

LEZIONI DI

CONTROLLI AUTOMATICI

di DELUCCA ing. Diego

INTRODUZIONE

Sorge spontanea la domanda: da dove partire per introdurre un corso di **CONTROLLI AUTOMATICI** ?

Si può partire tentando di rispondere ad alcuni interrogativi:

Che cosa si intende per SEGNALE ?

Che cosa si intende per CONTROLLO ?

Qual' è il significato di REGOLAZIONE ?

Che cos'è l'AUTOMAZIONE ?

Cominceremo con il rispondere alla prima domanda, ossia **cosa si intende per segnale** ?

Per **segnale** si intende **l'evoluzione nel tempo di una qualsiasi grandezza fisica.**

ESEMPIO di casi LIMITI: il segnale sinusoidale ed il segnale continuo.

(Qui è necessario fare alcune considerazioni).

Ora rispondiamo al secondo interrogativo, **che cosa si intende per CONTROLLO** ?

Per Noi il **controllo** rappresenta **l'insieme delle azioni, applicate ad una macchina o ad un impianto, in modo tale che il suo comportamento sia il più possibile vicino a quello desiderato.**

Quasi conseguentemente è possibile rispondere al terzo interrogativo, ossia **cosa si intende per REGOLAZIONE** ? Ora se il CONTROLLO viene effettuato misurando continuamente, istante dopo istante, il comportamento di uno o più apparati o dispositivi, che costituiscono la MACCHINA da controllare, allora in questo caso si parla di **regolazione.**

E' altresì vero che se il controllo avviene senza l'intervento dell'uomo si parlerà di **CONTROLLO AUTOMATICO.**

In conclusione, nel suo complesso, l'**AUTOMAZIONE** rappresenta l'insieme delle tecniche adottate per controllare una serie di operazioni senza l'intervento dell'uomo.

Infine c'è da osservare che il **controllo** necessita delle seguenti **fasi:**

- **misura:** le grandezze fisiche, (o i segnali), coinvolti o che descrivono il comportamento del sistema da controllare devono essere necessariamente misurate.
- **Confronto:** il comportamento effettivo del sistema, legato ai valori misurati delle grandezze, descrittivi del sistema stesso, deve essere confrontato con il comportamento desiderato. Dal confronto risulta possibile **decidere** le azioni correttive necessarie.
- **Attuazione:** le azioni correttive decise, devono poi essere attuate o messe in opera, mediante opportuni dispositivi che agiscono direttamente sul sistema da controllare.

ALCUNE PRECISAZIONI : IL CONCETTO DI SISTEMA

Nel linguaggio comune si sente spesso parlare di SISTEMA. In ogni scienza compare questo termine, ad esempio in ANATOMIA si parla di sistema cardio – vascolare, in ASTRONOMIA di sistema terrestre e di sistema solare, in ELETTROTECNICA di sistema elettrico, in MATEMATICA di sistema di equazioni, in FISICA di sistema termodinamico o di sistema meccanico, ecc. ecc.

Cosa significa per Noi esattamente il termine di SISTEMA ?

Per Noi rappresenta l'insieme di due o più dispositivi, detti anche **elementi** o **sottosistemi**, che opportunamente collegati costituiscono un apparato molto più complesso ed articolato, rispetto a quello generato da essi, singolarmente. Ovviamente, gli elementi connessi devono rispettare leggi o regole precise per ottenere uno scopo comune o unico, o meglio per raggiungere l'obiettivo finale comune.

Conclusione: **chiameremo sistema un insieme di elementi in relazione tra loro, secondo regole o leggi ben precise, e che concorrono ad un obiettivo o scopo comune.**

Possiamo fornire a questo punto una prima classificazione dei SISTEMI.

PRIMA CLASSIFICAZIONE dei SISTEMI

In prima analisi i sistemi si possono classificare in:

- ✓ **Sistemi naturali;**
- ✓ **Sistemi artificiali;**
- ✓ **Sistemi misti.**

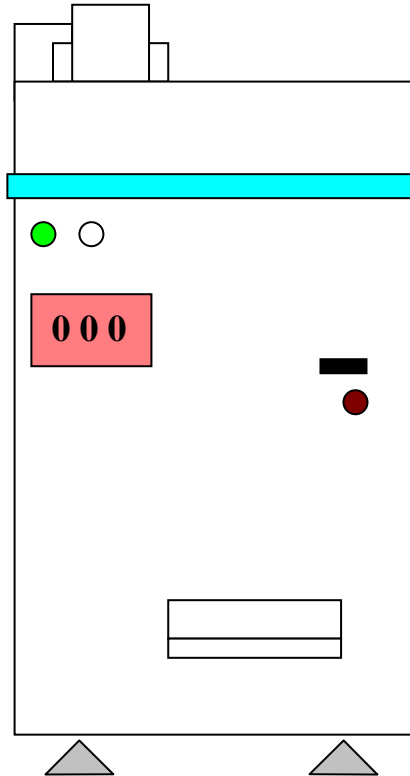
I **sistemi naturali** sono preesistenti alla presenza dell'uomo sulla terra, come il sistema stellare, come il sistema cardio – vascolare, come il sistema flora, come il sistema fauna, ecc.

I **sistemi artificiali** sono dovuti esclusivamente all'opera, all'abilità ed all'intelligenza dell'uomo, come ad esempio, l'automobile, il trasformatore, ecc.

I **sistemi misti** nascono da una combinazione fra quanto esistente in natura e all'opera dell'uomo, ad esempio un sistema idroelettrico.

IDENTIFICAZIONE di un SISTEMA

Parliamo di un esempio vicino alla nostra vita quotidiana.



Parliamo di un distributore automatico delle bibite; per ottenere una lattina di bibita, occorre introdurre in un'apposita feritoia 0,60 €. Le monete da impiegare sono quelle da €: 0,05; 0,10; 0,20; 0,50; 1,00; 2,00.

Un visore a display può essere nelle seguenti condizioni:

- se la macchina è a riposo, cioè nessuno la sta utilizzando, il visore riporta la scritta, 000, (spia verde accesa);
- se la macchina non è funzionante, il visore è spento, oppure appare la scritta OUT;
- durante l'inserimento delle monete il visore riporta sempre la somma mancante.

Questo dispositivo è per noi una scatola chiusa, di cui non ci interessa il suo funzionamento, ci interessa solo l'effetto, cioè una volta corrisposta l'intera somma, noi preleviamo la bibita fresca. Questo sistema comunque è un **sistema artificiale**.

Ipotizzando che la macchina sia funzionante, è possibile porsi le seguenti domande:

- a) Cosa dobbiamo fare per far funzionare la macchina?
- b) Cosa dobbiamo aspettarci come risultato?
- c) Come facciamo a sapere in quale stato si trova la macchina?

La risposta alla prima domanda è banale: bisogna inserire le monete.
In particolare è necessario far sì che la macchina abbia delle informazioni, in modo tale che essa possa reagire opportunamente ,ossia produca un risultato.

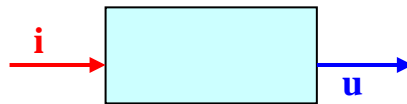
(CONCETTO di AZIONE e REAZIONE).

Ricapitoliamo quella che potrebbe essere una sequenza operativa del SISTEMA:

- 1) Il sistema è a riposo, il display visualizza 000;
- 2) Inserisco una moneta da 0,10 €;
- 3) Il visore ora riporta la cifra 010;
- 4) Inserisco un'ulteriore moneta da 0,10 €;
- 5) Il visore ora riporta 020;
- 6) Inserisco ora una moneta da 0,20 €;
- 7) Il visore riporta 040;
- 8) Inserisco un'ulteriore moneta da 0,20 €;
- 9) Il visore riporta la cifra 000 ed esce la lattina;
- 10) **Il sistema è di nuovo a riposo ed il visore visualizza 000.**

Questa sequenza di operazioni o di corrispondenti AZIONI e REAZIONI, si può sintetizzare in questo modo, ossia le informazioni in entrata o di partenza sono per noi gli INGRESSI, e le corrispondenti reazioni del dispositivo sono per noi le USCITE.

Il sistema lo si può vedere come una scatola:



i = input =ingressi o comandi,

u=output=uscite.

Il sistema, come si può capire dalla sequenza indicata, può trovarsi internamente in più condizioni diverse tra loro. Se non abbiamo inserita alcuna moneta, la macchina si trova in attesa; se abbiamo inserito anche una sola moneta da 100 £, essa deve ricordarsi di avere ricevuto una certa quantità di moneta e sarà ancora in attesa, (ed ovvio che essa non si troverà nello stato di attesa di riposo, è in un nuovo STATO), e quando la macchina avrà ricevuto l'intera somma, rilascerà la lattina.

Si capisce allora, che al suo interno, in ogni istante, in base agli ingressi forniti a quel momento, la macchina si troverà in un ben preciso STATO o SITUAZIONE.

CHE COS'E' LO STATO DEL SISTEMA?

Lo STATO del SISTEMA è una FOTOGRAFIA del SISTEMA, ed esprime in quel momento in quale fase operativa, si trova la macchina.

In definitiva, quando viene costruito un SISTEMA è inizialmente necessario, stabilire gli INGRESSI, le USCITE e possibilmente gli STATI del SISTEMA.

A questo punto è necessario introdurre delle definizioni:

Si chiamano VARIABILI D'INGRESSO di un SISTEMA, tutte quelle grandezze che devono essere fornite al sistema come sollecitazione o comando.

Si chiamano VALORI DEGLI INGRESSI di un SISTEMA, tutti i valori che possono assumere ciascuna delle variabili di INGRESSO.

Si chiamano VARIABILI DI USCITA di un SISTEMA le grandezze ottenute come RISPOSTA ai valori proposti in INGRESSO.

Si chiamano VALORI DELLE USCITE di un SISTEMA, tutti i valori che può assumere ciascuna delle variabili d'USCITA.

Si chiama STATO del SISTEMA, l'insieme di quelle informazioni sufficienti a fornire un quadro completo della situazione interna del sistema, ad ogni ISTANTE di TEMPO t.

In conclusione, il primo passo nell'analisi di un SISTEMA, consiste nel definire, completamente, i seguenti INSIEMI:

I = Insieme delle VARIABILI degli INGRESSI;

VI = Insieme dei valori che possono essere assunti dalle variabili di ingresso.

U = Insieme delle variabili di USCITA;

VU = Insieme dei valori che possono assumere le variabili di uscita.

Inoltre introduciamo anche i SISTEMI seguenti, molto utili nel nostro studio:

S = Insieme degli STATI;

T = Insieme dei TEMPI in cui avviene l'osservazione del SISTEMA.

FORMALIZZAZIONE MATEMATICA

Ora vogliamo rendere universale il nostro discorso relativo all'analisi di un SISTEMA.

Il primo passo è dunque definire gli INSIEMI di BASE, per mezzo di un formalismo matematico. (La matematica è il mezzo per rendere universale uno STUDIO qualsivoglia).

Sia perciò:

I = i_1, i_2, \dots, i_N ; ossia N- variabili di ingresso.

VI = $(Vi_{1,1}; Vi_{2,1}; \dots; Vi_{N,1}), \dots, (Vi_{1,M}; Vi_{2,M}, \dots, Vi_{N,M})$, ossia M gruppi ordinati di N variabili di INGRESSO.

U = u_1, u_2, \dots, u_R ; ossia esso ci rappresenta R variabili di USCITA;

VU = $(Vu_{1,1}; Vu_{2,1}; \dots; Vu_{R,1}), \dots, (Vu_{1,S}; Vu_{2,S}; \dots; Vu_{R,S})$, ossia si possono ritenere S gruppi ordinati di R valori di USCITA.

S = s_1, s_2, \dots, s_Q , ossia Q variabili di STATO,

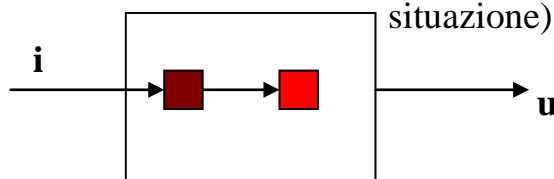
T = $t_1, t_2, \dots; t_T$, ossia T istanti di tempo, in cui viene analizzato il SISTEMA.

Vogliamo capire ora il legame che intercorre tra le variabili di INGRESSO, di USCITA e di STATO.

Una possibile spiegazione può essere introdotta, per mezzo di un esempio grafico:

La prima scatola riceve gli ingressi del sistema, e agisce sullo stato del sistema stesso. (Creo una nuova situazione).

La seconda scatola riceve in entrata il nuovo stato del Sistema, (ossia la nuova situazione).



La nuova situazione creata o meglio dire il NUOVO STATO del SISTEMA, produce la definizione dei valori di uscita.

Ciò che verrà prodotto globalmente dal sistema è proprio l'uscita di questa seconda scatola.

Nell'esempio del DISTRIBUTORE DELLE BIBITE, la prima scatola riceve la moneta, ed agisce sul visore del display, mentre la seconda scatola, in base alla situazione creata sul visore, rilascerà o meno la lattina fresca.

Le due relazioni "f" e "g" sono di tipo funzionale e ne daremo una definizione.

Chiameremo funzione di trasferimento f degli stati, la funzione che, dato un istante iniziale, ed un insieme N di valori di ingresso, causa una variazione dello STATO interno del sistema.

Matematicamente esprimeremo quanto detto nel modo seguente:

$$S(t_2) = f(t_2, t_1, S(t_1), V_{In}(t_1))$$

Dove con t_2 , intendiamo un istante di tempo successivo a quello iniziale, nel quale vengono inviati i segnali di ingresso;

$V_{In}(t_1)$ viene invece, inteso come un insieme di n valori di ingresso all'istante t_1 , che fungono da comando per il sistema stesso.

Chiameremo funzione g di trasformazione delle uscite, la funzione che riceve in entrata lo stato del sistema, in un certo istante di tempo, e produce un insieme R di valori di USCITA

Matematicamente esprimeremo quanto affermato nel modo seguente:

$$V_{Ur}(t_2) = g(t_2, t_1, S(t_1))$$

Dove con V_{Ur} intendiamo un insieme R di valori di uscita.

CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI

Si può da ora fornire una definizione più dettagliata dei SISTEMI.

Ogni sistema è individuato da opportune caratteristiche

Dette caratteristiche risulteranno fondamentali per il funzionamento dei sistemi stessi.

Inoltre in base alle caratteristiche che influenzano il sistema, è possibile far appartenere il sistema, in questione, ad una delle seguenti CLASSI.

Definiamo le CLASSI di appartenenza di un SISTEMA:

SISTEMA APERTO; un sistema è aperto se scambia qualcosa con l'ambiente esterno.

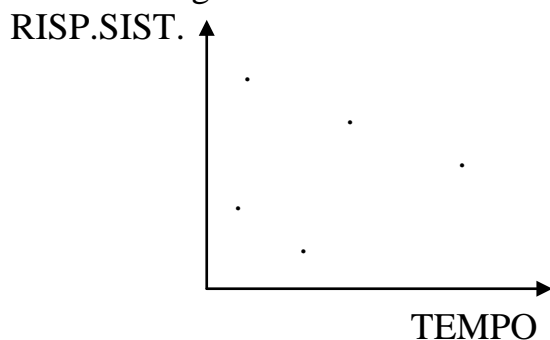
SISTEMA CHIUSO; è un sistema che non ha interazioni con l'ambiente circostante.

Per chiarire un sistema aperto avrà degli ingressi, mentre un sistema chiuso NO.

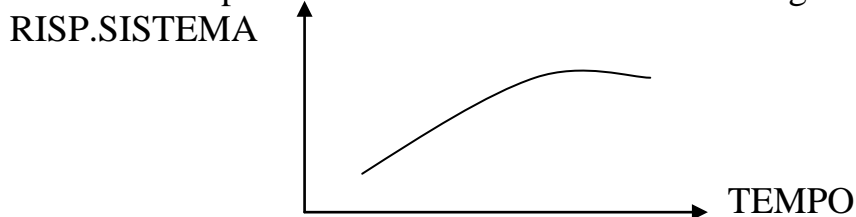
SISTEMA DISCRETO; un sistema si dice discreto se può assumere solo dei valori ISOLATI. In poche parole, durante il funzionamento, passa da un valore all'altro in modo istantaneo.

SISTEMA CONTINUO; un sistema continuo, invece, durante il suo funzionamento, passa da un valore ad un altro con CONTINUITA cioè assume tutti i valori fra due punti estremi.

Dal punto di vista grafico un sistema DISCRETO, lo si può così rappresentare:



Un sistema CONTINUO può essere schematizzato nel modo seguente:



ESEMPI Un esempio di sistema DISCRETO è la lampadina; infatti essa può avere

solo due funzionamenti possibili: ACCESA o SPENTA.

Un esempio, invece, di sistema CONTINUO è costituito dal forno da Cucina; infatti esso passa con continuità dal valore di partenza della temperatura, al valore di temperatura finale, da noi impostato per cuocere un cibo. In altri termini il forno dalla temperatura di partenza raggiungerà la temperatura finale, assumendo tutte le temperature intermedie.

SISTEMI PROBABILISTICI; un sistema si dice probabilistico se, a parità, di certe condizioni, si ha una qualche probabilità di avere una certa RISPOSTA.

SISTEMA DETERMINISTICO; un sistema si dice deterministico se un certo valore dato in ingresso, fornisce un determinato valore in USCITA, indipendentemente dall'istante in cui è stato fornito l'INGRESSO

SISTEMA COMBINATORIO; un sistema si dice combinatorio, se la sua RISPOSTA ad una sollecitazione, dipende solo dall'ultimo ingresso fornitogli. ESEMPIO di un sistema combinatorio è il TELEFONO; infatti esso squilla indipendentemente, dai dai numeri fatti precedentemente. Questi tipi di sistemi si dicono anche SENZA MEMORIA.

SISTEMA SEQUENZIALE; un sistema si dice sequenziale se la RISPOSTA del sistema stesso dipende sia dall'ULTIMO INGRESSO, che dallo STATO in quell'istante Assunto da esso, quindi dipenderà anche dagli INGRESSI forniti sino a quel momento. Questi tipo di sistemi si dicono CON MEMORIA. Un esempio di sistema sequenziale è il nostro esempio, relativo al distributore di bibite; infatti la macchina rilascerà la lattina ,o meno a seconda della somma inserita sino a quel momento.

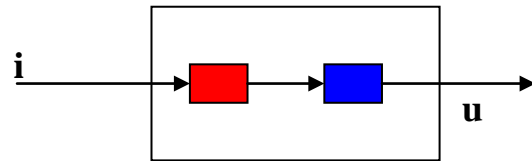
SISTEMA VARIANTE e INVARIANTE; un sistema è variante se modifica le proprie prestazioni al passare del tempo, se no, esso, è un sistema invariante, ossia non modifica o non deteriora le proprie prestazioni al variare del tempo.

SISTEMA PROPRIO E IMPROPRIO

Per poterli definire ricorriamo alla FUNZIONE “ g ”, cioè alla funzione di TRASFORMAZIONE delle USCITE. Ricorriamo anche all’aiuto di due schemi grafici:

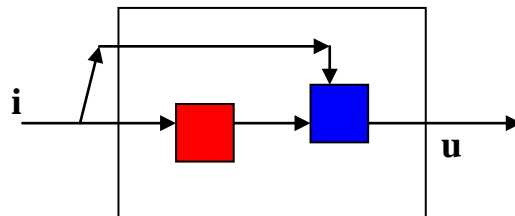
è l’esempio di un **sistema proprio**, in cui la funzione di trasferimento delle USCITE, si può così definire,

$$V_{Ur}(t_2) = g(t_2, t_1, s(t_1))$$



Questo secondo schema ci rappresenta un **sistema improprio**, la cui funzione di TRASFORMAZIONE delle USCITE, si può così definire:

$$V_{Ur}(t_2) = g(t_2, t_1, s(t_1), i(t_1))$$



I MODELLI

Nel caso reale, quando si vuole studiare un SISTEMA, si ricorre ad un'entità che, verosimilmente, abbia il medesimo comportamento. In altri termini si ricorre a dei MODELLI, che si possono ritenere dei SISTEMI ANALOGHI al SISTEMA REALE.

Esempio: i circuiti elettrici e i circuiti idraulici sono fortemente analoghi.

Anche i MODELLI risultano CLASSIFICATI in modo opportuno.

DEFINIZIONE. Si chiama MODELLO di un SISTEMA una rappresentazione del SISTEMA stesso che, pur avendone NATURA e FORMA diversa, ne conserva e ne evidenzia in modo ANALOGICO, alcune caratteristiche particolarmente significative, per la sua ANALISI.

I MODELLI vengono così classificati in:

MODELLI MATEMATICI; un modello matematico è un'espressione matematica, contenente delle variabili e dei simboli per identificare le caratteristiche del SISTEMA.

MODELLI ICONICI; un modello iconico di un sistema riproduce in modo proporzionale le caratteristiche fisiche del SISTEMA.
ESEMPIO: plastico in scala.

MODELLI SIMBOLICI; un modello simbolico rappresenta un SISTEMA attraverso simboli grafici convenzionali.

MODELLI LOGICI; un modello logico, o ALGORITMO, rappresenta il comportamento del SISTEMA, senza fornire indicazioni sul suo aspetto fisico.

MODELLO TRASDUTTORE; un modello trasduttore rappresenta il SISTEMA evidenziandone il suo comportamento anche se per il tramite grandezze fisiche, aventi natura completamente diverse da quelle ORIGINALI.

LA SIMULAZIONE

Adesso cominciamo ad utilizzare i MODELLI, infatti noi non lavoreremo mai sul SISTEMA REALE, ma su di UNA SUA RIPRODUZIONE. E' altresì vero che non è possibile applicare i VALORI REALI di INGRESSO , su di una riproduzione, ma non potremo far altro che SIMULARE gli EVENTI o le varie situazioni, che si possono presentare sul SISTEMA VERO.

Detta SIMULAZIONE consente di capire le REAZIONI, e riferirle poi alla situazione REALE.

Va da sé che la SIMULAZIONE, è un po' la prova del "nove", del lavoro svolto, nella trasformazione del SISTEMA REALE, in uno FITTIZIO, cioè in un MODELLO, anche perché le ipotesi fatte possono non essere rispondenti a verità, oppure possono dare dei risultati importanti, perciò risulta necessario eseguire continue verifiche, e se necessario tornare indietro e formulare ipotesi più consone, in modo tale che il MODELLO sia il più aderente possibile alla situazione REALE.

Molto spesso ciò comporta la sostituzione del MODELLO.

A questo punto è necessario introdurre le FASI salienti di una SIMULAZIONE, che rendono comunque possibile l'ANALISI di un SISTEMA REALE:

FASE 1): DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO, si deve definire l'effettivo motivo per cui si vuole osservare il comportamento di un certo SISTEMA REALE.

FASE 2): IDENTIFICAZIONE DEL SISTEMA, in questa fase è necessario stabilire le caratteristiche, le parti del SISTEMA che realmente interessano per il raggiungimento degli obiettivi, che ci si è prefisso. pertanto sarà necessario stabilire gli INGRESSI, le USCITE e gli STATI con i relativi valori.

FASE 3) DEFINIZIONE DEI VINCOLI, tenendo sempre presente gli obiettivi principali, dobbiamo definire i VINCOLI a cui deve sottostare il MODELLO. (Questo perché il MODELLO è una forzata riproduzione del SISTEMA REALE).

FASE 4) GENERAZIONE DI UN MODELLO DI MASSIMA, ciò per poter effettuare le prime prove e verificare i passi compiuti, sino a quel momento, si definisce un MODELLO di MASSIMA, nel quale sono presenti le caratteristiche più importanti del SISTEMA, ciò semplicemente per appurare che NON CI SFUGGA QUALCOSA DI FONDAMENTALE. Se si rilevano delle eccessive imprecisioni, bisogna tornare da capo, e modificare ciò che risulta difettoso.
(PROCESSO ITERATIVO)

FASE 5) FORMALIZZAZIONE COMPLETA DEL SISTEMA.

Dopo alcune eventuali ITERAZIONI, viene superata la fase precedente, si passa così a questa fase, che consiste nel definire in modo rigoroso e completo il MODELLO. Anche in questo caso, se si rilevano delle inesattezze o delle imprecisioni, bisogna avere il coraggio di ritornare da capo, o , indietro. (Si apportano le correzioni necessarie)

FASE 6 SIMULAZIONE. Alla fine di tutto quanto detto, si procede, finalmente alla SIMULAZIONE, sul MODELLO, fornendo le opportune sollecitazioni e annotando le reazioni. In base a quanto osservato, in questa fase, i risultati e le conclusioni saranno estese al SISTEMA FISICO REALE.

PARAMETRI E DISTURBI

Introdurremo questi due concetti con un esempio.

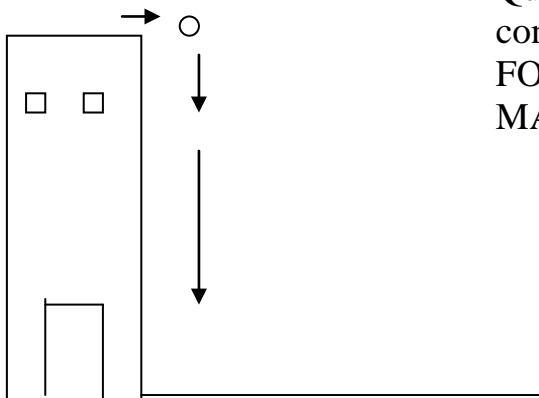
Supponiamo di voler studiare la caduta di un grave dall'alto di una torre o montagna. Per far ciò ci dotiamo della formula espressa da NEWTON, (FORMULA ADATTA ALLO SCOPO). La legge si esprime nel modo seguente:

Peso = Massa . Accelerazione

o in formule:

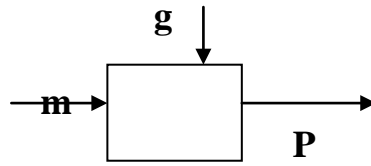
$P = M \cdot g$, dove **g** ci rappresenta l'accelerazione di GRAVITA'.

Il valore di detta accelerazione si ritiene praticamente costante, e per essa viene assunto il valore di: **9,81 m/s²**.



Quest'espressione è importante, perché ci consente di calcolare il valore della FORZA PESO **P** al variare della MASSA **m**.

Possiamo provare ad identificare il SISTEMA rappresentato nella figura:



E' lo schema del nostro sistema.

Possiamo così identificarlo:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{I = m;} \\ \mathbf{VI = qualsiasi\ valore\ reale\ positivo;} \\ \mathbf{U = P;} \\ \mathbf{VU = qualsiasi\ valore\ reale\ positivo.} \end{array} \right.$$

E' sufficiente fornire alla nostra legge il valore della massa \mathbf{m} per poter definire il valore del PESO, o meglio della FORZA PESO \mathbf{P} :
abbiamo così determinato il nostro MODELLO.

Supponiamo ora di voler studiare l'effetto gravitazionale su MARTE: la sola modifica, da apportare al nostro MODELLO, riguarda la COSTANTE \mathbf{g} .

Infatti per i sassi lanciati sul pianeta marziano, non possiamo utilizzare il valore di \mathbf{g} terrestre, ma un valore costante differente, dipendente dal modo con cui il nuovo pianeta attira gli oggetti. Tutto questo ci permette di affermare che la COSTANTE \mathbf{g} è un PARAMETRO.

DEFINIZIONE. Si chiama parametro una grandezza fornita in ingresso al SISTEMA, che può variare di caso in caso, ma che resta COSTANTE e NON MODIFICABILE nell'ambito della stessa sperimentazione.

Nel nostro esempio la grandezza \mathbf{g} è COSTANTE, per i sassi lanciati sulla terra, sarà COSTANTE anche per i sassi lanciati su marte, pur avendone un valore differente.

