

SENSORI TRASDUTTORI

Sensori

Sono dispositivi di un sistema di controllo che rilevano i valori di una grandezza fisica o i suoi cambiamenti.

Il sensore non modifica la grandezza rilevata in un'altra grandezza fisica.

Trasduttore

Sono dispositivi che trasformano una grandezza fisica in una grandezza di altro tipo al fine di poterla misurare o confrontare con un'altra grandezza della stessa natura.

Sensore-Trasduttore

Sono dispositivi di un sistema di controllo che rilevano i valori di una grandezza fisica o i suoi cambiamenti e la trasformano in una grandezza fisica di altro tipo al fine di poterla misurare o confrontare con un'altra grandezza della stessa natura.

In realtà un sensore è quasi sempre un trasduttore pertanto si parlerà di sensore-trasduttore o semplicemente di trasduttore.

Caratteristiche dei sensori-trasduttori

I sensori-trasduttori possono essere :

Analogici , Digitali, Assoluti Incrementali, Autogeneratori, Modulanti, Modificatori.

Analogico

Il segnale è continuo all'interno di un intervallo di rilevamento.

Digitale

Il segnale è discontinuo e varia dal precedente di una quantità costante all'interno di un intervallo di rilevamento.

Assoluto

Ad ogni segnale in ingresso corrisponde un unico segnale in uscita (es. dinamo tachimetrica)

Incrementali

Generano un segnale in uscita che non è legato in modo univoco alla grandezza misurata.

Autogeneratori

Non richiedono fonti di energia di alimentazione esterne al sensore-trasduttore.

Modulanti

Richiedono fonti di energia di alimentazione esterne al sensore-trasduttore.

Modificatori

La grandezza fisica in uscita è diversa da quella di entrata e la forma di energia in entrata è uguale a quella di uscita .

(Es. il dinamometro dove entra una forza ed esce uno spostamento e l'energia in ingresso e in uscita sono entrambi di tipo meccanico.)

DINAMO TACHIMETRICA

La dinamo tachimetrica è un trasduttore di velocità che rileva e trasduce il numero di giri di un organo rotante (in genere motori elettrici) in una tensione.

Si utilizza per la misura di velocità.

Per effetto della rotazione del rotore, nei morsetti dello statore si genera una tensione in uscita V proporzionale al numero di giri n del rotore secondo l'espressione

$$V = K \cdot n$$

La costante K prende il nome di costante tachimetrica e vale generalmente

$$K = 0.06 \text{ V}/(\text{giri}/\text{min}).$$

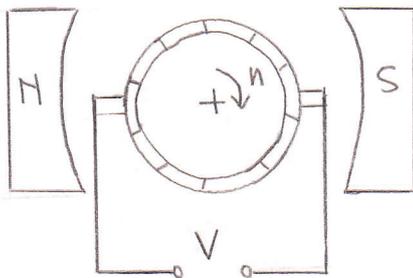
Per avere un segnale (V) il più costante possibile, è bene usare delle dinamo con un numero elevato di poli.

La dinamo tachimetrica è un trasduttore di velocità avente le seguenti caratteristiche:

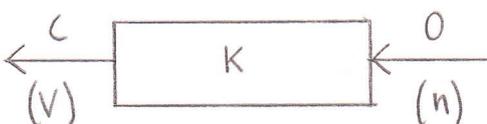
- segnale analogico (V)
- autogeneratore
- assoluto

I difetti principali sono:

- oscillazione tensione
- contatti striscianti e pertanto attrito (spazzole)
- inerzia meccanica
- velocità massime limitate dall'eccessive vibrazioni.



SCHEMA A BLOCCHI



IL POTENZIOMETRO

Il potenziometro è un trasduttore di posizione lineare .

E' costituito da una parte fissa composta da un elemento resistivo omogeneo collegato ad un generatore di corrente continua ai cui morsetti si ha la tensione V_i .
Sull' elemento resistivo scorre un cursore mobile collegato rigidamente all'organo di cui si vuole rilevare la posizione X .

L'elemento resistivo ha una lunghezza L pari alla corsa del cursore .

Tra il morsetto del cursore mobile e la resistenza R si rileva una tensione in uscita V_u (segnale retroazionato C) proporzionale alla posizione X secondo la seguente legge :

$$V = X \cdot (V_i / L)$$

Poichè $V_i / L = K$ è una costante si ottiene che :

$$V = X \cdot K$$

Il parametro K è il guadagno del trasduttore.

Il potenziometro è un trasduttore di posizione avente le seguenti caratteristiche :

- segnale analogico (V)
- modulante (richiede un generatore esterno V_i)
- assoluto (relazione univoca tra posizione e tensione V)

Inconvenienti del potenziometro sono legati all'usura delle spazzole, e ai conseguenti contatti non precisi pertanto si adottano nei sistemi di controllo e regolazione e non si utilizzano nei Robot e nelle macchine utensili.

I potenziometri possono essere a pista rettilinea, elicoidale e ad arco.

Con opportuni accorgimenti, (utilizzo di viti senzafile) è possibile utilizzare il potenziometro come trasduttore di misure angolari .

I materiali impiegati per le resistenze sono :

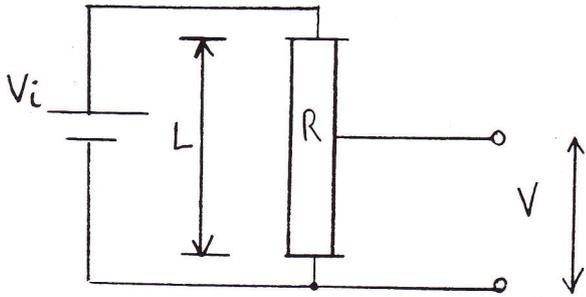
- Cermet impasto di ceramica più metallo finemente lavorato avente una resistenza elettrica continua
- Plastica conduttiva costituita da carbone impastato di resina termoindurente avente elevata resistenza meccanica
- Filo resistivo avvolto attorno a un nucleo

Quelli a filo sono i più economici e meno precisi.

In base al tipo di resistenza si hanno potenziometri a Cermet, a Plastica Conduttiva a Filo .

Il potenziometro può essere utilizzato ad esempio per rilevare la posizione di un utensile, misurare il livello di un serbatoio ,misurare il valore della forza peso (bilancia) e qualsiasi spostamento lineare .

SCHEMA ELETTRICO

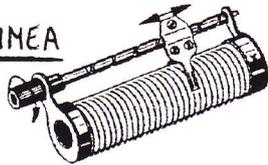


SCHEMA A BLOCCHI

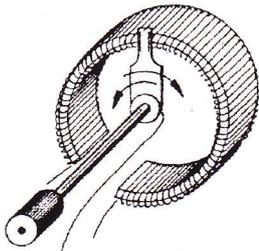


ESEMPIO DI APPLICAZIONE
MISURATORE DI LIVELLO

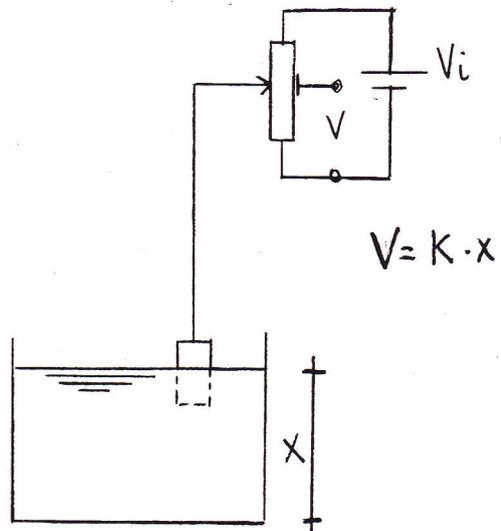
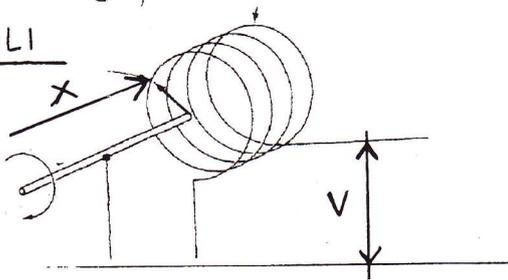
PISTA RETTILINEA



AD ARCO



ELICOIDALI



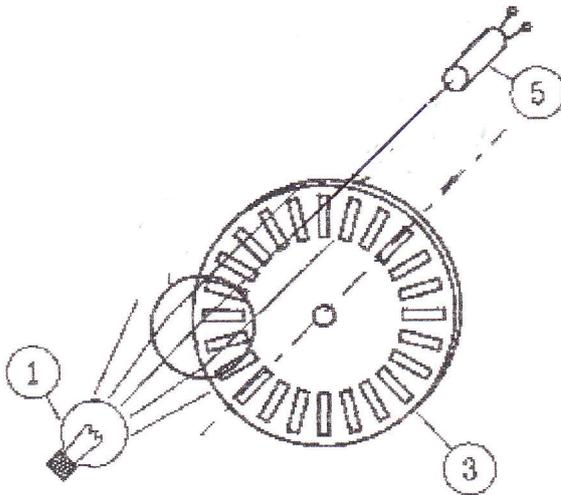
ENCODER OTTICO INCREMENTALE ROTATIVO

È un sensore trasduttore di posizione che può essere usato anche per rilevare velocità angolari, angoli.

È costituito da un disco montato sull'albero rotante di cui si vuole rilevare la posizione angolare. Il disco è dotato di asole allineate con il fascio luminoso emesso da un emettitore. Dalla parte opposta del disco si dispone un ricevitore fisso costituito ad esempio da un fototransistor o da un fotodiode collegato ad un generatore (G).

Durante la rotazione dell'encoder e quindi dell'albero, il fascio luminoso passa attraverso le asole eccita il ricevitore che invia dei segnali intermittenti ad un circuito elettronico che conteggia gli impulsi ricevuti e li trasforma in un segnale elettrico corrispondenti alla posizione dell'encoder.

