



---

## ***Corso di Robotica 1***

# **Componenti per la robotica: Sistemi di misura e Sensori propriocettivi**

Prof. Alessandro De Luca

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA  
E SISTEMISTICA ANTONIO RUBERTI



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# Caratteristiche dei sistemi di misura - 1

---



- **accuratezza** (accuracy)

conformità dei valori misurati ad un determinato standard di riferimento (ad es. caratteristica ideale)

- **precisione** (repeatability)

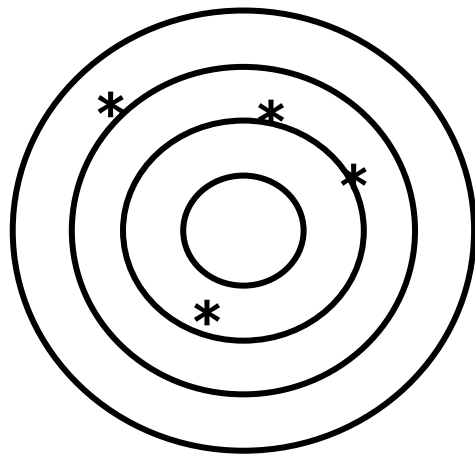
capacità di riprodurre in uscita valori simili tra loro in un esperimento con molte misure consecutive della stessa grandezza costante in ingresso

- **stabilità**

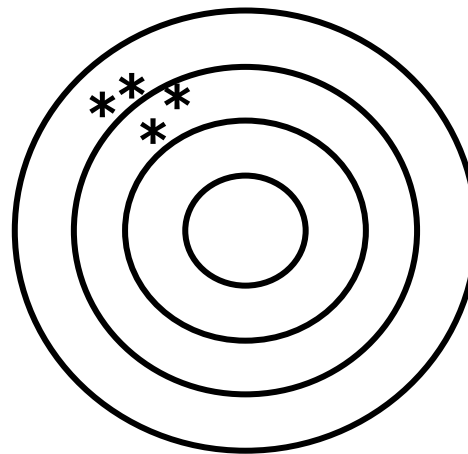
capacità di mantenere inalterate nel tempo le proprie caratteristiche (simile a precisione, ma a lungo termine)



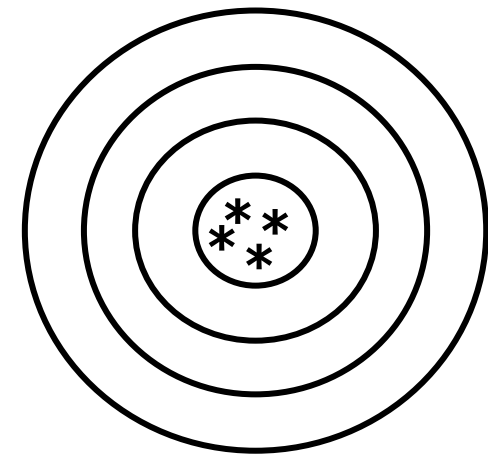
# Accuratezza e precisione



poco preciso  
poco accurato



molto preciso  
poco accurato



molto preciso  
molto accurato

# Caratteristiche dei sistemi di misura - 2

---



- **errore di linearità**

massima deviazione (espressa in percentuale del range di misura) dell'uscita dalla retta che meglio approssima la caratteristica reale

