

Sensori di posizione

Potenziometri resistivi

Sensori capacitivi

Trasduttori induttivi (LVDT)

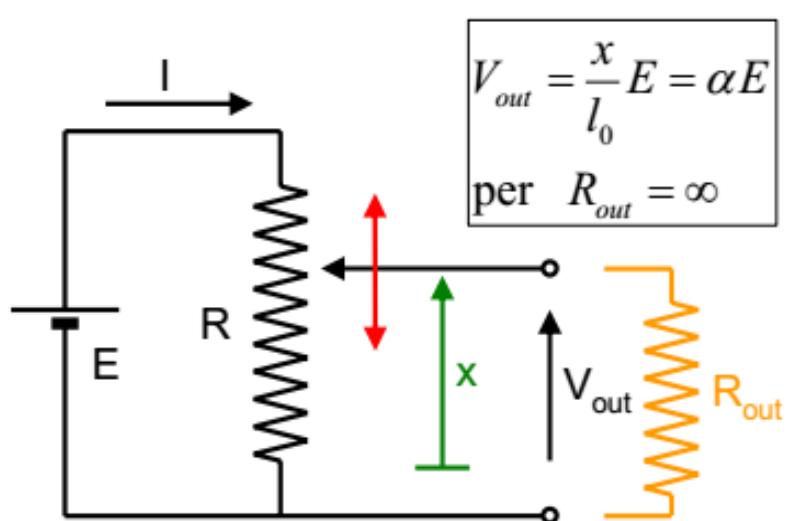
Estensimetri

Sensori di posizione angolare (ENCODER)

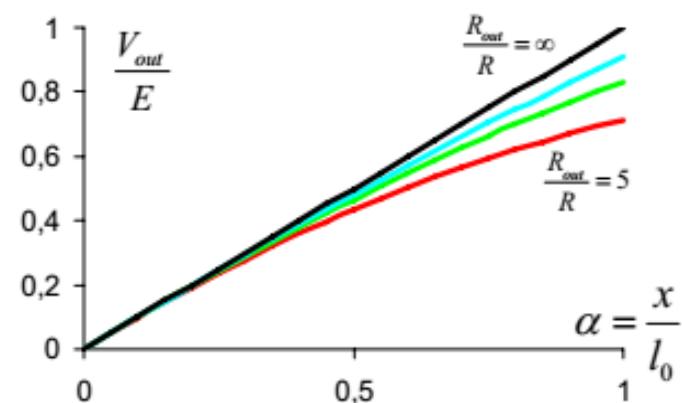
Resolver

Potenziometri resistivi

- Trasduttore di posizione analogico
- i più antichi dispositivi di trasduzione di posizione
- può essere lineare o rotativo
- può essere a filo (uscita discontinua) o a strato
- attenzione all'effetto del carico, che riduce la linearità del sistema
- problema dei contatti strisciati

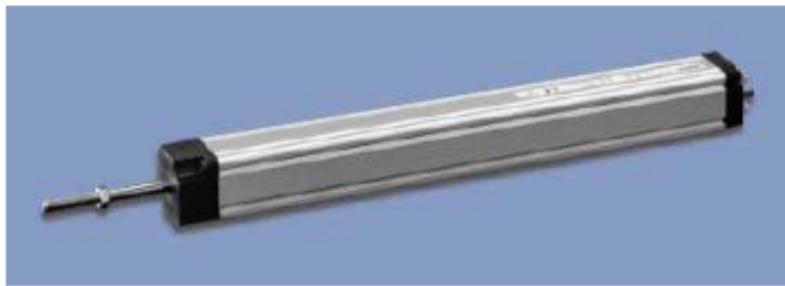


$$V_{out} = \alpha \frac{R_{out} / R}{-\alpha^2 + \alpha + R_{out} / R} E$$



Potenziometri resistivi

- economico
- poco affidabile per via dei contatti strisciante
- scarsamente usato per misurare posizioni di parti importanti o critiche
- spesso utilizzato come generatore di set-point, abbinato ad una scala graduata



Sensori capacitivi

Questi sensori sono di tipo passivo e sono formati da condensatori.

Si ricorda che $C = \epsilon S/d$

dove:

C è la capacità

ϵ è la costante dielettrica

S è la superficie delle armature

d è lo spessore del dielettrico

Sensori capacitivi

Si ricava che è possibile modificare il valore di una capacità:

- spostando, applicando una forza esterna, un'armatura rispetto all'altra e quindi modificando il parametro d ;
- spostando o ruotando una delle due armature e quindi modificando S ;
- inserendo tra le due armature una materiale dielettrico di costante ϵ diversa dal materiale già presente.

La massima variazione di capacità ottenibile è dell'ordine della decina di picofarad.

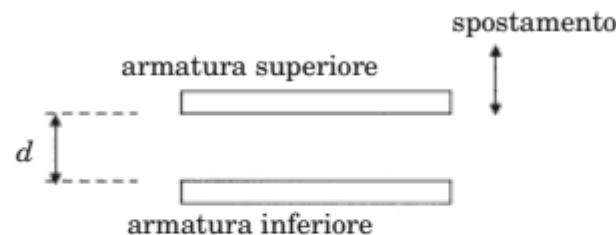
Gli spostamenti misurabili sono piccoli dell'ordine dei micrometri nei trasduttori che prevedono lo spostamento relativi delle armature ma possono raggiungere alcuni millimetri negli altri due tipi.

Sensori capacitivi

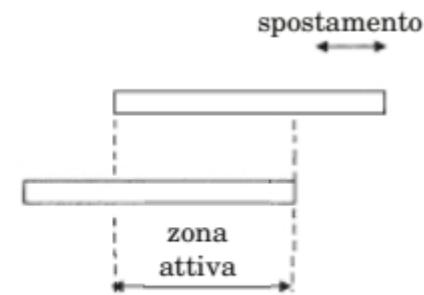
Figg. 1.8a-d

Trasduttori capacitivi:

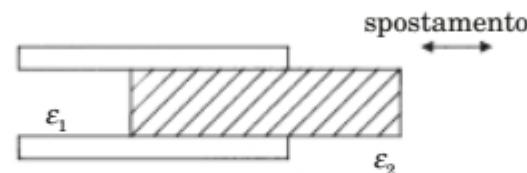
- a. variazione della distanza fra le armature;
- b. variazione della superficie delle armature;
- c. variazione della costante dielettrica;
- d. curve caratteristiche.



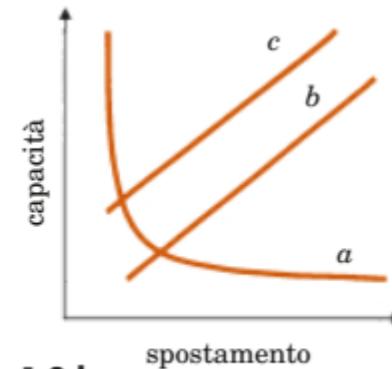
1.8a



1.8b



1.8c



Trasduttori induttivi (Linear Variable Displacement Transducer)

Il trasduttore di spostamento induttivo, noto anche come LVDT, è un dispositivo elettromagnetico per la misura di piccoli spostamenti

Il trasduttore è realizzato mediante un tubo composto da tre avvolgimenti disposti con assi paralleli e con all'interno un nucleo cilindrico ferromagnetico caratterizzato da alta permeabilità magnetica.

La tensione è applicata all'avvolgimento primario A, causando una tensione indotta nell'avvolgimento secondario B.