- 1 led (emettitore)
- 3 encoder (disco asolato)
- 5 ricevitore (fototransistor)

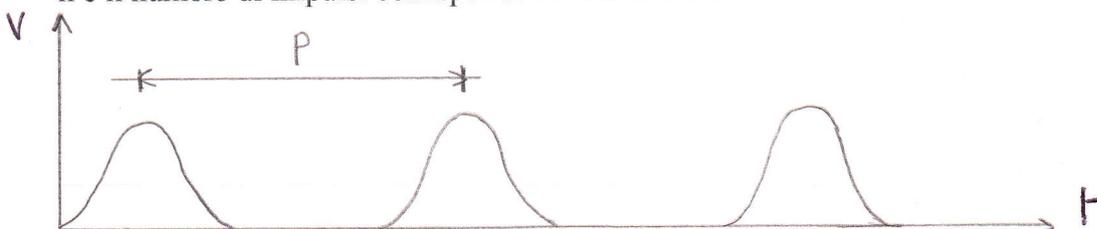


Il segnale in arrivo ai fotodiodi è di tipo pulsante come riportato nella figura successiva e la risoluzione vale

$$R = 360/n$$

R è la risoluzione

n è il numero di impulsi corrispondenti al numero di asole.



Disponendo dopo il fotodiode di un comparatore il segnale viene suddiviso in due : fronte in salita e fronte in discesa .

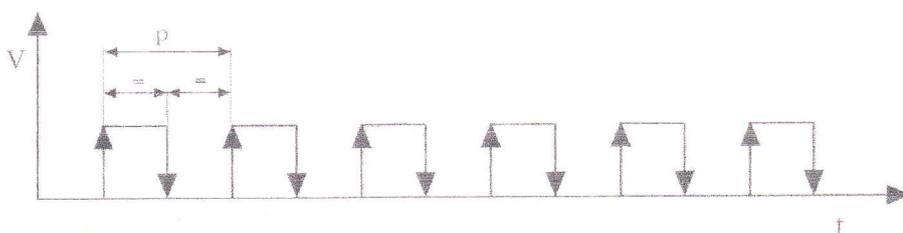
Il numero di impulsi raddoppia pertanto la risoluzione diventa:

$$R = 360/(2*n)$$

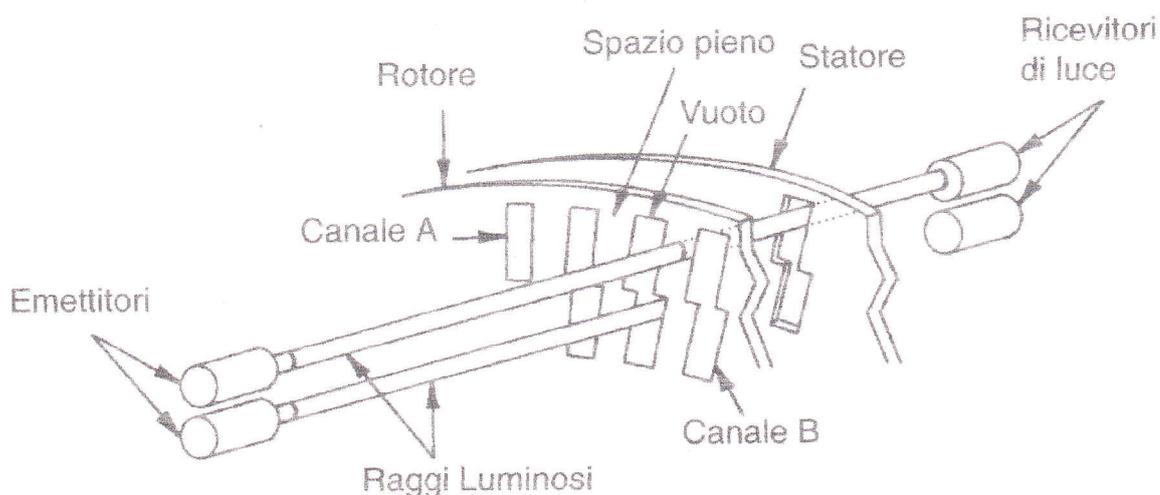
Si hanno due impulsi :
dallo stato 0 allo stato 1

dallo stato 1 allo stato 0

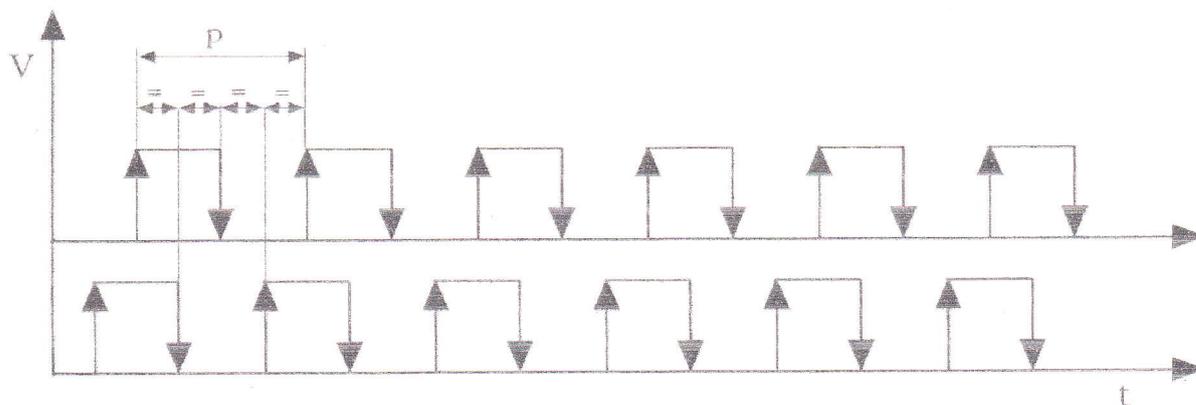
Il grafico precedente diventa :



Per rilevare se la rotazione è oraria o antioraria , si può disporre di un doppio canale e cioè di due serie di asole sfasate di $P/4$ ($P =$ passo delle asole) di due illuminatori, due ricevitori e due comparatori .



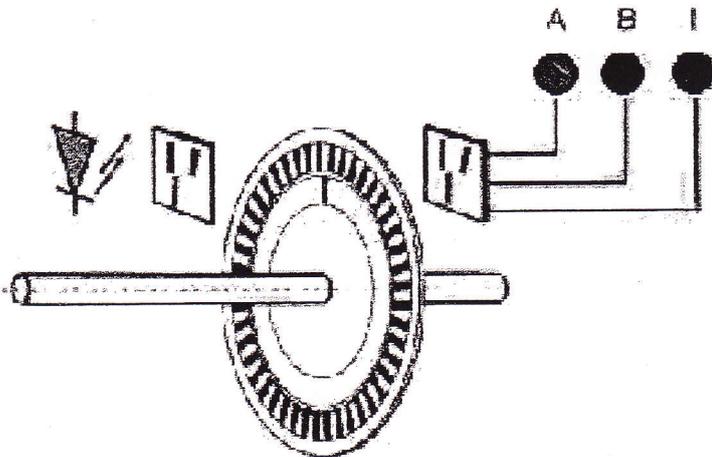
In caso di rotazione oraria il segnale sul canale A è in anticipo sul segnale in B
In caso di rotazione antioraria il segnale sul canale B è in anticipo sul segnale in A.



In entrambi i casi di rotazione oraria o antioraria , si ottiene anche un ulteriore miglioramento della risoluzione

$$R = 360 / (4 * n)$$

Gli encoder ottici incrementali hanno velocità elevate e sono sensibili allo sporco. Sono sensori trasduttori di velocità, di posizione angolare (viti e organi rotanti) . Accoppiati con il meccanismo pignone cremagliera ,permettono di rilevare posizioni , spostamenti e velocità lineari . Gli encoder ottici incrementali sono sensori trasduttori di tipo incrementali ,digitali ,modulanti .



ENCODER OTTICI ROTATIVI ASSOLUTI

Per il controllo della posizione angolare dei bracci del robot vengono impiegati encoder ottici assoluti che permettono di rilevare la rotazione assoluta del giunto. A differenza degli encoder incrementali quelli assoluti riescono a rilevare la rotazione assoluta del giunto rispetto ad una direzione fissata, permettendo al sistema di controllo di sapere sempre in che posizione si trova anche se, a causa di un'interruzione elettrica, si perde l'informazione relativa alla posizione precedente. Gli encoder incrementali, infatti, misurano gli spostamenti angolari del giunto grazie ad un fotodiodo che è in grado di rilevare l'alternanza luce/buio generata da tacche trasparenti ricavate sulla superficie del disco solidale con l'elemento in rotazione. Ciò non permette di sapere la posizione angolare assoluta, bensì gli spostamenti incrementali relativi all'ultima posizione memorizzata. Al contrario gli encoder assoluti sfruttano un particolare tipo di codifica (Gray), ricavata sul disco suddetto, che permette di assegnare sempre la posizione rispetto al sistema di riferimento. È chiaro che questo tipo di trasduttore è molto più complesso e costoso del primo, ma l'enorme differenza di prestazioni consiglia di utilizzare encoder assoluti, soprattutto nel campo della robotica.

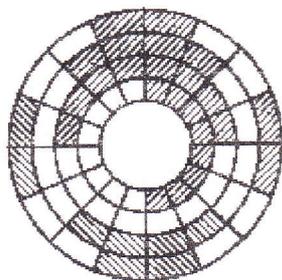
L'encoder ottico assoluto è costituito da un disco diviso in piste e settori.

Maggiore è il numero di piste e settori maggiore è la precisione dell'encoder.

In figura si riporta un disco con quattro canali (quattro piste) e quindici settori.

Ciascuna posizione individua un numero in codice Gray.

Le zone onache corrispondono a 0 bit, le zone trasparenti a un bit.



Tra codice decimale e codice Gray a 4 bit si ha la seguente corrispondenza:

Codice decimale	Codice Gray
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101
10	1111
11	1110
12	1010
13	1011
14	1001
15	1000

E' evidente che ad una certa posizione del disco corrisponde un unico valore e pertanto è di tipo assoluto. Tra un settore e il successivo , con il codice Gray cambia un solo bit e ciò riduce gli errori che si potrebbero verificare adottando il codice binario dove tra un numero e il successivo cambiano più bit .

Poiché le posizioni rilevate vanno inviate ad un controllore che di solito utilizza il codice binario che è più comodo da utilizzare di quello Gray per quanto riguarda le operazioni (gli elaboratori usano il codice binario) , è necessario disporre dopo l'encoder un trasduttore di codice da Gray a binario .

Sono sensori trasduttori di tipo assoluto, modulante e digitale .

Gli encoder ottici assoluti hanno velocità elevate e sono sensibili allo sporco. Sono sensori trasduttori di velocità, di posizione angolare (viti e organi rotanti) .

Accoppiati con il meccanismo pignone cremagliera ,permettono di rilevare posizioni , spostamenti e velocità lineari .