- **fuori zero (offset)**

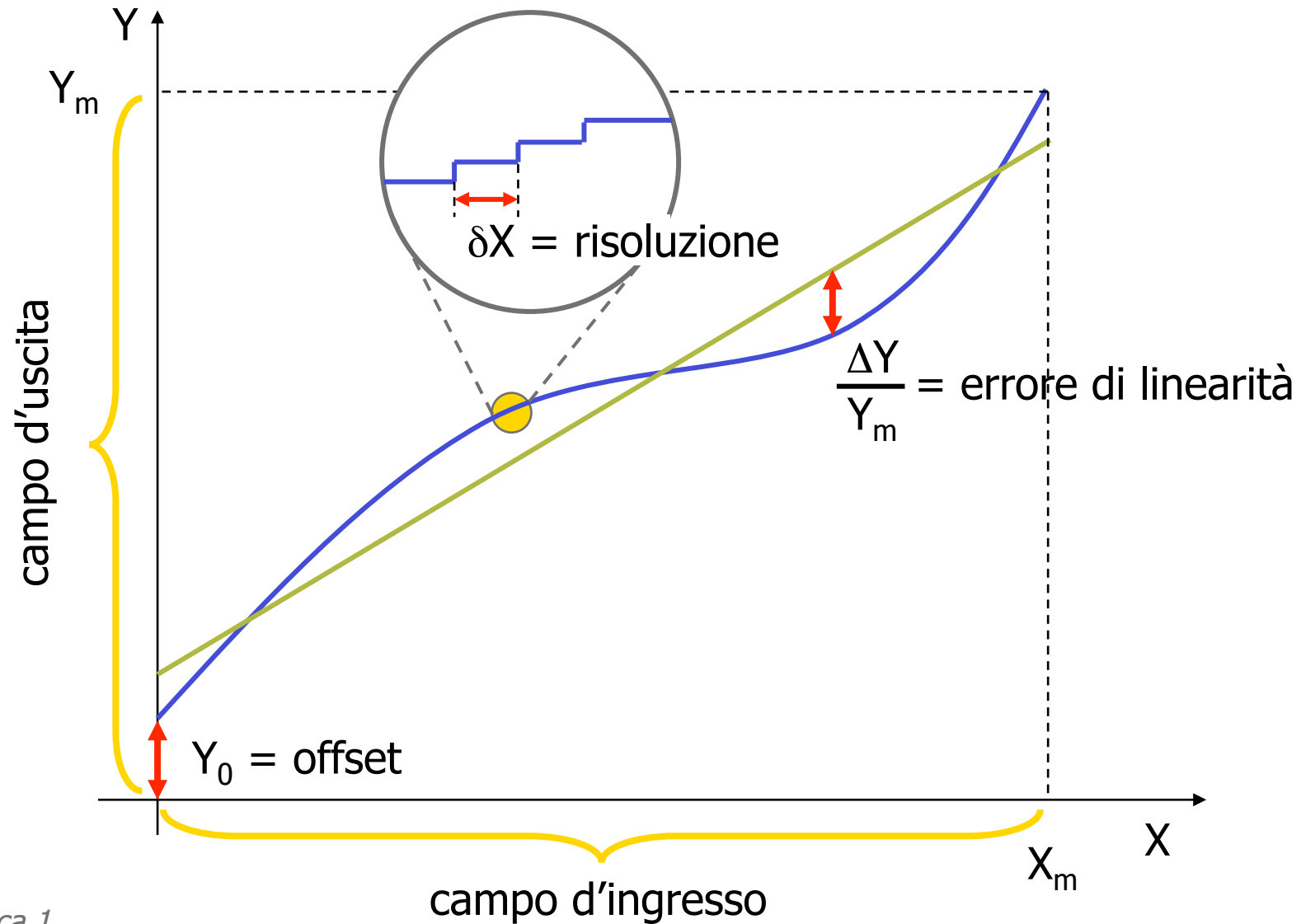
valore dell'uscita misurata per ingresso nullo

- **risoluzione**

massima variazione della grandezza in ingresso che non dà luogo a nessuna variazione della misura in uscita



# Linearità, Offset, Risoluzione



# Classificazione dei sensori per robot

---



- **sensori propriocettivi:** misurano lo stato interno del robot (posizione e velocità di giunto, coppia al giunto)
  - calibrazione cinematica, identificazione dei parametri dinamici, controllo
- **sensori esteroceettivi:** consentono di caratterizzare l'interazione del robot con l'ambiente esterno, aumentandone l'autonomia (forza/coppia, prossimità, visione, ma anche rilevatori di suono, fumo, umidità...)
  - controllo dell'interazione con l'ambiente, obstacle avoidance, localizzazione di robot mobili, navigazione in ambienti sconosciuti