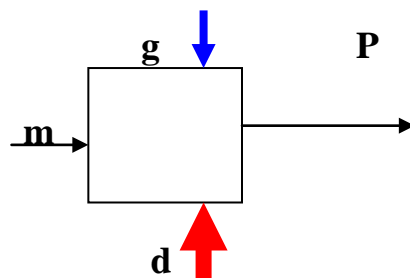
Supponiamo ora che, il nostro sasso o grave, sia lanciato da una rupe, e per ipotesi, esso urti uno spuntone di roccia. Questo evento, del tutto imprevedibile ed imprevisto, produrrà sicuramente un effetto sul moto del sasso. In tal caso l'urto modifica il moto naturale del sasso, e perciò in questo caso il COMPORTAMENTO DEL SISTEMA ha subito un **DISTURBO**.

DEFINIZIONE: un **DISTURBO** è un fattore che si inserisce nel **SISTEMA**, in modo **ASINCRONO**, e non prevedibile, causando una **variazione del comportamento del SISTEMA** stesso.

Un evento si dice **ASINCRONO** se non è detto si verifichi ogni volta che il **SISTEMA** si trovi in situazioni analoghe.

Pertanto un **DISTURBO** è un evento asincrono che risulta imprevedibile, e slegato dalle normali operazioni compiute dal **SISTEMA**.

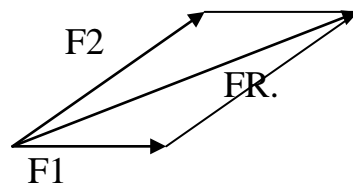
Con quanto detto lo schema del **SISTEMA**, precedentemente, rappresentato, può essere così modificato:



ALTRI ESEMPI IMPORTANTI

Vogliamo caratterizzare dei **SISTEMI MODELLO** in alcuni casi importanti.

Supponiamo di volere calcolare l'intensità della **RISULTANTE** di due forze **CONCORRENTI**, fornendo in **ingresso** le loro **intensità** e l'**angolo** tra esse compreso. Si indicherà con **F1** e **F2** l'intensità delle due **FORZE** e sia \varnothing l'angolo fra esse compreso. Indicheremo inoltre con **FR** la **FORZA RISULTANTE**.



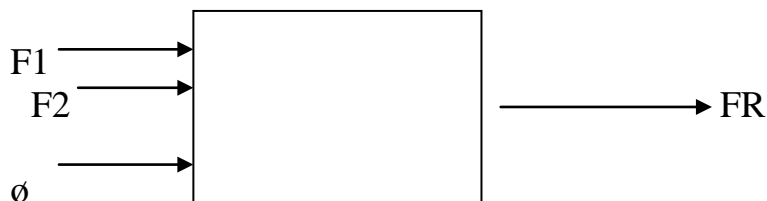
Il **RISULTATO VETTORIALE** si ottiene mediante la regola del **PARALLELOGRAMMA**. Tutte queste **VARIABILI** possono assumere un valore reale, e \varnothing si misura in **GRADI SESSAGESIMALI**. Possiamo così identificare il **SISTEMA**:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{I} = \mathbf{F1, F2, \varnothing.} \\ \mathbf{VI} = (\mathbf{f1, f2, \varnothing}), \text{ con } f1, f2 \text{ di valore REALE.} \\ \mathbf{U} = \mathbf{FR.} \\ \mathbf{VU} = \mathbf{fr}, \text{ con } fr \text{ di valore REALE.} \end{array} \right.$$

Il nostro MODELLO utilizzerà la LEGGE di CARNOT o dei COSENI:

$$\sqrt{FR = F1^2 + F2^2 - 2.F1.F2 \cos(180 - \phi)}$$

Perciò il nostro MODELLO sarà questo, e potremo anche così schematizzarlo:



Consideriamo la seguente tabella, che esprime degli esempi numerici del nostro MODELLO:

F1 in N	F2 in N.	Ø in GR.SES.	FR in Newton
30	10	30	~ 39
60	20	45	~ 75
90	15	60	~ 98,4

Consideriamo ora il PRIMO PRINCIPIO della TERMODINAMICA, ossia sfrutteremo detto principio per il CALCOLO del LAVORO **L**, noto il CALORE **Q**, e La variazione di ENERGIA INTERNA, $U_f - U_i = \Delta U$.
La relazione che lega queste grandezze è la seguente:

$$\Delta U = Q + L \Rightarrow$$

$$L = \Delta U - Q = (U_f - U_i) - Q.$$

Identifichiamo il nostro SISTEMA MODELLO:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{I} = U_f, U_i, Q. \\ \mathbf{VI} = (u_f, u_i, q). \quad \text{valori reali} \\ \mathbf{U} = L \\ \mathbf{VU} = 1 \quad \text{valore reale.} \end{array} \right.$$

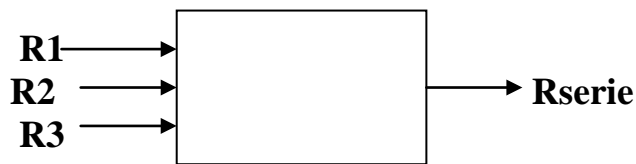
Il nostro MODELLO sarà possibile così schematizzarlo:



L'esempio fornito può essere schematizzato secondo questa tabella:

U_i	U_f	Q	L
200	160	30	-70
160	100	20	-80
100	95	7	-12
100	300	50	150
200	550	100	250

Crea tu l'esempio di un SISTEMA MODELLO, di resistenze in serie ed in parallelo.



Identificazione del MODELLO proposto:

$$I = R_1, R_2, R_3.$$

$$VI = (r_1, r_2, r_3), \quad \text{valori reali positivi.}$$

$$U = R_t \quad \text{resistenza totale o serie o parallelo.}$$

$$VU = r_t \quad \text{valore reale positivo.}$$

I PROCESSI

Fino ad ora abbiamo visto come caratterizzare, identificare, riprodurre ed analizzare un SISTEMA.

A questo punto è necessario introdurre un altro FATTORE importante, ossia il FATTORE TEMPO.

Introdurre il tempo significa avere la possibilità di capire come EVOLVE un SISTEMA, ossia come esso passi da uno STATO INTERNO ad un ALTRO.

Vogliamo definire un metodo per rappresentare tutto questo, utilizzando SCHEMI GRAFICI.

DEFINIZIONE. Chiamiamo **PROCESSO** la sequenza di STATI, ordinati rispetto al tempo attraverso i quali il SISTEMA passa, sollecitato da un qualsiasi insieme di valori di INGRESSO.

Si capisce allora, che attraverso questo passaggio, noi passiamo da un'ANALISI STATICA del SISTEMA ad un'ANALISI DINAMICA.

Per studiare il comportamento DINAMICO del SISTEMA utilizzeremo degli strumenti grafici; infatti allo scopo introdurremo due TABELLE:

- a) TABELLA di TRANSIZIONE degli STATI,
- b) TABELLA di TRASFORMAZIONE delle USCITE.

La tabella di TRANSIZIONE degli STATI è caratterizzata da due entrate, dove in ogni colonna viene indicato lo STATO del SISTEMA, ed in ogni riga viene indicato il corrispondente VALORE di INGRESSO:

S / VI	I1	I2	I3
S1	S3	S1	S2
S2	S2	S3	S1
S3	S2	S1	S1

In definitiva i nostri insiemi di STATO e di INGRESSO si possono così identificare:

$$VI = i1, i2, i3.$$

$$S = S1, S2, S3.$$

Ora supponiamo che il SISTEMA si trovi nello STATO S1, e che gli venga fornito l'ingresso di valore i3, allora esso reagisce portandosi nello STATO S2. Allo stesso modo, se ora propongo un nuovo valore di ingresso, ad esempio i2, il SISTEMA reagisce portandosi in nuovo STATO, ossia nello STATO, S3, mentre se avessi applicato l'ingresso i1, esso avrebbe reagito in modo diverso, cioè sarebbe rimasto nello STATO S2.

La tabella introdotta mette in relazione tutti gli STATI con gli INGRESSI e con la variabile TEMPO; tuttavia NON abbiamo alcuna indicazione sulle USCITE. A questo punto occorre introdurre una seconda TABELLA, cioè la TABELLA di TRASFORMAZIONE delle USCITE. In questo caso la relazione definita è proprio lineare, in altri termini il legame STATO e USCITA ha carattere lineare. Indichiamo i possibili valori di USCITA:

$$\mathbf{VU} = \mathbf{u1,u2,u3.}$$

Da ciò posso utilizzare la seguente TABELLA di legame:

S	VU
S1	U1
S2	U2
S3	U3

Chiudiamo il ciclo di funzionamento di questo nostro SISTEMA, facendo delle ipotesi. Supponiamo che, il SISTEMA, si trovi nello STATO S1 e gli venga fornito l'ingresso i1, allora il SISTEMA stesso reagirà portandosi nello STATO S3, fornendo così l'USCITA u3.

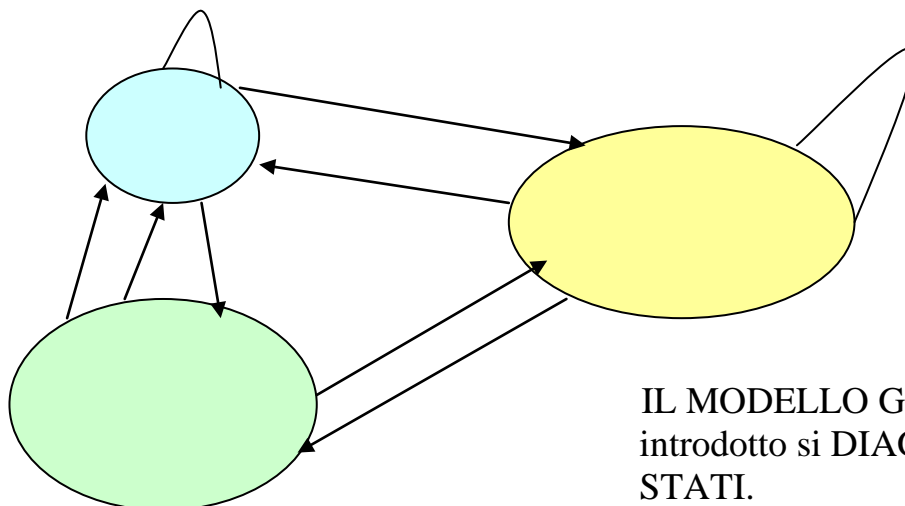
Se adesso diamo in ingresso, ancora, il valore i1, allora esso reagisce portandosi nello STATO S2, fornendo così in USCITA la RISPOSTA, di valore u2.

Infine, a questo punto, è possibile crearsi un metodo grafico, che ci consenta di rappresentare i PROCESSI, impiegando le informazioni contenute nelle due TABELLE precedenti.

I simboli adottati sono:

- ◆ **CERCHI**, che contengono nella parte alta, lo STATO e, nella parte bassa, la relativa USCITA.
- ◆ **FRECCE**, che entrano ed escono dai cerchi, che contengono i valori degli ingressi

In particolare avremo tanti CERCHI quanti sono i valori dello STATO, e da ogni cerchio usciranno tante FRECCE quanti sono i valori di INGRESSO.(V. SCHEMA)



IL MODELLO GRAFICO ora introdotto si DIAGRAMMA degli STATI.

SCHEMATIZZAZIONE E CONTROLLO

Ora, vogliamo introdurre l'ALGEBRA degli SCHEMI a BLOCCHI.

In altri termini NOI, schematizziamo, brutalmente un SISTEMA, COME una SCATOLA, ma in realtà la scatola è un elaboratore, che lavora UNO o PIU' ingressi e li trasforma in UNO o PIU' segnali di uscita.

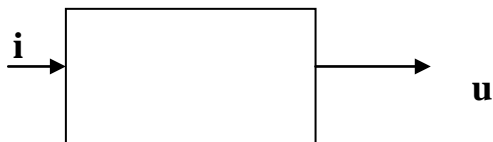
E' ovvio che fra i segnali di ingresso e di uscita deve esservi un legame, di TIPO, certamente, MATEMATICO.

Pertanto, il modo in cui queste "scatole" sono composte, risultano governate da opportune REGOLE.

In pratica dobbiamo definire :

- ◆ **gli OGGETTI**, cioè i simboli grafici con cui avremo a che fare;
- ◆ **le REGOLE**, cioè le operazioni possibili, per poter individuare
- ◆ **la relazione fra INGRESSI e USCITE.**

Cominciamo ad esaminare le varie situazioni che si possono presentare, anche se NOI, tenderemo sempre di ricondurci ad una semplice situazione, come quella rappresentata in figura:



E' il caso più semplice in assoluto, in cui l'uscita **u** è proporzionale, mediante la costante **K** all'ingresso **i**. Il modello matematico è allora:

$$U = K \cdot i$$

Dove si evidenzia che il segnale di uscita, è esprimibile come prodotto della COSTANTE **K**, per il segnale inviato in ingresso.

GLI OGGETTI A seconda della complessità del SISTEMA da rappresentare, all'interno del blocco principale ,potremmo avere altri blocchi ed alcuni simboli grafici. Il nostro scopo è quello di ricondurre, questi blocchi complessi ad una schematizzazione elementare, come quella disegnata nella parte superiore del foglio.

Gli OGGETTI con cui avremo a che fare sono i seguenti:

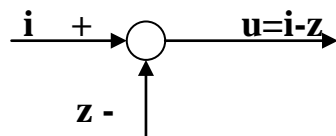
- 1) BLOCCO,
- 2) LINEA ORIENTATA,
- 3) NODO SOMMATORE,
- 4) NODO DERIVATORE.

Il BLOCCO consente l'operazione di moltiplicazione tra la **costante** ed il valore, riportato **all'ingresso**. Quanto ottenuto rappresenta il valore di **uscita**.

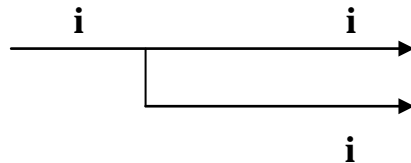
La LINEA ORIENTATA indicata che, lungo tutta la linea ed il verso indicati, è presente il valore indicato.



Il NODO SOMMATORE esegue l'operazione di SOMMA ALGEBRICA tra le grandezze indicate in entrata nel cerchio; ovviamente se in vicinanza della freccia è indicato + la grandezza va sommata, se è indicato - la grandezza va sottratta.



Il NODO DERIVATORE consente di TRASFERIRE lo stesso segnale, verso parti distinte del SISTEMA, in modo invariato.



Tutti gli OGGETTI descritti possono essere composti secondo le REGOLE che introdurremo fra poco. Tutto questo insieme di SIMBOLI e di REGOLE costituisce **L'ALGEBRA degli SCHEMI a BLOCCHI.**

Vediamo ora le REGOLE Più IMPORTANTI. Esse verranno utilizzate per l'ANALISI e la SINTESI dei SISTEMI. Queste stesse regole di semplificazione, si fondano sul PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE degli EFFETTI.

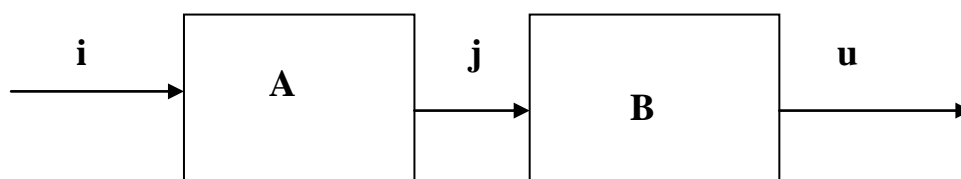
Questo principio lo si può così introdurre:

se i valori di ingresso X1 e X2 applicati contemporaneamente al SISTEMA producono l'uscita Y, e se applicandoli separatamente essi produrranno le due uscite Y1 ed Y2, allora è vera la seguente condizione:

$$Y = Y1 + Y2.$$

1) BLOCCHI IN CASCATA

Due blocchi sono in CASCATA o SERIE quando l'uscita del primo diviene l'ingresso del secondo:

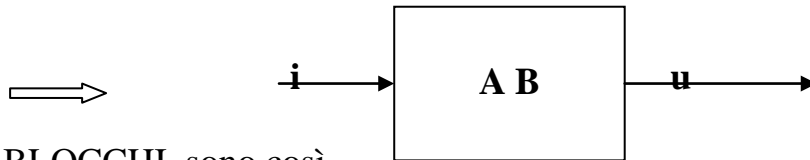


MATEMATICAMENTE potremo scrivere:

$$\begin{cases} \mathbf{j} = \mathbf{A} \mathbf{i} \\ \mathbf{u} = \mathbf{B} \mathbf{j} \end{cases}$$

ossia potremo scrivere:

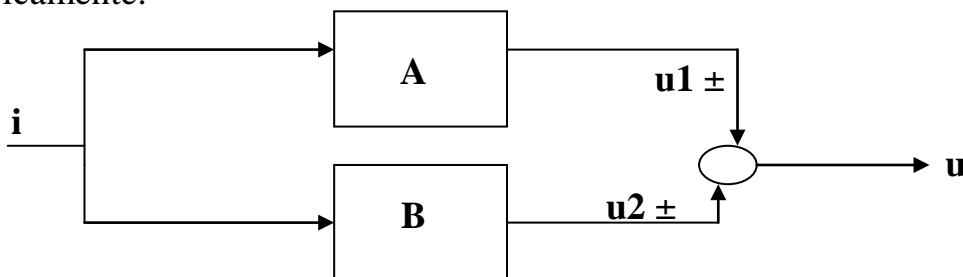
$$\mathbf{u} = \mathbf{A} \mathbf{B} \mathbf{i} \quad \longrightarrow$$



I due schemi a BLOCCHI, sono così equivalenti.

2) BLOCCHI IN PARALLELO

Due blocchi si dicono in PARALLELO, quando hanno lo stesso segnale di INGRESSO ed i rispettivi segnali in USCITA, si sommano o si sottraggono, algebricamente:



Applicando il PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE degli EFFETTI potremo scrivere:

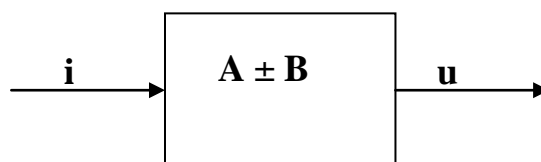
$$\begin{cases} \mathbf{u1} = \mathbf{A} \mathbf{i} \\ \mathbf{u2} = \mathbf{B} \mathbf{i} \end{cases}$$

ma noi sappiamo che :

$$\mathbf{u} = \mathbf{u1} \pm \mathbf{u2} \quad \longrightarrow$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{A} \mathbf{i} \pm \mathbf{B} \mathbf{i} = (\mathbf{A} \pm \mathbf{B}) \mathbf{i}$$

Tutto ciò equivale a porre:

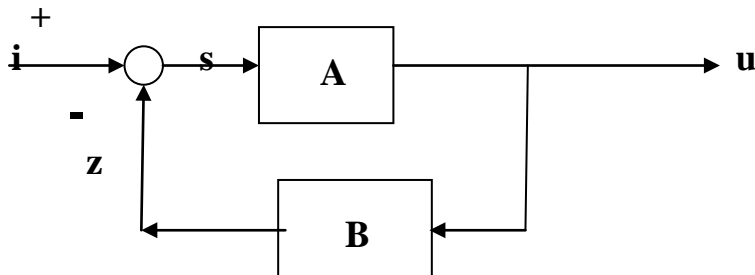


3) BLOCCHI IN RETROAZIONE

Due blocchi si dicono in RETROAZIONE, positiva o negativa, se il segnale di uscita da un blocco, (eventualmente sommato o sottratto da un altro, presente nel SISTEMA.), costituisce l'INGRESSO dell'ALTRO BLOCCO.

Si ricorda che, nel nostro schema il BLOCCO **A**, si chiama **SISTEMA CONTROLLATO**, mentre il BLOCCO **B**, si chiama **SISTEMA CONTROLLORE**.

Consideriamo dunque, il seguente BLOCCO in RETROAZIONE **negativa**:



Ragioniamo ora matematicamente, per vedere se è possibile, ricavare un BLOCCO più semplice, ma equivalente al dato:

$$\begin{cases} s = i - z \\ u = As, \text{ ma è altresì vero che,} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} z = B.u \end{cases}$$

Posso scrivere allora, $u = A (i - z) = A i - A z, \text{ ma } z = B u \Rightarrow$

$$\Rightarrow u = A i - A B u.$$

Porto a primo membro l'espressione in **u**, ottenendo:

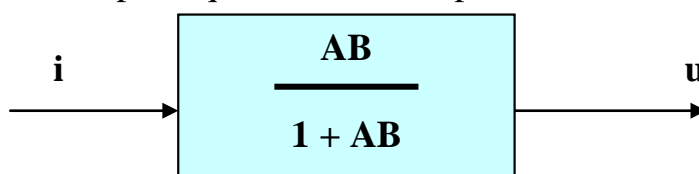
$\Rightarrow u + A B u = A i$, ora raccolgo **u**, (ossia il nostro segnale di uscita), ottenendo la relazione seguente:

$$u (1 + A B) = A i, \text{ e perciò, l'espressione finale, sarà}$$

del tipo seguente,

$$u = \frac{A B i}{1 + A B}$$

Il BLOCCO iniziale si può equivalentemente portare alla forma:

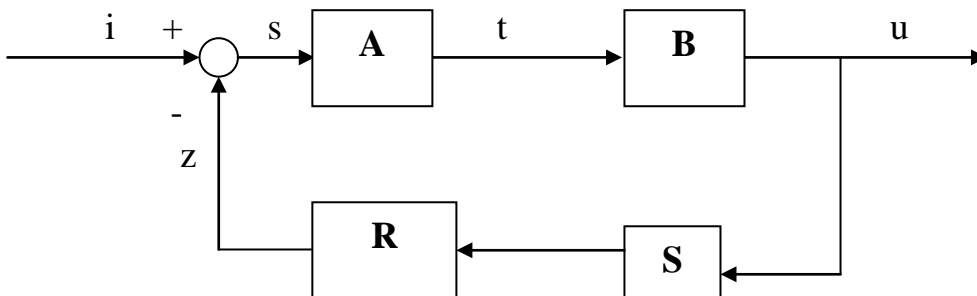


Con le regole introdotte è possibile, attraverso passi successivi, operare su SISTEMI A BLOCCO complessi e ridurli a BLOCCHI più semplici. Ricordando che la massima aspirazione, nella riduzione, è di legare l'uscita e l'ingresso mediante una costante, ossia esprimere matematicamente l'uscita e l'ingresso nel modo seguente: $u = K \cdot i$

Comunque, ridurre un SISTEMA A BLOCCHI complesso, in una forma più compatta e semplice ne facilita lo studio e l'analisi.

ESEMPIO 1

Si riduca in una FORMA più semplice il seguente SISTEMA a BLOCCHI:



Matematicamente posso scrivere così:

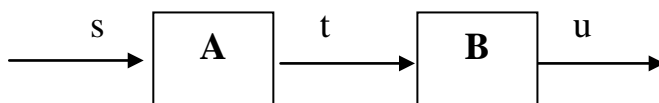
$$s = i - z, \quad t = A \cdot s, \text{ ma } u = t \cdot B$$



$$u = B \cdot t = B \cdot A \cdot s,$$



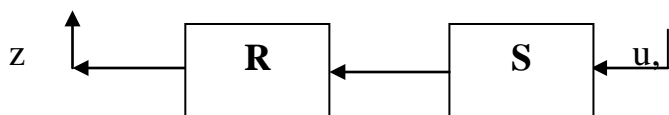
pertanto il gruppo,



rappresentato dalla serie o cascata di due blocchi li posso sostituire, in modo equivalente con il seguente blocco unico: (VEDI PAGINA SUCCESSIVA)



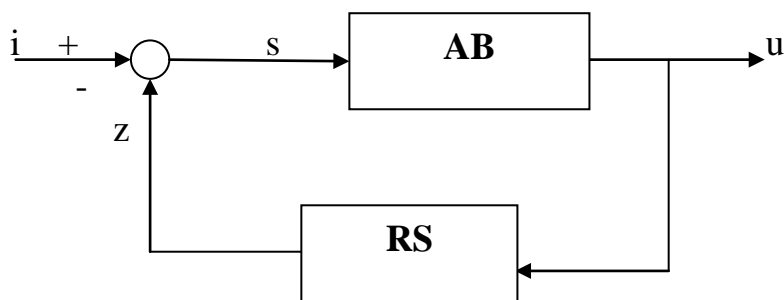
Con ragionamento perfettamente analogo, posso sostituire equivalentemente, al blocco in serie:



con il gruppo o blocco unico, seguente:



In definitiva il nostro blocco iniziale si è trasformato in un blocco più semplice, grazie alle nostre riduzioni, ottenute, applicando le regole introdotte. Pertanto il circuito ora si vede nel modo seguente:

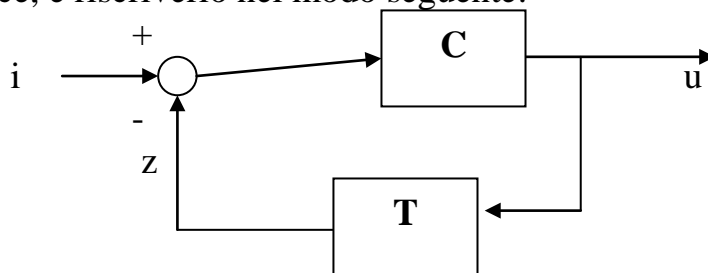


Pongo ora per semplicità:

$$AB = C$$

e $RS = T$, che il nostro SISTEMA lo posso vedere, in

modo ancora più semplice, e riscriverlo nel modo seguente:



Pertanto potrò scrivere:

$$s = i - z,$$

$$u = C s = C (i - z), \text{ ma } z = T u$$

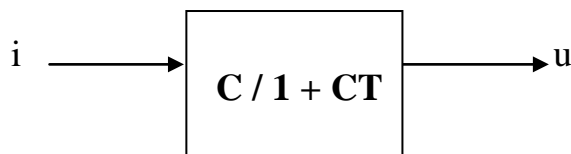
ed allora potrò scrivere, $u = C (i - z) = C i - C z = C i - C T u$,
 porto al primo membro il termine contenente il segnale di uscita, ottenendo:

$$u + C T u = C i, \text{ e cos\`i si ottiene}$$

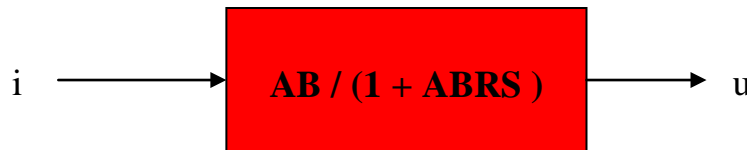
$$u (1 + C T) = C i \text{ ed in definitiva risulterà:}$$

$$u = \frac{C i}{1 + C T}$$

Pertanto il BLOCCO dato si può RIDURRE EQUIVALENTEMENTE alla forma seguente:

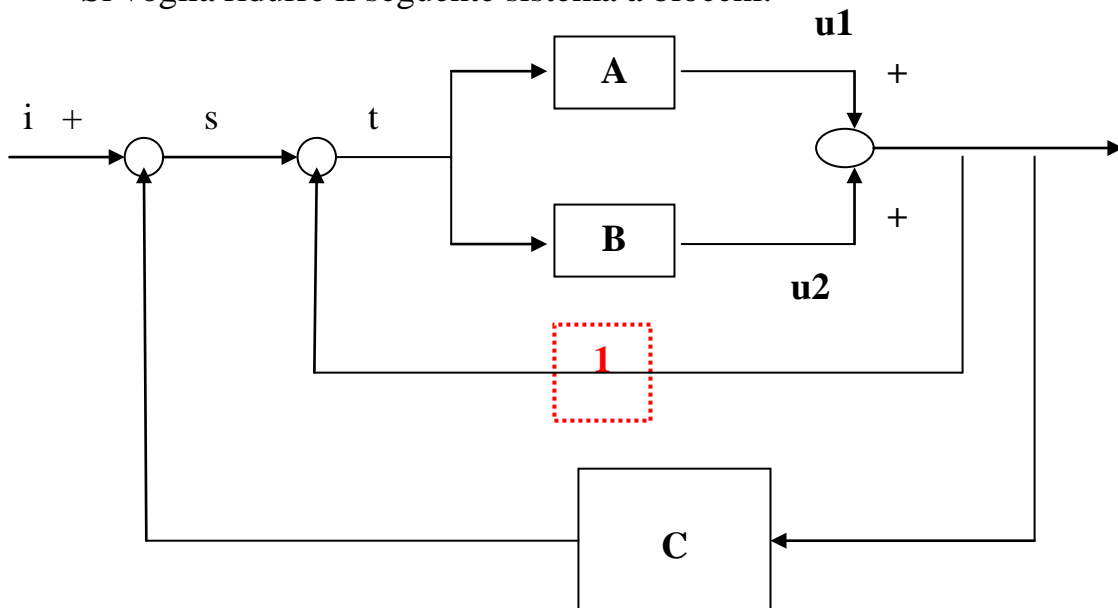


oppure

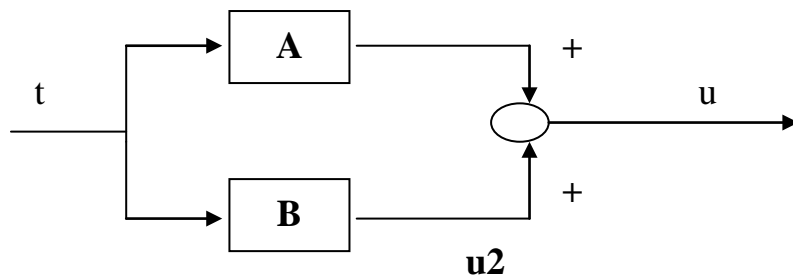


ESEMPIO.2

Si voglia ridurre il seguente sistema a blocchi:



La prima riduzione da effettuare, la si ottiene riducendo la parte più interna, ossia:

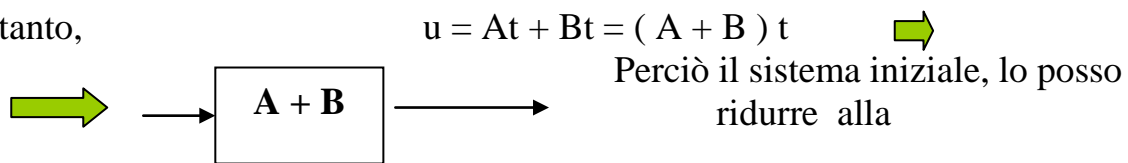


Essa è equivalente al SISTEMA che otteniamo, inizialmente, per via matematica:

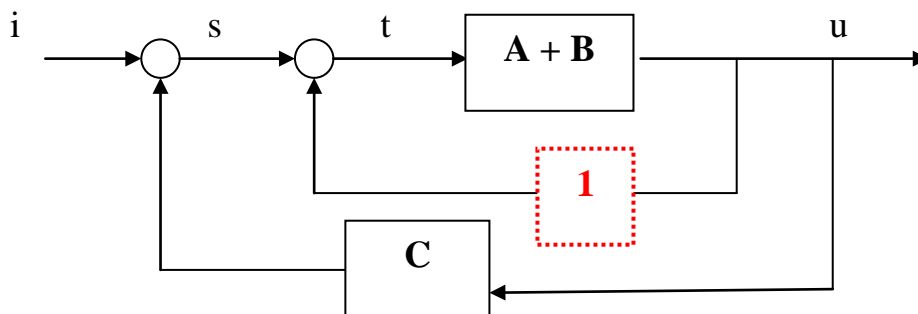
$$u_1 = A t$$

$$u_2 = B t, \quad \text{con} \quad u_1 + u_2 = u$$

pertanto,



forma seguente:



Adesso cerchiamo di ridurre la retroazione positiva:

$$d = s + u; \quad u = (A + B) t$$

$$u = (A + B) \cdot (s + u) = (A + B) s + (A + B) u$$

Porto a primo membro il termine contenente il segnale di USCITA, ottenendo così:

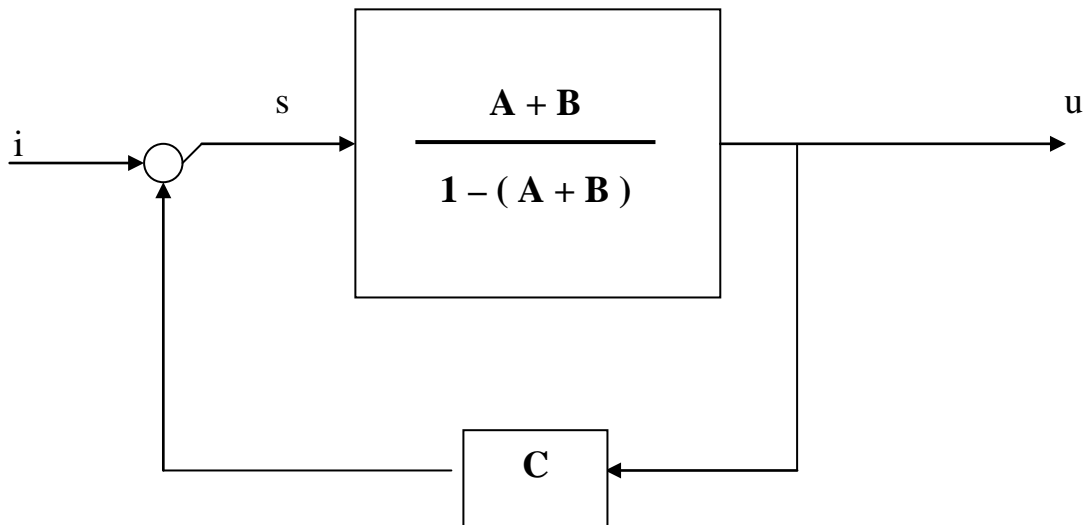
$$u - (A + B) u = (A + B) s$$

$$u (1 - (A + B)) = (A + B) s$$

ossia,

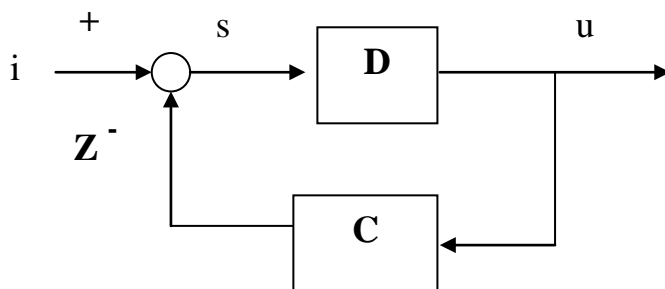
$$u = ((A + B) s) / (1 - (A + B))$$

Pertanto il sistema lo posso, infine così ridurre:



Procediamo, ora, nel ridurre la retroazione negativa:
per comodità chiamo $(A+B) / 1 - (A+B)$, con D .

E' come se studiassi il sistema seguente:



Da cui si deduce che : $s = i - z$
 $U = D s = D i - D z$, ma è anche vero che:
 $z = C u$ e questo implica che,

$$u = D i - D z = D i - D C u,$$

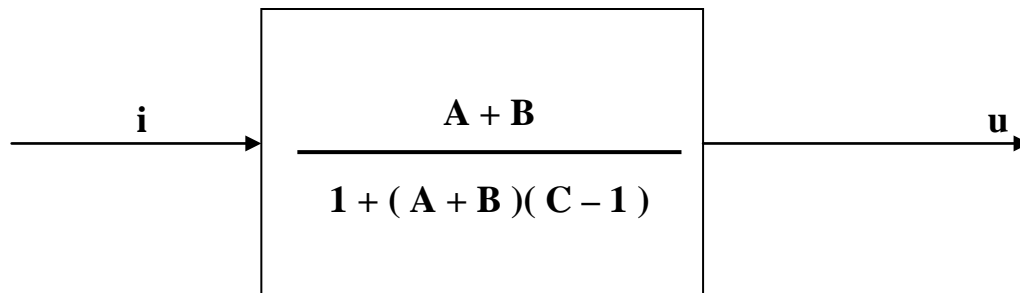
porto a primo membro il termine che contiene il segnale di USCITA u , ottenendo così,

$$u (1 + DC) = D i \text{ e ciò implica che,}$$

$$u = Di / (1 + DC)$$

Ricordando che si è posto con $D = (A+B) / 1 - (A+B)$

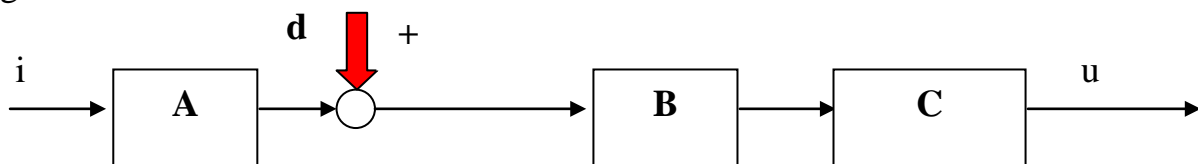
Perciò il sistema iniziale si può ricondurre al sistema equivalente di figura:



I DISTURBI NEGLI SCHEMI A BLOCCHI

In molti casi, quando si deve studiare un sistema si può avere a che fare con degli eventi imprevedibili o imprevisti, ossia con dei DISTURBI. Nei nostri casi l'inserimento di un disturbo avverrà per mezzo di un nodo sommatore, il segno "+", rappresenterà un disturbo con carattere ADDITIVO, mentre il segno "-", rappresenterà un disturbo con carattere RIDUTTIVO.

Il disturbo ADDITIVO si può ritenere come un disturbo che tende esaltare la RISPOSTA del SISTEMA, mentre quello RIDUTTIVO tenderà ad attenuare detta RISPOSTA. Lo schema di un sistema in cui è presente un DISTURBO, può essere il seguente:

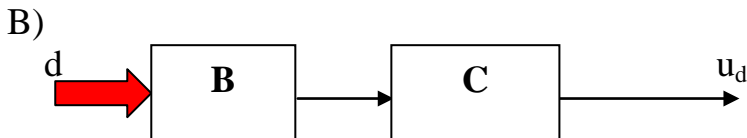
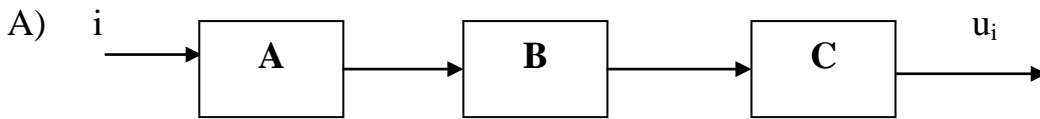


Come si vede si presenta un DISTURBO avente carattere ESALTATIVO o ADDITIVO. Quando è presente un disturbo occorre effettuare una scomposizione, avvalendosi del PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE degli EFFETTI:

un primo schema conterrà tutta la struttura, trascurando la presenza del disturbo,

un secondo schema conterrà, come ingresso, il disturbo, considerando tutti i blocchi che seguono il nodo sommatore, in altri termini è come se si considerasse il sistema iniziale prescindendo dal segnale di INGRESSO.

Riportiamo i due schemi indicati, il cui studio separato ci consente di ricavare lo schema equivalente allo schema iniziale.



La composizione dei due schemi avviene semplicemente eseguendo una SOMMA ALGEBRICA delle USCITE, ossia l'USCITA TOTALE u sarà somma delle due uscite parziali:

$$u = u_i + u_d$$

Calcoliamo il modello matematico di questa scomposizione,

$$\begin{cases} u_i = ABC i \\ u_d = BC d \end{cases}$$

Quindi il modello matematico globale è :

$$u = u_i + u_d = ABC i + BC d$$

Calcoliamo, ora, il rapporto tra la u_i e la u_d , per poter avere un'indicazione sull'incidenza del DISTURBO, sul comportamento del SISTEMA:

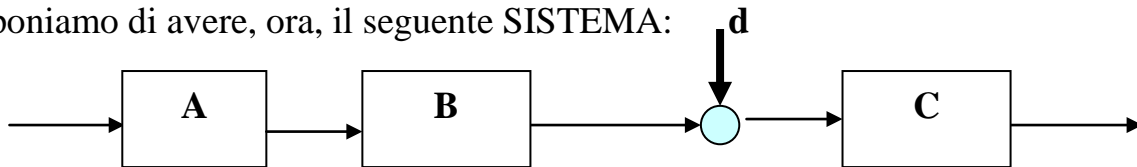
$$\begin{aligned} u_i/u_d &= A.B.C.i / B.C.d = \\ u_i / u_d &= \frac{A \cancel{B} \cancel{C} i}{\cancel{B} \cancel{C} d} \end{aligned}$$

ottenendo così,

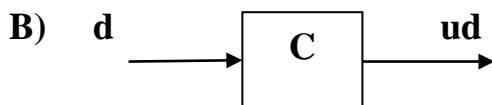
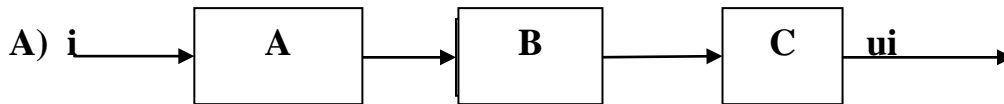
$$u_i / u_d = A (i / d)$$

Da quest'ultima equazione si può osservare che l'ingresso i viene AMPLIFICATO dal solo BLOCCO A, (che è l'unico blocco situato nella catena, prima del disturbo), mentre il disturbo d resta invariato.

Supponiamo di avere, ora, il seguente SISTEMA:



che risulterà equivalente, ai due sistemi seguenti,



LA STABILITA'

Una delle proprietà fondamentali che deve essere garantita da un SISTEMA è la **STABILITA'**.

DEFINIZIONE:

un sistema si dice stabile se in corrispondenza di piccole variazioni dei valori di ingresso, si riscontrano piccole variazioni in uscita.

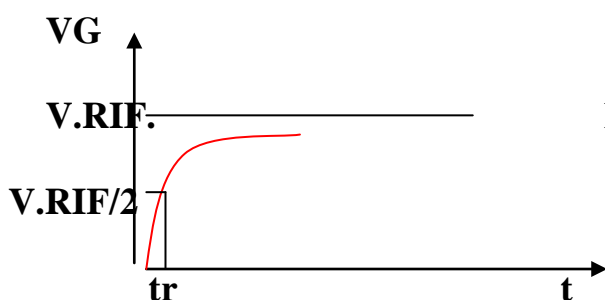
DEFINIZIONE:

un sistema si dice instabile se a piccole variazioni in ingresso, si riscontrano grandi variazioni in uscita.

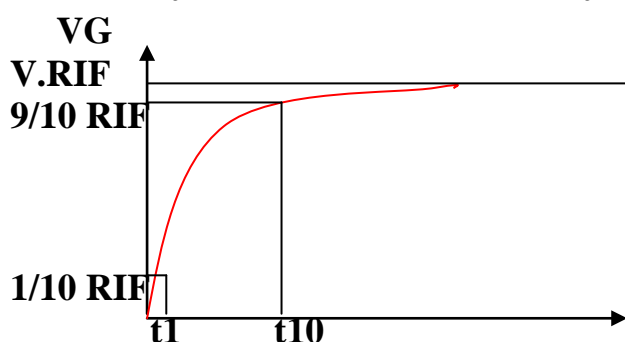
I TEMPI DI RISPOSTA

Altri indicatori importanti sulle prestazioni di un sistema sono i TEMPI di RISPOSTA, ossia il tempo impiegato dal sistema a reagire ad una sollecitazione, e poi, avvicinarsi al valore di riferimento. I tempi più significativi sono:

- A) TEMPO DI RITARDO;
- B) TEMPO DI SALITA;
- C) TEMPO DI ASSESTAMENTO.

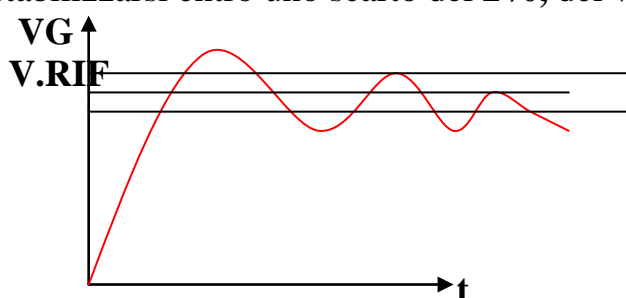


Il tempo di ritardo t_r è l'intervallo di tempo impiegato dal sistema a raggiungere la metà del valore di riferimento.

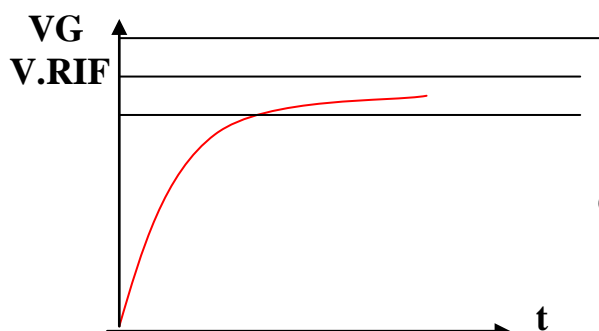


Il tempo di salita t_s è l'intervallo di tempo, che il sistema impiega per passare da 1/10 ai 9/10 del valore di riferimento.

Il tempo di **assestamento** è l'intervallo di tempo necessario al sistema, per stabilizzarsi entro uno scarto del **2%**, del **valore di riferimento**.



Se l'andamento è OSCILLATORIO, SMORZATO.



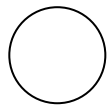
Se l'andamento ha carattere esponenziale.

Anche quest'anno dedico una lezione del corso per introdurre i principali **SEGNI GRAFICI**, impiegabili secondo la normativa vigente, salvo eventuali modifiche. Ho suddiviso i **SEGNIGRAFICI** in opportune **SEZIONI**, come prevedono le Norme.

Sezione 1: CONTORNI ed INVOLUCRI



Dispositivo, Apparecchiatura, Unità Funzionale.



Involucro

— — — — — Linea di Separazione



Schermo


Sezione 2: NATURA della CORRENTE


+ Polarità positiva — Polarità negativa

— — — DC = Direct Current = Corrente Continua

~ AC = Alternat Current = Corrente Alternata

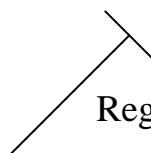
Sezione 3: VARIABILITA'

 Variabilità Lineare per azione esterna

 Variabilità NON Lineare per azione esterna

 Variabilità Interna Lineare

 Variabilità Interna NON Lineare


 Regolazione Controllata

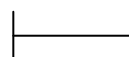
 Controllo Automatico

Sezione 8: EFFETTO o DIPENDENZA


 Effetto Termico


 Effetto Magnetico


 Effetto Magneto - Termico

 Effetto di Temporizzazione

SEZIONE 10: FORMA dei SEGNALI

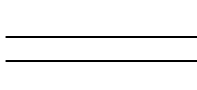
 Impulso Positivo

 Impulso Negativo

 Onda a dente di Sega

SEZIONE 12: COMANDI MECCANICI

— — — — Collegamento meccanico

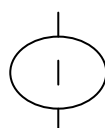
 Collegamento meccanico
Per piccoli spazi

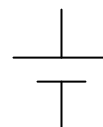
 Movimento Ritardato

—  Ritorno NON Automatico


 Freno

SEZIONE 16: ELEMENTI IDEALI dei circuiti elettrici

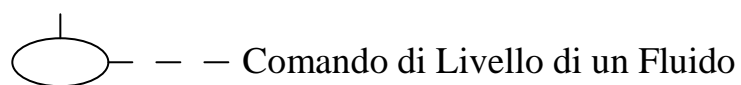
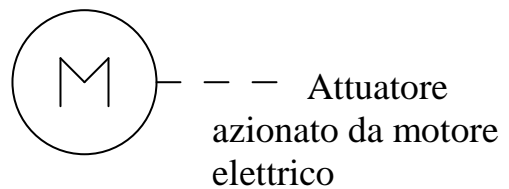
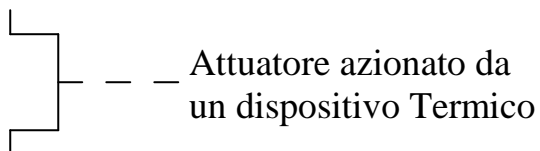
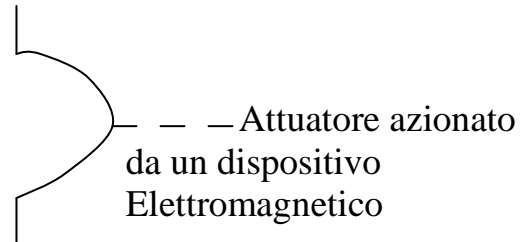
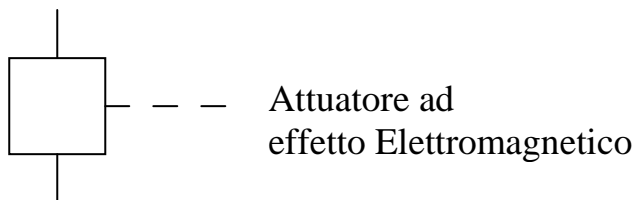
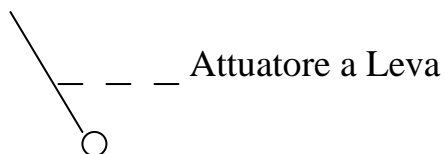
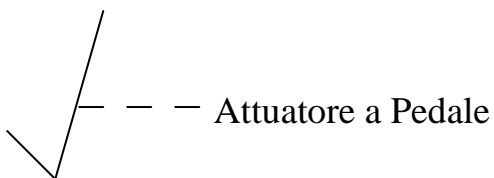
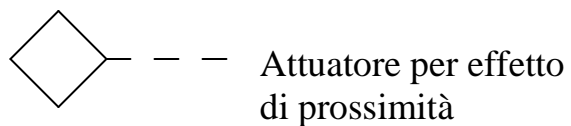
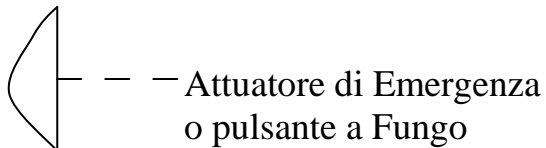
 Generatore ideale di Tensione

 PILA

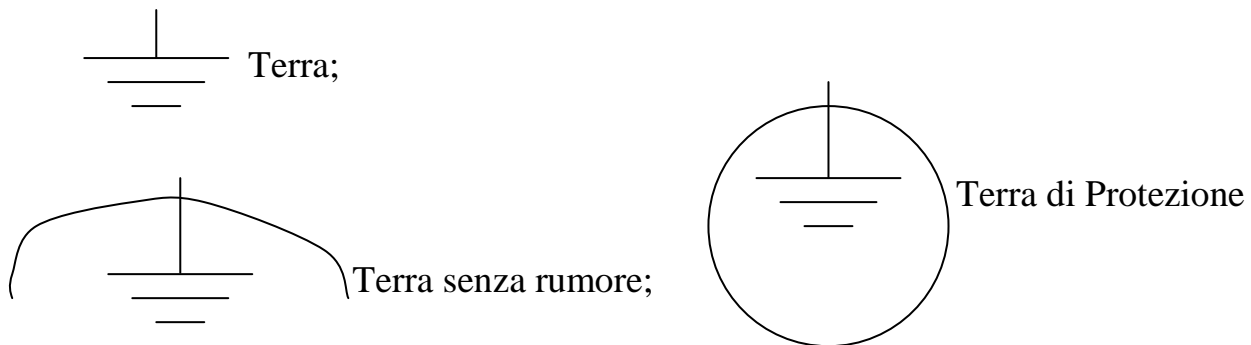
 ACCUMULATORE

 Generatore ideale di Corrente

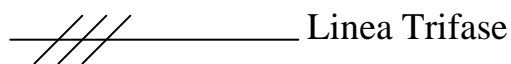
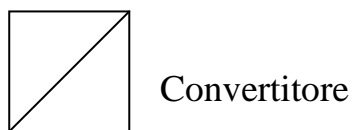
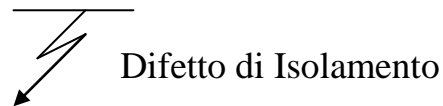
SEZIONE 13: ATTUATORI



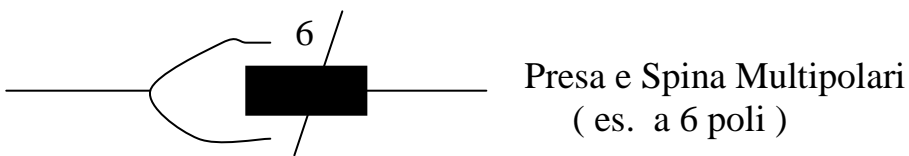
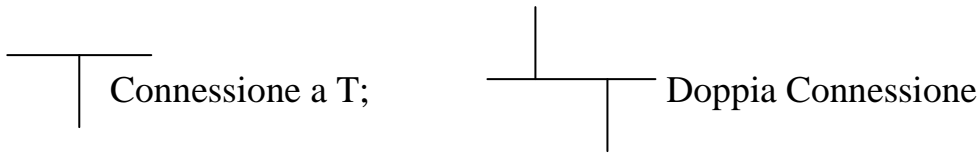
SEZIONE 15: MESSA A TERRA – MASSA – EQUIPOTENZIALITA'



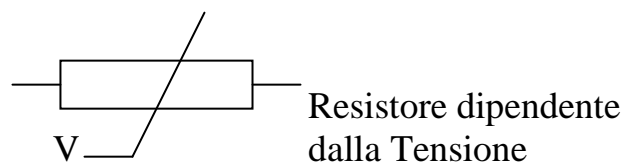
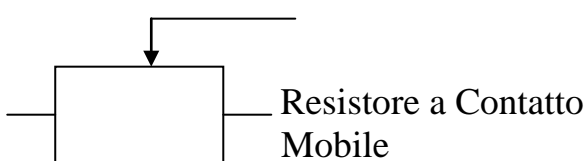
ALTRI SEGNI NORMALIZZATI



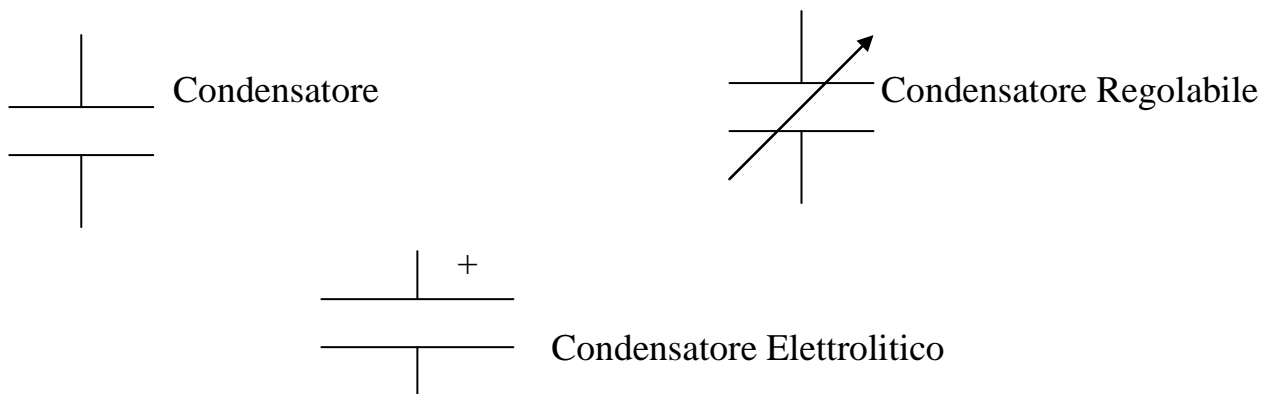
Fra i DISPOSITIVI di CONNESSIONE, ricordiamo:



