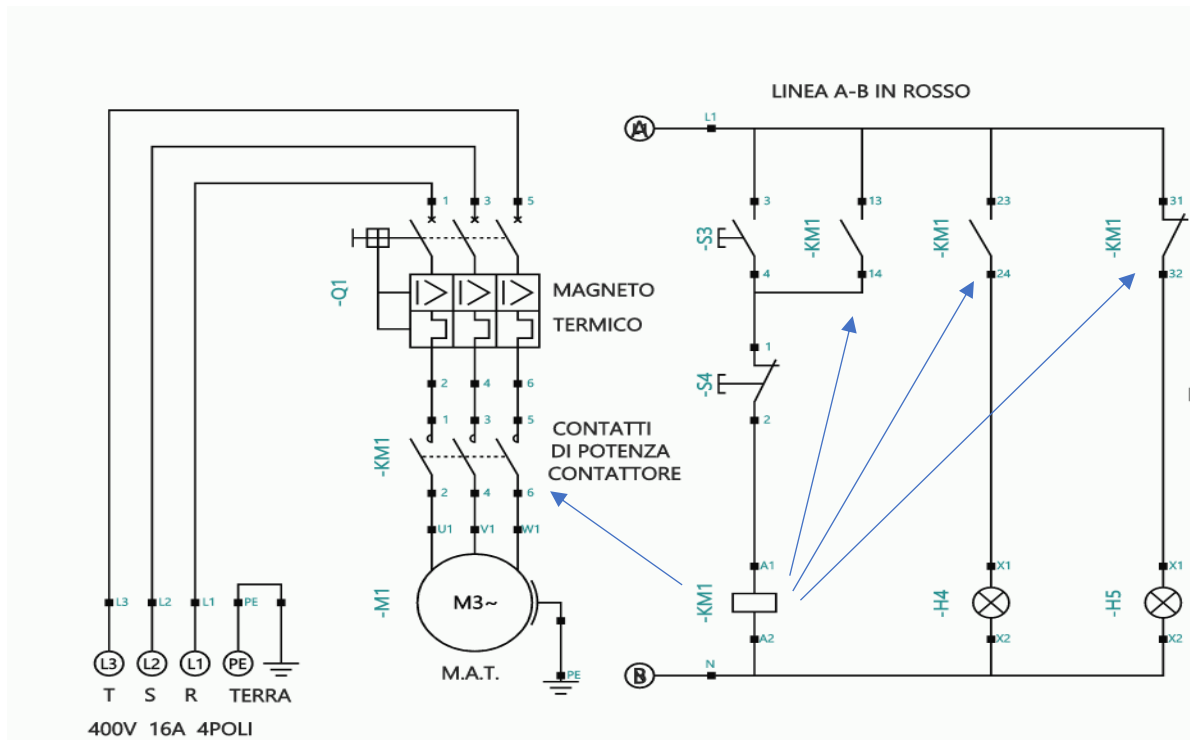
- tensione di alimentazione;
- tipo di alimentazione;
- numero contatti e portata in corrente;
- tempo di lavoro;
- **tipo di timer (ritardato all'eccitazione RE o alla diseccitazione RD).**

33



PARTE 6 – COMPRENSIONE E LOGICA DEGLI SCHEMI ELETTRICI

6.1 CIRCUITO DI START E STOP DI UN MOTORE SINCRONO TRIFASE



34

Per capire il funzionamento dello schema elettrico, dobbiamo per prima cosa conoscere la simbologia elettrica. Nello schema troviamo due elementi fondamentali: i **simboli** e le **sigle** corrispondenti.

L1, L2, L3: Alimentazione trifase 400V

A, B: Morsetti di alimentazione 24V (tensione di sicurezza),

Q1: Interruttore Magneto termico

M1: Motore asincrono trifase

S3: Pulsante NO ;S4: Pulsante NC

H4,H5: Lampada di segnalazione

KM1: Teleruttore

Il contattore **KM1** è composto principalmente da tre parti:

- **bobina;**
- **contatti ausiliari;**
- **contatti di potenza.**

Quando la bobina viene alimentata, il contattore si eccita provocando la commutazione sia dei contatti di potenza sia dei contatti ausiliari.

