

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Introduzione*

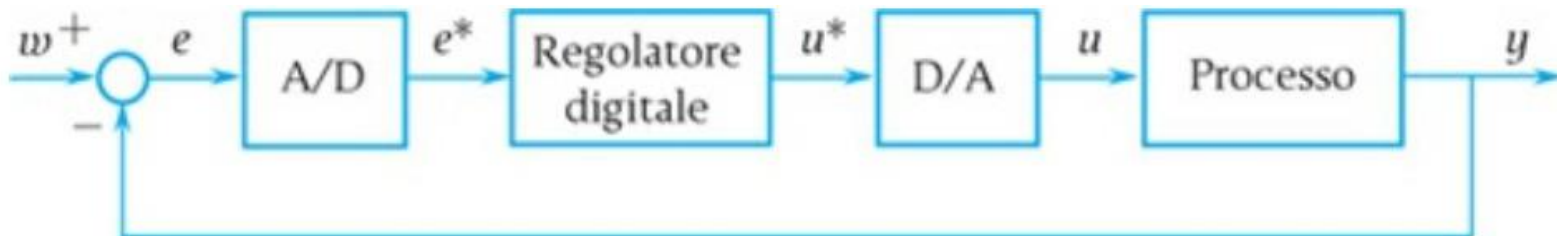
La disponibilità di sistemi di elaborazione con prestazioni crescenti e a costi sempre più contenuti fa sì che la maggior parte dei sistemi di controllo sia ormai realizzata con tecnologia digitale. L'impiego di calcolatori programmabili consente una grande flessibilità e la facoltà di realizzare algoritmi di controllo anche complicati, nei quali, per esempio, elaborate funzioni matematiche possono coesistere con sequenze di istruzioni logiche. Inoltre, negli apparati digitali è semplice integrare le funzionalità proprie di un sistema di controllo con altre, quali il monitoraggio delle variabili di interesse, l'impiego di metodi automatici per la conduzione ottimale del processo, la supervisione e la diagnostica.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

Lo schema di un possibile sistema di controllo digitale è riportato nella figura, dove  $u(t)$  è la variabile di controllo,  $y(t)$  è la variabile di uscita,  $w(t)$  è il riferimento ed  $e(t) = w(t) - y(t)$  rappresenta l'errore.

Poiché il *regolatore digitale* può ricevere in ingresso soltanto sequenze di numeri, è necessario prevedere la presenza del *convertitore analogico/digitale* A/D che trasformi il segnale a tempo continuo  $e(t)$  nel segnale a tempo discreto  $e^*(k)$ ; tale blocco è detto anche *campionatore*. Analogamente il *convertitore digitale/analogico* D/A, detto anche *mantenitore*, trasforma il segnale a tempo discreto  $u^*(k)$ , generato dal regolatore digitale, in quello a tempo continuo  $u(t)$ .

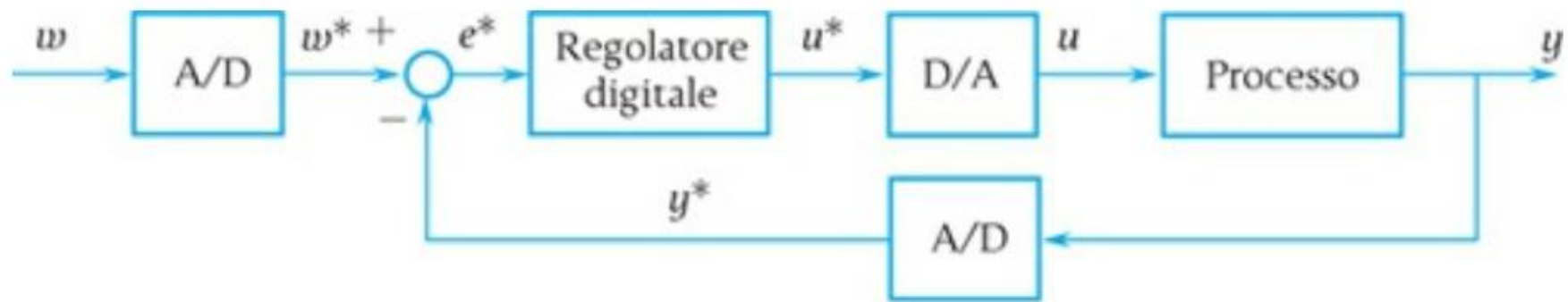


*Schema di controllo digitale a campionamento dell'errore.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

I sistemi di controllo digitale possono essere realizzati secondo schemi diversi da quello della figura riportata nella slide precedente, nel quale il campionamento è effettuato su  $e$ . Per esempio, come mostrato nella figura di questa slide, è possibile eseguire il campionamento separatamente su  $y$  e  $w$ , per ottenere i segnali a tempo discreto  $y^*$  e  $w^*$  e calcolare successivamente l'errore campionato  $e^*(k) = w^*(k) - y^*(k)$ . Nello schema della figura, molto spesso il segnale di riferimento è originato direttamente come un segnale a tempo discreto  $w^*$  e il campionamento si effettua soltanto sull'uscita  $y$  del processo. In tutti gli schemi è comunque necessaria la presenza di uno o più campionatori e del mantentore. Per semplicità, nel seguito si assumerà che il sistema sotto controllo sia SISO e si presenteranno alcune caratteristiche dei convertitori facendo riferimento allo schema della figura riportata nella slide precedente. Le considerazioni potranno essere replicate anche per lo schema della figura di questa slide con una sostituzione di simboli.