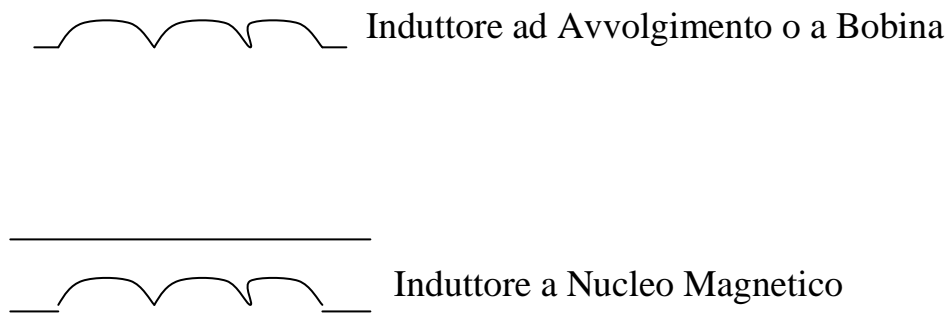
SEZIONE 1: RESISTORI



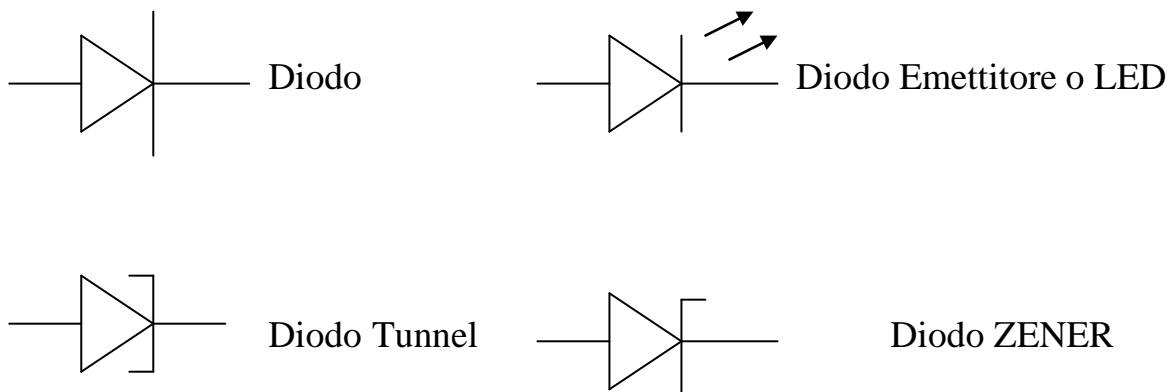
SEZIONE 2: CONDENSATORI

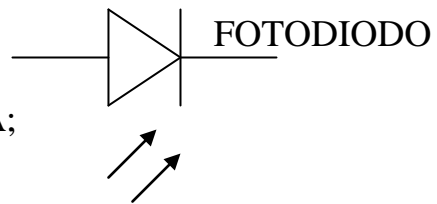
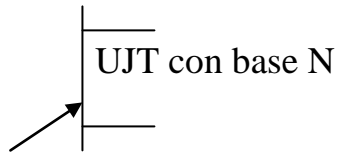
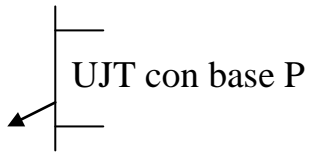
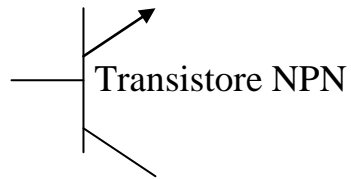
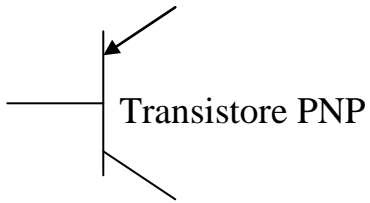
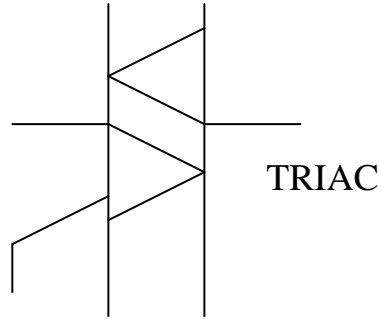


SEZIONE 3: INDUTTORI

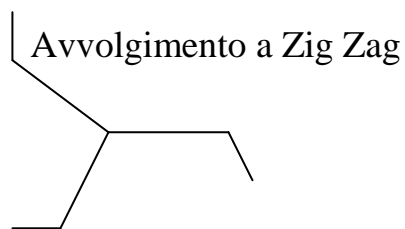
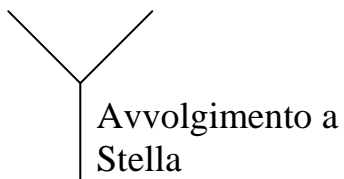


ALTRI SIMBOLI ELETTRICI ed ELETTRONICI importanti:

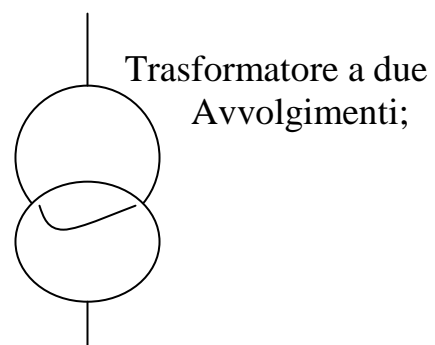
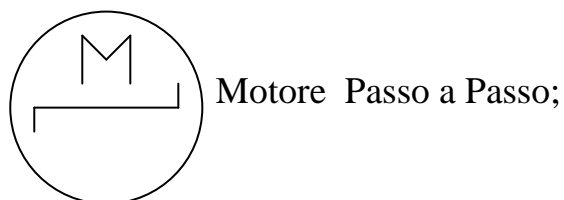
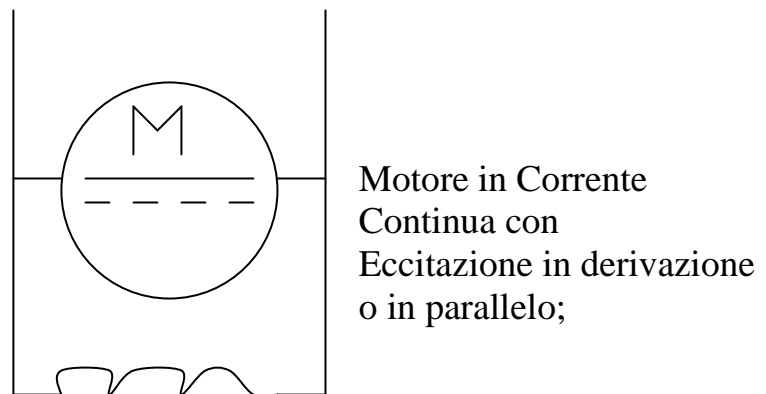


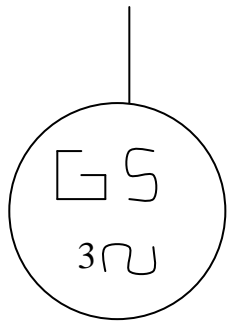


SIMBOLI RELATIVI ai COLLEGAMENTI delle Macchine Elettriche

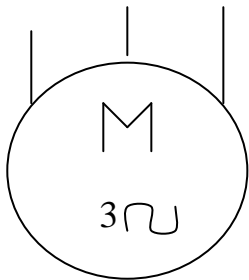


SIMBOLI per RAPPRESENTARE le TIPOLOGIE delle Macchine Elettriche

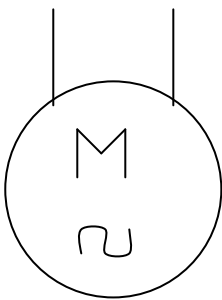




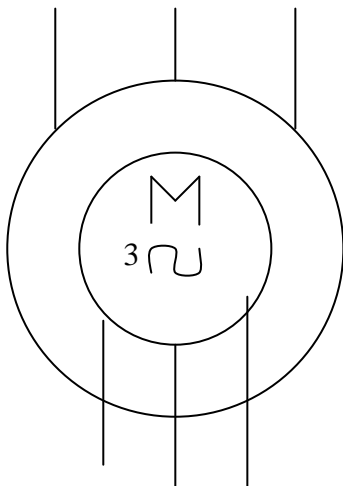
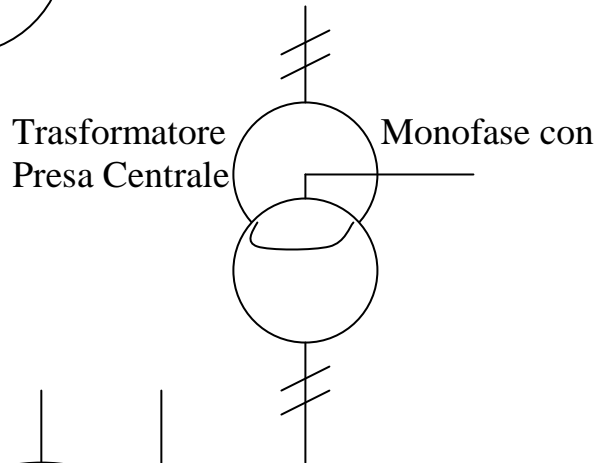
Generatore Sincrono Trifase;



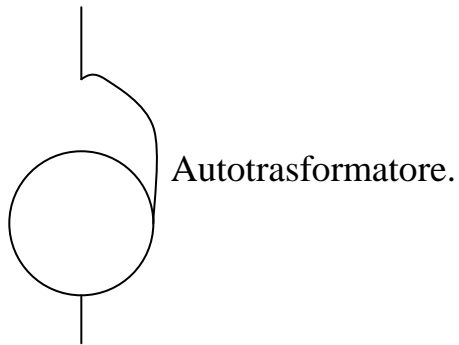
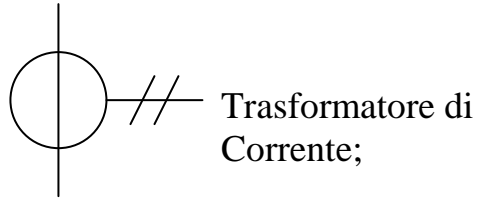
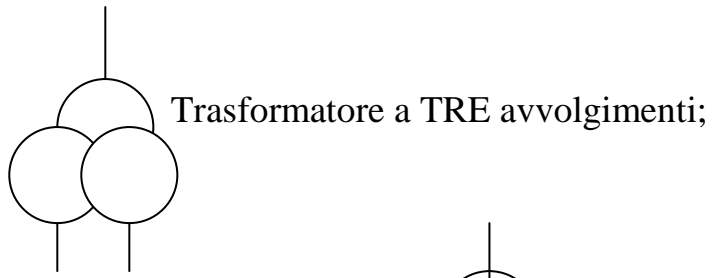
Motore Asincrono Trifase;



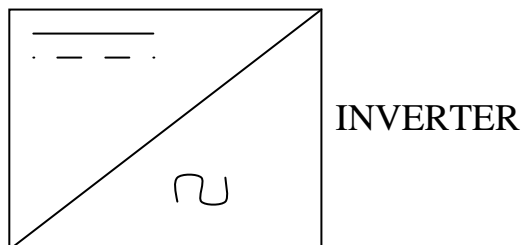
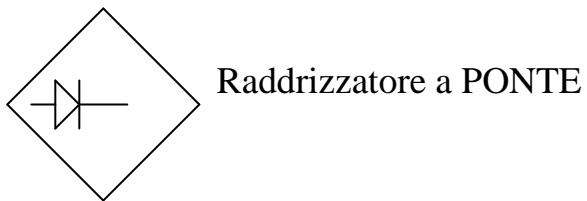
Motore Asincrono Monofase;



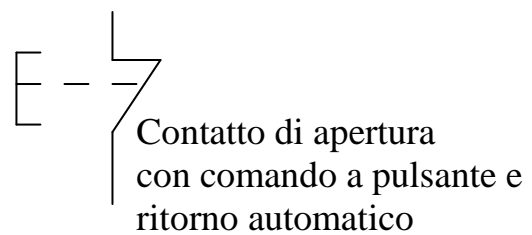
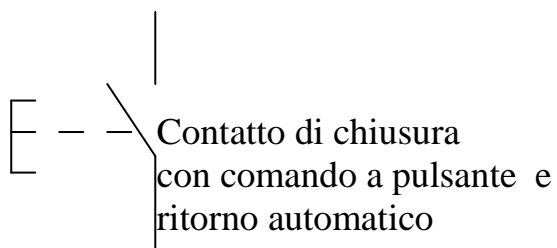
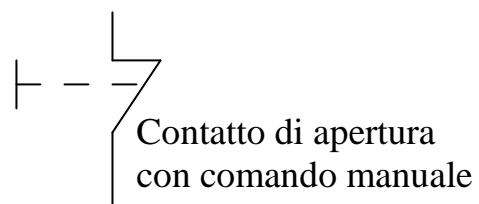
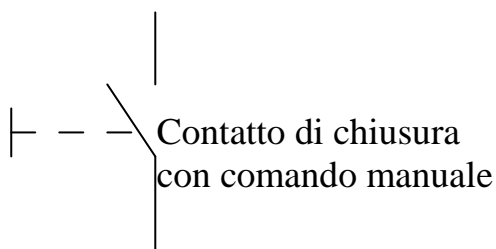
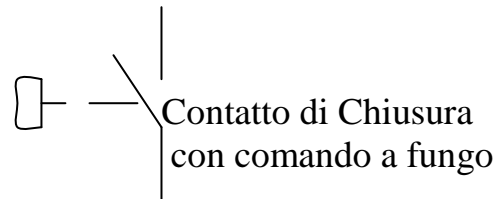
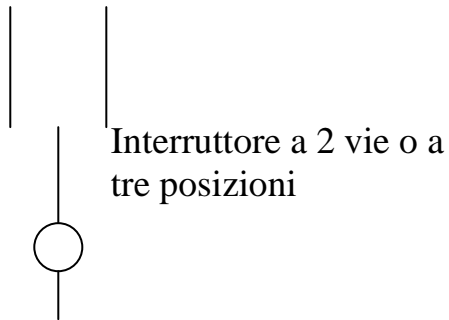
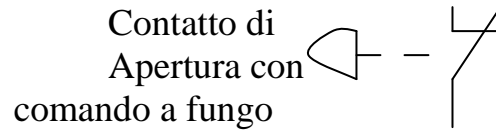
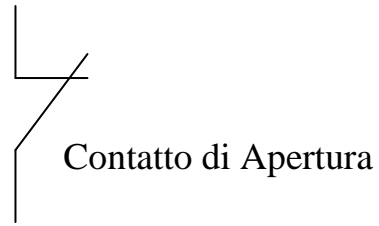
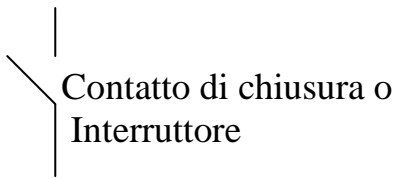
Motore Asincrono Trifase con rotore avvolto e con Anelli

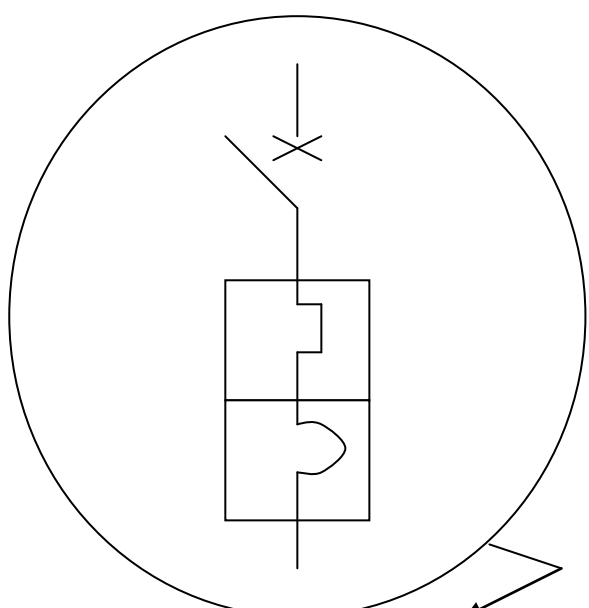
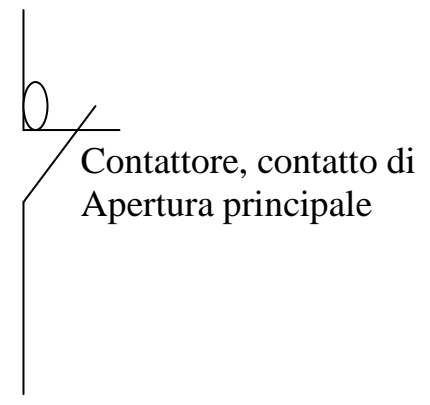
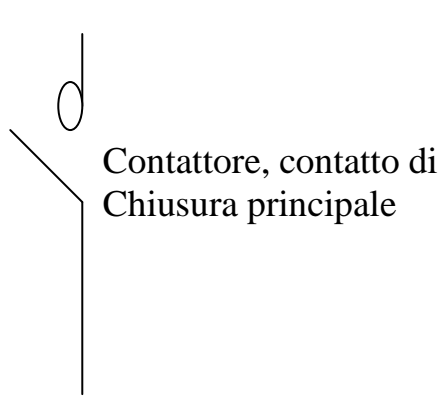


ULTERIORI SIMBOLI FONDAMENTALI

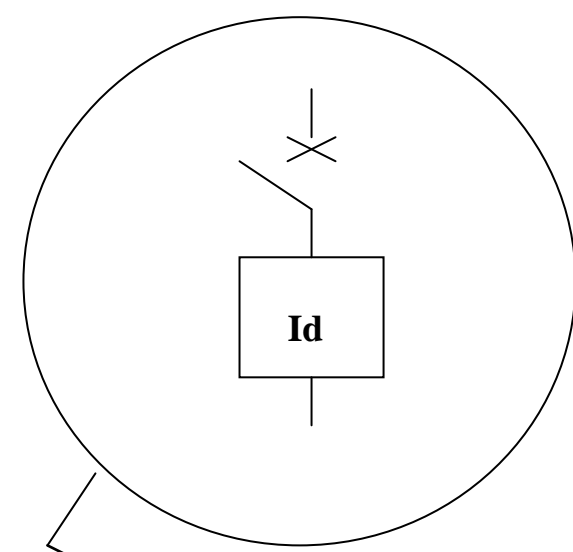


SEZIONE 2: CONTATTI





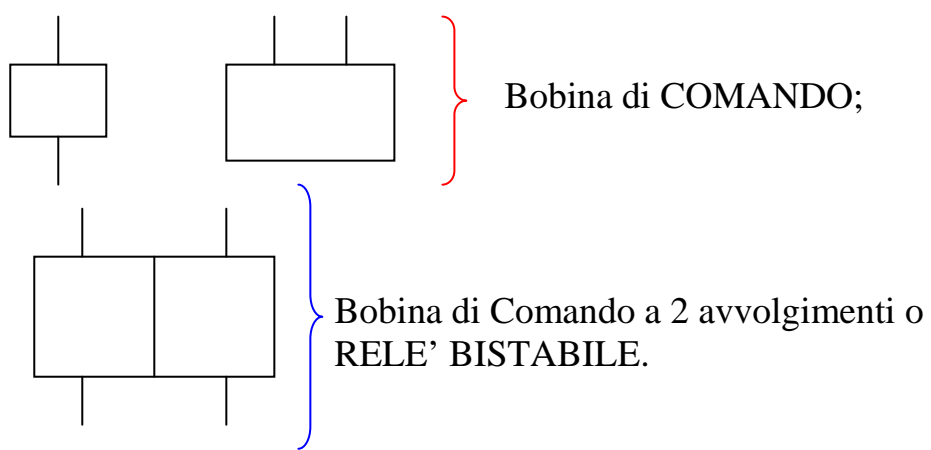
Interruttore MAGNETOTERMICO



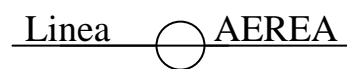
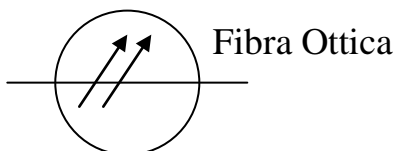
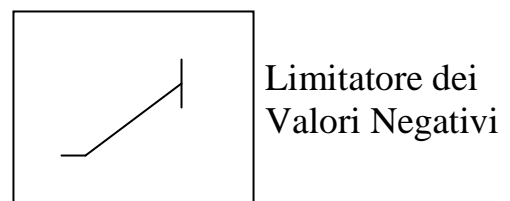
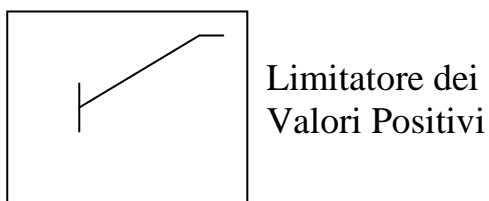
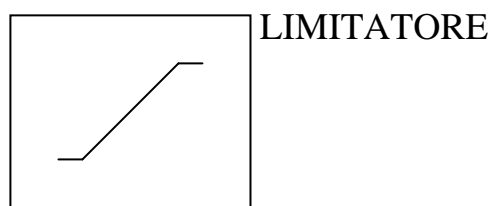
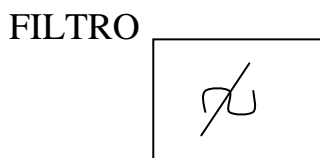
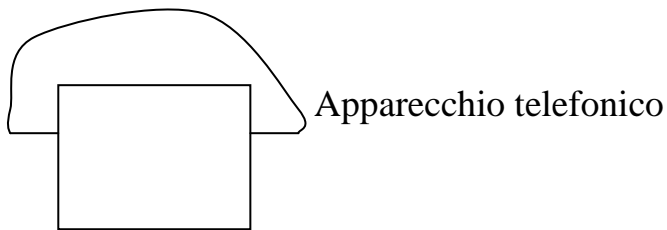
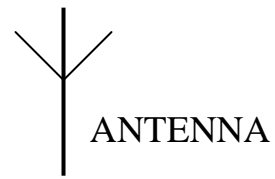
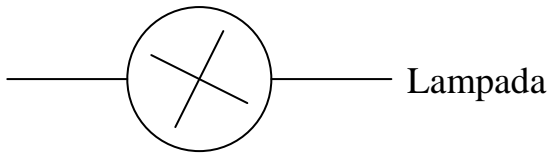
Interruttore DIFFERENZIALE


Questi due simboli non sono codificati Normalizzati, ma esclusivamente impiegati nella pratica.

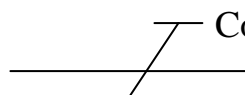
DISPOSITIVI DI COMANDO PER RELE'



ALTRI SIMBOLI IMPIEGABILI:

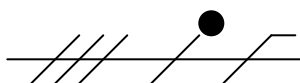


 Conduttore di NEUTRO (N)


 Conduttore di Protezione (PE)

 Conduttore di Protezione e di Neutro (PEN)

 Conduttore Monofase con Neutro

 Conduttore Trifase con Neutro e Conduttore di Protezione

SIMBOLI UTILI NEGLI IMPIANTI

 INTERRUTTORE
(simbolo generale)

 PRESA

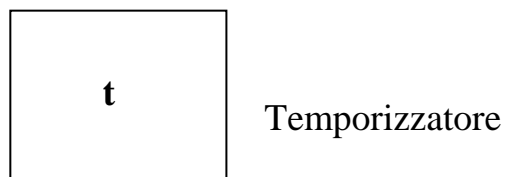
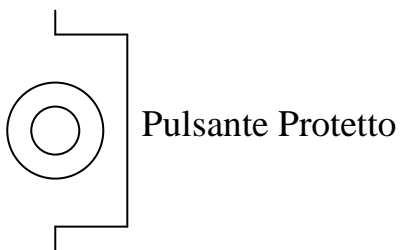
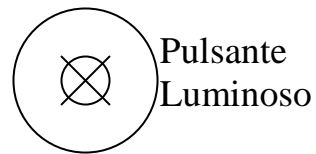
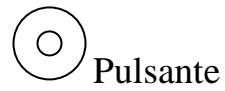
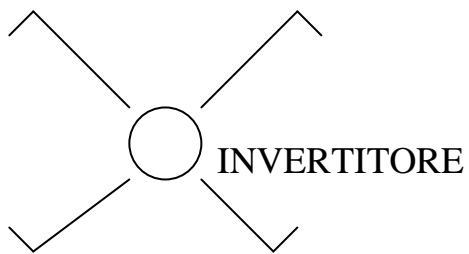
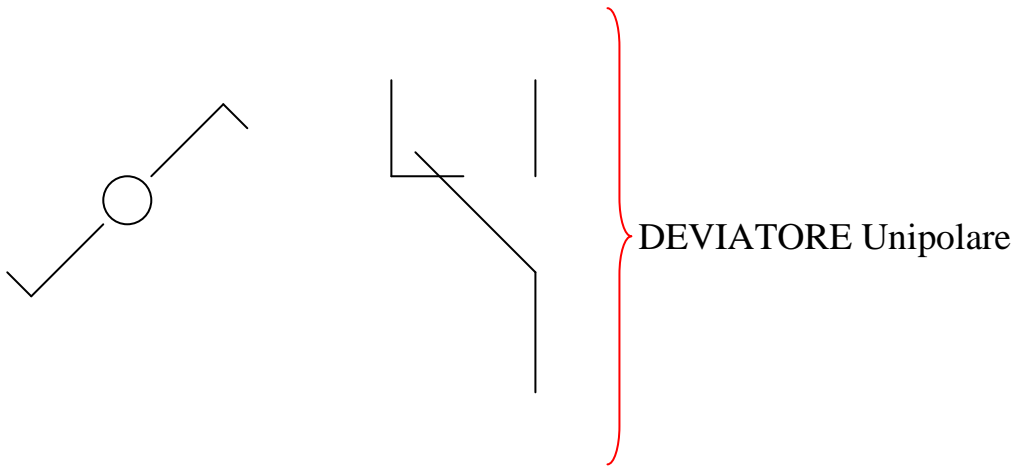
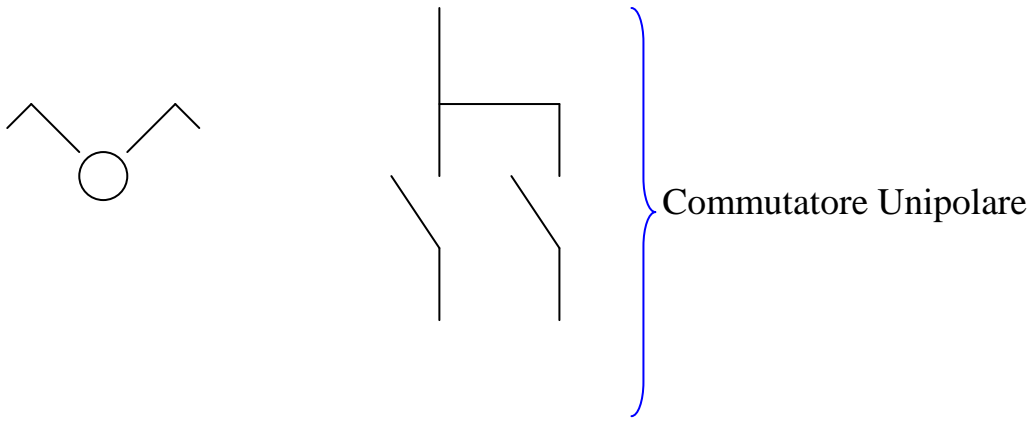
 PRESA Multipla

 Presa per Telecomunicazioni

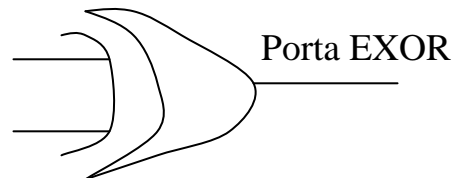
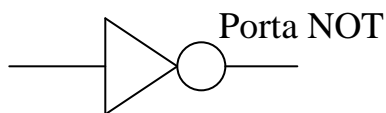
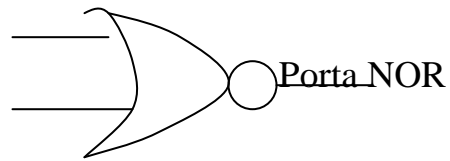
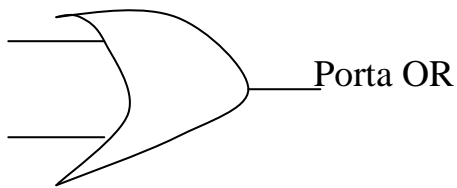
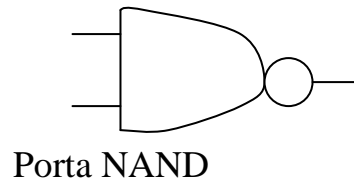
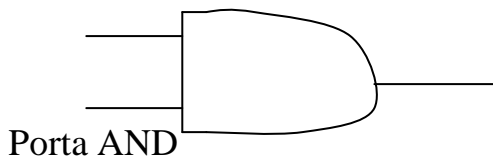
 PRESA con contatto per conduttori di protezione

 PRESA di Sicurezza

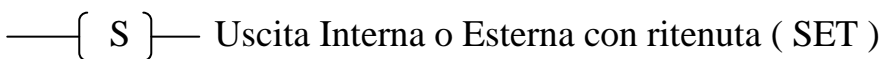
 Interruttore UNIPOLARE



SEGNI GRAFICI per le Porte Logiche fondamentali:



SIMBOLI per la PROGRAMMAZIONE dei CONTROLLORI PROGRAMMABILI o PLC



LA LOGICA ED I SISTEMI LOGICI

Nelle precedenti lezioni abbiamo affrontato il concetto di Sistema , di modello, di simulazione, oltre che del concetto di parametro, di disturbo e dei tempi fondamentali nello studio dei sistemi. Si è inoltre esaminato il concetto di Stabilità, dell'algebra degli schemi a blocchi, nonché dei segni grafici con cui spesso avremo a che fare. Vogliamo a questo punto fare riferimento ai sistemi logici. Intendendo per **logica come l'insieme delle regole che governano la manipolazione dei simboli.**
Un sistema logico è un sistema in cui sono effettuate delle operazioni logiche.