Trasduttori induttivi (Linear Variable Displacement Transducer)

Quando il nucleo è al centro la tensione indotta sugli avvolgimenti secondari, essendo questi avvolti in senso discorde è uguale e opposta, di modo che il segnale misurato è nullo.

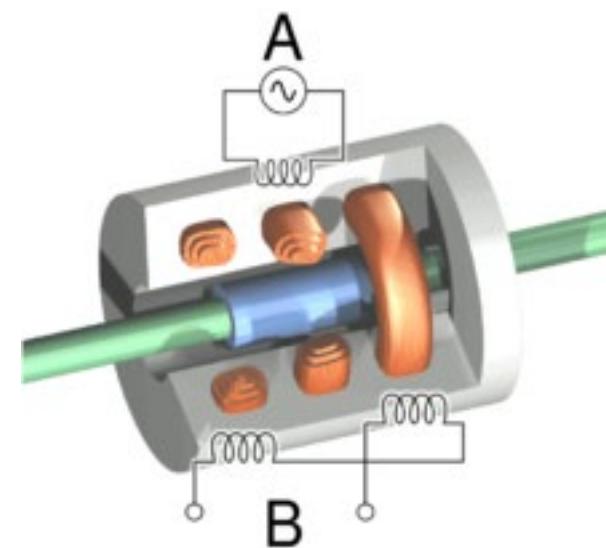
Allo spostarsi del nucleo le mutue induttanze cambiano e a seconda che si sposti a sinistra o a destra risulterà maggiore l'accoppiamento induttivo con il secondario di sinistra o di destra.

Di conseguenza il segnale in uscita varierà proporzionalmente allo spostamento del nucleo.

L'LVDT è un trasduttore molto sensibile in grado di

misurare spostamenti dell'ordine delle frazioni di micrometro.

Per tradurre il segnale di uscita dell'LVDT si utilizzano dei circuiti elettronici in grado di estrarre il valore efficace della tensione che rappresenta lo spostamento e discriminare da quale parte è avvenuto tale spostamento.



Trasduttori induttivi (Linear Variable Displacement Transducer)

Esistono trasduttori induttivi di spostamento lineare di tipo pressurizzato molto robusti e affidabili e adatti ad impieghi su valvole e cilindri idraulici e più in generale in applicazioni in ambienti sporchi, chimicamente aggressivi ove è richiesto un elevato grado di protezione (IP).

Sono disponibili vari modelli con range di misura da 0 ÷ 2 a 0 ÷ 1.000 mm f.s., resistenti fino 450 bar di pressione esterna e con differenti configurazioni meccaniche ed elettriche.

Estensimetri

Gli estensimetri o sensori di sforzo (strain gauges) servono per misurare le deformazioni che si manifestano sulla superficie di un corpo per effetto di una qualsiasi causa fisica.

La misura della deformazione viene fatta convertendo la variazione dimensionale dell'oggetto in variazione di resistenza.

Poichè $R=\rho l/S$

dove:

R è la resistenza

ρ è la resistività

S è la sezione del conduttore

l è la lunghezza del conduttore

Estensimetri

Si ricava: $\Delta R/R = K_E * \Delta l/l$

dove K_E è il fattore di proporzionalità (gauge factor - GF) ed è caratteristico del materiale che costituisce l'estensimetro.

Valori tipici di gauge factor per diversi tipi di estensimetri

Materiale	gauge factor
Metalli conduttori	≈ 2
Manganese	0.5
Nichel	12
Materiali semiconduttori	> 100

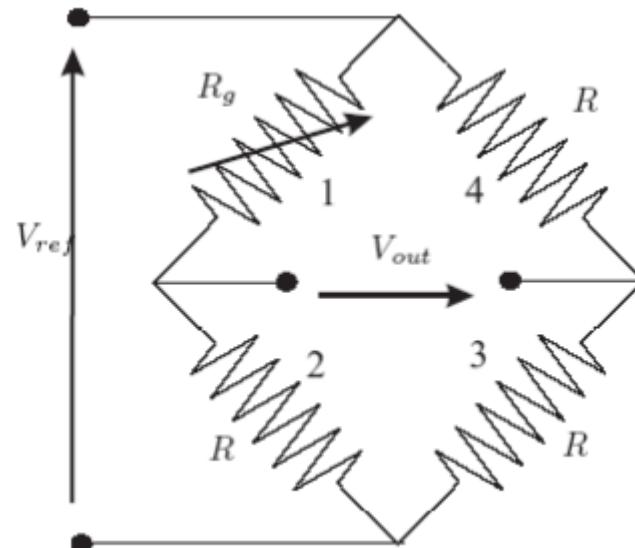
Estensimetri

Acquisizione del segnale estensimetrico

Per l'acquisizione del segnale si utilizza una configurazione a ponte di Wheatstone.

In assenza di deformazione R_g è uguale a R e quindi il ponte è bilanciato e $V_{out}=0$

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{R + R_g} \right)$$



Estensimetri

Quando si applica una forza deformante la resistenza dell'estensimetro si modifica di ΔR e quindi la tensione di uscita diventa:

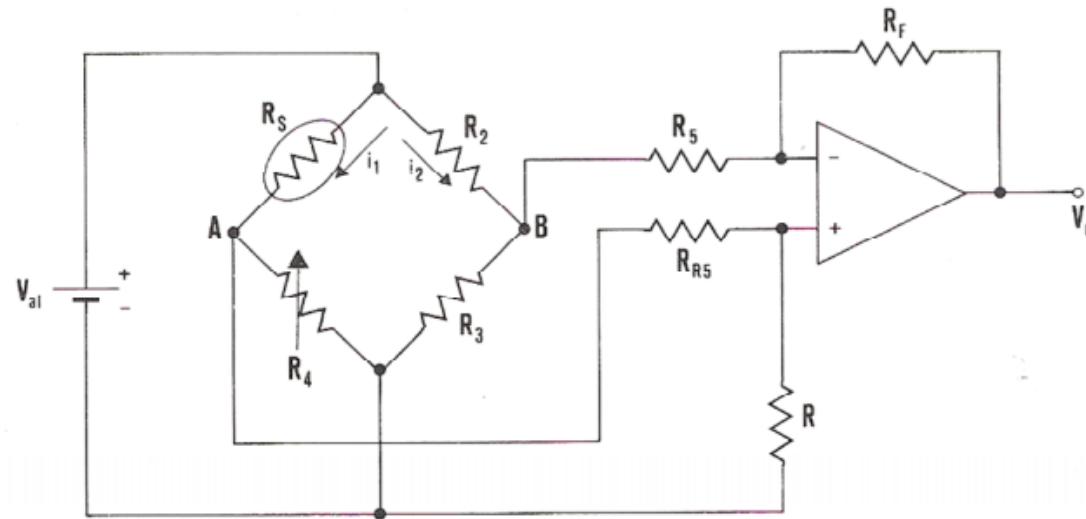
$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{R+R+\Delta R} \right) = V_{ref} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R}}{4 + 2\frac{\Delta R}{R}}$$

Poiché $R = (100-1000)$ Ω e $\Delta R = (0,1-0,001)$ Ω il rapporto $\Delta R/R \ll 1$ e quindi è possibile approssimare la caratteristica del sensore a una caratteristica lineare:

$$V_{out} \simeq V_{ref} \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R}$$

Estensimetri

Poiche $R \gg DR$ e V_{al} è al più di qualche decina di Volt la tensione di uscita del ponte di Wheatstone deve esser opportunamente amplificata, mediante un amplificatore retroazionato.