# Sensori di posizione

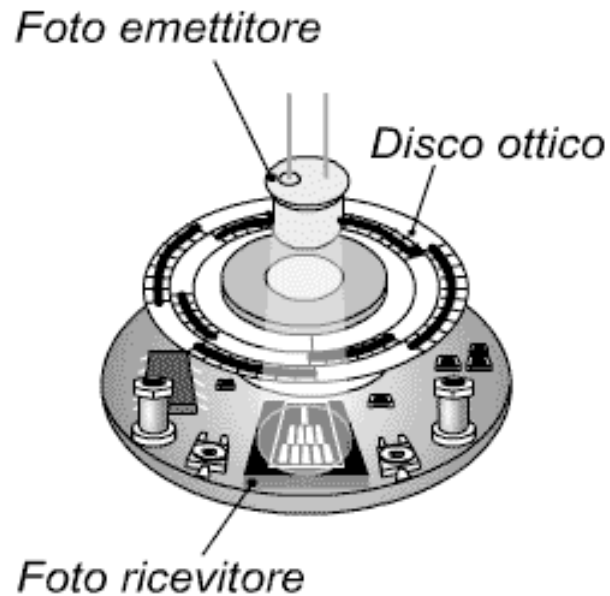
- forniscono un **segnale elettrico proporzionale allo spostamento** (lineare o angolare) di un organo meccanico rispetto a una posizione di riferimento
- spostamenti **lineari**: potenziometri, trasformatori differenziali, inductosyn
- spostamenti **angolari**: potenziometri, encoder, resolver, syncro

maggiormente usati in robotica, poiché anche gli spostamenti lineari sono realizzati da motori rotanti



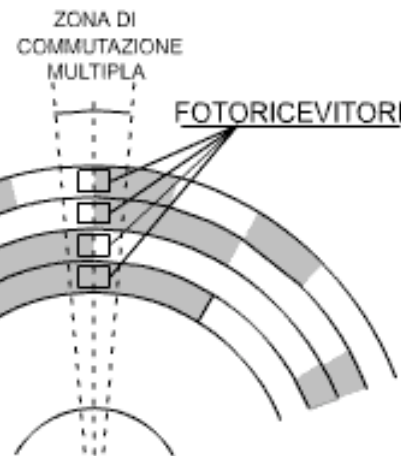