Nella logica da noi intesa i simboli sono codificati in forma BINARIA o DIGITALE, ed in tale orma sono impiegati nei sistemi elettronici. I circuiti che eseguono le operazioni su dati in forma binaria si dicono **sistemi logici digitali.**

I sistemi logici digitali possono essere suddivisi in tre categorie fondamentali:

- ✓ Sistemi logici combinatori;
- ✓ Sistemi logici sequenziali;
- ✓ Sistemi di memoria.

Un sistema logico si può sempre vedere nel modo seguente:



L'appartenenza del sistema ad uno dei tre tipi precedenti può essere stabilita nel modo seguente:

- a) Se un sistema è di **tipo combinatorio**, gode della seguente proprietà: i dati di uscita sono, in ogni istante, funzioni logiche del valore assunto, in quell'istante, dai dati di ingresso, ossia $U = f(I)$, dove f viene detta funzione logica di commutazione del sistema.
- b) E' di **tipo sequenziale** un sistema le cui uscite non sono solo dipendenti dal valore istantaneamente assunto dagli ingressi, ma anche dal valore precedentemente assunto da essi.
- c) Un apparato è di **tipo sistema di memoria** se esso svolge essenzialmente due compiti: immagazzina al suo interno dati in forma digitale, (fase di scrittura), e fornisce, quando richiesto, all'esterno i dati immagazzinati, (fase di lettura).

LE FUNZIONI DI COMMUTAZIONE

Le funzioni di commutazione, come anticipato, esprimono i legami logici tra gli ingressi e le uscite di un sistema: $U = f(I)$, dove U rappresenta l'insieme delle variabili di uscita, (variabili dipendenti), espresse in forma binaria; I rappresenta l'insieme delle variabili di ingresso, (variabili indipendenti), espresse anch'esse in forma binaria.

Gli operatori fondamentali della Logica, per Noi, sono:

- ❖ la negazione o NOT;
- ❖ il prodotto logico o AND;
- ❖ la somma logica o OR.

La NEGAZIONE NOT Si indica con un trattino sovrapposto al simbolo della variabile di cui si intende esprimere la negazione, (quindi prevede l'uso di un singolo segnale), ad esempio:

$$\bar{A} = A \text{ negato}; \quad \bar{1} = 0; \quad \bar{0} = 1.$$

IL PRODOTTO LOGICO AND E' un'operazione che prevede almeno due variabili indipendenti o almeno due segnali. Esso si indica con il simbolo della moltiplicazione, ossia il \cdot , ed ha la seguente definizione:

il prodotto logico fra due o più variabili ha sempre valore zero, tranne quando tutte le variabili assumono valore 1, nel qual caso il prodotto logico diviene uno.

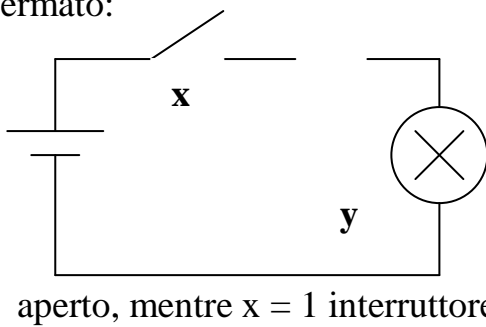
La SOMMA LOGICA OR Anch'essa è un'operazione logica che prevede due o più variabili o segnali, ha per simbolo il $+$ della somma algebrica ed ha la seguente definizione:

la somma logica tra due o più variabili ha sempre valore uno, tranne quando tutte le variabili assumono contemporaneamente valore zero, nel qual caso la somma logica assume valore zero.

Le TABELLE di VERITA'

Nell'algebra tradizionale il legame funzionale tra le variabili indipendenti e le variabili dipendenti si esprime nella forma: $y = f(x)$, ed essa ammette una infinità di soluzioni. Nell'algebra delle funzioni di commutazione, ove una variabile può assumere soltanto due valori, (0 oppure 1), anche la funzione di uscita può assumere o il valore 0 od il valore 1.

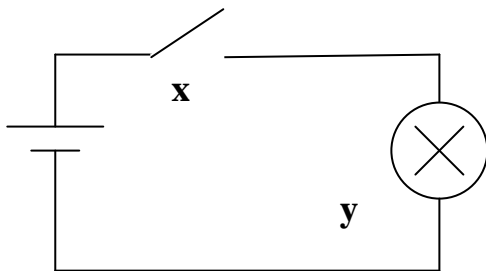
Attraverso semplici circuiti elettrici mostriamo un po' più chiaramente quanto affermato:



ASSENZA di Collegamento

$y = 0$ qualunque sia la condizione dell'interruttore x .

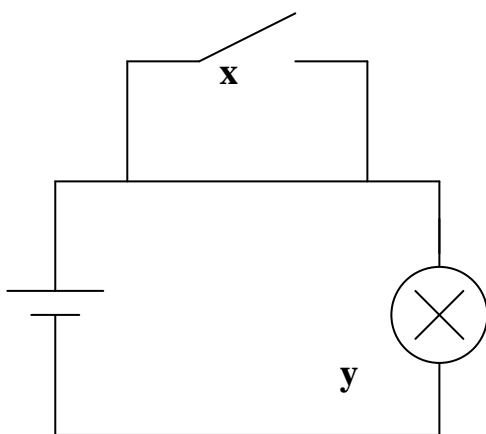
Si noti che $y = 0$ significa lampada spenta, $y = 1$ lampada accesa e $x = 0$ interruttore aperto, mentre $x = 1$ interruttore chiuso.



Condizioni OVVIE

$y = 0$ se $x = 0$;

$y = 1$ se $x = 1$.



Collegamento INDIPENDENTE

La lampadina è sempre accesa, ($y = 1$), indipendentemente dalle condizioni dell'interruttore: $y = 1$ qualunque sia x .

Si noti che:

l'algebra legata alle variabili binarie si dice ALGEBRA BOOLEANA.

Nell'algebra booleana il numero delle relazioni tra variabili dipendenti e variabili indipendenti è determinato dal numero delle variabili indipendenti stesse, secondo la seguente regola: $y = f(x_1, x_2, \dots, x^n)$, allora il numero di valori della variabile dipendente y è dato come 2^{2n} , se per l'appunto il numero delle variabili indipendenti è n .

ESEMPLI. Si determini la tabella di verità dell'operatore logico AND, con $y = A \cdot B$:

A	B	Y = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Si determini la tabella di verità dell'operatore logico OR, con $y = A + B$:

A	B	Y = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Si determini la tabella di verità dell'operatore logico NOT , con $y = \overline{A}$:

A	B = \overline{A}	Y = B = \overline{A}
0	1	1
1	0	0

Si consideri la seguente funzione di commutazione, $Y = (A \cdot B) + C$ e se ne determini la sua tabella di verità.

Tenendo presente che le variabili sono tre le possibili combinazioni di tre variabili, in cui ciascuna assume il valore 0 o 1 sono date da: $2^3 = 8$ possibili combinazioni.

A	B	C	A . B	Y = (A . B) + C
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

Per esercizio si determini la tabella di verità della seguente funzione di commutazione : $Y = (A + B)$

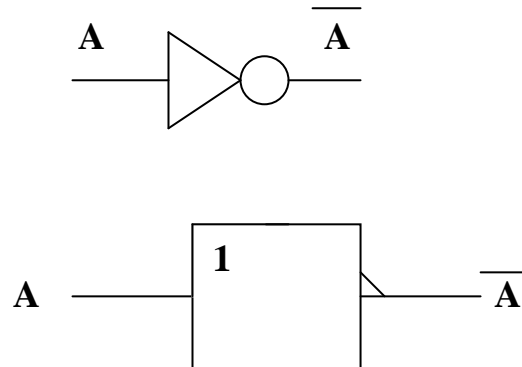
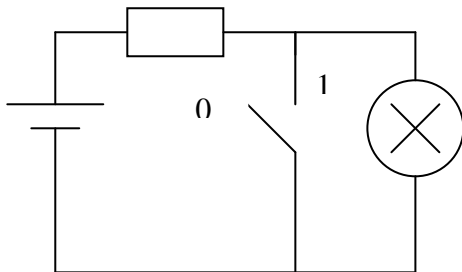
LE PORT LOGICHE FONDAMENTALI continuazione

Vengono considerate PORTE LOGICHE fondamentali sia quelle che realizzano le funzioni degli operatori NOT, AND, OR, sia le derivate NAND, NOR, OR esclusivo, NOR esclusivo. Le porte logiche vengono realizzate da dispositivi elettronici, ma possono essere ottenute anche da apparati elettrici e meccanici.

La porta NOT (negazione)

- Funzione di commutazione: $Y = \overline{A}$ (si legge A negato);
- Tabella di verità;
- Circuito elettrico corrispondente;
- Simboli rappresentativi.

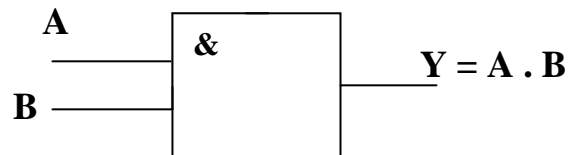
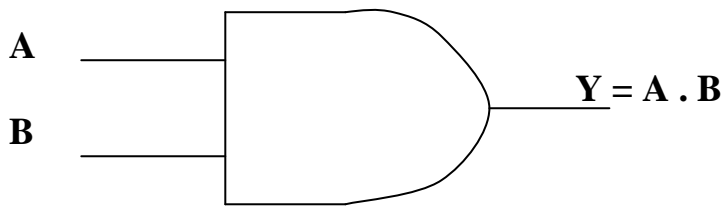
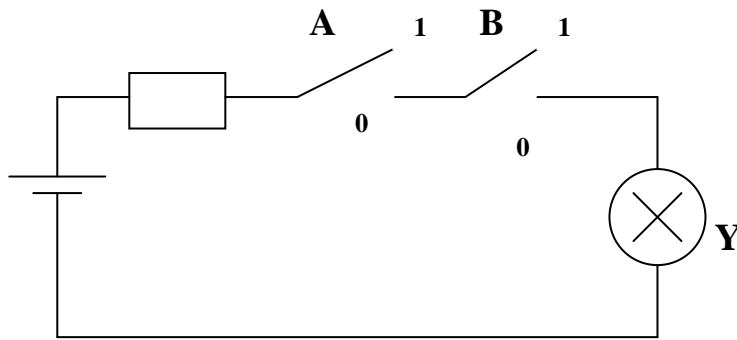
Interruttore A	Lampada \overline{A} $Y = \overline{A}$
0	1
1	0



La porta AND (prodotto logico)

- Funzione di commutazione: $Y = A \cdot B$;
- Tabella di verità;
- Circuito elettrico corrispondente;
- Simboli rappresentativi.

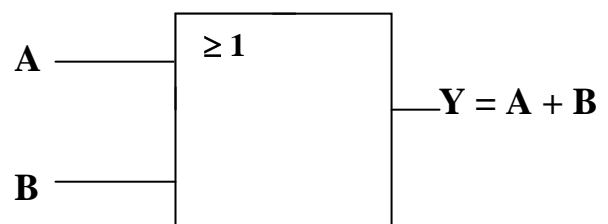
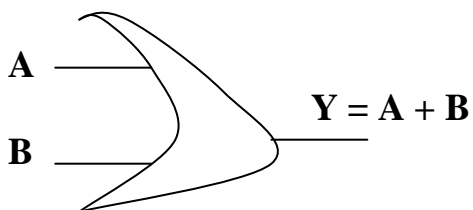
A	B	$Y = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



La porta OR (somma logica)

- Funzione di commutazione: $Y = A + B$;
- Tabella di verità;
- Circuito elettrico corrispondente;
- Simboli rappresentativi.

A	B	$Y = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

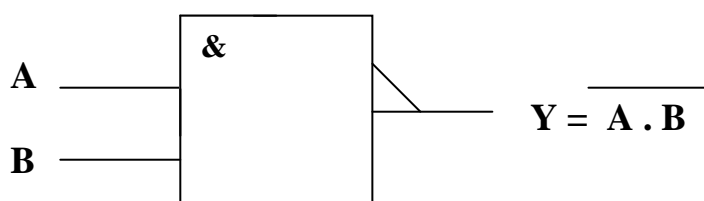
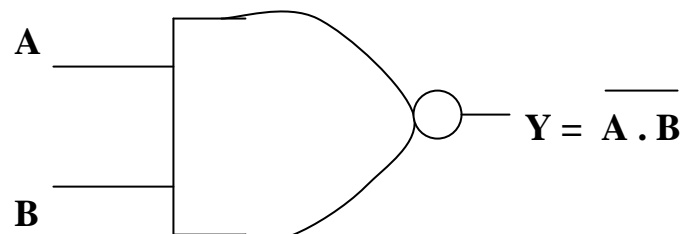
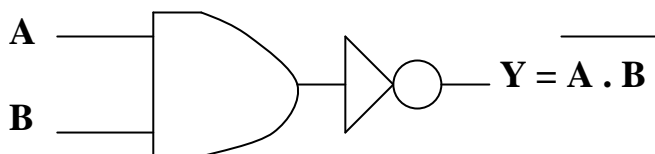
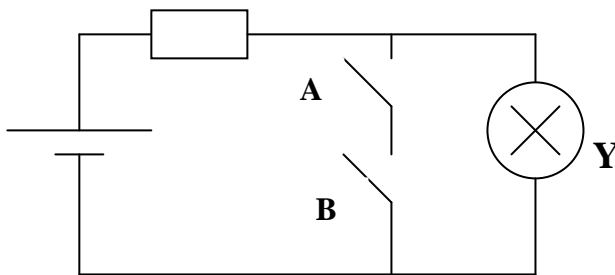


La porta NAND (negazione del prodotto logico)

Essendo la negazione della porta AND essa può essere così definita:
l'operazione logica NAND fornisce all'uscita lo stato 0 solo quando tutti gli ingressi sono ad 1.

- Funzione di commutazione: $Y = \overline{A \cdot B}$
- Tabella di verità;
- Circuito elettrico corrispondente;
- Simboli rappresentativi.

A	B	$A \cdot B$	$Y = \overline{A \cdot B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

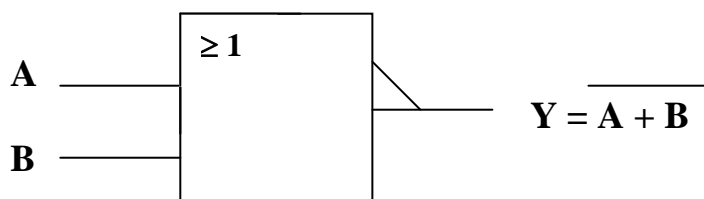
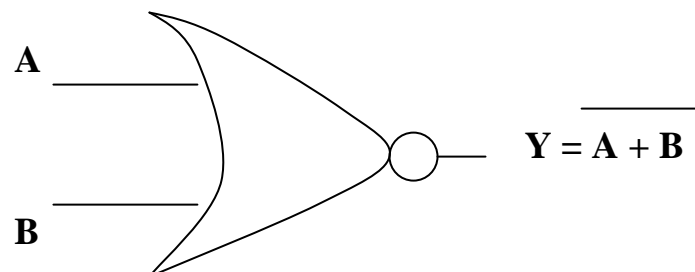
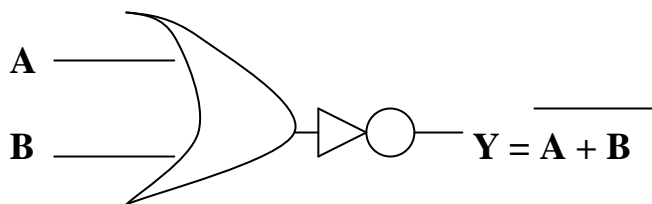
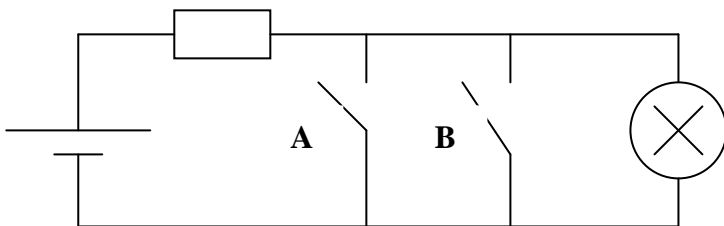


La porta NAND (negazione della somma logica)

Essendo la negazione della porta OR essa può essere così definita:
l'operazione logica NOR fornisce all'uscita lo stato 1 solo quando tutti gli ingressi sono a 0.

- Funzione di commutazione: $Y = \overline{A + B}$
- Tabella di verità;
- Circuito elettrico corrispondente;
- Simboli rappresentativi.

A	B	A + B	$Y = \overline{A + B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0



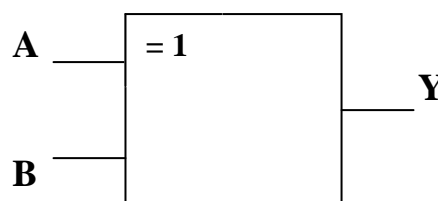
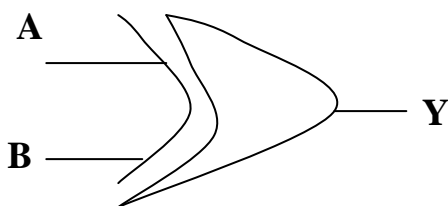
L'operatore OR – ESCLUSIVO o EXOR

Esso è un operatore che soddisfa la seguente definizione:

fornisce uscita 1 allorché gli ingressi sono diversi fra loro, (spesso si parla di somma disgiuntiva)

- Funzione di commutazione: $Y = A \oplus B$
- Tabella di verità;
- Simboli rappresentativi.

A	B	$Y = A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



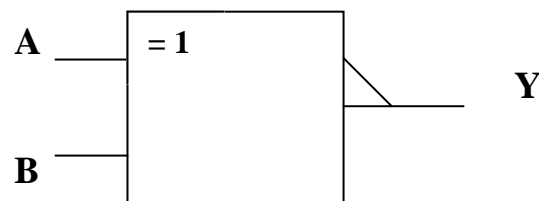
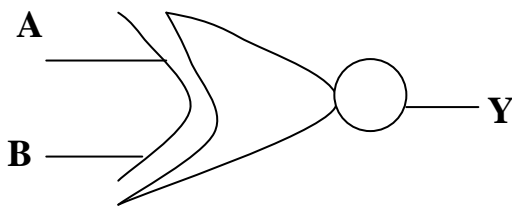
L'operatore NOR – ESCLUSIVO (EXNOR)

Rappresenta la negazione della funzione logica OR – ESCLUSIVO o EXOR, ed essa può essere definita nel modo seguente:

fornisce lo stato 0 all'uscita quando gli ingressi sono diversi tra loro, ovvero fornisce uscita 1 quando gli ingressi sono uguali.

- Funzione di commutazione: $Y = A \oplus B$
- Tabella di verità;
- Simboli rappresentativi.

A	B	$Y = A \oplus B$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



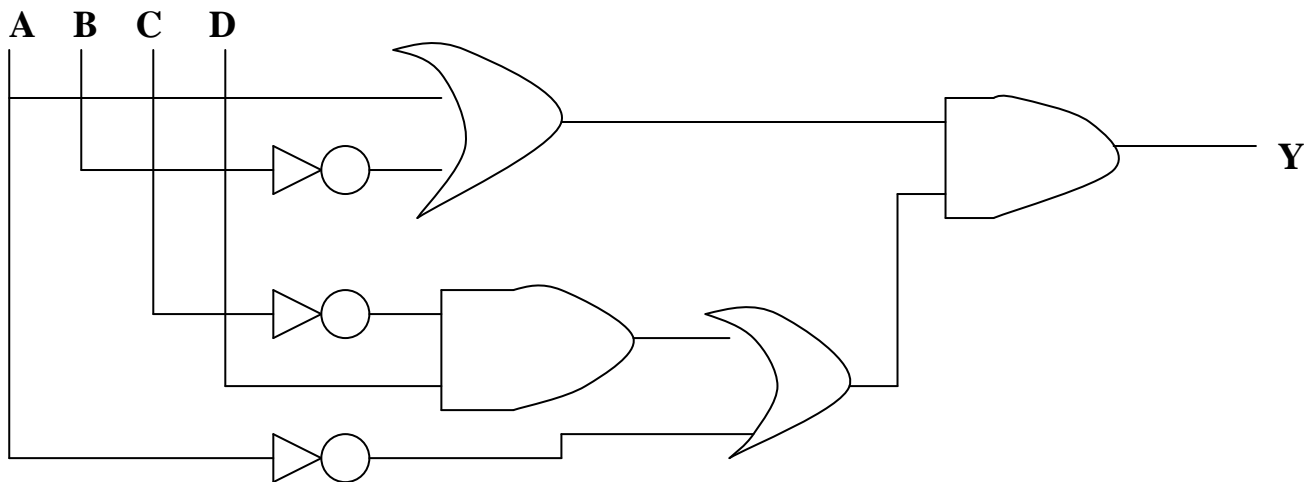
ESERCIZI Data la funzione di commutazione

$Y = (A + B) \cdot ((\overline{C} \cdot D) + \overline{A})$ si realizzi, mediante le porte fondamentali, lo schema logico e si ricavi la tabella di verità.

L'esercizio si risolve valutando il numero di variabili in gioco. Come si osserva la funzione di commutazione data è caratterizzata da 4 variabili, ossia dalle variabili A, B, C, D, trascurando il fatto che alcune sono negate o che nella funzione stessa sono presenti nella sola forma negata. La prima parte si risolve mettendo in evidenza i segnali e con l'ausilio delle porte logiche fondamentali ricerca di creare un progetto che dia luogo alla funzione di commutazione data. Pertanto si proceda come è indicato nella pagina successiva.

Si ricordi che le possibili combinazioni di 4 variabili binarie si ottiene come:

$$2^4 = 16.$$



La tabella di verità può essere costruita nel modo seguente:

$$Y = (A + B) \cdot ((C \cdot D) + A)$$

A	B	C	D	\overline{B}	$A + \overline{B}$	\overline{A}	\overline{C}	$\overline{C} \cdot D$	$\overline{C} \cdot D + \overline{A}$	Y
0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0

Per ESERCIZIO si dimostri che: $A \cdot (\overline{A} + B) = A \cdot B$. Si realizzi con le porte logiche fondamentali e si costruisca la tabella di verità della seguente funzione di commutazione: $Y = \overline{A} \cdot C + A \cdot D + \overline{B} \cdot C + B \cdot D$. Si dimostri infine che: $Y = \overline{A} + A \cdot B = A + B$.

IL SEGNALE ED IL CONTROLLO

Generalità

Nella realizzazione delle macchine o degli impianti industriali svolge un ruolo fondamentale l'automazione. In sostanza si può definire **automazione** **l'insieme delle tecniche adottate per controllare una serie di operazioni senza l'intervento dell'uomo.**

L'oggetto del controllo è rappresentato da tutte le grandezze fisiche la cui evoluzione del tempo può essere in qualche modo decisa o prestabilita. Fra queste grandezze, su cui possiamo svolgere le funzioni di controllo, compare la velocità, la posizione, la pressione, la temperatura, la tensione, la corrente, ecc. Il controllo della velocità di un motore, come il controllo della temperatura di un forno sono esempi molto frequenti nella tecnica.

Il termine **controllo** sta ad indicare **l'insieme delle azioni applicate ad una macchina o ad un impianto in modo tale che il suo comportamento sia il più possibile prossimo a quello desiderato.**

In pratica le **azioni** sono dei **comandi** applicati ai diversi dispositivi, costituenti un qualsivoglia sistema tecnico ed industriale.

Nel caso di un controllo le grandezze fisiche variano nel tempo e per questa ragione si indicano col nome di **segnali**. In alcuni casi il controllo viene effettuato misurando continuamente, istante per istante, il comportamento degli apparati o dei dispositivi del sistema da controllare. In questo caso si parla di **REGOLAZIONE**.

Nel caso in cui questo controllo si svolga senza l'intervento dell'uomo, si parla di **CONTROLLO AUTOMATICO**.

In definitiva la regolazione è un controllo non automatico.

Le fasi di un controllo

Per effettuare un controllo sono necessarie le seguenti fasi:

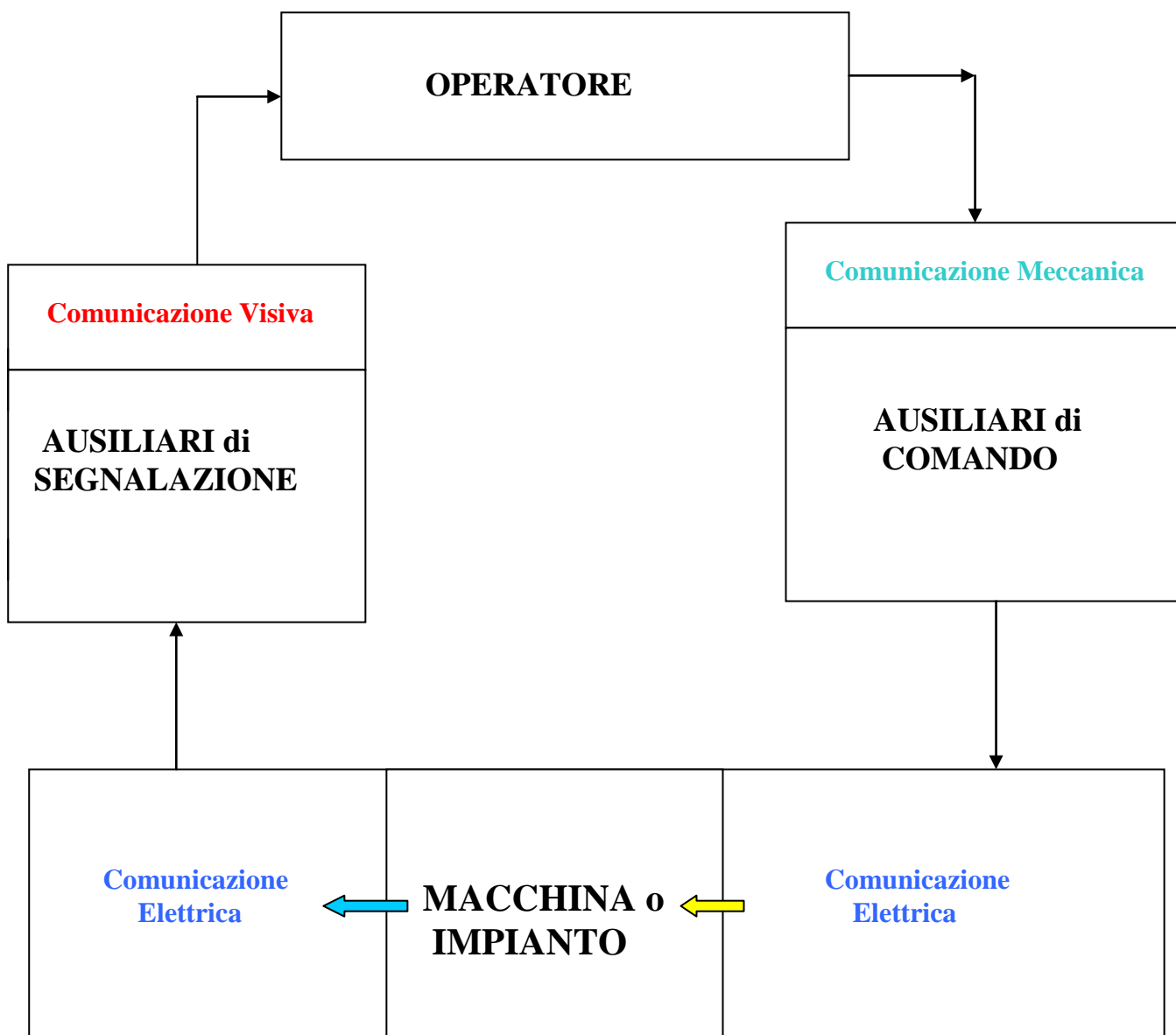
- ✓ **Misura:** le grandezze fisiche o i segnali che descrivono il comportamento dell'impianto o della macchina da controllare devono essere misurate;
- ✓ **Confronto:** il comportamento effettivo, (rappresentato dai valori misurati delle grandezze fisiche), delle macchine o degli impianti viene confrontato con il comportamento desiderato e vengono decise le eventuali azioni correttive;
- ✓ **Attuazione:** le azioni correttive decise vengono attuate mediante opportuni dispositivi in grado di modificare il comportamento delle macchine o degli impianti.