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

**Campionatore** – Il campionario *ideale* e *periodico*, denotato negli schemi a blocchi con una delle rappresentazioni della figura, è un convertitore che, dato in ingresso il segnale a tempo continuo  $e(t)$ , produce in uscita il segnale a tempo discreto

$$e^*(k) = e(kT_s + \tau_s)$$

dove  $T_s$  è il *periodo* (o *passo*, o *intervallo*) di campionamento, e rappresenta la durata dell'intervallo di tempo continuo che intercorre tra gli istanti in cui vengono prelevati due campioni successivi. A partire da  $T_s$  si possono definire anche la *frequenza*  $f_s$  e la *pulsazione*  $\omega_s$  di campionamento come

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad , \quad \omega_s = \frac{2\pi}{T_s}$$



*Rappresentazioni grafiche del campionario.*

REALTA' VIRTUALE

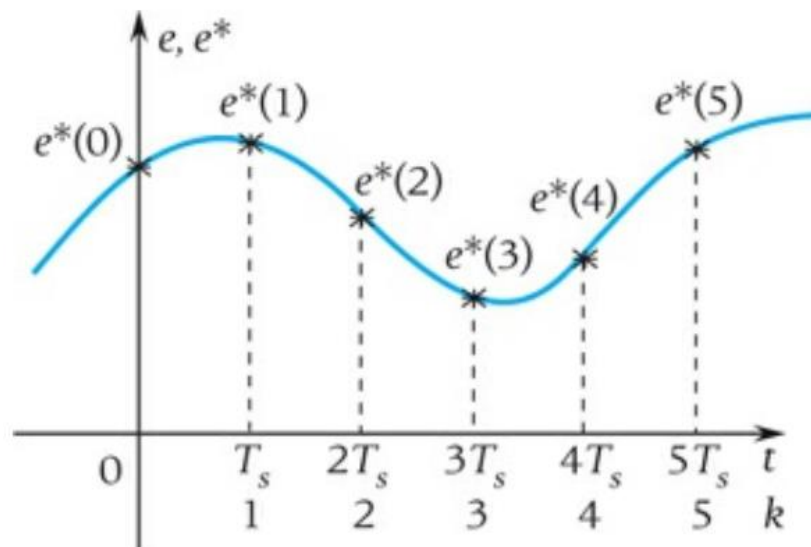
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

Nella

$$e^*(k) = e(kT_s + \tau_s)$$

il parametro  $\tau_s$  ( $0 \leq \tau_s < T_s$ ) tiene conto del fatto che tra gli istanti di campionamento può essere assente l'istante  $t = 0$ . Il significato dell'equazione, con  $\tau_s = 0$ , è rappresentato nella figura.



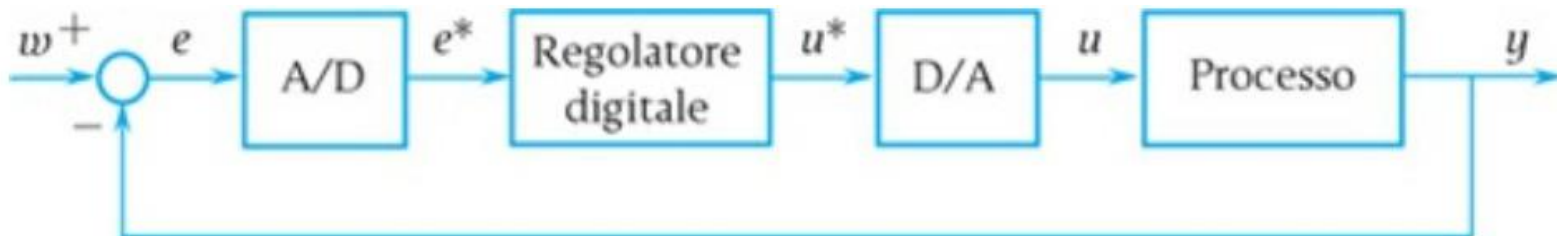
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

### *Problema fondamentale del campionamento (cenni)*

Il problema più importante connesso con l'impiego di segnali campionati è dovuto alla perdita di informazione che l'operazione di campionamento può comportare. Infatti è chiaro che *a priori* la stessa sequenza  $e^*(k)$  può essere generata da diverse funzioni a tempo continuo  $e(t)$  campionate con periodo  $T_s$ .

Ritornando all'analisi dello schema della figura, affinché il regolatore digitale possa operare correttamente, è indispensabile che l'errore campionato  $e^*$  rappresenti in modo completo e non ambiguo l'effettivo andamento di  $e$ . È necessario, cioè, che il campionamento non produca una perdita di informazione.



*Schema di controllo digitale a campionamento dell'errore.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

### *Quantizzazione (cenni)*

Il campionario qui considerato è ideale in quanto si suppone che negli istanti di campionamento il valore di  $e^*$  coincida perfettamente con quello di  $e$ . In realtà, nei sistemi digitali i valori reali  $e^*$  sono rappresentati con *parole* di lunghezza finita, cioè con un numero finito di *cifre binarie*, o *bit*. Il campionamento implica quindi inevitabilmente un'approssimazione, detta *quantizzazione*, dovuta alla codifica del segnale. A causa della quantizzazione, non sono distinguibili dopo il campionamento valori di  $e$  che differiscono tra loro di una quantità inferiore al livello di quantizzazione impiegato, cioè al cosiddetto *zero macchina*.

L'impatto della quantizzazione è tanto maggiore quanto minore è la lunghezza della parola con cui si codifica  $e^*$  e dipende fortemente dal fatto che si usi una rappresentazione in *virgola fissa* o in *virgola mobile*. Inoltre il fenomeno è tanto più critico quanto più piccolo è  $T_s$ .