Gli encoder ottici incrementali si utilizzano nei Robot, nelle macchine utensili ,nei controlli dei processi industriali , nelle macchine tessili , nei laminatoi ecc. Esistono altri tipi di encoder con modalità di funzionamento diverse (magnetici), ma sono meno usati rispetto a quelli descritti precedentemente.

ENCODER OTTICI INCREMENTALI LINEARI

Sono encoder di tipo lineare dotati di due canali in grado di rilevare spostamenti lineari verso destra o verso sinistra .

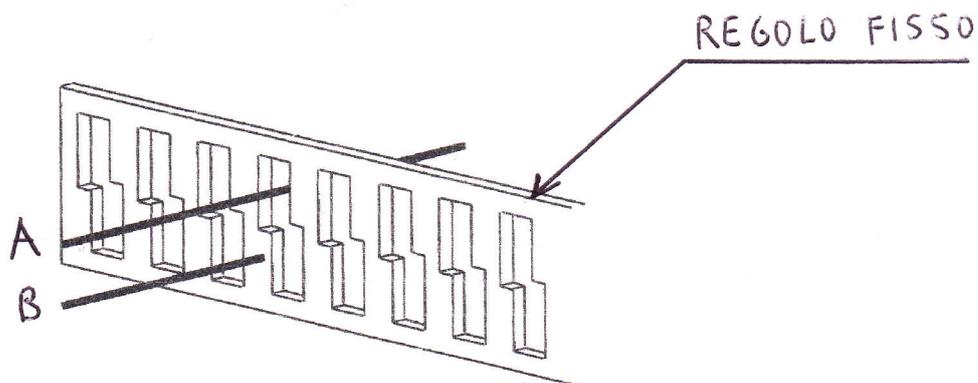
Per il funzionamento sono simili a quelli ottici rotativi e differiscono dal punto di vista costruttivo per la pista di tipo rettilinea .

La pista rettilinea a due canali , è costituita da un regolo fisso dotato di due serie di asole .Parallelamente al regolo fisso scorre il cursore di cui si vuole rilevare la posizione . Il cursore è dotato di due illuminatori e due ricevitori sfalsati come le asole di $P/4$ (P passo delle asole) in modo da poter rilevare spostamenti lineari verso destra o verso sinistra .

Analogamente a quelli ottici rotativi , dispongono di circuiti con fotodiodi e comparatori .

Gli encoder ottici incrementali hanno velocità elevate e sono sensibili allo sporco. Sono sensori trasduttori di velocità , di posizione lineare.

Gli encoder ottici incrementali sono sensori trasduttori di tipo incrementali ,digitali e modulanti .



ENCODER OTTICI ASSOLUTI LINEARI

Sono encoder di tipo lineare dotati di più canali in grado di rilevare spostamenti assoluti lineari verso destra o verso sinistra .

Per il funzionamento sono simili a quelli ottici rotativi assoluti e differiscono dal punto di vista costruttivo per la pista di tipo rettilinea .

La pista rettilinea a più bit (canali) , è costituita da un regolo fisso dotato di un numero di piste con zone opache e zone trasparenti .Parallelamente al regolo fisso scorre il cursore di cui si vuole rilevare la posizione . Il cursore è dotato di un numero di illuminatori e ricevitori pari al numero di bit (canali) .

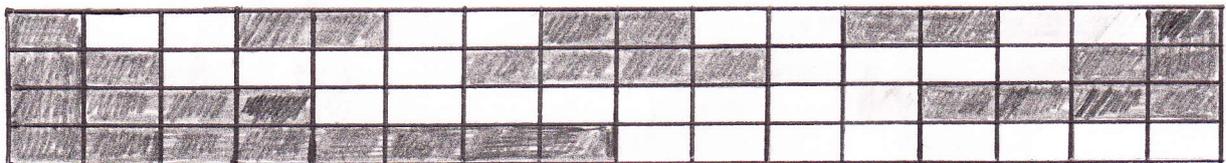
Analogamente a quelli ottici rotativi funzionano con il codice Gray e rilevano in modo univoco gli spostamenti lineari verso destra o verso sinistra .

Analogamente a quelli ottici rotativi , dispongono di circuiti con fotodiodi e comparatori e necessitano di un convertitore di segnale da codice Gray a binario .

Gli encoder ottici incrementali assoluti sono sensori trasduttori di tipo assoluto ,digitali e modulanti .

Gli encoder ottici assoluti si utilizzano nei Robot, nelle macchine utensili ,nei controlli dei processi industriali , nelle macchine industriali ecc.

ESEMPIO DI PISTA RETTILINEA A 4 BIT CON CODICE GRAY



SENSORI AD EFFETTO HALL

L'effetto Hall si manifesta in particolari materiali semiconduttori come l'arsenuro di indio.

Se facciamo attraversare una piastrina di arsenuro di indio (cella di Hall) da una corrente e misuriamo la differenza di potenziale tra due morsetti (A e B) perpendicolari al verso della corrente, non rileviamo alcuna differenza di potenziale. Se applichiamo oltre alla corrente un campo magnetico (H) perpendicolare alla piastrina osserviamo che tra i morsetti (A e B) la differenza di tensione è diversa da zero.

Questo fenomeno può essere utilizzato in molti casi e in particolare per i sensori di prossimità, o per sensori di presenza oppure per ottenere dei contagiri.

Classica applicazione dell'effetto Hall, si ha nei tachimetri delle biciclette.

Vediamo come si presenta lo schema tipico di un sensore ad effetto Hall.

Per la descrizione si fa riferimento al disegno allegato.

Il circuito è costituito da un generatore di corrente (alimentatore) collegato in serie ad una resistenza (regolatore) ed a una cella di Hall e collegato in parallelo ad un amplificatore.

Perpendicolarmente ai morsetti del circuito di alimentazione, si dispongono due morsetti collegati a loro volta all'amplificatore.

Collegato in serie con l'amplificatore si dispone un Trigler Smith.

La funzione del Trigler Smith è quella di fissare la soglia di passaggio di segnale ed evitare l'uscita di un segnale continuo.

In poche parole dal Trigler Smith esce un segnale (tensione) solo quando supera un certo valore.

Il segnale è impulsivo assume i valori 0 oppure 1 e pertanto è di tipo digitale.

Vediamo come funziona il dispositivo ad effetto Hall appena descritto:

Se avviciniamo un magnete alla cella di Hall, vediamo che si genera una tensione ai capi dell'amplificatore.

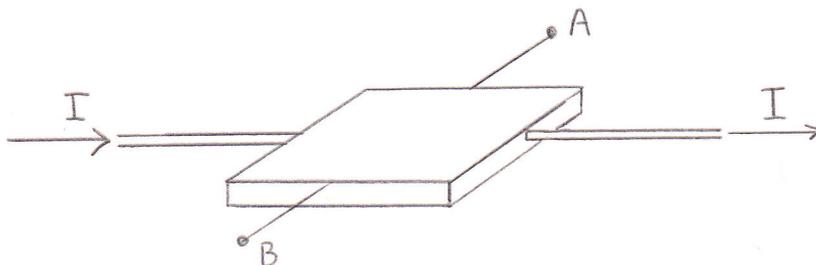
La tensione al morsetto di uscita dell'amplificatore attraverso il Trigler Smith, viene trasformata in un segnale digitale pari ad 1.

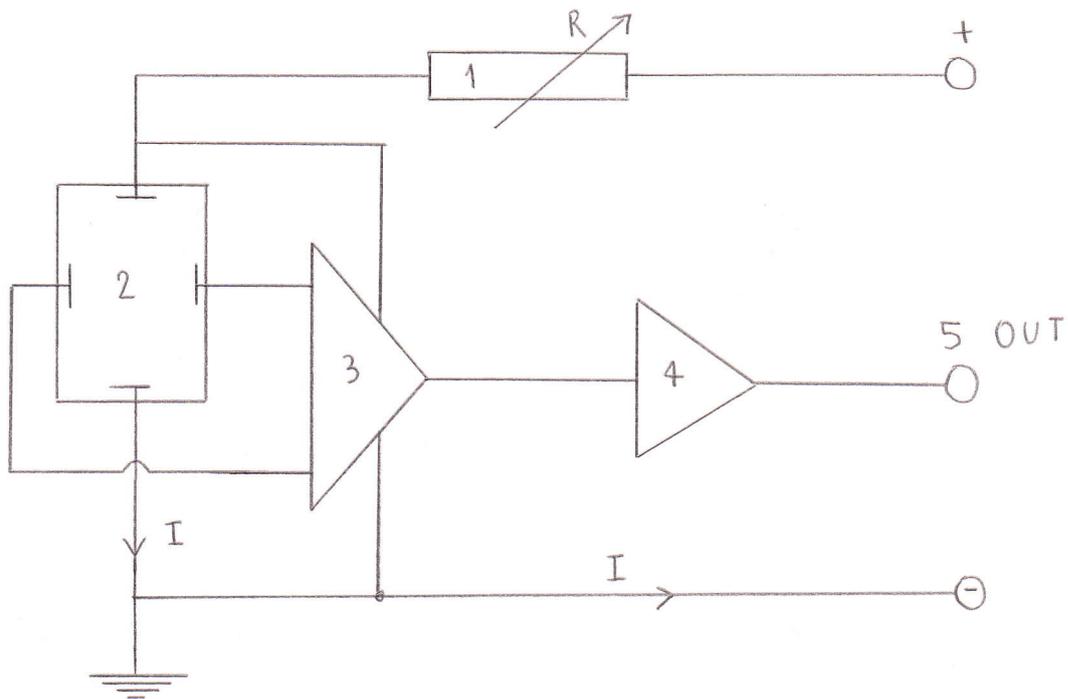
In assenza del magnete sulla cella di Hall, ovviamente non si genera alcuna tensione nell'amplificatore e pertanto il segnale in uscita dal Trigler Smith è nullo e cioè 0.

Se montiamo un magnete su un disco rotante (tipo endoder) e mettiamo il dispositivo appena descritto su una forcella fissa, rileviamo per ogni rotazione un impulso in uscita e pertanto otteniamo un contagiri.

Ovviamente a valle del dispositivo ad effetto Hall, bisogna mettere un circuito elettronico in grado di elaborare gli impulsi ricevuti e di trasformarli in un segnale o in una grandezza a noi nota.

Sono sensori trasduttori di tipo digitali e modulanti.