# Encoder assoluti



- disco ottico rotante, con zone opache e trasparenti
- fascio di luce (infrarossi) acquisito da fotoricevitori multipli
- trasformazione degli impulsi luminosi in impulsi elettrici, trattati e trasmessi dall'elettronica in uscita
- codifica della posizione **assoluta**: non viene usato il codice binario per l'indeterminazione (alea) in corrispondenza a transizioni multiple dei bit (errori di lettura)

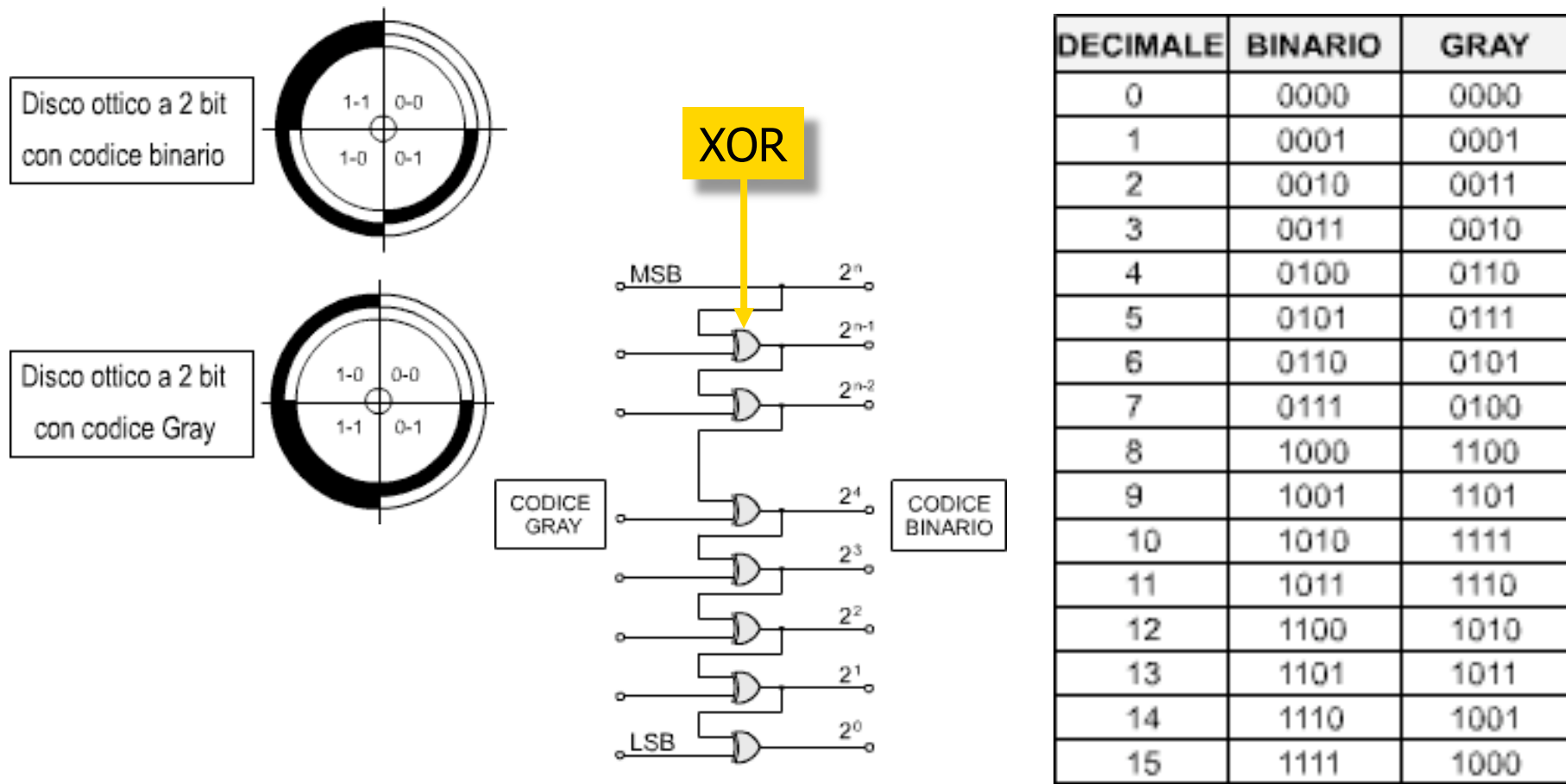
# tracce = # bit  
(min. 12 in robotica)



