

ELETTROTECNICA ELETTRONICA

Tecnologia di base per i
Sistemi di Automazione

Contenuti

- Introduzione all'automazione
- Elettrotecnica
- Elettronica

Introduzione all'automazione

- Automazione: concetti di base
- Sistema di comando

Automazione

- *“Complesso di tecniche dirette ad azionare macchine con altre macchine”*
- Dalla *“Meccanizzazione”* ossia dall’impiego di macchine azionate dall’uomo , si passa all’azionamento automatico delle macchine, senza l’intervento dell’uomo
- L’Automazione si occupa di tutti i problemi inerenti il controllo attivo di un processo
- Per processo s’intende l’evoluzione nel tempo di un sistema fisico



I processi continui

Si può definire «processo produttivo» l'interazione di un insieme di mezzi avente per scopo l'ottenimento di un determinato prodotto.

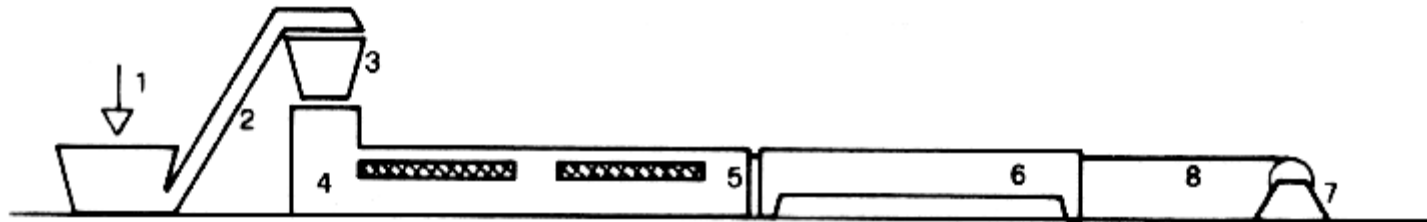
Il termine «mezzi» è utilizzato per indicare i fattori produttivi ovvero i materiali, l'energia, le macchine, gli impianti e il personale.

I processi industriali si possono classificare in:

- Continui
- Semicontinui
- discontinui

Nei processi continui la materia prima viene trasformata direttamente in prodotto finito per mezzo di un sistema continuamente in funzione.

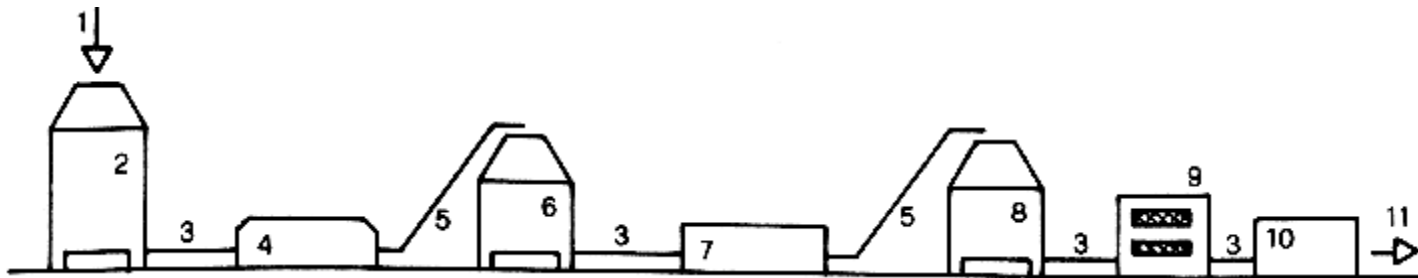
Tra i numerosi casi citiamo ad esempio la produzione di energia elettrica, l'industria chimica e quella petrolifera; il caso schematizzato in figura si riferisce ad un impianto di produzione di tubo in PVC.



I processi semicontinui

I processi semicontinui, tipici dell'industria alimentare, di quella siderurgica, dei cementifici, ecc., sono caratterizzati da una successione di singole operazioni su un insieme di pezzi uguali (lotto in lavorazione).

Nella figura è descritto il flusso delle lavorazioni in uno stabilimento per la produzione di nocciole tostate.

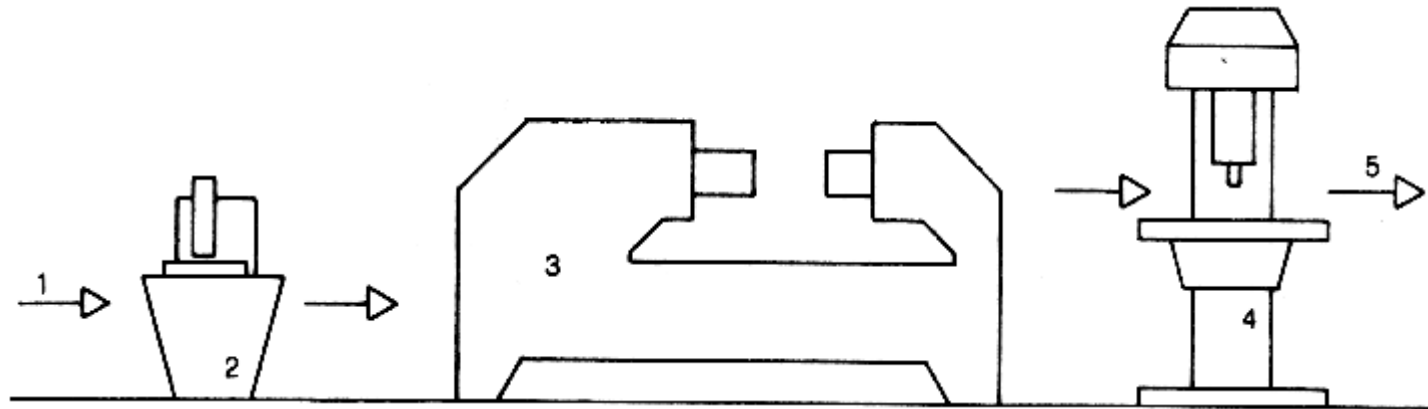


I processi discontinui

I processi discontinui sono caratteristici dell'industria manifatturiera; in essi vengono effettuate singole operazioni su un pezzo per volta; possono essere a singola linea o a più linee convergenti.

Nel primo caso un pezzo passa da una stazione a quella successiva e così via, subendo una lavorazione in ciascuna di esse.

Appartengono a questa tipologia le aziende costruttrici di particolari meccanici come ad esempio quella in cui vengono prodotte flange.

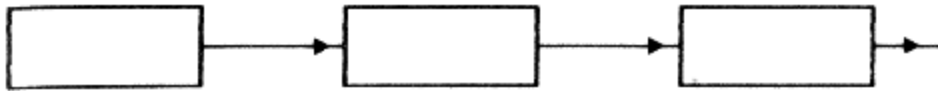




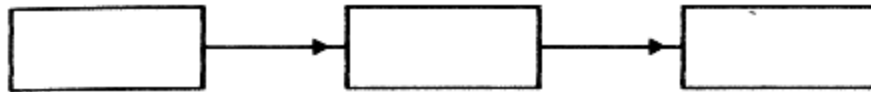
Processi discontinui a più linee

Processi discontinui a più linee convergenti sono quelli relativi a manufatti complessi. che richiedono la costruzione separata di più parti che vengono poi assemblate tra loro per formare il prodotto finito. Tra le innumerevoli industrie di questo tipo citiamo ad esempio l'industria automobilistica, quella degli elettrodomestici, la costruzione di macchine di qualsiasi tipo ecc...

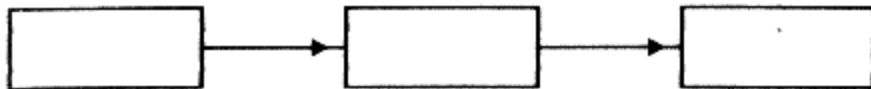
Linea costruzione pezzo 1



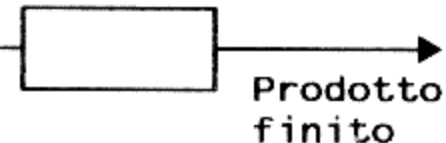
Linea costruzione pezzo 2



Linea costruzione pezzo N



Montaggio



La figura illustra un generico processo a più linee convergenti.

Il controllo di processo

Essendo lo scopo principale di un processo l'ottenimento di un prodotto avente determinate caratteristiche, chi lo progetta e chi lo gestisce deve fare in modo che esso possa essere opportunamente controllato.

Possiamo allora definire «CONTROLLO DI PROCESSO» l'interazione di un insieme di mezzi avente lo scopo di far evolvere il processo come previsto in base alle specifiche del prodotto da ottenere.

Tale controllo può essere effettuato secondo diversi livelli gerarchici quali:

- **singola macchina,**
- **insieme di macchine,**
- **reparto di produzione,**
- **insieme di reparti.**

Sia il processo che il controllo di processo possono essere effettuati in due modi profondamente diversi:

- **Manuale**
- **Automatico**

Soprattutto in questi ultimi anni le industrie hanno privilegiato il ricorso a processi automatici nei quali un numero sempre maggiore di operazioni viene effettuato da macchine che sostituiscono il lavoro umano.

PER «AUTOMAZIONE» SI DEVE PERTANTO INTENDERE L'INTERAZIONE DI UN INSIEME DI MEZZI CHE CONSENTE DI EVITARE ATTIVITÀ MANUALI SIA PER QUANTO RIGUARDA LE SINGOLE FASI CHE PER QUANTO RIGUARDA IL CONTROLLO DEI PROCESSI.

Caratteristiche dell'Automazione

All'origine della spinta all'automazione ci sono necessità di carattere sia economico che sociale:

- aumentare la produttività;
- diminuire i costi di produzione;
- migliorare la qualità;
- produrre con maggiore flessibilità ovvero poter più facilmente rispondere alle esigenze di mercato;
- sollevare l'uomo da lavori pericolosi, pesanti, noiosi e ripetitivi.

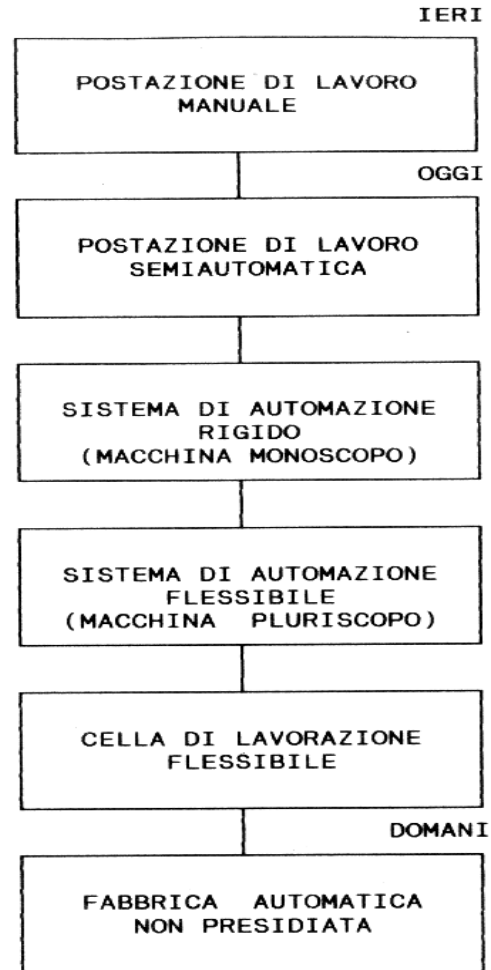
Una delle caratteristiche principali dell'automazione è la sua natura interdisciplinare; essa coinvolge infatti almeno le seguenti specializzazioni:

- pneumatica,
- oleodinamica,
- meccanica,
- elettrotecnica.
- elettronica,
- informatica

L'ormai indissolubile intreccio di queste materie nella pratica dell'automazione ha fatto sì che maturasse nei tecnici la necessità di una nuova cultura «meccatronica».



Ciclo evolutivo dell'automazione



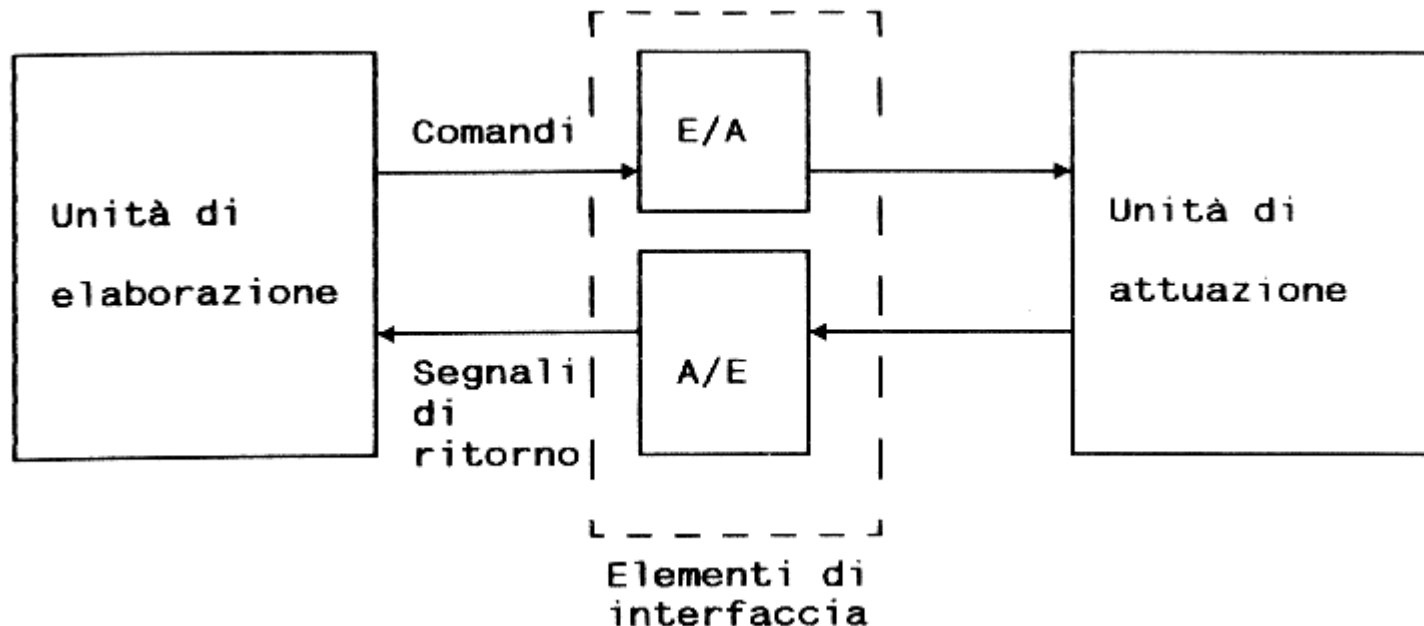
Comando automatico

L'automazione di processo viene realizzata con un insieme di apparecchiature cui si dà il nome di «sistema di comando» o «comando automatico».

Nella prima fase si ha un prelievo di informazioni sull'andamento del processo, grazie ad opportuni dispositivi genericamente indicati con il nome di «sensori» per il cui studio, data la vastità dell'argomento, rimandiamo a testi specializzati.

La fase successiva è quella che avviene nel cervello del sistema di comando e consiste nell'elaborazione delle informazioni ricevute (calcoli matematici calcoli logici. decisione delle azioni da comandare).

La terza fase consiste nell'invio dei risultati dell'elaborazione agli organi attuatori i quali eseguono, a conclusione del ciclo, le istruzioni ricevute.



Sistema di comando «ad anello chiuso»

Un sistema di comando come quello appena descritto, si dice «ad anello chiuso», intendendo con tale definizione che esiste un ritorno di informazioni tra l'attuatore e l'unità di governo.

Questo concetto, nel linguaggio tecnico, si esprime con il termine «retroazione» oppure con la corrispondente parola inglese «feed-back».

Si può anche osservare che un comando automatico è suddiviso in tre parti funzionali:

- **blocco d'elaborazione,**
- **blocco d'attuazione,**
- **blocco d'interfaccia**

Gli elementi d'interfaccia sono quelli che consentono lo scambio delle informazioni tra gli altri due blocchi.

Blocco di potenza

I segnali on-off possono assumere due soli stati (interruttore aperto o chiuso, pressione presente o assente ecc..).

I segnali analogici sono variabili con continuità tra due valori limite (tensione variabile da 0 a 15 V, pressione variabile tra 2 e 6 bar, ecc..).

I segnali digitali non variano con continuità, ma in modo discreto, con intervalli di variazione uguali tra loro (tensione pari a 5, 10, 15 V, pressione pari a 2, 4, 6 bar, ecc..).

Con un paragone suggestivo possiamo affermare che:

- gli elementi del blocco di potenza costituiscono i muscoli del sistema, ad essi è infatti devoluto il compito di realizzare le spinte ed i movimenti necessari a far funzionare gli automatismi;
- Gli elementi di comando inviano gli opportuni stimoli ai muscoli, determinando l'evoluzione dei movimenti ovvero il ciclo di lavoro del sistema.

Il gruppo di potenza può essere realizzato con le seguenti tecnologie:

- elettrica,
- pneumatica,
- oleodinamica

Nel primo caso esso è costituito da uno o più motori elettrici azionati da contattori.

Nel secondo e nel terzo caso il gruppo di potenza comprende rispettivamente attuatori pneumatici o attuatori oleodinamici ciascuno con il relativo distributore d'azionamento.

I sistemi con attuazione elettrica possono essere comandati mediante:

- contattori elettromeccanici (relè),
- controllori logici programmabili (PLC)
- microprocessori.

Unità di elaborazione o di comando

Nella pratica corrente è in uso considerare i comandi automatici come costituiti dalle sole due parti:

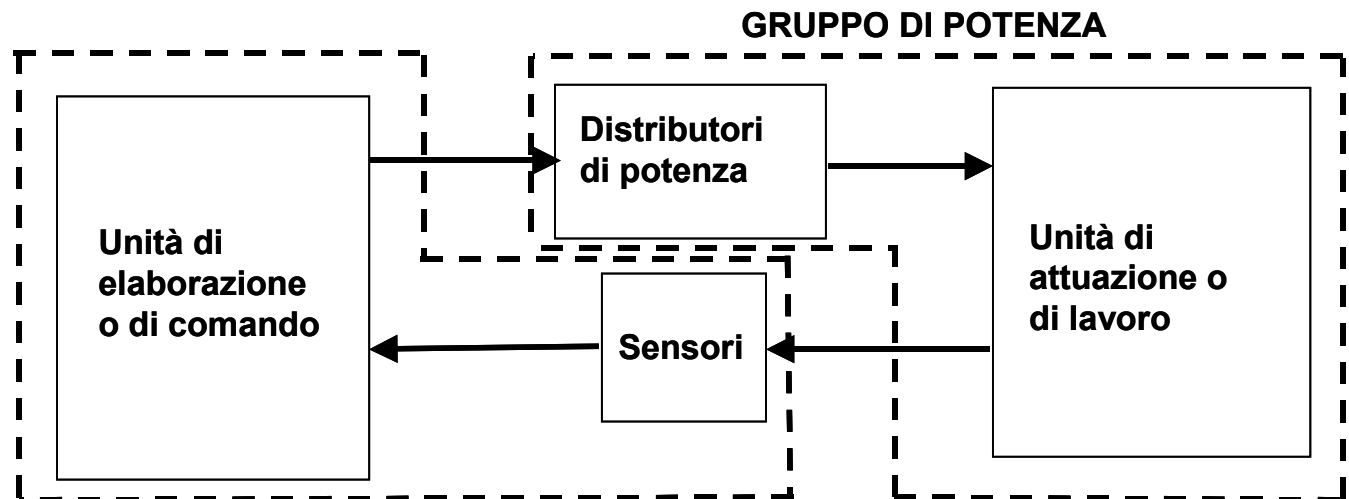
- gruppo di potenza,
- gruppo di comando.

Questa suddivisione deriva da quella precedente, infatti l'interfaccia elaborazione/attuazione, cui è affidato il compito di trasmettere i segnali di comando dall'unità d'elaborazione agli attuatori, viene abbinata a questi ultimi per costituire il blocco di potenza.

L'interfaccia attuazione/elaborazione, che esegue la retroazione, viene affiancata all'unità d'elaborazione nel blocco di comando.

Le informazioni vengono scambiate tra sensori, unità di governo ed attuatori, sotto forma di «segnali» di diverso tipo:

- on-off,
- analogici,
- digitali.



Componenti del comando

La retroazione è affidata in tal caso a sensori e trasduttori di tipo elettrico ed elettronico quali:

- microinterruttori;
- sensori di prossimità di vario tipo;
- encoders (rilevatori di posizione di un albero rotante);
- dinamo tachimetriche (rilevatori di velocità).

I sistemi con blocco di potenza pneumatico o oleodinamico possono essere:

- interamente pneumatici,
- interamente oleodinamici,
- elettropneumatici,
- elettroleodinamici.

Il blocco di comando è di tipo pneumatico nei primi e oleodinamico nei secondi.

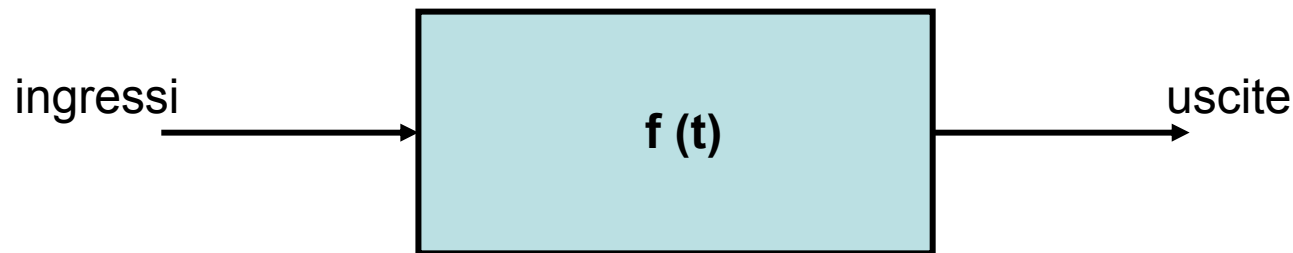
Gli altri due sistemi possono essere a comando:

- elettrico (relè),
- elettronico (PLC, microprocessori).

Nel primo caso sono detti «a logica cablata», nel secondo «a logica programmabile».

Sistemi a logica continua

- Il controllo viene effettuato su grandezze fisiche che evolvono nel tempo



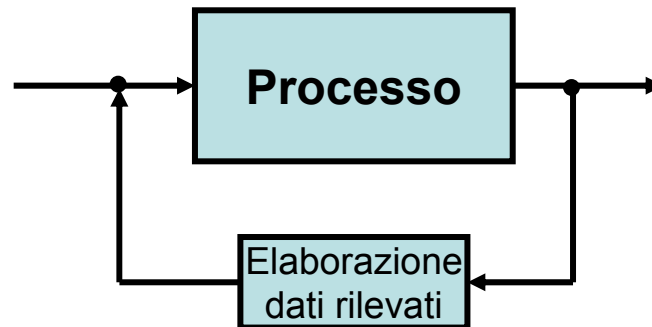
- Fissato un ingresso è univocamente fissata l'uscita, ma non viceversa

Sistemi a logica discreta

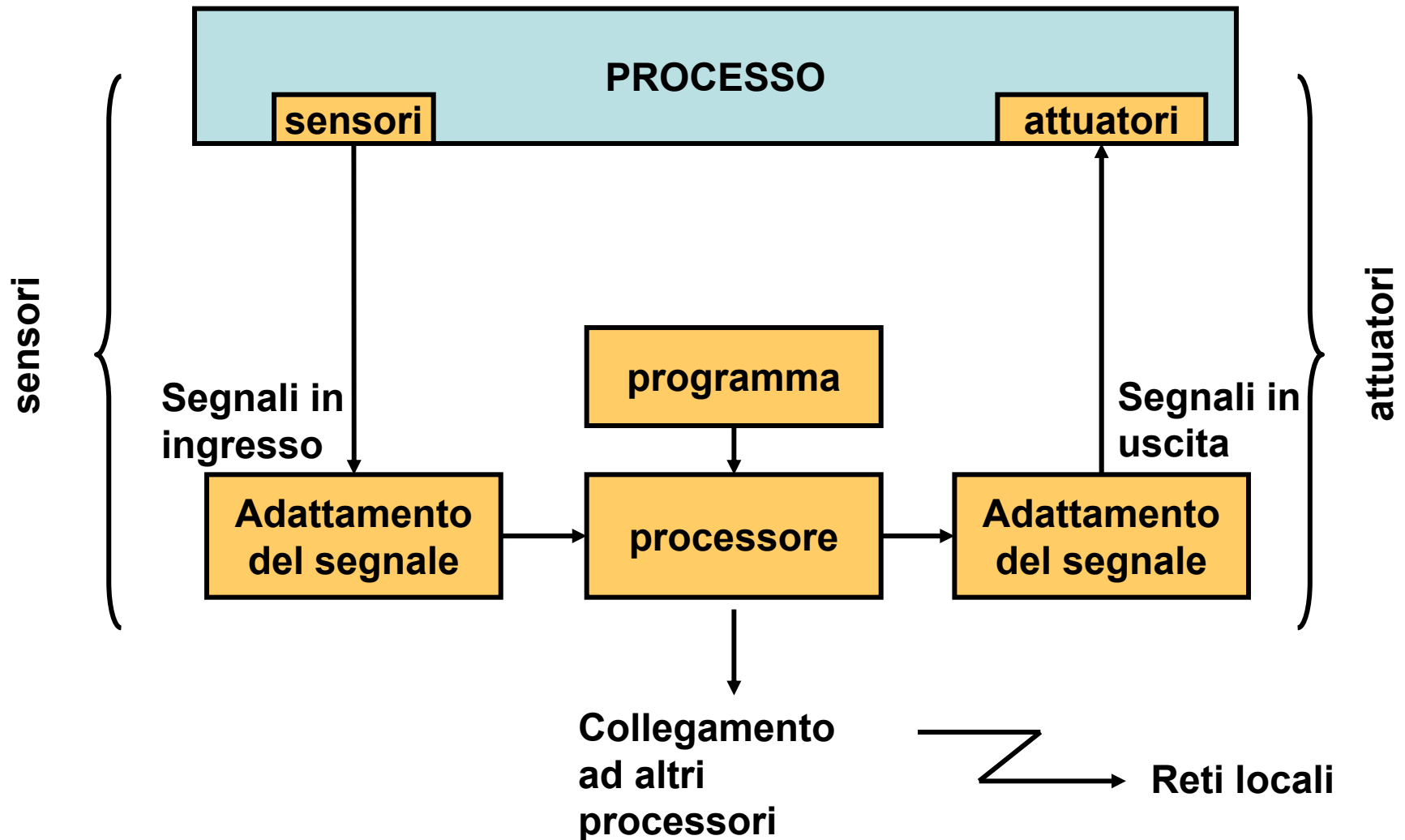
- Gli ingressi e le uscite sono considerati ad istanti discreti nel tempo e il controllo viene effettuato a dati campionati
 - Logica digitale
 - Comando on / off
- Sistemi di automazione industriale
 - Calcolatore
 - PLC

Sistema di comando di un processo industriale

- Misurazione e mantenimento di grandezze fisiche ad un determinato valore
- Controllo dello svolgimento del processo
 - Rilevamento dello stato e dei dati del processo
 - Elaborazione dei dati rilevati
 - Intervento sul processo in base all'elaborazione effettuata



Elementi del sistema di controllo di un processo



Elementi di controllo del Processo

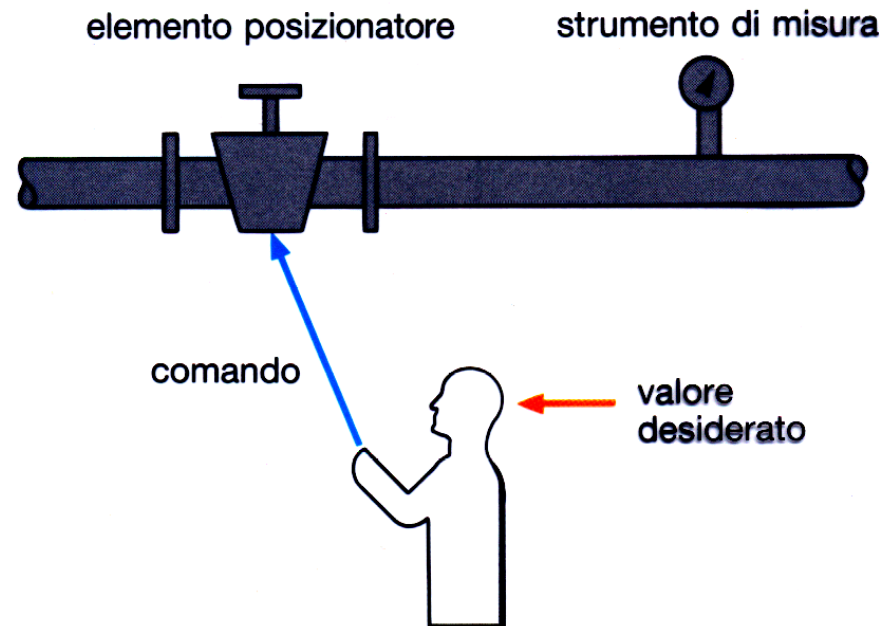
- Sensori
 - Rilevamento (misurazione) dello stato del Processo e generazione dei segnali di processo (segnali d'ingresso)
- Adattamento dei segnali
 - I segnali di Processo vengono adattati al Processore (conversione analogico-digitale)
- Processore
 - Elaborazione dei segnali di Processo e generazione di segnali per gli attuatori
- Programma
 - Istruzioni di elaborazione dati per il Processore
- Adattamento dei segnali
 - I segnali prodotti dal processore vengono adattati agli attuatori (segnali di uscita)
- Attuatori
 - Esecuzione del comando di controllo del Processo
- Reti locali
 - Collegamenti tra diversi processori in sistemi estesi

Comando

- Il comando è ciò che avviene in un sistema nel quale una o più grandezze di ingresso influenzano altre grandezze d'uscita in base alle leggi fisiche intrinseche del sistema considerato
- La caratteristica del comando è il fatto che lo svolgimento dell'azione, cioè la catena di comando è aperta

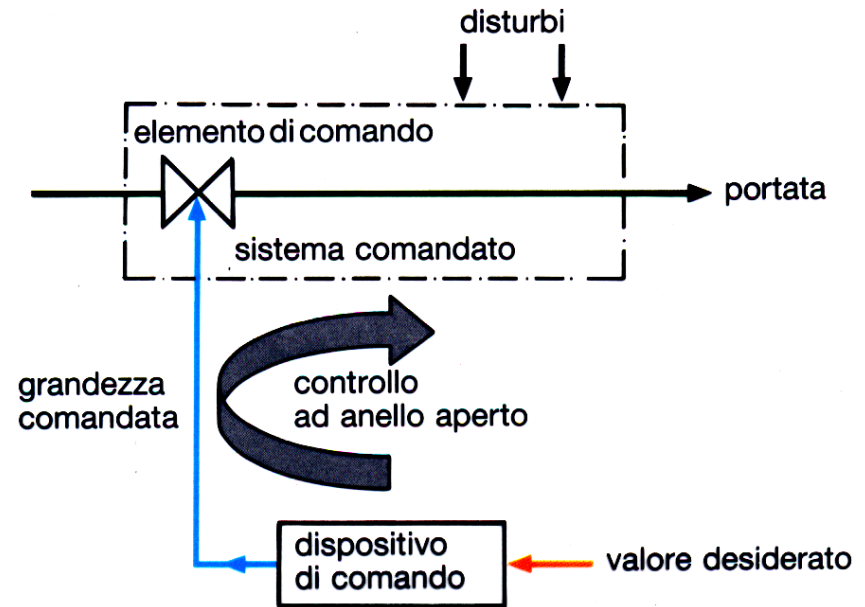
Comando manuale di una portata

- La quantità di una determinata sostanza che nell'unità di tempo fluisce attraverso una tubazione (portata) può essere variata mediante una valvola (elemento posizionario) e rilevata con uno strumento di misura
- Per una data posizione della valvola la portata può comunque variare a causa di disturbi (variazioni di pressione, prelevamenti irregolari) senza che ciò venga rilevato



Sistema di comando per il controllo della portata ad anello aperto

- Se il valore effettivo (portata istantanea) ed il valore desiderato (valore di riferimento) sono diversi l'uno dall'altro, il sistema non può correggersi automaticamente
- Una correzione può avvenire solo tramite intervento dall'esterno, mediante riposizionamento della valvola
- Per questo motivo si parla di un circuito ad anello aperto, come qui rappresentato schematicamente



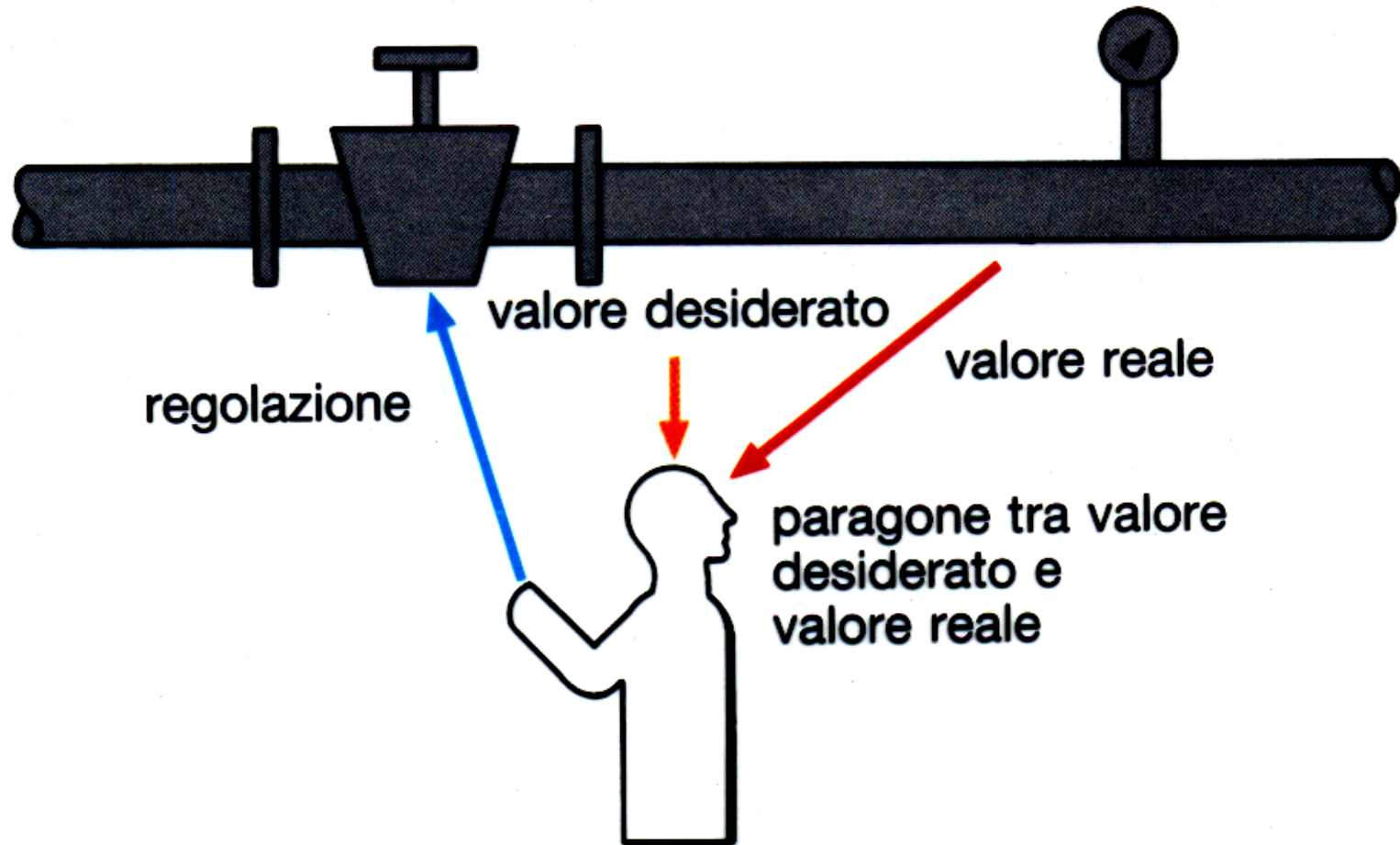
Regolazione

- La regolazione è un processo durante il quale la grandezza da controllare viene costantemente rilevata, confrontata con un'altra grandezza, quella di riferimento, e, in base all'esito di questo confronto, modificata fino a raggiungere il valore della grandezza di riferimento
- Lo svolgimento delle azioni che ne derivano viene effettuato in un circuito chiuso chiamato anello di regolazione