- 1 REGOLATORE (REOSTATO)
- 2 CELLA DI HALL
- 3 AMPLIFICATORE
- 4 TRIGLER SMITH
- 5 SEGNALE DI USCITA 0-1

RESOLVER

Il "Resolver" è anch'esso un trasduttore di posizione e velocità angolare.

Il principio di funzionamento è di tipo elettromagnetico induttivo.

In altre parole la posizione o la velocità vengono associate ad una variazione di induttanza di uno o più stadi di bobine collegate tra loro opportunamente (ad esempio collegamenti a "ponte di Wheatstone"). Come mostra l'immagine seguente i resolver sono spesso integrati, e dunque in grado di fornire segnali di uscita digitali per un' immediata elaborazione al calcolatore elettronico.

Il resolver può essere schematizzato con due circuiti con induttanze di cui uno fisso (statorico) e l'altro mobile solidale al meccanismo di cui si vuole rilevare la posizione angolare.

Per effetto delle correnti alternate ad elevate frequenze (400 Hz) nel circuito statorico si ha un induzione magnetica risultante B.

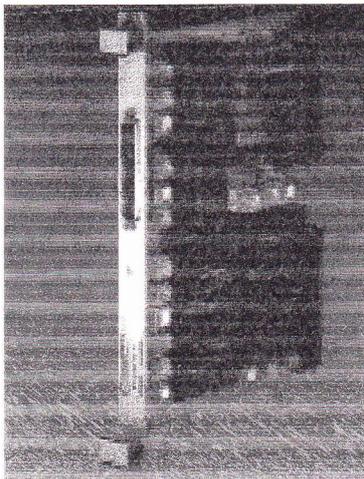
Nel circuito rotorico costituito da due solenoidi in serie disposti tra loro a 90°, per effetto del vettore magnetico B nasce una fem. indotta che dipende dalla posizione del rotore. Il dispositivo è molto simile a quello di un trasformatore dove la tensione nel secondario è strettamente legata all'angolo.

$$V=K*\beta$$

V tensione in uscita

K guadagno del revolver

β angolo da misurare e trasdurre

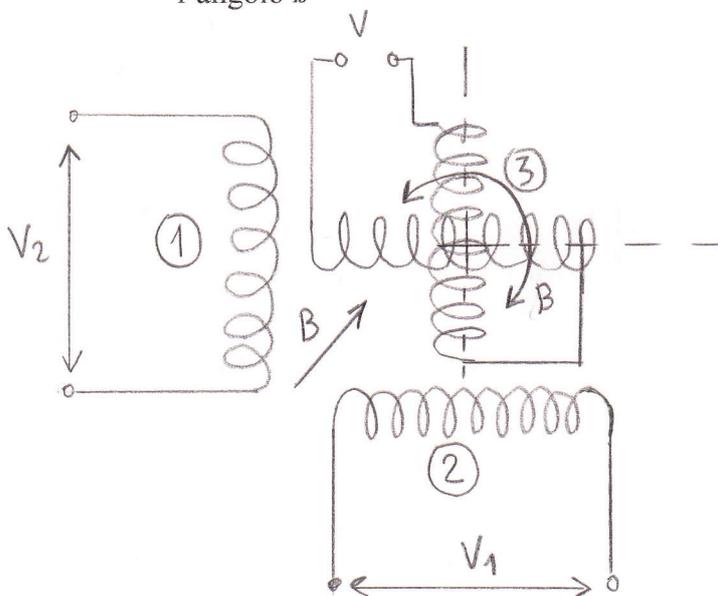


- 14 or 16-bit resolution
- 50 Hz to 10 kHz versions
- velocity output (option)
- built-in self test
- transformer isolation
- reference and signal loss detection
- only +5 and -12 V DC required
- compact single slot width
- no adjustments or trimming
- commercial, MIL and HI REL versions

Si riporta lo schema elettrico semplificato .

1 e 2 circuiti statorici con induttanze che determinano un vettore induzione magnetica B statorico.

3 circuito rotorico con due induttanze solidale all' albero di cui si vuole rilevare l'angolo β



TERMOCOPPIE

Sono sensori trasduttori della temperatura .

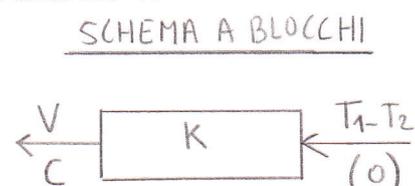
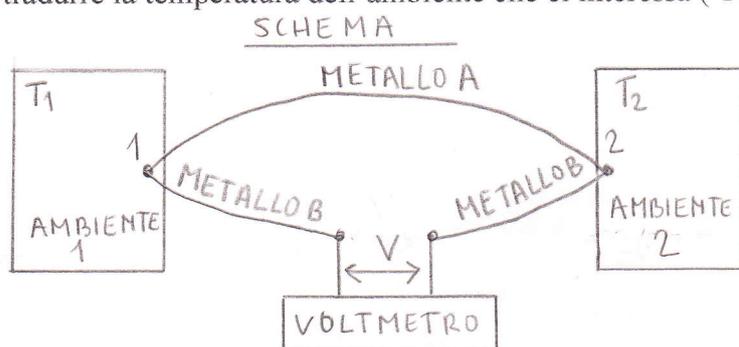
Sono costituiti da due materiali diversi ad esempio rame-costantana oppure ferro-costantana o tungsteno-renio (per intervalli di utilizzo superiore), collegati in due nodi disposti in ambienti con temperature diverse come indicato nello schema successivo .

L'ambiente a temperatura T_1 è quello di cui si vuole rilevare il valore, l' ambiente a temperatura T_2 , stabilisce il valore di confronto e riferimento.

Per effetto della differenza di temperatura tra i due nodi 1 e 2 , nasce una tensione V legata alla differenza di temperatura tra 1 e 2 pari a :

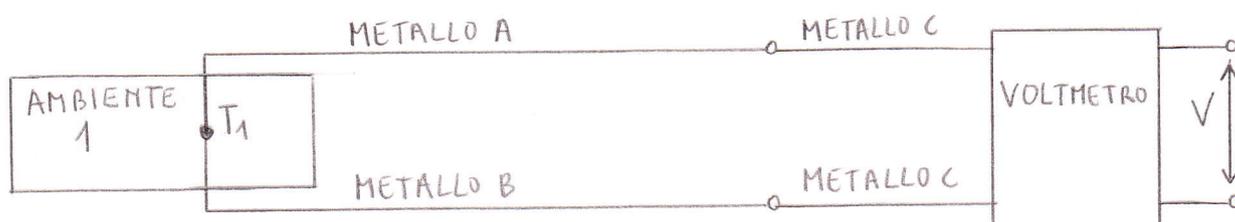
$$V = K * (T_1 - T_2)$$

Pertanto noto il valore della temperatura dell'ambiente di riferimento (T_2), si viene a tradurre la temperatura dell'ambiente che ci interessa (T_1) in una tensione V .



Sono sensori trsduttori di tipo analogico, assoluti, autogeneratori.

Il funzionamento della termocoppia può avvenire anche con il seguente schema :



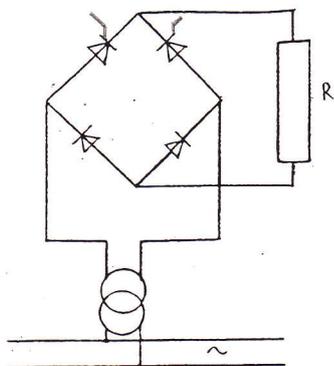
Esistono altri sensori trasduttori di temperatura come le termistori che sfruttano il fatto che alcuni materiali modificano la propria resistività con la temperatura .

RADDRIZZATORE A PONTE SEMICONTROLLATO

Il raddrizzatore a ponte semicontrolato con diodi serve per trasformare una corrente alternata monofase in una corrente continua regolata, per poter azionare i motori a corrente continua.

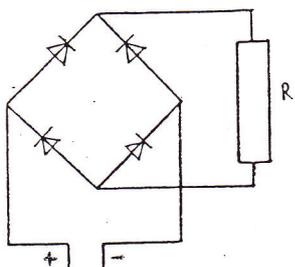
E' costituito da due diodi SCR e da due diodi semplici.

Il raddrizzatore a ponte semicontrolato ,viene collegato alla rete monofase con un trasformatore come riportato nello schema seguente:

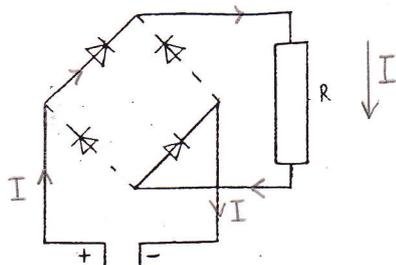


Ipotizziamo in prima fase, che i diodi SCR (o tiristori) siano sempre attivati e che quindi si comportano come diodi semplici .

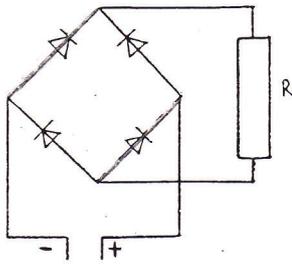
La corrente alternata può essere schematizzata considerando una alternanza di inversioni di polarità agli estremi del raddrizzatore a diodi . Durante la semionda positiva, si può ipotizzare il seguente schema di funzionamento



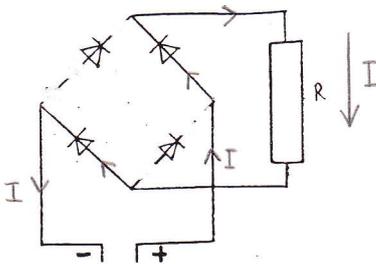
Il passaggio di corrente pertanto per effetto dei diodi si avrà lungo i seguenti conduttori :



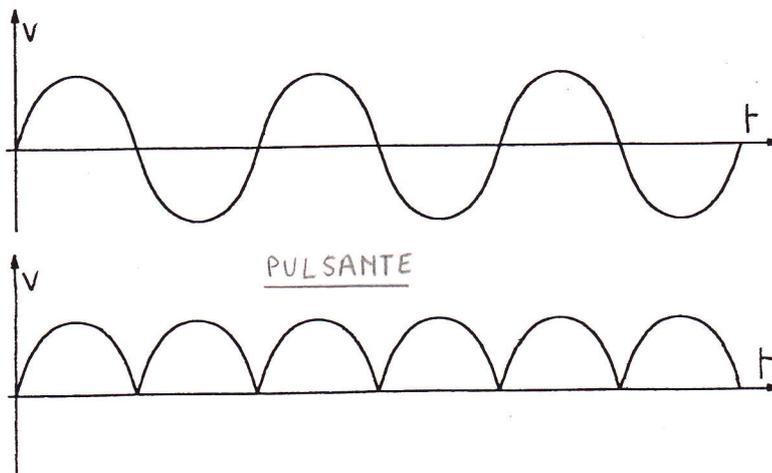
Durante la semionda negativa , si può ipotizzare il seguente schema di funzionamento:



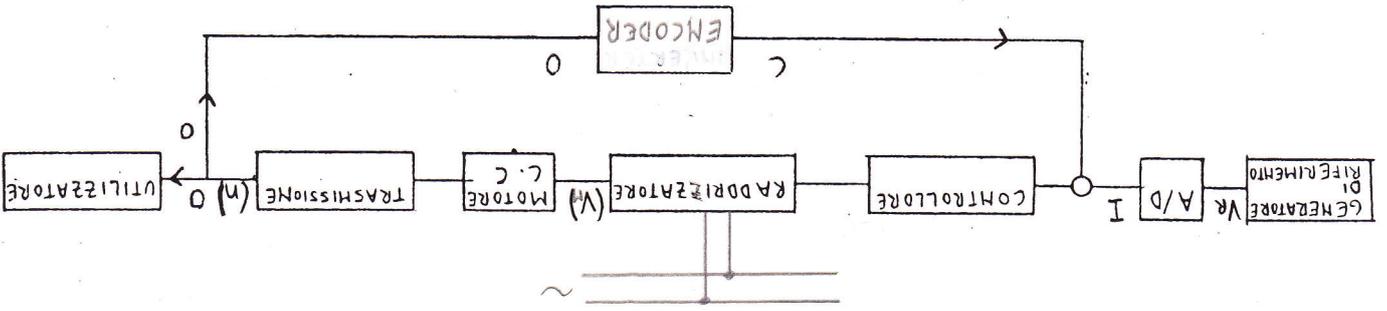
Il passaggio di corrente pertanto per effetto dei diodi si avrà lungo i seguenti conduttori :



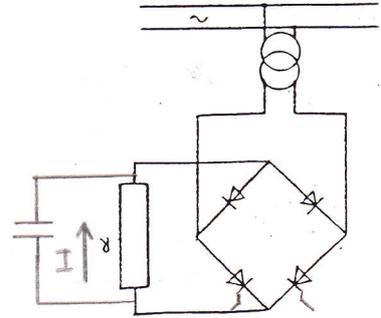
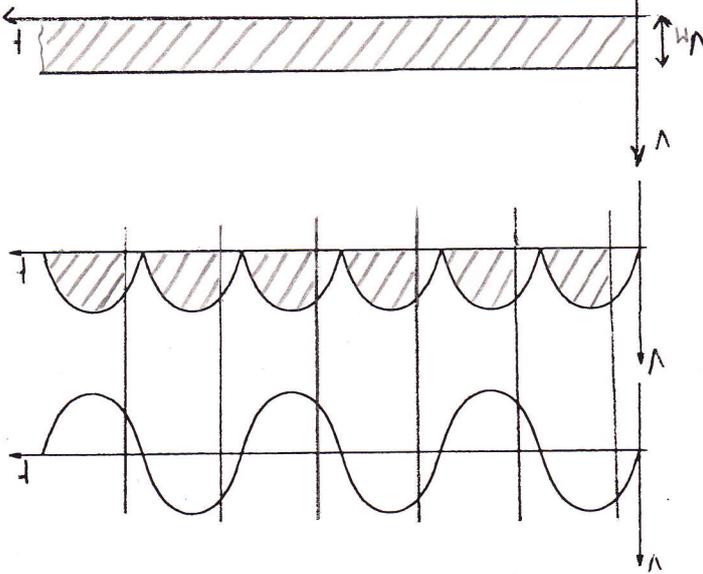
In entrambi i casi , si osserva che il verso della corrente nell'utilizzatore è lo stesso e pertanto la corrente da alternata si è trasformata in pulsante .



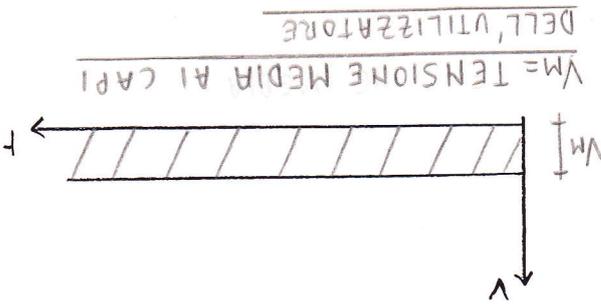
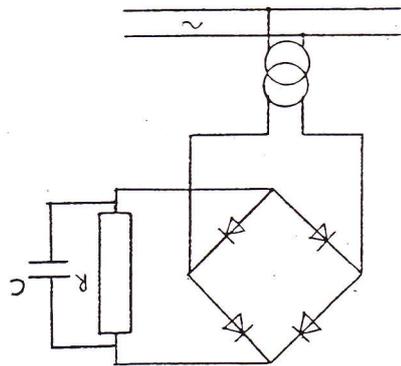
Disponendo delle batterie di condensatori , la corrente da pulsante diventa in pratica continua .



L'attivazione degli SCR viene fatta da un controllore. Il raddrizzatore a ponte semiconduttore può essere utilizzato come azionamento per regolare il numero di giri di un motore a corrente continua come riportato nello schema successivo. Come è noto il numero di giri di un motore a c.c. è dato da : $n = V_m / K$ pertanto variando la tensione V_m si regola il numero di giri n .



Ritornando allo schema iniziale con due diodi SCR e due diodi semplici, si osserva che l'attivazione dei diodi SCR in opportuni istanti, impedisce il passaggio di parte delle semionde determinando pertanto un valore della tensione ai capi dello utilizzatore, inferiore a quella precedente. In sostanza attivando gli SCR in opportuni istanti, è possibile ottenere una corrente continua avente una certa tensione V_m cioè è possibile ottenere una corrente continua avente la tensione V_m desiderata.

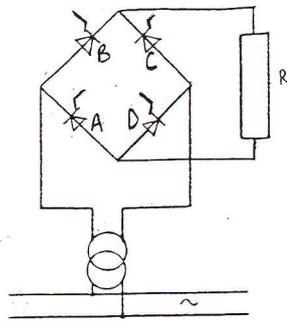


RADDRIZZATORE A PONTE TOTALMENTE CONTROLLATO CON QUATTRO TIRISTORI

Il raddrizzatore a ponte totalmente controllato serve per trasformare una corrente alternata monofase in una corrente continua regolata per poter azionare i motori a corrente continua.

E' costituito da quattro diodi SCR (o tiristori).

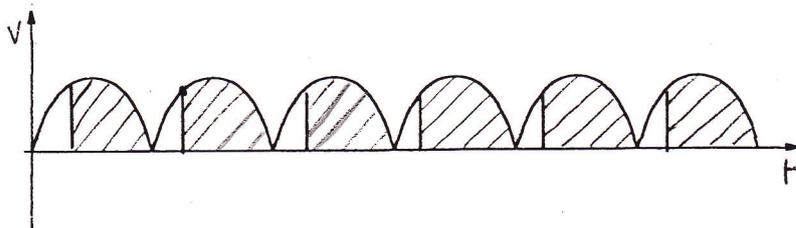
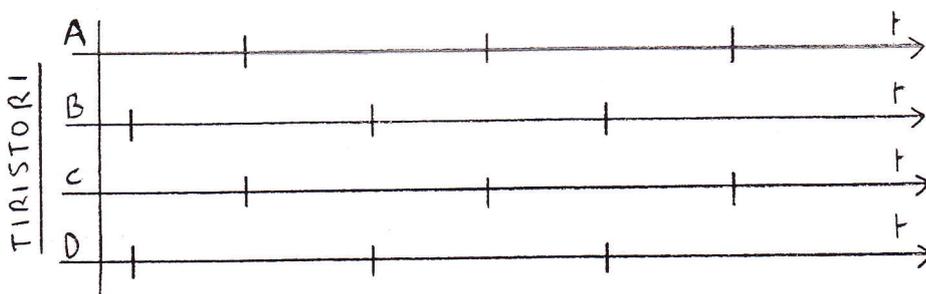
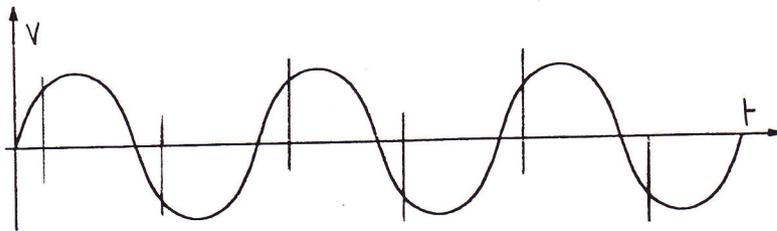
Il raddrizzatore a ponte controllato ,viene collegato alla rete monofase con un trasformatore come riportato nello schema seguente.



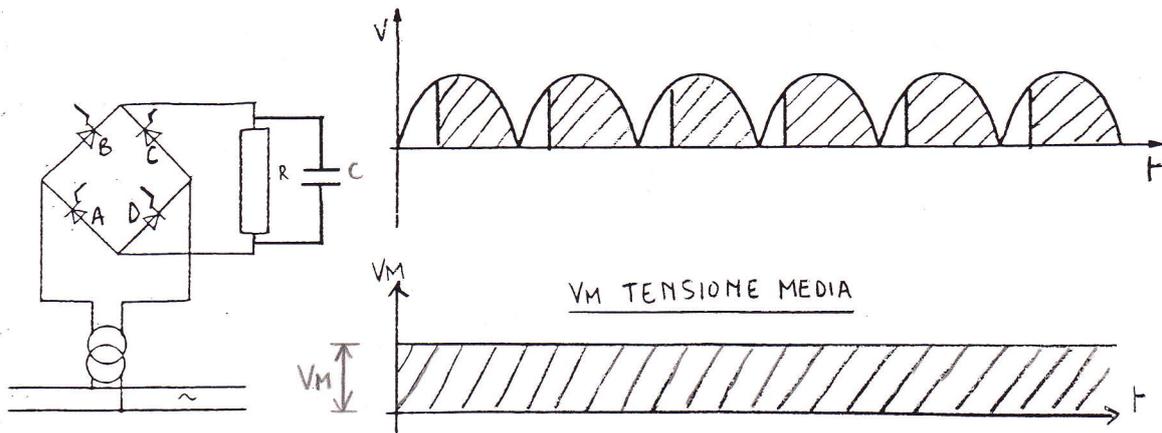
Il funzionamento è analogo al raddrizzatore a ponte semicontrolato , solo che in questo caso si hanno quattro diodi SCR da attivare tramite controllore.