ORGANI AUSILIARI di COMANDO, di SEGNALAZIONE e di CONTROLLO

Le Norme CEI si occupano anche degli organi AUSILIARI, degli organi di COMANDO e di SEGNALAZIONE.

Le Norme stesse precisano la definizione, da attribuirsi ai diversi componenti, le particolarità costruttive e le prove a cui essi sono sottoposti. Questi apparecchi sono l'anello di collegamento fra operatore – macchina, (si veda lo schema successivo). Detti componenti possono essere impiegati negli apparecchi di equipaggiamento a quadri e centraline per il comando di impianti e di macchine.

Gli elementi di base sono: i pulsanti, i selettori, gli interruttori, gli indicatori luminosi, previsti per il fissaggio frontale al quadro o per il cablaggio posteriore o per il collegamento in circuiti stampati. A volte le funzioni di comando e di segnalazione si fondono in un UNICO organo, come nel caso dei pulsanti luminosi.



PULSANTI – SELETTORI

Sono quasi sempre di tipo componibile e sono così costituiti:

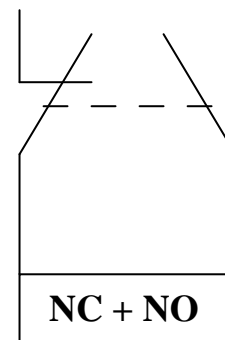
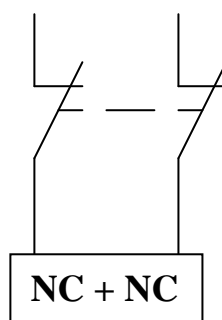
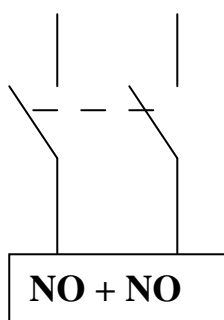
- un **operatore** sul quale viene inviata la sollecitazione meccanica. Tale sollecitazione è normalmente dovuta ad un'azione umana, che determina poi la commutazione dei contatti;
- una **ghiera** di fissaggio;
- uno o più **blocchetti** di contatto NO e NC, ossia normalmente aperti e normalmente chiusi, che vengono meccanicamente collegati all'attuatore.

La forma di questi dispositivi od organi di comando può essere a sezione rotonda o quadrata. I contatti, normalmente in argento nichelato, sono racchiusi in un involucro trasparente che consente l'ispezione della loro funzionalità e fanno a capo, a morsetti che possono essere, a seconda del loro impiego a vite oppure saldati.

I blocchetti possono essere a **corpo singolo componibili** e **interscambiabili**, oppure possono essere **pre-assemblati**.



I **pre-assemblati** possono essere così visti:

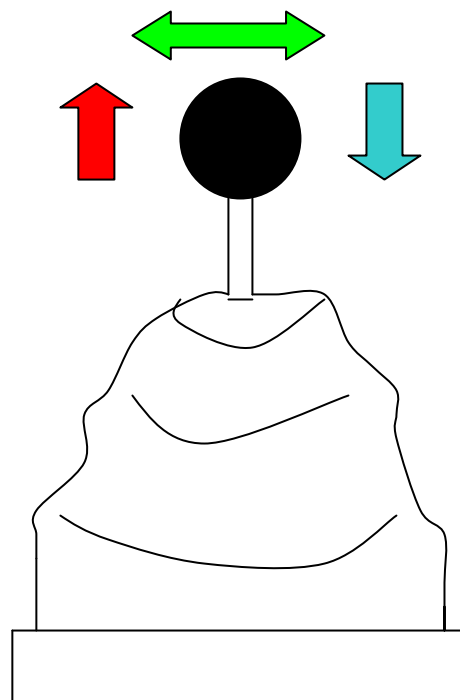


Un tipo di ausiliario particolare è il comando a PEDALE, che è impiegato su macchine adibite ad un tipo di lavorazione che richiede continuamente l'uso delle

mani dell'operatore, quali presse, piegatrici, ecc. Questo stesso pedale può essere impiegato come dispositivo di arresto d'emergenza.

Altro ausiliario particolare è il pulsante a FUNGO che normalmente è impiegato su qualsiasi macchina operatrice per il comando di arresto d'emergenza. In fungo deve essere di colore ROSSO, per evidenziare che si tratta di un comando ausiliario d'emergenza. Un altro tipo di ausiliario è il **manipolatore**, la cui particolare forma permette l'azionamento con l'intera mano.

Esso normalmente consente spostamenti in due o in quattro direzioni, che possono essere abbinate ad altrettanti contatti. Il suo schema di principio è il seguente:



I pulsanti ed i selettori devono essere identificati in qualunque momento, proprio per questo le Norme stabiliscono una codifica cromatica, o a colori, per i diversi dispositivi.

Ad esempio per i pulsanti il colore rosso indica un pulsante di emergenza, il giallo un funzionamento anormale, il verde un segnale di sicurezza che risulta da azionare in caso di condizioni di sicurezza, mentre un pulsante blu è necessario azionarlo in una certa condizione obbligatoria, come ad esempio il ripristino di una certa funzionalità. Infine si fa rilevare che il colore bianco, grigio e nero di un pulsante non ha alcun significato specifico per la Normativa.

INDICATORI LUMINOSI

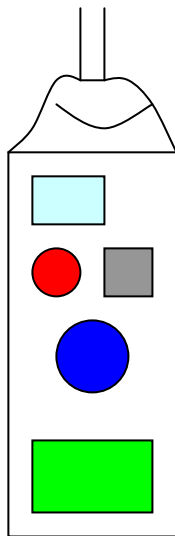
Gli indicatori luminosi servono a fornire all'operatore informazioni abbinate a determinate manovre. Possono funzionare a svariate tensioni, ma normalmente funzionano alla stessa tensione di alimentazione del circuito di comando. Come gli organi di comando sono quasi sempre componibili, ma esistono versioni monolitiche, così costituite:

- il porta lampada e la lampada;
- i terminali a vite o a saldare;
- una ghiera di fissaggio;
- una coppetta colorata, che ne specifica la funzione.

PULSANTIERE

Sono formate dalla composizione nello stesso involucro di organi di comando e / o segnalazione, aventi varie funzioni e vengono disposte vicino all'operatore che, spesso può essere lontano dal quadro di manovra.

Possono essere di tipo **fisso** quando sono fissate direttamente sulla macchina, oppure di tipo **mobile**, per avere la possibilità di essere spostate, entro opportuni limiti per non danneggiare i conduttori e i pensili vari. Normalmente queste ultime sono impiegate per il comando di trasporti: gru, carroporti, paranchi.



PRINCIPALI TIPI DI SENSORI

I SENSORI negli impianti di automazione svolgono la funzione fondamentale di convertire una grandezza fisica , (ad esempio uno spostamento, una temperatura, una forza, ecc.), in un segnale elettrico da impiegare nei circuiti di controllo.

I sensori appartengono a due categorie:

- i sensori a soglia. o di tipo ON – OFF;
- i sensori in grado di trasformare, il valore della grandezza fisica, in un segnale elettrico o pneumatico, di tipo continuo e proporzionale alla grandezza stessa. Spesso questo tipo di sensore prende il nome di TRASDUTTORE.

IMPORTANTE In molti casi il segnale in uscita di un rilevatore o di un sensore non è direttamente utilizzabile, se non viene inserito un dispositivo detto **condizionatore di segnale** o un circuito atto allo scopo detto, **circuito di condizionamento**.

Comunque nella tecnica esiste una vasta gamma di sensori, quali ad esempio:

- ✓ interruttori meccanici di posizione;
- ✓ sensori di prossimità di tipo induttivo;
- ✓ sensori di prossimità di tipo capacitivo;
- ✓ sensori ad effetto di HALL;
- ✓ ampolle di reed;
- ✓ sensori di prossimità ad ultrasuoni;
- ✓ interruttori fotoelettrici;
- ✓ sensori per il controllo di livello;
- ✓ interruttori di pressione o presso stati.

INTERRUTTORI MECCANICI DI POSIZIONE

Fanno parte degli organi di comando automatici, che risultano azionati da una parte in movimento, che una volta raggiunta una determinata posizione converte il movimento stesso in un segnale elettrico. Detto segnale sarà poi inviato al circuito di comando. Questi interruttori sono molto impiegati nelle soluzioni tecniche automatiche o cicliche, sia come controllori della posizione raggiunta da determinati organi di protezione, come cancelli, barriere, ecc, sia come dispositivi di controllo delle fasi cicliche in cui vi siano parti in movimento, fornendo informazioni sulla loro posizione iniziale, intermedia e finale. Proprio per questa ragione spesso esso si chiama **fincorsa**. Essi sono costituiti da un corpo base, che contiene l'elemento di contatto elettrico, (NO – NC), mosso dall'azionatore su cui agisce la forza esterna. A seconda dell'impiego, la forma di questo particolare interruttore è molto diversa, comunque le forme più importanti sono:

- ❖ a leva e rotella;
- ❖ ad asta rigida o flessibile;
- ❖ a perno e rotella;
- ❖ a pulsante o a pistoncino.

Le caratteristiche di maggiore rilievo dei finecorsa sono:

- la **vita elettrica**, che corrisponde al numero minimo di operazioni effettuabili in condizioni di carico e di frequenza di commutazione normali;
- la **vita meccanica**, che corrisponde al numero minimo di operazioni effettuabili in condizioni di carico e di frequenza di commutazione meccanica normali;
- la **forza di scatto**, ossia la forza necessaria applicare all'azionatore per provocare lo scatto;
- la **corsa totale**, cioè la distanza tra la posizione di riposo e di finecorsa;
- l'**oltrecorsa** ossia tratto di corsa a disposizione dell'azionatore dopo il punto di scatto;
- il **grado di protezione**, cioè la resistenza alla penetrazione delle particelle solide e liquide del finecorsa stesso;
- l'**isolamento**, indicato come il valore minimo di resistenza tra le parti elettriche e la massa.

A seconda della costruzione i contatti, mossi dall'azionatore si distinguono in due grandi tipologie:

- **ad azione lenta**;
- **a scatto rapido**.

Nell'azione lenta esiste un intervallo di tempo in cui i contatti sono tutti aperti, mentre nello scatto rapido la commutazione avviene istantaneamente.

SENSORI DI PROSSIMITA' DI TIPO INDUTTIVO

Questi sensori sono costituiti da un circuito oscillante ad alta frequenza, che genera un campo magnetico. Quando una massa metallica si avvicina al sensore si generano in essa delle correnti parassite, che comporta una determinata riduzione dell'ampiezza delle oscillazioni, (anche se occorre una potenza sufficiente). Ora se tale riduzione delle oscillazioni scende al di sotto di un certo valore il sensore interviene. Si osserva, che la rilevazione si verifica senza il contatto fisico con l'oggetto da rilevare stesso e la distanza di rilevazione dipende dal metallo azionatore.

SENSORI DI PROSSIMITA' DI TIPO CAPACITIVO

I sensori di tipo capacitivo sfruttano la variazione di capacità parassita che si verifica quando un oggetto si avvicina alla parte attiva del sensore. La variazione di capacità determina l'intervento del sensore. Inoltre questi sensori possono funzionare sia con materiali conduttori che con materiali non conduttori. Proprio grazie a questa loro flessibilità vengono impiegati per il rilevamento di carta, di vetro, di ceramica, di plastica, di legno, ecc. Anche per questo tipo di sensore il rilevamento si verifica senza contatto fisico con l'oggetto da rilevare.

INTERRUTTORI FOTOELETTTRICI

Gli interruttori fotoelettrici usualmente vengono indicati col nome di fotocellule. E' un sistema molto diffuso per il rilevamento di oggetti senza il contatto diretto. Questi interruttori sono sempre costituiti da una coppia di elementi:

- un emettitore di luce;
- un ricevitore che presenta un'uscita di tipo NO o NC, oppure, un'uscita di tipo elettromeccanico con o senza temporizzatore.

L'emettitore produce un fascio di luce, molto stretto, che viene rilevato dal ricevitore, quando un oggetto viene a trovarsi lungo la traiettoria del raggio luminoso, avviando così la fase della commutazione.

L'applicazione di questi dispositivi sono molteplici sia in campo civile, (ad esempio nei cancelli automatici), che nel campo industriale, (ad esempio per il conteggio dei pezzi, sorveglianza, antinfortunistica, ecc.)

Gli interruttori fotoelettrici si possono caratterizzare in tre tipologie:

- ◇ unidirezionale: l'emettitore ed il ricevitore sono due componenti distinti, anche notevolmente distanziati, ma allineati fra loro;
- ◇ a riflessione: l'emettitore ed il ricevitore sono montati nella stessa custodia, il raggio luminoso viene riflesso mediante una placca rifrangente;
- ◇ a tastatore: concettualmente è lo stesso di quello precedente, ma risulta privo della placca rifrangente.

I parametri fondamentali degli interruttori fotoelettrici sono:

- **lunghezza d'onda** della luce emessa, normalmente compresa tra 0,75 e 199 μm per evitare interferenze con la luce dell'ambiente;
- **distanza di lavoro**, ossia la distanza ammissibile fra emettitore e ricevitore nel caso unidirezionale, o tra complesso emettitore – ricevitore ed elemento rifrangente nel caso a riflessione;
- **alimentazione**, che può essere continua, alternata o multitemperatura;
- **tipo di uscita** elettromeccanica, statica o analogica, e la relativa portata di corrente;
- **grado di protezione**, che deve essere elevata per le installazioni all'aperto ed in ambienti industriali.

INTERRUTTORI DI PRESSIONE

L'interruttore di pressione o il pressostato è particolarmente impiegato nei sistemi elettropneumatici, nei quali si vuole convertire i segnali pneumatici a pressione tarabile in segnali elettrici. Quando la pressione del fluido all'ingresso raggiunge il valore di taratura, una membrana aziona un microinterruttore, collegato con il circuito di controllo. In realtà le soglie di intervento sono due:

- una superiore, che corrisponde all'azionamento del contatto;
- una inferiore, che corrisponde al suo rilascio, una volta che la pressione del fluido sia ritornata al di sotto del valore di taratura.

Il punto di commutazione è regolabile entro un determinato range di valori, che sono indicati dalle case costruttrici del dispositivo.

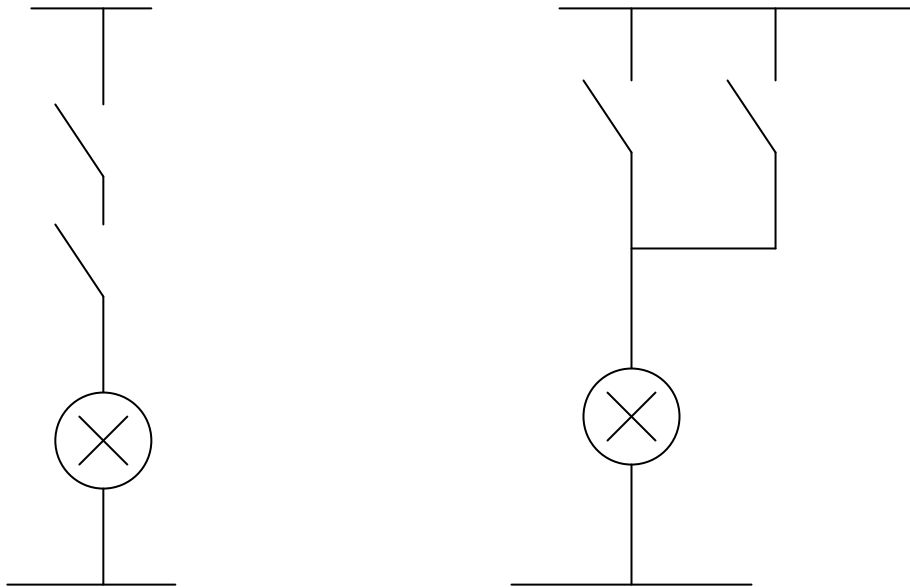
CIRCUITI LOGICI ELETTROMECCANICI o LOGICA CABLATA

Un sistema di comando viene definito a logica cablata quando è composto da componenti discreti che hanno il compito di svolgere una particolare funzione logica. Il termine componente discreto intende un componente distinto o diverso da altri, ossia di un componente con proprie caratteristiche che si distingue da altri con caratteristiche o proprietà diverse. Inoltre gli elementi sono collegati fra loro, fisicamente, per mezzo di fili di connessione o per mezzo di un cablaggio. Il sistema di comando prende il nome di WLC, (WIRED LOGIC CONTROL), ed in genere presenta caratteristiche poco flessibili e poco modificabili. In poche parole tale circuito si presta in situazioni che non richiedono cambiamenti radicali.

CIRCUITI LOGICI FONDAMENTALI

I circuiti logici rappresentano il cervello del sistema, ad essi vengono inviati i segnali manuali od automatici, che vengono elaborati e poi inviati all'uscita. La logica cablata elettromeccanica si configura in alcune situazioni caratteristiche che una volta comprese, permettono di capire le situazioni più complesse.

Le figure successive mettono in luce una configurazione di contatti in serie ed in parallelo che consentono l'accensione di una lampadina di segnalazione:



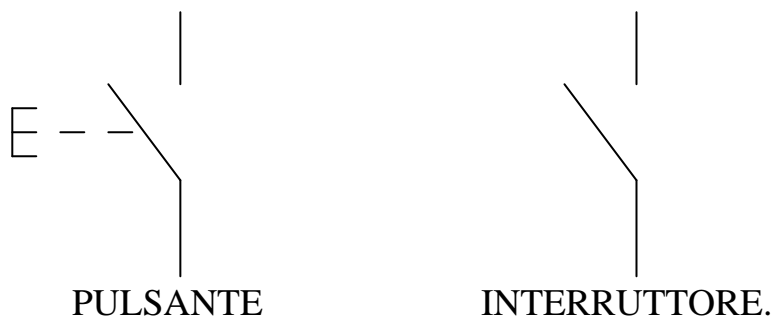
Nel primo caso è necessaria la chiusura di entrambi i contatti per l'accensione, mentre è sufficiente l'apertura di uno dei due contatti per provocare lo spegnimento della lampada di segnalazione. Nel secondo caso è necessario la chiusura di uno o di entrambi i contatti per l'accensione della lampada, mentre per lo spegnimento occorre l'apertura contemporanea dei due contatti o di uno di essi, (perché l'apertura di uno comporta l'apertura anche dell'altro, a meno che...., ma ciò si vedrà in seguito).

ELEMENTI ELETTROMECCANICI MONOSTABILI E BISTABILI

Un elemento si dice monostabile, quando ha una sua posizione preferenziale che cambia per effetto di un intervento esterno, ma ritorna alla configurazione iniziale una volta che sia cessato l'intervento stesso.

Un elemento si definisce bistabile quando la sua posizione di stabilità è indifferentemente quella di riposo o quella raggiunta per effetto di un intervento esterno.

Per comprendere meglio quanto detto si considerino due esempi di contatti NO, cioè quello di un pulsante e quello di un interruttore:

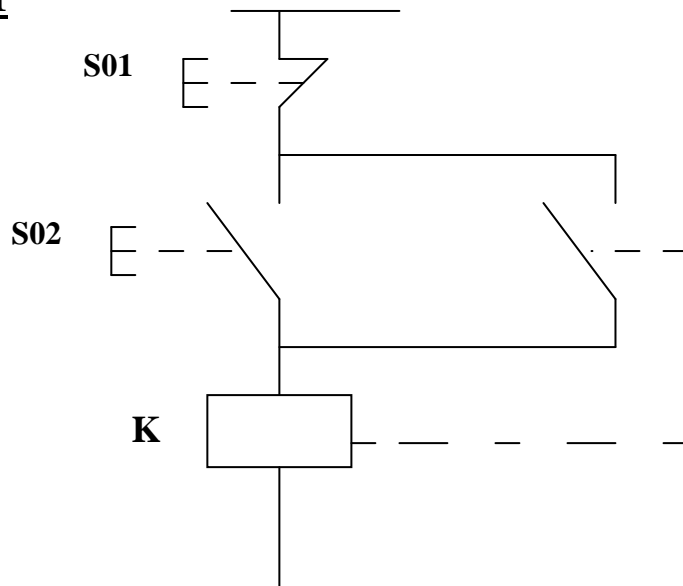


Ora se si preme il pulsante esso modifica il suo stato da aperto a chiuso, una volta cessata la pressione esercitata su esso, ritorna nella sua configurazione preferita, ossia nella configurazione o stato NO. (Infatti una molla riporta il pulsante nella sua posizione originaria). Pertanto un pulsante è l'esempio di un elemento monostabile. Invece, se si preme un interruttore o una forza esterna preme l'interruttore, esso modifica la sua configurazione e si chiude. Una volta cessata la causa del suo cambiamento di stato, esso mantiene il nuovo stato assunto, (grazie ad un dispositivo meccanico interno che lo blocca nella posizione assunta). Solo un'altra azione esterna può riportare l'interruttore nella posizione iniziale di NO. Pertanto un interruttore è un esempio di elemento bistabile. In definitiva si può ammettere che un elemento monostabile è un elemento privo di memoria, mentre quello bistabile è un elemento con memoria.

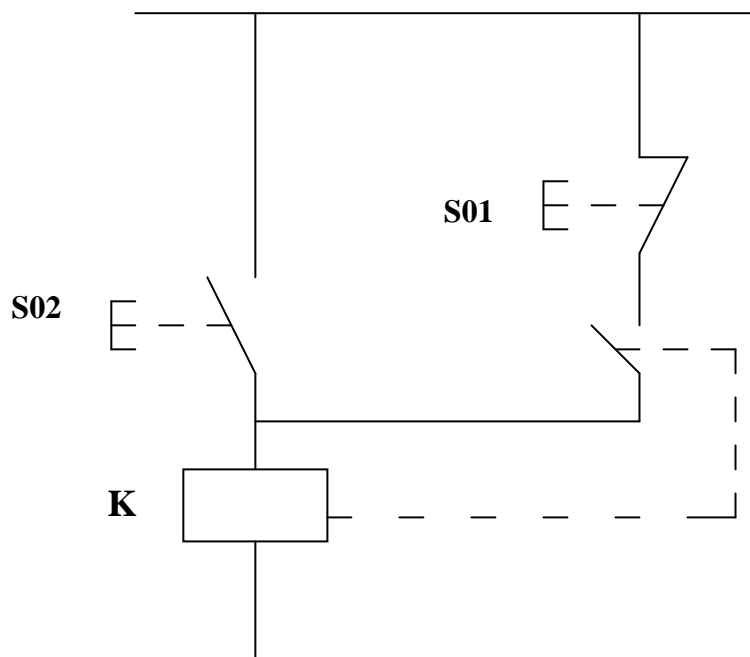
ESEMPI DI CIRCUITI DI MEMORIA ELETTROMECCANICI

Attraverso due semplici esempi esaminiamo dei circuiti di memoria:

Circuito 1



Circuito 2



CICLI DI FUNZIONAMENTO

La massima parte degli automatismi industriali è prevista per il funzionamento in cicli, classificabili nei tre principali seguenti:

- ◇ **automatico;**
- ◇ **manuale;**
- ◇ **semiautomatico.**

Per ogni tipo di ciclo deve essere garantita la sicurezza dell'operatore ed il macchinario, mediante protezioni adeguate, che devono risultare efficienti in tutte le condizioni di lavoro, (Norme CEE 9.2.3).

CICLO AUTOMATICO

Questo ciclo è organizzato in modo tale da non richiedere l'intervento dell'operatore, se non per le operazioni di avvio o per il posizionamento del materiale, che deve essere lavorato, o per lo scarico a fine lavorazione. Durante il funzionamento in automatico devono essere esclusi i comandi manuali. I comandi manuali devono essere inseriti solo dopo manovre di emergenza. Infine il ciclo automatico deve interrompersi completamente o in modo parziale in caso di mancata di sicurezza.

CICLO MANUALE

Le partenze e le fasi del ciclo operativo non devono essere possibili se non effettuate da un operatore.

CICLO SEMIAUTOMATICO

E' l'insieme dei cicli precedentemente esposti, ad esempio la partenza del ciclo deve essere ottenuta o avviata dall'operatore, per il resto il ciclo procede autonomamente. L'operatore in opportune sottostazioni controlla l'esecuzione delle operazioni eseguite nel ciclo stesso, (da cui esso, in caso di necessità, può effettuare degli interventi).

Comunque i cicli possono anche essere considerati:

ripetitivi, ossia terminato un ciclo di lavorazioni, in modo automatico viene iniziato un nuovo ciclo identico al precedente;

antiripetitivi, di significato opposto al precedente, ossia una volta terminato un ciclo, il sistema si blocca in attesa di un comando per la ripresa di un nuovo ciclo identico al precedente.

RELE'

Definizione e funzionamento di un relé

Il relé può essere definito come un **apparecchio destinato a provocare predeterminati cambiamenti di stato nei circuiti elettrici di uscita**, quando si verificano particolari condizioni di alimentazione nei suoi circuiti di ingresso o di entrata.

Il relé è dunque caratterizzato da due circuiti:

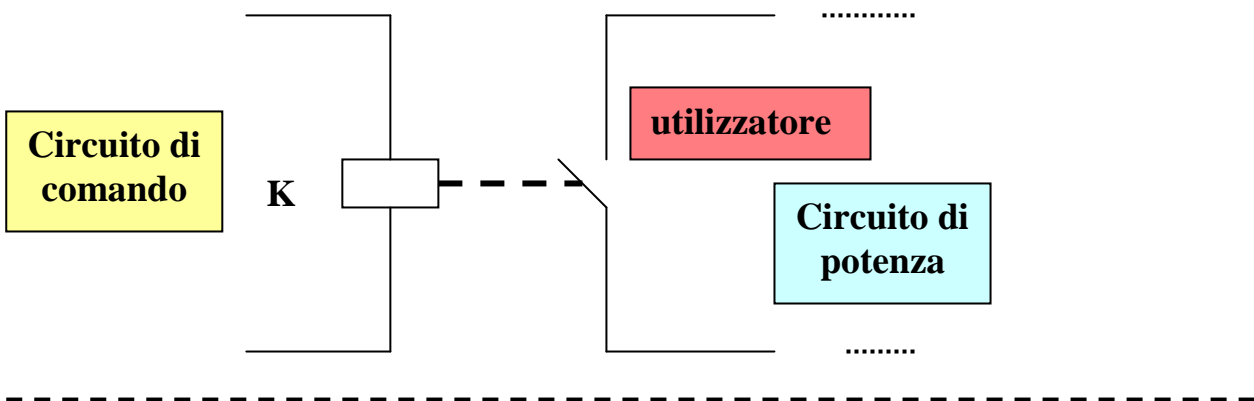
il circuito di comando o circuito di ingresso, costituito da una bobina, che quando viene percorsa da una corrente si eccita e quando, la corrente cessa di circolare essa si diseccita;

il circuito di potenza o circuito di uscita, formato dal/i contatto/i dell'utilizzatore. I suoi contatti possono essere predisposti in chiusura e si parla di contatti normalmente aperti o NO, oppure predisposti all'apertura e in questo caso si parla di contatti normalmente chiusi o NC oppure possono essere contatti di scambio detti COM, la cui combinazione è del tipo NO + NC.