Sensore di pressione piezoresistivo al silicio (silicon piezoresistive pressure transducer)

I materiali piezoresistivi sono materiali che cambiano resistenza al passaggio della corrente quando sono compressi o deformati.

I metalli sono piezoresistivi fino a un certo punto , molti sensori di pressione usano il silicio che è un semiconduttore.

Quando la forza agisce sul silicio esso diventa più resistivo alla corrente che lo attraversa.

Sensore di pressione piezoresistivo al silicio (silicon piezoresistive pressure transducer)

Il sensore piezoresistivo al silicio MPX 2010 fornisce una tensione di uscita, molto lineare, direttamente proporzionale alla pressione applicata.

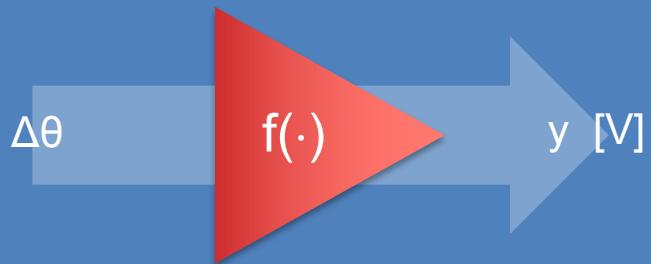
Questo sensore ospita una singola matrice di silicio monolitico con il sensore di deformazione(strain gauge)e il circuito resistivo a film sottile.

Tipicamente il sensore è collegato a un ponte di Wheatstone il quale fa passare una piccola corrente attraverso lo stesso.

In condizioni di equilibrio la tensione di uscita ai capi del ponte è nulla.

Quando cambia il valore di resistenza il ponte rileva la variazione di pressione e la segnala mediante una variazione del segnale di tensione.

ENCODER

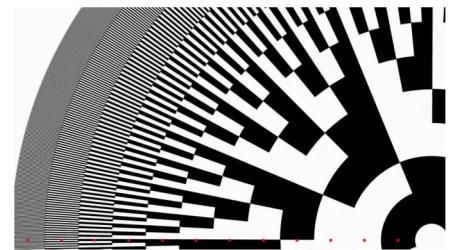
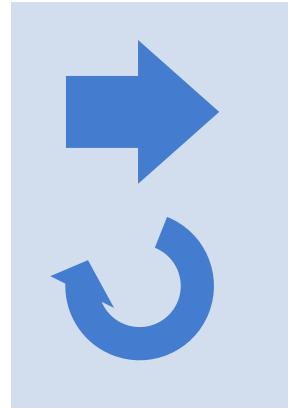


Sono "codificatori di posizione"

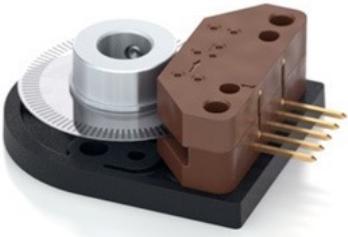
ottici o magnetici

lineari

("riga ottica o banda magnetica")
o angolari



ENCODER



Gli encoder angolari possono essere incrementali o assoluti

Incrementali

forniscono un segnale in uscita proporzionale in modo incrementale allo spostamento effettuato

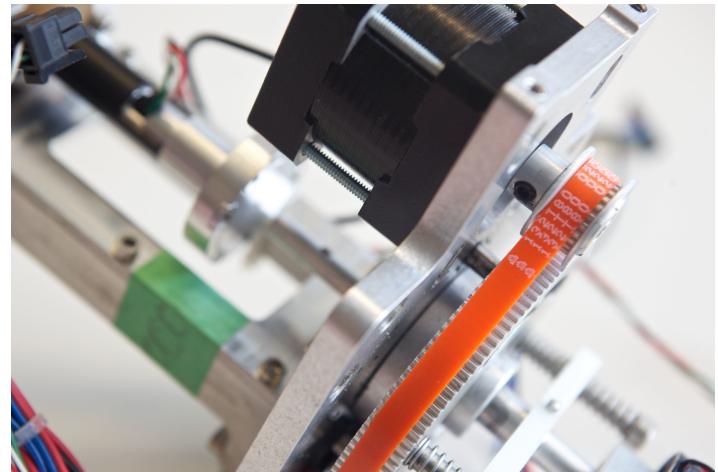
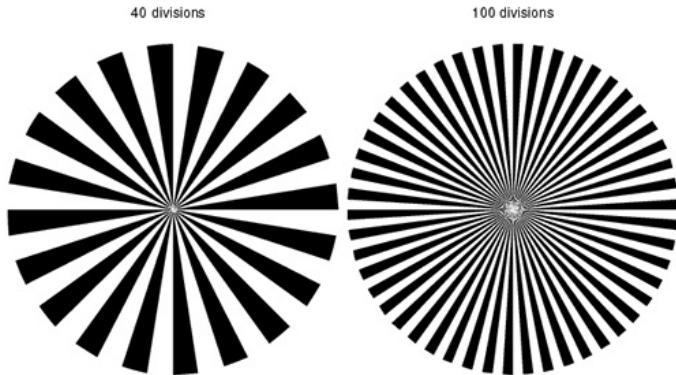
Assoluti

forniscono un segnale in uscita descrittivo della posizione assoluta.

ENCODER INCREMENTALE

Nella sua più semplice
realizzazione

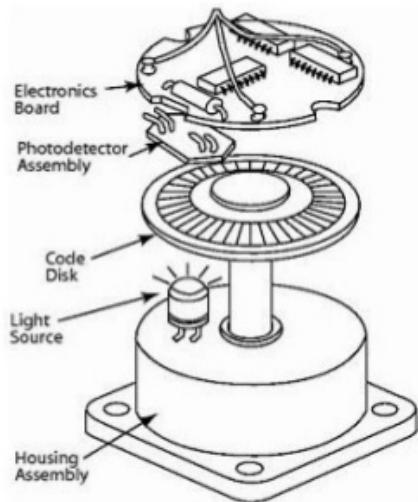
si compone di un disco
opaco solidale all'asse di
rotazione il cui spostamento
deve essere misurato



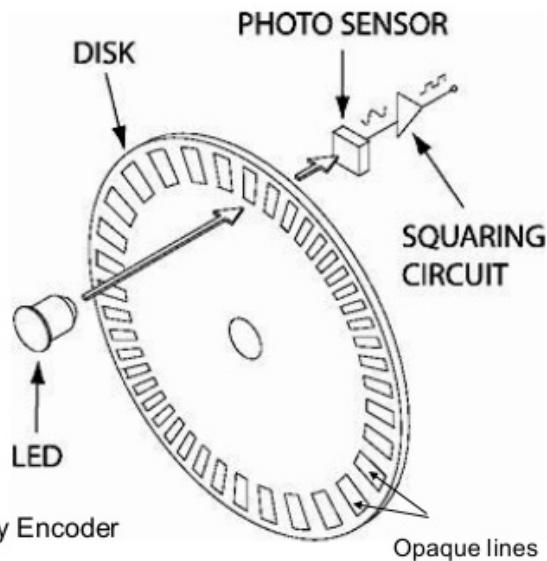
Il disco ha un certo numero di fessure
(tacche) o finestre trasparenti
equidistanti tra loro e disposte su una
corona circolare

Spesso si ha un'alternanza di settori
trasparenti ed opachi, quest'ultimi
ottenuti per deposizione di un film
metallico su un disco di vetro