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

**Mantenitore** – Il mantenitore, di solito rappresentato con uno dei simboli riportati nella figura, ha il compito di trasformare il segnale a tempo discreto  $u^*(k)$  nel segnale a tempo continuo  $u(t)$ . Questa operazione può essere effettuata in diverse maniere; il caso più semplice è quello in cui

$$u(t) = u^*(k) \quad , \quad kT_m + \tau_m \leq t < (k+1)T_m + \tau_m$$

dove  $T_m$  è il *periodo* (o *passo*, o *intervallo*) di *mantenimento*, o *aggiornamento*. A partire da  $T_m$  si possono definire anche la *frequenza*  $f_m$  e la *pulsazione*  $\omega_m$  di *mantenimento* come

$$f_m = \frac{1}{T_m} \quad , \quad \omega_m = \frac{2\pi}{T_m}$$



*Rappresentazioni grafiche del mantenitore.*



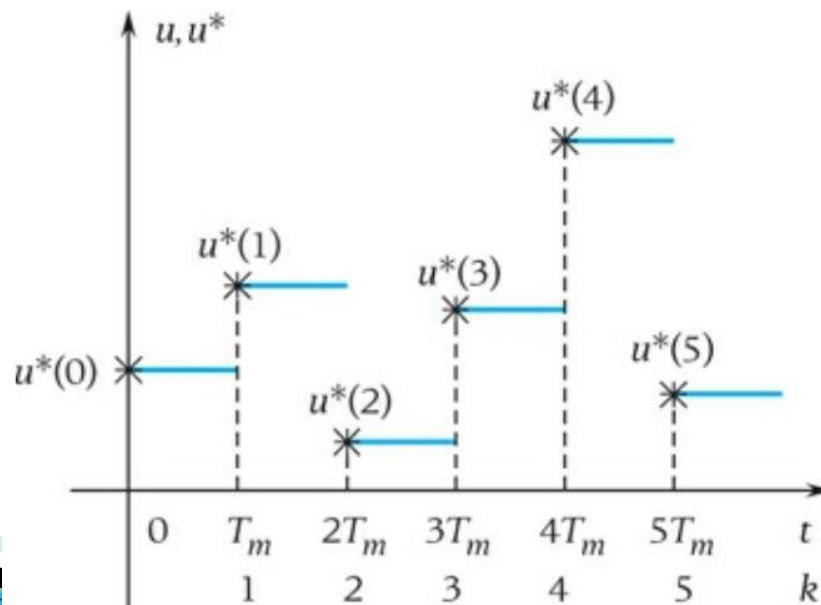
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

Nella

$$u(t) = u^*(k) \quad , \quad kT_m + \tau_m \leq t < (k+1)T_m + \tau_m$$

il parametro  $\tau_m$  ( $0 \leq \tau_m < T_m$ ) tiene conto del fatto che tra gli istanti di aggiornamento di  $u(t)$  può essere assente l'istante  $t = 0$ . Il mantenitore dell'equazione viene chiamato *mantenitore di ordine zero*, o *ZOH* (*Zero Order Hold*), in quanto mantiene per  $u(t)$  un andamento polinomiale di ordine zero, cioè costante, compatibile con l'ultimo valore di  $u^*(k)$ . Il funzionamento dello ZOH per  $\tau_m = 0$  è rappresentato nella figura.



*Mantenimento di ordine zero.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sistemi di controllo digitale – Schemi di controllo digitale*

**Temporizzazione** – Per il buon funzionamento del sistema di controllo digitale, le diverse operazioni di conversione e calcolo eseguite dagli elementi introdotti devono essere opportunamente temporizzate. Si può ipotizzare che il periodo di campionamento e di mantenimento coincidano, cioè che risulti

$$T_s = T_m = T$$

e  $T$  sarà chiamato ancora periodo di campionamento. Si può assumere inoltre  $\tau_s = 0$  e che il tempo  $\tau_c$  necessario per calcolare  $u^*(k)$  sia inferiore a un periodo di campionamento, cioè

$$\tau_c < T$$

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

La realizzazione di una qualunque azione atta a modificare in modo predeterminato (cioè non casuale) un sistema fisico richiede due tipi di interventi qualitativamente molto diversi: il primo consiste nella manipolazione delle grandezze fisiche che intervengono nel sistema stesso, il secondo nella manipolazione delle informazioni che definiscono le modalità con le quali devono essere manipolate le grandezze fisiche sopradette. Si parla quindi di *manipolazione materiale* e *manipolazione simbolica* con riferimento al fatto che la manipolazione riguarda, nel primo caso, oggetti concreti e, nel secondo caso, oggetti astratti (come *dati* ed *informazioni* in genere) rappresentati, appunto, mediante *simboli*.

In questa accezione, con l'espressione *sistemi di controllo* ci si intende riferire a quei dispositivi tecnologici che, controllati da altri dispositivi in grado di compiere opportune *manipolazioni simboliche*, forniscono le *manipolazioni materiali* desiderate (ovvero realizzano l'automazione del processo dato).

Una delle possibili modalità di classificazione dei componenti dei sistemi di controllo può essere ottenuta con riferimento al tipo di manipolazione che ciascuno di essi contribuisce a realizzare oppure alla capacità di fornire una misura e/o una trasduzione delle grandezze da manipolare.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

Più precisamente, si possono definire le seguenti classi di componenti (a loro volta suddivise in famiglie):

- 1) Componenti per le manipolazioni materiali
  - attuatori
  - amplificatori
- 2) Componenti per la misura e la trasduzione
  - sensori
  - trasduttori
- 3) Componenti per le manipolazioni simboliche
  - filtri
  - controllori e regolatori

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

### *Attuatori*

Si indicano con questo nome quei dispositivi all'interno dei quali avviene una trasformazione di energia da un tipo (elettrico, termico, meccanico, ...) a un altro e, a differenza di quanto accade in certi tipi di trasduttori, con potenza rilevante.

La grandezza di uscita degli attuatori può essere ad esempio un moto: in questo caso si parla di *motori* oppure di *turbine* nel caso in cui l'energia di ingresso sia quella posseduta da un fluido (acqua, gas, vapore). Se, invece, l'uscita è di tipo pneumatico o idraulico e l'ingresso è di tipo meccanico, si parla di *pompe*. Se, ancora, si ha un ingresso di tipo meccanico e un'uscita di tipo elettrico si parla di *generatori elettrici*.

In altri tipi di attuatori, come per esempio gli altoparlanti, l'energia elettromagnetica in ingresso si trasforma in una vibrazione meccanica e, quindi, in un segnale acustico.

Le costanti di tempo degli attuatori sono, in generale, le più grandi tra quelle messe in gioco dai diversi componenti di un sistema di controllo (escludendo, però, le parti del processo controllato).

