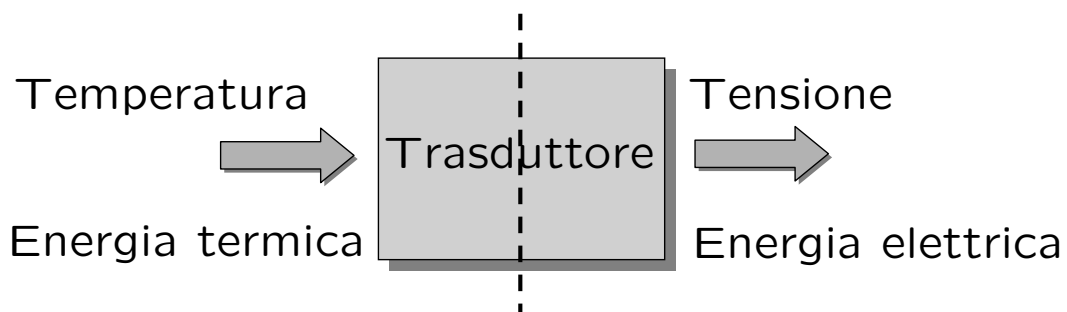

Sensori: Proprietà Generali

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Trasduttore / *Transducer*

- Trasduttore: (dal latino *trasducere* = condurre attraverso)

dispositivo fisico progettato per trasformare grandezze appartenenti a un sistema energetico in grandezze equivalenti appartenenti a un diverso sistema energetico



Esempio:

Energia

elettrica



Energia

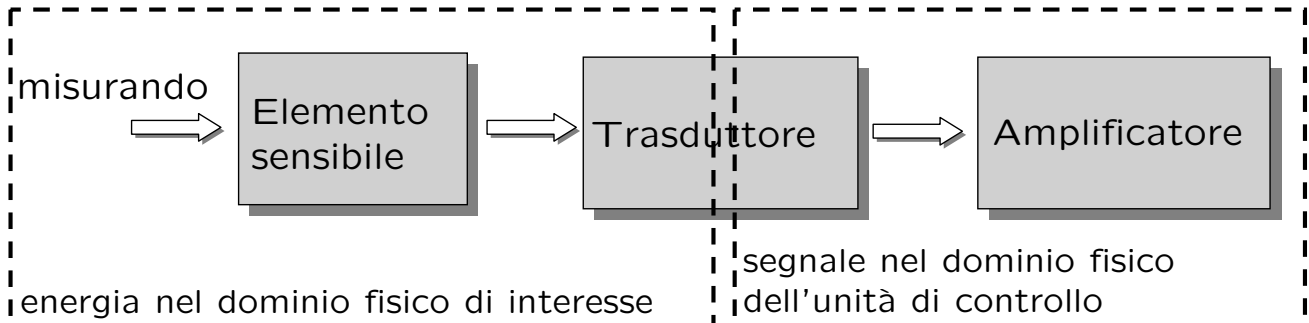
luminosa

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Sensore / *Sensor*

- Sensore:

Trasduttore utilizzato per misurare le condizioni operative del processo



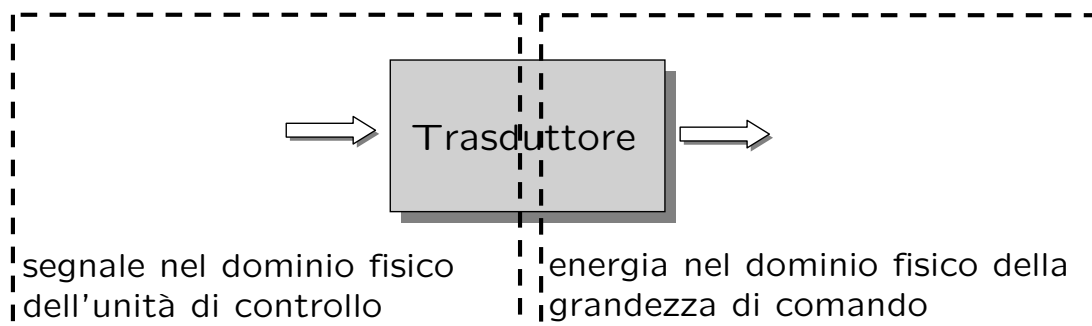
- Tipici domini fisici delle unità di controllo:
elettrico (pneumatico, idraulico)
- Esempi di vita quotidiana: termometro, microfono, occhio, bilancia, ...