ENCODER INCREMENTALE



Components inside Incremental Rotary Encoder

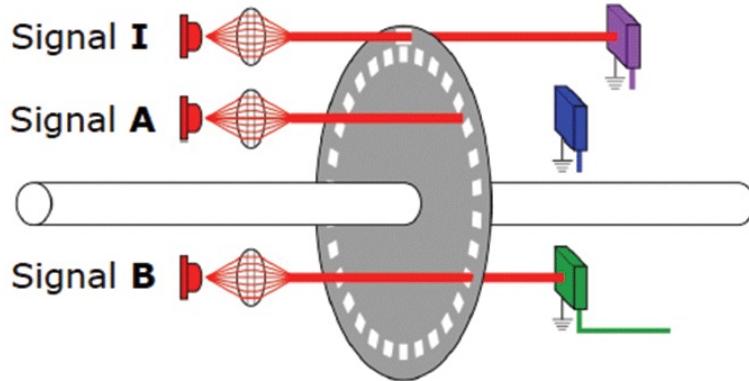


Attraverso le tacche può passare un raggio di luce generalmente emesso da un diodo LED

raggio che viene captato dalla parte opposta del disco da un rivelatore di luce (fotocellula), ad esempio un fotodiodo

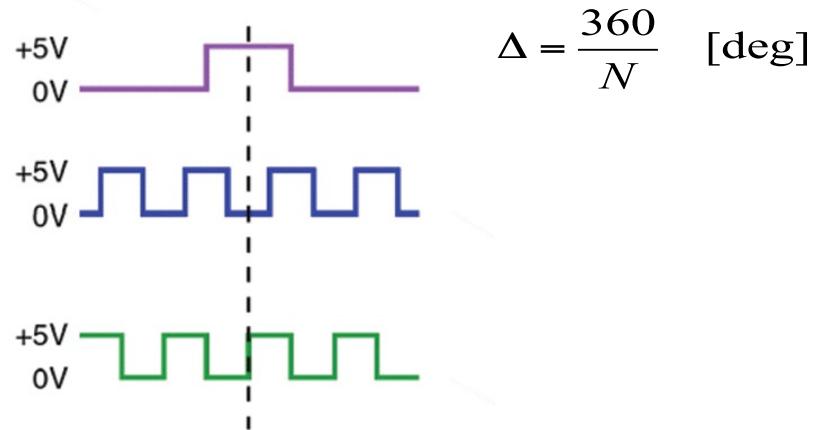
ENCODER INCREMENTALE

Durante la rotazione il raggio sarà interrotto dal disco ogni volta che questo non attraversa le tacche



Contando il numero di volte che il fotodiodo ha captato la luce si può ricavare l'angolo di rotazione

Uscita digitale in tensione ad onda quadra. La risoluzione Δ del sensore dipende dal numero N di tacche sul disco



ENCODER INCREMENTALE

Determinazione del verso di rotazione



24

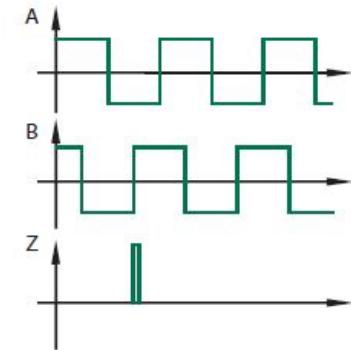
Il semplice conteggio delle tacche non permette di conoscere il moto in verso di rotazione

(unico LED,
due fotodiodi)



Possibile soluzione

nuovo sistema LED-fotodiodo parallelo al primo ma sfasato di un quarto di passo

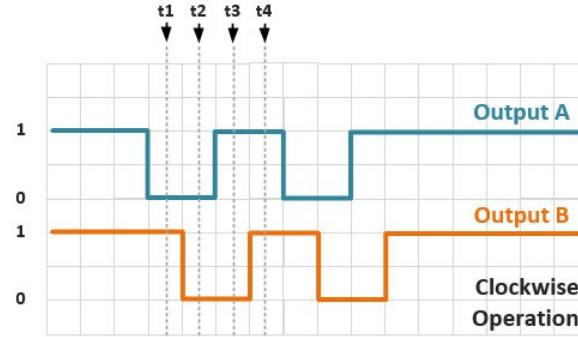


ENCODER INCREMENTALE

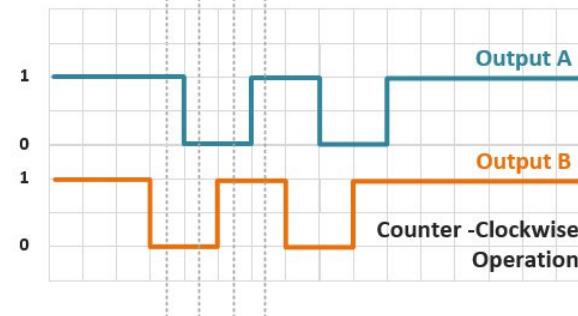
a seconda di quale dei due raggi di luce paralleli si rileva per primo, ovvero quale delle onde quadre è in anticipo

... possibile determinare il verso di rotazione

La risoluzione migliora di un fattore 2 !!!



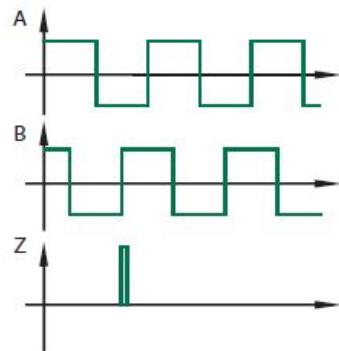
Clockwise Sequence		
	A	B
t1	0	1
t2	0	0
t3	1	0
t4	1	1



Counter-Clockwise Sequence		
	A	B
t1	1	0
t2	0	0
t3	0	1
t4	1	1

ENCODER INCREMENTALE

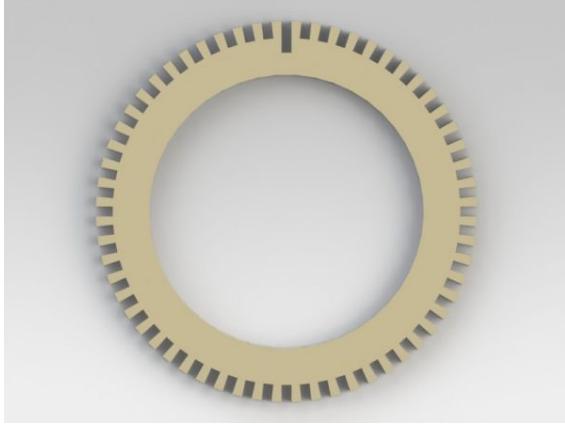
L'encoder incrementale misura spostamenti relativi, senza avere un riferimento assoluto sul giro



Il riferimento **assoluto**

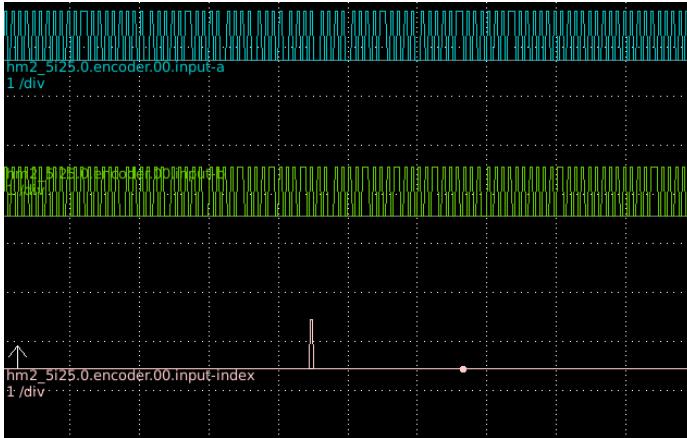
è perciò necessario definire un riferimento assoluto, per ottenere misure assolute

viene quindi realizzata una (terza) traccia concentrica, caratterizzata da una sola tacca, detta **tacca di index**