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

### *Amplificatori*

La funzione degli *amplificatori* è quella di fornire una grandezza di uscita di potenza più elevata rispetto a quella del segnale di ingresso.

Le costanti di tempo messe in gioco dagli amplificatori sono in generale nettamente inferiori a quelle che compaiono nei componenti (esempio: attuatori) ai quali sono collegati, cosicché la relazione ingresso-uscita che ne descrive il funzionamento si può approssimare, non di rado, con una relazione algebrica.

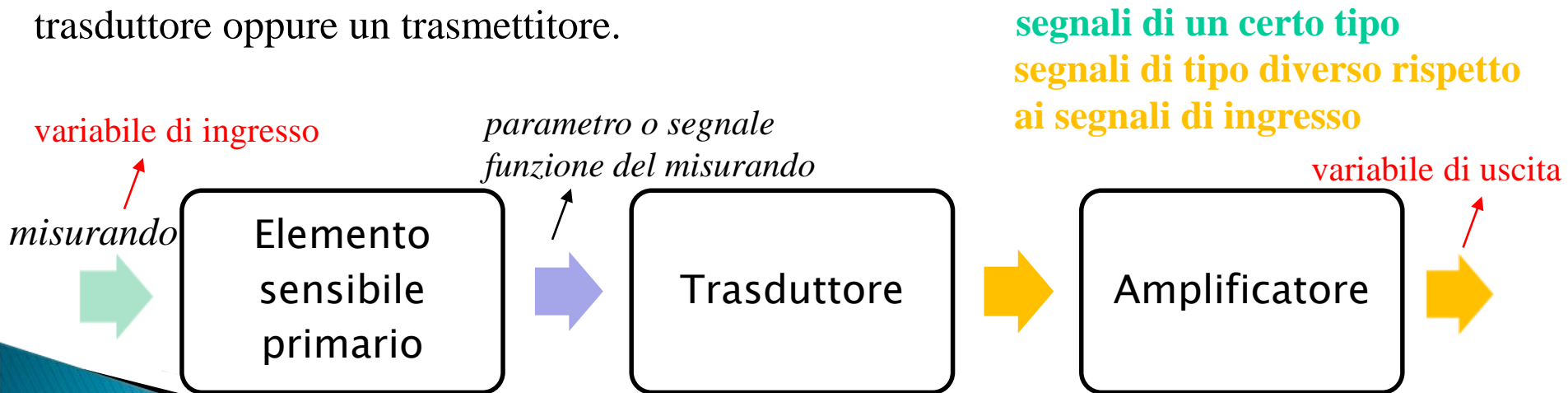
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

### *Componenti per la misura e la trasduzione*

I dispositivi di misura sono costituiti di solito da un *elemento sensibile primario*, un *trasduttore* e un *amplificatore*, che fornisce un segnale di uscita normalizzato. L'insieme di questi elementi prende il nome di trasmettitore. L'elemento sensibile fornisce un parametro o un segnale funzione della variabile che si vuole misurare (*misurando*) e il trasduttore lo trasforma in un segnale di natura diversa, generalmente di tipo elettrico (corrente, tensione). Talvolta elemento sensibile e trasduttore coincidono: è il caso della termocoppia, che fornisce una tensione funzione della temperatura.

Il termine *trasduttore* è utilizzato talvolta come sinonimo di dispositivo di misura. Più spesso si utilizza il più generico termine di *sensore* per indicare un elemento sensibile, un trasduttore oppure un trasmettitore.



*Componenti di un dispositivo di misura.*



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

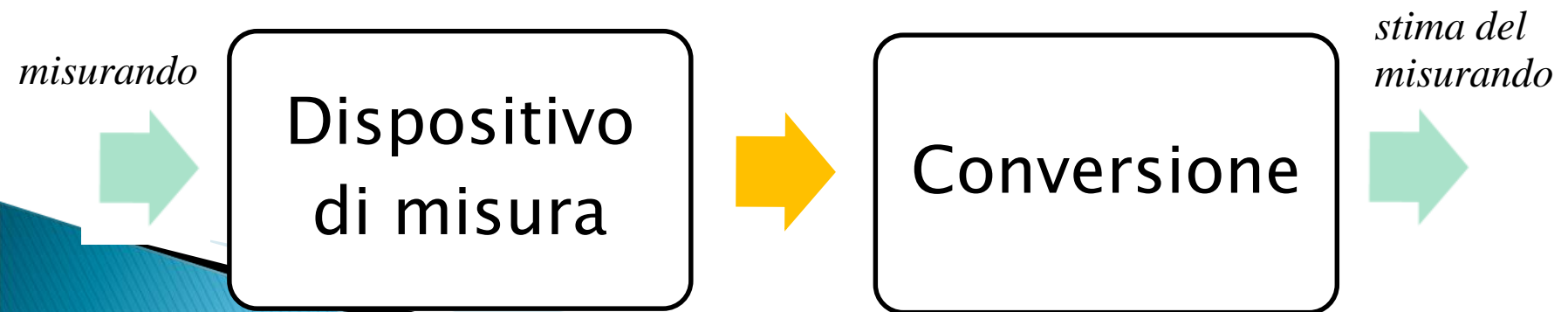
## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

### *Componenti per la misura e la trasduzione*

I dispositivi di misura sono costituiti di solito da un *elemento sensibile primario*, un *trasduttore* e un *amplificatore*, che fornisce un segnale di uscita normalizzato. L'insieme di questi elementi prende il nome di trasmettitore. L'elemento sensibile fornisce un parametro o un segnale funzione della variabile che si vuole misurare (*misurando*) e il trasduttore lo trasforma in un segnale di natura diversa, generalmente di tipo elettrico (corrente, tensione). Talvolta elemento sensibile e trasduttore coincidono: è il caso della termocoppia, che fornisce una tensione funzione della temperatura.

Il termine *trasduttore* è utilizzato talvolta come sinonimo di dispositivo di misura. Più spesso si utilizza il più generico termine di *sensore* per indicare un elemento sensibile, un trasduttore oppure un trasmettitore.