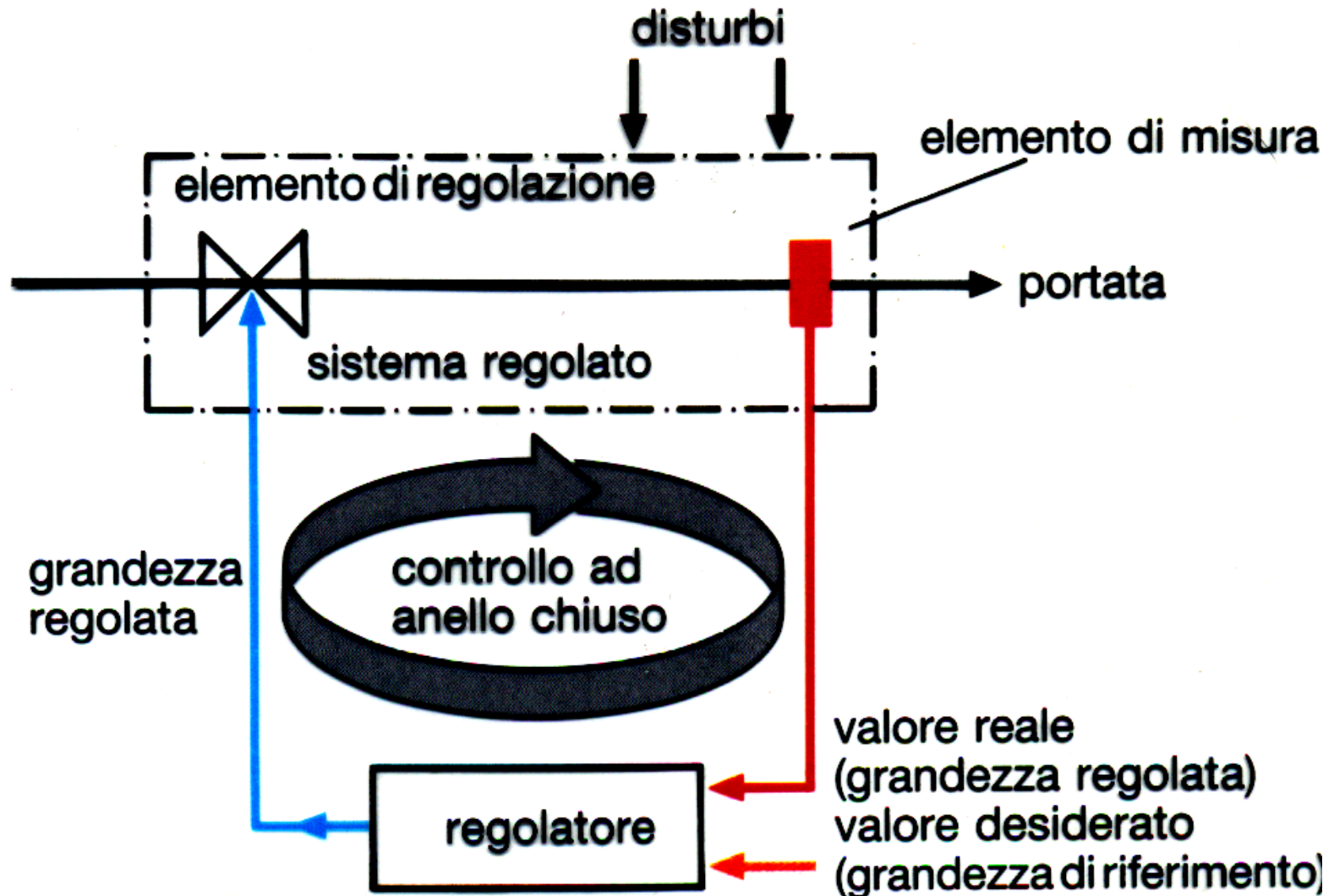
Regolazione manuale di una portata

- Se a causa di disturbi si producono indesiderate variazioni del valore registrato in uscita, questo valore effettivo deve essere regolato, ed i disturbi devono, se necessario, essere eliminati mediante compensazione della valvola
- In caso di differenza tra valore effettivo e valore desiderato diventa indispensabile una regolazione correttiva
- In questo modo si ottiene la regolazione del processo dove l'anello di regolazione risulta essere chiuso
- Se le attività di misurazione, confronto e compensazione vengono svolte dall'uomo, si tratta di una regolazione manuale
- Se invece vengono svolte da un dispositivo, si parla di regolazione automatica

Regolazione manuale di una portata

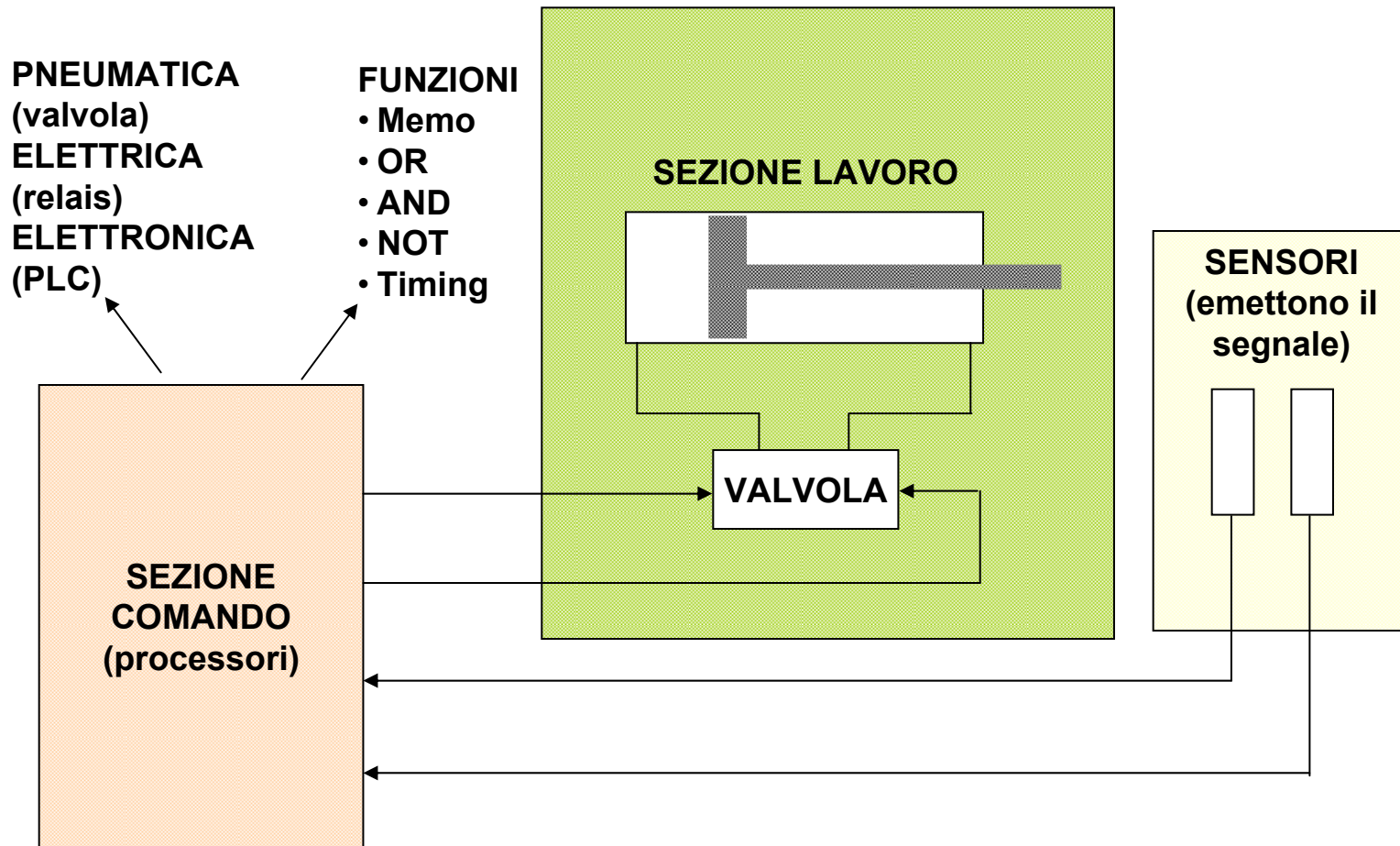


Sistema di regolazione per il controllo ad anello chiuso della portata



Elettrotecnica

SCHEMA DI UN CIRCUITO DI AUTOMAZIONE



La struttura della materia

I materiali (nel nostro caso i metalli) sono composti di elementi base che si chiamano atomi, gli atomi sono a loro volta composti da altre parti più complesse quali gli elettroni, i protoni, ed i neutroni. Questi tre elementi stanno all'interno dell'atomo e più precisamente protoni e neutroni compongono il nucleo, mentre gli elettroni orbitano attorno al nucleo a distanze diverse dal centro.

Questi elementi possiedono una carica elettrica, e ogni elettrone o protone costituisce una carica fondamentale. Gli elettroni hanno carica negativa, i protoni hanno carica positiva.

Ioni

Gli atomi che hanno un numero diverso di elettroni e protoni si chiamano ioni, più precisamente se è maggiore il numero di elettroni avremo allora uno ione negativo (maggiore carica negativa), se è maggiore il numero di protoni avremo uno ione positivo (maggiore carica positiva).

Cariche elettriche

Le cariche elettriche sono corpi costituiti da atomi che hanno ceduto o acquistato un certo numero di elettroni.

La carica di un elemento è data dalla somma algebrica delle singole cariche fondamentali e costituisce la **quantità di carica** (simbolo **Q**). Come tutte le grandezze fisiche, la quantità di carica ha un unità di misura che è il **Coulomb** (simbolo **C**) che vale circa $6,24 * 10^{18}$ elettroni, quindi

la carica di un elettrone è pari a $1,602 * 10^{-19}$ C.

La forza di attrazione o repulsione tra due cariche è direttamente proporzionale al prodotto delle quantità di carica, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza delle cariche e dipende dalla natura del mezzo.

$$F = e * \frac{Q1 * Q2}{d^2}$$

F = forza in newton

e = costante dielettrica del mezzo (per il vuoto vale $8,854 * 10E^{-12}$ F/m)

Q1, Q2 = cariche elettriche in coulomb

d = distanza in metri

Corrente Elettrica

Le cariche elettriche grazie alla forza di attrazione e repulsione hanno la capacità di muoversi nei corpi, ed in special modo nei metalli (conduttori), in realtà non sono gli elettroni che si spostano per tutto il tragitto, essi si urtano l'uno con l'altro scambiandosi l'energia senza doversi spostare eccessivamente.

Lo spostamento di cariche che avviene in un determinato lasso di tempo, viene denominato circolazione di *corrente elettrica* (simbolo I), che si misura in *Ampere* (pronuncia amper, simbolo A). Possiamo quindi scrivere che:

$$I = \frac{Q}{t}$$

I = corrente elettrica in ampere

Q = quantità di carica in coulomb

t = tempo in secondi

Potenziale elettrico

Quando in un circuito elettrico c'è circolazione di corrente, significa che ai suoi capi ci sono dei corpi con carica elettrica diversa.

L'energia potenziale utile a spostare una carica, è direttamente proporzionale al prodotto della quantità di carica da spostare per il potenziale elettrico.

Possiamo quindi affermare che *l'energia potenziale* (simbolo W), è la quantità di energia utile per muovere una carica Q al potenziale V .

$$W = Q * V$$

W = energia potenziale in joule

Q = quantità di carica elettrica in coulomb

V = potenziale elettrico in volt

Il potenziale elettrico è quindi il rapporto tra l'energia potenziale accumulata in una carica diviso la carica stessa.

$$V = \frac{W}{Q}$$

W = energia potenziale in joule

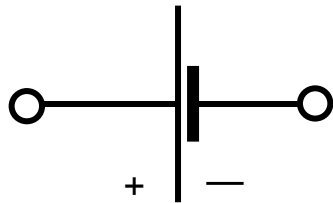
Q = quantità di carica elettrica in coulomb

V = potenziale elettrico in volt

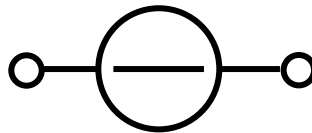


Generatore di Tensione e Corrente

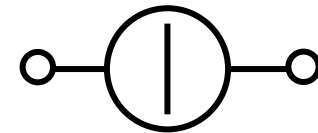
- Il potenziale elettrico, è stato studiato da Alessandro Volta, dal quale si è ricavata l'unità di misura *Volt* (simbolo V)
- Sovente il potenziale elettrico viene denominato *tensione elettrica*
- Per mantenere una d.d.p. costante tra due poli di un circuito è necessario utilizzare un *generatore di tensione*, il quale ha la capacità di mantenere una d.d.p. sempre costante ai capi
- Si parla di *generatore di corrente* quando la corrente che circola tra i due morsetti è costante



**Accumulatore
(batteria)**



**Simbolo del
generatore di
tensione**



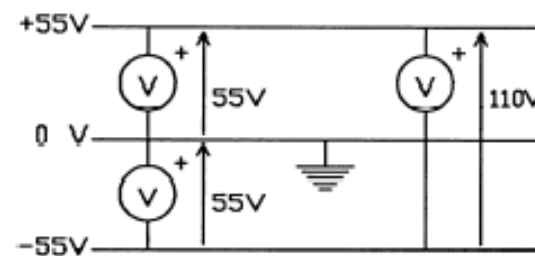
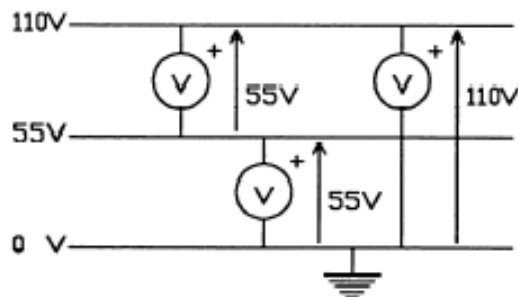
**Simbolo del
generatore di
corrente**

Generazione di Tensione e Corrente

- Le tensioni vengono generate con procedimenti diversi
Alcuni esempi:
 - movimento di bobine in un campo magnetico:
 - E' il caso della dinamo, dell'alternatore, del microfono etc.
 - variando la pressione o la trazione di cristalli (es. quarzo):
 - E' il caso dei generatori piezoelettrici usati per l'accensione dei bruciatori a gas;
 - riscaldamento del punto di giunzione di due metalli diversi; si ottiene una tensione di alcuni millivolt:
 - E' il caso della termocoppia utilizzata per misure di temperatura;
 - processi chimici:
 - E' il caso delle batterie o accumulatori

Rappresentazione circuitale

- Le frecce indicano la direzione della tensione, dal potenziale più basso (-) al potenziale più alto (+)
- Le misure si effettuano anche tra i punti che hanno una tensione definita rispetto alla massa, ad es. Tra punti a potenziale 150V e 60V rispetto a massa. In questo caso lo strumento indica appunto la differenza tra tali potenziali ($150V - 60V = 90V$);
- In ogni caso il morsetto del voltmetro contrassegnato con + è sempre collegato al punto a potenziale più alto.

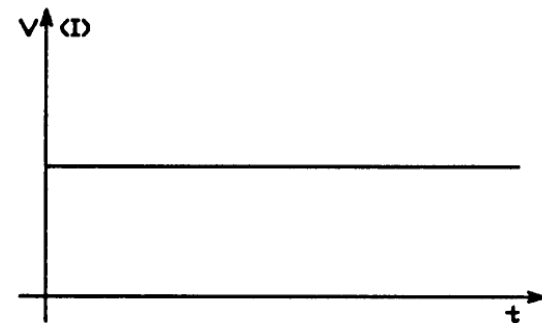


Il punto di riferimento può essere anche spostato. In questo caso cambiano i valori del potenziale, ma le d.d.p. (tra gli stessi punti) restano le stesse.

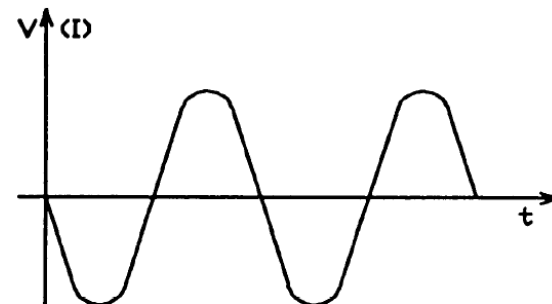
Tipi di tensione

**I generatori di tensione possono produrre tensione continua o alternata
Il termine continua/alternata ha significato con riferimento ai valori
assunti dalla tensione al variare del tempo**

Tensione continua: Mantiene il suo valore costante nel tempo.
E' il caso della tensione generata da una dinamo, da batterie, dagli alimentatori regolati e stabilizzati che convertono alternata in continua.

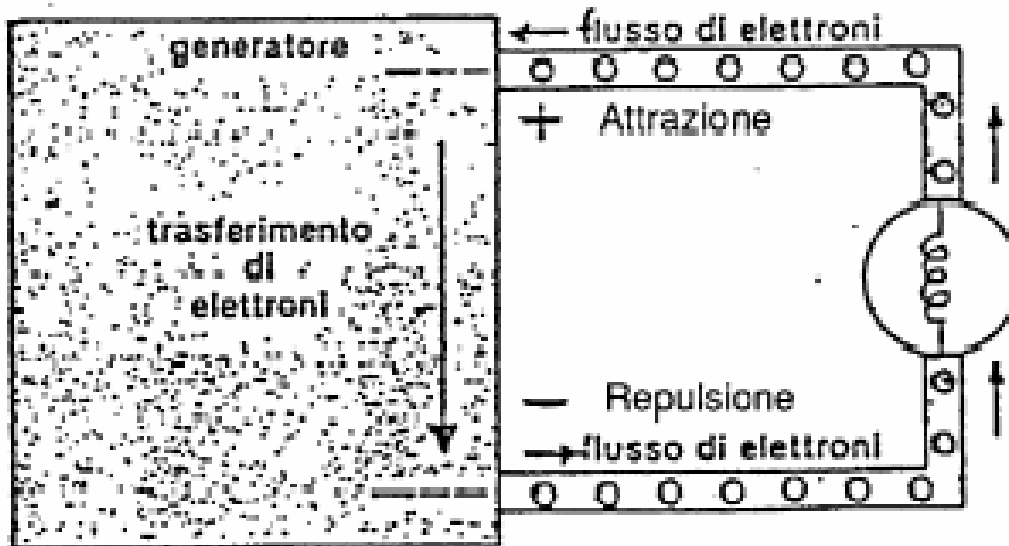


Tensione alternata: Cambia la polarità in modo periodico alternativo. E' il caso della tensione generata dagli alternatori delle centrali elettriche e fornite dalla rete pubblica alle abitazione ed agli impianti industriali



Corrente elettrica

- Si colleghi un generatore di tensione ad un utilizzatore:
- Tenendo conto delle forze che agiscono sugli elettroni, gli stessi acquistano un movimento dal polo - al polo + del generatore nel circuito esterno ed un trasferimento di elettroni dal polo + al polo- all'interno del generatore stesso
- Il verso dello spostamento degli elettroni può essere spiegato tenendo conto che:
 - cariche dello stesso segno si respingono
 - cariche di segno opposto si attirano
- Al flusso ordinato degli elettroni è associato un movimento di cariche in una determinata direzione, quindi di una *corrente elettrica*



Poichè tale movimento di cariche può avere luogo solo se è presente una tensione, si può concludere che tensione e corrente sono tra loro in rapporto di causa ed effetto;
TENSIONE > produce > CORRENTE
(Causa) (Effetto)

Misura della corrente

- La direzione convenzionale della corrente è opposta a quella degli elettroni
- Pertanto la direzione convenzionale della corrente va dal morsetto + al morsetto - nel circuito esterno (utilizzatore) e dal morsetto - al morsetto + all'interno del generatore
 - Per quanto riguarda l'utilizzatore si dice che la corrente ha direzione dal morsetto a potenziale più alto verso quello a potenziale più basso
- L'intensità di corrente è la quantità di carica che attraversa la sezione di un conduttore in un secondo
- Il simbolo della corrente è I , l'unità di misura è l'AMPERE (A).
- Dato che la tensione è la causa della corrente, se in un circuito c'è una tensione continua, avremo una corrente continua: il movimento delle cariche avviene solo in una direzione
- Se in un circuito c'è tensione alternata, anche la corrente sarà alternata: la corrente alternata cambia periodicamente la sua direzione.

Circuito elettrico (legge di Ohm)

Un circuito elettrico è formato da:

- Generatore di tensione
- Conduttore di collegamento
- Utilizzatore

Nel generatore di tensione si ha una trasformazione di energia di natura diversa (meccanica, chimica etc.) in energia elettrica.

Nell'utilizzatore l'energia elettrica viene trasformata nella forma di energia desiderata (es. meccanica: è il caso del motore elettrico; termica etc.) quindi l'utilizzatore è, in pratica, un CONVERTITORE

Il movimento degli elettroni è ostacolato dagli urti con gli ioni atomici che fanno parte della struttura del conduttore. Questo ostacolo al flusso degli elettroni viene quantificato con una grandezza denominata RESISTENZA ELETTRICA misurata in OHM.

Le tre grandezze (V-I-R) sono legate fra loro dalla dipendenza dell'intensità di corrente

1 - dalla tensione, a resistenza costante

2 - dalla resistenza, a tensione costante

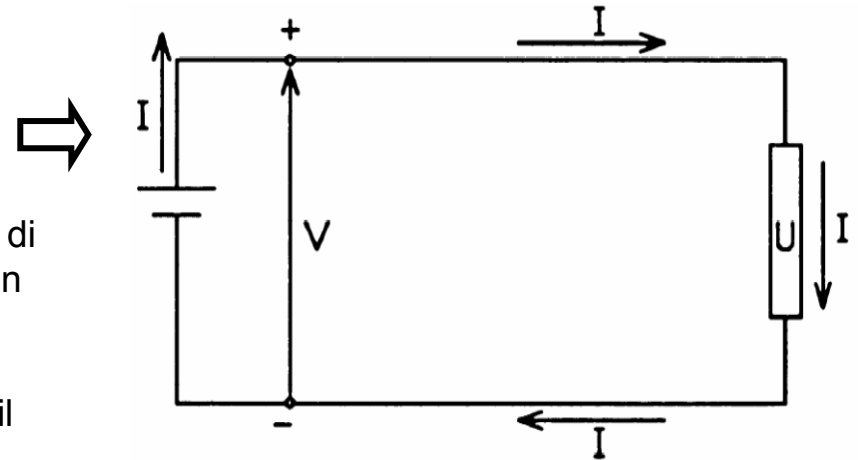
La legge di Ohm precisa che l'intensità di corrente I è direttamente proporzionale alla tensione V e inversamente proporzionale alla resistenza R .

Le relazioni possibili sono le seguenti:

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

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

$$V = R \times I$$



Il parallelo con l'Idraulica

Il salto di pressione in una condotta è proporzionale alla portata di fluido che vi scorre, così come la differenza di potenziale tra due punti di un conduttore è proporzionale alla corrente che vi passa

$$\Delta P \equiv Q$$

$$\Delta V \equiv I$$

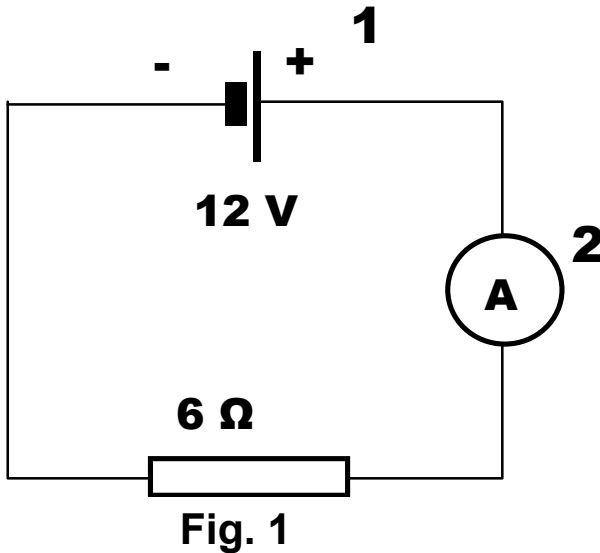
Multipli e sottomultipli di uso più frequente

Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	10E12	T	1000000000000
Giga	10E9	G	1000000000
Mega	10E6	M	1000000
kilo	10E3	k	1000
etto	10E2	h	100
deca	10E1	da	10
unità	10E0		1
deci	10E-1	d	0.1
centi	10E-2	c	0.01
milli	10E-3	m	0.001
micro	10E-6	μ	0.000001
nano	10E-9	n	0.000000001
pico	10E-12	p	0.000000000001

Sistema Metrico

Grandezza	Unità primaria	Unità normalmente usate
Corrente(I)	Ampere(A)	Milliampere (mA) = 10^{-3} Amp Microampere (μ A) = 10^{-6} Amp Nanoampere(nA) = 10^{-9} Amp
Tensione(V)	Volt (V)	MilliVolt (mV) = 10^{-3} Volt MicroVolt (μ V) = 10^{-6} Volt
Resistenza(R)	Ohm (Ω)	Kiloohm ($k\Omega$) = 10^3 Ohm Megaohm ($M\Omega$) = 10^6 Ohm

Applicazione della Legge di Ohm



$$I = V / R = 12 / 6 = \\ = 2 \text{ Ampere}$$

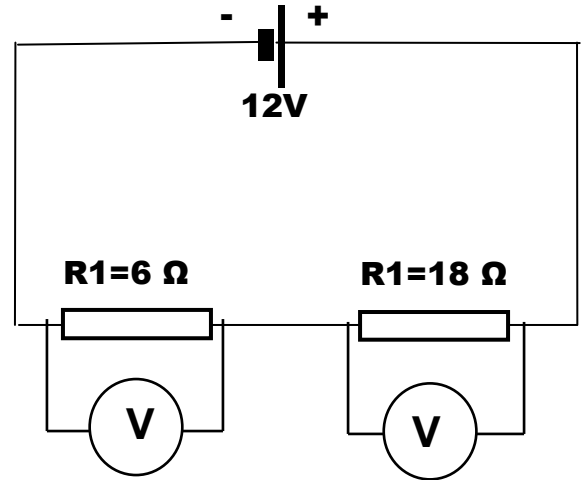
1. rappresenta una batteria a 12 V con l'indicazione del polo positivo e negativo
2. rappresenta un amperometro, cioè uno strumento per misurare la corrente (analogo ad un misuratore di portata) e che presumibilmente ha resistenza zero
3. rappresenta un resistore avente la resistenza uguale a 6 Ohm

Voltmetro

Per calcolare la caduta di tensione che si verifica tra i capi di ciascuna resistenza si può usare ancora la legge di Ohm nella seguente forma: $\rightarrow V = I \times R$

Pertanto: $\rightarrow V1 = I \times R1 = 0,5 \times 6 = 3 \text{ V}$

e: $\rightarrow V2 = I \times R2 = 0,5 \times 18 = 9 \text{ V}$



Lo strumento adoperato per misurare la tensione si chiama voltmetro e, diversamente dallo strumento che serve per misurare la pressione idraulica, richiede due collegamenti, cioè misura in realtà la **DIFFERENZA** di tensione tra i due capi.

Le Resistenze

La maggior parte delle resistenze usate nei circuiti elettronici sono resistori a filo o, più comunemente, resistenze a strati di carbone. I tipo a filo di solito riportano impresso il valore della resistenza mentre quelli a carbone hanno una serie di strisce colorate codificate per indicare il valore della resistenza e la tolleranza (fig.7).

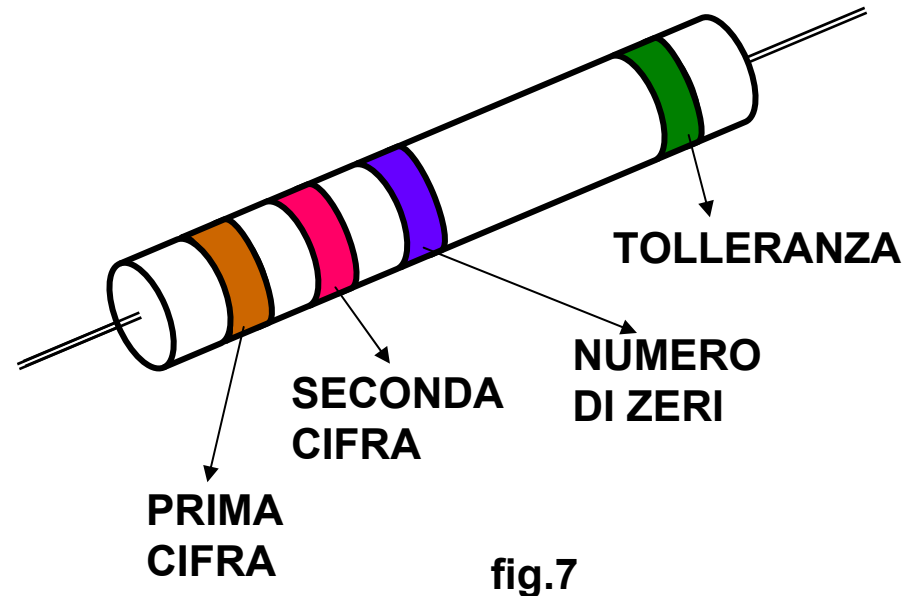


fig.7

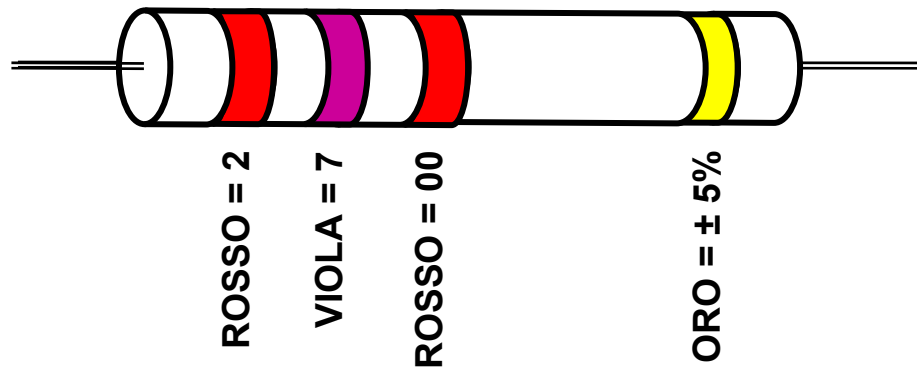
le prime due strisce indicano la prima e la seconda cifra del valore della resistenza, la terza striscia indica il fattore di moltiplicazione mentre la quarta indica la tolleranza di fabbricazione (molti resistori possono anche avere cinque strisce e in questo caso la terza striscia indica la terza cifra del valore della resistenza).

Valori e Tolleranza

I codici dei colori sono:

VALORE		TOLLERANZA	
Nero	-0	Viola	$\pm 0,1\%$
Marrone	-1		
Rosso	-2	Verde	$\pm 0,5\%$
Arancio	-3		
Giallo	-4	Marrone	$\pm 1\%$
Verde	-5	Rosso	$\pm 2\%$
Blu	-6	Oro	$\pm 5\%$
Viola	-7	Argento	$\pm 10\%$
Grigio	-8		
Bianco	-9	nessuna striscia colorata	$\pm 20\%$

Esempio

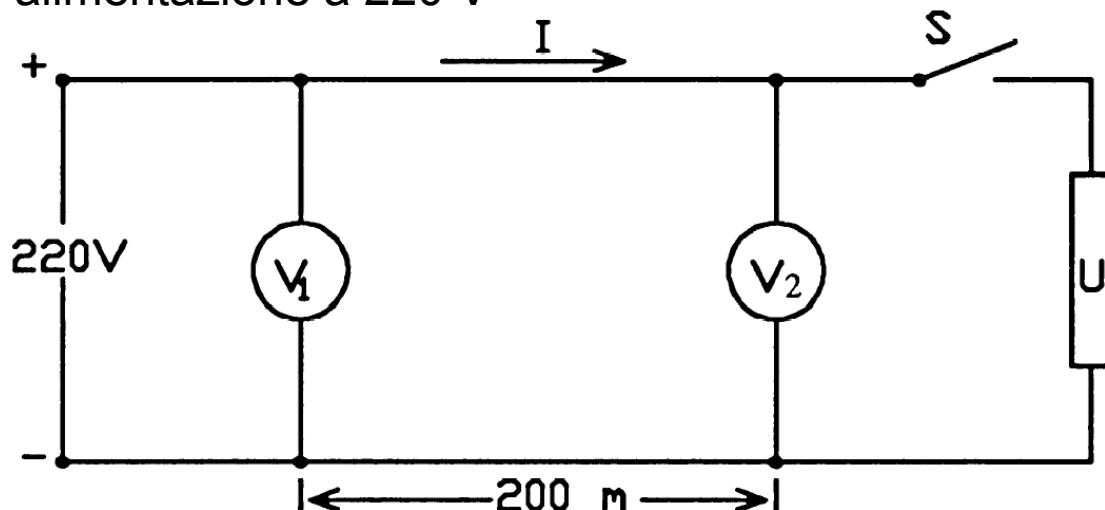


Il valore pertanto sarà di 2700Ω oppure $2,7K\Omega \pm 5\%$ che di solito si scrive 2K7. (In modo simile un resistore con resistenza $2,7 M\Omega$ si scriverà 2M7).

Finora è stata trascurata la resistenza (fili elettrici o piste di connessione) presenti in un circuito.

Resistenza dei conduttori

Si pensi di aver realizzato l'allacciamento di un utilizzatore distante 200 m dalla linea di alimentazione a 220 V



Con interruttore (S) aperto si ha: $I = 0$ $V = 220 \text{ V}$

Con interruttore (S) chiuso si ha ed es. $I = 15 \text{ A}$ $V_1 = 220 \text{ V}$ $V_2 = 190 \text{ V}$

Si vede che con circuito percorso da corrente si verifica una caduta di tensione tra inizio e fine linea. Nel caso dell'esempio tale caduta vale 30 Volt. Il fatto non deve stupire poiché il conduttore presenta un ostacolo al passaggio degli elettroni, cioè presenta una sua resistenza R_L (resistenza della linea)

La Resistività

Per la legge di OHM si può scrivere:

$$V = I \times R_L$$

e ciò conferma che si verifica una caduta di tensione solo quando passa corrente.

Nel caso dell'esempio: $V = 30 \text{ V}$ $I = 15 \text{ A}$

$$R_L = \frac{V}{I} = \frac{30}{15} = 2 \text{ } \Omega \text{ (Ohm)}$$

La sezione del conduttore è la superficie utile [mm^2] per il passaggio della corrente.

Materiale impiegato:

conduttori di pari lunghezza e sezione, ma di materiale differente, presentano resistenze diverse. La dipendenza della resistenza da materiale è indicata come RESISTIVITA' [δ].

La resistività è la resistenza di un conduttore di 1 m di lunghezza e di 1 mm^2 di sezione:

$$\delta = \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$$

La resistività di alcuni materiali

Valore di δ per alcuni materiali a 20 ° C

Materiali	δ in $\mu\Omega$ m
argento	0,016
Rame	0,018
oro	0,022
alluminio	0,028
zinco	0,06
ottone	0,07
ferro	0,1
platino	0,106
stagno	0,11
piombo	0,208
carbone	66,667

Effetto Joule

Un conduttore può variare la sua temperatura sia per riscaldamento esterno, sia al passaggio di corrente. In questo secondo caso si dice che ha riscaldamento per effetto JOULE

Come conseguenza si nota un aumento della resistenza.

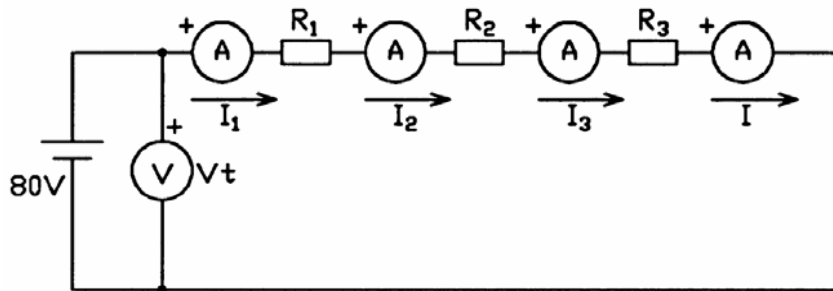
I materiali hanno diversa struttura interna per cui, a parità di T , la variazione di R sarà diversa da materiale a materiale. Il parametro che caratterizza la variazione di resistenza di un particolare materiale si chiama COEFFICIENTE DI TEMPERATURA, viene indicato con " α " e la sua unità di misura è l'inverso del grado centigrado ($1/^{\circ}\text{C}$). Il coefficiente di temperatura rappresenta la variazione di resistenza di un conduttore di $1\ \Omega$ dovuta alla variazione di temperatura di $1\ ^{\circ}\text{C}$.

Per gli avvolgimenti in rame delle macchine elettriche, le norme C.E.I. prevedono che i valori di resistenza degli stessi siano valutati a 75°C .

