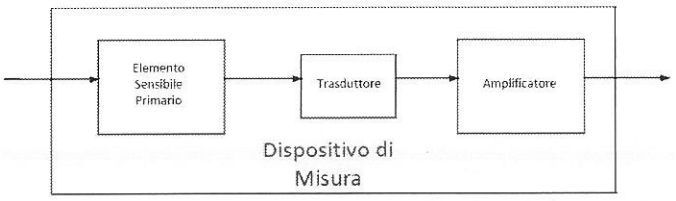
Appunti delle lezioni di Sensori per la robotica e l'automazione (M. Bianchi)

Filippo F.

=> INTRODUZIONE :

- I dispositivi di misura sono ELEMENTI FONDAMENTALI DEI SISTEMI DI CONTROLLO IN RETROAZIONE.
- Scelte inappropriate dei DISPOSITIVI, della loro LOCALIZZAZIONE e della MODALITÁ DI ISTALLAZIONE possono influire molto negativamente sulle prestazioni del SISTEMA DI CONTROLLO.
- I RITARDI e i RUMORI di MISURA devono essere MINIMIZZATI sia con la scelta delle caratteristiche intrinseche dello strumento sia mediante la sua localizzazione e istallazione.



m = MISURANDO

Elemento Sensibile Primario = Dispositivo che converte la grandezza fisica in ingresso (MISURANDO) in una grandezza fisica di uscita.

e = Segnale Elettrico

Segnali ANALOGICI ⟶ Segnali CAMPIONATI ⟶ Segnali DIGITALI (Quantizzati)

$$LSB = \frac{y_s}{2^N}$$ (Least Significant Bit)

↳ Minimo valore rappresentabile dalla CODIFICA DIGITALE

ERRORE DI QUANTIZZAZIONE { Rappresentazione mediante un numero finito di CIFRE DECIMALI. (Massima dimensione della parola rappresentabile nell'unità aritmetica.)

ERRORE DI QUANTIZZAZIONE

$$|e_q| \leq \frac{1}{2} LSB = \frac{y_s}{2^{N+1}}$$

↓

Valore del segnale acquisito − Valore vero della grandezza fisica.

$$y_s = y_M - y_m$$ (RANGE DINAMICO)

{ y_m = Valore minimo del segnale.
{ y_M = Valore massimo del segnale.

Esempio:

- Risoluzione ADC in 12 bit ⇒ Posso rappresentare al max 2^{12} valori = 4096 livelli di quantizzazione.
- Range DINAMICO $0 \div 10\ V$

$$\Rightarrow LSB = \frac{10V}{4096} = 2{,}44\ mV \quad \Rightarrow \quad e_q = \frac{2{,}44\ mV}{2} = 1{,}22\ mV$$

- L'ERRORE di QUANTIZZAZIONE è considerato come un <u>DISTURBO LIMITATO</u> sull'anello di retroazione.

↓

Considerato nel progetto dell'anello di controllo.

=> COMPORTAMENTO ENERGETICO DEI SENSORI :

PASSIVI: Necessaria alimentazione esterna (eccitazione)

ATTIVI: Conversione diretta dell'ENERGIA in ingresso in ENERGIA DI USCITA. Non necessitano di alimentazione esterna. (Es. Celle fotovoltaiche o Termocoppie).

=> PROPRIETÁ GENERALI DEI SENSORI :

① ACCURATEZZA (ε)

Quanto la misura del sensore si avvicina al VALORE "VERO"

Valore di riferimento attendibile ottenuto tramite una misura esemplare. ← → χ_v = Valore ATTENDIBILE

- ACCURATEZZA ESPRESSA COME VALORE RELATIVO :

$$\varepsilon_f = 100 \cdot \frac{\chi_m - \chi_v}{\chi_{FS}}$$ Errore di scostamento espresso come PERCENTUALE DEL FONDOSCALA (Se ho un FS grande, ε_f è poco significativo)

$$\varepsilon_a = 100 \cdot \frac{\chi_m - \chi_v}{\chi_v}$$ Errore di scostamento espresso come PERCENTUALE DEL VALORE ATTENDIBILE (χ_v)

- ACCURATEZZA può essere espressa anche in VALORE ASSOLUTO.