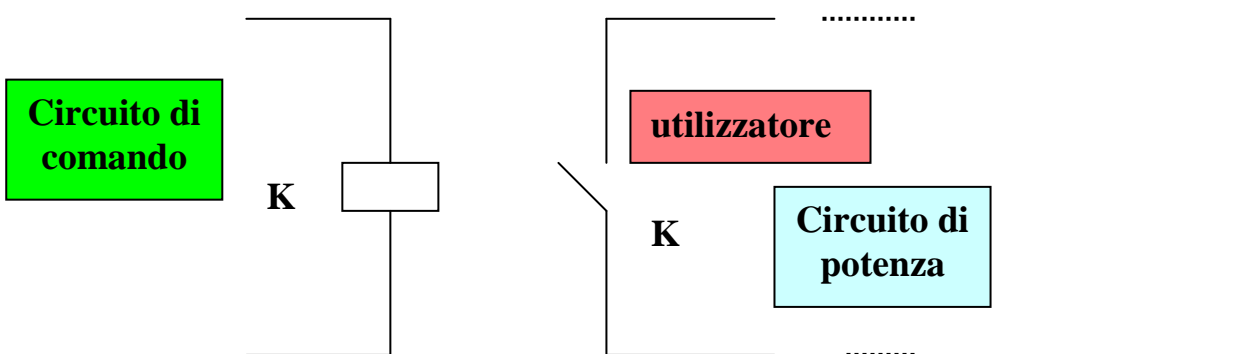
Quando la bobina del relé viene eccitata, un collegamento meccanico, detto **ancora** trasferisce il segnale di comando chiudendo o aprendo dei contatti, mentre al momento della diseccitazione una molla riporta i contatti nelle condizioni originarie. Questo è il tipico relé con caratteristiche elettromeccaniche.

Il relé può essere da Noi descritto da due tipiche configurazioni:

Schema raggruppato



Schema distribuito



I due circuiti possono funzionare o meno alla stessa **tensione** oppure in **DC** o **AC**.

Il relé si può quindi pensare come un **AMPLIFICATORE** in quanto, con una piccola potenza assorbita dal circuito di comando, si può commutare una potenza più elevata nel circuito di potenza.

Si definisce **fattore di amplificazione** di un relé **il rapporto tra la potenza che può comandare e la potenza assorbita dalla bobina**.

Ad esempio se un relé può comandare una potenza di 4 kW, mentre il suo circuito di comando assorbe una potenza di 10 W allora il suo fattore di amplificazione vale:

$$F_a = \text{fattore amplificazione relé} = 4.000 / 10 = \mathbf{400}.$$

Parametri caratteristici

I parametri caratteristici del relé sono:

la vita elettrica, cioè il numero massimo di manovre eseguibili sotto carico;

la vita meccanica, cioè il numero massimo di manovre eseguibili senza carico;

la frequenza di commutazione, cioè il massimo numero di manovre eseguibili nell'unità di tempo.

Classificazione in base al funzionamento

In base al funzionamento i relé possono essere così classificati:

monostabili;

monostabili con autoritenuta;

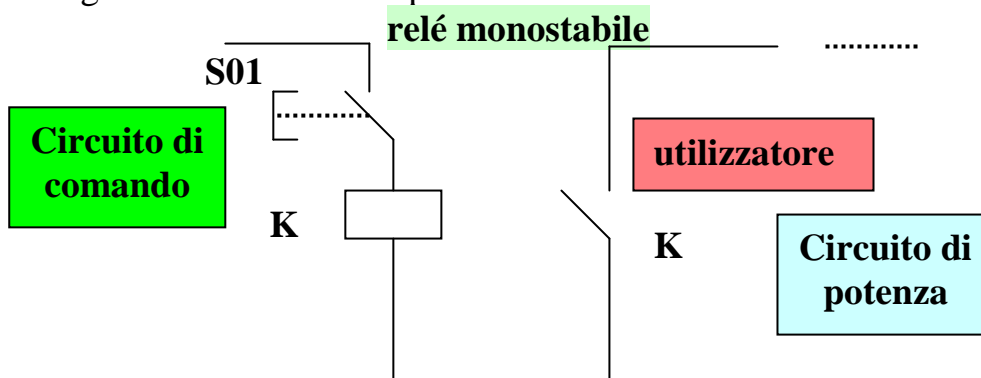
bistabili;

passo – passo.

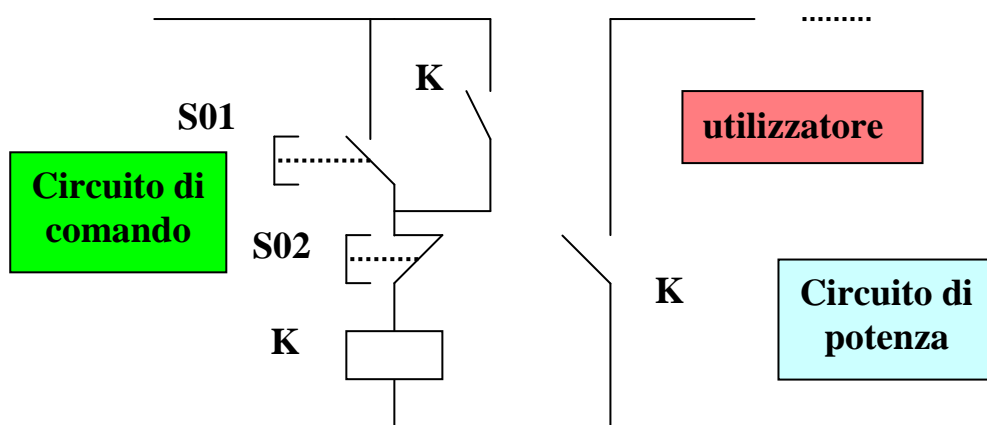
Un relé si dice **monostabile**, (senza memoria), se dopo una commutazione causata dal segnale di eccitazione nel circuito di comando, all'atto della diseccitazione ritorna nella posizione iniziale.

Il **relé monostabile con autoritenuta** rappresenta una variante del relé precedente, ossia quando il circuito di comando viene eccitato si chiude un collegamento, detto autoritenuta, il quale mantiene il relé nella nuova posizione fino a che viene apertoli circuito dell'autoritenuta.

Le figure mostrano i due tipi di relé:



relé monostabile con autoritenuta

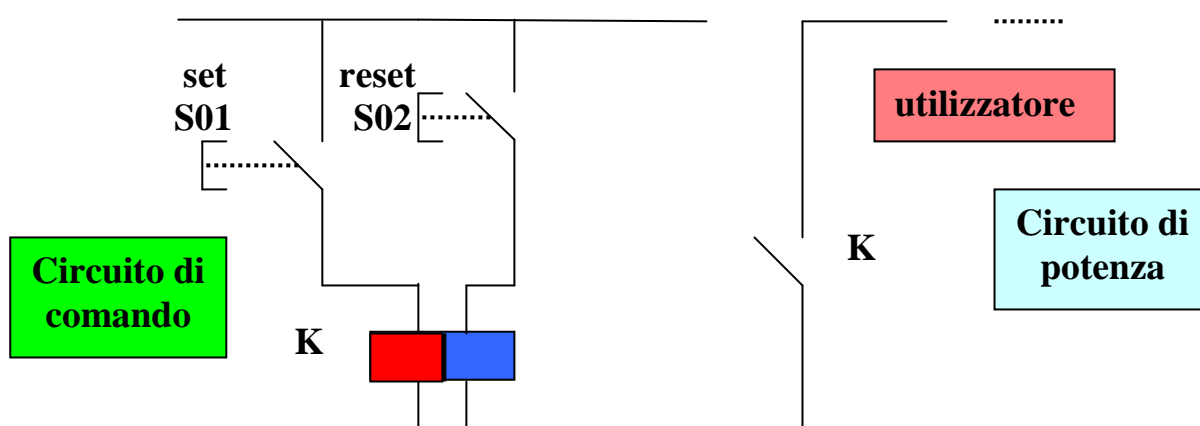


In pratica la ritenuta consente al relé la memorizzazione del segnale ricevuto dal circuito di comando. La memoria viene perduta nel momento in cui premo l'interruttore **S02**. Nel primo schema l'interruttore **S01** funge sia da **SET** che da **RESET**, mentre in quest'ultimo schema l'interruttore **S01** funge da **SET** mentre l'interruttore **S02** funge da **RESET**.

Un relé si dice **bistabile** se dopo una commutazione, causata dal segnale di eccitazione nel circuito di comando, all'atto della diseccitazione rimane nella posizione assunta, all'atto del comando ricevuto, (dall'eccitazione del circuito di comando).

Il cambiamento di stato si verifica dopo aver nuovamente eccitato il circuito di comando.

Questo tipo di relé può essere così schematizzato:



In questo caso il circuito di comando presenta un relé costituito da due bobine, una di eccitazione o **set** e l'altra per la diseccitazione o il **reset**. Il primo interruttore **S01** eccita la bobina e quindi il relé chiude il contatto **K** sul circuito di potenza.

Il segnale rimane memorizzato fino a che non si preme l'interruttore **S02**.

Principali tipi di relé

Dal punto di vista commerciale esiste una grande varietà di relé, ma esula dal nostro corso descriverli tutti, ma ne citeremo alcuni molto importanti:

Relé ausiliari elettromeccanici;

Relé ausiliari elettromeccanici miniaturizzati;

Relé ausiliari elettronici, (statici o SSR);

Relé termici;

Relé temporizzati;

Relé polarizzati.

Contatori

Sono destinati a conteggiare o ad elaborare impulsi elettrici provenienti dalla logica di comando, essi vengono distinti in:

- **contaimpulsi a preselezione;**
- **totalizzatori;**
- **contaore;**
- **tachimetri.**

Nel **contaimpulsi a preselezione** il valore numerico del conteggio viene preimpostato. Il contaimpulsi giunto a quel valore, mediante segnali di tipo elettrico provenienti dall'esterno, genera un segnale di uscita che aziona un contatto interno o esterno. L'azzeramento o riassetto o reset del contaimpulsi, (qui si intende la modalità con cui il contaimpulsi viene riportato nella preselezione iniziale), dipende dalla sua tipologia e quindi è necessario consultare il manuale del costruttore. Comunque le modalità del reset può essere manuale o automatica. Il conteggio stesso può avvenire secondo tre modalità:

modalità addizionale o up, quando il contaimpulsi è in grado di visualizzare e generare un impulso di uscita, al raggiungimento del valore preimpostato, partendo da zero;

modalità sottraente o down, quando il contaimpulsi è in grado di visualizzare e generare un impulso di uscita, al raggiungimento dello zero, partendo dal valore preimpostato;

bidirezionali, quando il contaimpulsi è in grado di funzionare ed effettuare le due modalità precedenti.

I **totalizzatori** sono contatori in grado di visualizzare il numero totale degli impulsi giunti ai propri ingressi, ma in esso non sono previste le uscite. Il conteggio è simile a quelli introdotti precedentemente.

Il **contaore** sono controllori del tempo di funzionamento, ad esempio effettuano il monitoraggio del tempo durante il quale un utilizzatore è rimasto in tensione, oppure,

monitorano il tempo impiegato ad effettuare una lavorazione tecnica, In questo tipo di dispositivi il reset può essere manuale, ma anche automatico.

I **tachimetri** permettono di misurare e visualizzare la velocità di rotazione, in giri al primo o in giri al secondo, di parti meccaniche in movimento.

CONTATTORI : definizioni e costituzione

Secondo la normativa CEI 17 – 50 il contattore o teleruttore, cioè interruttore comandato a distanza, è definito come:

un dispositivo meccanico di manovra, avente una sola posizione di riposo, (monostabile), ad azionamento non manuale, capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito ed in condizioni di sovraccarico.

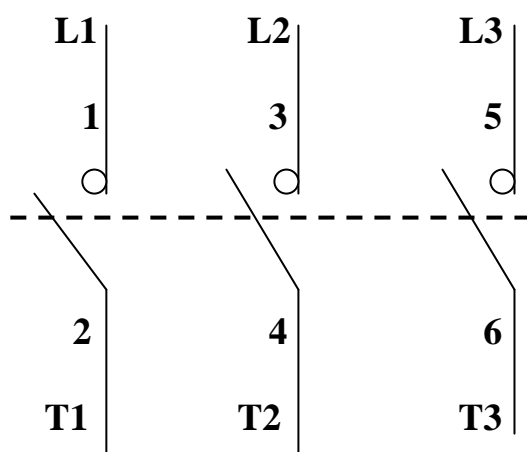
Un impianto che comprende dei contattori risulta in genere così costituito da:

- ❖ **un circuito di comando**, formato dagli organi di comando, dalla bobina e dal circuito ausiliario, (contatti ausiliari);
- ❖ **un circuito di potenza**, formato dai contatti principali fissi e mobili e dall'utilizzatore.

I **contatti principali o di potenza** sono destinati alla manovra e collegati all'utilizzatore. Questi contatti quindi devono essere dimensionati in funzione della reale corrente assorbita dal carico ed alla tensione di esercizio. La loro individuazione numerica è specificata dalla normativa CEI, (17 – 17), nel seguente modo:

ingresso, (numeri dispari) 1 – 3 – 5 affiancati da L1 – L2 – L3;

uscita, (numeri pari) 2 – 4 – 6 affiancati da T1 – T2 – T3.



I **contatti ausiliari** sono meccanicamente collegati ai contatti principali e vengono impiegati nella logica di controllo come ad esempio, in: **relé, allarmi, circuiti di autoritenuta, circuiti di interblocco, lampade di segnalazione**. I circuiti relativi prendono il nome **circuiti ausiliari di comando e di segnalazione**, ed essi possono essere del tipo **NC, NO** oppure **ritardati in apertura o in chiusura**.

La configurazione di un contattore varia in funzione delle esigenze del circuito ausiliario.

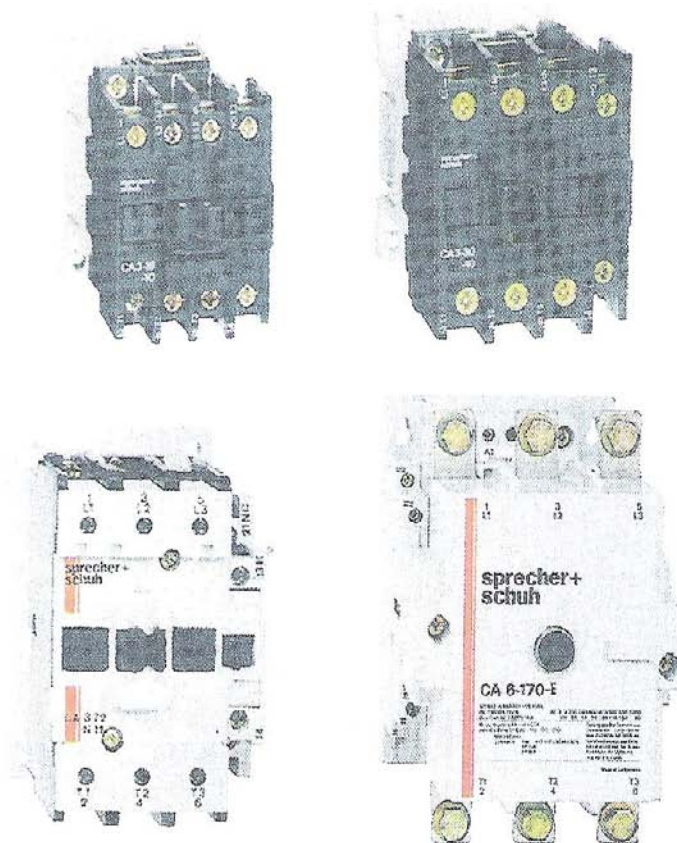


Fig. - Tipologie di contattori con attacco per profilato normalizzato (da catalogo SPRECHER + SCHUH).



Sono esempi di contattori commerciali

Tabella 1.5.2 - Categorie di impiego normali dei contattori (da Norma CEI 17-50).

1	2	3
Categoria d'impiego	Alimentazione	Applicazioni tipiche
AC1	Corrente alternata	Inserzione o disinserzione di carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
AC2		Avviamento e frenatura in controcorrente di motori ad anelli ⁽¹⁾
AC3		Avviamento e arresto con interruzione dell'alimentazione di motori a gabbia
AC4		Avviamento e frenatura in controcorrente ⁽¹⁾ , manovra a impulsi ⁽²⁾ di motori a gabbia
DC1	Corrente continua	Inserzione o disinserzione di carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
DC2		Avviamento e arresto di motori in derivazione dopo il periodo di avviamento
DC3		Avviamento, manovra ad impulsi ⁽²⁾ , frenatura in controcorrente ⁽¹⁾ di motori in derivazione
DC4		Avviamento e arresto di motori in serie
DC5		Avviamento, manovra a impulsi ⁽²⁾ , frenatura in controcorrente ⁽¹⁾ di motori in serie.

- (1) Per frenatura in controcorrente si intende l'arresto o l'inversione rapida del motore ottenuti invertendo le connessioni dell'alimentazione mentre il motore sta girando.
- (2) Per manovra a impulsi si intende un comando caratterizzato da una o più chiusure brevi e frequenti del circuito di alimentazione del motore, effettuate con l'intento di ottenere piccoli movimenti del motore stesso.
- Nota — *L'impiego di contattori per circuiti rotorici, per condensatori o per lampade a filamento di tungsteno deve essere oggetto di speciali accordi fra le parti.*



Tipici impieghi dei contattori

TRASDUTTORI

Negli automatismi destinati al controllo dei processi è spesso necessario procedere alla misura delle grandezze fisiche quali ad esempio la temperatura, la posizione, la velocità, la pressione, ecc. (Si ricorda che nelle fasi del controllo assumeva importanza proprio l'operazione della **misura**). L'operazione della misura viene effettuata da dei dispositivi indicati col nome di **trasduttori** o di **sensori**. I trasduttori possono avere caratteristiche sia **analogiche** che **digitali**.

Il trasduttore trasforma la grandezza fisica in entrata in un segnale elettrico, (tensione o corrente) oppure in un segnale pneumatico. Il segnale elettrico o pneumatico ottenuto può poi essere trasmesso a distanza per venire manipolato dal sistema che controlla il processo.

E' necessario qui mettere in evidenza che il segnale elettrico in uscita dal trasduttore, il più delle volte, non può essere utilizzabile in modo diretto, (perché ad esempio il segnale ha un valore troppo piccolo), occorrono allora dei dispositivi o dei particolari circuiti detti **condizionatori di segnale** o **circuiti di condizionamento**, in grado di modificare il segnale generato dal trasduttore e riportarlo ad un valore in grado di essere confrontabile con il segnale di riferimento, (in altri termini riuscire a realizzare la **fase di confronto** del controllo).

CARATTERISTICHE STAZIONARIE DEI TRASDUTTORI

Le caratteristiche stazionarie o statiche di un trasduttore, descrivono il suo comportamento, nel caso in cui il tempo trascorso dall'ultima variazione della grandezza da misurare, sia sufficientemente grande, in modo da consentire un assestamento perfetto della risposta del trasduttore stesso. Le caratteristiche stazionarie, fermo restando quanto specificato all'inizio fornite dal costruttore del dispositivo stesso e sono indicate nei corrispondenti data sheet. Dal punto di vista ideale il trasduttore dovrebbe avere caratteristiche di tipo **lineare**. Ciò significa che il legame fra il segnale di ingresso ed il segnale di uscita del trasduttore è di semplice proporzionalità, ossia del tipo:

$$y = K x.$$

Comunque i parametri statici fondamentali sono:

- **portata**, o campo di variazione dell'entrata;
- **campo di variazione dell'uscita**;
- **guadagno** o **costante di traduzione**, che individua la pendenza nominale K del trasduttore, (pratica il rapporto fra il segnale di uscita ed il segnale di ingresso del trasduttore);

- **linearità**, esprime la massima deviazione fra la retta ideale e la caratteristica reale del trasduttore;
- **offset**, indica il valore del segnale di uscita in corrispondenza di un valore di ingresso uguale a zero;
- **risoluzione**, rappresenta la più piccola variazione dell'ingresso, che può essere rilevata dal trasduttore, generando una variazione del segnale di uscita. In genere la risoluzione è riferita alla sola grandezza di uscita ed è espressa in forma percentuale. In quest'ultimo caso essa è ottenuta calcolando il rapporto fra la minima variazione dell'uscita, (ΔU_{\min}), ed il valore di fondo scala ΔU_{FS} :

$$R\% = (\Delta U_{\min} / \Delta U_{FS}) 100.$$
- **sensibilità**, essa è rappresentata dal rapporto fra la variazione della grandezza d'uscita e la variazione della grandezza di ingresso, cioè: $S = \Delta U / \Delta I$. Un buon trasduttore deve avere un'elevata sensibilità, in modo da potere rilevare anche le più piccole variazioni della grandezza di ingresso.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI DINAMICHE

Le caratteristiche dinamiche di un trasduttore descrivono il suo comportamento in corrispondenza di ingressi variabili nel tempo. I parametri che consentono questa descrizione sono:

- ✓ **costante di tempo T**, rappresenta una misura del tempo di risposta T di un trasduttore ad una variazione del segnale di risposta secondo opportuni segnali di ingresso tipici. I segnali di ingresso tipici sono il gradino unitario, la rampa e la parabola. In genere ad un segnale a gradino il trasduttore deve assestare la sua risposta in un tempo pari a $5 / 6 T$. La conoscenza della costante di tempo T è fondamentale per potere giudicare se un trasduttore è in grado di misurare le grandezze variabili nel tempo;
- ✓ **banda passante**. Nel caso in cui il segnale di ingresso vari secondo una legge sinusoidale, il trasduttore è in grado di effettuare la misura dei segnali in ingresso, solo se la sua frequenza risulta compresa fra **zero** ed un valore **f0**; il valore **f0** è proprio detta banda passante del trasduttore.

Esempi numerici

Un trasduttore di temperatura viene impiegato per misurare le temperature variabili fra $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$; il segnale del trasduttore è condizionato in modo tale che a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ corrisponda una tensione di 0 V ed a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ corrisponda una tensione di 5 V .

Si determini la temperatura corrispondente ad un tensione di 3 V .

In questo caso è necessario riferirci alla **sensibilità** del trasduttore comprensivo del suo circuito di condizionamento. Nel nostro caso il range di variazione della temperatura, (che è la grandezza di ingresso del trasduttore), è:

valore finale temperatura – valore iniziale della temperatura = $80 - (-20) = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Per quanto riguarda il range di variazione della tensione, che è la grandezza di uscita del trasduttore, possiamo scrivere:

Valore max della tensione – valore minimo della tensione = $5 - 0 = 5$.

La sensibilità del gruppo trasduttore – circuito di condizionamento è:

$$S = \Delta V / \Delta \text{Temp} = 5 / 100 = 0,05\text{ V} / ^{\circ}\text{C}.$$

In corrispondenza della tensione di 3 Volt la temperatura corrispondente si ottiene dalla seguente relazione:

$$(-20 + \Delta V / S)\text{ }^{\circ}\text{C} = (-20 + 3 / 0,05)\text{ }^{\circ}\text{C} = (-20 + 60)\text{ }^{\circ}\text{C} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Un trasduttore di posizione viene impiegato per misurare spostamenti variabili nel range $0 - 50\text{ mm}$; il segnale del trasduttore è condizionato in modo che a spostamento nullo corrisponda una corrente di 4 mA ed a 50 mm corrisponda una corrente di 20 mA .

Calcolare la corrente corrispondente ad uno scostamento di 25 mm .

Anche in questo caso conviene valutare la sensibilità S :

variazione segnale di ingresso (scostamenti) = $50 - 0 = 50\text{ mm}$;

variazione segnale uscita (correnti) = $(20 - 4)\text{ mA} = 16\text{ mA}$;

la sensibilità $S = \text{variazione uscita} / \text{variazione ingresso} = 16 / 50 = 0,32\text{ mA} / \text{mm}$.

Tenendo presente che a scostamento nullo corrisponde una corrente di 4 mA , a scostamento di 25 mm corrisponderà una corrente data come:

corrente in uscita =

= corrente a scostamento nullo + corrente a scostamento di 25 mm =

= $(4 + S \cdot 25)\text{ mA} = (4 + 0,32 \cdot 25)\text{ mA} = (4 + 8)\text{ mA} = 12\text{ mA}$.

In conclusione ad uno scostamento di 25 mm corrisponde una corrente erogata dal sistema trasduttore – condizionatore di segnale, di 12 mA .

TRASDUTTORI DI TEMPERATURA

Nella tecnica risulta fondamentale anche la misura della temperatura. Per la sua misura sono disponibili diversi tipi di trasduttori basati su principi fisici differenti. Essi possono essere:

- ◇ **termoresistenze;**
- ◇ **termocoppie;**
- ◇ **termistori;**
- ◇ **trasduttori integrati.**

TERMORESISTENZE

Nelle termoresistenze, dette anche RDT = resistance temperature detector, si misura la temperatura misurando la resistenza di un conduttore. Come è noto dall'elettrotecnica la resistività di un materiale conduttore metallico, al variare della temperatura, varia con una legge del tipo:

$$\rho(t) = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t),$$

dove ρ_0 è la resistività del materiale alla temperatura di riferimento;

α è il coefficiente termico del conduttore metallico, (esso ne è un parametro caratteristico) ed infine Δt è il salto termico eseguito dal conduttore stesso.

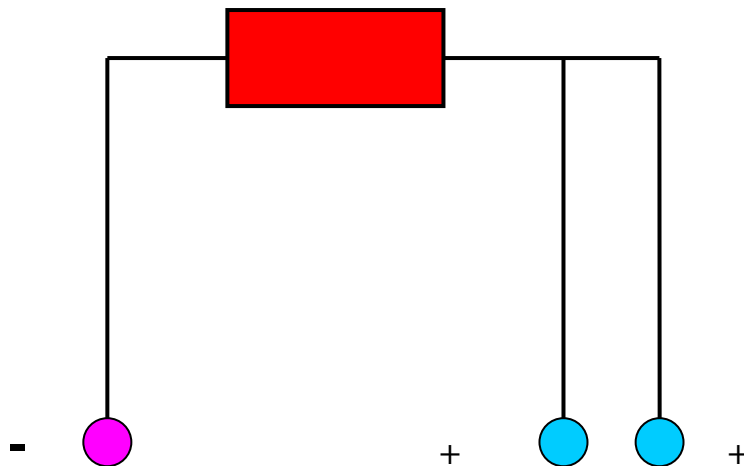
Generalmente per realizzare termoresistenze precise, (in quanto anche il coefficiente termico α al variare della temperatura tende a decrescere), vengono scelti dei materiali nei quali α rimanga il più costante possibile. Proprio per questo le termoresistenze spesso sono realizzate in Platino, (Pt), in nichel, in tungsteno, ecc. Inoltre per generare un segnale standard di tensione occorre fare circolare nelle termoresistenze una corrente costante, mediante un generatore costante. Questo valore di corrente deve essere scelto con particolare cura; infatti essa non deve avere un valore elevato per non introdurre un riscaldamento eccessivo per effetto Joule, che falserebbe la misura stessa. D'altra parte non può essere troppo piccola, perchè i segnali di tensione sarebbero troppo modesti e quindi molto sensibili ai disturbi. In definitiva i valori caratteristici sono dell'ordine dei milliampere. Normalmente la termoresistenza viene collegata all'esterno mediante un cavo schermato ed essa è collocata all'interno di un involucro, (che protegge così l'elemento sensibile), di forme diverse. In genere il range di funzionamento è compreso fra i -150 °C e i $+400$ °C.