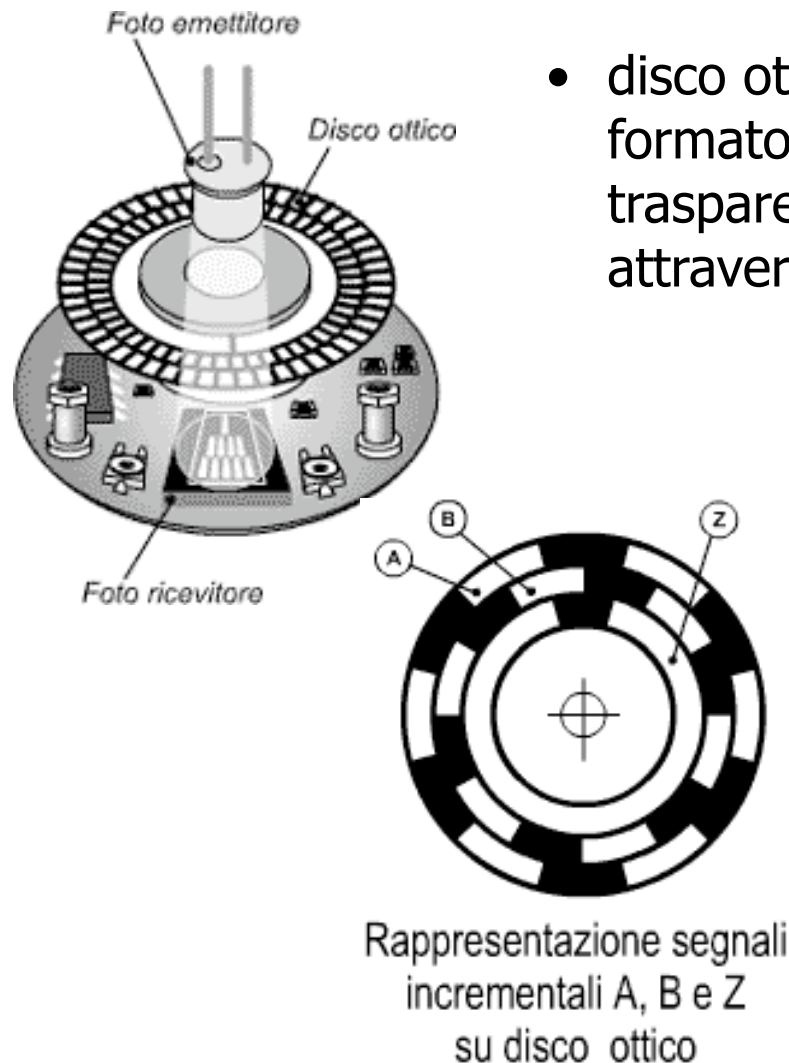




# Codifica assoluta



# Encoder incrementali

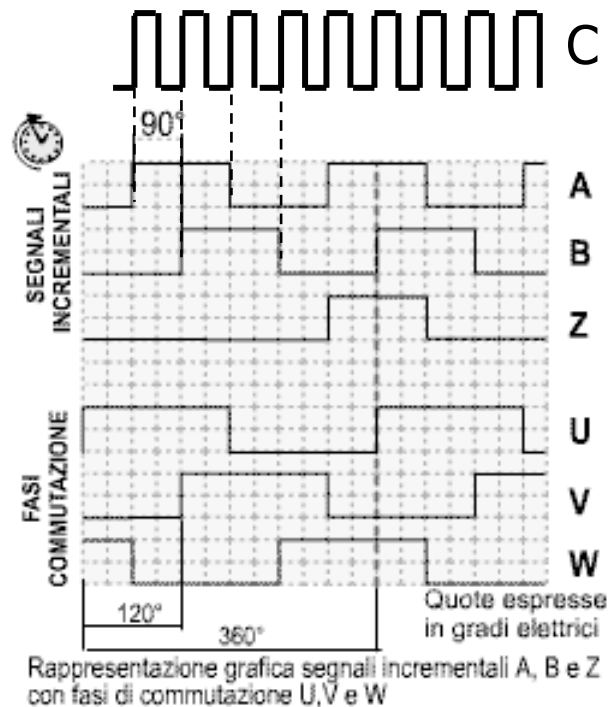


- disco ottico rotante graduato con reticolo radiale, formato da linee opache alternate a spazi trasparenti: misura lo spostamento **incrementale** attraverso il conteggio degli impulsi

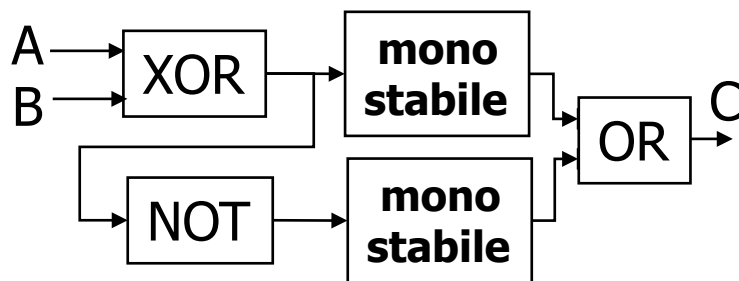
- la presenza di due tracce A e B, sfasate di  $90^\circ$  elettrici, consente di determinare il verso di rotazione
- una terza traccia Z consente di individuare la posizione "0" di riferimento, con reset del conteggio
- alcuni encoder forniscono in uscita anche le fasi di commutazione per motori brushless