Utilizzata nei sensori di fine corsa
(ad esempio switch elettromeccanici), nella procedura
di azzeramento da eseguire ad ogni riavvio della
macchina.

oppure per contare le rivoluzioni complete
dell'albero (contagiri)



Esistono anche encoder
incrementali
con **memoria tampone**
in grado di memorizzare il valore
assoluto della
posizione allo spegnimento, da
utilizzare al successivo riavvio
macchina

Il cablaggio



DIFFERENZIALE

A A- B B- Z Z- P G

A A- : segnale A differenziale
B B- : segnale B differenziale
Z Z- : index differenziale
P : Power (+5 o +24 V DC)
G: GND (0 V)

SINGLE-ENDED

A B Z P G

Interfaccia seriale
(con protocollo basato su bus proprietario: es. EnDat, BiSS)



ENCODER INCREMENTALE

Lettura/acquisizione

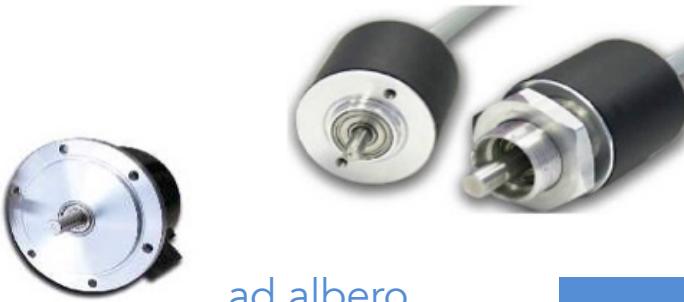
Necessario
un microprocessore (counter)
in grado di elaborare i segnali con
frequenza di sampling
sufficientemente
elevata

Oppure circuiti logici integrati
riprogrammabili (es. FPGA,
Field Programmable Gate
Array).



La frequenza di sampling minima f_{min} dipende dalla massima velocità di rotazione con cui l'encoder può ruotare (ω_{max}) e dalla risoluzione Δ dell'encoder (tacche/giro).

$$f > f_{min} = \frac{4N\omega_{max}}{2\pi} \quad \Delta = \frac{2\pi}{N}$$



ad albero
sporgente



a filo

Meccanismi di Rotazione

magnetici



ad albero
cieco/passante



VANTAGGI

Costo contenuto. L'incremento di costo dipende dalla risoluzione

Durata elevata grazie a assenza di contatti strisciati

Scarsa sensibilità a disturbi elettrici e magnetici

Idoneo a sistemi di controllo digitali

SVANTAGGI

Necessità di elettronica esterna, cioè di circuito esterno che permetta di effettuare l'operazione di conteggio e riconoscimento del verso di rotazione

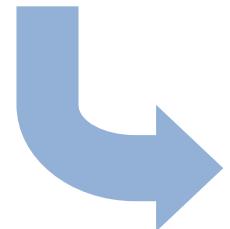
Necessaria procedura di azzeramento

Realizzazioni ottiche sensibili a urti e vibrazioni

INCREMENTALI ENCODER LINEARI

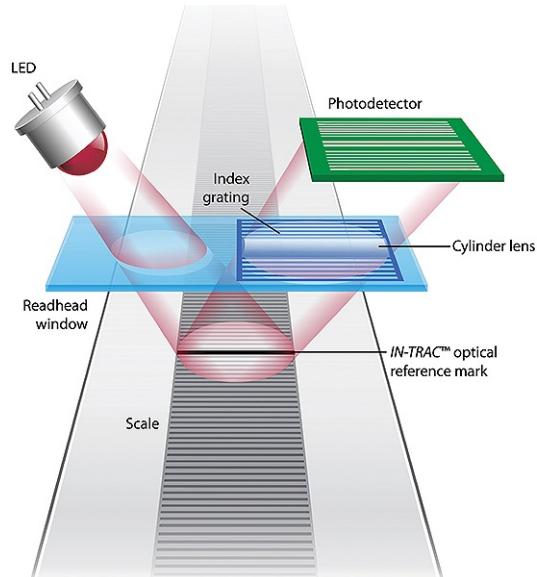
le piste hanno uno sviluppo lineare per misure di traslazione

Richiede procedura di azzeramento (presenta tacca di index)



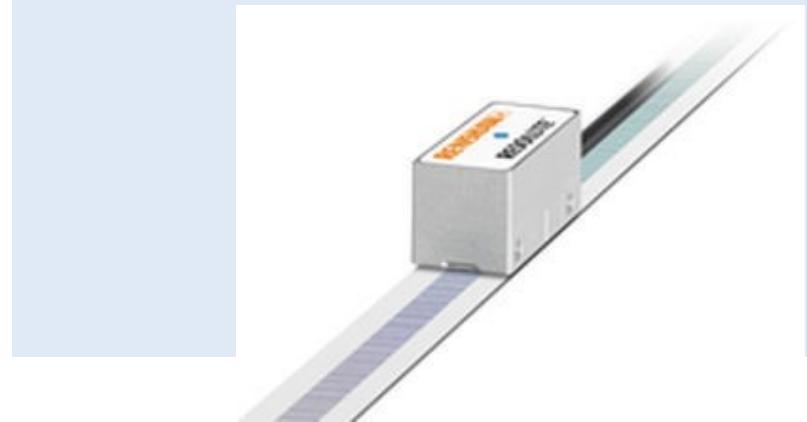
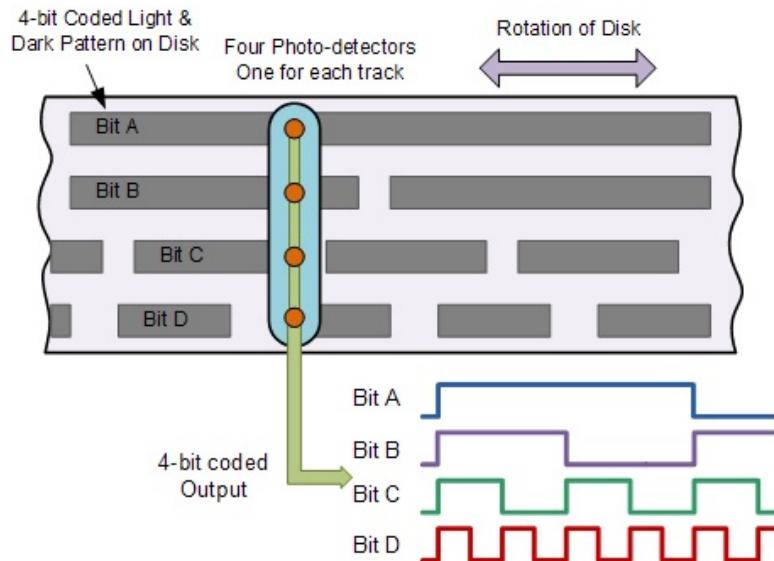
Ottici (riga ottica)

Magnetici (banda magnetica)



ENCODER LINEARI

INCREMENTALI



Precisione dell'ordine
di qualche mm, ottima
linearità

Delicati e sensibili allo
sporco (difficilmente
sigillabili)

Lunghezza anche
maggiore di 1 m

SIN/COS ENCODER



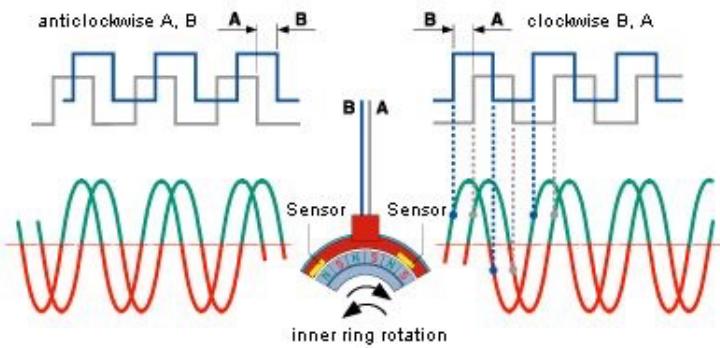
**Le piste sono
realizzate in modo
tale che la luce della
sorgente illuminini
gradualmente i
fotodiodi al ruotare
del disco**

Sono una variante degli encoder incrementali per applicazioni ad elevata risoluzione.