Collegamenti in serie e in parallelo

Collegamento in serie

Nel collegamento IN SERIE le resistenze sono collegate "una dietro l'altra" in modo che le stesse sono attraversate dalla stessa corrente. Esaminiamo il comportamento della corrente e della tensione



Comportamento della corrente

$V_t = 80V$ $R_1 = 10\Omega$ $R_2 = 20\Omega$ $R_3 = 50\Omega$

Gli amperometri hanno tutti la stessa indicazione: 1A

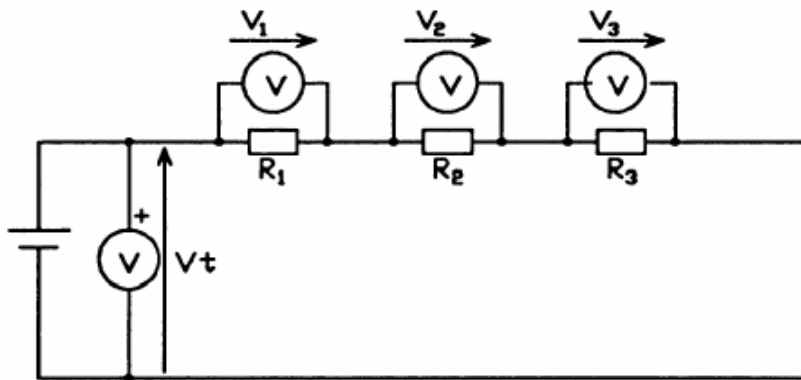
Verificato che la corrente è uguale in tutte le resistenze, si inseriscono dei Voltmetri in modo da misurare la tensione ai morsetti (Vt) e le tensioni ai capi di ogni resistenza.

I Voltmetri danno le seguenti indicazioni:

$V_1 = 10V$ $V_2 = 20V$ $V_3 = 50V$ $V_t = 80V$

Si può constatare che:

- ogni tensione parziale è inferiore a quella totale
- la tensione totale è uguale alla somma delle tensioni parziali



$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

Resistenza equivalente (serie)

Applicando la legge di Ohm ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

$$V1 = R1 \times I = 10 \times 1 = 10V$$

$$V2 = R2 \times I = 20 \times 1 = 20V$$

$$V3 = R3 \times I = 50 \times 1 = 50V$$

Pertanto la caduta di tensione è proporzionale al valore della resistenza.

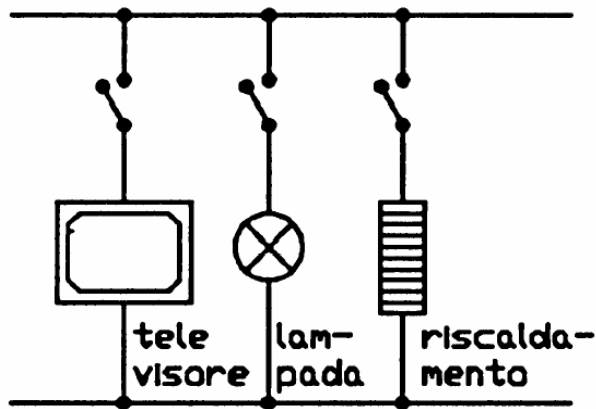
Se le tre resistenze collegate in serie vengono sostituite da un'unica resistenza di valore $R_S = R1 + R2 + R3 = 10 + 20 + 50 = 80\Omega$, il generatore eroga la stessa corrente di prima;

$$I = \frac{V_t}{R_S} = \frac{80}{80} = 1 \text{ A}$$

La resistenza $R_S = 80\Omega$ sostituisce l'intero collegamento, perciò viene chiamata **RESISTENZA EQUIVALENTE**.

Nel collegamento in serie la resistenza equivalente è uguale alla somma dei valori delle resistenze parziali: $R_S = R1 + R2 + \dots + R_n$

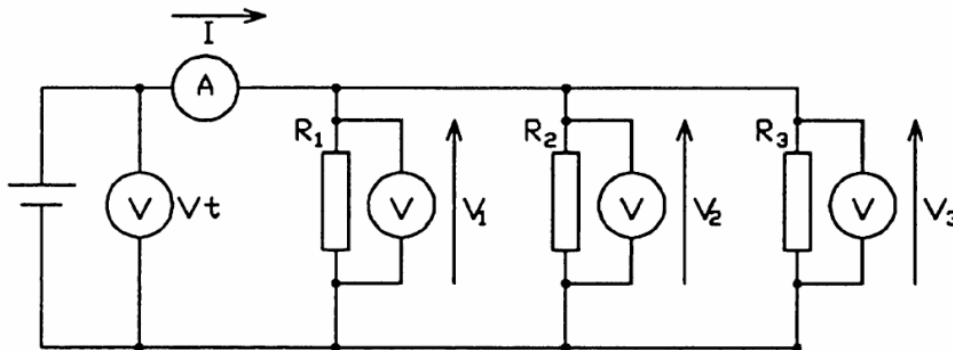
Collegamento in parallelo



Negli impianti elettrici è possibile inserire o disinserire indipendentemente degli utilizzatori. Questo è caratteristico del collegamento in parallelo: gli utilizzatori sono allacciati parallelamente uno dall'altro allo stesso generatore di tensione.

Esaminiamo il comportamento della tensione e della corrente

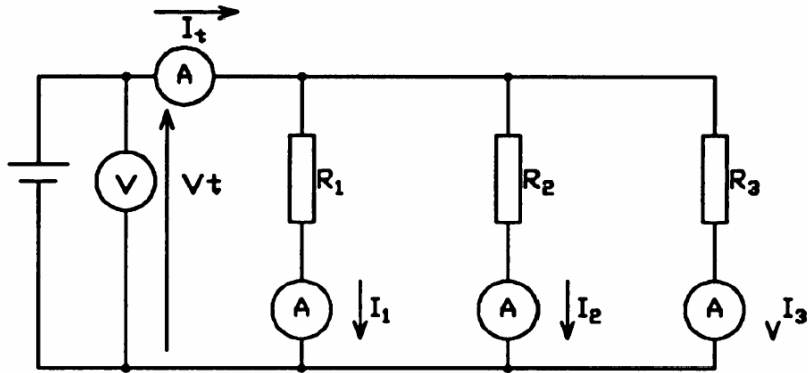
$$V_t = 80V \quad R_1 = 10\Omega \quad R_2 = 20\Omega \quad R_3 = 50\Omega$$



Comportamento della tensione
I voltmetri danno tutti la stessa indicazione: $V=80V$

Se le resistenze vengono collocate in parallelo, su tutte le resistenze si stabilisce la medesima tensione:
 $V_t = V_1 = V_2 = V_3$

Legge di Kirchhoff



$V_t = 80V$ $R_1 = 10\Omega$ $R_2 = 20\Omega$ $R_3 = 50\Omega$
Nello stesso circuito di prima, verificato che la tensione ai capi di ogni resistenza è uguale, si inseriscono degli amperometri in modo da misurare la corrente che attraversa ogni singola resistenza e la corrente complessiva erogata dal generatore.

Applicando la legge di OHM ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

Gli amperometri danno le seguenti indicazioni:

$$I_1 = 8A \quad I_2 = 4A \quad I_3 = 1,6A \quad I_t = 13,6A$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

Si può constatare che:

- ogni corrente parziale è inferiore a quella totale
- *la corrente totale è uguale alla somma delle correnti parziali*

Questa è nota come Legge di Kirchhoff:

“La somma algebrica delle correnti di un nodo è uguale a zero”

$$I_1 = \frac{V_t}{R_1} = \frac{80}{10} = 8A$$

$$I_2 = \frac{V_t}{R_2} = \frac{80}{20} = 4A$$

$$I_3 = \frac{V_t}{R_3} = \frac{80}{50} = 1,6A$$

Resistenza equivalente (parallelo)

Pertanto la corrente è inversamente proporzionale al valore della resistenza.
Il generatore di tensione ($V_t = 80V$) alimenta le tre resistenze e fornisce un'intensità di corrente $I_t = 13,6A$.

Si avrebbe questa stessa intensità di corrente anche se, al posto delle tre resistenze, ci fosse un'unica *resistenza equivalente*, che per la legge di Ohm assume il valore di:

$$R_p = \frac{V_t}{I_t} = \frac{80}{13,6} = 5,88\Omega$$

Risulta evidente che la resistenza equivalente è minore della più piccola resistenza parziale del parallelo.

Ricaviamo il legame tra resistenza equivalente e le resistenze parziali.

Dato che: $I_t = I_1 + I_2 + I_3$

per la legge di Ohm avremo

$$\frac{V_t}{R_p} = \frac{V_t}{R_1} + \frac{V_t}{R_2} + \frac{V_t}{R_3} \quad \text{da cui} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \left[\dots + \frac{1}{R_n} \right]$$

Nel caso di due resistenze in parallelo si ha:

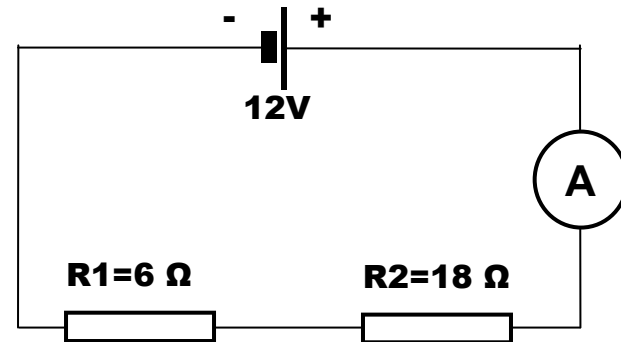
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{e se sono uguali } R_p = \frac{R}{2}$$

Riassumendo

Resistenze in serie

Molto spesso un circuito comprende più di una resistenza, per cui è necessario considerare il loro effetto complessivo. L'esempio mostrato in figura illustra un circuito con due resistenze in serie. Siccome tutta la corrente che percorre il circuito deve attraversare entrambe le resistenze, la resistenza totale si può calcolare semplicemente sommando le due resistenze:



$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 = 6 + 18 = 24 \, \Omega$$

Applicando la legge di Ohm, si ha:

$$I = V / R_{\text{tot}} = 12 / 24 = 0,5 \, \text{A}$$

E se $R_1 = 15 \, \Omega$ e $R_2 = 45 \, \Omega$ Quale sarebbe stato il valore della corrente?

Con quale valore di resistenza si sarebbe potuto avere una corrente di 6A?

Resistenze in parallelo

Se le resistenze sono collegate in parallelo, come illustrato in figura, la situazione è leggermente diversa, perché così nel circuito si creano due percorsi per la corrente. la resistenza effettiva del circuito si può calcolare utilizzando la seguente formula:

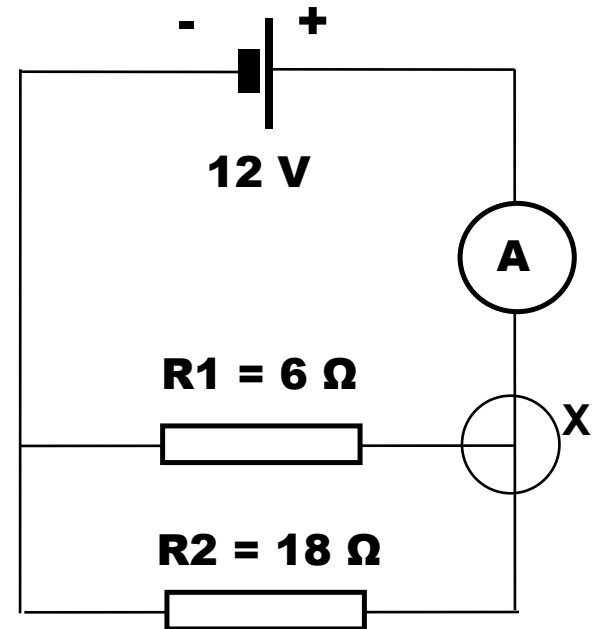
$$1 / R_{\text{tot}} = 1 / R_1 + 1 / R_2 = 1/6 + 1/18 = 4/18$$

per cui: $R_{\text{tot}} = 18 / 4 = 4,5 \, \Omega$

Applicando la legge di Ohm, come prima, si ha:

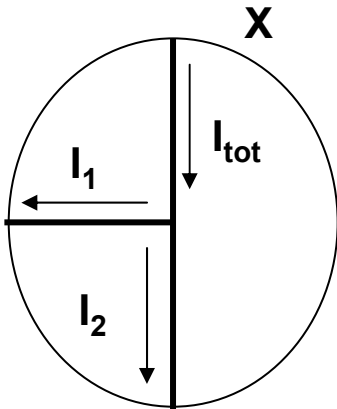
$$I = V / R_{\text{tot}} = 12 / 4,5 = 2,67 \, \text{A}$$

In questo caso se si volesse avere ancora una corrente totale di 6A quali valori di resistenza bisognerebbe adottare?



Legge di Kirchhoff

Un'alternativa per giungere alle stesse conclusioni, più semplice da comprendere, è quella di considerare ciò che accade nel nodo X



Un'altra legge fondamentale dell'elettronica è nota come Legge di Kirchhoff, la quale stabilisce che:

“La somma algebrica delle correnti nel nodo è uguale a zero”

In altri termini la corrente totale che entra in un nodo è uguale alla corrente totale che ne esce.

Le correnti che entrano sono considerate positive, mentre le correnti che escono sono considerate negative, perciò nel caso del nodo X in figura:

$$I_{tot} - I_1 - I_2 = 0$$

oppure: $I_{tot} = I_1 + I_2$

Esempio

Si calcolino le indicazioni degli amperometri e del voltmetro inseriti nel circuito della fig.6

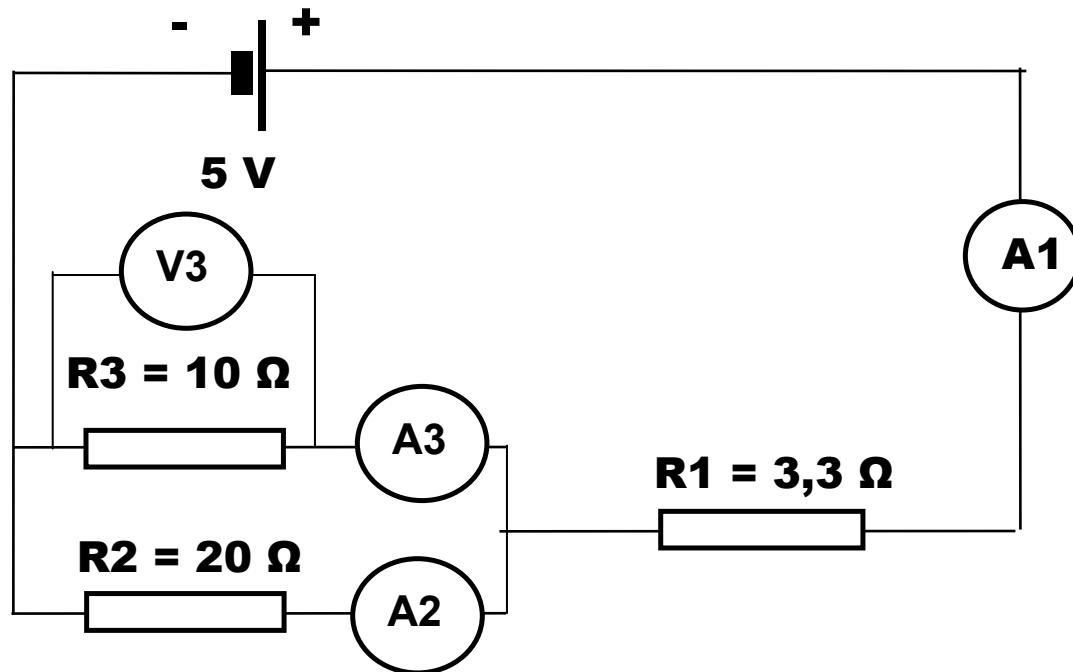


fig.6

Applicazioni dei collegamenti serie e parallelo

Aumento del campo di misura di un Voltmetro

Un Voltmetro è caratterizzato dalla portata V_{fs} (fondo scala) e dalla resistenza interna, R_v . Perché tale inserzione non influenzi il circuito la resistenza del voltmetro R_v deve essere molto grande (I_v piccola). Si supponga di disporre di un Voltmetro con fondo scala 150V e $R_v = 5.000\Omega$. Quando è derivato tra due punti tra i quali c'è una d.d.p. di 150 V, è percorso da una corrente $I_v = 150/5.000 = 0,03$ A.

Si voglia ora utilizzare il Voltmetro per misurare una d.d.p. di 220V. Per non danneggiare lo strumento la corrente I_v (di 0,03A) deve restare invariata. È ovvio che ciò sarà possibile solo mettendo in serie allo strumento una resistenza addizionale di valore tale che, quando è applicata la tensione di 220V, la corrente I_v sia ancora 0,03A. La R addizionale avrà il seguente valore:

$$R_{add} = \frac{V - V_{fs}}{I_v} = \frac{220-150}{0,003} = 2330\Omega$$

si è così estesa la portata dello strumento



Aumento del campo di misura di un Amperometro

Un amperometro è caratterizzato dalla portata I_{fs} (fondo scala) e dalla resistenza interna, R_A . Perché tale inserzione non influenzi il circuito la resistenza interna dell'amperometro R_A deve essere la più piccola possibile (teoricamente valore nullo).

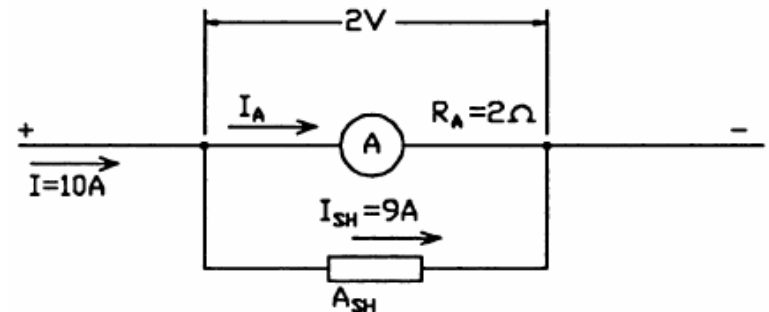
Si supponga di disporre di un amperometro con fondo scala 1 A e $R_A = 2\Omega$. Quando è inserito in un circuito nel quale circoli la corrente di 1 A ai suoi morsetti c'è una d.d.p. di $R_A \cdot I_{fs} = 2 \cdot 1 = 2V$.

Si voglia ora utilizzare l'amperometro per misurare una corrente di 10 A in modo che esso vada in f.s. con tale corrente. E' ovvio che ciò sarà possibile solo mettendo in parallelo allo strumento una resistenza (SHUNT), R_{sh} , di valore tale che, quando il gruppo è inserito nel circuito, l'amperometro sia percorso dalla corrente di 1 A.

Lo schunt avrà il seguente valore:

$$R_{sh} = \frac{2V}{9A} = 0,222\Omega$$

Si è così estesa la portata del gruppo.



Partitori di tensione

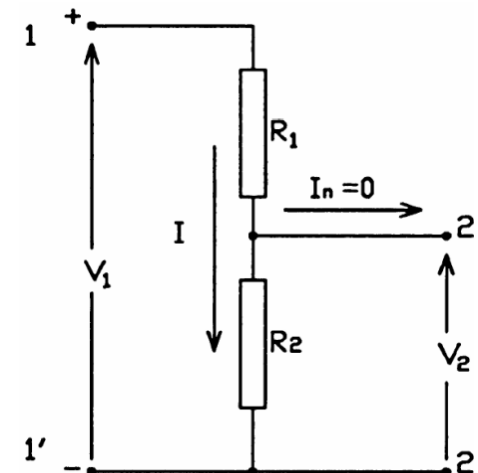
Nella pratica si presenta spesso questo problema: partendo da una tensione V_1 si deve alimentare l'utilizzatore con una tensione V_2 . La tensione V_2 può essere un valore fisso rappresentato da una frazione della tensione V_1 oppure un valore regolabile da zero a V_1 .

Allo scopo sono disponibili appositi apparecchi come ad esempio i trasformatori a rapporto variabile; tuttavia il problema può essere risolto impiegando solo resistenze.

V_2 sia un valore fisso. La soluzione può essere ottenuta con il circuito in figura che rappresenta lo schema tipico del Partitore di Tensione.

La figura rappresenta il caso di Partitore a Vuoto (tra i morsetti 2 - 2' non è stato derivato alcun utilizzatore); si vede che V_2 rappresenta la caduta di tensione sulla resistenza R_2 . Infatti si ha:

$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \text{ e quindi } V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$



Partitore a carico

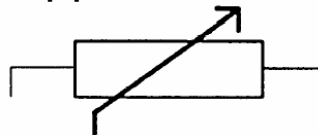
La resistenza R_1 è in parallelo ad R_2 e la corrente I_2 è diversa da 0.

Per calcolare la tensione V_2 è necessario tenere conto del parallelo tra le resistenze R_2 ed R_1 .

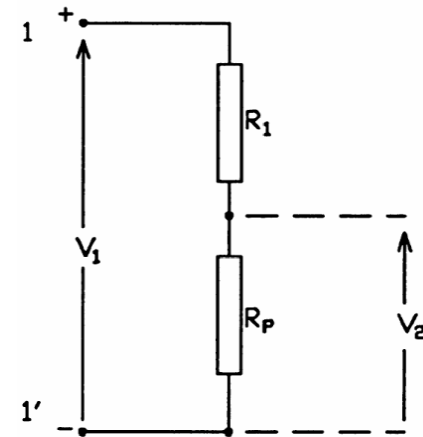
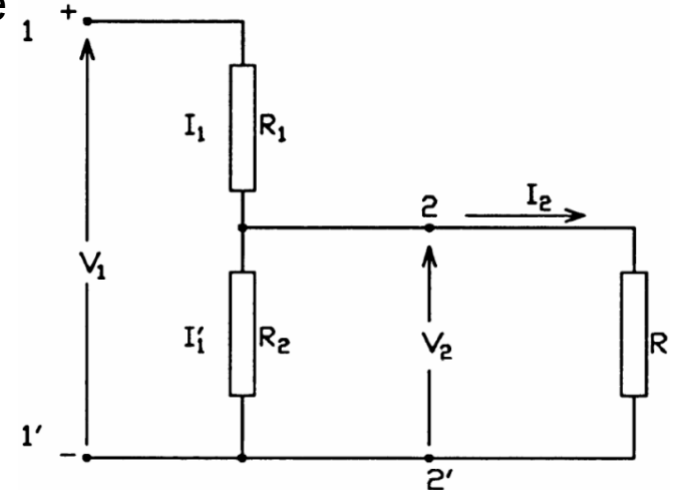
Indicata con R_p la resistenza equivalente:

$$R_p = \frac{R_2 \cdot R}{R_2 + R}$$

V_2 sia un valore regolabile. E' necessario utilizzare un potenziometro, cioè un resistore del quale si può variare il valore con l'aiuto di un contatto mobile (cursore). E' un dispositivo con tre terminali rappresentato con il simbolo

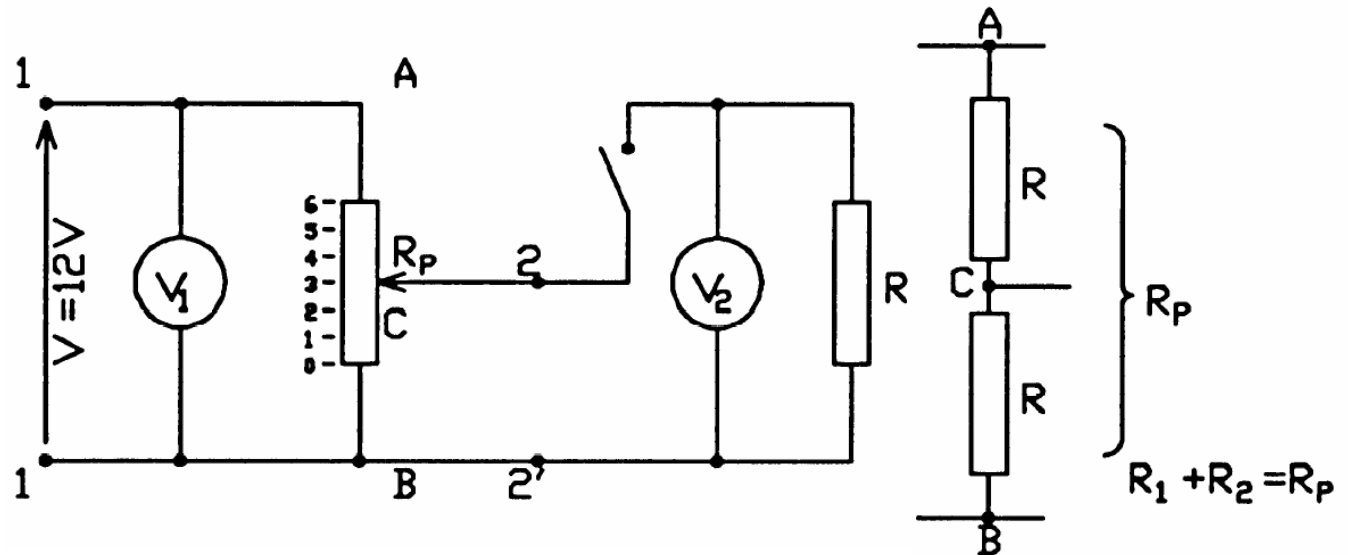


tramite cui è possibile variare con continuità il rapporto $R_2/R_1 + R_2$ spostando il cursore.



Regolazione del partitore

Si osservi il circuito ($R_p = 24\Omega$)
Il cursore del potenziometro viene regolato da zero a 6 ed in corrispondenza di ogni posizione si avrà una determinata tensione V_2 .



La tensione all'entrata rimane costante (il voltmetro di controllo V_2 indicherà sempre 12V).
Con il potenziometro si possono ottenere tutti i valori di tensione da zero al valore massimo (V_1).

Se al partitore viene allacciato un carico, la variazione di tensione non è più proporzionale allo spostamento del cursore. Tale spostamento è tanto maggiore quanto minore è la resistenza del circuito nei confronti della resistenza del potenziometro.

Quindi, per avere una buona regolazione, deve essere scelto un potenziometro con valore di resistenza R_p discretamente inferiore a quello del carico.

La potenza

Potenza elettrica

Si consideri il seguente esempio:

- In un cantiere due paranchi azionati da due motori elettrici sollevano pesi uguali per uguale altezza.
- Evidentemente compiono lo stesso lavoro ($F \cdot h$). Uno esegue il sollevamento in 10 s, l'altro in 40 s
- Volendo definire le caratteristiche parametriche dei due motori, è chiaro che il lavoro appare una grandezza inadeguata: i due motori risulterebbero uguali. Invece è evidente che il primo ha una "capacità di svolgere lavoro" maggiore del secondo.
- La grandezza adatta a caratterizzare i motori è la POTENZA. Il simbolo della grandezza è P .

Definizione di Potenza

La potenza rappresenta il lavoro che può essere compiuto nell'unità di tempo:

$$P = \frac{\text{Lavoro}}{\text{tempo}}$$

L'unità di misura della potenza è il Watt (W):

$$\text{Potenza} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

Considerando il tempo pari ad un'ora (3600 s) si ha:

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kwh} = 1000 \text{ Wh} = 1000$$

$$\text{W} \cdot 3.600 \text{ s} = 3.600.000 \text{ J}$$

L'aspetto pratico di misurare l'energia in Kwh appare così evidente.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I$$
$$P = V \cdot I \text{ [W]}$$

Potenza dissipata da una resistenza

Partendo dall'espressione della potenza elettrica $P = V \cdot I$

Se alla tensione V si sostituisce l'espressione data dalla legge di Ohm $V = R \cdot I$ si ottiene $P = V \cdot I = (R \cdot I) \cdot I$ cioè

$$P = R \cdot I^2$$

Se invece alla corrente I si sostituisce l'espressione

$$I = \frac{V}{R} \text{ si ottiene } P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} \text{ cioè } P = \frac{V^2}{R}$$

In definitiva, il calcolo della potenza può avvenire con le seguenti tre relazioni:

$$P = V \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

La potenza dissipata da una resistenza è proporzionale al quadrato della corrente oppure al quadrato della tensione.

Potenza elettrica nel collegamento in serie

Si consideri il seguente circuito:

Essendo noti i valori della tensione e della resistenza per il calcolo della potenza si avrà:

$$P = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{107} = 452,3 \text{ W}$$

Mantenendo invariata la tensione, ad R1 si metta in serie una resistenza R2:

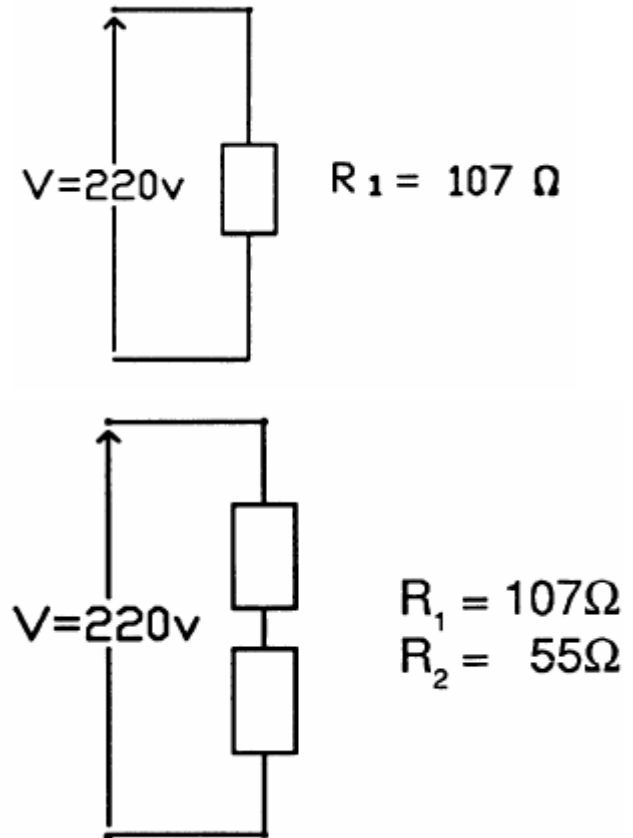
La resistenza equivalente è:

$$R_s = R_1 + R_2 = 107 + 55 = 162\Omega$$

Pertanto la potenza sarà:

$$P' = \frac{V^2}{R_s} = \frac{220^2}{162} = 298,9 \text{ W}$$

Mantenendo costante la tensione, se si amplia il collegamento in serie con resistenze aggiuntive, la potenza totale assorbita diminuisce.

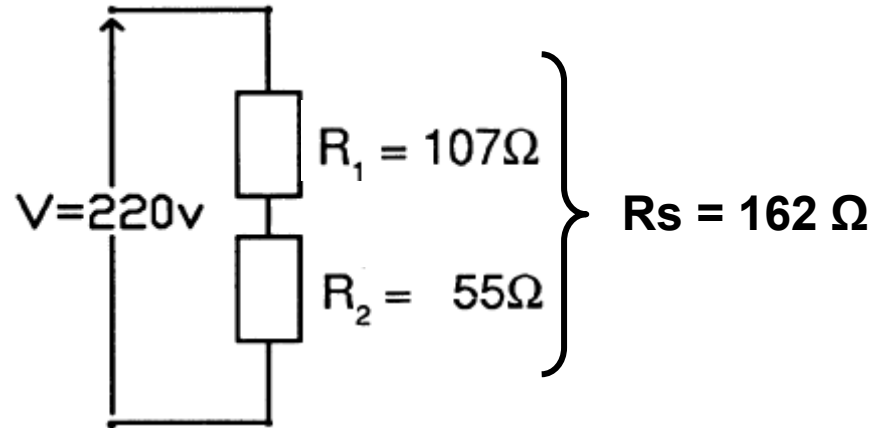


Potenza totale dissipata da resistenze in serie

Si calcoli la corrente:

$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{220}{162} = 1,36 \text{ A}$$

e quindi la potenza dissipata da ciascuna resistenza:



Potenza in R1 $P_1 = R_1 \cdot I^2 = 107 \cdot 1,36^2 = 197,32W$

Potenza in R2 $P_2 = R_2 \cdot I^2 = 55 \cdot 1,36^2 = 101,43W$

POTENZA TOTALE $= P_1 + P_2 = 197,32 + 101,43 = 298,75 \text{ W}$ che è, in pratica, la potenza prima calcolata per l'insieme delle resistenze in serie.

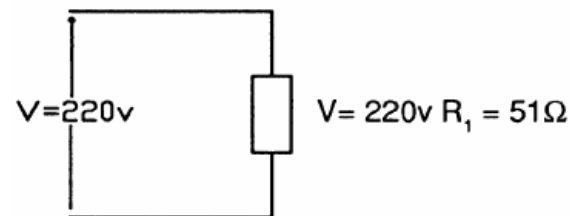
Quindi se si hanno più resistenze in serie la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n$$

Potenza elettrica nel collegamento parallelo

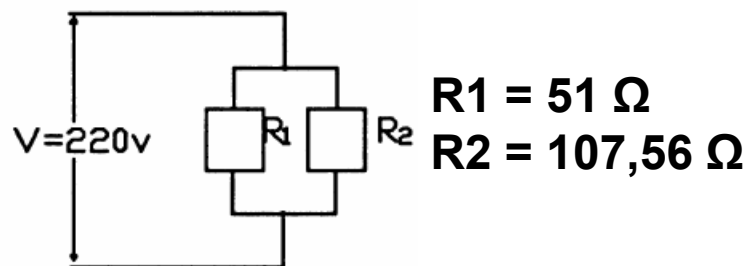
Si abbia il circuito rappresentato di seguito:

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{51} = 949W$$



Mantenendo invariata la tensione, si ponga una resistenza R_2 in parallelo ad R_1 :

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{51 \cdot 107,56}{51 + 107,56} = 34,6 \Omega$$



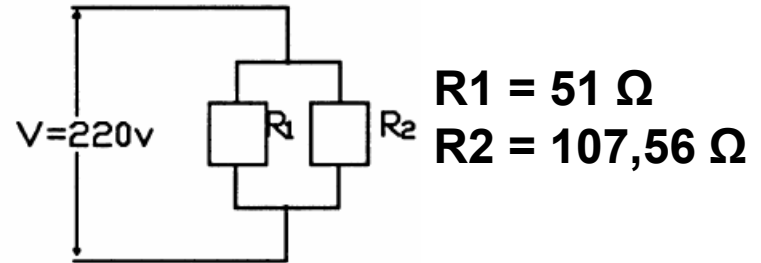
La potenza TOTALE è:

$$P_t = \frac{V^2}{R_p} = \frac{220^2}{34,6} = 1398,8W$$

Potenza totale dissipata da resistenze in parallelo

Si calcoli ora la Potenza su R2:

$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} = \frac{220^2}{107,56} = 450 \text{ W}$$



Ricordando che la potenza in R1 è $P_1 = 949 \text{ W}$, se si sommano i valori trovati si ottiene:

$$P_t = P_1 + P_2 = 949 + 450 = 1399\text{W}$$

che è, in pratica, la potenza precedentemente calcolata per l'insieme delle due resistenze in parallelo.

Si possono perciò trarre le seguenti conclusioni:

- alimentando a tensione costante se si amplia il collegamento in parallelo con resistenze aggiuntive la potenza assorbita totale aumenta;
- se si hanno più resistenze in parallelo la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 \dots \dots P_n$$

La POTENZA in Idraulica

In un circuito idraulico la potenza viene calcolata moltiplicando la portata per la pressione, cioè :

$$\begin{aligned}\text{Potenza (in Watt)} &= \text{Portata (l/sec)} \times \text{Pressione (pa)} = \\ &= \frac{\text{Portata (l/min)}}{60} \times \text{Pressione (bar)} \times \frac{1000}{100000} = \\ &= \frac{\text{Portata (l/min)} \times \text{Pressione (bar)}}{600}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1 \text{ Pascal} &= 1 \text{ N / m}^2 \\ 1 \text{ Bar} &= 100000 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Così come in un sistema elettrico, la potenza si calcola moltiplicando la corrente per la tensione, cioè come si è visto:

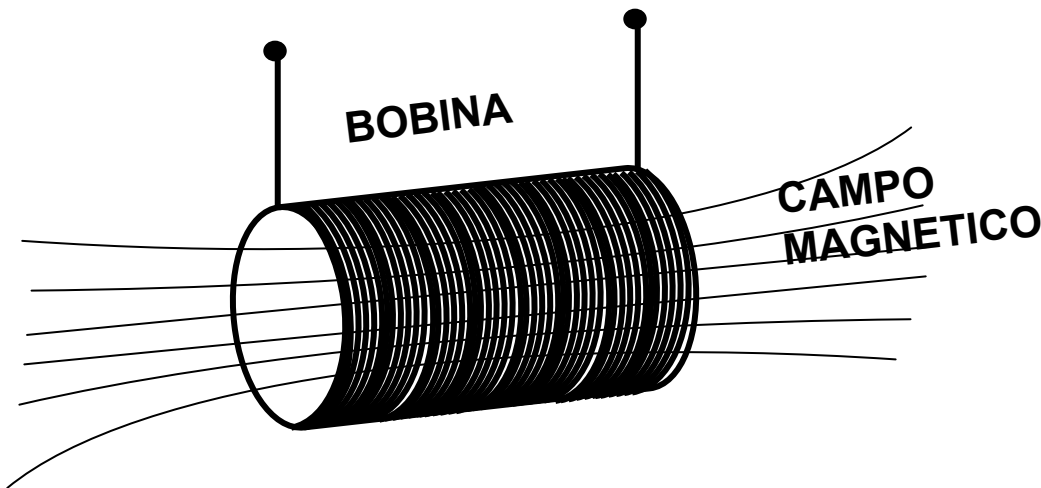
$$\text{Potenza(Watt)} = \text{Corrente (Ampere)} \times \text{Tensione (Volt)}$$

$$W = I \times V \quad \text{oppure} \quad V \times I \quad \text{cioe'} \quad RI \times I = R I^2$$

Il prodotto degli Ampere per i Volt fornisce il valore della potenza direttamente in Watt, che è l'unità di potenza conforme del sistema di unità di misura anche se per comodità spesso si utilizzano unità come il Kilowatt (10^3 W) o il Milliwatt (10^{-3} W).