I **contatti di potenza**, chiudendosi, alimentano direttamente il motore portandogli tensione. I **contatti ausiliari**, invece, vengono utilizzati per i circuiti di comando e segnalazione, ad esempio per gestire le lampade luminose di stato.

Quando il motore è spento, la lampada **H5** risulta accesa perché alimentata tramite un contatto **NC (normalmente chiuso)**. Quando invece il motore entra in funzione e il contattore si eccita, il contatto NC si apre spegnendo H5, mentre il contatto **NO (normalmente aperto)** si chiude accendendo la lampada **H4**, segnalando così il funzionamento del motore.

La bobina quando viene eccitata tramite il pulsante NO

FUNZIONAMENTO DEL CIRCUITO

Il circuito di potenza alimenta il motore trifase **M1** tramite il magnetotermico **Q1** e i contatti di potenza del contattore **KM1**.

Premendo il pulsante di avvio **S3 (NO)**, la bobina del contattore **KM1** si eccita e si mantiene attiva tramite il contatto ausiliario di auto ritenuta **13-14**.

Quando **KM1** è eccitato, i contatti di potenza si chiudono alimentando il motore, mentre il contatto ausiliario **23-24 (NO)** accende la lampada **H4** segnalando il motore in funzione.

A motore fermo, il contatto **31-32 (NC)** mantiene accesa la lampada **H5**, che si spegne quando il contattore entra in funzione. Per disattivare la bobina del contattore è necessario premere il pulsante di stop **S4 (NC)**, riportando tutto l'impianto nella situazione iniziale.

6.2 AUTORITENUTA

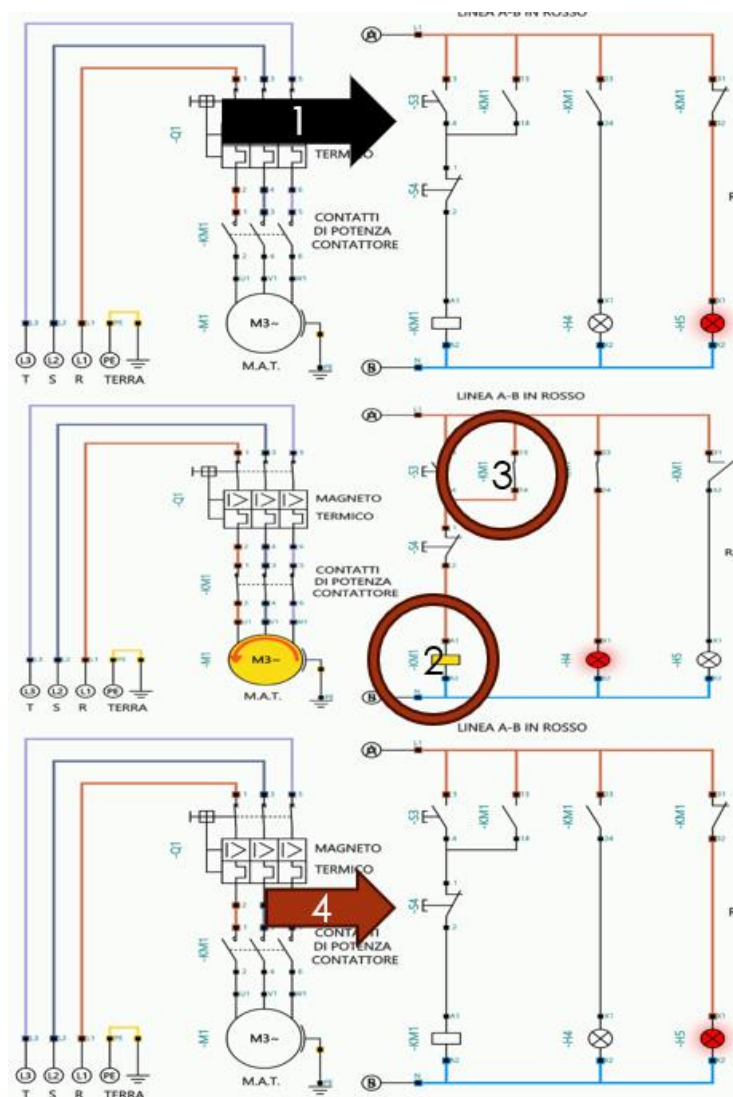
L'**autoritenuta** è fondamentale nei circuiti con **relè monostabili** perché questi dispositivi rimangono attivi solo finché la bobina è alimentata. Attraverso un contatto ausiliario NO del relè stesso, l'auto ritenuta permette di mantenere alimentata la bobina anche dopo il rilascio del pulsante START.