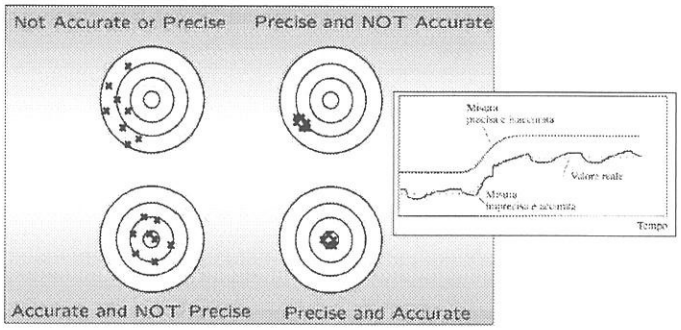
- L'accuratezza è legata alla **CALIBRAZIONE DEL SENSORE** (errore sistematico)

→ Aggiustamento dei parametri per far corrispondere l'uscita a valori rilevati accuratamente.

② PRECISIONE o RIPETIBILITÁ :

Scostamento delle misure successive effettuate nelle medesime condizioni (con stesso RIFERIMENTO)

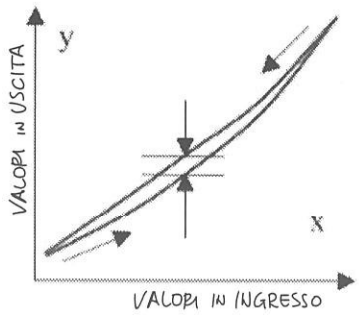
"GAUSSIANO" => (Casuale)



=> TARATURA e ISTERESI :

Misura della grandezza di uscita per valori noti della grandezza di ingresso.

Faccio incrementi crescenti e poi decrescenti:



- CAMMINO IDEALE : Andata ≡ Ritorno
- CAMMINO REALE : Andata ≠ Ritorno

Tramite sistemi di COMPENSAZIONE si cerca di MINIMIZZARE l'ISTERESI ← Δ Cammino = ISTERESI

=> RANGEABILITY o TURN-DOWN :

I concetti di ACCURATEZZA e PRECISIONE si applicano solo ad una PARTE del CAMPO di misura.

RANGEABILITY → Espressa come un RAPPORTO.

La parte complementare riguarda misure scadenti.

Esempio:

Rangeability => 20 : 1

FS = 300 kg/s

La rangeability corrisponde ad un RANGE DI MISURA di portate comprese tra 15-300 kg/s

=> Analizziamo : SENSORI come SISTEMA DINAMICO :

- Caratteristica statica di un sensore => $y = y(u)$ u = misurando y = segnale in uscita dal sensore.

Solitamente la CARATTERISTICA STATICA di un sensore non è una FUNZIONE LINEARE.

Tuttavia se utilizziamo un CAMPO di MISURA RISTRETTO, la caratteristica statica ≅ RETTA LINEARE (sensore lineare)

↓

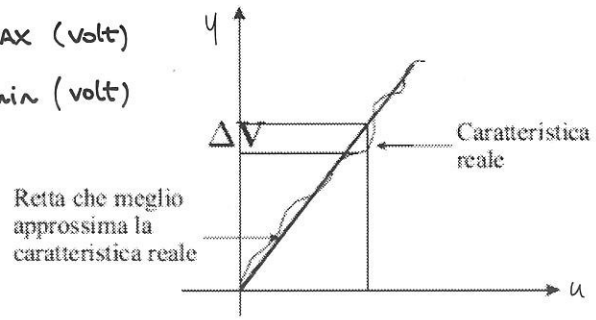
Scostamento (ΔV) < Accuratezza (ε) ⟶ Espressa in VALORE ASSOLUTO

ERRORE di LINEARITÀ' : V_H = Uscita MAX (volt)

V_m = Uscita min (volt)

$$e_L\,\% = \frac{\Delta V}{V_H - V_m} \cdot 100$$

ΔV = max scostamento dalla caratteristica lineare.