La BOBINA

Molti componenti elettrici sfruttano la relazione che c'è tra la corrente elettrica ed il campo magnetico. Quando un filo è percorso da corrente, si crea un campo magnetico con asse perpendicolare al filo stesso. Analogamente, se un filo viene spostato all'interno di un campo magnetico, nel filo stesso verrà creata una corrente INDOTTA (se il filo fa parte di un circuito chiuso). Se il filo è avvolto in una bobina, e viene percorso da corrente , si creerà un campo magnetico disposto secondo l'asse della bobina, come si vede in figura.

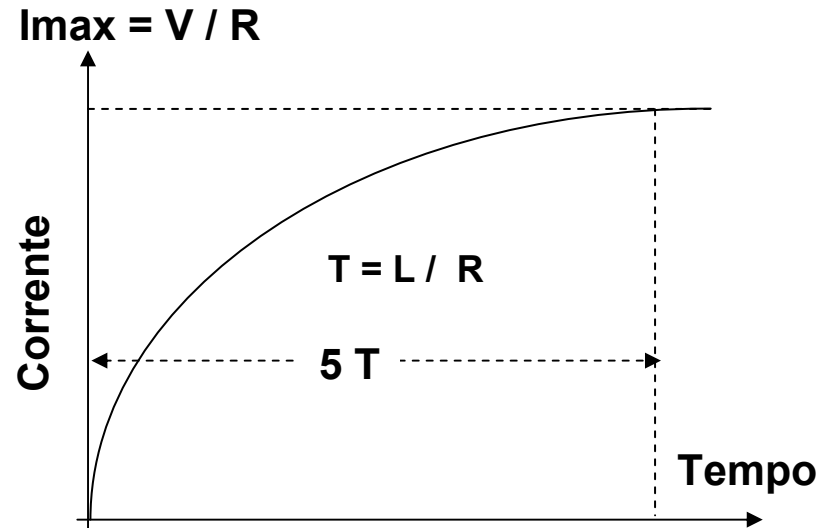


Quando ai terminali di una bobina si applica una differenza di potenziale, la corrente che la attraversa genera un campo magnetico. Man mano che questo aumenta, si genera una tensione secondaria opposta a quella applicata, conosciuta come fem di ritorno (forza elettromotrice)

L'INDUTTANZA

Il campo magnetico tende ad opporsi al passaggio di corrente nella bobina cercando di annullare la differenza di tensione. L'effetto sulla rete è perciò di creare un ritardo tra l'applicazione della tensione e l'aumento della corrente fino al suo valore massimo. In termini relativi, detto ritardo po' essere breve (alcuni millisecondi) ma la corrente in realtà aumenta gradualmente come illustrato in figura.

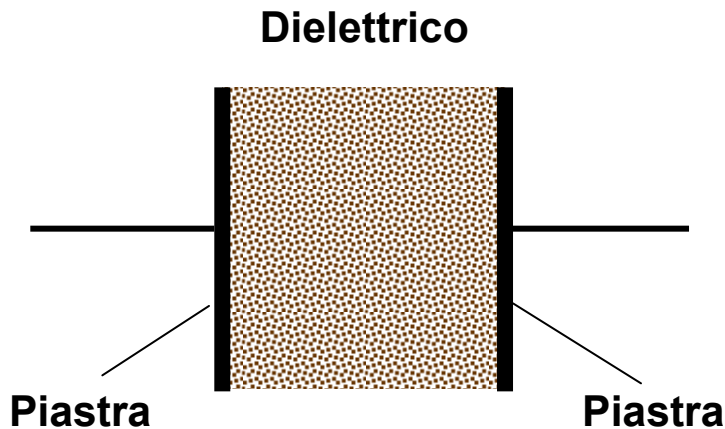
La proprietà delle bobine di resistere alla variazione di corrente è detta **INDUTTANZA (L)** e la sua unità di misura è l'**HENRY(H)**.



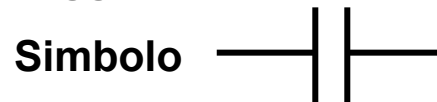
Un Henry è definito come l'induttanza di un circuito in cui viene prodotta una forza elettromotrice indotta di un Volt quando la variazione di corrente avviene alla velocità di 1 Ampere al secondo.

La CAPACITÀ

Un condensatore è costituito da due piastre separate da un materiale isolante detto dielettrico.



Un condensatore, in un circuito elettrico, ha una funzione analoga a quella di un accumulatore in un sistema idraulico, in quanto è un dispositivo che immagazzina energia, in questo caso la carica elettrica. Maggiore è la superficie della piastra e minore lo spessore del dielettrico, maggiore sarà la capacità.



L'unità di capacità è il FARAD (F) che di solito è un'unità troppo grande per l'uso pratico, le unità più usate sono:

micro-Farad (μF), nano-Farad (nF) o pico-Farad (pF) dove:

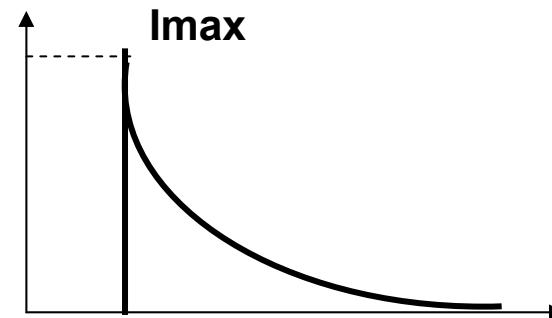
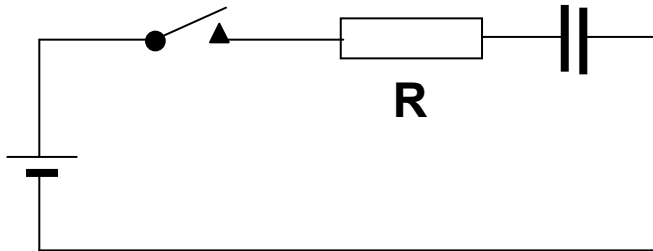
$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Il Condensatore

Un condensatore in un circuito fa sì che, quando si applica una differenza di tensione alle due armature, la corrente massima che passa inizialmente attraverso il condensatore, dopo un certo periodo di tempo, scende gradualmente a zero.

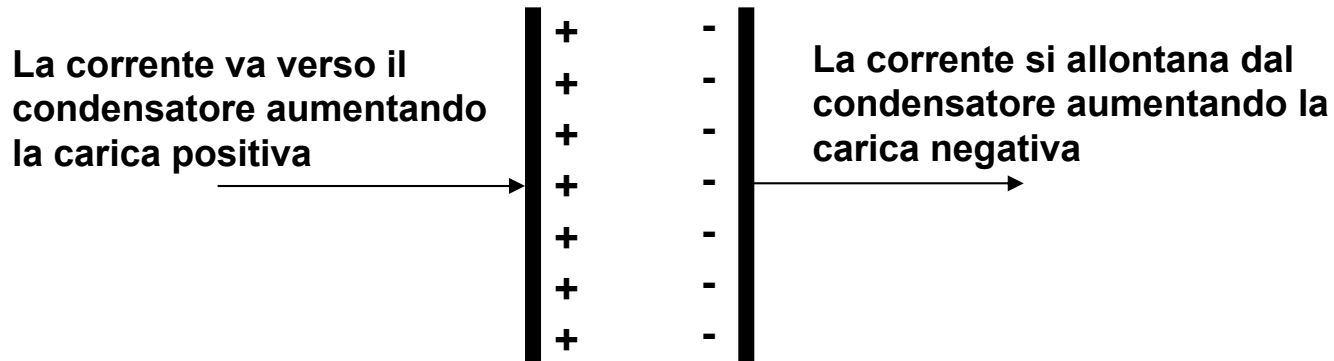


Interruttore chiuso

La presenza della resistenza (R) in figura è ovvia perché, se non ci fosse, il condensatore provocherebbe direttamente un corto circuito tra i terminali della batteria quando il commutatore viene chiuso, provocando un livello di corrente iniziale molto elevato.

Corrente Capacitiva

A prima vista può sembrare difficile visualizzare il passaggio di corrente attraverso il passaggio di condensatore dato che le due piastre sono separate da un materiale isolante. In realtà la corrente non passa “attraverso” il condensatore, è soltanto l’accumulo delle cariche che dà l’impressione che ciò accada.



Condensatore ed Induttanza

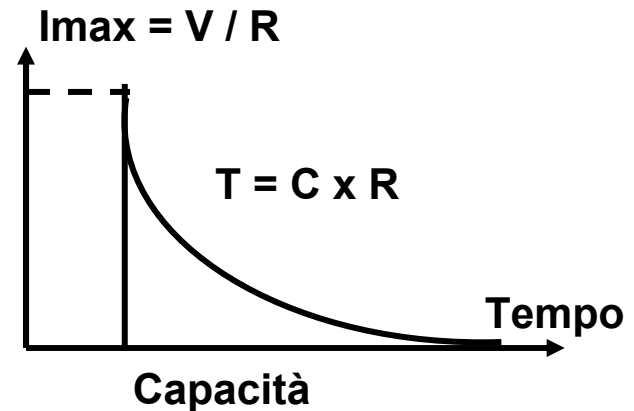
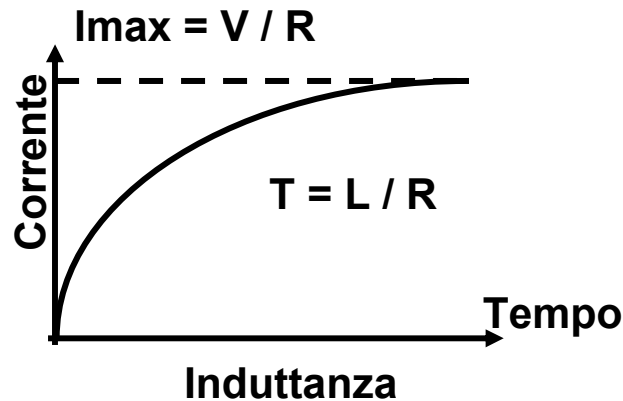
Chiudendo i contatti del circuito che alimenta il condensatore, si provoca un picco di corrente (I_{max}) che, anche in questo caso, viene determinato applicando la legge di Ohm:

$$I = V / R$$

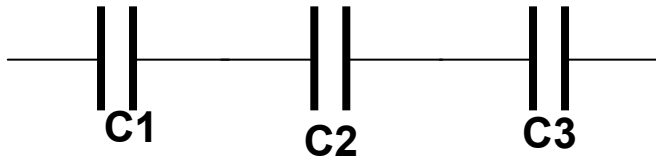
Dopo il picco iniziale, la corrente gradualmente scende a zero seguendo una legge esponenziale con una costante di tempo data da:

$$T = C \times R \quad \text{dove} \quad T = \text{sec}; \quad C = \text{Farad}; \quad R = \text{Ohm}$$

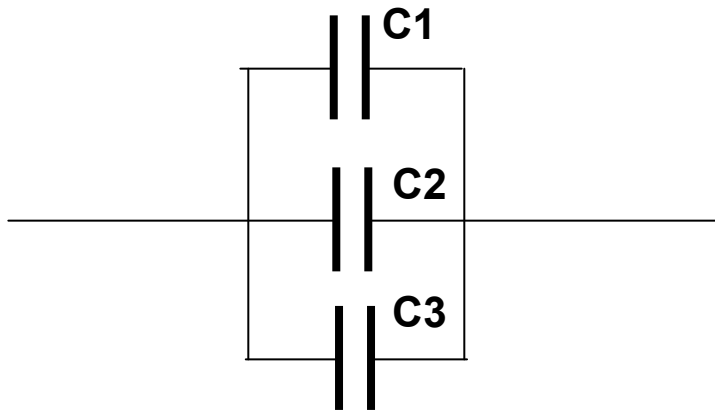
Assumiamo ancora una volta che la corrente si riduca a zero dopo un periodo pari a 5 volte la costante di tempo. L'effetto è opposto a quello di un' induttanza, come si può vedere nella figura seguente



Condensatori in serie / parallelo



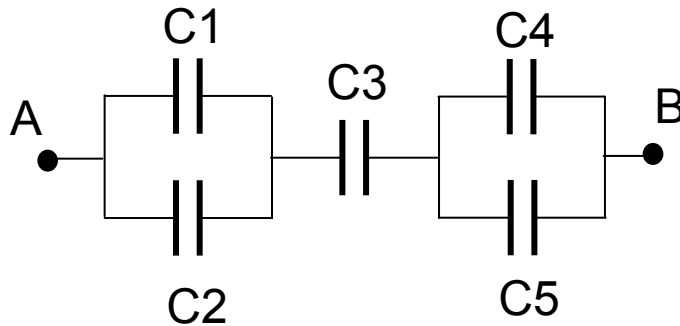
$$\frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3$$

Esercizi

Determinare il valore di capacità equivalente dei circuiti sottostanti.



$$C1 = 25 \text{ mF}$$

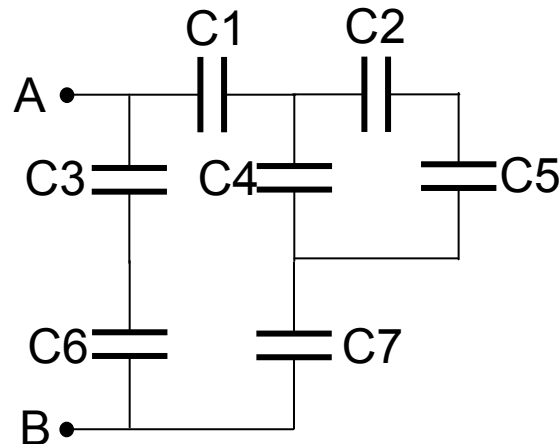
$$C2 = 158 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C3 = 0.5 \text{ mF}$$

$$C4 = 476 \text{ } \mu\text{F}$$

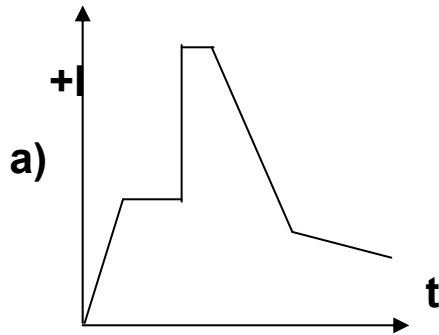
$$C5 = 880 \text{ } \mu\text{F}$$

$$\begin{aligned} C1 &= 35 \text{ mF} \\ C2 &= 720 \text{ } \mu\text{F} \\ C3 &= 1 \text{ mF} \\ C4 &= 330 \text{ } \mu\text{F} \\ C5 &= 88 \text{ mF} \\ C6 &= 20 \text{ } \mu\text{F} \\ C7 &= 8.8 \text{ mF} \end{aligned}$$



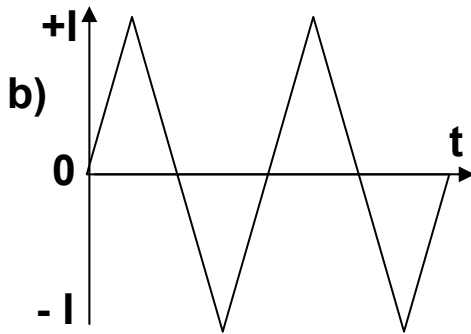
Tensioni e Correnti Alternate Sinusoidali

Corrente Alternata

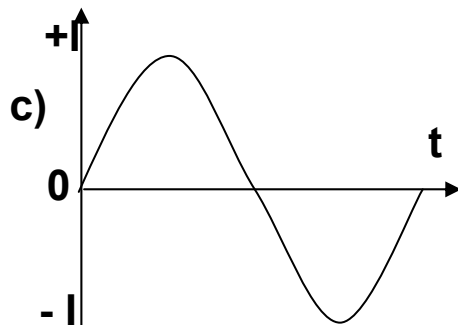


Nei circuiti in corrente continua (cc.) la corrente fluisce in un solo senso e non ha variazioni nel tempo.

Quando il senso della corrente varia e si ha un ciclo di variazione ripetitivo, allora si parla di **CORRENTE ALTERNATA** (ca.).



La corrente in figura(a) si considera ancora una corrente continua perché nonostante vari nel tempo mantiene sempre la stessa direzione e non segue una legge ciclica. Le correnti rappresentate in (b) e (c) vengono definite entrambe correnti alternate dato che la corrente passa alternativamente da valori positivi a negativi ripetendo sempre lo stesso ciclo.

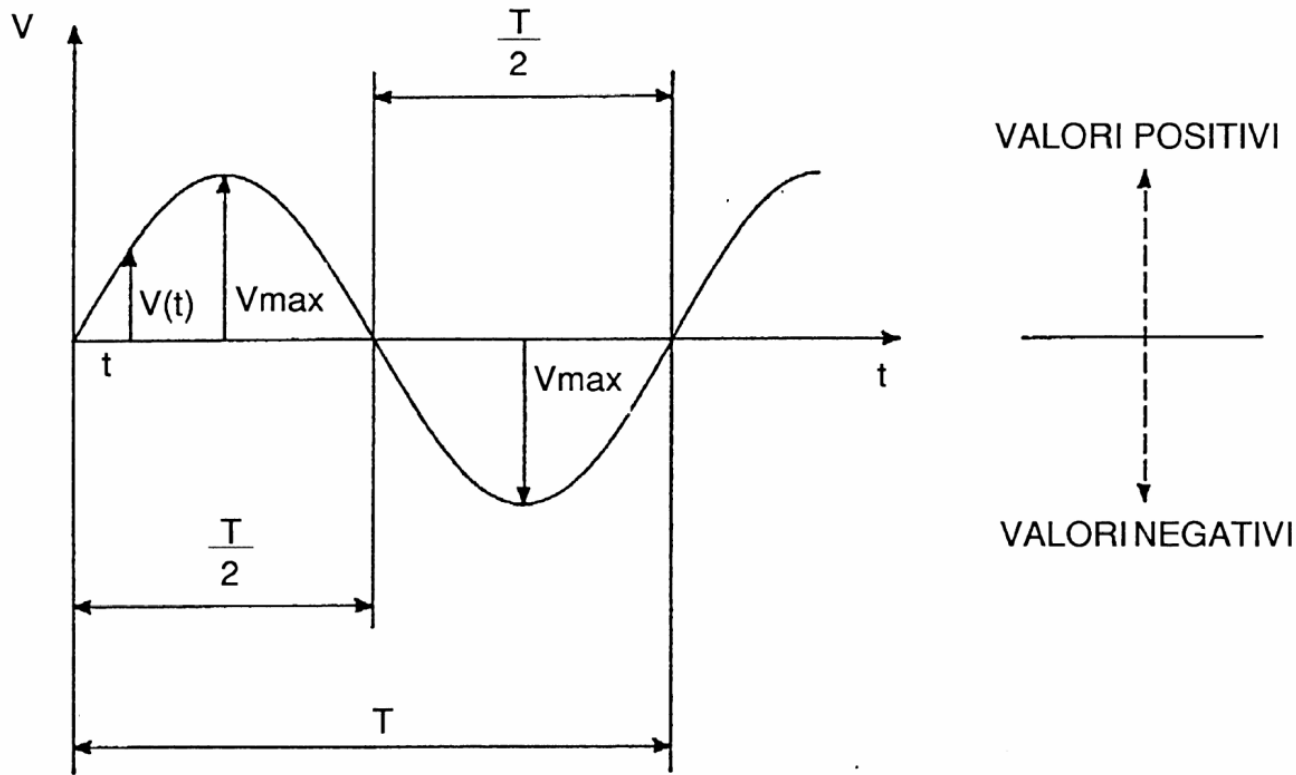


La più comune forma d'onda dei sistemi in ca. è l'**ONDA SINUSOIDALE** rappresentata in (c) che è tipica della rete di distribuzione elettrica nazionale.

Generazione della c.a.

- La generazione di tensioni alternate sinusoidali avviene negli ALTERNATORI.
- Il loro funzionamento si basa sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica che viene ad esplicarsi attraverso un movimento di rotazione relativa tra un campo magnetico ed un sistema di conduttori indotti.
- Sono costituiti da una parte fissa denominata STATORE e da una parte rotante denominata ROTORE.
- Sullo statore è disposto l'avvolgimento indotto dal quale vengono prelevate, le tensioni sinusoidali, mentre sul rotore è montato il sistema induttore eccitato da una sorgente ausiliaria di corrente continua.
- Il moto relativo è una rotazione del rotore con una certa velocità angolare imposta, ad esempio da una turbina.

Tensione (corrente) sinusoidale osservata all'oscilloscopio

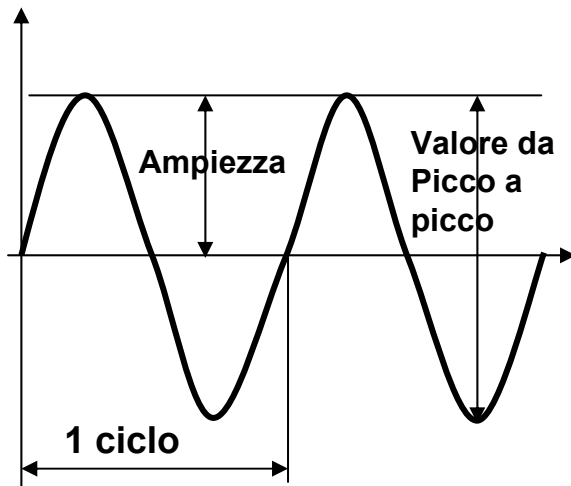


Caratteristiche della corrente alternata sinusoidale

- La TENSIONE (corrente) assume "ALTERNATIVAMENTE" valori positivi e negativi, come avere un generatore che cambia polarità ad ogni semionda
- Il MODO di variazione segue l'andamento della funzione matematica SENO: da qui tensione (corrente) alternata sinusoidale.
- TUTTI i possibili valori della grandezza sono compresi tra un valore massimo positivo, $+ V_{max}$, ed un valore massimo negativo $- V_{max}$. In valore assoluto i valori massimi sono uguali.
- VALORE MASSIMO E VALORE ISTANTANEO
 - Il valore V_{max} , detto anche AMPIEZZA, è il valore più grande possibile di una tensione (corrente) alternata. Il valore istantaneo, v , è il valore che assume di volta in volta la tensione all'istante considerato.
- PERIODO
 - Tutti i possibili valori della grandezza sono assunti in un determinato intervallo di tempo, T , dopo di che i valori si ripetono identici ad intervalli paria T . Questo intervallo di tempo, di durata T , rappresenta il PERIODO della tensione (corrente) alternata sinusoidale. Si nota che nel periodo, T , avviene, una oscillazione completa della grandezza. Per la tensione di rete italiana : $T = 0,02 \text{ s} = 20 \times 10^{-3} \text{ s} = 20 \text{ ms}$
- FREQUENZA
 - NUMERO DI PERIODI DIVISO PER IL TEMPO IMPIEGATO
 - Simbolo della grandezza = f
 - Unità di misura = Hertz (Hz); Per la tensione di rete italiana: $f=50 \text{ Hz}$

La Frequenza

Partendo da zero, la corrente sale fino ad un valore positivo massimo per poi scendere a zero e successivamente arrivare ad un valore massimo negativo da cui risale a zero. Questa sequenza viene ripetuta in continuazione. In figura sono definiti alcuni termini usati nei sistemi in ca.



La sequenza da zero al massimo, al minimo e poi di nuovo a zero viene detta CICLO ed il numero di cicli che si verifica in un secondo viene definita FREQUENZA. La frequenza si misura in HERTZ(Hz):

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/secondo}$$

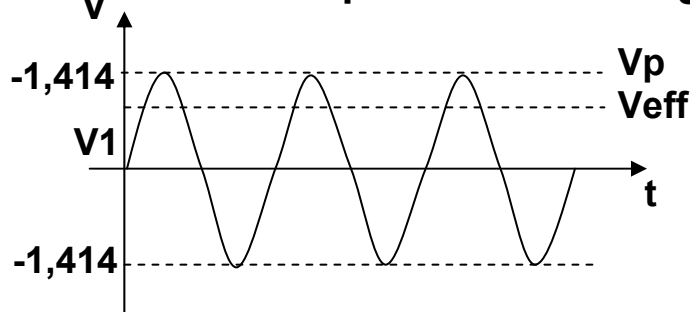
(In Europa la frequenza delle reti nazionali è di 50 Hz, mentre in America del Nord è di 60 Hz).

Valore Quadratico Medio

Il valore massimo della corrente si definisce **AMPIEZZA** o **VALORE DI PICCO** e la differenza tra la corrente massima e minima viene anche definita **valore da picco a picco** (pari a due volte l'ampiezza).

Su un ciclo completo (o una serie di cicli completi), il valore medio della corrente è uguale a zero, poiché la metà positiva del ciclo viene esattamente “annullata” dalla metà negativa.

Invece di definire la corrente alternata utilizzando il suo valore di picco (ampiezza) è più significativo definire il suo valore **RMS** (Root Mean Square). Matematicamente il valore RMS si definisce come “la radice quadrata della media dei valori della corrente elevati al quadrato” durante un ciclo completo. In pratica il valore RMS di una corrente alternata è quel valore che produce lo stesso effetto termico di una corrente continua dello stesso valore e comunemente si chiama **VALORE EFFICACE**. Nel caso di un'onda sinusoidale, i valori RMS e di picco sono collegati dall'espressione:



Valore di picco = $1,414 \times$ Valore RMS

Valore RMS = $0,707 \times$ Valore di picco

Dove $1,414 = \sqrt{2}$

D'ora in poi con **V** ed **I** in c.a. si intenderanno i valori efficaci (RMS)

Valore efficace

Il valore efficace di una tensione o di una corrente alternata viene indicato con lettere maiuscole senza alcun pedice:

valore efficace della tensione = V

valore efficace della corrente = I

$$\text{valore efficace} = \frac{\text{valore massimo}}{\sqrt{2}}$$

Quando si dice che la tensione DI RETE vale 220V o 380V ci si riferisce al VALORE EFFICACE. Per i valori massimi si avrà, rispettivamente:

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ V}$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537 \text{ V}$$

Circuiti in corrente alternata

Circuito con sola resistenza

Alimentando una resistenza con una tensione sinusoidale la corrente che la percorre è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e quindi con la stessa frequenza della tensione. Entrambe passano per lo zero ed assumono il valore massimo nello stesso istante: tensione e corrente sono "in fase".

Il valore efficace della corrente è dato dal rapporto tra il valore efficace della tensione e la resistenza:

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

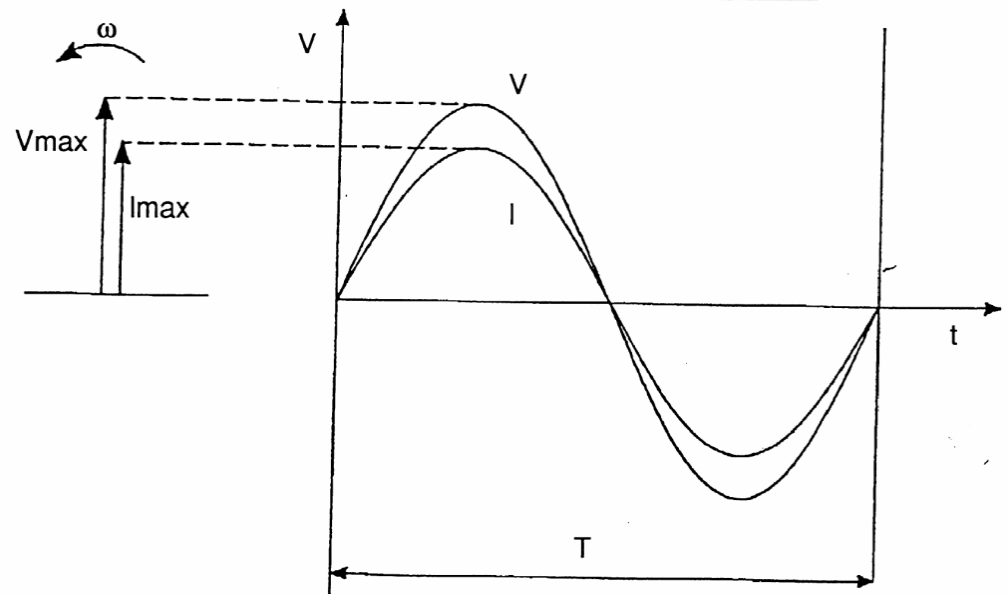
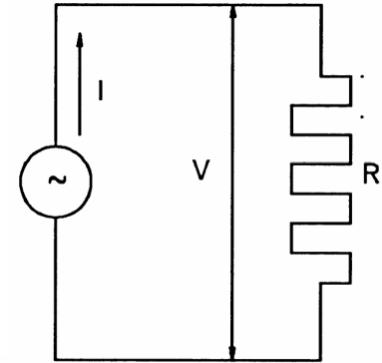


Diagramma vettoriale

Diagramma cartesiano

Resistenza in c.a.

L'effetto di resistenza in un circuito in ca. è uguale a quello che ha in un circuito in cc.

Potrà quindi ancora essere applicata la legge di Ohm, che lega i valori della corrente, della tensione e della resistenza, cioè si potrà scrivere:

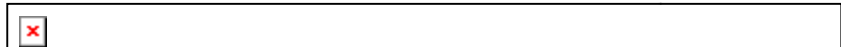
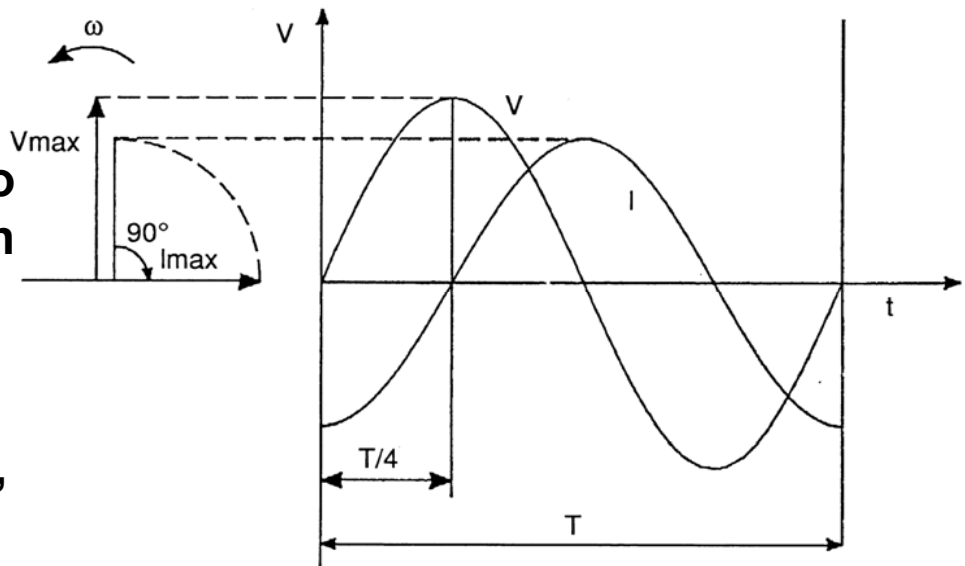
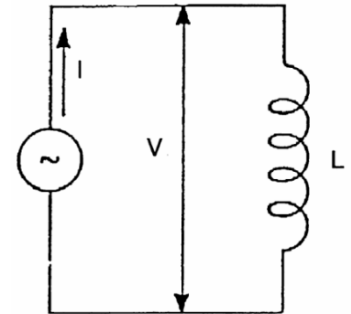
$$I = \frac{V}{R}$$

Anche gli effetti di resistenze in serie o in parallelo sono gli stessi di quelli dei circuiti in cc.

Circuito con sola induttanza

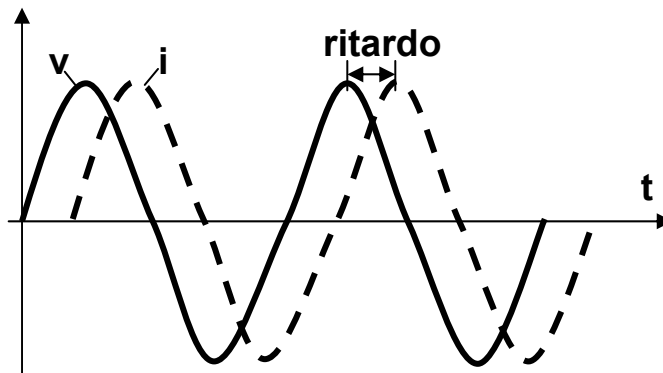
Il comportamento è quello tipico delle bobine, presenti in molte applicazioni elettromeccaniche: avvolgimenti nei trasformatori, nei generatori, nei motori... Viene fatta l'ipotesi che la bobina sia ideale, cioè sia nulla la resistenza della bobina stessa.

La corrente che percorre l'induttanza è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e perciò con la stessa frequenza della tensione. La corrente però, rispetto alla tensione, passa per lo zero e raggiunge valori massimi in tempi diversi, spostati tra loro di una quantità pari ad un quarto di periodo: le grandezze sono sfasate tra loro, più precisamente, la **CORRENTE E' IN RITARDO** sulla tensione di $T/4$.



Induttanza in c.a.

Come è già stato detto in precedenza, l'induttanza provoca degli effetti al variare delle condizioni circuitali, cioè, in un circuito in cc. quando un componente di tipo induttivo viene commutato. Fondamentalmente, una induttanza provoca un ritardo tra la tensione applicata e l'incremento della corrente fino al suo massimo valore. In un sistema in ca. dove la tensione viene fatta variare in continuazione ci sarà nuovamente un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, ma questa avrà un andamento con RITARDO costante tra le forme d'onda della tensione e della corrente.

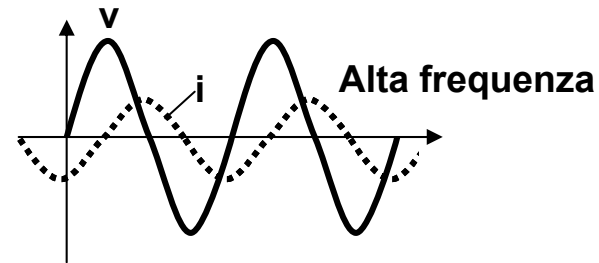
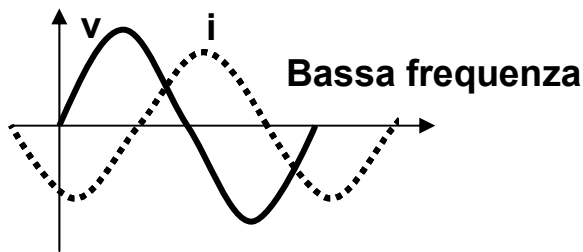


Come si può vedere, la corrente raggiunge il suo valore di picco sempre dopo la tensione. Nel caso di una induttanza pura (resistenza uguale a zero), il ritardo è di circa $1/4$ di ciclo, ma siccome una bobina ha sempre una certa resistenza, il ritardo sarà un po' inferiore a $1/4$ di ciclo.

Quando due forme d'onda non coincidono si dice che sono “fuori fase”, di una quantità definita DIFFERENZA DI FASE. se un intero ciclo è di 360° , allora, nel caso di figura, il ritardo della corrente rispetto alla tensione è di 90° ($1/4$ di ciclo) cioè $\pi/2$.

Reattanza Induttiva

Poichè l'effetto dell'induttanza è di creare un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, si potrebbe verificare che la tensione vari tanto rapidamente da non dare il tempo alla corrente di raggiungere il suo normale valore massimo prima che la tensione inverta il segno. Ciò comporta che più elevata è la frequenza della tensione applicata, minore sarà l'intensità della corrente.



In effetti l'induttanza in questo caso si comporta come una resistenza; ciò significa che, anche se il suo valore di picco della tensione rimane lo stesso, l'induttanza riduce l'intensità della corrente risultante man mano che aumenta la frequenza della tensione di alimentazione. La proprietà dell'induttanza di ridurre l'intensità di corrente viene definita **REATTANZA INDUTTIVA (XL)** e si può calcolare con la formula:

$$XL = 2\pi \times f \times L \quad [\Omega] \quad \text{dove:} \quad \begin{array}{l} f = \text{frequenza di alimentazione in Hz} \\ L = \text{induttanza in Henry} \end{array}$$

XL è data in OHM poiché ha lo stesso effetto della resistenza L e si può usare nella legge di Ohm, cioè:

$$I = V / XL$$

Circuito con sola capacità

L'impiego dei condensatori è molto diffuso in elettronica. Nelle applicazioni elettrotecniche è spesso usato in combinazione con le bobine. Ciò è legato al suo comportamento, opposto a quello delle bobine, che permette di modificare le perdite dovute allo sfasamento delle grandezze elettriche tensione corrente (problema del rifasamento), provocato dalla presenza di bobine nei circuiti. Sono anche usati in circuiti elettrici dove sono presenti processi di commutazione. A causa delle continue variazioni di polarità del generatore, nel circuito si ha circolazione di corrente dovuta alle continue fasi di carica e scarica del condensatore.