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Attuatore / *Actuator*

- Attuatore:

Trasduttore utilizzato per trasformare un segnale di comando in azione sul processo



- Funzione complementare a quella del sensore
- Sono spesso realizzati per mezzo di più trasduttori
- Esempi di vita quotidiana: ventilatore, mano, ...

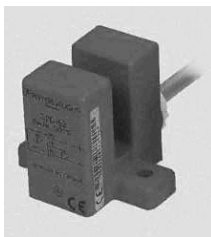
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Sensori: Classificazione

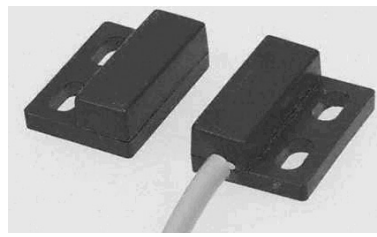
- Sulla base della tecnologia e del principio fisico utilizzato (ottico, piezoelettrico, ...)
- Funzione svolta e grandezza da misurare (m, K, ...)
- Particolare settore cui sono destinati
- In base al loro comportamento energetico:
 - **SENSORI ATTIVI** : convertono direttamente l'energia in ingresso in energia in uscita, senza dover essere alimentati dall'esterno. Esempio: celle fotovoltaiche (trasformano l'energia luminosa in energia elettrica).
 - **SENSORI PASSIVI** : necessitano di un'alimentazione esterna (eccitazione). Esempio: sensori che sfruttano le capacità resistive dei materiali.

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

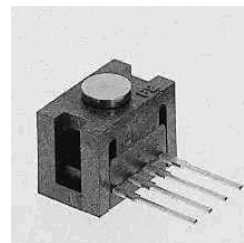
Esempi di sensori



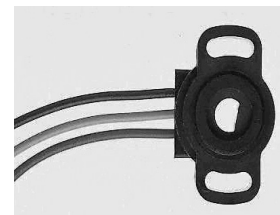
Sensore induttivo



Sensore magnetico



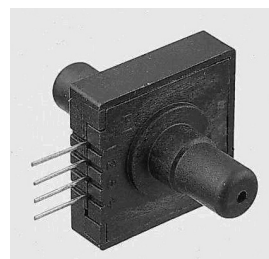
Sensore di forza



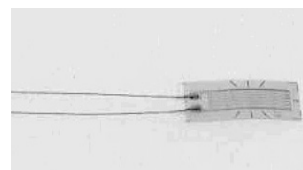
Sensore di posizione angolare



Sensore di flusso per liquidi



Sensore di pressione



Sensore di deformazione (Strain Gauge)

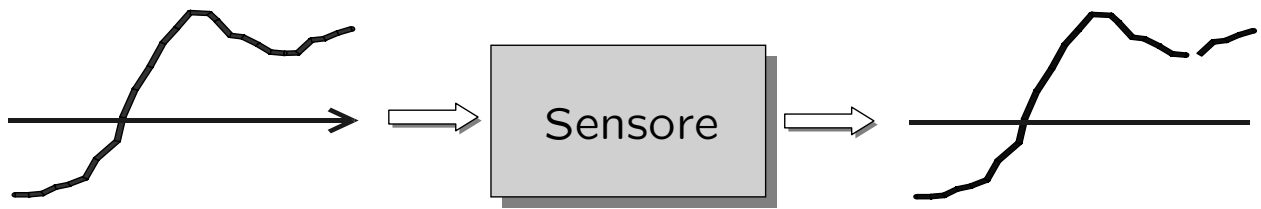


Sensore di temperatura (Termocopia)