Caratteristica lineare => $y = Ku$

K = costante di guadagno.

SENSITIVITÀ' :

$$S(y) = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad \text{(Globale)}$$

- Se la caratteristica statica è LINEARE => $S(u) = cost$ => "Guadagno statico"
- Se la caratteristica statica NON È LINEARE => $S(u)$ funzione dell'uscita

RISOLUZIONE :

Più piccola variazione del misurando che genera una variazione dell'uscita del sensore nel campo di misura. (RISOLUZIONE MAX)

$$e_R\,\% = \frac{\Delta V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \cdot 100$$

Risoluzione espressa come PERCENTUALE del CAMPO DI MISURA.

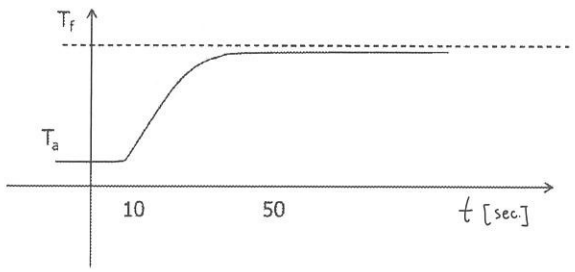
N.B. La RISOLUZIONE varia in funzione della posizione nel campo di misura.

La RISOLUZIONE intorno al valore zero ⇒ SOGLIA DI SENSIBILITÁ dello STRUMENTO

⇒ COMPORTAMENTO DINAMICO:

Come abbiamo detto precedentemente, il sensore è un SISTEMA DINAMICO.
La risposta del sensore NON É ISTANTANEA ad una brusca variazione di ingresso, ma assume un COMPORTAMENTO DINAMICO.

~ RISPOSTA DI UNA TERMOCOPPIA ~



t_f = Temperatura fluido

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \gamma A (T_f - T)$$

Risposta approssimabile come un sistema del 1° ORDINE
(eq. differenziale del 1° ORDINE)

$$\tau = \frac{C}{\gamma A}$$ costante di tempo che difficilmente scende sotto i 10 sec

Quindi possiamo definire una CARATTERISTICA DINAMICA del sensore che rappresenta il COMPORTAMENTO DINAMICO del SENSORE.

$$F(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta u(s)}$$ fdt globale ⇒ Dove sono espressi gli elementi qualificanti (banda passante, tempo di risposta, risonanza ecc.)

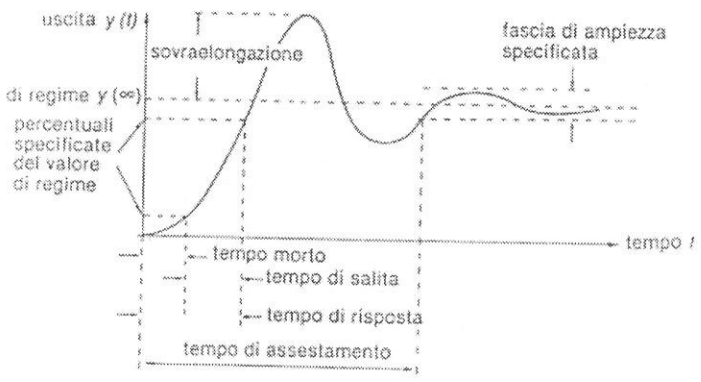
$$\lim_{s \to 0} F(s) = S(\bar{y})$$ ($\bar{y}$ = punto di LINEARIZZAZIONE della fdt.)

↳ Approssimazione LOCALE

↓

($s \to 0 \cong$ PICCOLE VARIAZIONI ($t \to 0$))

- Slew-rate = Valore limite della VARIAZIONE DELL'USCITA nell'unità di tempo.



N.B. Per la progettazione del CONTROLLORE deve considerare la DINAMICA del SENSORE.