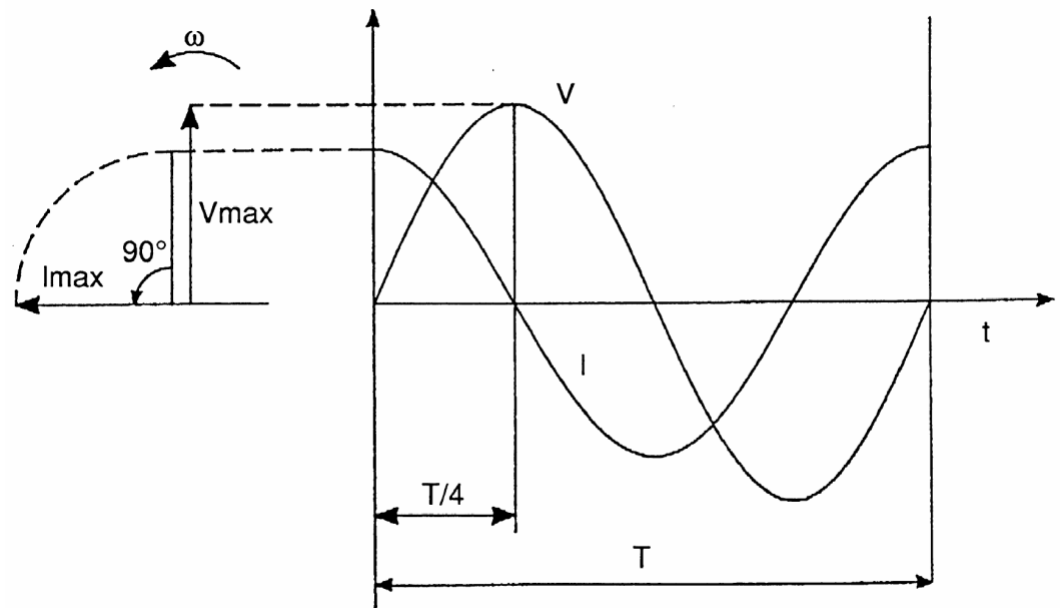
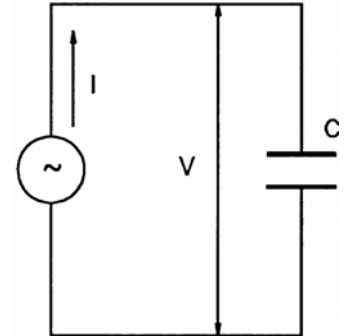


Diagramma vettoriale

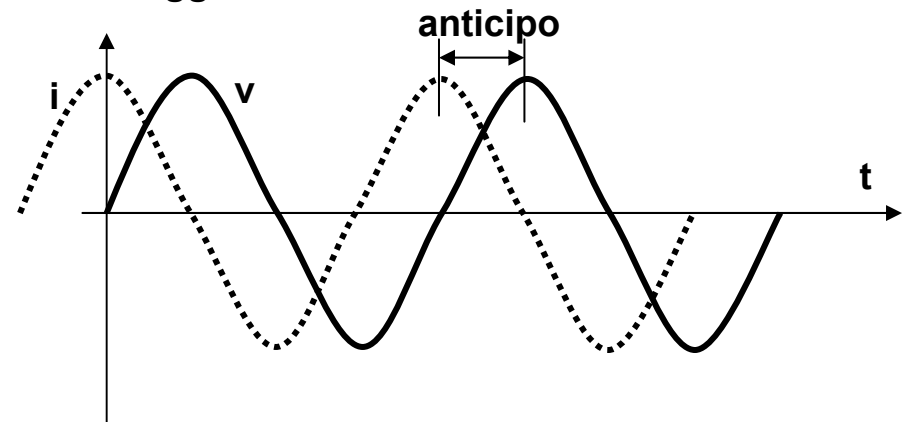
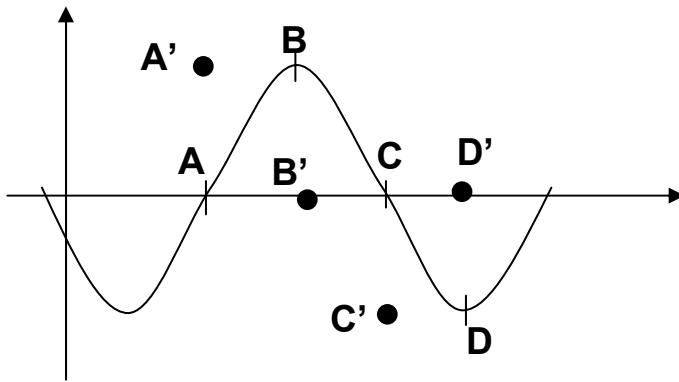
Diagramma cartesiano

Capacità in c.a.

L'effetto di un condensatore in un circuito in c.a. non si può evidenziare facilmente ma è possibile arguirlo partendo dagli effetti che provoca in un circuito a c.c. Si deve tener presente che attraverso un condensatore passa corrente solo se la differenza di tensione tra le armature è variabile e che l'intensità di corrente è data da:

$$I = C \times \text{velocità di variazione della tensione}$$

cioè quanto più rapidamente varia la tensione, tanto maggiore sarà l'intensità della corrente.



La corrente risultante avrà perciò l'andamento indicato in che mostra una differenza di fase tra la corrente e la tensione ma questa volta la corrente ANTICIPA la tensione.

Per un carico puramente capacitivo, l'anticipo di fase è di $1/4$ di ciclo o di 90° ma, se si considera il caso reale in cui c'è l'effetto della resistenza, l'anticipo di fase potrebbe essere di poco inferiore a 90° .

Reattanza Capacitiva

Perciò, una caratteristica importante di un condensatore è che lascia passare una corrente in ca., ma non una corrente in cc. Inoltre, più rapida è la variazione di tensione tra le armature del condensatore, maggiore sarà l'intensità della corrente che lo attraversa, e questo implica che maggiore è la frequenza dell'alimentazione in ca. minore sarà la "resistenza" opposta dal condensatore al passaggio di corrente. La resistenza effettiva di un condensatore è detta REATTANZA CAPACITIVA (X_c) e si calcola con la seguente formula:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

dove: f = frequenza di alimentazione in Hz

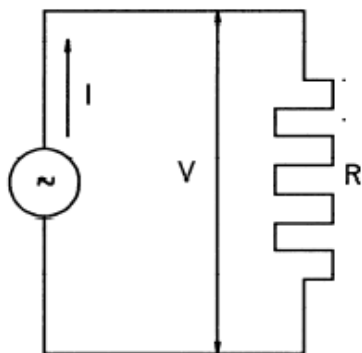
C = capacità in Farad

Come per la reattanza induttiva, X_c ha l'Ohm come unità di misura e si può usare nella legge di Ohm:

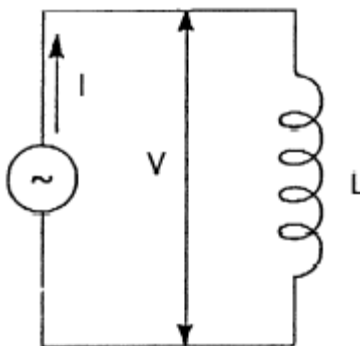
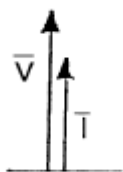
$$I = \frac{V}{X_c}$$

Dalla formula di calcolo di X_c si può vedere che se la frequenza aumenta, X_c diminuisce e si avrà una corrente maggiore. Inoltre, se $f = 0$, cioè in un circuito in cc., X_c diventa infinita, cioè (dalla legge di Ohm) $I = 0$ confermando con ciò che attraverso un condensatore non può passare corrente in cc. La capacità del condensatore di bloccare una corrente cc. e di lasciar passare una corrente ca. può rivelarsi molto utile quando, ad esempio, si sovrappone una corrente ca. ad una cc. ed è necessario separarle.

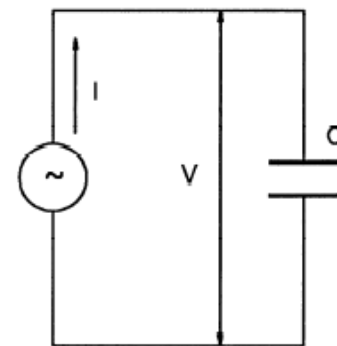
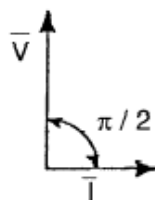
Riassumendo



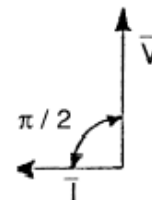
RESISTIVO



INDUTTIVO



CAPACITIVO



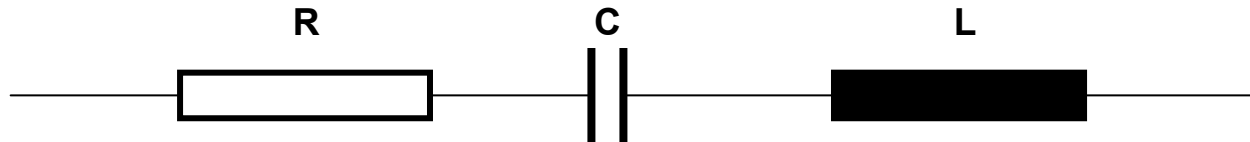
RISPETTO ALLA TENSIONE del generatore la corrente risulta:

- in fase nel circuito puramente resistivo;
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in ritardo nel circuito puramente induttivo
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in anticipo nel circuito puramente capacitivo.

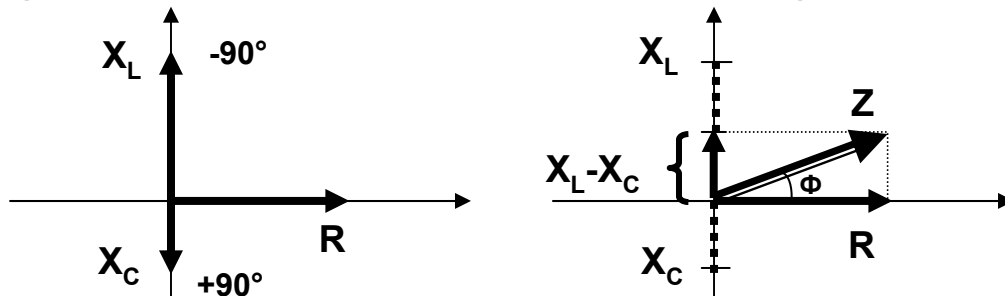
Impedenza

Per poter calcolare la corrente in un circuito in ca., è necessario considerare non solo la mera resistenza del circuito, ma anche la resistenza effettiva (reattanza) dei componenti induttivi o capacitivi.

Considerando la fig.37 in cui sono collegati in serie tre tipi di componenti, la regola per calcolare le resistenze in serie dice che per calcolare la resistenza totale effettiva si deve solo sommare la resistenza o la reattanza di ciascun componente.



Tuttavia non è sempre così semplice eseguire questo calcolo, poiché sia l'induttanza che la capacità introducono una differenza di fase. I tre componenti perciò devono essere sommati “geometricamente”, usando il cosiddetto diagramma vettoriale.



L'effetto complessivo di resistenza, capacità ed induttanza prende il nome di **IMPEDENZA (Z)**:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

quindi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$\cos(\Phi)$

La differenza di fase totale tra corrente e tensione rilevabile dal diagramma vettoriale ed è data dall'angolo Φ :

$$\cos(\Phi) = R / Z$$

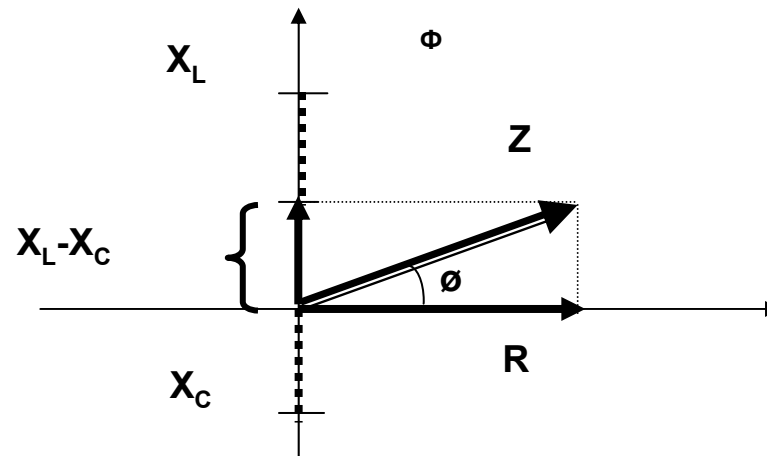


Fig.39

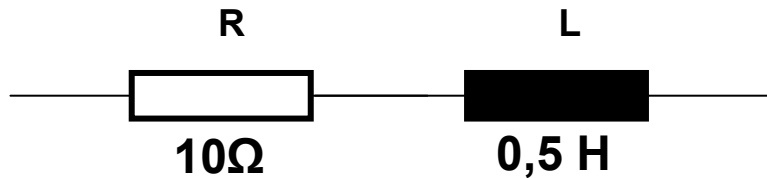
Esempio

La bobina di un solenoide ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di $0,5\text{H}$ (con capacità trascurabile). E' stata costruita per lavorare con una tensione alternata a 240 V e 50 Hz .

Se si vuole adoperare il solenoide con una alimentazione a 60 Hz , qual è il valore della tensione che si deve applicare perché la corrente nel solenoide sia la stessa ?

Soluzione

Il solenoide si può considerare come una resistenza e un'induttanza in serie



Essendo $I = V / Z$ allora si ha:

$$\frac{V_1}{Z_1} = \frac{V_2}{Z_2}$$

Da cui $V_2 = V_1 \times \frac{Z_2}{Z_1} = 240 \sqrt{\frac{R^2 + (X_{L_2})^2}{R^2 + (X_{L_1})^2}} =$

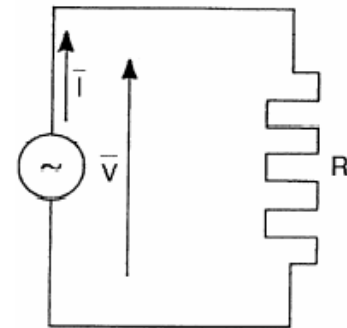
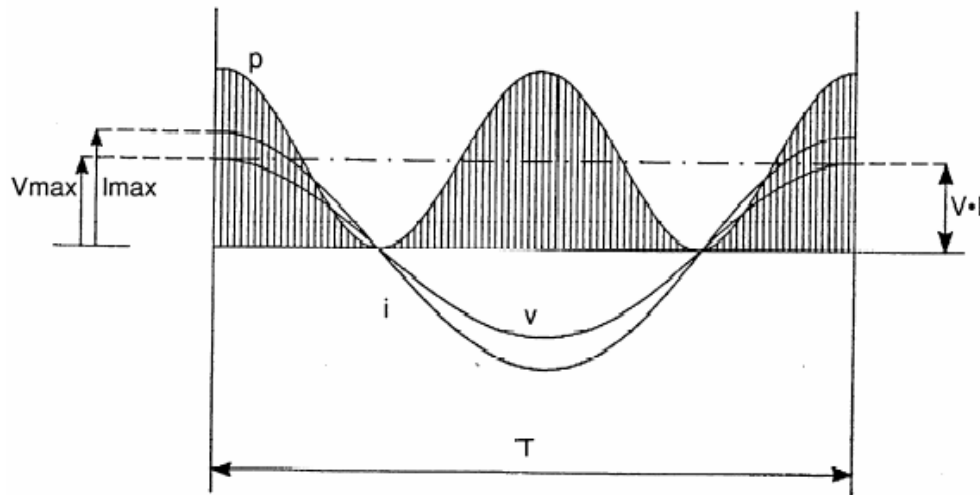
$$= 240 \sqrt{\frac{100 + (2\pi \times 60 \times 0,5)^2}{100 + (2\pi \times 60 \times 0,5)^2}} = 288 \text{ V}$$

Potenza elettrica in alternata

In corrente continua, se V è la tensione impressa agli estremi di una resistenza percorsa dalla corrente I , la potenza è

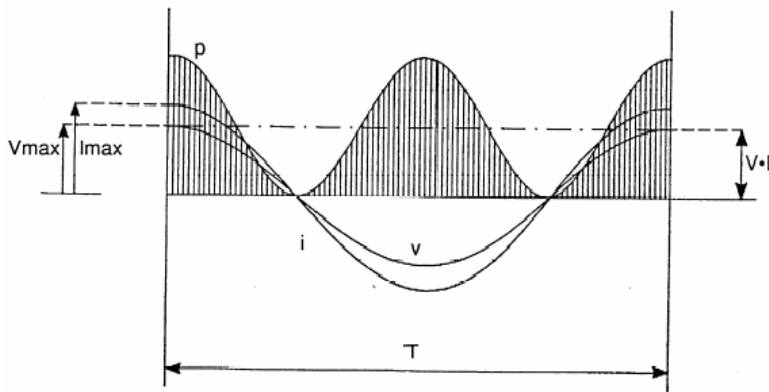
$$P = V \cdot I.$$

In alternata, però, tensione e corrente variano da istante a istante, per cui il loro prodotto sarà variabile. Di conseguenza la relazione $P = V \cdot I$ è l'espressione della **POTENZA ISTANTANEA**. Con riferimento ad un circuito puramente resistivo la potenza istantanea ottenuta dal prodotto dei valori tensione • corrente in ogni istante, assume valore massimo quando tensione e corrente assumono anch'essi valore massimo, ed è nulla quando sono nulli i valori di tensione e corrente. Si osserva anche che la potenza si mantiene sempre positiva: significa che in ogni istante si ha trasmissione di potenza dal generatore all'utilizzatore.



Potenza attiva

In un circuito in corrente alternata che ha solo resistenze (senza induttanze o capacità), la tensione e la corrente sono in fase. Per la trasformazione della potenza elettrica, ad esempio in calore, è importante la **POTENZA MEDIA** trasmessa in un periodo.



Questa può essere ottenuta sostituendo l'area tratteggiata (racchiusa dalla curva della potenza istantanea) e calcolata per un periodo T con un rettangolo di base uguale al periodo T e di area uguale alla precedente. L'altezza di tale rettangolo è la potenza media che viene anche chiamata **POTENZA ATTIVA** o **REALE**; viene indicata con P ed è misurata in **WATT (W)**.

$$P = \frac{V_{max} I_{max}}{2}$$

Ricordando il legame tra valore massimo ed efficace, si ha:

$$P = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

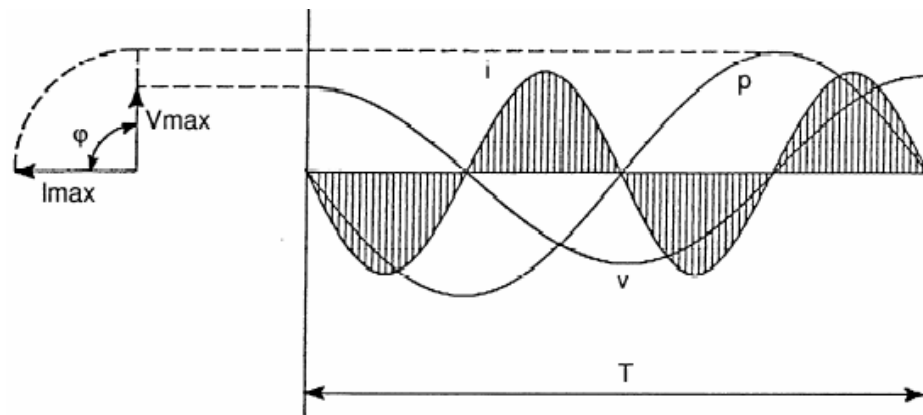
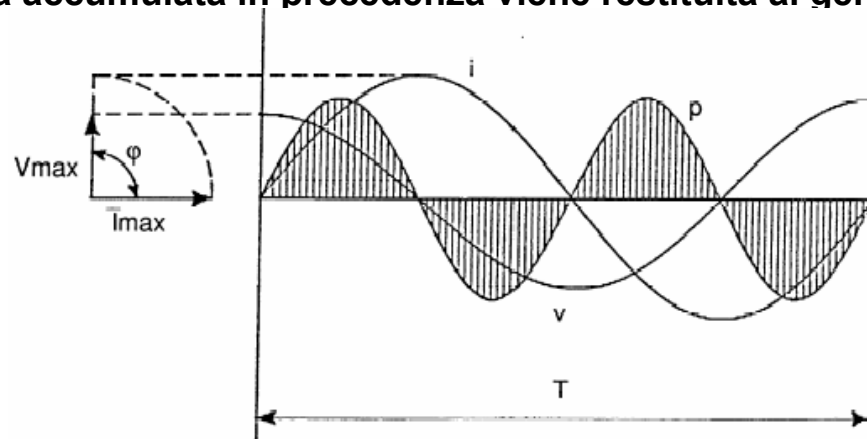
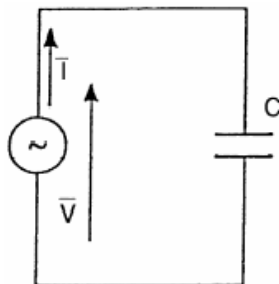
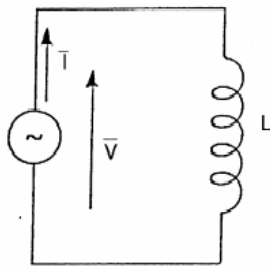
$$P = V \cdot I \text{ (W)}$$

In definitiva:

LA POTENZA ATTIVA E' DATA DAL PRODOTTO DEL VALORE EFFICACE DELLA TENSIONE PER IL VALORE EFFICACE DELLA CORRENTE.

Potenza reattiva

Dai diagrammi della potenza istantanea per circuiti induttivi o capacitivi, si osserva che la potenza istantanea ha andamento sinusoidale: positiva la trasmissione di potenza avviene dal generatore all'utilizzatore (durante la semionda positiva si ha un accumulo di energia nella bobina o nel condensatore); negativa la trasmissione di potenza avviene dall'utilizzatore verso il generatore (durante la semionda negativa l'energia accumulata in precedenza viene restituita al generatore).



Potenza reale

LE DUE SEMIONDE POSITIVE E NEGATIVE SONO UGUALI per cui, se si considera la potenza media in un periodo, questa risulta nulla : **NON VIENE QUINDI EROGATA POTENZA REALE** (ad esempio sotto forma di calore).

Ciò è perfettamente coerente in quanto l'unico componente che dissipa potenza (attiva) è la resistenza, mentre nei condensatori e nelle induttanze (elementi reattivi) si ha solo accumulo e restituzione di energia.

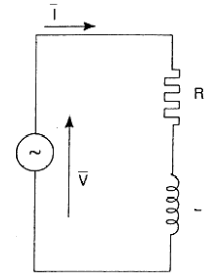
La potenza "SCAMBIATA" nei circuiti con elementi reattivi viene chiamata **POTENZA REATTIVA (Q)** ed è misurata in VAR (volt. ampère reattivi):

$$Q = V \cdot I$$

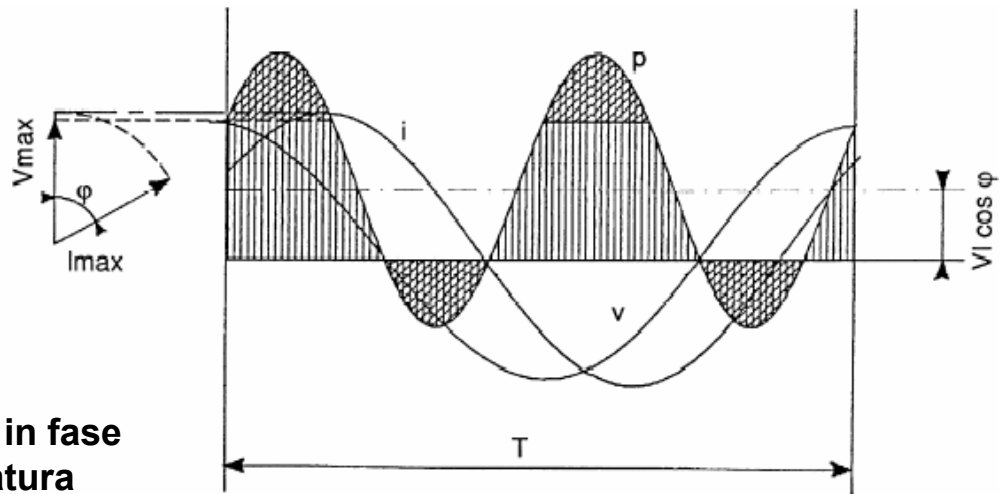
Si ricordi che tensione e corrente sono sfasati di 90°. La potenza reattiva nell'induttanza è indicata con **QL** e considerata positiva, mentre quella con condensatore è indicata con **Qc** ed è considerata negativa.

Fattore di potenza

Generalmente un circuito presenta un carico formato da una RESISTENZA e da una REATTANZA. In un circuito di questo tipo tensione e corrente sono sfasate di un angolo φ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) e la corrente è in ritardo sulla tensione. Normalmente in un circuito reattivo sono riconoscibili componenti di potenze positive e negative.



Le onde positive presentano aree maggiori di quelle negative: significa che la potenza fornita dal generatore all'utilizzatore è sempre maggiore di quella che quest'ultimo restituisce al primo. Se dall'area positiva si sottrae quella negativa, la rimanente rappresenta la potenza utilizzata dal carico (potenza reale o attiva).



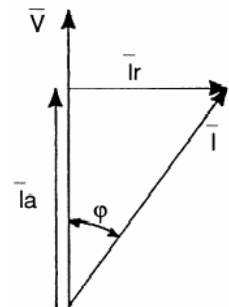
Indicando con i_a (attiva) la componente in fase con la tensione e con i_r quella in quadratura (reattiva) si ha:

$$\text{POTENZA ATTIVA} = P = V \cdot i_a \text{ (W)} \quad \text{POTENZA REATTIVA} = Q = V \cdot i_r \text{ (VAR)}$$

Osservando che i vettori i_a , i_r ed i costituiscono un triangolo rettangolo

$i_a = i \cos \varphi$ $i_r = i \sin \varphi$ e quindi

$$P = V \cdot i \cos \varphi \text{ (W)} \quad \text{e} \quad Q = V \cdot i \sin \varphi \text{ (VAR)}$$



Dove $\cos \varphi$ = FATTORE DI POTENZA (angolo di sfasamento)



La Potenza Nominale (o apparente)

In pratica il fattore di potenza è un numero compreso tra 0 e 1 ed è uguale al coseno dell'angolo corrispondente alla differenza di fase cioè:

$$\text{Fattore di Potenza} = \cos(\Phi) = R / Z$$

In un circuito di tipo puramente resistivo, in cui la tensione e la corrente sono in fase si ha $\Phi = 0$ e $\cos(\Phi) = 1$ e quindi:

$$\text{Potenza (Watt)} = V \times I \times 1$$

In un circuito in cui ci sia solo induttanza o capacità (cosa possibile solo in teoria, poiché tutti i circuiti hanno una certa resistenza), si ha $\Phi = 90^\circ$ e $\cos(\Phi) = 0$. In questo caso la potenza dovrebbe essere uguale a 0, con la conseguenza che tutta l'energia immagazzinata nell'induttanza e nel condensatore durante una prima metà di ciclo viene restituita nella seconda metà e perciò la potenza netta risultante sarà uguale a zero.

Le potenze nominali sono molto spesso misurate in VOLTAMPERE (VA) cioè:

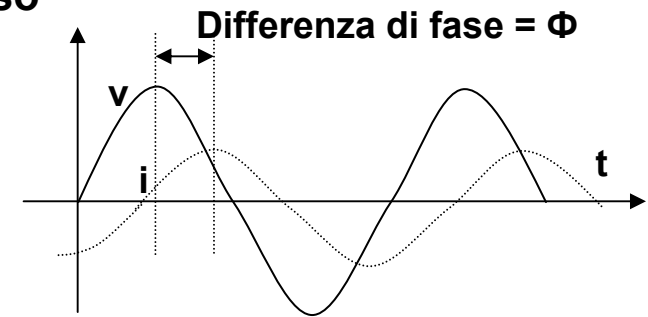
$$\text{Potenza (VA)} = V \times I$$

Per questo la misura del valore VA di un solenoide permette di determinare la corrente se si conosce la tensione di alimentazione cioè:

$$I = VA / V$$

ne consegue che:

$$\text{Potenza (Watt)} = \text{Potenza(VA)} \times \text{fattore di Potenza}$$



Esempio

La bobina di un solenoide alimentato in c.a. a 110 V e 50 Hz ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di 0,5H (con una capacità trascurabile): si calcoli la potenza del solenoide in Watt e il valore VA.

Soluzione

Impedenza (Z) = 157 Ω

Corrente (I) = $V/Z = 110/157 = 0,7$ Ampere

quindi il valore di VA = $110 \times 0,7 = 77$ VA

Fattore di potenza = $\cos(\Phi) = R / Z = 10/157 = 0,064$

pertanto

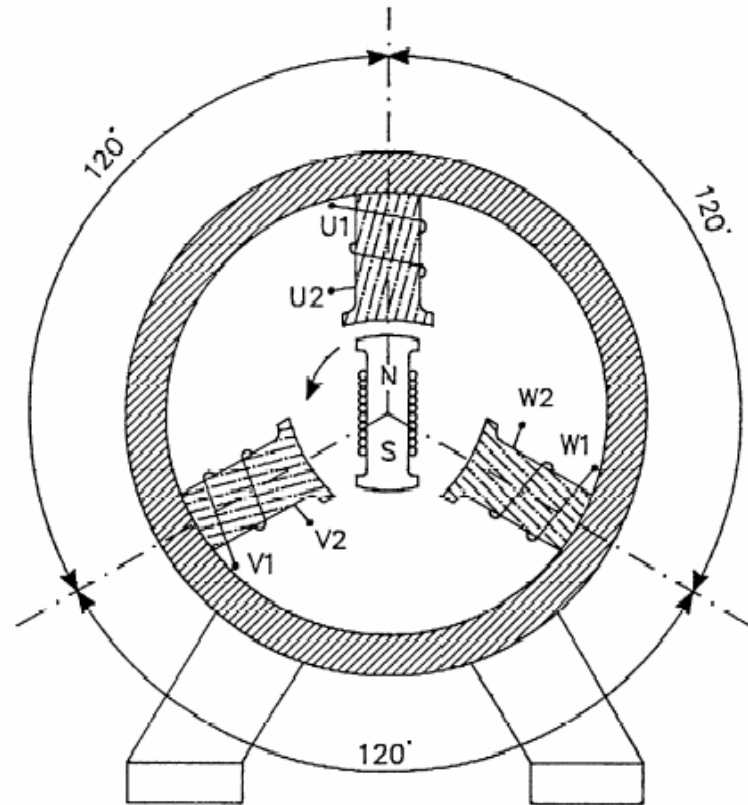
la potenza (Watt) = VA x Fattore di Potenza = $77 \times 0,064 = 4,9$ W

Corrente alternata trifase

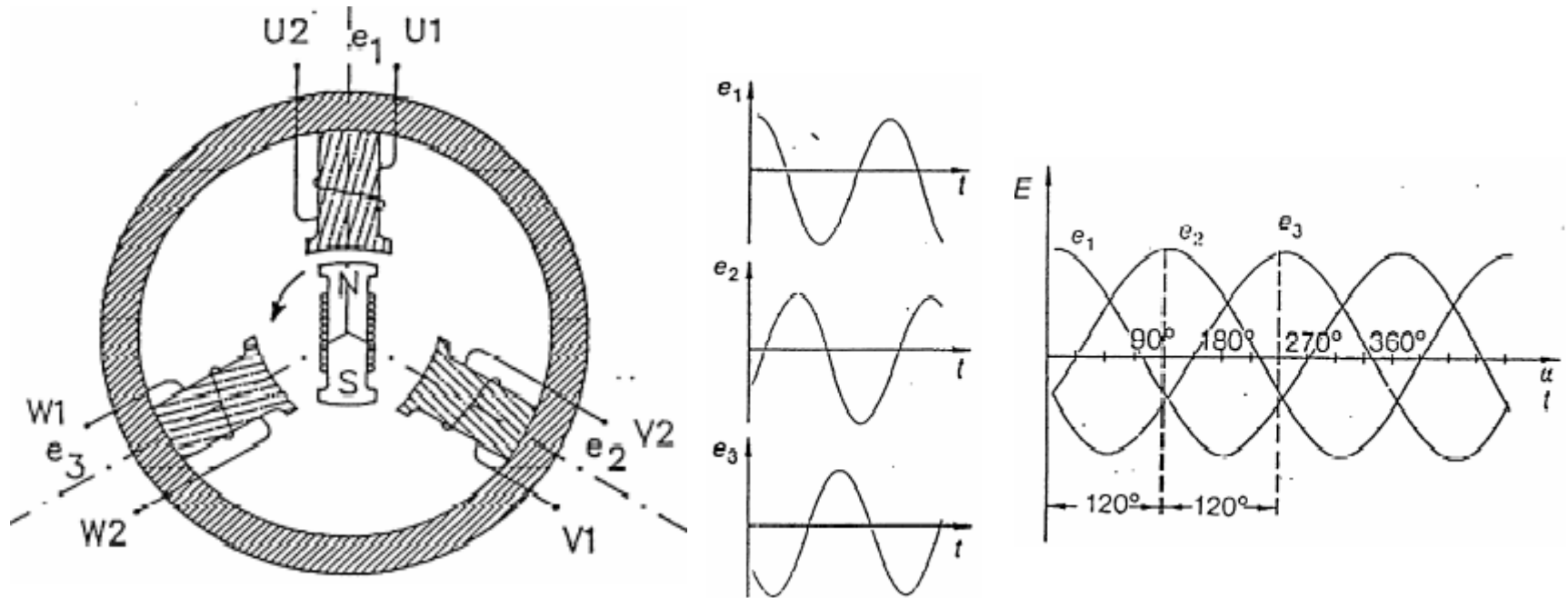
Generatore trifase

Per la produzione e la distribuzione di energia elettrica si usa il sistema a corrente alternata trifase.

Tre avvolgimenti, identici fra loro e disposti a 120° , vengono interessati da un campo magnetico rotante, generato dall'avvolgimento del rotore che è tenuto in rotazione da un motore primario (ad esempio una turbina). Come conseguenza dei fenomeni elettromagnetici che intervengono in essi si formano tre tensioni uguali. L'intensità massima del campo magnetico del rotore interessa i singoli avvolgimenti a intervalli di 120° , quando cioè il polo magnetico è di fronte all'avvolgimento: HANNO COSI' ORIGINE TRE TENSIONI UGUALI MA CHE PRESENTANO L'UNA NEI CONFRONTI DELL'ALTRA SFASAMENTI DI 120°



Andamento delle tensioni in generatore trifase



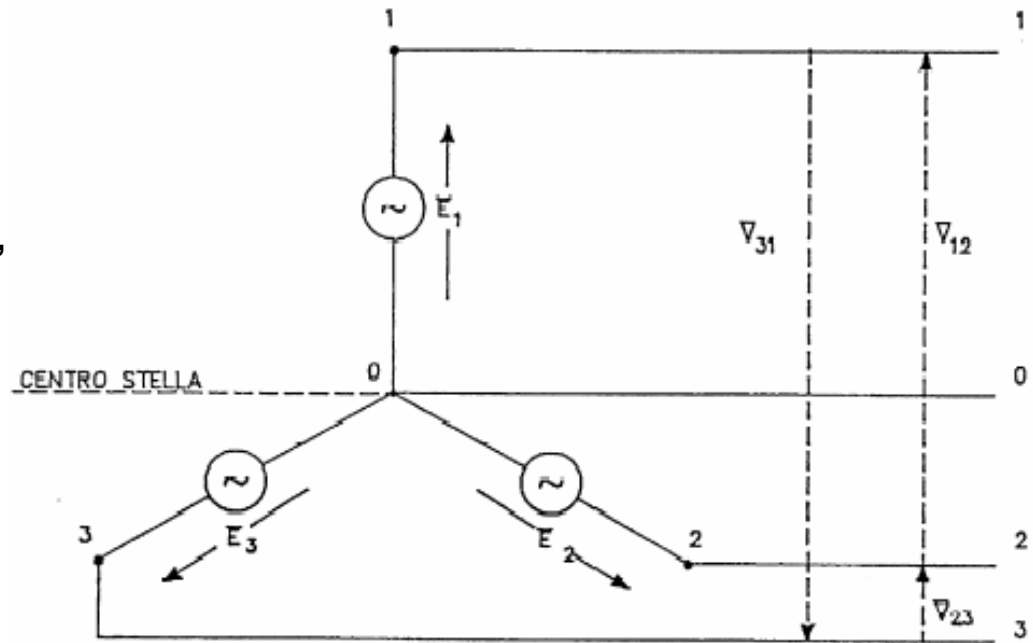
LO SFASAMENTO NELLO SPAZIO DI 120° DOVUTO ALLA DISPOZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI E' TRASFORMATO IN UNO SFASAMENTO NEL TEMPO CORRISPONDENTE AD UN TERZO DI PERIODO ($1/3$) ED EQUIVALENTE A 120° .