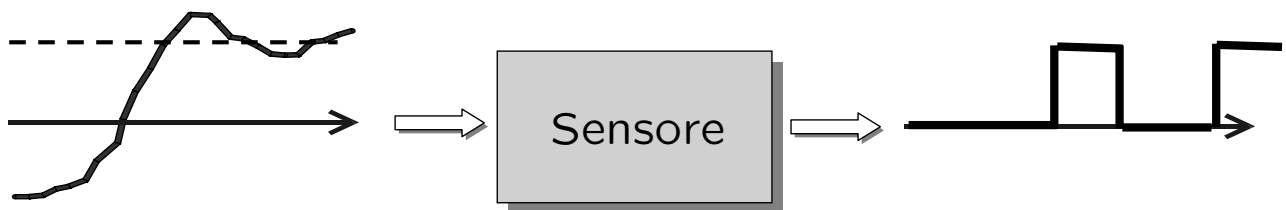
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Sensori: Classificazione

Sensori ad uscita continua: tutta l'informazione viene acquisita



Sensori ad uscita logica: solo una parte dell'informazione è acquisita



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Parametri fondamentali di un sensore

- Accuratezza
- Precisione/Ripetibilità
- Rangeability
- Linearità
- Sensitività
- Risoluzione
- Tempo di risposta (Risposta in frequenza)
- Taratura
- Isteresi
- Stabilità
- Affidabilità
- Range di ingresso
- Costo, dim. e peso
- Impedenza (in/out)
- Fattori ambientali
 - temperatura max/min
 - tempo di warm-up
 - umidità relativa
 - pressione max
 - presenza di gas, fumi,
- molti altri...

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Accuratezza / Accuracy

L'accuratezza (*accuracy*) di un sensore è il massimo scostamento tra la misura (o "lettura") fornita dal sensore e il "valore vero" del misurando

$$\text{Accuratezza in \% del fondo scala} \quad \epsilon_f = 100 \cdot \frac{X_m - X_v}{X_{FS}}$$

- X_v = valore vero del misurando
- X_m = valore misurato (nel caso peggiore)
- X_{FS} = valore di fondo scala

$$\text{Accuratezza in \% della misura} \quad \epsilon_a = 100 \cdot \frac{X_m - X_v}{X_v}$$

$$\text{Accuratezza assoluta} \quad \epsilon(X_v) = |X_m - X_v|$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Accuratezza / Accuracy

- Causa di mancanza di accuratezza:
errori sistematici (*Bias* o *systematic errors*)
- Calibrazione (*calibration*) del sensore:
aggiustamento dei parametri del sensore per farne corrispondere l'uscita a valori rilevati accuratamente con un altro strumento.
- Cause di "staramento" nel tempo: usura, sporco, ...