La parte meccanica è identica a quella di un encoder "standard", ma l'elettronica è progettata per ottenere delle forme d'onda sinusoidali, invece che onde quadre

I due segnali di uscita A e B diventano così segnali analogici anziché digitali

SIN/COS ENCODER



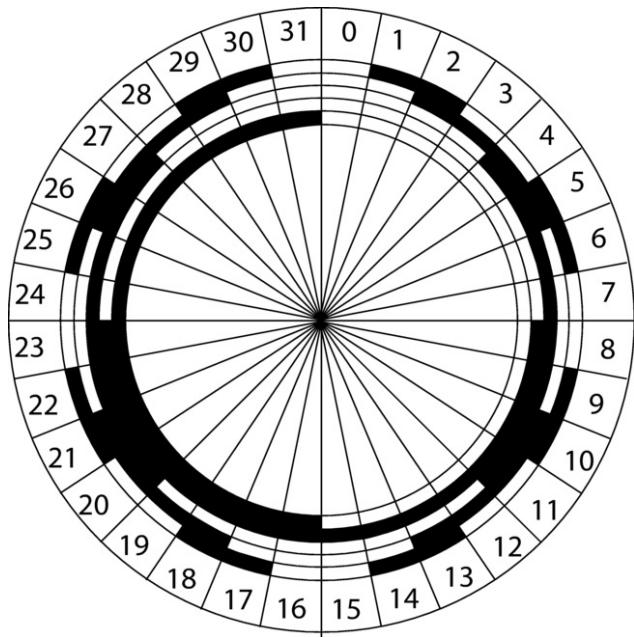
Si ottengono perciò in uscita due tensioni approssimativamente sinusoidali rispetto, sfasate tra loro di un quarto di passo dell'encoder stesso

Poiché il periodo di questi segnali è pari al passo encoder, essi sono in relazione tra loro come il seno ed il coseno di un angolo (1 periodo completo = 1 passo)

Per motivi pratici, gli encoder Sin/Cos disponibili in commercio possono fornire in uscita sia i segnali digitali A e B "standard" ("logica TTL") che i segnali analogici seno/coseno. In questo modo, è possibile utilizzare i segnali digitali per il conteggio dei passi.

ENCODER

ANGOLARI ASSOLUTI



Ad ogni posizione è associata una codifica binaria

Le strisce opache e trasparenti si alternano su più tracce concentriche

La posizione corrente viene acquisita mediante una **batteria di fotodiodi** pari al numero di bit di risoluzione dell'encoder

La risoluzione è legata al numero di tracce, ossia al numero di bit b:

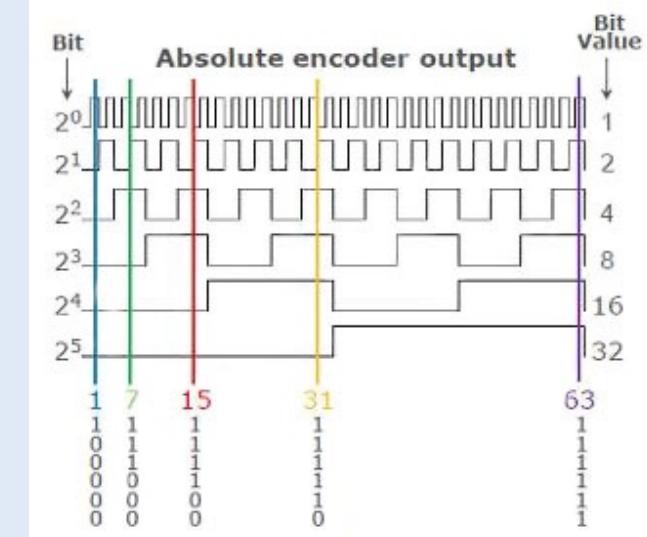
$$\Delta = \frac{360}{2^b} [^\circ]$$

ANGOLARI ASSOLUTI

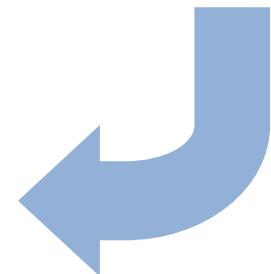
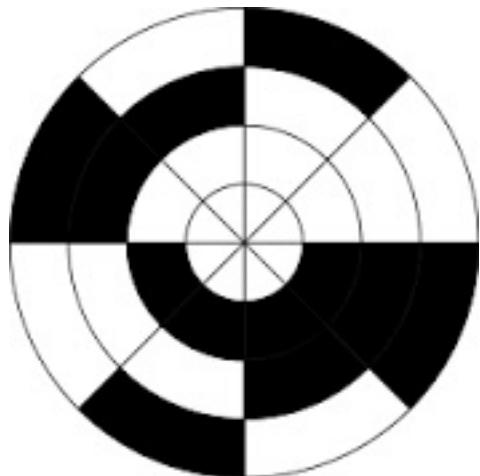
Il sensore non genera una serie di impulsi/onda quadra ma una sequenza di bit.

Esistono encoder
assoluti multigiro (con
ingranaggio e ruota
per conteggio giri)

Scelta della codifica binaria
codifica binaria pura presenta
inconvenienti legati a imperfezioni
costruttive...



ANGOLARI ASSOLUTI

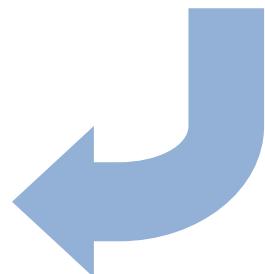
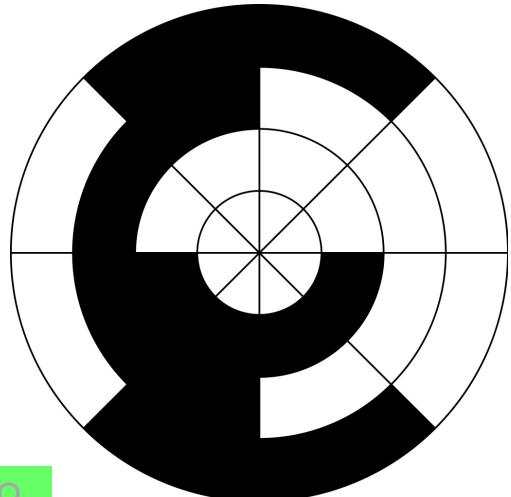


Ad esempio
codifica binaria
pura a 3 bit

Nel passaggio da 3 (011) a 4 (100) si potrebbero rilevare prima le variazioni dei bit di posizione 1 e 2 e poi di quello di posizione 3.