Dal punto di vista della sicurezza, questo sistema è molto importante perché:

- in caso di mancanza tensione il relè torna automaticamente nello stato di riposo;
- alla riaccensione della corrente la macchina non riparte da sola;
- è necessario un nuovo comando volontario dell'operatore.

In questo modo si evitano avviamenti accidentali e situazioni pericolose per persone e macchinari.

1. **Comando iniziale**
Premendo il pulsante START (NO), la bobina del relè viene alimentata.
2. **Eccitazione del relè**
La bobina si eccita e il contatto ausiliario NO associato al relè si chiude.
3. **Mantenimento (autoritenuta)**
Il contatto NO mantiene alimentata la bobina anche dopo il rilascio del pulsante START.
4. **Disattivazione**
Premendo il pulsante STOP (NC), il circuito si apre e il relè ritorna nello stato di riposo.



PARTE 7 – STRUMENTI DI MISURA

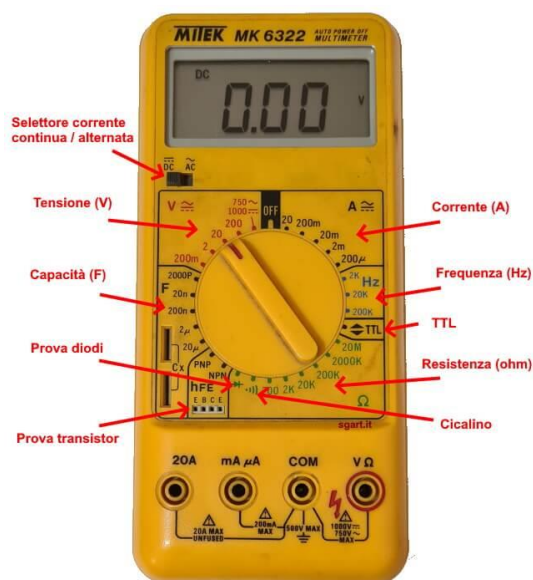
7.1 MULTIMETRO

Il tester o multimetro è uno strumento di misura, viene impiegato per effettuare misure elettriche ed è

fondamentale per un tecnico. Nel multimetro o tester digitale possiamo identificare questi componenti:

- **il display**, che serve per visualizzare la misura
- **il selettore**, utilizzato per selezionare la misura da effettuare
- **le boccole** di collegamento, dove si dovranno inserire i puntali per la misura

Con il multimetro possiamo effettuare misure di tensione continue, tensioni alternate, resistenze e misure di continuità. Si possono anche effettuare misure di correnti, continue e alternate, ma raramente si utilizza per queste misure. Si preferisce utilizzare la pinza amperometrica per le misure di corrente.