Esempio numerico

Un trasduttore di temperatura di tipo Pt 100 alla temperatura di 130 °C che valore di resistenza avrà ?

Sapendo che il coefficiente di temperatura $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e che a 0 °C la resistenza del Pt vale $100 \text{ } \Omega$, potremo allora calcolare detta resistenza con la relazione seguente:

$$R (130) = 100 (1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot 130) = 150 \text{ } \Omega \text{ circa.}$$

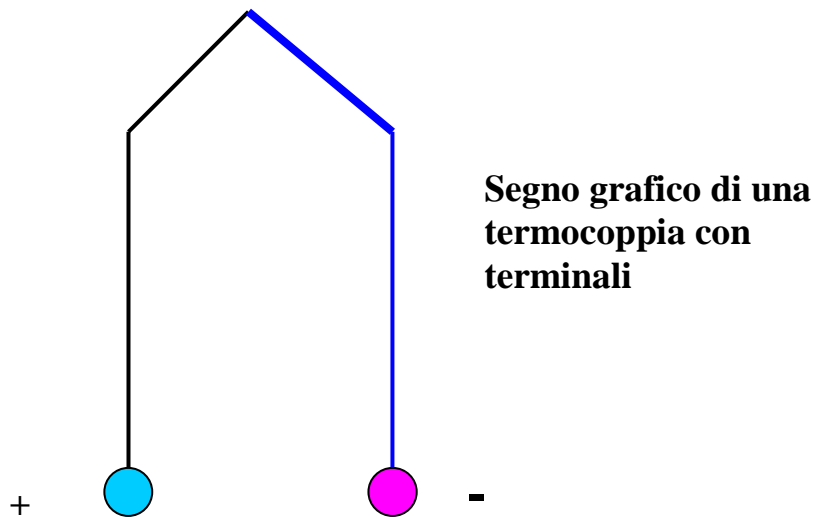


Segno grafico di una termoresistenze a tre fili con terminali

TERMOCOPPIE

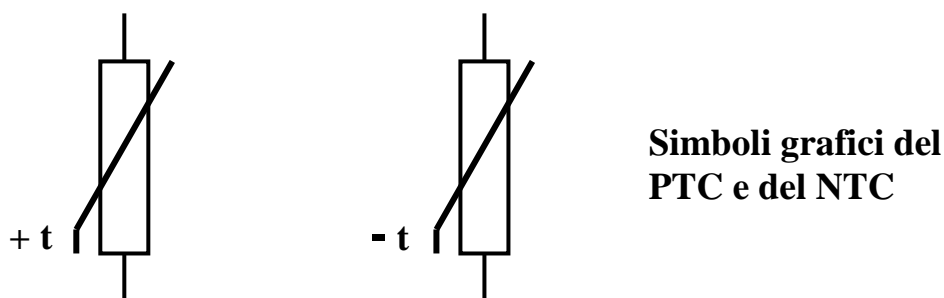
Le termocoppie sono dei trasduttori di temperatura il cui principio di funzionamento è basato sull'effetto **Seebeck – Peltier** o **effetto termoelettrico**. Questo effetto consiste nel fatto che una coppia di materiali differenti, saldati ad una estremità, (e questa giunzione si dice giunto caldo, ossia essa sarà collocata all'interno dell'impianto o del dispositivo di cui si vuole controllare la temperatura), si manifesta all'estremità libera, detta giunto freddo, una **differenza di potenziale** che dipende non solo dai materiali con cui è realizzata la termocoppia, ma anche dalla temperatura del giunto caldo. E' ovvio che per potere effettuare una misura assoluta della temperatura, è necessario mantenere il giunto freddo ad una **temperatura nota e rigorosamente costante**, mentre il giunto caldo verrà sottoposto alla temperatura da misurare. A temperatura ambiente la tensione di uscita di questi trasduttori o termocoppie sono modeste, qualche decina di millivolt, ecco perché il circuito di condizionamento deve avere amplificatori con guadagni elevati. Comunque il costruttore fornisce i dati tecnici nei quali indica, per ogni termocoppia, le tensioni generate dalla giunzione calda alle varie temperature in relazione ad una determinata temperatura del giunto freddo. Secondo la normativa **IEC** le termocoppie sono contraddistinte da una lettera maiuscola, **T, E, U, J, L, K**, ecc. Le lettere indicano le diverse modalità o materiali impiegati per realizzare le giunzioni. Ad esempio, le termocoppie di tipo **K**, impiegano differenti leghe di nichel, anche quelli di tipo **N**, ma con migliori composizioni in modo tale che esse abbiano caratteristiche superiori a quelle di tipo **K**. Inoltre le termocoppie di tipo **T** utilizzano rame e rame – nichel per i conduttori, mentre quelle di tipo **J**, che tra l'altro sono molto impiegate, utilizzano leghe di ferro e nichel – rame. Il campo di temperatura delle **J** risulta

compreso fra i $- 210 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e i $+ 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$. E' necessario mettere in luce che la termocoppia è un dispositivo attivo, in quanto genera autonomamente la tensione, senza dovere ricorrere a circuiti elettronici di generazione di tensione. Quest'ultima considerazione è un notevole vantaggio, in quanto per esse non si verificano i problemi di autoriscaldamento osservati per le termoresistenze. Le termocoppie sono idonee a misurare anche temperature molto elevate.



TERMORESISTENZE

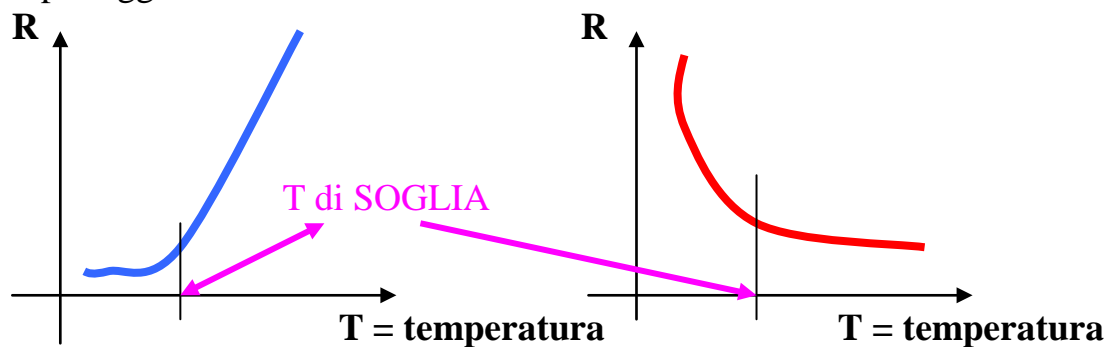
I termistori sono realizzati con materiali semiconduttori. Essi si realizzano con due modalità distinte, ossia possono realizzarsi come **PTC** o **positive temperature coefficient**, che impiegano il silicio come semiconduttore oppure nella realizzazione **NTC** o **negative temperature coefficient**, che si costruiscono con ossidi sinterizzati. La loro indicazione è ottenuta nel modo seguente:



Nei termistori PTC la resistenza alle basse temperature ha un valore pressoché costante, mentre al di sopra di una temperatura di soglia T , (i valori tipici sono 80°C o 120°C), la resistenza aumenta velocemente all'aumentare della temperatura. Il range caratteristico di queste termoresistenze è compreso fra i -55°C e i $+220^{\circ}\text{C}$.

Nei termistori di tipo NTC si verifica l'esatto contrario di quanto detto in precedenza, ossia la resistenza diminuisce all'aumentare della temperatura. Il tipico impiego di questi termistori è per temperature comprese fra i -80°C e i $+150^{\circ}\text{C}$.

I termistori possono essere impiegati proprio per la protezione delle macchine elettriche alle eventuali sovratemperatura. Esse vengono collocate all'interno della macchina da proteggere.



**Legame resistenza –
temperatura per una
termoresistenze PTC**

**Legame resistenza –
temperatura per una
termoresistenze NTC**

TRASDUTTORI INTEGRATI

Si tratta ovviamente di circuiti integrati. Questi circuiti integrati offrono numerosi vantaggi, in termini di precisione, affidabilità, bassa dissipazione di potenza e dimensioni contenute. In questi trasduttori l'uscita generata può essere indifferentemente una tensione o una corrente. I trasduttori, di questo tipo, più impiegati sono siglati come: **LM35**, **590KH** e **AD590**. Il campo di misura delle temperature è tra i -55°C e i $+150^{\circ}\text{C}$, e quindi è relativamente limitato.

TRASDUTTORI DI POSIZIONE

I trasduttori di posizione hanno moltissime applicazioni in tutti i settori tecnici, in cui vi siano problemi di movimentazione: macchine utensili, robot, ecc. Con tali dispositivi si è in grado di misurare sia le rotazioni, (trasduttori di tipo angolare), che gli spostamenti lineari, (trasduttori lineari). I principali trasduttori di posizione sono:

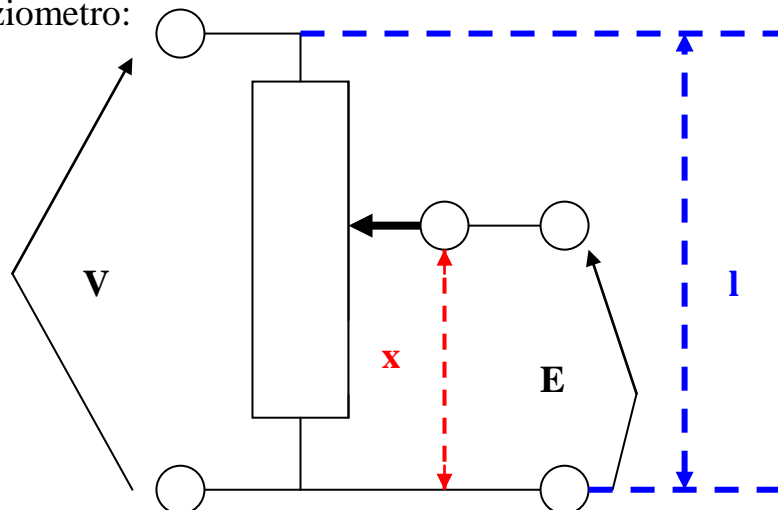
- ✓ **i potenziometri;**
- ✓ **gli encoder, (o di tipo incrementale o di tipo assoluto);**
- ✓ **i syncro;**
- ✓ **i resolver;**
- ✓ **i trasformatori differenziali.**

POTENZIOMETRI

I potenziometri sono costituiti da un filo o da uno strato metallico avvolto su un supporto isolante e da un contatto mobile, in grado di spostarsi lungo il conduttore. Il contatto mobile è solidale con l'elemento di cui si vuole conoscere la posizione. Qualunque suo spostamento viene recepito come una variazione del valore della resistenza. E' un dispositivo di tipo analogico. Comunque il potenziometro è inserito in un circuito alimentato da una sorgente di tensione costante e ciò comporta che, ad ogni variazione della posizione, vari la tensione erogata o di uscita. I potenziometri possono essere di tipo lineare o rettilineo oppure di tipo angolare o rotativo. Nel primo caso si misurano gli spostamenti lineari, mentre nel secondo caso gli spostamenti angolari. I trasduttori angolari o rotativi si distinguono poi in, monogiro o in multigiro. Nel primo la rotazione ammissibile è limitata ad un solo giro, (teoricamente 360° ma in pratica $300^\circ - 340^\circ$, viceversa in quelli multigiro è ammessa una rotazione di più giri. Per i potenziometri lineari la tensione di uscita è data dalla relazione seguente:

$$E = (x / l) V,$$

dove V è la tensione di alimentazione, E tensione di uscita del potenziometro, x scostamento lineare effettuato, l massima escursione del potenziometro. Si osservi lo schema di principio del potenziometro:



Nel caso di potenziometro angolare la relazione precedente si traduce nella relazione seguente:

$$E = (\phi / \phi_{MAX}) V,$$

dove E è la tensione di uscita del potenziometro, ϕ rotazione eseguita, / ϕ_{MAX} massima rotazione ammissibile ed eseguibile dal potenziometro ed infine V tensione di alimentazione del potenziometro.

Come si capisce i potenziometri forniscono in uscita un segnale di tensione proporzionale allo spostamento subito dal contatto mobile. Questa linearità, però, si mantiene a patto che rimanga costante la resistenza dell'elemento resistivo. Purtroppo qualche scostamento si hanno per due effetti fondamentali:

- il riscaldamento del conduttore per effetto Joule;
- disomogeneità dell'elemento conduttore.

PARAMETRI CARATTERISTICI DEI POTENZIOMETRI

I principali parametri caratteristici dei potenziometri, che devono essere tenuti in considerazione per la loro scelta, sono:

- * **resistenza** in Ω . Essa va intesa come resistenza complessiva del potenziometro. In genere la resistenza di questi è compresa fra pochi Ω ai $M\Omega$;
- * **potenza dissipabile**. Rappresenta la massima potenza dissipabile o smaltibile dal trasduttore, senza che esso si danneggi;
- * **risoluzione**. Corrisponde al minimo spostamento da esso apprezzabile, ossia il minimo spostamento in grado di definire una tensione di uscita.
- * **sensibilità**. Rappresenta la variazione di tensione determinata da uno spostamento unitario del cursore. (La sensibilità è tanto più elevata quanto più è elevata la tensione di alimentazione, sempre tenendo conto della massima potenza dissipabile).
- * **Intervallo di temperatura**. Rappresenta l'intervallo di temperatura dell'ambiente, in cui il potenziometro funziona correttamente.

ENCODER

Gli Encoder sono dei trasduttori di posizione angolare di tipo digitale, nei quali la rotazione genera una serie di impulsi.

Sono disponibili due tipi di encoder:

gli **encoder incrementali** e gli **encoder assoluti**.

Gli encoder incrementali generano una serie di impulsi solo quando sono posti in rotazione. Essi sono costituiti da un disco di materiale opaco sul quale sono ricavate una o due serie concentriche di finestre trasparenti, ad intervalli angolari regolari e costanti. Questo disco, normalmente, viene calettato su un albero mobile. In corrispondenza di ogni serie di finestre trasparenti sono posti dei generatori di raggi infrarossi, (diodi led) e dalla parte opposta, rispetto al disco, viene posto un

rilevatore o ricevitore di raggi infrarossi. Sia i generatori che i ricevitori sono fissi rispetto al disco stesso. Nel caso sia presente una sola serie di finestre l'encoder viene denominato **monodirezionale**, (quest'unica uscita prende il nome di **canale A**), e non consente di discriminare il senso di rotazione. Nel caso siano presenti due serie di finestre, l'encoder viene detto **bidirezionale**, (in questo caso le due uscite disponibili si dicono rispettivamente **canale A** e **canale B**), ed in questo caso risulta possibile individuare il senso di rotazione. Quando il disco è in rotazione la luce emessa dai led, ossia i raggi che riescono ad attraversare le finestre generano degli impulsi che vengono raccolti dai ricevitori. Contando così il numero degli impulsi è possibile stabilire la rotazione subita dall'albero.

Gli encoder assoluti generano un segnale indicante la posizione del disco, anche quando questo sono fermi. Gli encoder di questo tipo presentano un disco opaco, come nel caso di quelli incrementali, e , anch'essi presentano le coppie **emettitore – ricevitore**. In questo caso il disco è suddiviso in settori circolari. In ognuno di questi settori sono ricavate delle finestrate diverse. In questo modo è possibile ricavare la posizione del disco. La posizione del disco è direttamente ricavabile dal trasduttore stesso, senza dovere ricorrere ad altri dispositivi di conteggio e di memorizzazione. In definiti con gli encoder assoluti la posizione è sempre disponibile e non può venire sfalsata dagli eventuali disturbi esterni, (come invece ciò è possibile per gli encoder incrementali).

PARAMETRI CARATTERISTICI

Gli encoder incrementali sono caratterizzati da una serie di parametri, estremamente importanti ed utili per la loro scelta. Fra questi parametri spiccano:

- **risoluzione**, (espressa in impulsi / giro). Individua il numero degli impulsi generati dall'encoder in corrispondenza di un giro completo dell'albero;
- **sfasamento delle uscite**, (espressa in gradi). Nel caso degli encoder bidirezionali indica lo sfasamento tra i segnali generati nei due canali.
- **Numero di impulsi**, (espresso in kHz). Rappresenta il numero massimo di impulsi al secondo che l'encoder può generare. Con questo dato è possibile dedurre la massima velocità di rotazione **n**, in giri / min, a cui è possibile far funzionare l'encoder, utilizzando la seguente relazione:
$$n = (60 \cdot \text{numero impulsi}) / \text{risoluzione};$$
- **Velocità massima di rotazione**. Equivale al massimo numero di giri al minuto che l'encoder è in grado di sopportare dal punto di vista meccanico.

Esistono altri trasduttori di posizione, quali i sincro, i resolver, i trasformatori differenziali sui quali non insistiamo.

TRASDUTTORI DI VELOCITA'

Il controllo e la misura della velocità rappresentano un elemento spesso indispensabile nei processi industriali. I principali trasduttori di velocità sono:

- la **dinamo tachimetrica**, (con caratteristiche analogiche);
- l'**encoder incrementale**, (con caratteristiche digitali).

La dinamo tachimetrica è un generatore, in corrente continua, con eccitazione a magnete permanente. Il rotore è collegato all'albero di cui si vuole conoscere la velocità n , (giri / min). Questa dinamo, in poche parole, genera una tensione E legata alla relazione seguente: $E = K_D \phi n$,

dove K_D è la costante della dinamo tachimetrica, (ed essa dipende dalle caratteristiche costruttive della dinamo stessa);

ϕ flusso magnetico prodotto dal magnete permanente.

Ora nell'ipotesi che K_D e ϕ siano costanti si ha una proporzionalità diretta tra la velocità di rotazione e la tensione generata. Si tenga presente che la costante tachimetrica K_D è espressa in **V . s / rad**

Si noti che: **1 rpm = 1 giro / minuto = $2 \pi / 60$ rad / s = 0,1047 rad / s.**

Esempi numerici

Una dinamo tachimetrica è caratterizzata da una costante $K_D = 10$ V / 1000 rpm, esprimere il suo valore in V . s / rad.

Sapendo che 1 rpm = 0,1047 rad / s, di conseguenza 1000 rpm = 104,7 rad /s, da cui $K_D = 10 / 104,7 = 0,0955$ V . s / rad, (come volevasi calcolare).

Una dinamo tachimetrica è caratterizzata da una costante $K_D = 5$ mV / rpm; calcolare la tensione E prodotta quando la velocità di rotazione ω è di 628 rad / s

In questo caso bisogna tenere conto che: **1 rad / s = (1 / 0,1047) rpm**, di conseguenza **628 rad / s = 628 / 0,1047 = 6000 rpm o giri al minuto.**

In base a ciò si desume che: $E = 0,005 \cdot 6000$ ((V / rpm) . rpm) = 30 V.

Calcolare la tensione di uscita generata da una dinamo tachimetrica, caratterizzata da una costante $K_D = 10$ V / 1000 rpm, quando la velocità di rotazione ω è di 90 giri al secondo.

In questo esercizio se la velocità è di 90 giri al secondo per ottenere la velocità di rotazione in giri minuto, basta porre, (visto che 1 minuto corrisponde a 60 s):

$90 \cdot 60 = 5400$ giri / min = 5400 rpm, da cui si ottiene,

$$E = \text{tensione di uscita} = K_D \cdot n = (10 / 1000) \cdot 5400 = 54 \text{ V.}$$

Gli svantaggi della dinamo tachimetrica sono così riassumibili:

- 1) la caratteristica di uscita dipende dalla resistenza del carico;
- 2) la tensione generata presenta un'ondulazione o dei ripple, la cui frequenza aumenta all'aumentare della velocità di rotazione;
- 3) la massima velocità misurabile non è molto elevata;
- 4) vi sono seri problemi di usura e di conseguenza di manutenzione.

TRASDUTTORI DIGITALI DI VELOCITÀ

Un encoder incrementale è nella pratica tecnica utilizzando per misurare la velocità di rotazione di un albero. A tale scopo è necessario stabilire un intervallo di tempo T , detto **clock**, e, contare il numero m di impulsi generato in tale intervallo. La velocità di rotazione è possibile ricavarla attraverso la seguente relazione:

$$n = (m \cdot 60) / (T \cdot R)$$

con n numero di giri al minuto o rpm, m numero di impulsi generato nell'intervallo di tempo T ed infine R risoluzione dell'encoder in impulsi / giro.

Il segnale di uscita dell'encoder è una sequenza di impulsi assimilabile ad un'onda quadra. Per effetto degli errori essi devono essere accoppiati a dei circuiti elettronici di correzione. Il segnale generato dell'encoder viene poi convertito in una tensione continua, (che risulta proporzionale alla velocità di rotazione).

Gli encoder di elevata risoluzione garantiscono una misura di velocità estremamente precisa, i valori tipici sono compresi fra i **100** ed i **600 impulsi / giro**.

L'encoder digitale per quanto detto è quindi un dispositivo con caratteristiche digitali.

Esempio numerico

Un encoder con risoluzione $R = 1440$ impulsi / giro, applicato ad un motore elettrico, genera 16600 impulsi / s. Calcolare la velocità di rotazione dell'albero di quel motore.

Applicando la relazione poco sopra introdotta, con i dati forniti e ammettendo che $T = 1$ secondo, si ottiene che:

$$n = (m \cdot 60) / (T \cdot R) = (16600 \cdot 60) / (1 \cdot 1440) = 996000 / 1440 = 692 \text{ rpm.}$$

Si può anche osservare che il periodo del segnale, avendo una frequenza di 16600 impulsi / s è ottenuto considerandone semplicemente il reciproco, ossia:

$$\text{Periodo} = 1 / 16600 = 60,2 \mu\text{s.}$$

ALTRI TIPI DI TRASDUTTORI

Le esigenze di controllo nei processi industriali richiedono la misura di moltissime grandezze fisiche. Proprio per questa ragione esiste una grande varietà di trasduttori, tra i quali:

- trasduttori di livello;
- trasduttori di forza e peso;
- trasduttori di pressione;
- trasduttori di umidità;
- trasduttori di portata;
- trasduttori di intensità luminosa.

I trasduttori di livello sono impiegati per misurare e controllare il livello raggiunto da un liquido oppure da prodotti sfusi, come ad esempio polveri o granuli di piccola pezzatura) in appositi contenitori. Il sensore ha caratteristiche capacitive se la sostanza di cui si deve valutare il livello non è conduttiva. L'elemento sensibile o l'elettrodo è un'asta o un filo immerso nel liquido stesso. In definitiva, al variare del livello del liquido si modifica la capacità. Per la misura dei livelli si può anche utilizzare il trasduttore ad ultrasuoni.

Nei trasduttori di forza in genere si origina un segnale elettrico proporzionale alla forza meccanica da misurare. Fra i trasduttori di questo tipo più utilizzato vi è l'estensimetro. Gli estensimetri sono di vario tipo, quelli **metallici**, costituiti da un filo metallico conduttore o da una lamina, (in genere il filo o la lamina è di costantana), in cui la forza ad esso esercitata risulta funzione della variazione di resistenza elettrica del conduttore stesso, ossia è legata alla relazione:

$$F = k \Delta R / R,$$

dove **k** è la costante di taratura dell'estensimetro e $\Delta R / R$ è la variazione relativa della resistenza.

Gli estensimetri possono anche essere **piezoresistivi** e **piezoelettrici**.

Per quanto riguarda i trasduttori di pressione possiamo dire che la misura può essere effettuata secondo tre modalità distinte:

- misura della pressione assoluta;
- misura della pressione relativa all'ambiente;
- misura della pressione differenziale.

La **pressione assoluta** è quella relativa al vuoto assoluto.

La **pressione relativa** rappresenta la differenza di pressione rispetto all'ambiente.

La **pressione differenziale** è la differenza di pressione esistente tra due sorgenti di pressione. La pressione ha per unità di misura il Pascal, ma sono impiegate altre unità di misura, come il **bar**, il **psi**, l'**atmosfera**.

Per quanto detto i trasduttori di pressione sono suddivisi a loro volta in **trasduttori di pressione assoluta, relativa e differenziale**.

Qualunque sia il tipo di trasduttore, in esso sono contenute due parti:

- ❖ **la prima parte converte la pressione in uno spostamento;**
- ❖ **la seconda parte trasduce o trasforma lo spostamento in segnale elettrico.**

La conversione della pressione in uno spostamento è effettuata mediante una capsula costituita da due membrane corrugate o diaframmi, fissati su un supporto rigido.

Se all'interno della capsula si effettua il vuoto, il trasduttore è in grado di misurare la pressione assoluta. Si possono anche considerare dei trasduttori di pressione con caratteristiche **monolitiche**, ossia in grado con un unico dispositivo di effettuare le due funzioni sopra descritte. In genere i trasduttori monolitici sono di due tipi:

- ◇ **capacitivi;**
- ◇ **piezoresistivi a film spesso.**

I parametri caratteristici dei trasduttori di **pressione** si possono riassumere nei seguenti:

tipo di misura, (assoluta, relativa, differenziale); **tipo di fluido**, (gassoso o liquido), **campo di misura**, **pressione di prova**, **temperatura di funzionamento**, **linearità**, **sensibilità**, **tensione di alimentazione**.

I trasduttori di **umidità** sono in grado di misurare l'umidità relativa, (**U%**) in un ambiente o nell'aria.

Per quanto riguarda i trasduttori di **intensità luminosa**, possiamo dire che essi risultano sensibili alle radiazioni elettromagnetiche dello spettro visibile, cioè alle radiazioni con lunghezza d'onda compresa fra 380nm e 780 nm. I principali tipi di trasduttori di questo tipo sono:

- ✓ **il fotoresistore;**
- ✓ **il fotodiiodo;**
- ✓ **il fototransistore;**
- ✓ **le celle fotovoltaiche.**

Il **fotoresistore** è realizzato con componenti semiconduttori, come il **fotodiiodo**.

Il **fototransistore** è un trasduttore basato sempre sulla proprietà dei semiconduttori di aumentare il numero delle coppie elettrone – lacune disponibili per la conduzione.

Le **celle fotovoltaiche** non richiedono circuiti di polarizzazione esterna, in quanto generano da sé direttamente l'energia elettrica, (per il resto sono simili ai fotodiiodo) .

I trasduttori di **portata** misurano la portata di un fluido, (un gas o un liquido). In molti settori industriali, soprattutto chimici, sono molto richiesti, come anche per le grosse reti di distribuzione o del gas o dell'acqua. Si ricorda che la portata può essere misurata in Kg / m³ o in Kg / s, la prima dunque misura la cosiddetta **portata volumetrica**, mentre la seconda la **portata in massa**. Questi trasduttori possono essere a **turbina** o **magnetici**.

ATTUATORI

Nei sistemi di controllo è necessario procedere alla misura delle grandezze fisiche, relative ad un processo, e, questa operazione come si è visto, è svolta dai **trasduttori**. Un'altra operazione fondamentale nei sistemi di controllo è quella **inversa**, che consiste nel trasformare un segnale elettrico o pneumatico in un'altra grandezza fisica, che normalmente è uno spostamento meccanico. Quest'ultima operazione viene svolta dagli **attuatori**.

Nei sistemi di controllo i più importanti attuatori utilizzati sono:

- ❑ **gli elettromagneti o i solenoidi;**
- ❑ **i motori in corrente continua;**
- ❑ **i motori asincroni;**
- ❑ **i motori passo a passo;**
- ❑ **i motori a riluttanza;**
- ❑ **i motori brushless;**
- ❑ **i motori lineari;**
- ❑ **i cilindri pneumatici o oleodinamici.**

Per quanto riguarda gli **attuatori** lasciamo agli insegnanti di elettrotecnica lo sviluppo e la trattazione rigorosa. Per quanto concerne al nostro corso di Controlli Automatici verranno sviluppati solo alcune osservazioni o cenni al momento delle applicazioni pratiche.

L'unico problema degli attuatori riguarda la modalità con cui fornire potenza ed in genere tale problema si supera impiegando gli **amplificatori di potenza**.

Infine, sempre durante le ore di laboratorio pratico, verranno effettuate le considerazioni legate al PLC sia per quanto concerne le generalità, la programmazione e l'uso.