# Sincronizzazione dei segnali

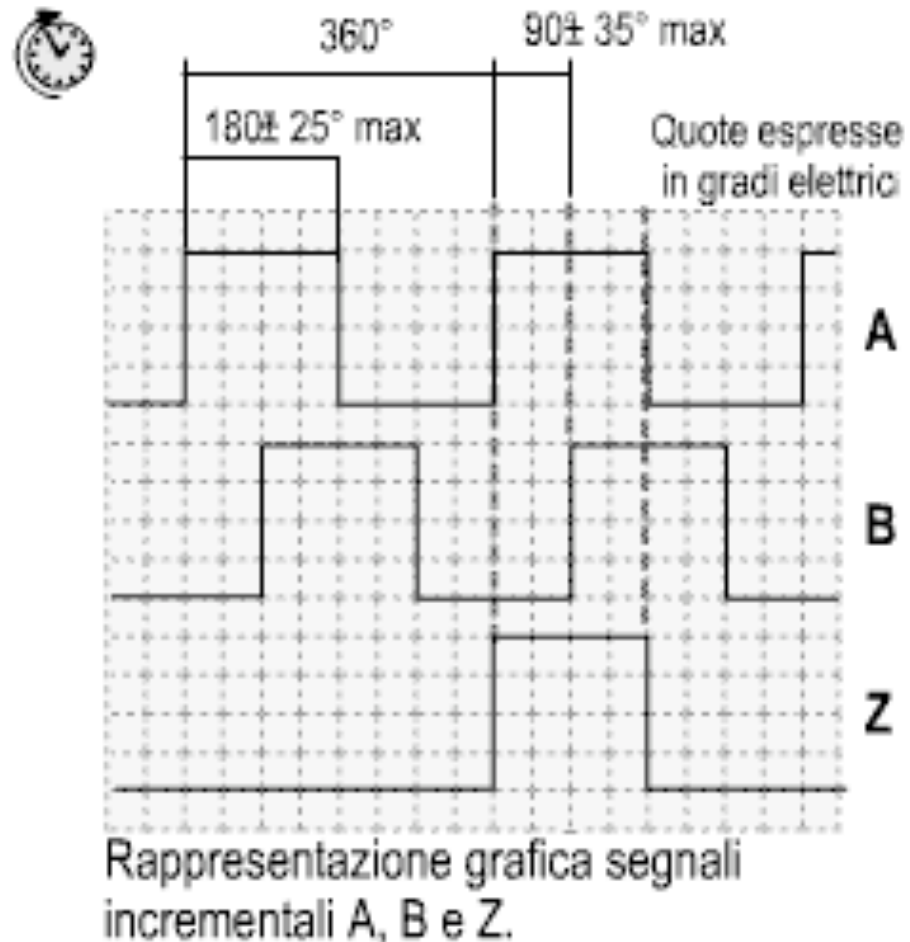


- “frazioni di ciclo” di ciascun treno di impulsi sono misurate in “gradi elettrici” ( $360^\circ$  elettrici = 1 ciclo)
- $1^\circ$  elettrico =  $1^\circ$  meccanico / N  
con  $N = \#$  impulsi/giro
- per incrementare qualità e stabilità dei segnali, ad A e B si sostituisce la lettura differenziale di due segnali identici ma sfasati di  $180^\circ$  elettrici (es. da A a  $A-\bar{A}$ ), eliminando disturbi “di modo comune”
- per aumentare la risoluzione (**4x**), si possono contare i fronti di salita o discesa di A o B (segnale C)





# Accuratezza encoder incrementali



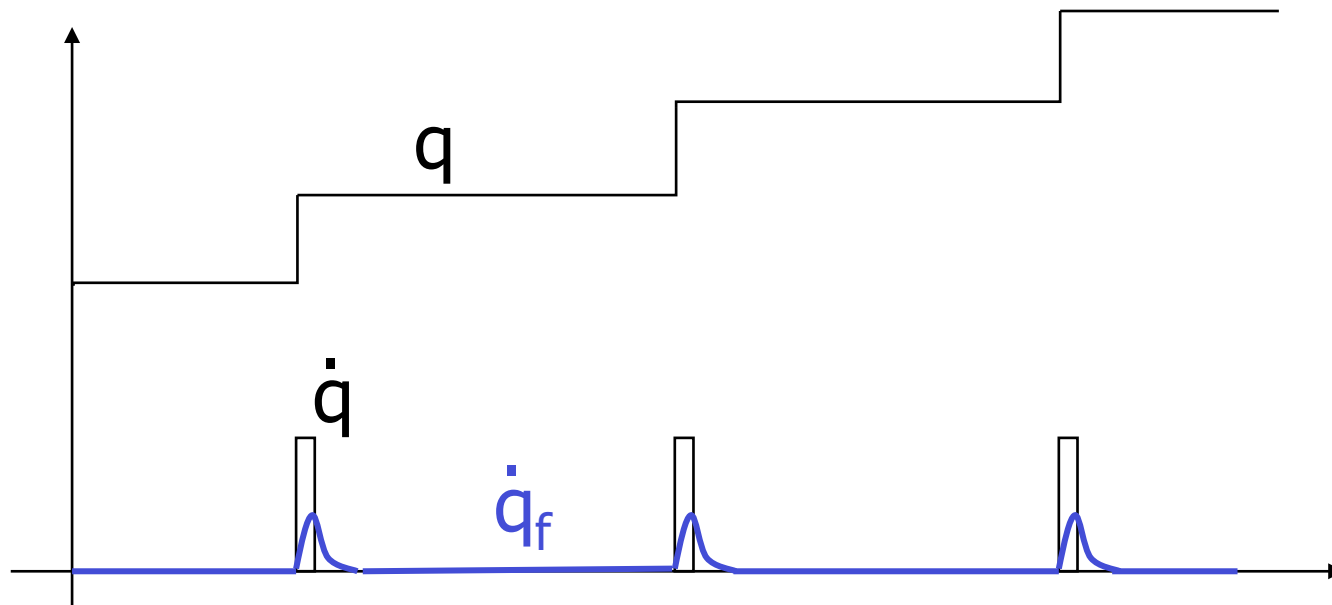
oltre all'errore di quantizzazione

- **errore di divisione**: massimo spostamento di fronti d'onda salita/discesa consecutivi, tipicamente compreso in max  $\pm 25^\circ$  elettrici
- lo **sfasamento** tra i due canali, nominalmente di  $90^\circ$  elettrici, si discosta tipicamente di max  $\pm 35^\circ$  elettrici