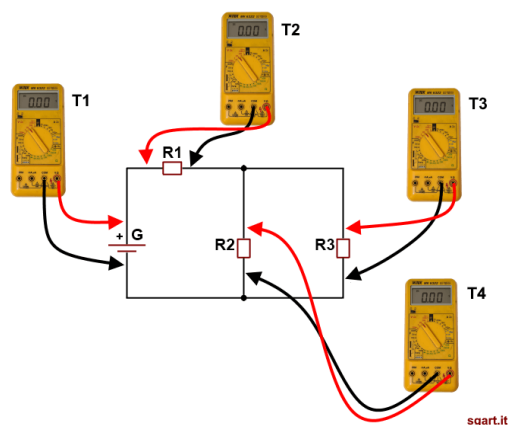


37

MISURA DI TENSIONE

Quando il selettore è posizionato su **V** posso effettuare misure elettriche in Volt in continua DC. La scala che devo scegliere sarà sempre superiore alla tensione da misurare. Esempio: se devo misurare una tensione di 12 Vdc devo selezionare la scala 20 Vdc. I puntali li posso applicare in parallelo all'alimentazione, oppure direttamente sul generatore.

Se devo misurare i 230 V alternati in una presa di corrente, dovrò posizionare il selettore sulla misura della tensione alternata AC, scegliendo la scala superiore ai 230 VAC. In questo caso scegliamo 600 VAC. La misura di tensione va effettuata "a caldo", cioè sotto tensione elettrica.

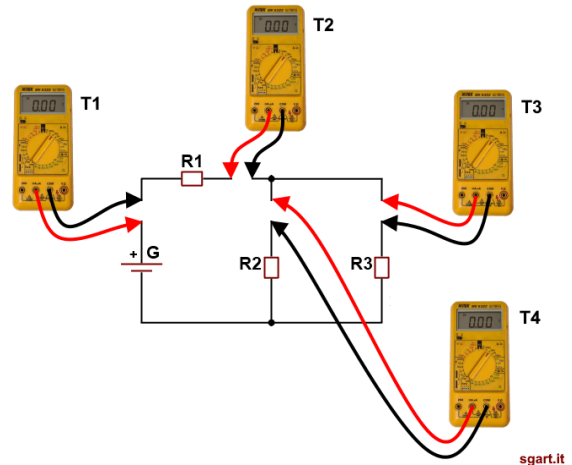


MISURA DI CORRENTE

L'**intensità di corrente** indicata con il simbolo **I** si misura in **Ampere** il cui simbolo è una **A**.

Per misurare la corrente è necessario collegare i **puntali** del tester in **SERIE** al circuito di cui si vuole ottenere la misura. In questo caso il collegamento è il seguente con i multimetri impostati come **amperometri**.

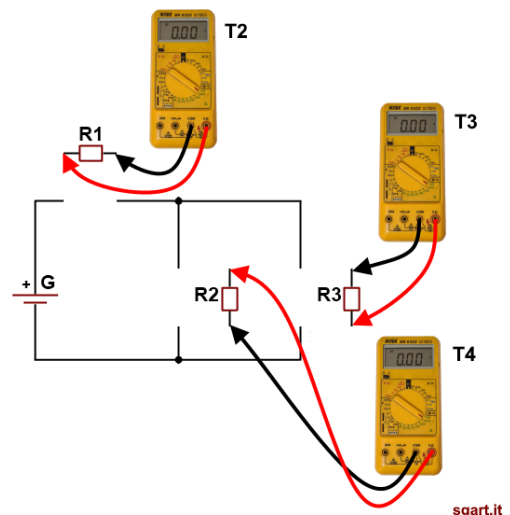
Anche questa misura deve essere effettuata a 'caldo'.



MISURA DI RESISTENZA

La **resistenza** di un componente indicata con il simbolo **R** si misura in **ohm** il cui simbolo è **Ω**. Questa misura va effettuata "a freddo", cioè con il circuito spento, senza tensione. Applicare tensioni ai puntali comporterebbe il danneggiamento del tester.

Esempio: se posiziono su 2K posso effettuare misure da 0 a 2000 ohm.