**segnali di un certo tipo  
segnali di tipo diverso rispetto  
ai segnali di ingresso**



*Dispositivo di misura e conversione.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Classificazione dei componenti dei sistemi di controllo*

### *Filtri*

Si indicano con questo nome quei dispositivi, sia analogici sia numerici, che effettuano manipolazioni simboliche di un qualunque tipo, cioè danno in uscita grandezze ottenute elaborando opportunamente le informazioni contenute nelle grandezze di ingresso.

### *Controllori e regolatori*

Si indicano con questo nome dei dispositivi, sia analogici sia digitali, che eseguono manipolazioni simboliche di tipo particolare; essi cioè, avendo in ingresso opportune informazioni sullo stato di un sistema, forniscono, in uscita, il controllo necessario per ottenere le manipolazioni materiali richieste.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Accuratezza*

*Accuratezza* è il termine usato per esprimere quanto la misura si avvicina al valore «vero» del misurando. Il fatto che il valore vero sia, in generale, sconosciuto e non conoscibile, evidenzia la difficoltà concettuale che si incontra nel definire quantitativamente l'accuratezza di uno strumento. Il «valore vero» sarà in realtà un valore di riferimento, ottenibile anch'esso per misurazione, ma utilizzando un metodo considerato esemplare. Difficoltà di carattere pratico sono dovute al fatto che la misura, in generale, non è influenzata solo dal misurando, ma anche da altre variabili, come la temperatura, l'umidità, la pressione, la presenza di vibrazioni e accelerazioni. Nella pratica ingegneristica, l'accuratezza  $\varepsilon$  di uno strumento è di solito specificata da un unico valore, il cui significato è quello di massimo scostamento tra le misure («letture») fornite dal sensore e la curva di taratura sull'intero campo di misura. Può essere espressa come *percentuale del campo di misura*, o *del fondo scala*, se un estremo del campo di misura è lo zero, oppure *della misura*.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Accuratezza*

Nel primo caso (percentuale del fondo scala) si ha:

$$\varepsilon_f = 100 \cdot \frac{X_m - X_v}{X_{FS}}$$

con  $X_v$  = valore vero,  $X_m$  = valore misurato più distante da  $X_v$ ,  $X_{FS}$  = valore di fondo scala.

Nel secondo caso (percentuale della misura) si ha:

$$\varepsilon_a = 100 \cdot \frac{X_m - X_v}{X_v}$$

In generale, sia  $\varepsilon_f$  sia  $\varepsilon_a$  sono funzioni di  $X_v$ . Il valore di  $\varepsilon_f$  è poco significativo se l'escursione della misura è ampia. Per esempio, ogni lettura di un sensore con accuratezza del 1% del fondo scala, supponendo un campo di misura  $0 \div 100$ , è affetta da un errore che può arrivare a (più o meno) un'unità. Se il valore letto è piccolo, l'errore relativo alla misura può diventare molto grande.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Accuratezza*

Per esempio, se il valore letto è 20, l'errore di un'unità corrisponde al 5% di 20.

L'accuratezza viene talvolta espressa in valore assoluto, indicando l'errore come massimo sul campo di misura, oppure come funzione della misura. Per esempio, per una termocoppia l'errore può essere  $\pm 1^\circ\text{C}$  sul campo di misura di  $200 \div 400^\circ\text{C}$  oppure variare linearmente da  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  a  $\pm 4^\circ\text{C}$  in funzione della temperatura sul campo  $0 \div 800^\circ\text{C}$ .

La mancanza di accuratezza deriva da errori sistematici, che dipendono principalmente dalla calibrazione del sensore. La calibrazione, cioè l'aggiustamento dei parametri del sensore per farne corrispondere l'uscita a valori rilevati accuratamente con altro strumento, deve essere ripetuta periodicamente, per mantenere i livelli di accuratezza. Tutti i sensori, infatti, si starano nel tempo per sporcamento, usura o altri fattori.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Ripetibilità*

Il termine *precisione* (o *ripetibilità*) è riferito alla ripetitività (o riproducibilità) della misura, ossia esprime la dispersione di successive misure dello stesso misurando nelle medesime condizioni (stesso valore reale). La precisione di un sensore può essere calcolata in pratica come il massimo scostamento tra una generica lettura e la miglior stima della misura ottenuta con il sensore e poiché deriva da errori casuali, può essere aumentata con medie di successive letture.

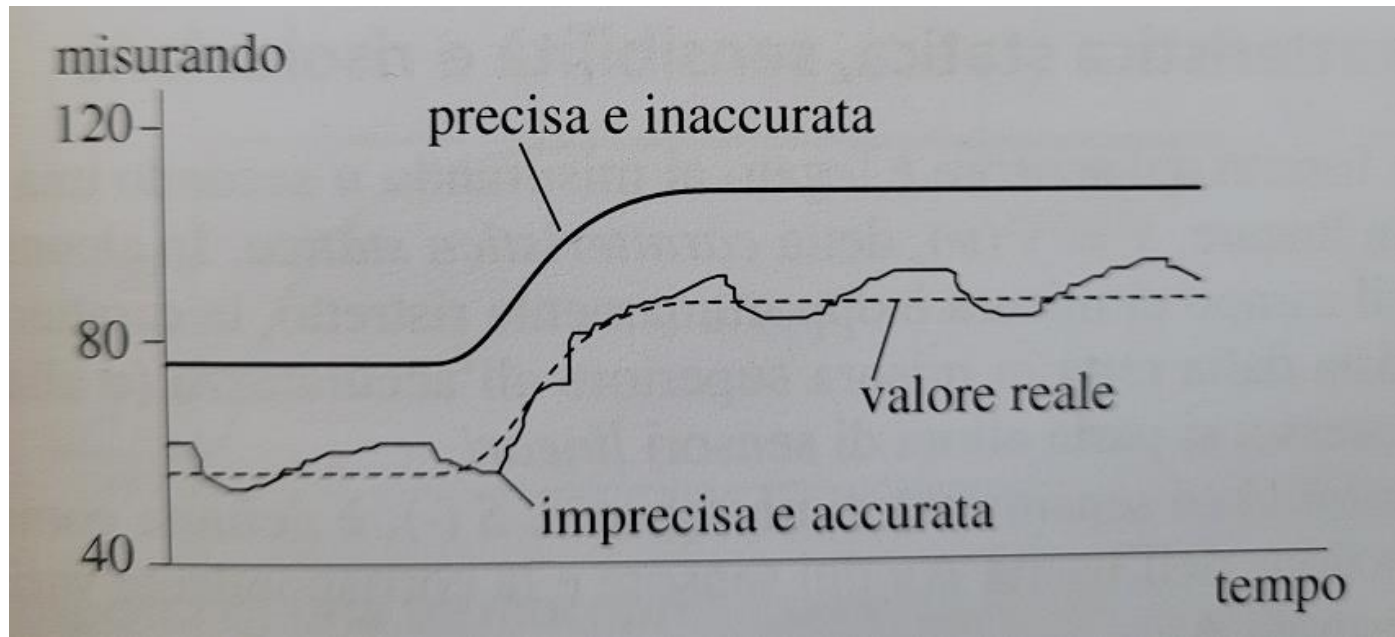
# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Accuratezza e Ripetibilità*