# Misura di velocità

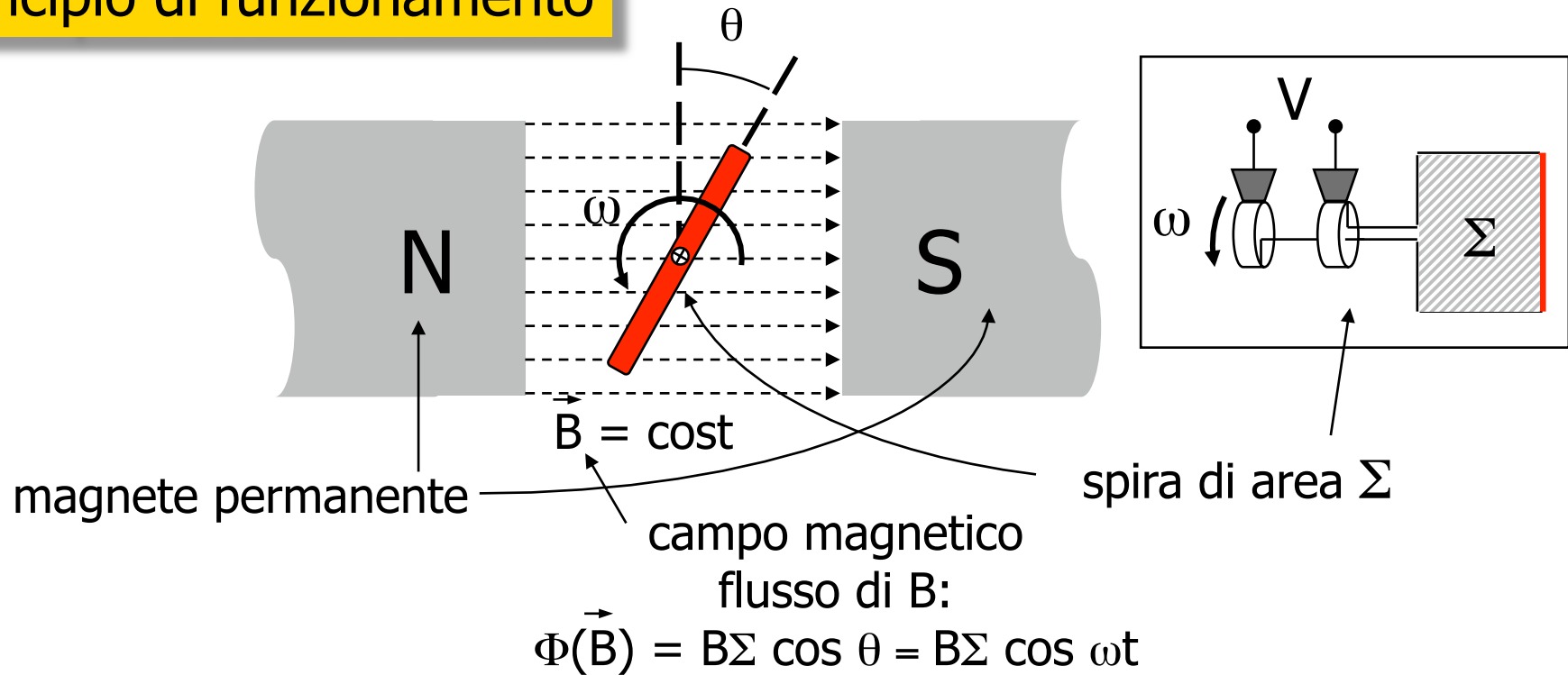
- **derivazione numerica** da misure digitali di **posizione** + filtraggio (per eliminare picchi dovuti a quantizzazione della posizione)
- può dare **problemi** alle basse velocità



# Sensore di velocità: dinamo tachimetrica



## principio di funzionamento



$$V = - d\Phi/dt = B\Sigma \omega \sin \omega t$$

→ ondulazione inevitabile!

ampiezza  $V \propto \omega$