Collegamento nei generatori a stella

Se si collegano tra loro i morsetti U2, V2 e W2 (non si modificano i valori delle tensioni dato che si è solo fissato un riferimento uguale per le tre fasi), si ottiene il collegamento A STELLA del generatore trifase. Il punto comune viene chiamato CENTRO STELLA. Dai morsetti liberi di ogni avvolgimento si derivano le linee di alimentazione. Si ottiene così un sistema di tensioni trifase che risulta costituito da tre tensioni alternate sinusoidali, sfasate di 120° .

In alcune situazioni si rende disponibile un quarto filo collegato al centro stella, chiamato conduttore NEUTRO. Si ha allora un sistema trifase con neutro. Negli schemi i conduttori delle varie fasi vengono indicati ordinatamente con i numeri 1, 2, 3, 0 (neutro) oppure con le lettere maiuscole R, S, T, N (neutro). Risultano allora disponibili:

- a) Tre tensioni di fase indicate con E_1 , E_2 , E_3 , tra i fili di linea e il centro stella (o filo neutro).
- b) Tre tensioni concatenate indicate con V_{12} , V_{23} , V_{31} , tra i conduttori di linea, composte ognuna da due tensioni di fase.



Sistema di tensioni simmetrico

Un sistema di tensioni si dice **SIMMETRICO** se queste hanno ampiezza uguale e sono sfasate tra loro di angoli uguali.

Ad esempio:

$$E_1 = E_2 = E_3 \quad E = 220V$$

con gli angoli di sfasamento reciproco uguali a 120° .

Nell'ipotesi della simmetria vale la relazione

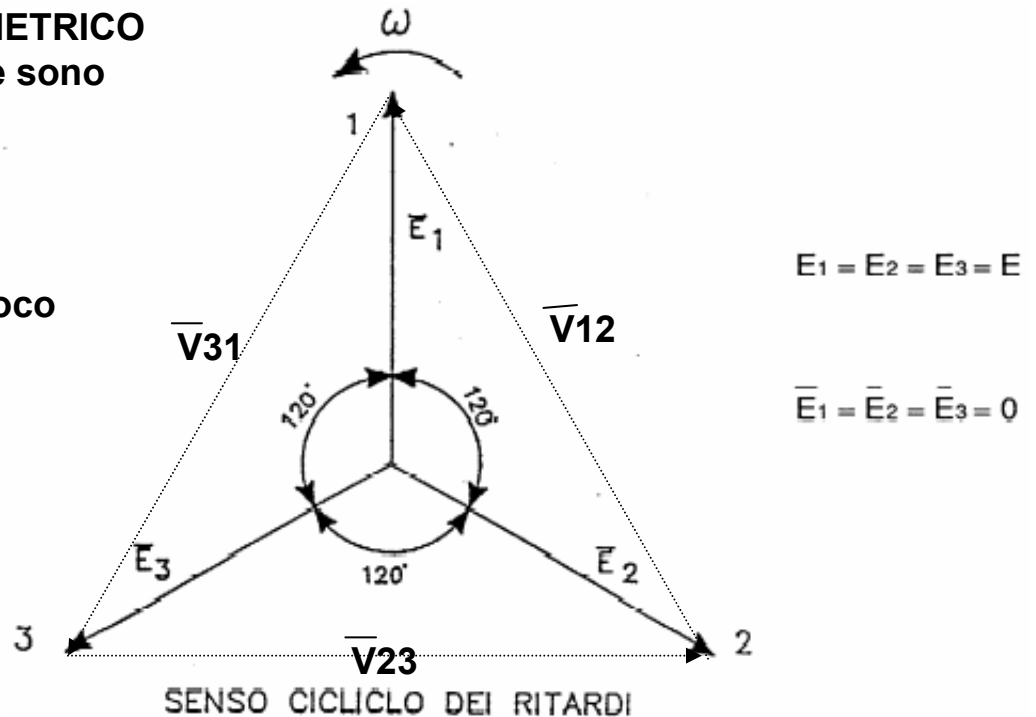
$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = 0$$

Si ricorda che la somma indicata non può essere intesa come una semplice addizione di numeri, perché le tensioni hanno direzioni diverse.

Si deve ricorrere alla composizione dei vettori, così come si fa per le forze. Se le tensioni stellate costituiscono un sistema simmetrico risulta pure simmetrico il sistema di tensioni concatenate, per cui si ha:

$$V_{12} = V_{23} = V_{31} = V$$

(con V si è indicato il valore comune, ad esempio 380V). Gli angoli di sfasamento reciproco tra le tensioni concatenate sono ancora di 120° .



Tensioni concatenate

Il legame tra le tensioni concatenate e le tensioni stellate può essere dedotto osservando che ogni tensione concatenata si compone di due tensioni stellate. Ad esempio V_{12} è la tensione tra il filo 1 e 2. Poiché il filo 2 è preso come riferimento, il percorso sarà: morsetto 2 / generatore $\vec{E}_2$ che viene percorso in senso opposto all'orientamento ($-\vec{E}_2$) / centro stella/generatore $\vec{E}_1$, percorso in senso concorde all'orientamento ($\vec{E}_1$) / morsetto 1.

Quindi: $V_{12} = E_1 - E_2$

Analogamente per gli altri casi:

$$\bar{V}_{12} = \bar{E}_1 - \bar{E}_2$$

$$\bar{V}_{23} = \bar{E}_2 - \bar{E}_3$$

$$\bar{V}_{31} = \bar{E}_3 - \bar{E}_1$$

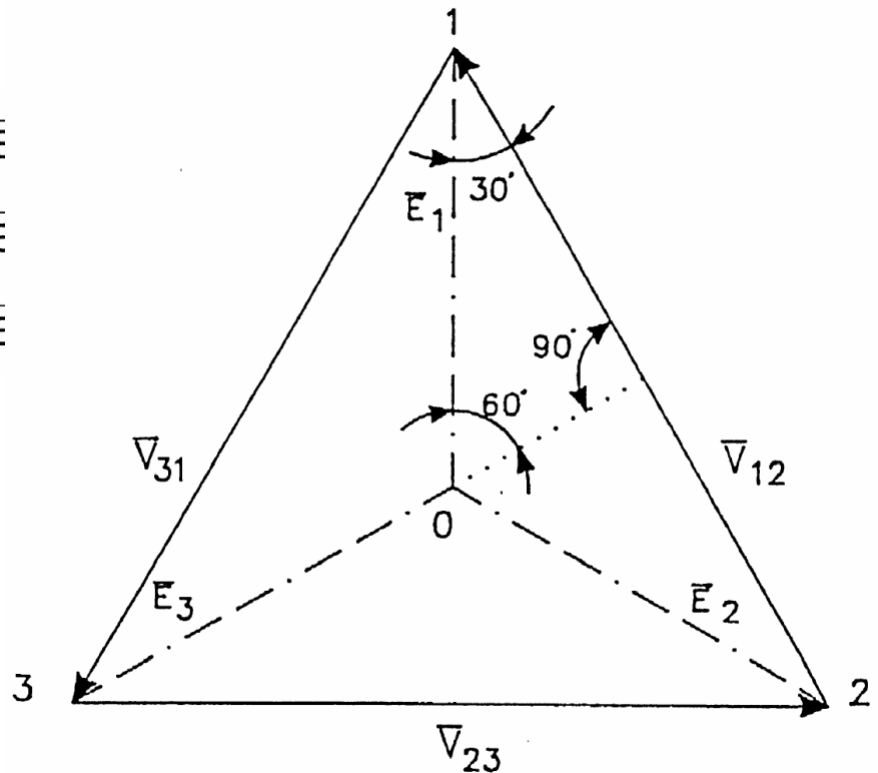
Nei sistemi simmetrici trifase

$$V = \sqrt{3} E$$

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

In cui $\sqrt{3} = 1,73$

Il fattore $\sqrt{3}$ è anche detto fattore di concatenamento



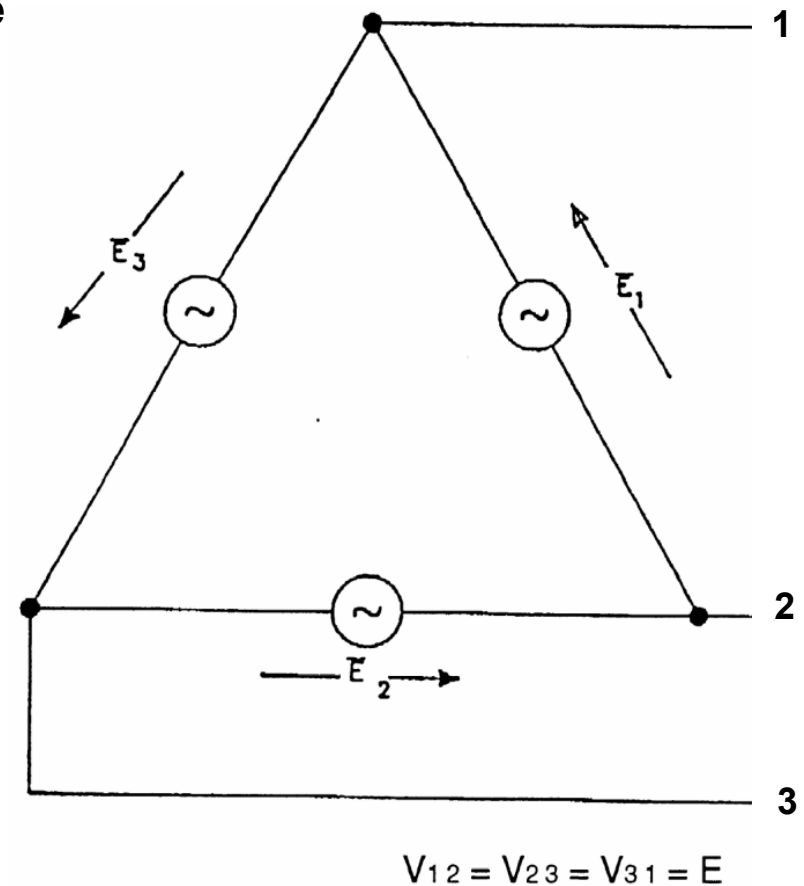
Collegamento dei generatori a triangolo

Le fasi del generatore trifase possono essere collegate anche a triangolo.

In questo caso la tensione concatenata è uguale alla tensione di fase.

Disponendo di un sistema di tensioni di fasi simmetriche del valore di 220V, si possono ottenere:

- a) tre tensioni di 220V prelevabili tra fase e neutro. Tre tensioni di 380V prelevabili tra le fasi con il collegamento a stella;
- b) tre tensioni di 220V prelevabili tra le fasi con il collegamento a triangolo.



Collegamento di resistenze a stella

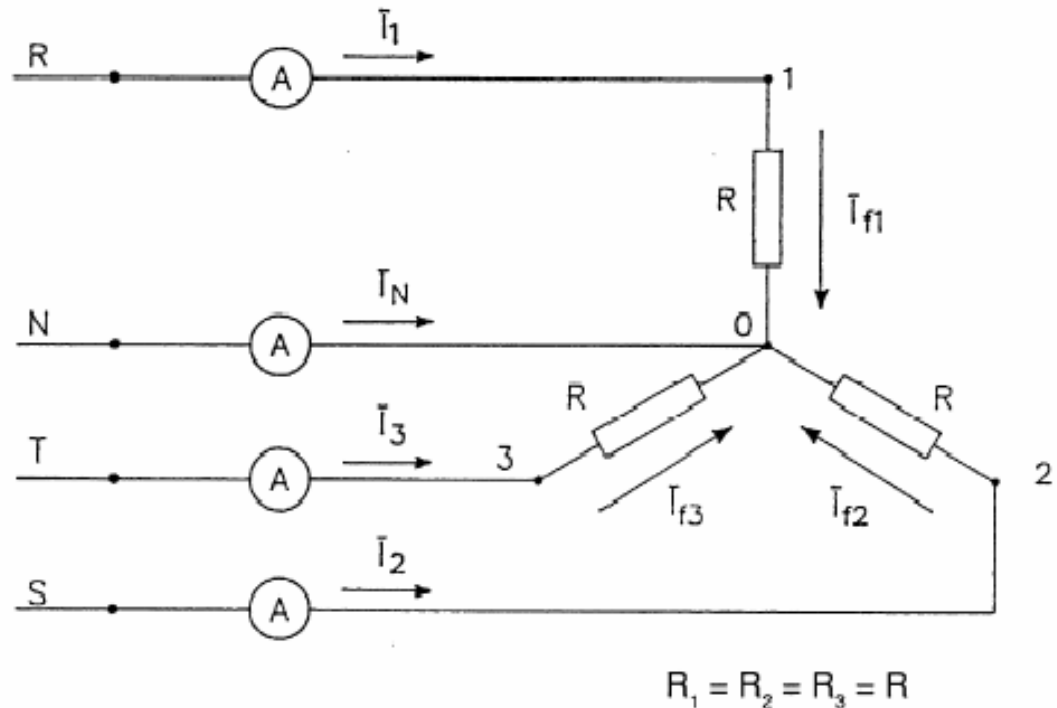
Si supponga di alimentare un carico costituito da tre resistenze collegate a stella con una terna di tensioni simmetriche

Se le tre resistenze sono di valore uguale, $R_1 = R_2 = R_3 = R$, le tre correnti:

$$\begin{matrix} E & E & E \\ (I_{f1} = \frac{E}{R_1}, I_{f2} = \frac{E}{R_2}, I_{fa} = \frac{E}{R_3}) \end{matrix}$$

risultano uguali in valore ed ugualmente sfasate tra di loro (120°).

Il sistema si dice **EQUILIBRATO** e l'insieme delle tre resistenze uguali costituisce un **CARICO EQUILIBRATO**.



Inoltre le correnti nei conduttori (11,12,13) sono uguali alle correnti nelle resistenze (I_{f1} , I_{f2} , I_{f3}).

Le correnti scorrono verso il centro stella e perciò si sommano: $I_N + I_1 + I_2 + I_3 = 0$

Ma in un sistema equilibrato: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ Quindi anche $I_N = 0$

Le correnti di un carico a stella

In un collegamento a stella di un carico equilibrato alimentato da tensioni simmetriche:

- le tre correnti di linea sono di uguale valore ed il conduttore neutro non è percorso da corrente.
- la corrente di linea (I_{LS}) è uguale alla corrente che scorre nella rispettiva fase (I_{fs})

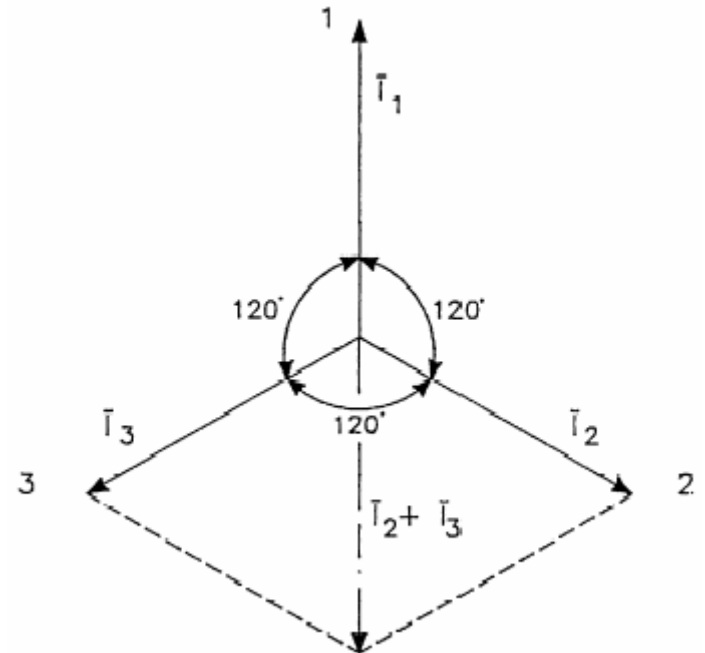
$$I_{LS} = I_{fs}$$

- la tensione concatenata (o di linea) è maggiore della tensione di fase

$$V = \sqrt{3} E$$

Se ad esempio le tensioni di linea sono $V = 380 \text{ V}$, ogni resistenza del carico equilibrato è alimentata con la tensione

$$E = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$



Collegamento di resistenze a triangolo

I carichi nei sistemi trifasi possono essere collegati anche a triangolo. Consideriamo tre resistenze collegate a triangolo, supponendo sempre che le tensioni di alimentazione costituiscano una terna simmetrica.

Se le tre resistenze sono di valore uguale ($R_1 = R_2 = R_3 = R$) le tre correnti

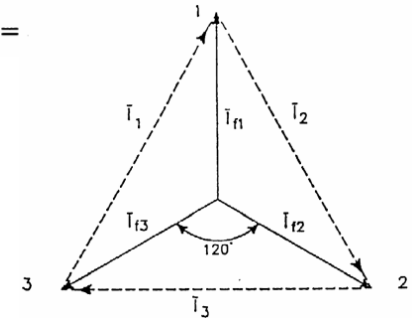
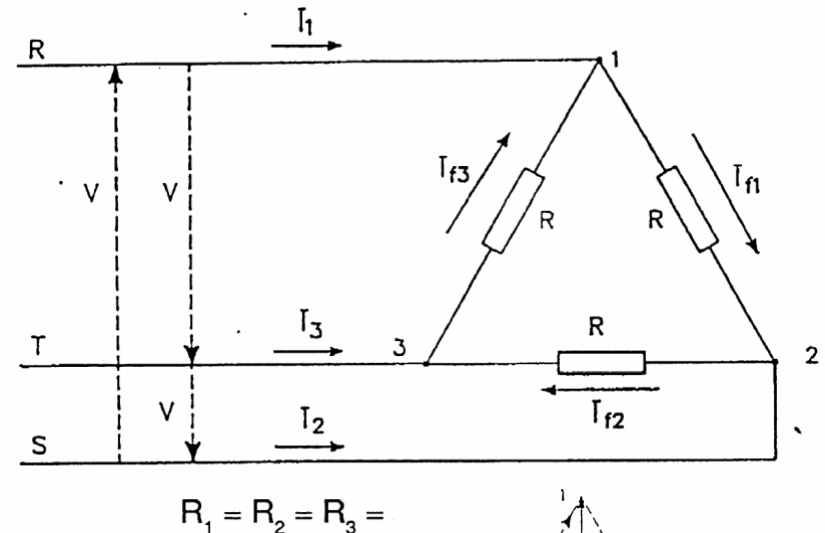
$$(I_{f1} = \frac{V}{R_1} ; I_{f2} = \frac{V}{R_2} ; I_{f3} = \frac{V}{R_3})$$

risultano uguali in valore ed ugualmente sfasate tra di loro di 120° (sistema equilibrato nelle correnti e di carico equilibrato).

Ora, però, le correnti di fase non coincidono più con le correnti di linea come nel collegamento a stella: le correnti di linea si suddividono nei punti di diramazione 1, 2, 3 e la loro intensità è maggiore della corrente di fase. Precisamente:

$$I_{Lt} = \sqrt{3} \cdot I_{ft}$$

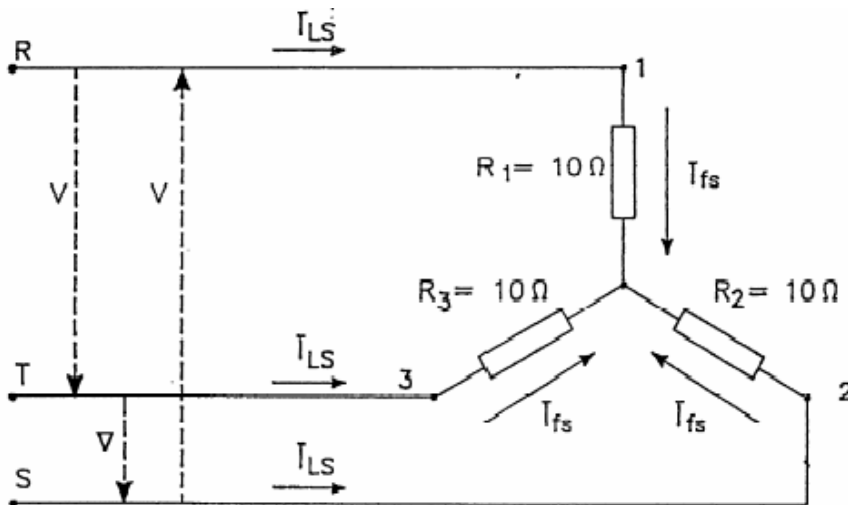
- le tensioni sulle singole fasi del carico sono uguali alle tensioni concatenate:
- la corrente di linea (I_{Lt}) è maggiore della corrente di fase (I_{ft})



$$V = E$$

Confronto tra collegamento a stella e a triangolo

Utilizzando la stessa rete di alimentazione ($V = 380 \text{ V}$) si verifichino le diverse prestazioni



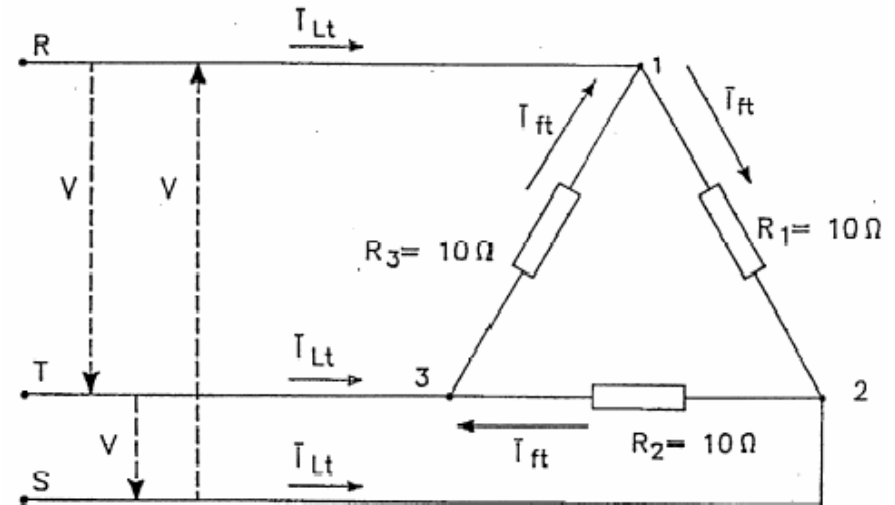
$$E = V / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ V}$$

$$I_{fs} = E / R = 220 / 10 = 22 \text{ A}$$

$$I_{ls} = I_{fs} = 22 \text{ A}$$

$$P_{fs} = E^2 / R = V^2 / 3R = 380^2 / 3 \cdot 10 = 4,817 \text{ Kw}$$

$$P_s = 3 \cdot P_{fs} = 3 \cdot \frac{V^2}{3R} = \frac{V^2}{R} = \frac{380^2}{10} = 14,44 \text{ Kw}$$



$$V = E = 380 \text{ V}$$

$$I_{ft} = V / R = 380 / 10 = 38 \text{ A}$$

$$I_{lt} = \sqrt{3} I_{ft} = 1,73 \cdot 38 = 66 \text{ A}$$

$$P_{ft} = V^2 / R = 380^2 / 10 = 14,44 \text{ Kw}$$

$$P_t = 3 P_{ft} = 3 \cdot \frac{V^2}{R} = 3 \cdot \frac{380^2}{10} = 43,32 \text{ KW}$$

Potenza nei sistemi trifase

Nel caso di un motore asincrono trifase il carico è costituito da tre carichi uguali comprendenti una resistenza ed una induttanza.

Come si è visto, la potenza sviluppata in una fase è data dal prodotto del valore efficace della tensione per quello della corrente e per il fattore di potenza. Nel caso di collegamento a stella:

$$P_{fs} = E I \cos \varphi$$

Per il sistema trifase la potenza sviluppata è data dalla somma delle potenze sviluppate nelle singole fasi:

$$P = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3}$$

Nel caso di simmetria delle tensioni e di equilibrio:

$$P_s = 3 (E I \cos \varphi)$$

Nel caso di collegamento a triangolo si deve fare un ragionamento analogo utilizzando le grandezze tipiche di tale connessione.

E' tuttavia utile esprimere le potenze indipendentemente dal tipo di connessione del carico, utilizzando solo gli elementi di linea, cioè tensioni concatenate (V) e correnti di linea (I).

La potenza attiva, reattiva ed apparente sono definite da espressioni analoghe a quelle valide in monofase, in quanto differiscono da quelle solo per il fattore numerico ...3.

Inoltre sono le stesse sia per il collegamento a stella che per quello a triangolo.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \varphi \text{ (W)}$$

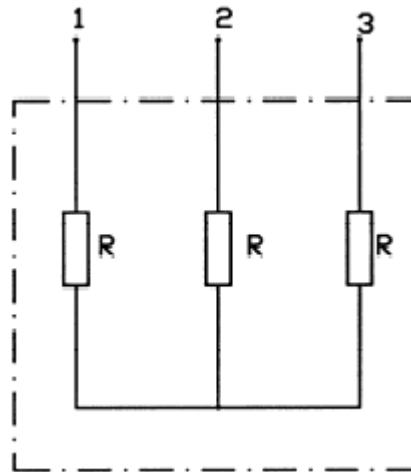
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \sin \varphi \text{ (VAR)}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)}$$

Misura della resistenza di fase collegamento a stella

Con un tester si misura la resistenza tra una qualsiasi coppia di morsetti esterni.

Dalla figura si nota che, in questo modo, si è misurata la serie delle resistenze della fase 1 e della fase 2:



$$R_{f1} = R_{f2} = R_{f3} = R$$

$$R = \frac{1}{2} R_{12}$$

$$R_{12} = R_{f1} + R_{f2}$$

Se il carico è equilibrato ($R_{f1} = R_{f2} = R_{f3} = R$) si ha:

$$R_{12} = 2 \cdot R$$

e da qui si ricava facilmente il valore della resistenza della singola fase:

$$R = R_{12}/2$$

La resistenza di fase risulta la metà del valore della resistenza misurata tra due morsetti.

Misura della resistenza di fase collegamento a triangolo

Con un tester si effettua la misura della resistenza tra i morsetti 1 e 2. Il valore R_{12} è la resistenza equivalente del parallelo della resistenza della fase 1 con la serie delle fasi 2 e 3:

$$R_{12} = R_{f1} // (R_{f2} + R_{f3})$$

quindi

$$R_{12} = \frac{R_{f1} (R_{f2} + R_{f3})}{R_{f1} + R_{f2} + R_{f3}}$$

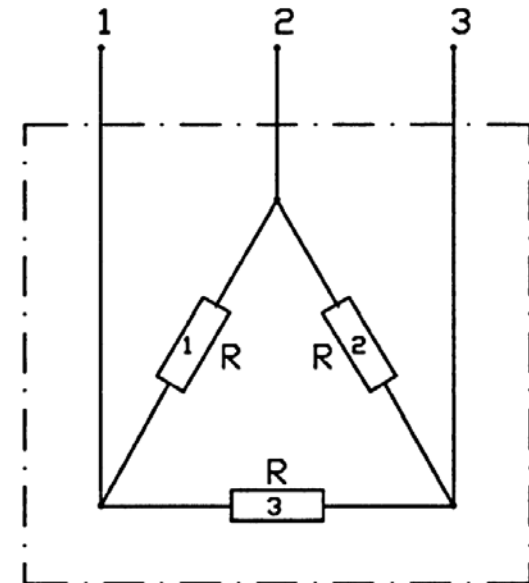
Se il carico è equilibrato ($R_{f1} = R_{f2} = R_{f3} = R$)

$$R_{12} = \frac{R \cdot 2R}{3R} = \frac{2R^2}{3R} = \frac{2}{3}R$$

e da qui si ricava facilmente il valore della resistenza della singola fase:

$$R = \frac{3}{2} R_{12} = 1,5 R_{12}$$

La resistenza di fase risulta 1,5 volte più grande della resistenza misurata tra due morsetti.



$$R = \frac{3}{2} R_{12} = 1,5 R_{12}$$

Elettronica

Alimentatori

In molti casi una apparecchiatura elettrica è alimentata da una rete principale, che, come si è detto, è di solito a corrente alternata a 240 V e 50 Hz.

Quando in un sistema di controllo si usano componenti del tipo a semiconduttori (ad esempio transistor), allora questa tensione deve essere abbassata ad un livello molto minore e l'alimentazione deve essere convertita da ca. a cc. I componenti che effettuano la riduzione e la conversione sono generalmente definiti alimentatori.

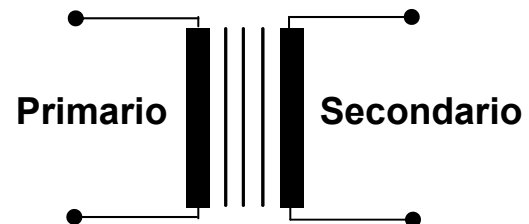
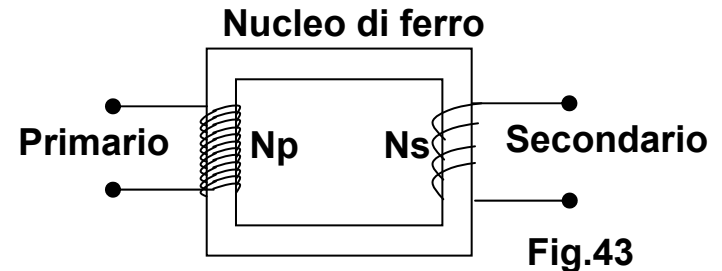
Trasformatori

Il primo compito di un alimentatore è quello di ridurre la tensione di rete al valore necessario al funzionamento degli altri componenti del sistema. Il dispositivo che compie questa operazione viene detto TRASFORMATORE ed è costituito da due o più bobine avvolte su un nucleo comune di ferro (fig.43).

Il valore della tensione nel secondario dipende dal numero di spire degli avvolgimenti primario e secondario cioè:

$$V_s = V_p \times N_s / N_p$$

perciò, se $N_s < N_p$ la tensione diminuisce
e se $N_s > N_p$ la tensione aumenta



Raddrizzamento

La seconda funzione, detta di raddrizzamento, dell'alimentatore è di convertire la tensione ridotta in uscita del trasformatore da corrente alternata in continua.

Il metodo più semplice di raddrizzamento è quello di utilizzare un diodo, come si vede in fig.45.

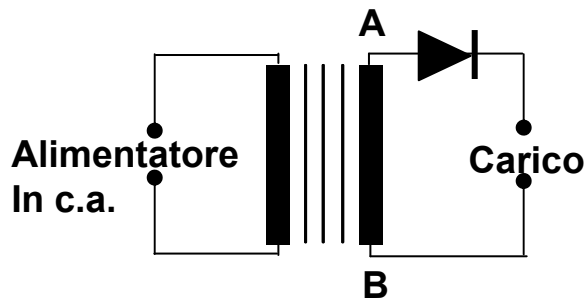


fig.45

Siccome il diodo permette il passaggio di corrente solo in una direzione, la corrente può passare attraverso il carico quando A è positiva rispetto a B ma sarà interrotta quando B è positiva ed A è negativa cioè:

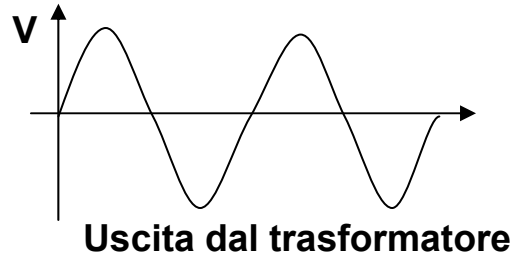


fig.46

Come si può vedere dalla fig.46, la corrente attraversa il carico solo in una direzione, condizione che si verifica solamente in una metà del ciclo. Questa soluzione è conosciuta come **RADDRIZZAMENTO A SEMIONDA** e pur essendo molto semplice, non è molto efficace (poiché si utilizza solo metà del ciclo), e non dà neanche una tensione a cc. costante in uscita .

Raddrizzamento a onda completa

Una soluzione più efficace è quella di usare quattro diodi disposti a ponte come si può vedere in fig.47.

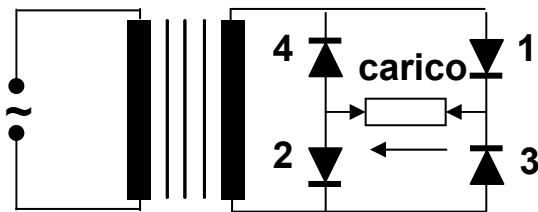
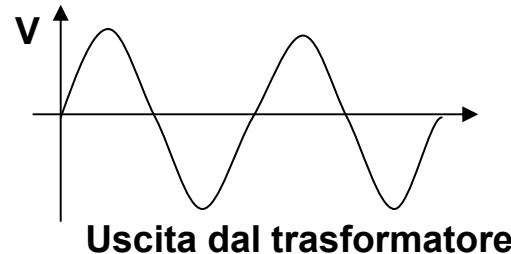


Fig.47



Uscita dal trasformatore



Corrente che passa attraverso il carico

Quando A è positiva, la corrente passerà da destra a sinistra, attraversando il carico, per mezzo dei diodi 1 e 2. Quando B è positiva, la corrente passerà ancora da destra a sinistra, attraversando il carico ma questa volta per mezzo dei diodi 3 e 4. Il passaggio di corrente perciò avverrà durante entrambe le semionde del ciclo (fig.48). Questa soluzione è nota come **RADDRIZZAMENTO AD ONDA COMPLETA**.

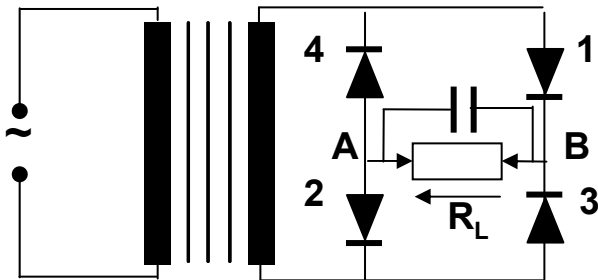
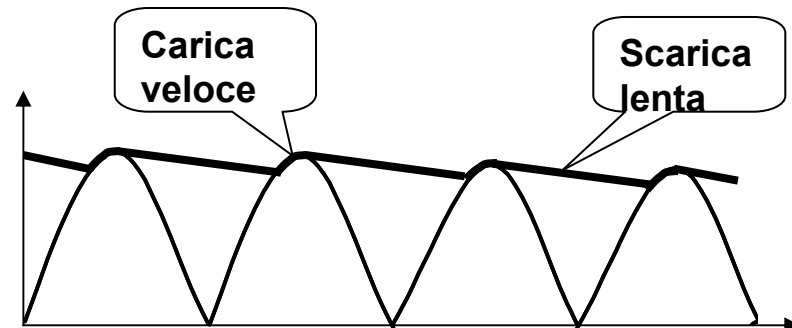
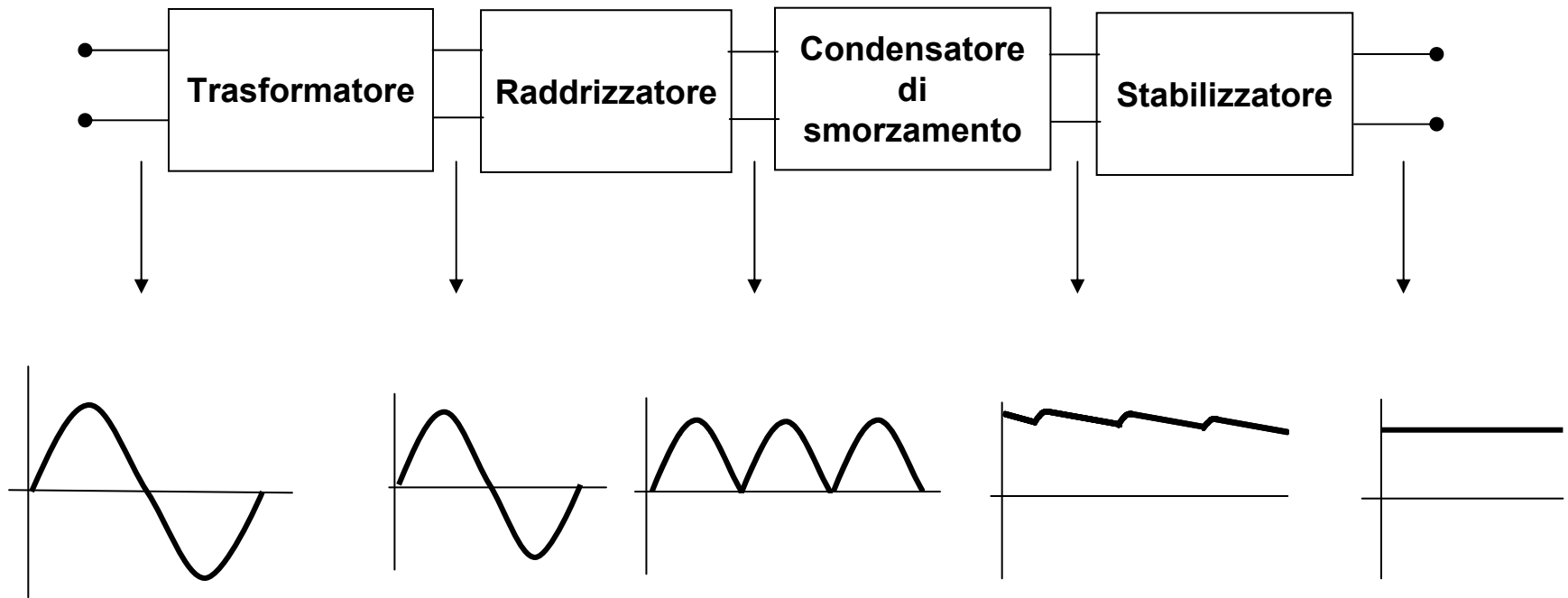


Fig.52



Alimentatore Stabilizzato

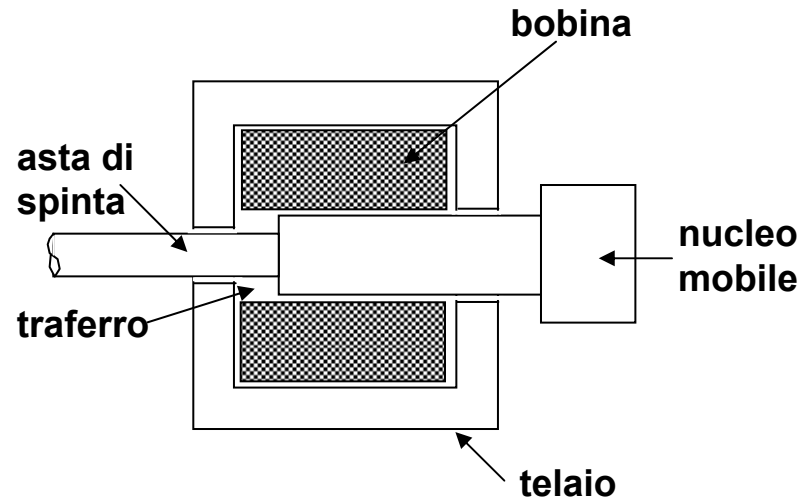


Solenoidi

In una elettrovalvola l'energia elettrica inviata alla valvola viene trasformata in energia meccanica per spostare il cursore della valvola.