La figura illustra i due concetti appena introdotti: la linea tratteggiata rappresenta i valori reali della variabile da misurare, quella marcata indica l'uscita di un misuratore preciso ma poco accurato, l'altra linea mostra la variabilità della misura fornita da un sensore più accurato ma anche più impreciso.



*Precisione e accuratezza.*



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Accuratezza, ripetibilità e rangeability**

#### *Rangeability*

I concetti di accuratezza e precisione richiamano quello di *rangeability*. Normalmente, infatti, i dati di accuratezza e precisione non si applicano all'intero campo di misura del sensore ma solo a una sua parte, per esempio dal 10 al 100% con un campo di misura 0 – 100%. Nella parte rimanente non sono specificati e possono essere anche molto scadenti. Il termine *rangeability* (o anche *turn-down*) esprime di solito il rapporto tra l'estremo superiore (fondo scala) e quello inferiore, normalizzato all'unità, del campo di misura nel quale si applicano i dati di accuratezza e precisione.

Per esempio, un sensore di portata con *rangeability* di 20:1, con fondo scala di 300 *kg/s* e accuratezza del 1% (della misura), registra, con tale accuratezza, portate comprese tra 15 e 300 *kg/s*. È da sottolineare infine che i dati di accuratezza e precisione forniti dai costruttori sono relativi a specificate condizioni di installazione e funzionamento, solitamente individuate da un campo di valori di temperatura, e allo strumento ben tarato.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Caratteristica statica, sensibilità e risoluzione**

Il segnale  $y$  fornito dal trasduttore è legato al misurando  $u$  secondo una funzione, in generale non lineare,  $y = f(u)$ , detta *caratteristica statica*. In alcuni sensori, soprattutto se il campo di misura è opportunamente ristretto, la caratteristica statica non si discosta dalla retta in misura superiore all'accuratezza (o alla precisione) del sensore stesso; si parla allora di sensori *lineari*.

La *sensibilità* (o *sensitività*) di un sensore,  $S(\cdot)$ , è definita come il rapporto tra una variazione dell'uscita  $\Delta y$  del sensore e la corrispondente variazione della variabile misurata  $\Delta u$ :

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

Se il sensore ha caratteristica statica non lineare,  $S(\cdot)$  è una funzione del valore dell'uscita stessa, mentre è costante se la caratteristica è lineare. In questo caso la sensibilità  $S(\cdot)$  coincide con il guadagno (statico) del sensore.

Il termine sensibilità è utilizzato a volte impropriamente per indicare la risoluzione di un sensore, definita come la minima variazione della variabile misurata che dà luogo a una variazione rilevabile dell'uscita.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Caratteristica statica, sensibilità e risoluzione**

La *risoluzione* è generalmente espressa come percentuale del campo di misura. Per esempio, se un sensore di temperatura produce un incremento  $\Delta V$  nell'uscita in tensione in seguito a una variazione di temperatura  $\Delta T$ , la risoluzione  $R$  è la più piccola variazione  $\Delta T$  (definita  $\Delta T_{\min}$ ) che produce una variazione  $\Delta V$  rilevabile:

$$R = 100 \cdot \frac{\Delta T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

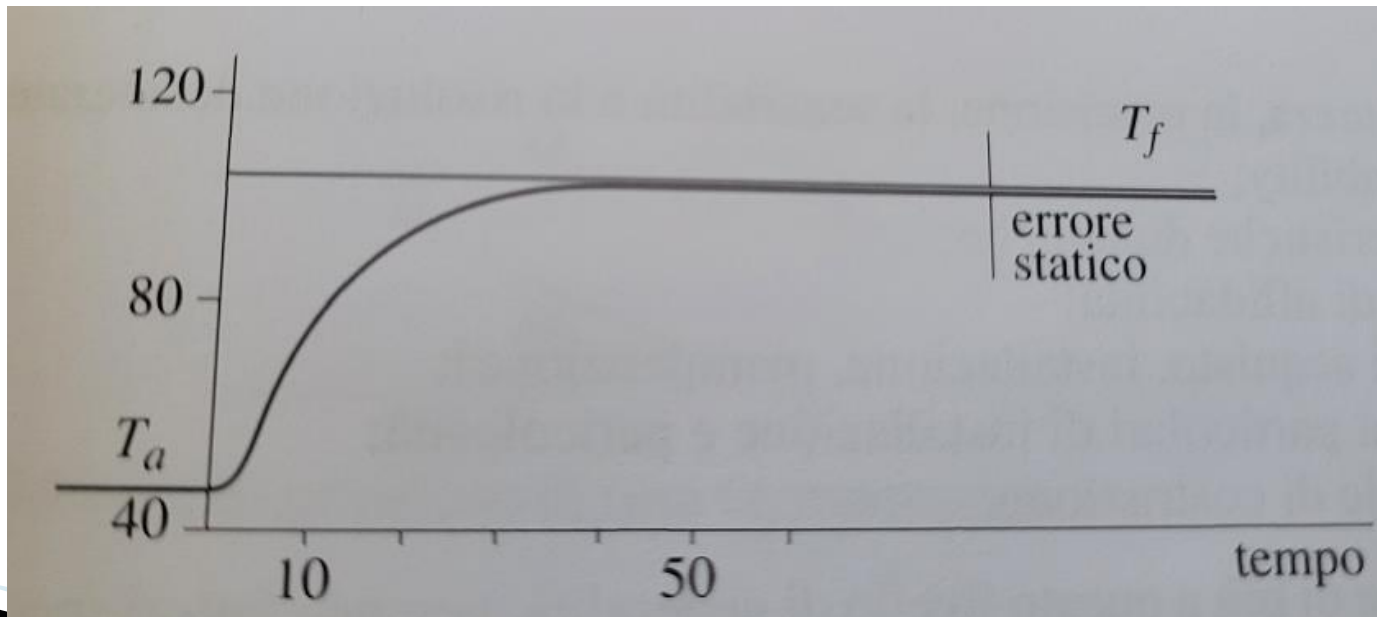
La risoluzione può essere diversa in punti diversi del campo di misura, nel qual caso può essere utile assegnarne il valor medio oppure quello minimo, comunemente detto risoluzione massima.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Comportamento dinamico**