I tiristori vanno azionati a coppie come riportato nello schema successivo .

Azionando contemporaneamente prima i tiristori B e D e successivamente i tiristori A e C (contemporaneamente) si ottiene :



Disponendo delle batterie di condensatori, la corrente da pulsante diventa in pratica continua.

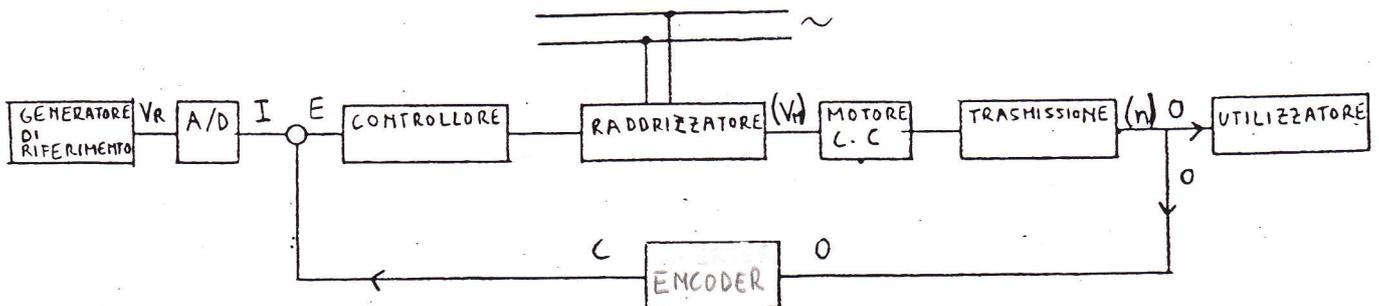


Con l'aggiunta di altri tiristori è possibile anche invertire il verso della corrente. In sostanza attivando gli SCR in opportuni istanti, è possibile ottenere una corrente continua con una certa tensione V_M . L'attivazione degli SCR viene fatta da un controllore che deve essere pertanto programmato.

Il raddrizzatore a ponte controllato può essere utilizzato come azionamento per regolare il numero di giri di un motore a corrente continua come riportato nello schema successivo. Come è noto il numero di giri di un motore a c.c. è dato da:

$$n = V_M \cdot K$$

pertanto variando la tensione V_M , si regola il numero di giri n .



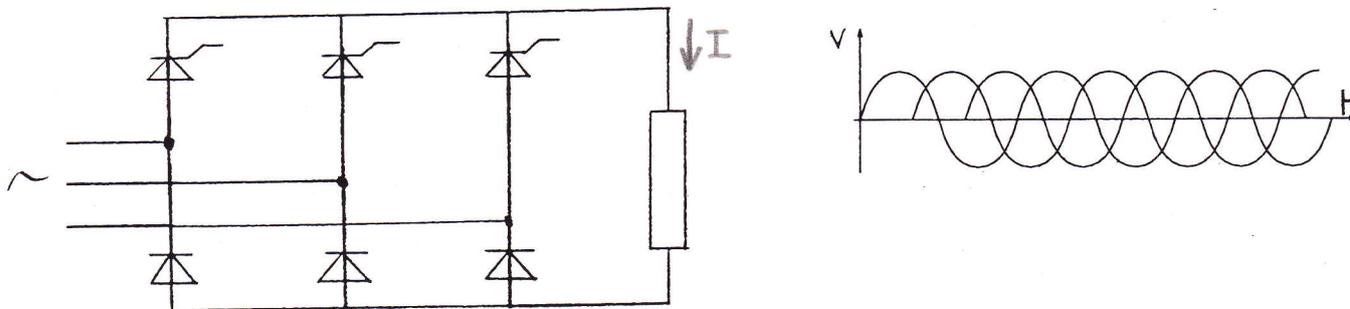
RADDRIZZATORE A CORRENTE ALTERNATA TRIFASE

Il raddrizzatore a corrente trifase serve per trasformare una corrente alternata trifase in una corrente continua regolata per poter azionare i motori a corrente continua.

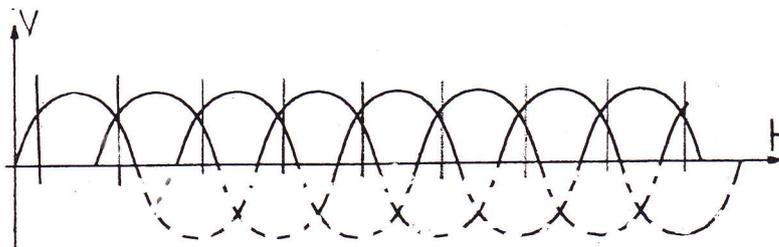
Si riporta uno schema semplificato del raddrizzatore.

È costituito da tre diodi SCR e da tre diodi semplici.

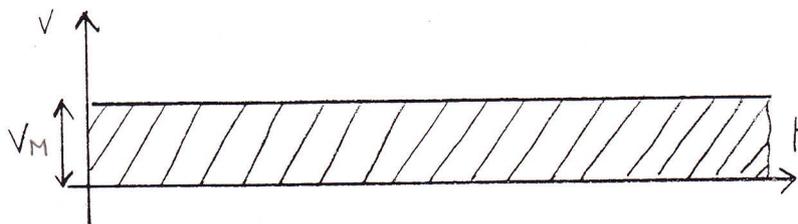
Il raddrizzatore viene collegato alla rete trifase con un trasformatore come riportato nello schema seguente.



Azionando con opportuna sequenza i diodi SCR, si ottiene il passaggio di una corrente pulsante attraverso l'utilizzatore in un solo verso.



Disponendo delle batterie di condensatori, la corrente da pulsante diventa in pratica continua.



L'attivazione dei diodi SCR in opportuni istanti, impedisce il passaggio di parte delle semionde determinando pertanto un valore della tensione ai capi dello utilizzatore, inferiore a quella precedente.

In sostanza attivando gli SCR in opportuni istanti, è possibile ottenere una corrente continua con una certa tensione V .

L'attivazione degli SCR viene fatta da un controllore.

Il raddrizzatore con correnti trifasi può essere utilizzato come azionamento per regolare il numero di giri di un motore a corrente continua come riportato nello schema successivo. Come è noto il numero di giri di un motore a c.c. è dato da :

$$n = \frac{V}{V_M} K$$

pertanto variando la tensione V , si regola il numero di giri n .

INVERTER O CONVERTITORE DI FREQUENZA

Per poter controllare la velocità di rotazione di un motore asincrono trifase, è necessario variare la frequenza di alimentazione della corrente. Infatti il numero di giri del motore asincrono trifase, è dato da :

$$n = 60 * f / p \text{ dove :}$$

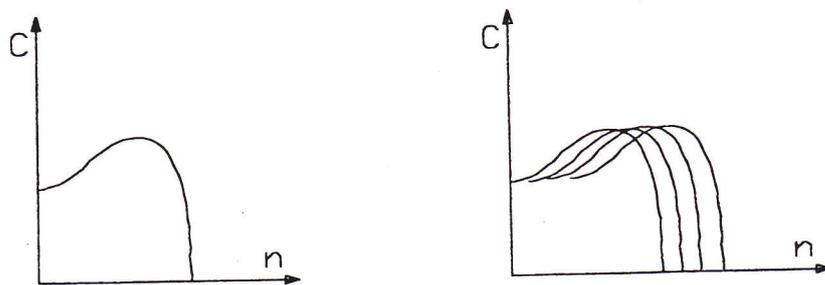
f = frequenza della corrente di alimentazione

p = numero di coppie polari

Si ricorda che nella rete si ha che $f = 50 \text{ Hz}$

Se si vuole variare la velocità di rotazione mantenendo la coppia massima praticamente costante, è necessario far variare anche la tensione di alimentazione V in modo da mantenere il rapporto V/f costante.

In questo modo si ottiene una semplice traslazione della curva caratteristica del motore come riportato nei grafici successivi.



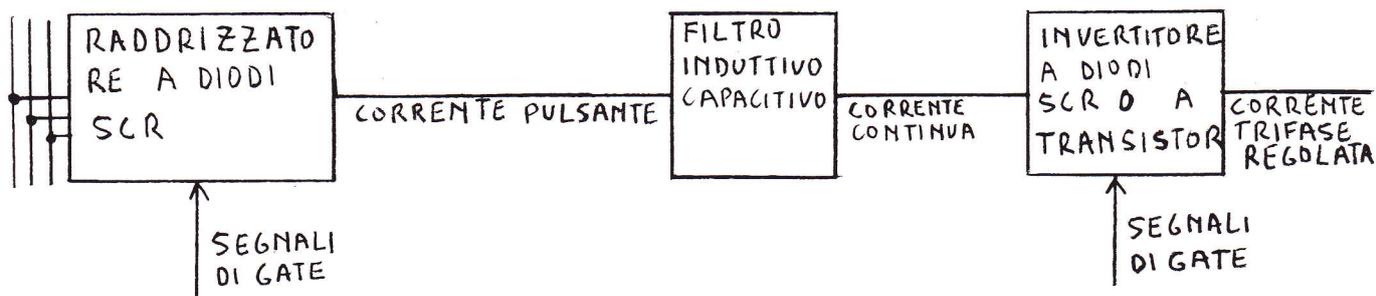
L'inverter è l'azionamento di un motore asincrono trifase.