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

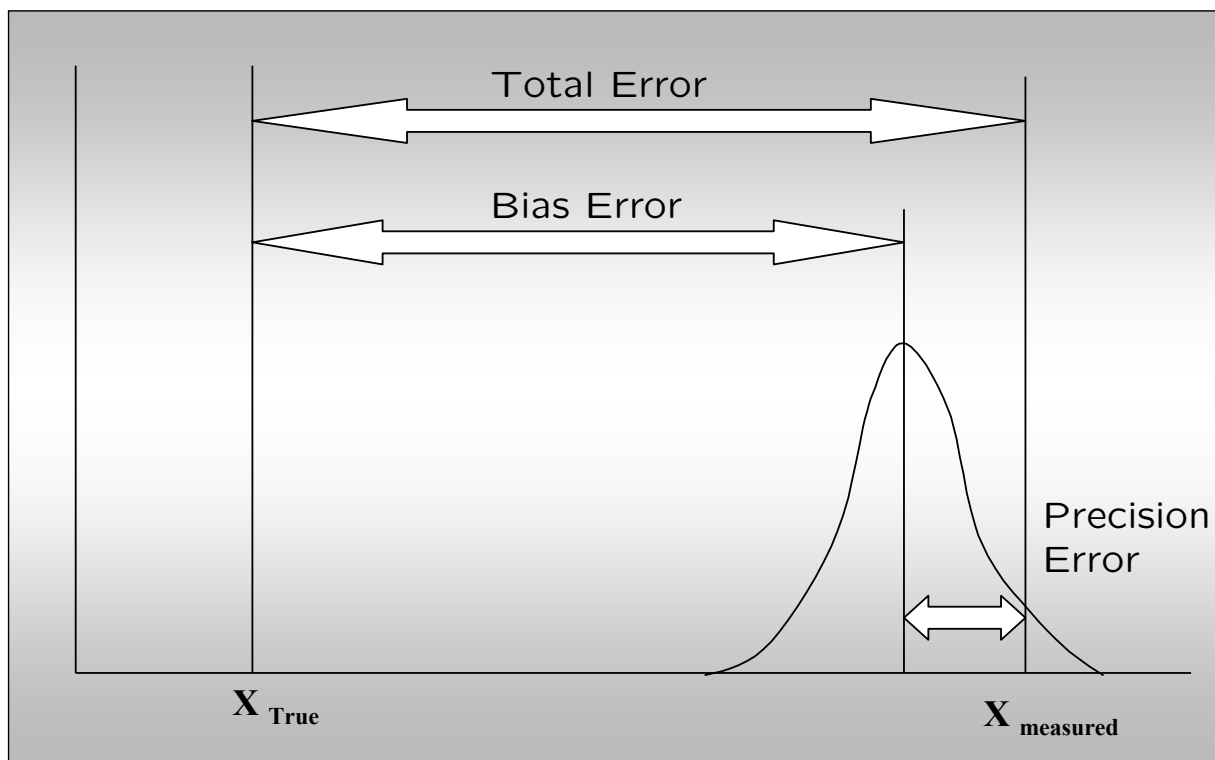
Precisione / *Precision*

La precisione (*precision*) o ripetibilità (*repeatability*) di un sensore esprime la riproducibilità di una misura, ossia esprime l'attitudine del sensore a fornire valori della grandezza in uscita poco diversi tra loro, a parità di segnale di ingresso (=stesso valore vero) e nelle stesse condizioni di lavoro

- Deriva da errori casuali (*random errors*) dovuti ad esempio a variabili incontrollate
- Viene calcolata come deviazione standard

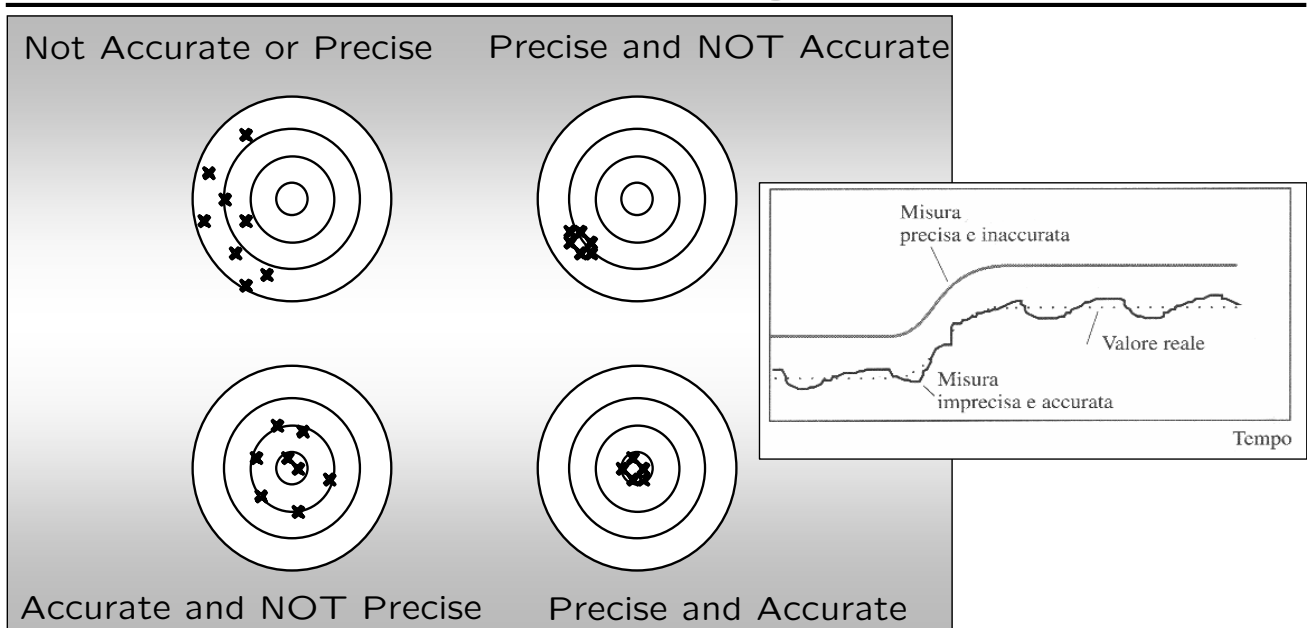
Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Bias, Precision, and Total Error



Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Accuracy versus Precision



Nota: i dati di accuratezza e precisione forniti dai costruttori sono relativi a specifiche condizioni di funzionamento (esempio: temperatura) e allo strumento ben tarato

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Rangeability (o turn-down)

La *rangeability* esprime il rapporto fra l'estremo superiore (fondo scala) e inferiore, normalizzato all'unità, del campo di misura nel quale si applicano i dati di accuratezza e precisione

Esempio: sensore di portata

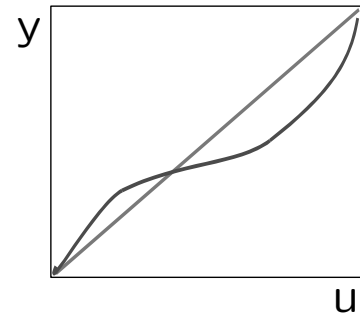
- rangeability = 20:1
- fondo scala = 100 kg/s
- accuratezza = 1%

registra con accuratezza dell' 1% portate comprese fra 5 e 100 Kg/s

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Caratteristica statica

- Caratteristica statica: legame $y=f(u)$ in condizioni di regime stazionario (u =misurando, y =segnale di misura)



- Sensori lineari: $|f(u) - Ku| \leq \varepsilon, \forall u \in \text{range}$

ε = accuratezza / precisione

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Sensitività e risoluzione

- Sensitività: $S(y) = \frac{\Delta y}{\Delta u}$ (S=cost. per sensori lineari)

Rapporto tra la variazione del segnale in uscita al trasduttore e la corrispondente variazione della grandezza in ingresso (es: per la termocoppia rame-costantana circa $45 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$).

- Risoluzione: minima variazione Δu_{\min} che dà luogo ad una variazione apprezzabile di y (ossia la più piccola quantità che può essere misurata)

$$R_{\max} = 100 \cdot \frac{\Delta u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \quad \text{risoluzione massima}$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

- Taratura (calibrazione):

L'operazione di taratura di un trasduttore corrisponde con la misurazione della grandezza di uscita per valori noti della grandezza di ingresso al trasduttore stesso.

- Isteresi:

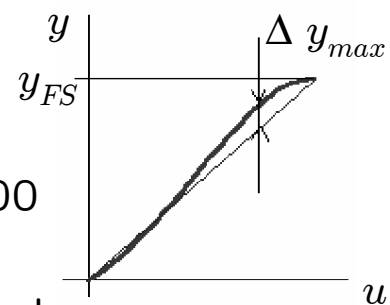
Corrisponde alla massima differenza tra i due cammini di andata e di ritorno dell'uscita di un trasduttore durante il ciclo di calibrazione. È espressa in *percentuale del fondo scala* (% f.s.).

Errori di non linearità, offset e guadagno

- Errore di non linearità: spostamento massimo dalla retta ideale

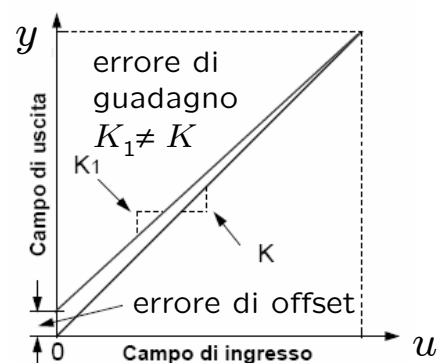
$$\text{Errore linearità \%} = (\Delta y_{max} / y_{FS}) * 100$$