La risposta di un sensore non è in generale istantanea. Il segnale fornito inseguirà una brusca variazione della variabile misurata con ritardo più o meno rilevante, a seconda delle caratteristiche dinamiche del sensore stesso e di aspetti inerenti la sua installazione. La figura è rappresentativa della risposta di una termocoppia e corrisponde all'immersione della stessa, inizialmente a temperatura  $T_a$ , in un fluido a temperatura  $T_f$ . La risposta è approssimabile a quella di un sistema dinamico



*Risposta di una termocoppia immersa in un fluido.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Comportamento dinamico**

caratterizzato da una costante di tempo dominante di circa 10 s. Il tempo impiegato per raggiungere il valore di regime dipende prevalentemente dal pozzetto metallico in cui la giunzione sensibile è incapsulata, allo scopo di proteggerla da fenomeni di corrosione.

La temperatura media  $T_p$  del pozzetto, e quindi quella della giunzione, di capacità termica molto più piccola, si porta alla temperatura del fluido secondo la relazione:

$$C_p \frac{dT_p}{dt} = \gamma A (T_f - T_p)$$

dove  $C_p$  è la capacità termica del pozzetto, mentre  $A$  e  $\gamma$  sono rispettivamente l'area della superficie di scambio fluido-pozzetto e il coefficiente di scambio fluido-pozzetto.

Ricordando

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad G(s) = \frac{\mu}{1 + Ts}$$

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### Comportamento dinamico

si ha

$$\begin{aligned}x &= y = T_p & A &= -\frac{\gamma A}{c_p} & C &= 1 & G(s) &= \frac{1}{\frac{c_p}{\gamma A}s + 1} \\u &= T_f & B &= \frac{\gamma A}{c_p} & D &= 0\end{aligned}$$

Il sistema dinamico ha un unico autovalore  $-\frac{\gamma A}{c_p}$  reale e negativo (sistema asintoticamente stabile).

La costante di tempo  $T = \frac{c_p}{\gamma A}$  difficilmente scende sotto la decina di secondi, anche considerando che  $\gamma$  dipende dalle proprietà del fluido a contatto e dalla sua velocità relativa al pozzetto.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Proprietà generali dei sensori*

### **Comportamento dinamico**

Il comportamento dinamico del sensore, almeno per piccole variazioni attorno a un punto di linearizzazione  $\bar{y}$ , può essere descritto dalla *caratteristica dinamica*, cioè dalla funzione di trasferimento

$$F(s) = \frac{\Delta Y(s)}{\Delta U(s)}$$

con

$$\lim_{s \rightarrow 0} F(s) = S(\bar{y})$$

A volte i costruttori si limitano a fornire uno o più elementi qualificanti della  $F(s)$ , come la banda passante, il tempo di risposta ed eventuali risonanze.

La velocità di risposta è un elemento da valutare attentamente nella scelta, nella localizzazione e nell'installazione di un sensore.



# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Misura e sensori – Scelta dei sensori*