L'inverter è costituito sostanzialmente da tre blocchi in serie e cioè :

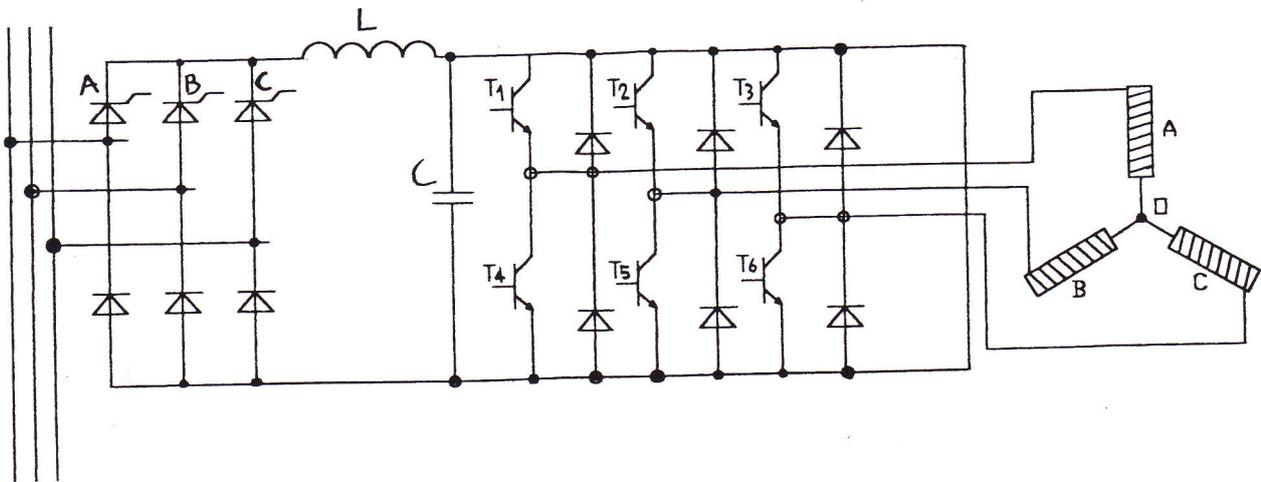
- un raddrizzatore a diodi scr che trasforma la corrente da alternata in pulsante
- un circuito capacitivo induttivo che trasforma la corrente da pulsante in continua
- un invertitore a diodi scr o a transistor che trasforma la corrente da continua in alternata avente una frequenza desiderata.

Gli scr del circuito raddrizzatore e i transistor dell'invertitore di corrente sono azionati da un controllore opportunamente programmato.

Si riporta lo schema a blocchi di un convertitore di frequenza.

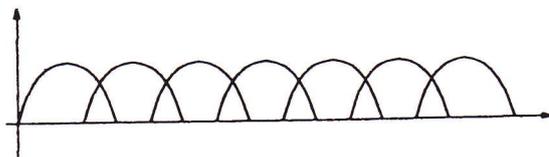
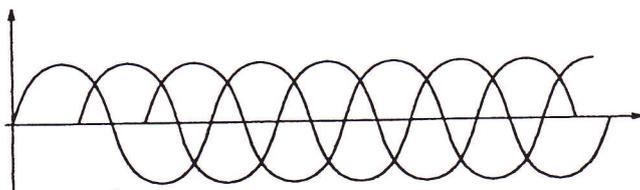


Vediamo uno schema di convertitore di frequenza e come la corrente trifase viene successivamente modificata :

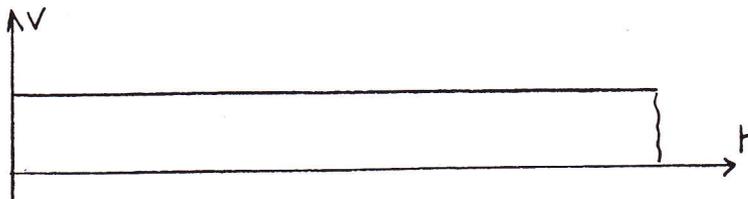


Azionando in modo opportuno gli scr A-B-C del raddrizzatore a tiristori , si ottiene una corrente pulsante .

Azionando sempre in modo opportuno gli scr A-B-C del raddrizzatore a tiristori , è possibile non far passare porzioni di semionda e pertanto ottiene una diminuzione della tensione media.



Il successivo filtro capacitivo induttivo composto da batterie di condensatori e induttanze , rettifica la corrente trasformandola in continua .



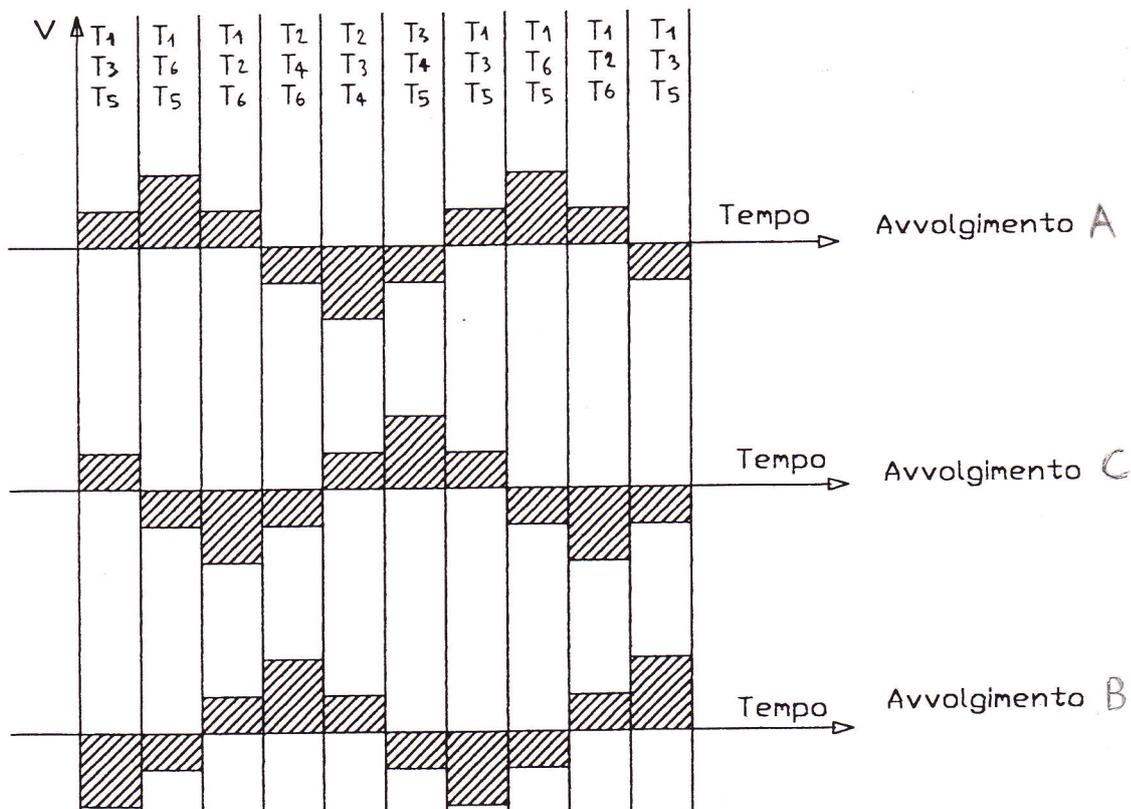
Quindi la presenza del gruppo di raddrizzatore a diodi scr e del filtro capacitivo induttivo permette di trasformare la corrente da alternata trifase in continua e di regolarne la tensione di uscita V .

La corrente continua così ottenuta e regolata , viene ad attraversare il convertitore di frequenza .

Se consideriamo positive le correnti entranti nel nodo 0 del motore asincrono trifase osserviamo che azionando contemporaneamente alcuni transistor , si ottiene il seguente andamento delle correnti negli avvolgimenti del motore asincrono :

Ordine di attivazione dei Transistor	Verso delle correnti
1) T1- T3 - T5	$I_{ao} + I_{co} = I_{ob}$
2) T1- T5 - T6	$I_{ao} = I_{oc} + I_{ob}$
3) T1 - T2 - T6	$I_{ao} + I_{bo} = I_{oc}$
4) T2 - T4 - T6	$I_{bo} = I_{oa} + I_{oc}$
5) T2 - T3 - T4	$I_{bo} + I_{co} = I_{oa}$
6) T3 - T4 - T5	$I_{co} = I_{oa} + I_{ob}$

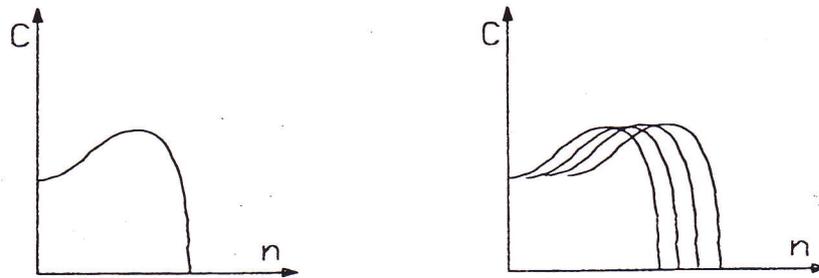
Associando alle correnti entranti e alle tensioni un contributo positivo , otteniamo per ciascun avvolgimento il seguente andamento delle tensioni :



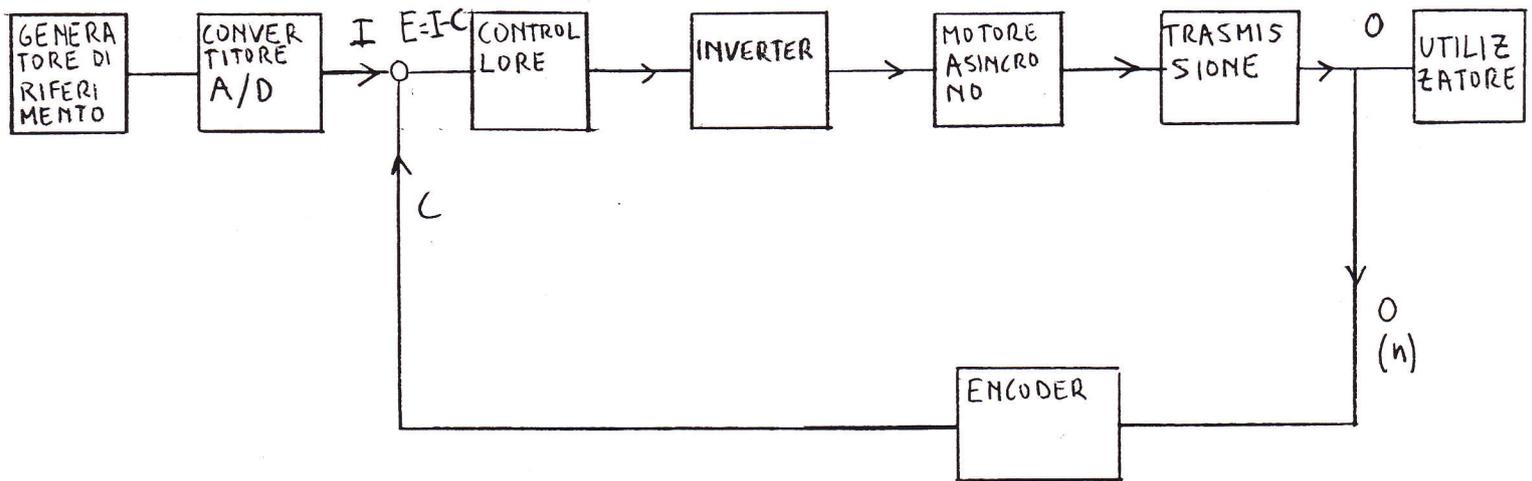
Osserviamo che l'andamento della tensione è del tipo sinusoidale alternato trifase. Variando la frequenza di attivazione dei transistor, è possibile variare la frequenza della corrente alternata ottenuta e quindi del numero di giri n del motore asincrono trifase ($n = 60 * f / p$).