In tal caso si osserverebbe la sequenza di transizioni 011–101–100, corrispondente a 3–5–4

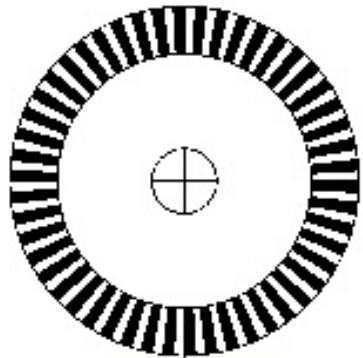
ANGOLARI ASSOLUTI



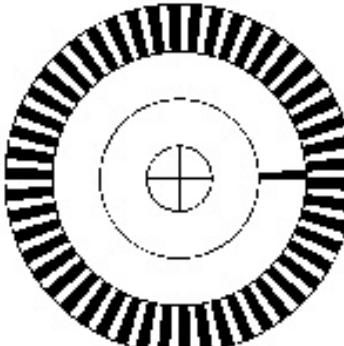
Ad esempio
codifica **codice**
Gray a 3 bit

permette variazione di un
solo bit tra 2 posizioni
angolari adiacenti

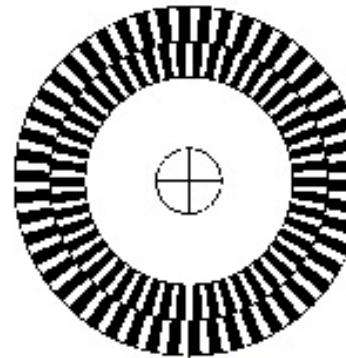
In questo modo, anche se la
costruzione delle finestre non è
perfetta, non sarà possibile avere
lettura spurie



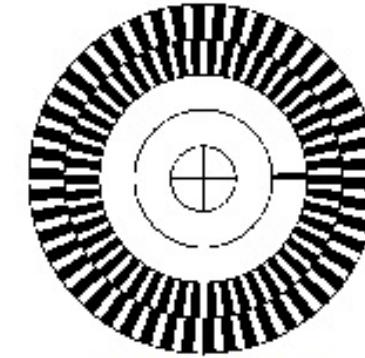
Unencoded



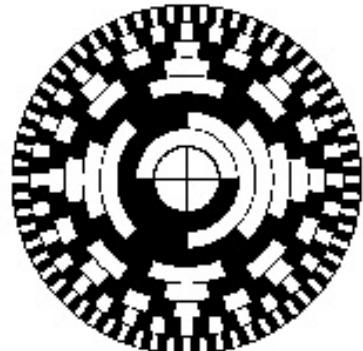
Unencoded
with Index track



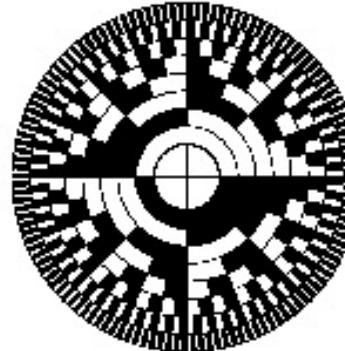
Two-Track
Quadrature



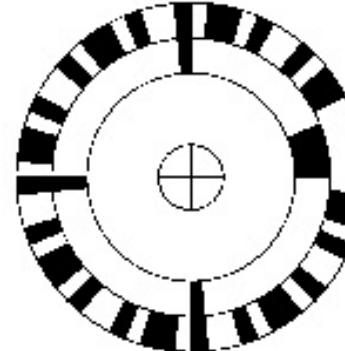
Two-Track Quad
with Index



Absolute Position
Gray Code



Absolute Position
Binary



Custom

ENC. ASSOLUTI



ENC. INCREMENTALI

Complessità

Hanno una struttura del disco molto complessa

Ad esempio, per avere una risoluzione di 1.4° occorrono 8 tracce, e quindi 8 diodi LED (o 1 diodo ed un collimatore ottico a 8 settori) e 8 fotodiodi, 256 settori e ben 2048 finestre.

Hanno una struttura molto più semplice

per avere una risoluzione di 1.4° sono sufficienti 256 finestre e solo 3 diodi e 3 fotodiodi

Necessario l'utilizzo di un contatore che possa tenere memoria degli spostamenti

ENC. ASSOLUTI



ENC. INCREMENTALI

Range

possono misurare solo fino a 360°, a meno di non utilizzare encoder assoluti multigiro (comunque limitati nel numero di giri misurabili)

Azzeramento

Non necessitano di azzeramento ad ogni riavvio della macchina (ma solo calibrazione iniziale)

In assenza di alimentazione mantengono l'informazione sulla posizione

Non hanno limite se non quello legato all'overflow del contatore

Non misurano in modo assoluto, necessitano di azzeramento

ENC. ASSOLUTI



ENC. INCREMENTALI

Costo

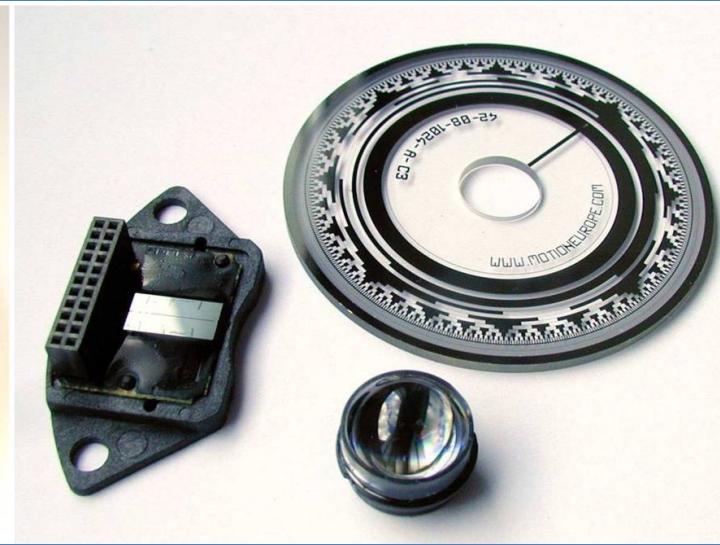
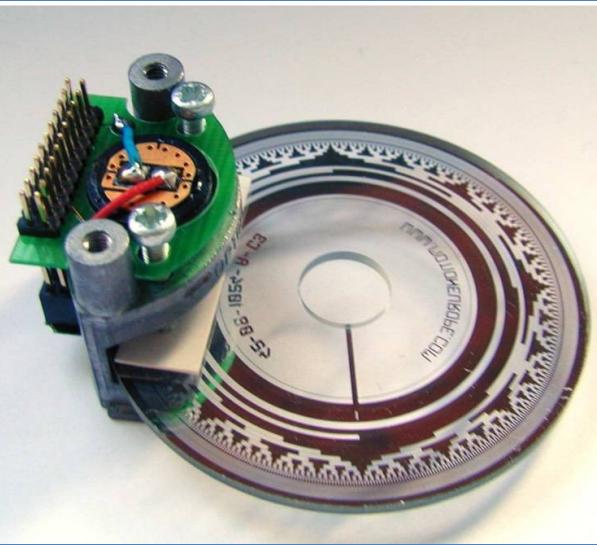
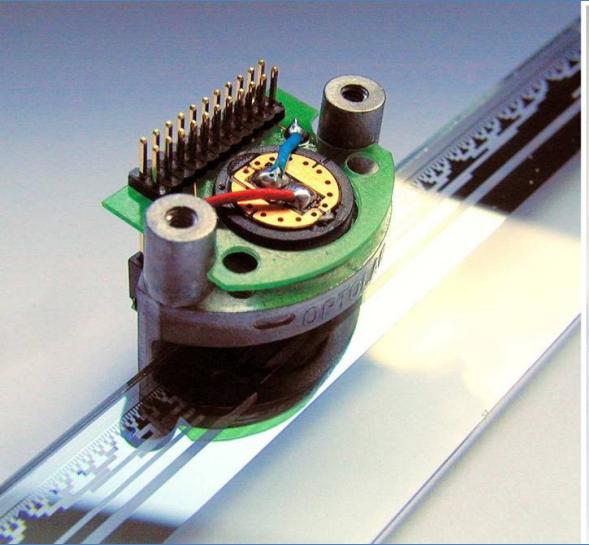
maggiore di quello incrementale,
dipende dalla risoluzione.