Il componente che esegue questa trasformazione si chiama SOLENOIDE e può funzionare con alimentazione in ca. o in cc.

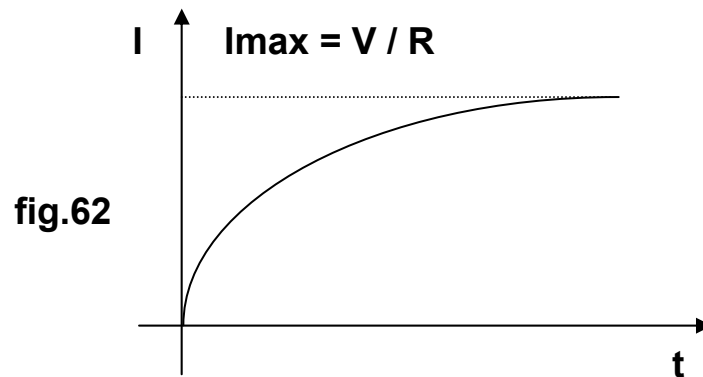
Negli ultimi anni sono stati utilizzati due tipi di solenoide : il tipo a traferro, più vecchio, viene sempre più spesso sostituito dal tipo a bagno d'olio.



Solenoidi a corrente continua

La bobina di un solenoide ha sia induttanza che resistenza e, come si è visto precedentemente, l'effetto dell'induttanza in un circuito a cc. è quello di ritardare l'incremento della corrente quando si accende l'alimentatore. L'eccitazione di un solenoide a cc. provoca perciò una crescita graduale della corrente nel solenoide fino al suo valore massimo (fig.62).

La massima intensità della corrente si calcola conoscendo la tensione applicata e la resistenza della bobina ($I_{\max} = V/R$), e ciò significa che, anche se il cursore si è bloccato e l'armatura non è stata spinta dentro, la corrente nel solenoide non può superare il suo valore massimo normale.



Solenoidi a corrente alternata

Applicando una tensione in ca. ad un solenoide si otterrà una variazione della corrente e del campo magnetico e si produrrà una variazione della forza generata dal solenoide. Quando la corrente nel solenoide è massima (sia positiva che negativa) sarà massima anche la forza generata dal solenoide. Quando la corrente passa per lo zero la forza del solenoide diminuisce provocando un caratteristico effetto di crepitio perché la molla del cursore tende a spingere all'indietro l'armatura.

L'intensità della corrente in una bobina a ca. si determina conoscendo la tensione applicata e l'impedenza della bobina ($I = V/Z$). L'impedenza della bobina è in gran parte dovuta a due componenti: la resistenza e la reattanza induttiva cioè:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Mentre la resistenza della bobina può variare se si riscalda, l'induttanza varia in modo considerevole a seconda che il solenoide sia o meno eccitato. Quando il solenoide è diseccitato, l'induttanza e quindi l'impedenza sono basse poiché il circuito magnetico non è chiuso, mentre quando il solenoide è eccitato, l'induttanza e l'impedenza saranno elevate perché si chiude il circuito magnetico.

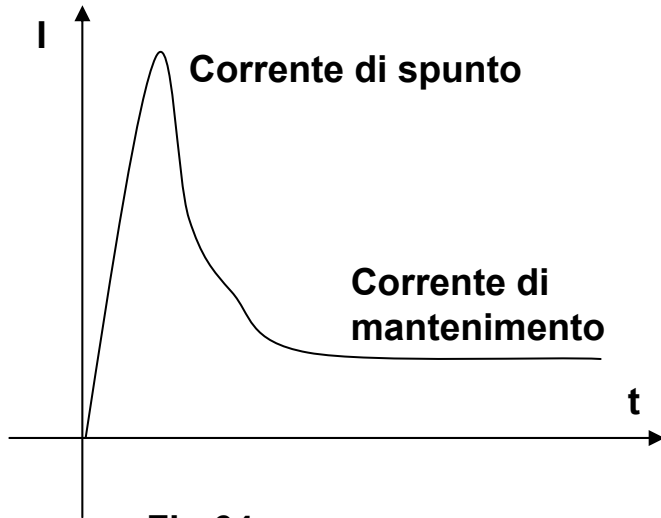


Fig.64

Ciò implica che se un solenoide in ca. è eccitato, il basso valore iniziale dell'impedenza produce una corrente di alta intensità che successivamente scende mentre l'armatura rientra e l'impedenza aumenta (fig.64).

Commutazione

La funzione fondamentale di un sistema idraulico è quello di trasmettere potenza, normalmente per spostare un carico esercitando una certa forza o coppia. In alcune applicazioni può semplicemente significare lo spostamento del carico da un arresto meccanico ad un altro. In altre applicazioni, sempre più spesso, è necessario che si possano far variare la velocità, la posizione o la forza che si può ottenere con un sistema elettrico o elettronico. Per molti anni la sequenza di lavoro delle macchine a funzionamento idraulico è stata realizzata per mezzo di fine corsa e valvole a solenoide, ma la rapida evoluzione dei componenti elettronici ha comportato un vasto e sempre più comune uso di valvole di regolazione della pressione e della portata, controllate tramite segnali elettrici modulati. Perciò dal punto di vista elettronico ci sono due tipi di valvole:

1. Valvole a solenoide on/off che possono essere commutate in due sole posizioni, on e off, al momento opportuno.
2. Valvole proporzionali che sono controllate con un segnale infinitamente variabile.

Il segnale necessario ad eccitare un solenoide può essere prelevato da diversi fonti: interruttore manuale, fine corsa, interruttore di prossimità, interruttore di livello, pressostato, termostato, microprocessore.

Generalmente tutti questi dispositivi sono commutatori a bassa potenza e non possono essere adoperati direttamente per commutare la corrente dei solenoidi che possono assorbire fino a 3-4 Ampere. Questo problema può essere risolto utilizzando relè elettromagnetici o altri tipi di interruttori allo stato solido.

Relè elettromeccanico

Si definisce relè elettromeccanico un dispositivo interruttore o commutatore azionato dalla corrente che scorre nell'avvolgimento di un elettromagnete e che è costituito da un nucleo di materiale magnetico, una bobina di eccitazione avvolta sul nucleo, da un'ancora che viene attratta quando la bobina è alimentata, da molle portacontatti e contatti, molla di richiamo, e da un telaio che serve da sostegno per le varie parti, per il fissaggio del relè e delle eventuali calotte di protezione.

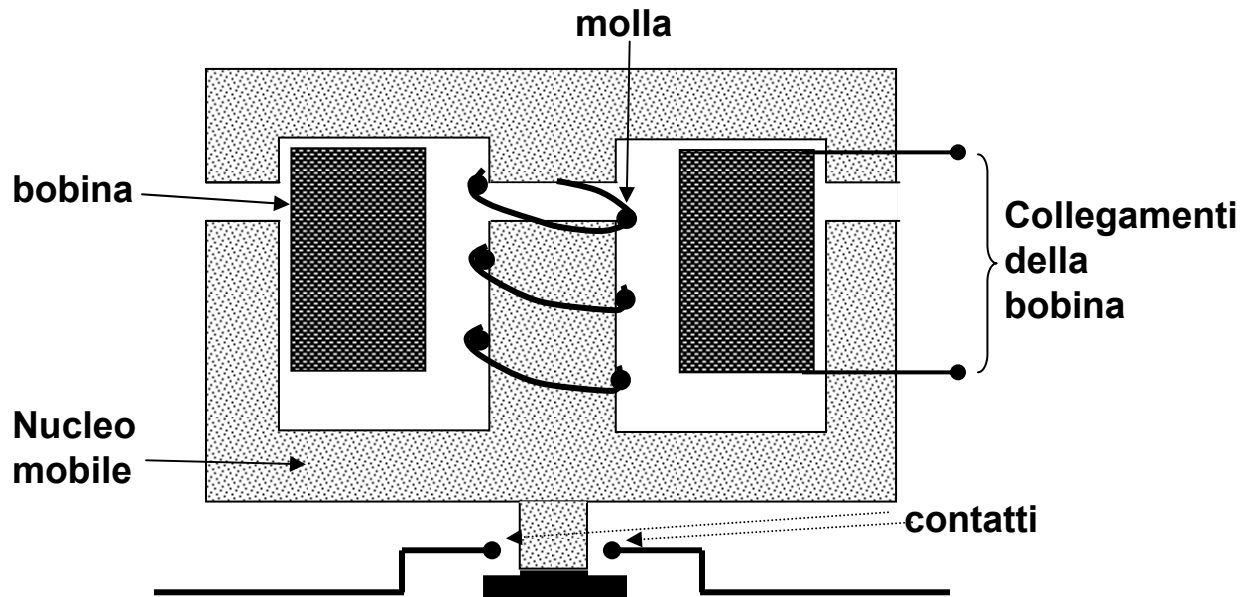


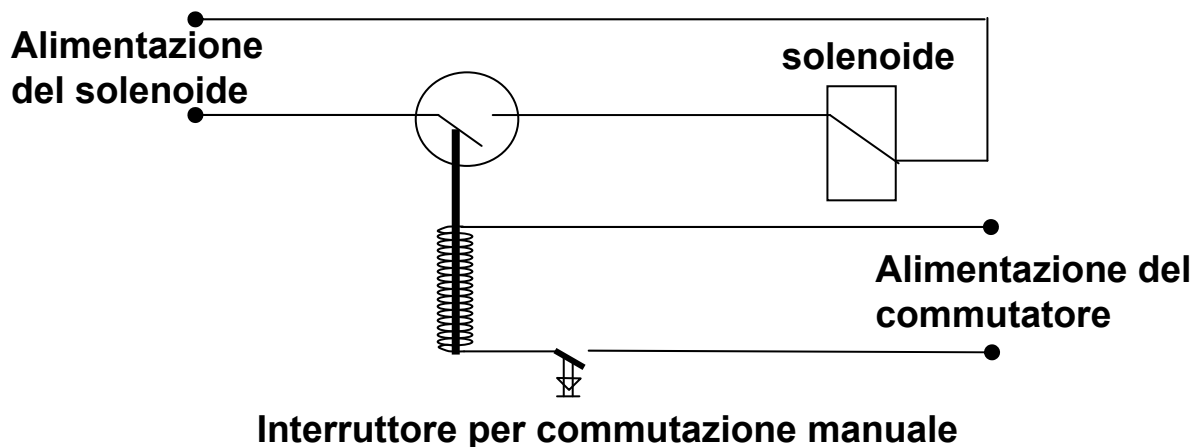
Fig.66

Applicazione del Relè elettromeccanico

Quando c'è il passaggio di corrente nella bobina del relè, il nucleo mobile viene attratto verso l'interno della bobina (quasi allo stesso modo dell'armatura di una valvola a solenoide) e in questo modo chiude i contatti principali del relè: Quindi una piccola corrente che attraversa la bobina del relè po' essere usata per commutare una corrente molto maggiore che attraversa i contatti principali. Il relè funziona in realtà in modo molto simile a una valvola direzionale a due stadi (piggy-back) in cui una piccola valvola pilota che controlla una portata di scarsa entità viene adoperata per controllare il cursore principale che a sua volta controlla una portata molto maggiore.

Diseccitando la bobina del relè la molla ritira il nucleo mobile aprendo i contatti del relè.

La fig.67 illustra una applicazione del relè in cui un segnale proveniente da un interruttore manuale eccita la bobina di un relè che a sua volta chiude i contatti del relè ed eccita il solenoide della valvola.



Relè statici o Commutatori allo stato solido

Si definisce relè statico un relè con ingresso e uscita separati galvanicamente, in cui la funzione di comando del carico avviene tramite componenti elettronici e senza parti in movimento. E' questa la principale caratteristica che contraddistingue i relè statici, oltre al basso assorbimento, all'elevato numero di operazioni, all'assenza di carichi, all'assenza di rimbalzi sui contatti e di rumore, all'alta resistenza agli urti e alle vibrazioni. Per meglio capire il loro principio di funzionamento, si possono idealmente suddividere in blocchi così identificabili: un circuito di ingresso, di comando o pilotaggio; un circuito di separazione galvanica; un circuito di commutazione a zero, che può anche non essere presente; un circuito d'uscita.

Transistor

I transistor appartengono alla categoria dei componenti definiti SEMICONDUCTORI, la cui resistività è una via di mezzo tra quella di un buon conduttore e quella di un buon isolante. Il germanio o, più frequentemente, il silicio sono i due elementi semiconduttori più usati anche se, in entrambi i casi, il materiale base deve essere trattato in modo particolare (aggiungendo delle impurità) per renderlo o del “TIPO-P” o del “TIPO-N” (positivo o negativo. Nel caso di un transistor i due tipi di materiali sono sovrapposti in modo da ottenere un transistor “PNP” o “NPN” (fig.68). I simboli di questi due tipi di transistor sono riportati in fig.69.

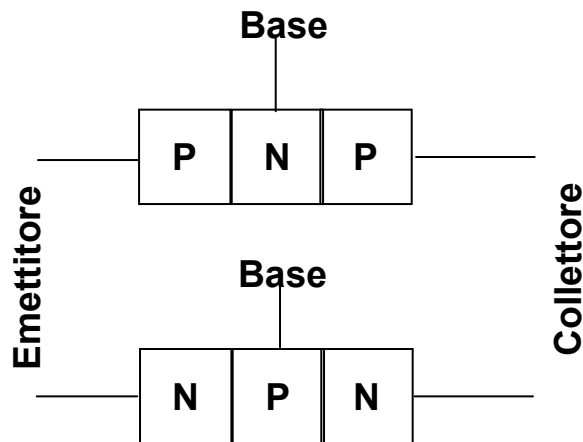


Fig.68

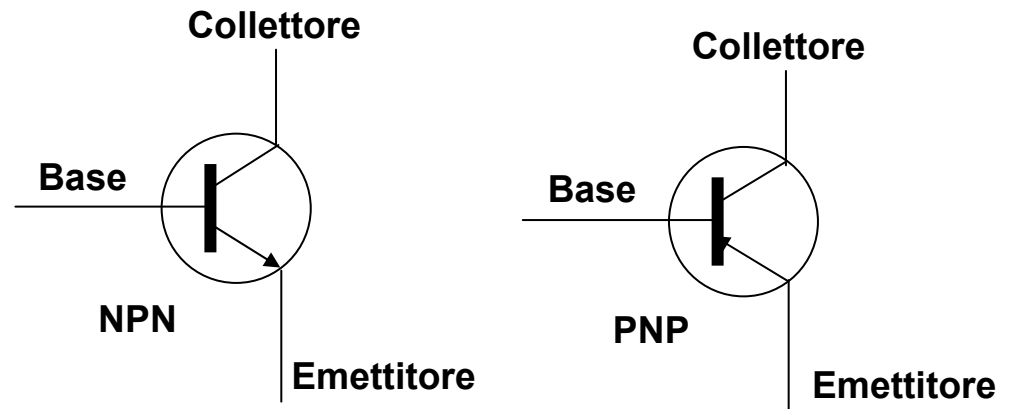
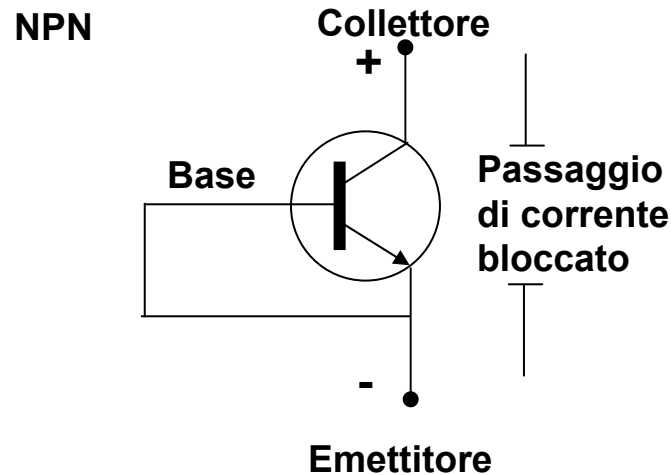


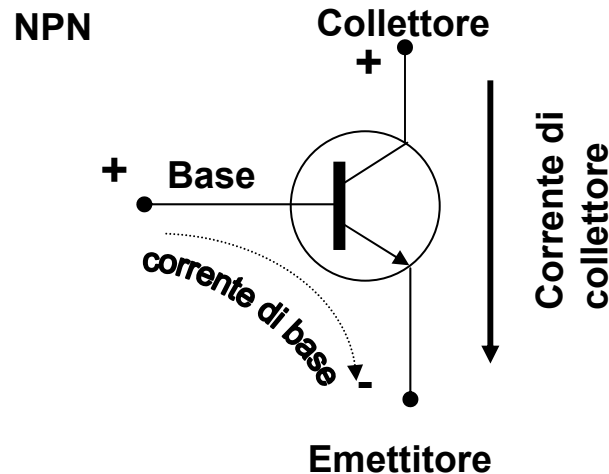
Fig.69

Transistor spento



Il collettore è collegato al polo positivo dell'alimentatore, l'emettitore al polo negativo e la base all'emettitore (quindi si trova alla stessa tensione dell'emettitore). In questo caso non può esserci passaggio di corrente tra base ed emettitore perché hanno lo stesso potenziale. Ciò comporta che il transistor non lascerà passare corrente dal collettore all'emettitore e si dice perciò che il transistor è spento.

Transistor ON



Se i collegamenti sono disposti in modo che la base sia collegata al polo positivo o che abbia un valore di tensione meno negativa dell'emettitore), una piccola corrente fluirà dalla base all'emettitore (il cui nome è corrente di base I_b).

Questa piccola corrente di base commuta il transistor nello stadio "on" permettendo che una corrente di intensità molto maggiore passi dal collettore all'emettitore (fig.72).

Il flusso della corrente principale che attraversa il transistor è diretto dal collettore all'emettitore mentre la base si comporta come un "trigger", in modo molto simile al pilotaggio di una valvola idraulica.

Transistor come interruttore

Corrente di emettitore = Corrente di collettore + Corrente di base

Corrente di base (mA) I_b	Corrente di collettore (mA) I_c	Corrente di emettitore $I_e = I_b + I_c$
0	0	0
0,5	50	50,5
1,0	100	101

Normalmente tuttavia si può ritenere che la corrente dell'emettitore sia uguale a quella del collettore poiché la corrente di base è molto piccola (di solito meno dell' 1% della corrente di emettitore).

Fondamentalmente un transistor può essere considerato come un interruttore che è aperto se non c'è corrente di base e chiuso se vi è corrente di base.

Per avere una corrente di base in un transistor NPN, la tensione della base deve essere positiva rispetto a quella dell'emettitore.

Tiristori

Data la loro struttura fisica, l'uso dei transistor è limitato a tensioni relativamente basse perciò quando è necessario commutare tensioni elevate (e quindi correnti più intense) viene utilizzato un componente detto TIRISTORE. E' un componente dotato di tre terminali che viene realizzato sovrapponendo quattro strati di materiale semiconduttore di tipo N e P, come illustrato in fig.76.

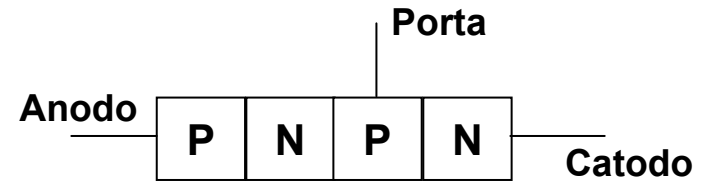
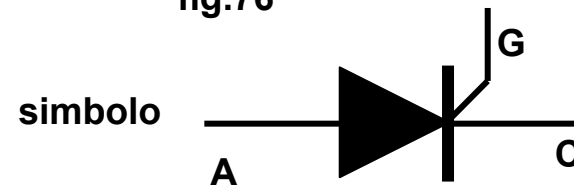


fig.76



I tre terminali vengono chiamati ANODO, CATODO e PORTA. i due terminali principali sono l'anodo e il catodo mentre la porta agisce da regolatore

Come si può vedere dalla fig.76, il simbolo del tiristore si ottiene modificando quello di un diodo e indica che la corrente attraversa il componente in un solo senso, dall'anodo al catodo. Diversamente da un diodo convenzionale, il tiristore conduce solo se la porta è regolata, cioè se al terminale della portata è applicato un potenziale positivo (rispetto al catodo).

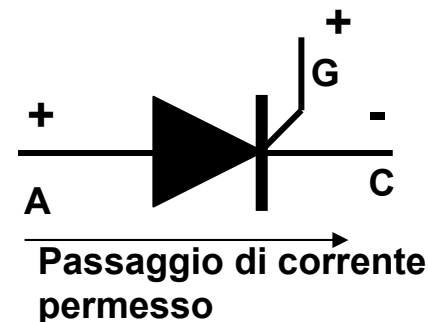
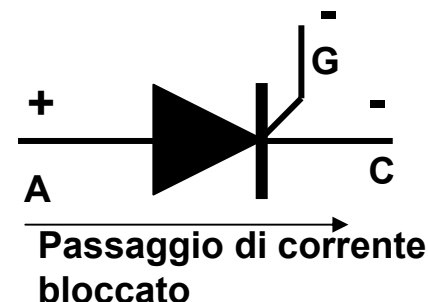
La caratteristica del Tiristore

Una caratteristica del tiristore è che una volta regolato (applicando la giusta tensione alla porta), continua a condurre, anche se viene eliminata la tensione alla porta. In altri termini, esso “si sostiene” da solo in modo molto simile ad una valvola idraulica con ritenuta meccanica.

Per resettare in “off” il tiristore, è necessario togliere o invertire la tensione anodo-catodo.

Ciò significa che un tiristore usato per commutare una tensione ca. conduce se l'anodo è positivo rispetto al catodo e se viene applicata una adeguata tensione alla porta.

Se si toglie la tensione alla porta il tiristore verrà commutato in “off” quando la tensione anodo-catodo passa di nuovo per lo zero, cioè al massimo $\frac{1}{2}$ ciclo più tardi. Indipendentemente dalla tensione alla porta, il tiristore non conduce nella direzione inversa cioè quando il catodo è positivo e l'anodo è negativo (fig.79).

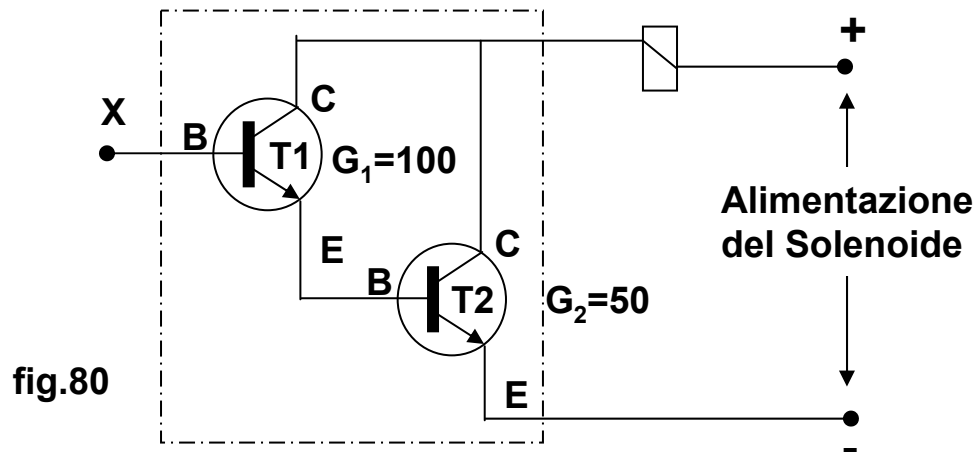


Commutatori allo stato solido

Se si usa un transistor per commutare una valvola a solenoide, la corrente necessaria può essere dell'ordine di 3-4 Ampere. In commercio sono disponibili transistor che possono commutare queste intensità di corrente (TRANSISTOR DI POTENZA) ma di solito hanno valori di guadagno bassi (al massimo circa 50). Per avere una corrente di collettore di 4 Ampere, con un guadagno di 50, la corrente di base dovrebbe essere:

$$I_b = I_c / G = 4 / 50 = 80 \text{ mA}$$

In molti casi, una corrente di 80 mA è già troppo elevata per essere regolata, specialmente quando le funzioni di controllo sono gestite da un microprocessore. Per ottenere un transistor di potenza ad alto guadagno si devono collegare due transistor come in fig.80.



Il collegamento alla base del transistor di potenza (T2) è ora effettuato con un secondo transistor T1. Applicando una tensione positiva al terminale X si genera una corrente di base in T1 che lo attiva. La corrente di emettitore risultante di T1 alimenta la base di T2 che commuta T2 in on ed eccita il solenoide.

Transistor Darlington

Se il solenoide necessita di una corrente di 4 Ampere, la corrente di base richiesta dal transistor do potenza, T2, sarà:

$$I_{b2} = I_{c2}/G2 = 4/50 = 80 \text{ mA}$$

Inoltre, per ottenere una corrente di collettore di 80 mA, in T1, sarà necessaria una corrente di base di :

$$I_{b1} = I_{c1}/G1 = 80/100 = 0,8 \text{ mA}$$

Usando quindi due transistor in cascata la corrente di un solenoide, di 4 Ampere, può essere commutata con un segnale di corrente di 0,8 mA (0,0008 A), cioè il guadagno complessivo vale:

$$GT = 5000 = (G1 \times G2)$$

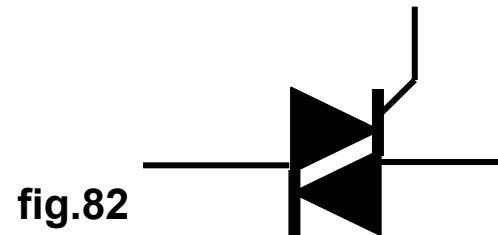
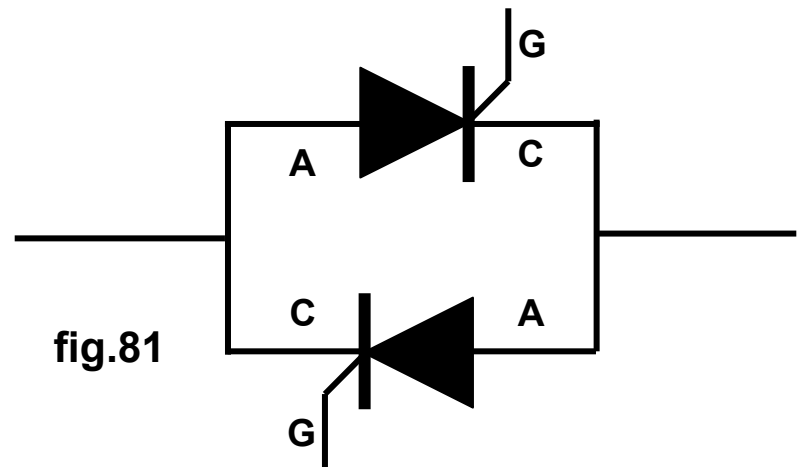
due transistor collegati in questo modo costituiscono un componente composito denominato TRANSISTOR DARLINGTON.

Triac

Il componente usato per commutare una alimentazione in ca. è il TRIAC, costituito fondamentalmente da due tiristori collegati dorso a dorso (fig.81).

Poichè il tiristore lascia passare corrente solo in una direzione, per poter utilizzare entrambe le semionde di un'onda sinusoidale, è necessario usare due tiristori come si vede in fig.81. La corrente può ora attraversare un tiristore in una direzione e l'altro in una direzione opposta se c'è un'adequata tensione alla porta, ma se si toglie questa tensione alla porta, non ci sarà passaggio di corrente. Il simbolo composto per indicare un triac è mostrato in fig.82.

I triac possono essere considerati gli equivalenti in ca. dei transistor e possono essere usati per commutare tensioni di diverse centinaia di Volt.



Riepilogo dei Commutatori

Relè

- * possono commutare diverse paia di contatti per volta;
- * possono essere usati per commutare tensioni ca. e cc.;
- * sono resistenti dal punto di vista elettrico (in genere non provocano inconvenienti dannosi se sovraccaricati);
- * è semplice diagnosticare i guasti perché il loro funzionamento è identificabile sia visivamente che uditivamente;
- * sono soggetti ad usura meccanica, ad avarie della molla, e ad incollamenti, ecc.;
- * hanno ingombro elevato.

Commutatori allo stato solido

- * i due commutatori allo stato solido maggiormente utilizzati sono i transistor per la cc. e i triac per la ca.;
- * si possono rompere più facilmente in presenza di correnti elevate o picchi di tensione;
- * non hanno parti in movimento e quindi non sono soggetti ad usura, ad inceppamenti, ecc.;
- * consumano poco;
- * hanno ingombri ridotti.

Col passare degli anni si è andato sempre più estendendo l'uso dei commutatori allo stato solido per motivi di costo, di spazio e di affidabilità anche se i relè sono ancora ampiamente usati in molte applicazioni e non c'è dubbio che continueranno ad esserlo.

Solenoidi Variabili

Nella prima parte è stato esaminato il funzionamento dei solenoidi on/off, in cui l'eccitazione del solenoide fa spostare il cursore della valvola tra le sue due posizioni estreme. Questo sistema viene utilizzato nelle valvole a solenoide di tipo tradizionale per far spostare il cursore in una delle due o tre posizioni possibili. Tuttavia, con le valvole proporzionali e con le servovalvole è necessario spostare il cursore in un numero infinito di posizioni intermedie. Nel caso delle valvole direzionali, sarà possibile controllare sia la direzione che la portata poiché lo spostamento del cursore rispetto alla posizione centrale (apertura della valvola) definisce la portata che passa attraverso la valvola (supponendo costante la caduta di pressione).

Le valvole con controllo elettronico sono generalmente classificate in due tipi:

- * **VALVOLE PROPORZIONALI**, che hanno un solenoide proporzionale che direttamente o indirettamente posiziona il cursore principale e sono normalmente utilizzate per regolare la velocità di attuatori con controllo ad anello aperto.

- * **SERVOVALVOLE**, che utilizzano un generatore di forza per posizionare indirettamente il cursore principale e sono impiegate principalmente per il controllo della velocità o della posizione nei controlli ad alte prestazioni ad anello chiuso.

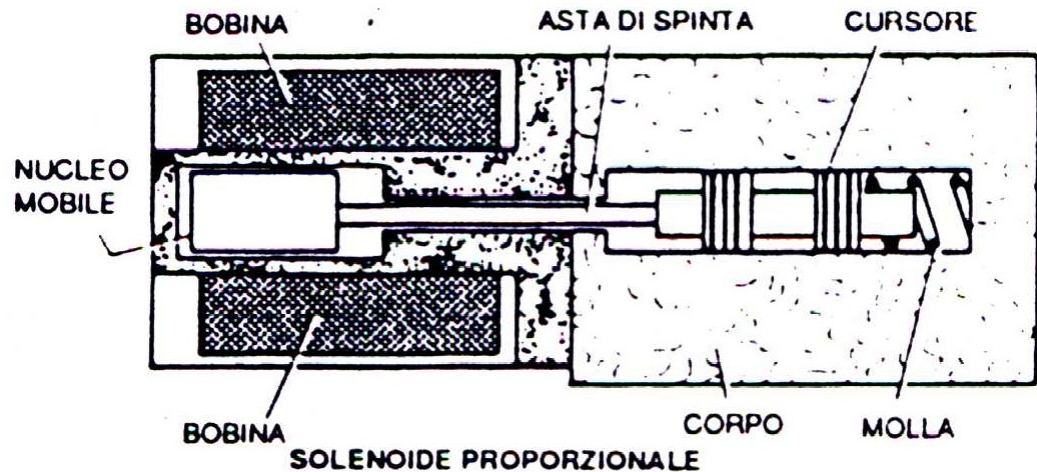
Inoltre si usano valvole per il controllo proporzionale della pressione e valvole di regolazione, il cui principio di funzionamento è molto simile a quello delle valvole direzionali proporzionali.

Solenoidi Proporzionali

Il funzionamento dei solenoidi proporzionali è molto simile a quello dei solenoidi on/off in cc., con l'unica differenza che la corrente nel solenoide è variabile per poter modificare la forza esercitata dal solenoide sul cursore.

Nel solenoide si genera una forza proporzionale alla corrente che attraversa la sua bobina ed è questa forza che sposta il cursore nel corpo della valvola. Il cursore si sposta finché la reazione della molla non sia uguale alla forza esercitata dal solenoide. Quindi variando la corrente che percorre il solenoide si potrà spostare in misura più o meno maggiore il cursore nel corpo della valvola.

I solenoidi proporzionali possono essere usati nei casi in cui sia richiesto uno spostamento relativamente ampio del cursore (fino a 5mm) ma operano in una sola direzione del moto, cioè se il cursore deve potersi spostare da entrambe le parti rispetto alla posizione centrale, bisognerà utilizzare due solenoidi, uno per lato.



Amplificatori

Il segnale d'ingresso per controllare una valvola proporzionale può essere prelevato da fonti diverse, come :

- **potenziometri**
- **sensori di temperatura**
- **trasduttori di pressione**
- **dinamo tachimetriche**
- **microprocessori**

Si tratta di dispositivi a bassa potenza, quindi è necessario amplificare il segnale d'ingresso (in termini di tensione e/o corrente) perché possa comandare le valvole proporzionali. per esempio se si utilizza un potenziometro per controllare direttamente il solenoide di una valvola proporzionale, per avere prestazioni soddisfacenti, esso deve essere in grado di gestire correnti di circa 40 Ampere e di dissipare circa $\frac{1}{2}$ KW di potenza termica (i motivi verranno spiegati in seguito).

Abbiamo finora esaminato l'uso dei transistor come commutatori, ma i transistor sono anche dei componenti fondamentali nei circuiti di amplificazione.

Come abbiamo già accennato nel paragrafo "Transistor", il transistor genera un'azione proporzionale, cioè un piccolo incremento della corrente di base aumenta proporzionalmente la corrente del collettore.

Circuito di Amplificazione

Questo è lo schema di un circuito di amplificazione in cui una piccola tensione in ingresso (sul terminale A) provoca un passaggio di corrente proporzionalmente maggiore nel solenoide della valvola, ma la corrente derivata dall'ingresso (la corrente di base) è molto piccola rispetto alla corrente nel solenoide.

In pratica, ovviamente un amplificatore sarà costituito da un numero di componenti molto maggiore, e comprenderà due o più stadi di amplificazione (cioè l'uscita del primo stadio alimenta l'ingresso del secondo stadio e così via).