Variando la frequenza di attivazione dei transistor e degli scr del raddrizzatore a diodi, è possibile variare la frequenza e la tensione della corrente alternata ottenuta mantenendo costante il rapporto V/f .

In questo modo è possibile far variare il numero di giri n del motore asincrono trifase mantenendo praticamente la coppia costante così come riportato nel grafico successivo.



Si riporta un esempio di schema a blocchi relativo ad un sistema di controllo ad anello chiuso di un motore asincrono trifase.



CLASSIFICAZIONE DEI MOTORI ELETTRICI

Ogni motore elettrico è definito innanzitutto in funzione dei dati nominali che lo caratterizzano. Tali dati sono rappresentati principalmente dalla :

- tensione nominale ;
- corrente nominale ;
- potenza nominale ;
- velocità nominale ;
- rendimento ;
- fattore di potenza ;
- coppia nominale.

Oltre ai dati sopraindicati è necessario conoscere le esigenze relative alle seguenti condizioni :

- funzionamento a regime ;
- condizioni di avviamento ;
- condizioni di frenatura ;
- tipo di servizio ;
- posizionamento ;
- sistema di protezione meccanico ;
- sistema di raffreddamento.
- Il **funzionamento a regime** è definito dalle condizioni richieste per la velocità di rotazione, la coppia motrice, la potenza resa all'asse e le relazioni di dipendenza tra queste grandezze.
- Le **condizioni di avviamento** sono definite dalle relazioni intercorrenti tra la velocità, la coppia e l'accelerazione nella fase di avviamento, cioè il periodo che intercorre tra l'istante in cui il motore inizia a muoversi e il raggiungimento della velocità di regime.
- Le **condizioni di frenatura** sono definite dalla durata della fase transitoria di decelerazione, cioè il periodo che intercorre tra velocità di regime e l'arresto della macchina.
- Il funzionamento dei motori è specificato secondo dei **servizi tipo convenzionali**, definiti dalla norma 34-1 del CEI, che comportano uno o più regimi costanti, aventi durate specificate, che si succedono in un dato ordine.

Tipi di servizi per motori elettrici

Sigla	Tipo di servizio	Funzionamento	Esempi di impiego
S1	Continuo	A carico costante di durata almeno sufficiente per raggiungere l'equilibrio termico	Motori per l'azionamento di pompe di irrigazione, macchine utensili, impianti di condizionamento, ecc.
S2	Durata limitata	A carico costante per una durata minore di quella necessaria per raggiungere l'equilibrio termico, seguito da un tempo di riposo sufficiente a ristabilire nella macchina la temperatura ambiente	Sono raccomandati valori di 10-30-60 (servizio uniorario) -90 minuti. Azionamento di saracinesche, paratoie, comandi di argani, montacarichi, ecc.

S3	Intermittente periodico	Secondo una serie di cicli identici, comprendenti un periodo di funzionamento a pieno carico costante e un periodo di riposo. Le punte di corrente di avviamento non devono influenzare il riscaldamento della macchina in modo sensibile.	Azionamento di apparecchi di sollevamento, compressori d'aria, frigoriferi ecc. I servizi S3 e S5 vengono definiti per mezzo della durata di funzionamento a carico nominale e della durata di un ciclo. Ad esempio S5 : 15 □ 60 minuti, Ciò indica un servizio comprendente un periodo di funzionamento a carico nominale per 15 minuti, intervallati da un periodo di 45 minuti, ripetuti ogni ora. Il servizio S4 deve essere definito dal rapporto di intermittenza anche con il numero di avviamenti in un tempo fissato. Per esempio : S4 30%, 600 avviamenti /ora.
S4	Intermittente periodico, con avviamenti che influenzano il riscaldamento della macchina	Secondo una serie di cicli identici, comprendenti un tempo considerevole di avviamento, uno di funzionamento a carico costante e uno a riposo.	I servizi S5 e S7 vanno definiti come sopra, specificando però il modo di frenatura elettrica.
S5	Intermittente periodico, con avviamenti e frenature	Come sopra, più la frenatura che viene eseguita con mezzi elettrici, ad esempio per controcorrente.	
S6	Ininterrotto periodico con carico intermittente	Secondo una serie di cicli identici, (come S4). Non previsto tempo di riposo.	
S7	Come sopra, ma con avviamenti e frenature	Secondo una serie di cicli identici, comprendenti un tempo di avviamento, uno di funzionamento a carico costante e uno di frenatura elettrica.	
S8	Ininterrotto periodico con cambiamento periodico della velocità	Secondo una serie di cicli identici, comprendenti un tempo di funzionamento a carico costante con determinata velocità di rotazione, seguito immediatamente da un altro ciclo a carico costante, ma a velocità diversa (ad esempio con cambio di polarità).	Il servizio S8 viene definito precisando la durata di funzionamento alle varie velocità. Ad esempio : 3000 giri/min per 10 minuti ; 1500 giri/minuto per 15 minuti.

- Le **caratteristiche di posizionamento** riguardano la posizione spaziale che dovrà assumere il motore in regime di funzionamento , il tipo di fissaggio e il sistema di accoppiamento con l'utilizzatore.

La posizione spaziale che dovrà assumere il motore determina il tipo di supporti e il sistema di lubrificazione.

I **supporti**, o cuscinetti, possono essere a strisciamento o a rotolamento.

Il **sistema di lubrificazione** può essere a grasso o a olio e il lubrificante può essere immesso nel supporto anche in modo forzato.

I **cuscinetti a strisciamento**, detti anche bronzine, sono costituiti da un supporto cilindrico cavo di materiale antifrizione nel quale va a inserirsi l'albero ruotante. Il diametro dell'albero è leggermente inferiore al diametro interno del cilindro in modo da lasciare un opportuno gioco all'interno del quale viene iniettato il lubrificante.

I **cuscinetti a rotolamento** sono costituiti da un anello interno che viene montato sull'albero e da un anello esterno che viene montato sulla struttura portante. Tra i due anelli vengono inserite delle sfere o dei rulli mantenuti distanziati in modo uniforme da una gabbia. Il tipo di fissaggio, che può essere verticale, orizzontale, sospeso o inclinato, determina la forma della carcassa.

L'accoppiamento tra il motore e la macchina operatrice può essere realizzato o in maniera diretta, mediante un giunto rigido o elastico, oppure in maniera indiretta mediante cinghie o catene.

Generalmente un motore è sicuramente adatto a un accoppiamento diretto ; invece prima di prevedere un accoppiamento con cinghia di trasmissione occorre una verifica sul carico e la durata dei cuscinetti ed è opportuno precisare la disposizione di montaggio e l'entità dei carichi assiali e radiali in fase di ordinazione.

Le norme CEI 2.16 fascicolo 1060 distinguono i motori nei riguardi del **sistema di protezione meccanica** verso l'esterno in tre tipi costruttivi :

- macchina aperta ;
- macchina protetta ;
- macchina chiusa.

La **macchina aperta** è una macchina nella quale nessun dispositivo è stato previsto per impedire o rendere difficile l'accesso a una qualunque delle sue parti interne.

La **macchina protetta** è una macchina costruita in modo da impedire l'accesso alle parti interne, senza ostacolare il passaggio dell'aria di raffreddamento fra l'interno e l'ambiente esterno.

La **macchina chiusa** è una macchina le cui parti attive sono contenute in una custodia che non permette il passaggio dell'aria di raffreddamento fra l'interno e l'esterno.

La tendenza attuale è quella di utilizzare motori dotati di un certo grado di protezione (IP 44, IP 54) abbandonando l'impiego dei motori non protetti. Il tipo di protezione dell'involucro delle macchine rotanti è rappresentato da una sigla composta dalle lettere IP seguite da due cifre (Prima cifra - protezione contro i contatti accidentali e i corpi solidi estranei ; Seconda cifra - protezione contro i liquidi).

- Nei riguardi del sistema di raffreddamento le norme CEI 2.7 fascicolo 454 classificano le macchine nel modo seguente :
- macchina a ventilazione naturale ;
- macchina autoventilata ;
- macchina a ventilazione forzata ;
- macchina ventilata in circuito chiuso ;
- macchina chiusa a ventilazione esterna ;

- macchina raffreddata con acqua o con altro liquido.

Il sistema di raffreddamento è codificato con un codice internazionale che comprende le lettere IC seguite da due cifre caratteristiche.

La prima indica la disposizione del circuito di raffreddamento, mentre la seconda indica la modalità con cui è fornita la potenza necessaria alla circolazione del fluido di raffreddamento.

La **macchina a ventilazione naturale** è una macchina nella quale nessun dispositivo speciale è previsto per aumentare la ventilazione prodotta dagli organi in moto della macchina stessa o dalla circolazione naturale dell'aria esterna.

La **macchina autoventilata** è una macchina il cui rotore è provvisto di mezzi speciali capaci di attivare il movimento dell'aria. La ventilazione può avvenire dal locale dove è installata la macchina oppure dall'esterno attraverso appositi condotti.

La **macchina a ventilazione forzata** è una macchina nella quale l'aria per la ventilazione è spinta nell'interno della carcassa con mezzi esterni.

La **macchina ventilata in circuito chiuso** è una macchina nella quale l'aria, o altro gas, che è in contatto con le parti attive della macchina viene, a mezzo di ventilatori propri della macchina o di un ventilatore esterno, fatta circolare in un circuito chiuso e raffreddata a mezzo di un refrigerante.

Una **macchina chiusa a ventilazione esterna** è una macchina chiusa nella quale l'aria di raffreddamento è spinta a lambire la superficie esterna della carcassa.

Una **macchina raffreddata con acqua o con altro liquido** è una macchina raffreddata direttamente con acqua o altro liquido circolante.