Minore di uno assoluto, dipende
dalla risoluzione.

Condizionamento del segnale

spesso richiedono elettronica
dedicata (codifica proprietaria)

Non necessitano di codifica
proprietario. Condizionamento
standard



Resolver

E' un trasduttore per la misura degli spostamenti angolari (vedi scheda).

Esso è costituito da tre avvolgimenti due fissi in quadratura tra di loro (statore) e uno mobile (rotore) disposti attorno a uno stesso nucleo di ferro fatto di lamierini isolati.

In base alle loro posizione reciproche il flusso magnetico sui solenoidi di statore risultano concatenati totalmente o parzialmente col primo.

In base all'ampiezza dei segnali di uscita è possibile determinare lo spostamento.

L'uscita del segnale del resolver viene convertita, mediante apposito convertitore in un segnale digitale assoluto di posizione angolare.

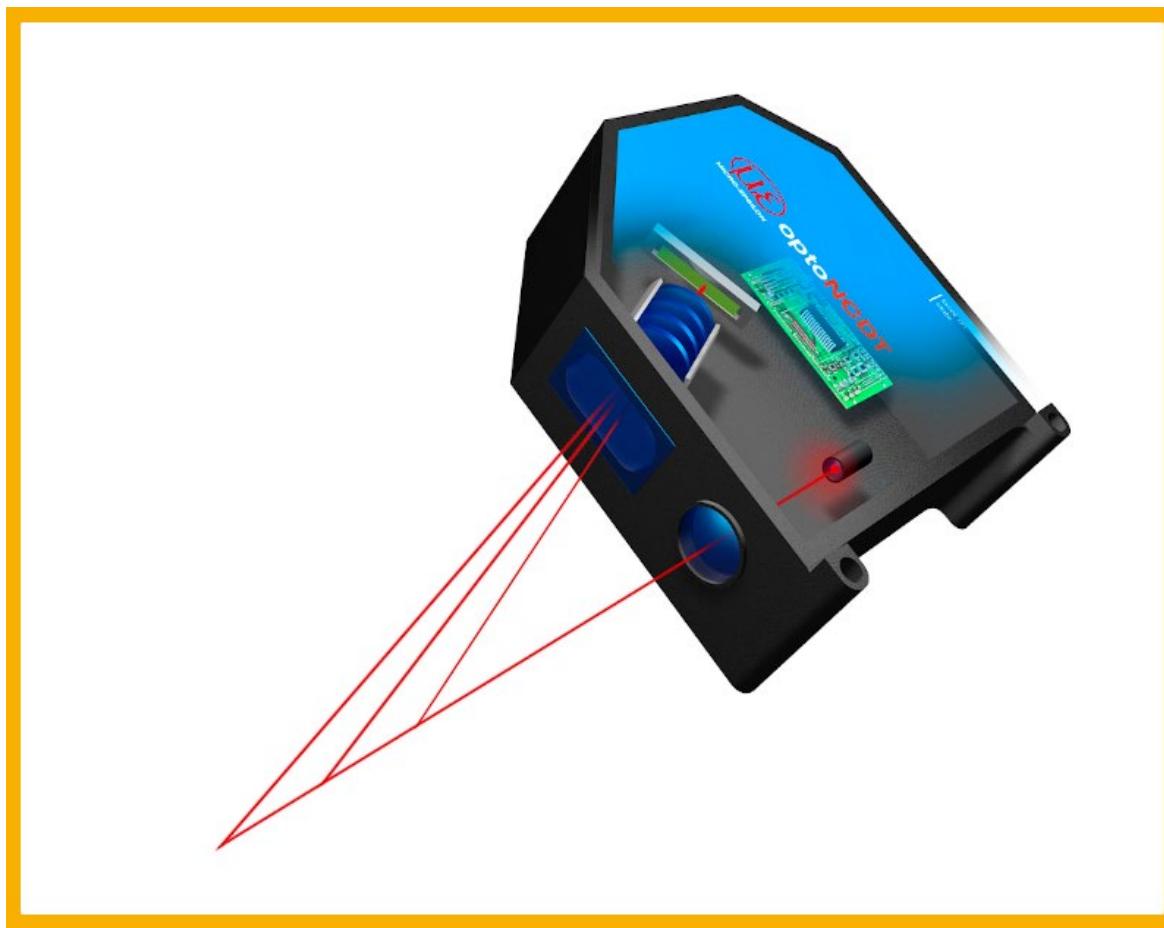
Sensori ottici a triangolazione

Se due dispositivi a distanza nota possono ‘puntare’ lo stesso punto di un oggetto, allora la distanza dell’oggetto può essere calcolata conoscendo gli angoli di puntamento.

TRIANGOLAZIONE PASSIVA: utilizza due dispositivi di acquisizione di immagini

TRIANGOLAZIONE ATTIVA: utilizza un dispositivo di acquisizione di immagini ed una sorgente di luce controllata

Sensori ottici a triangolazione



Sensori ottici a triangolazione

I sensori laser sfruttano il principio della triangolazione laser per misurare spostamenti, distanze e posizioni. Sono molto versatili e vengono utilizzati in numerose applicazioni, sia nella Ricerca & Sviluppo di nuovi prodotti che nel monitoraggio dei processi industriali.

In un sensore a triangolazione laser, un diodo (trasmettitore) proietta un fascio di luce laser direttamente sul target. Questa luce viene riflessa in varie direzioni e parte dei raggi laser riflessi vengono indirizzati, attraverso una serie di lenti, verso il ricevitore.

A seconda della distanza del target, i raggi riflessi vengono proiettati verso un punto preciso della superficie del ricevitore; in questo modo è possibile calcolare, attraverso il principio matematico di triangolazione, la distanza tra il trasmettitore e il target.

La precisione può essere influenzata da superfici del target troppo riflettenti, differenze di colore o variazioni di colore. Queste influenze possono essere minimizzate o completamente compensate attraverso l'utilizzo di tecnologie innovative.

Sensori ottici : distanza del tempo di volo

La misura della distanza di un oggetto è data dalla misura del tempo che un dato segnale impiega a raggiungere l'oggetto e a tornare indietro

$$d = (v \times t)/2$$

d = distanza dell'oggetto

v = velocità del segnale

t = tempo impiegato dal segnale per raggiungere l'oggetto e tornare indietro

Sensori ottici : distanza del tempo di volo

Misurazione del Tempo di Volo:

(esempio: *radar and ultrasonic sonar*) $d = 0.5 t_e v$

dove v è la velocità media degli impulsi emessi (aria o acqua) e t_e è il tempo che intercorre da quando l'impulso è stato emesso alla ricezione della sua eco.