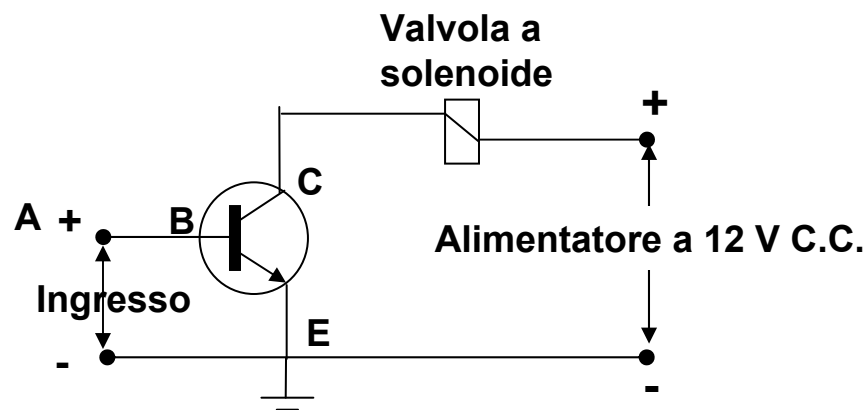
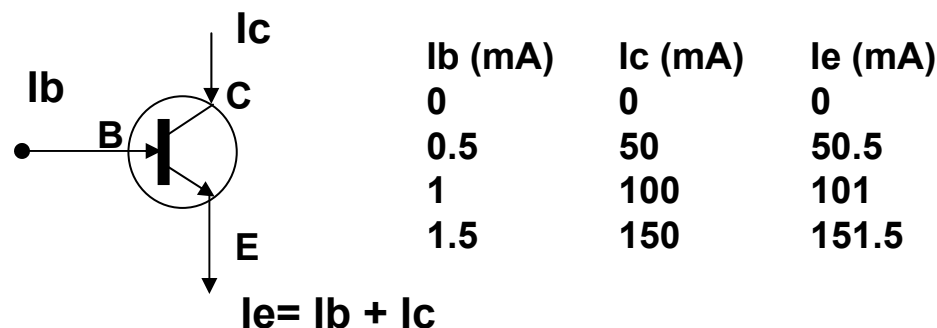
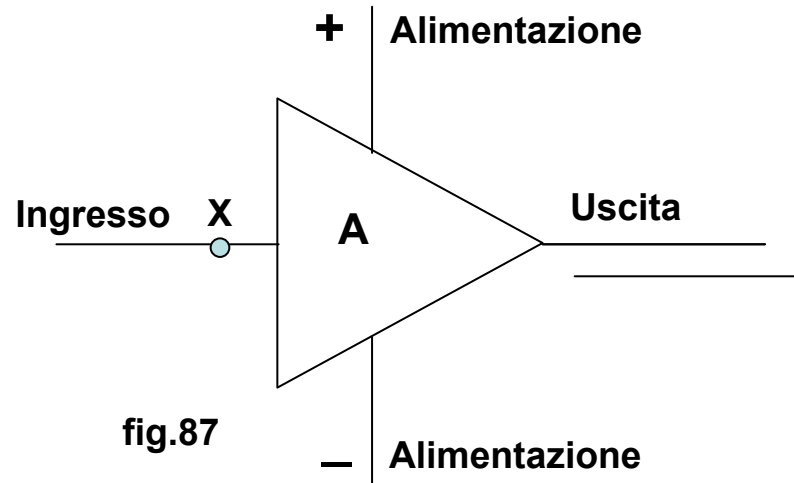


fig.86



Schema di Amplificatore

Schematicamente, un amplificatore si rappresenta come un triangolo con l'ingresso collegato alla base e l'uscita sul vertice. I collegamenti con l'alimentazione (che sono sempre presenti, anche se non sempre vengono riportati sul simbolo) si disegnano come si vede in fig.87



Il punto X si chiama NODO SOMMATORE e, come si vedrà in seguito, tutti gli ingressi a lui collegati si sommano.

Il GUADAGNO AD ANELLO APERTO viene definito come il fattore di moltiplicazione tra l'ingresso e l'uscita, cioè:

GUADAGNO AD ANELLO APERTO =

$$A = \text{TENSIONE D'USCITA} / \text{TENSIONE D'INGRESSO}$$

e può essere dell'ordine di 10^6 .

Amplificatore Operazionale

Il tipo di amplificatore usato nei sistemi di controllo viene detto **AMPLIFICATORE OPERAZIONALE (OP-AMP)** ed è un amplificatore ad elevato guadagno le cui caratteristiche operazionali sono determinate principalmente dall'impiego di elementi di retroazione esterni. Una resistenza è collegata in serie con l'ingresso dell'amplificatore (R_i) e una seconda resistenza collega l'uscita col nodo sommatore (R_f). R_i viene chiamato resistenza d'ingresso e R_f resistenza di retroazione.

Supponiamo di applicare una tensione (V_i) all'ingresso dell'amplificatore. Ponendo che il nodo sommatore sia a potenziale zero, la corrente che attraversa la resistenza (I_i) può essere calcolata applicando la legge di Ohm: $I_i = V_i/R_i$

Partendo dal principio che non entri corrente nell'amplificatore e applicando la legge di Kirchhoff al nodo sommatore, si ha: $I_i - I_f = 0$

(la somma algebrica delle correnti in un nodo è uguale a zero) quindi: $I_i = I_f$

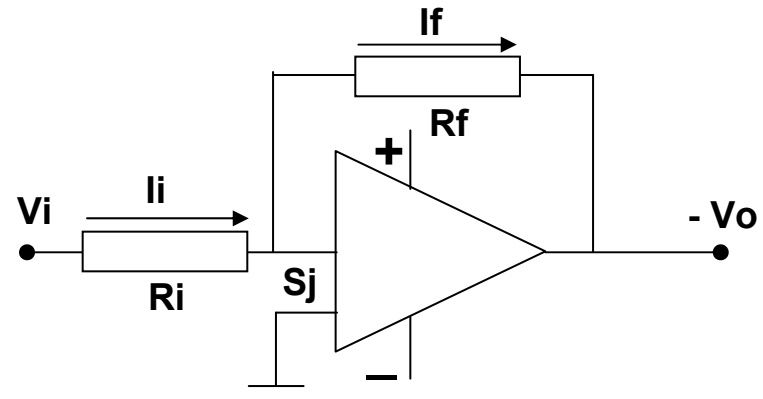
Applicando nuovamente la legge di Ohm:

$$I_f = -V_o/R_f$$

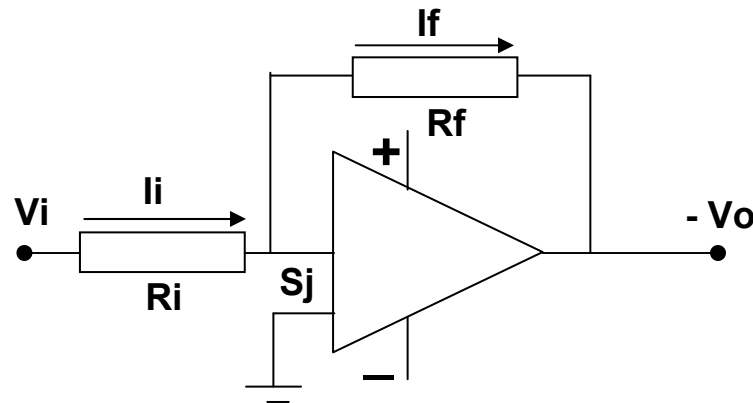
quindi se $I_i = I_f$ allora $V_i/R_i = -V_o/R_f$

Oppure $V_o = -R_f/R_i \times V_i$

Il fattore di moltiplicazione tra ingresso e uscita è perciò (R_f/R_i) detto anche **GUADAGNO AD ANELLO CHIUSO** dell'amplificatore e, come si può vedere, tale guadagno può essere modificato cambiando il valore sia di R_f che più comunemente di R_i .



Esempio



$$\begin{aligned} V_i &= 5V \\ R_i &= 10\text{ K}\Omega \\ R_f &= 20\text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Calcolare il guadagno e la tensione di uscita.
Se $R_i = 5\text{ K}\Omega$ quali valori si avrebbero ?

Controllo ad anello chiuso



Per spostare il carico e fargli raggiungere una certa posizione viene, inviato all'amplificatore un segnale d'ingresso e l'amplificatore, a sua volta, invia un segnale alla servovalvola. La valvola invia una certa portata di fluido al cilindro il quale poi sposta il carico. Chiude l'anello un trasduttore di posizione che è collegato al carico e fornisce un segnale di retroazione proporzionale alla posizione del carico.

L'amplificatore confronta la posizione che si vuole far raggiungere al carico (segnale in ingresso) con la posizione attuale del carico (segnale di retroazione) e genera un'uscita (segnale di controllo) proporzionale a questa differenza, cioè:

Segnale di controllo = (Segnale in ingresso - Segnale di retroazione) x Guadagno

Questo tipo di controllo è conosciuto come **CONTROLLO PROPORZIONALE** in quanto il segnale di controllo è proporzionale alla differenza tra il segnale d'ingresso (posizione richiesta) e quella di retroazione (posizione attuale).

Controllo Proporzionale

Ovviamente il carico non può spostarsi istantaneamente per seguire le variazioni del segnale in ingresso, così ci sarà un ritardo di tempo tra l'applicazione del segnale d'ingresso e l'istante in cui il carico raggiunge la posizione voluta. Con riferimento alla fig.129, durante la prima fase dello spostamento del carico (a), il sistema vince l'inerzia del carico facendolo accelerare per portarlo alla velocità desiderata.

Ci può essere una fase con velocità di spostamento costante (b) in cui la servovalvola è interamente aperta ed il sistema sposta il carico il più velocemente possibile. Man mano che il carico si avvicina alla posizione richiesta (c), la velocità si riduce (la curva si appiattisce) ed il carico gradualmente si sposta fino alla posizione desiderata nel punto (d). L'appiattimento verso la fine è provocato dal fatto che il segnale di controllo inviato alla servovalvola è uguale all'errore tra ingresso e uscita e man mano che l'errore si riduce, diminuisce anche il segnale di controllo riducendo di conseguenza la velocità del carico (fig.130).

E' possibile ridurre il tempo di risposta del sistema aumentando ad esempio il guadagno dell'amplificatore in modo che per un dato errore l'amplificatore generi un segnale di controllo maggiore. Ciò provocherebbe un effetto come quello della curva della fig.131



fig.129

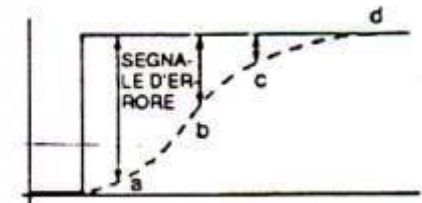


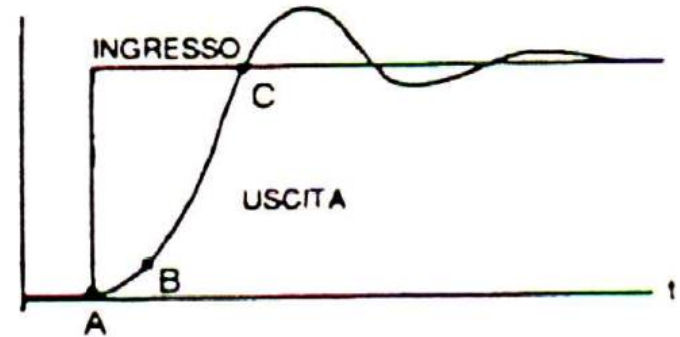
fig.130



fig.131

Segnale di Controllo

Sebbene l'uscita arrivi alla posizione richiesta più velocemente, supera il valore prefissato dato che il carico si sta spostando ad una velocità tale da non poter essere fermato abbastanza rapidamente quando raggiunge la posizione richiesta. Potrebbero infatti esserci diverse oscillazioni positive o negative prima che il carico si stabilizzi nella posizione finale.



In molte applicazioni un sorpassamento può essere controproducente perciò un metodo alternativo per migliorare la risposta del sistema consiste nel modificare il segnale di controllo in modo che sia proporzionale non solo all'errore ma anche al tasso di variazione del segnale di errore, cioè:

Segnale di controllo = Segnale di errore x Guadagno + Tasso di variazione errore x Guadagno

Se l'errore si riduce, cioè il carico si sta avvicinando alla posizione richiesta, allora il termine del tasso di variazione d'errore diventa negativo e tende a ridurre il segnale di controllo.

Consideriamo quindi questo effetto su un sistema con sorpassamento:

Tra i punti A e B sulla curva d'uscita, l'errore varia in modo relativamente lento per cui il termine elevato dovuto al segnale d'errore supera il termine piccolo del tasso d'errore e ci sarà un segnale di controllo elevato che accelera il carico.

Da B a C, tuttavia, l'errore si riduce più rapidamente e il termine del tasso d'errore diventa predominante ed inizia a ridurre il segnale di controllo. Con la riduzione del segnale di controllo il carico comincia a rallentare prima e quindi si può eliminare il sorpassamento.

Controllo Proporzionale Derivativo

Parlando strettamente in termini matematici, la velocità di variazione di una grandezza viene definita DERIVATA, perciò questo tipo di controllo si chiama controllo PROPORZIONALE PIU' DERIVATIVO cioè:



Segnale di controllo = [Segnale Proporzionale (Errore) x Guadagno Proporzionale] + [Segnale Derivativo (Tasso di variazione dell'Errore) x Guadagno Derivativo]

Normalmente il segnale proporzionale e quello derivativo hanno regolazioni indipendenti del guadagno per poter regolare il sistema in modo che fornisca le migliori prestazioni.

Il termine derivativo nell'anello di controllo dà al sistema maggiori informazioni sul carico. Il sistema non solo conosce di quanto il carico è lontano rispetto alla posizione voluta, ma anche con quale velocità la sta raggiungendo e quindi permette di valutare meglio quale segnale di controllo sia necessario impartire.

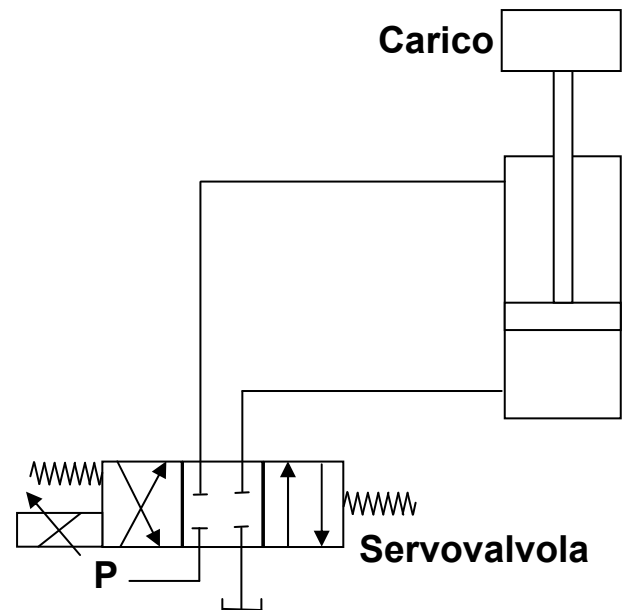
Errore Statico

Consideriamo ora il caso in cui si deve spostare un carico in un piano verticale o più in generale quando il carico sia sottoposto a forze esterne. Supponiamo che il carico si debba spostare verso la posizione desiderata in un certo punto della corsa del cilindro. Quando la posizione effettiva e quella richiesta sono le stesse, l'errore diventa nullo e la servovalvola si trova in posizione centrale.

Tuttavia a causa del carico che agisce sul cilindro e dei trafilamenti che si verificano attraverso il cursore della servovalvola il pistone avrà la tendenza di scorrere verso il basso. Per contrastare questo movimento indesiderato, il cursore della servovalvola deve essere spostato lievemente rispetto alla posizione centrale in modo da prevenire lo spostamento del carico.

Per far scorrere il cursore della valvola è necessario un piccolo segnale di controllo e per poter avere un segnale di controllo è necessario che ci sia un errore tra la posizione richiesta e la posizione reale. La conseguenza di ciò è che per mantenere il cilindro in una posizione stabile deve esistere un errore tra il valore in ingresso ed il valore in uscita, il che vuol dire che il carico non deve mai trovarsi esattamente nella posizione richiesta.

Questo errore viene anche chiamato **ERRORE STATICO**.

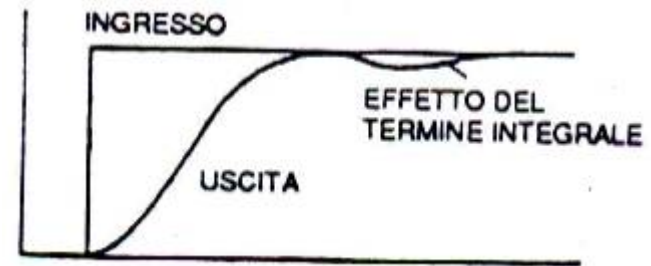


Integrale

L'errore statico comunque può essere ridotto modificando il segnale di controllo in modo che sia proporzionale all'errore sommato ad un termine **ERRORE x TEMPO**. La componente errore x tempo è detta **INTEGRALE** ed è effettivamente uguale all'errore per il tempo in cui si è verificato. Maggiore è il tempo, maggiore diventa il termine.

Si può quindi sommare al segnale proporzionale per eliminare virtualmente l'errore statico, cioè:
Segnale di controllo = [Segnale Proporzionale (Errore) x Guadagno Proporzionale] +
+ [Segnale Integrale (Tempo di durata dell'Errore) x Guadagno Integrale]

Se c'è un errore statico il termine integrale aumenta col tempo fino a diventare abbastanza grande da generare il segnale di controllo necessario a correggere l'errore.



La regolazione dei guadagni proporzionale ed integrale permette di modificare il sistema in modo che fornisca le migliori prestazioni. In alcune applicazioni, può essere necessario azzerare il termine integrale ogni volta che si applica al sistema un nuovo segnale di richiesta.

Proporzionale Integrale Derivativa

Le prestazioni di un sistema di controllo elementare (proporzionale) possono essere migliorate in modo rilevante con l'aggiunta di:

- un termine DERIVATIVO (tasso d'errore) per migliorare la risposta dinamica e ridurre i pericoli di sorpassamento;
- un termine INTEGRALE (tempo d'errore) per ridurre l'errore statico.

Nei sistemi ad azionamento veloce, il termine integrale tende a rendere il sistema meno stabile per cui lo si usa molto spesso insieme al termine derivativo che invece migliora la stabilità. In tal caso si dice che il sistema ha un'azione PROPORZIONALE, INTEGRALE e DERIVATIVA (P.I.D.) a volte detta controllo a TRE TERMINI.

Il termine integrale si può prelevare da un generatore di rampa come si è detto in precedenza (fig.137). Il termine derivativo invece si può generare con lo schema mostrato in fig.138. Oltre che nel funzionamento in generale dei sistemi di controllo, l'azione P.I.D. si può anche utilizzare negli amplificatori di controllo delle valvole per migliorare la risposta, per esempio, di una valvola proporzionale. Il tempo di risposta della valvola si riduce e si può eliminare lo scorrimento del cursore provocato nelle forze dovute alla pressione o alla portata.

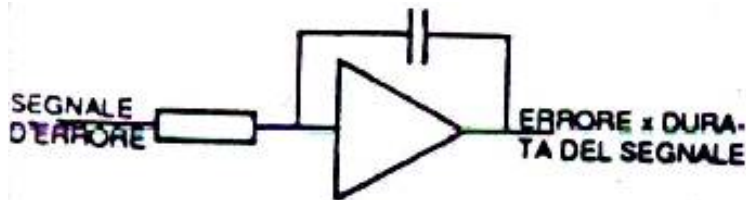


fig.137

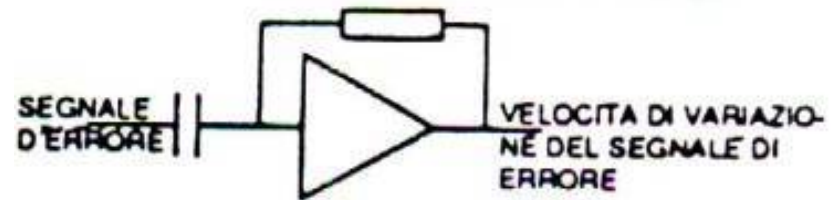


fig.138

Introduzione ai Calcolatori

ALGEBRA LOGICA O DI BOOLE

AGISCE SU GRANDEZZE CHE POSSONO ASSUMERE SOLO DUE VALORI DISTINTI, CHE SI ESCLUDONO TRA LORO, E AI QUALI SI ASSOCIANO I VALORI “0” E “1”.

SI DICE NUMERAZIONE BINARIA LA NUMERAZIONE IN BASE DUE I CUI SIMBOLI ELEMENTARI SONO 0 E 1.

E' UNA NUMERAZIONE POSIZIONALE DOVE I SIMBOLI HANNO PESO DIVERSO (POTENZE INTERE POSITIVE O NEGATIVE DELLA BASE) A SECONDA DELLA LORO POSIZIONE RELATIVA RISPETTO AD UN PUNTO DI RIFERIMENTO, LA VIRGOLA, CHE SEPARA LA PARTE INTER DA QUELLA FRAZIONARIA.

ES.:

IL NUMERO BINARIO 1011,1 E' UGUALE AL NUMERO DECIMALE 11,5

PERCHE'

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} =$$

$$8 + 2 + 1 + 0,5 = 11,5$$

FUNZIONI LOGICHE

TABELLA DELLA VERITÀ

SOMMA

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

PRODOTTO

A	B	P
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

INVERSIONE

A	I
0	1
1	0

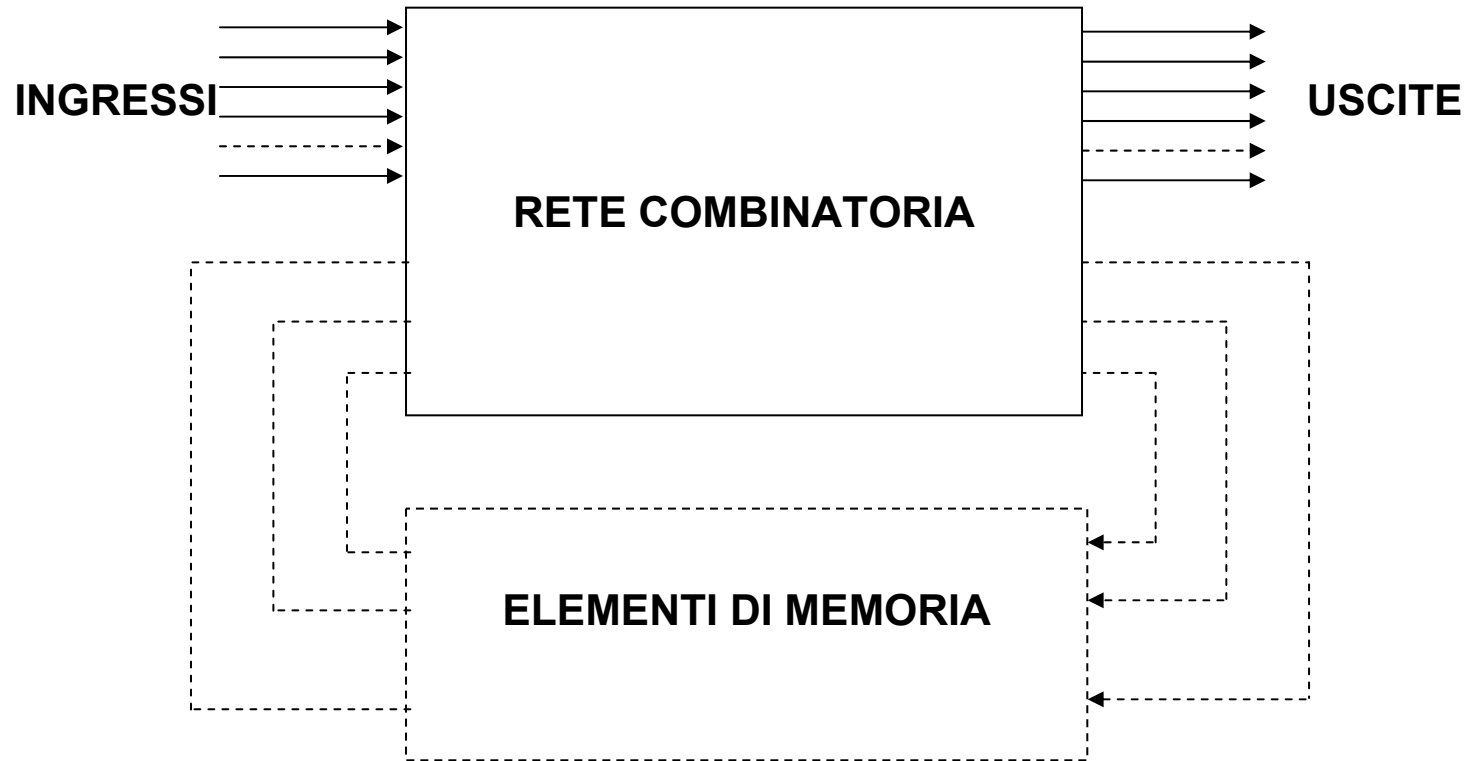
UNA FUNZIONE LOGICA DI GRANDEZZE BINARIE E' LA CORRISPONDENZA TRA LE POSSIBILI COMBINAZIONI DELLE VARIABILI E UN DETERMINATO VALORE (0 E 1) DI ESSA

LA FUNZIONE SOMMA DI A E B E' VERA (=1) QUANDO A, O B O ENTRAMBE SONO VERE (= 1)

LA FUNZIONE PRODOTTO DO A E B E' VERA QUANDO SIA A CHE B SONO VERI (= 1)

LA FUNZIONE INVERSA DI E' VERA QUANDO A E' FALSA

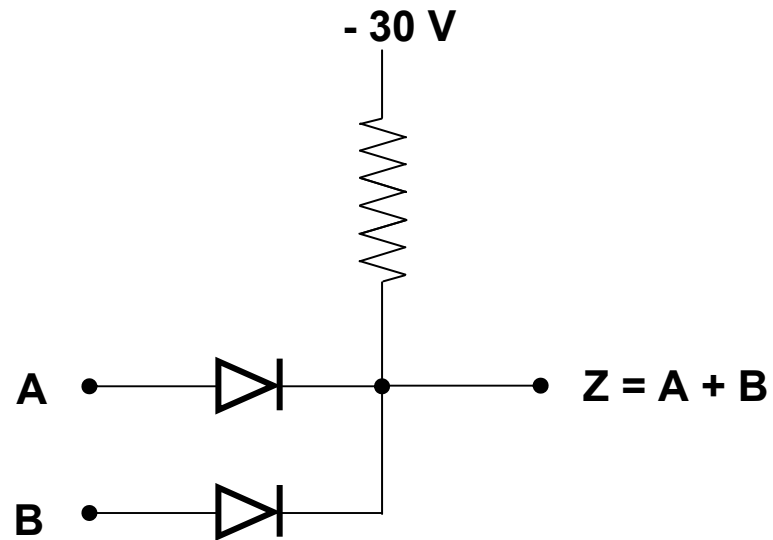
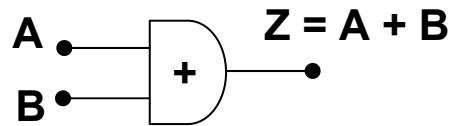
Rete Combinatoria



**DALL'ANALISI DEL COMPORTAMENTO DELLE FUNZIONI LOGICHE
ATTRAVERSO LA TABELLA DELLA VERITA', ALLA SINTESI CON IL
PROGETTO DI UN CIRCUITO LOGICO, TENENDO CONTO EVENTUALMENTE
DELLA POSSIBILI SEQUENZE TEMPORALI DEL PASSATO**

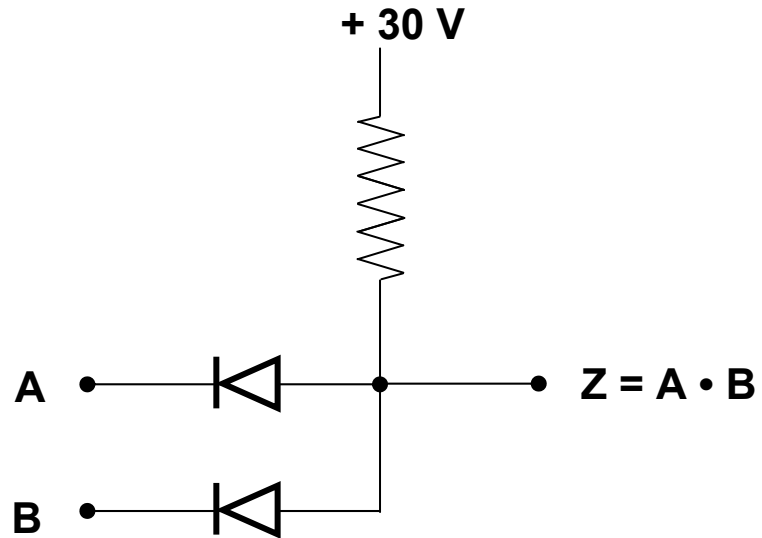
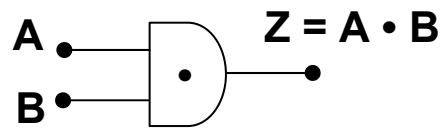
Operatori fondamentali: OR

OR



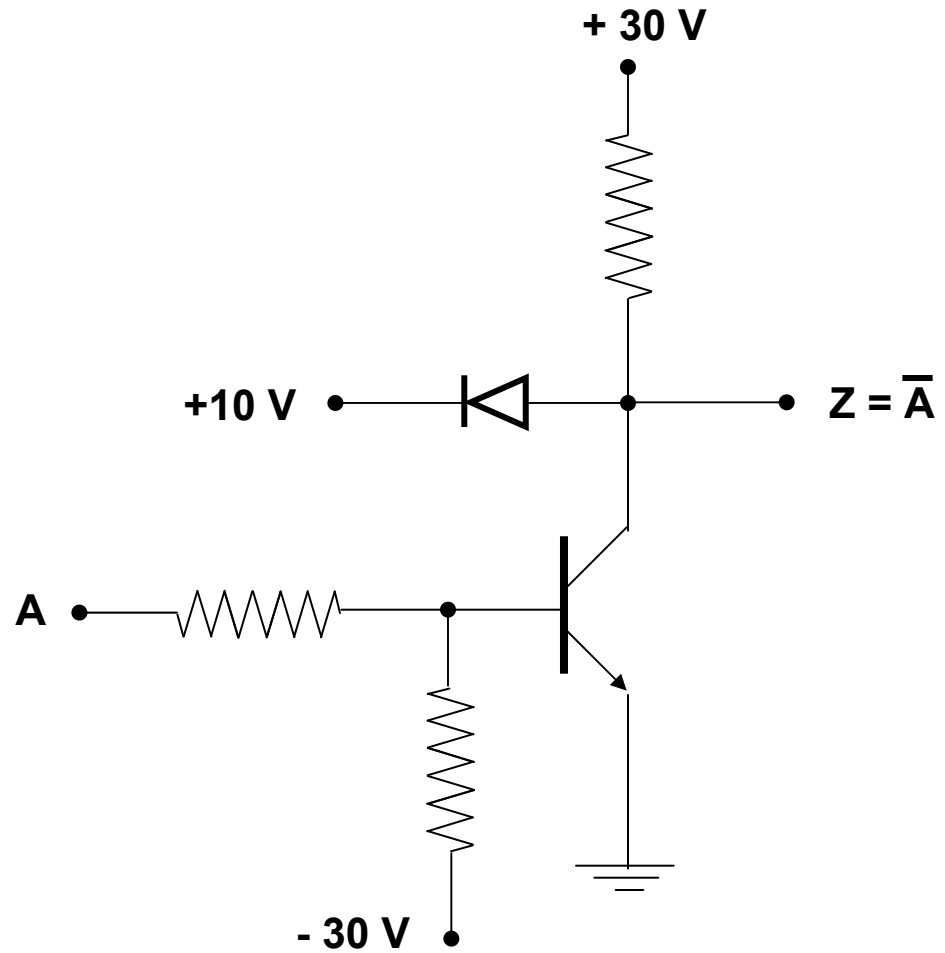
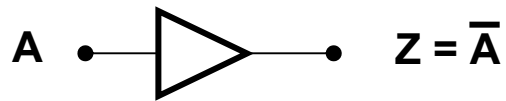
Operatori fondamentali: AND

AND

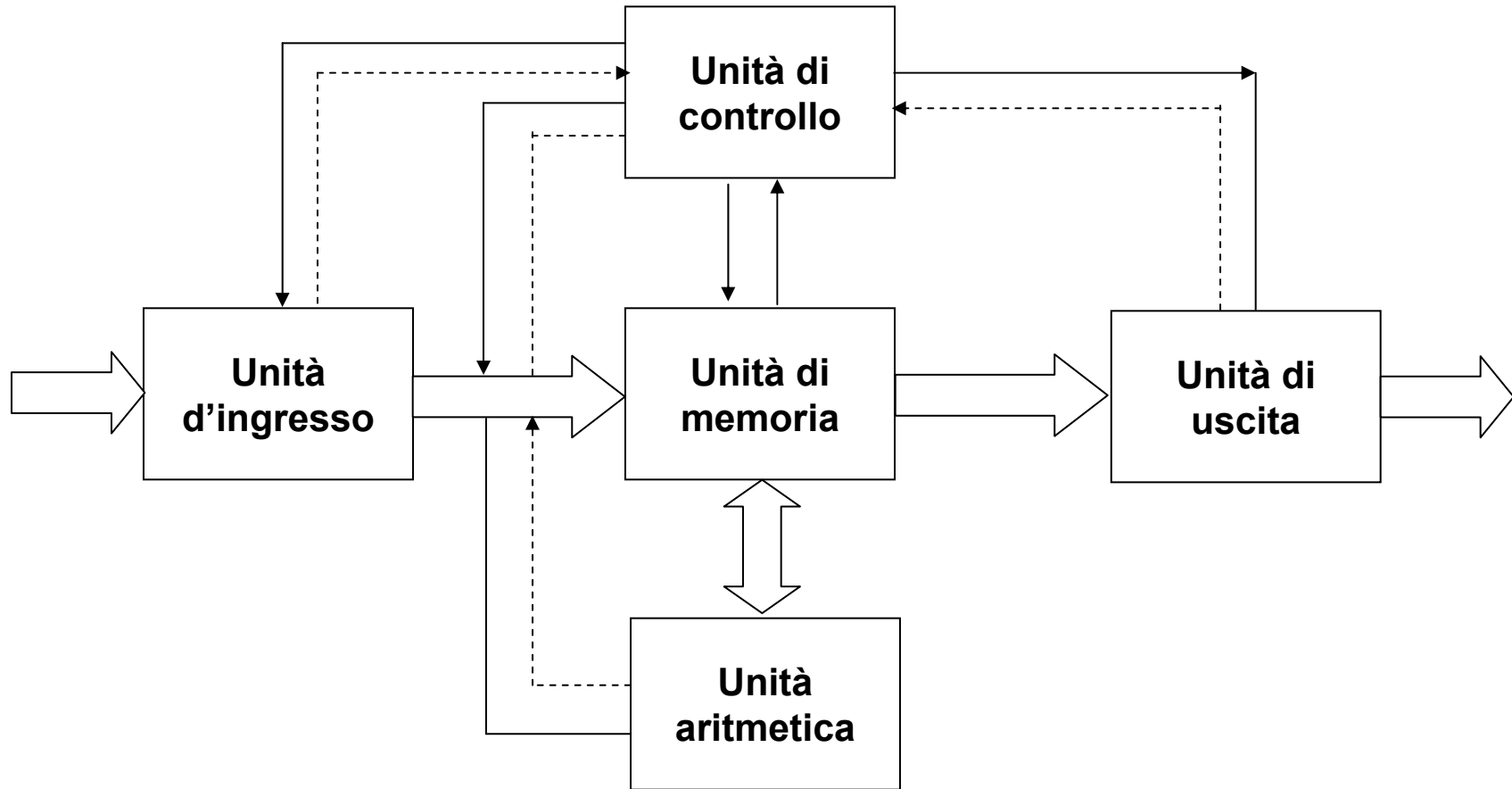


NOT

NOT



Schema di un Calcolatore Elettronico



Unità d'Ingresso

- L'unità d'ingresso riceve dall'esterno i dati del problema ed il “programma”, li traduce nel linguaggio proprio della macchina e li trasmette all'unità di memoria.
- Il programma è una serie ordinata di istruzioni che permettono al calcolatore di risolvere automaticamente il problema, cioè di eseguire, senza ulteriori interventi dall'esterno, un numero comunque grande di operazioni in opportuna sequenza.

Unità d'uscita

L'Unità d'uscita riceve i risultati dalla memoria, li riconverte nel linguaggio “esterno”, e li fornisce in uscita.

I supporti ed i dispositivi per introdurre ed estrarre informazioni da un elaboratore sono tanti: dalle tastiere agli schermi, dalle stampanti ai supporti magnetici, ai dischi removibili, ai CD-ROM, ecc.

Unità di memoria

L'unità di memoria immagazzina dati e programmi. Essa si trova in collegamento bidirezionale con l'unità aritmetica di cui conserva i risultati, parziali o definitivi, per presentarli, al termine del calcolo, all'unità di uscita.

Unità aritmetica

Elabora i dati ricevuti dalla memoria, eseguendo su di essi le sole operazioni elementari di somma, sottrazione, moltiplicazione e divisione.

Unità di Controllo

- Coordina gli interventi di tutte le altre unità, in modo che sia realizzata la sequenza delle operazioni imposte dal programma. In essa viene generato un segnale impulsivo a frequenza costante (il cosiddetto “clock”), che sincronizza le operazioni di tutti i circuiti sequenziali del calcolatore, i quali, pertanto, sono essenzialmente di tipo “sincrono”. Inoltre l’unità di controllo genera tutti quei segnali necessari alla temporizzazione delle diverse operazioni eseguite dalle unità periferiche.