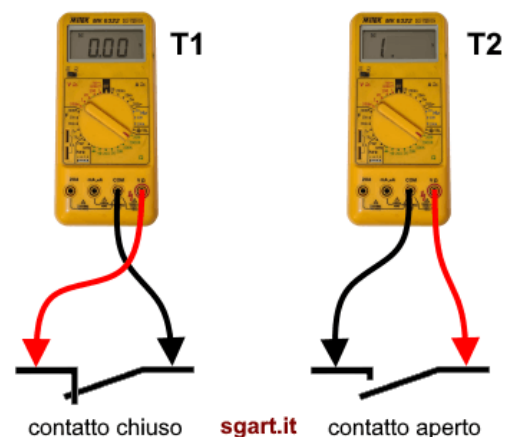
38

MISURA DI CONTINUITÀ'

Un'altra misura che si può effettuare è la **misura di continuità**. Questa misura viene effettuata per verificare l'integrità di un contatto oppure la continuità di un filo elettrico.

Poniamo i puntali sul contatto, se suona significa che il contatto è integro, se viene scritto sul display OL (open line) significa che non c'è continuità elettrica.

Se questa misura si effettua impostando l'ohmmetro, se un contatto è chiuso verrà visualizzato 0 (resistenza 0) se il contatto è aperto viene visualizzato 1.

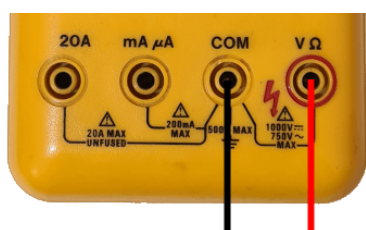


POSIZIONAMENTO DELLE BOCCOLE

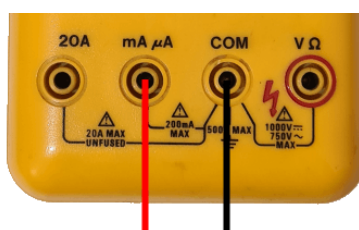
Solitamente nei tester più comuni si hanno 4 boccole:

- **COM** comune a tutte le misure (puntale nero)
- **V Ω** misura di tensione e resistenza (puntale rosso)
- **mA μ A** microA misura di correnti basse (puntale rosso)
- **20A** misura di correnti elevate fino a 20A (puntale rosso)

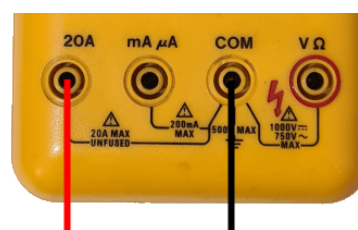
In tutti le misure si userà sempre la boccia COM, mentre l'altro puntale andrà messo nella boccia corrispondente alla misura che si sta effettuando.



Misure di
Tensione, Resistenza
Frequenza, Prova diodi e cicalino



Misura di
correnti minori di 200mA



Misura di
correnti maggiori di 200mA e minori di 20A

sgart.it

Ad esempio, per misurare una tensione continua di 5V, metterò il commutatore rotativo sul valore 20V, il selettore a 2 posizioni su DC e userò il puntale nero sulla boccia COM e quello rosso sulla boccia V Ω . Per misurare una corrente alternata di 100mA, metterò il commutatore rotativo sul valore 200mA, il selettore a 2 posizioni su AC e userò il puntale nero sulla boccia COM e quello rosso sulla boccia mA μ A. Se la misura è per una corrente superiore a 200mA, metterò il commutatore rotativo sul valore 20A, il selettore a 2 posizioni su AC (o DC) e userò il puntale nero sulla boccia COM e quello rosso sulla boccia 20A.

7.2 PINZA AMPEROMETRICA

La pinza amperometrica è molto utile quando si devono leggere valori di intensità di corrente molto elevati e quando non si può interrompere il circuito per effettuare la misura.

Infatti, la misura della corrente prevede l'interruzione del circuito per inserire, in serie, il tester. La pinza può essere aperta con un apposito tasto. **Per misurare l'intensità di corrente è necessario inserire nella pinza solo un cavo (fase).** Poi va selezionata la portata con il commutatore rotativo e scelto se operare in corrente continua o alternata tramite il pulsante select.