y_{FS} = valore max d'uscita di fondo scala



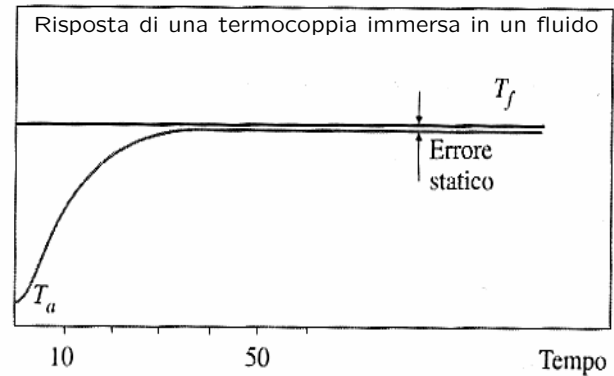
- Errore di offset e di guadagno:

$$e_G = 100 \frac{K_1 - K}{K}$$



Comportamento dinamico

- Ogni sensore ha la sua dinamica !
- Pertanto la risposta di un sensore non è istantanea
- Spesso è trascurabile rispetto alle dinamiche del processo (ma non sempre !)
- Esempio: risposta di una termocoppia immersa in un fluido



$$C \frac{dT}{dt} = \gamma A (T_f - T)$$

- C = capacità termica
- A = superficie di scambio fluido-pozzetto
- γ = coefficiente di scambio fluido-pozzetto

- Caratteristica dinamica: funzione di trasferimento da Δu a Δy

$$F(s, \bar{y}) = \left. \frac{\Delta y}{\Delta u} \right|_{y=\bar{y}} \quad \text{dove} \quad \lim_{s \rightarrow 0} F(s, \bar{y}) = S(\bar{y})$$

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Comportamento dinamico

- Tempo di risposta:

Quando in ingresso al trasduttore applichiamo una sollecitazione a gradino (cioè un gradino della grandezza da misurare) l'uscita (risposta) varierà fino a raggiungere, dopo un certo tempo, un nuovo valore. A tale proposito vengono definiti:

– **tempo di salita**: tempo impiegato per passare dal 10% al 90% del valore finale

– **tempo di risposta**: tempo impiegato per raggiungere una percentuale prefissata del valore finale.

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Stabilità e affidabilità (*reliability*)

- Stabilità:

Capacità del trasduttore a conservare inalterate le sue caratteristiche di funzionamento per un certo intervallo di tempo (lungo, medio, breve).

- Affidabilità:

È l'attitudine del sensore a fornire specificate prestazioni sotto determinate condizioni e per un certo periodo.

È espressa in termini statistici come la probabilità che il dispositivo funzioni senza guasti per un tempo specificato (nelle specificate condizioni di utilizzo)

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Criteri di scelta dei sensori

- Campo (*range*), ad esempio (200÷600 °C) e intervallo (*span*) di misura (400 °C)
- accuratezza, precisione, sensitività, risoluzione
- rangeability
- caratteristiche dinamiche
- livello di affidabilità
- costi (acquisto, installazione, manutenzione)
- problemi di installazione e pericolosità
- materiale di costruzione adatto al misurando ?

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Tipi di sensore

Grandezze misurabili	Trasduttori	Grandezze di uscita
Temperatura	Termocopie Resistenze al platino(RTD), termistori (PTC, NTC) Trasduttori a semiconduttore	Tensione Variazione di resistenza Corrente (tensione)
Forza- Pressione	Potenzimetri, estensimetri (strain gauge) Trasduttori capacitivi Trasduttori piezoelettrici	Variazione di resistenza Variazione di capacità Tensione
Posizione	Potenzimetri, estensimetri	Variazione di resistenza
Spostamento	Trasduttori capacitivi Trasformatori differenziali, Syncro Trasduttori induttivi Trasduttori ad effetto Hall Trasduttori ottici digitali (encoder incrementale) Fotodiodi, fototransistori	Variazione di capacità Tensione Variazione di induttanza Tensione Numero di impulsi Corrente(tensione)
Velocità	Trasduttori piezoelettrici Dinamo tachimetrica Trasduttore ottico digitale (encoder assoluto)	Tensione Tensione Frequenza di impulsi
Intensità luminosa	Fotodiodi, fototransistori Fotoresistenze Celle fotovoltaiche	Corrente(tensione) Variazione di resistenza Tensione

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08

Sensori: proprietà generali

Fine

Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08