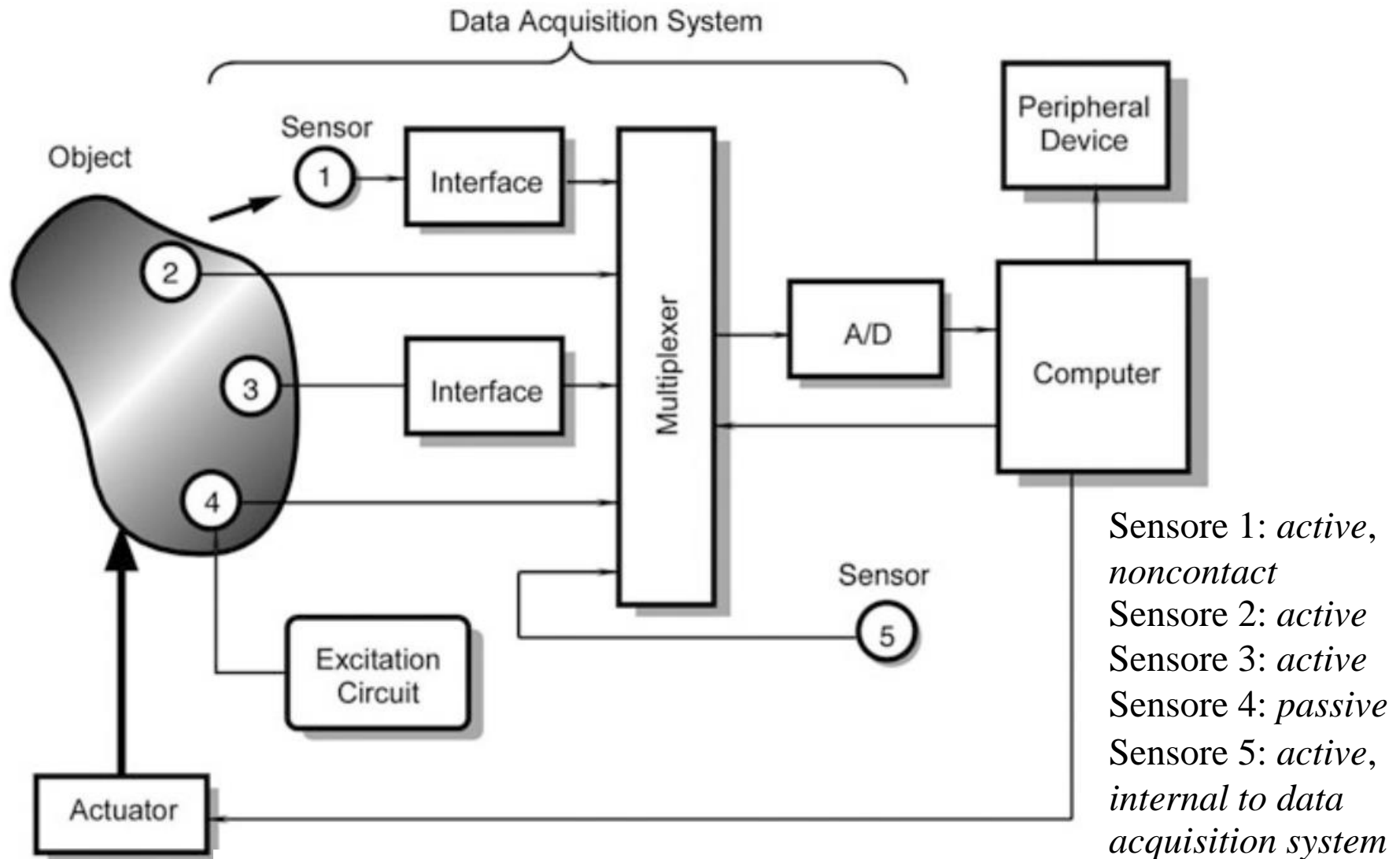
I fattori che intervengono nella scelta di un sensore possono essere molti e di natura anche molto diversa. I seguenti sono di solito presi in considerazione:

- il campo, o range (per esempio,  $200 \div 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e l'intervallo, o span ( $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), di misura;
- l'accuratezza, la precisione, la sensibilità e la risoluzione desiderate;
- la rangeability;
- le caratteristiche dinamiche;
- il livello di affidabilità;
- i costi (di acquisto, installazione, manutenzione);
- i problemi particolari di installazione e pericolosità;
- il materiale da costruzione.

Il campo di misura e la risoluzione complessiva si influenzano mutuamente nel caso di conversione digitale del segnale fornito dal sensore. Considerando per esempio una termocoppia con campo  $0 \div 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , la conversione a 12 bit (0-4095) causa una perdita di risoluzione di circa  $0.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Riducendo l'estensione del campo, la risoluzione aumenta proporzionalmente.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori – Alcune classificazioni*



*Esempi di sensori in un sistema di acquisizione dati.*

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori – Alcune classificazioni*

La figura riportata nella slide precedente mostra uno schema a blocchi di un sistema di acquisizione dati e controllo. L'oggetto può essere ad esempio una macchina, un'astronave, un animale o un umano, un liquido, un gas. Qualsiasi oggetto materiale può diventare un oggetto che può essere utilizzato per effettuare misure o azioni di controllo. I dati vengono collezionati sull'oggetto mediante sensori. Alcuni di essi (2, 3, 4) sono posizionati direttamente sull'oggetto o dentro l'oggetto. Il sensore 1 percepisce l'oggetto senza contatto fisico; per tale motivo è chiamato sensore *senza contatto* (*noncontact*). Esempi di tali sensori sono i rilevatori di radiazioni e le telecamere. Anche se essi vengono definiti *noncontact*, si ricorda che tra il sensore e l'oggetto si verifica sempre un trasferimento di energia.

Il sensore 5 ha una funzione differente rispetto a quella dei sensori 1, 2, 3, 4. Esso monitora le condizioni interne del sistema di acquisizione dati. Alcuni sensori (1 e 3) non possono essere direttamente connessi a circuiti elettronici standard poiché non sono caratterizzati da formati standard del segnale di output. Essi quindi richiedono l'utilizzo di opportuni dispositivi di interfaccia (per il condizionamento dei segnali) al fine di produrre un formato specifico per il segnale di output.

# ELEMENTI DI SENSORISTICA E ATTUAZIONE

## *Sensori – Alcune classificazioni*

I sensori 1, 2, 3 e 5 sono *attivi*. Essi generano segnali elettrici senza richiedere consumo di energia da parte di circuiti elettronici. Il sensore 4 è *passivo*: esso richiede un segnale operativo che viene fornito da un circuito di eccitazione. Un esempio di sensore passivo è il termistore, che è un resistore sensibile alla temperatura. Ha bisogno di una sorgente di corrente, la quale rappresenta un circuito di eccitazione.

In base alla complessità del sistema, il numero totale di sensori può variare da uno (esempio: termostato domestico) a molte migliaia (esempio: stazione spaziale).

I segnali elettrici provenienti dai sensori vengono inviati a un multiplexer. La sua funzione è quella di collegare i sensori, uno alla volta, a un convertitore analogico-digitale (A/D) se il sensore produce un segnale analogico, o direttamente a un computer se il sensore produce segnali in formato digitale. Il computer controlla il multiplexer e il convertitore A/D allo scopo di garantire una temporizzazione appropriata. Inoltre, il computer può inviare segnali di controllo a un attuatore (esempio: motore elettrico) che agisce sull'oggetto. Il sistema contiene alcune periferiche (esempi: data logger, display, allarme) e altri componenti che non sono mostrati nello schema a blocchi (esempi: filtri, circuiti di campionamento e mantenimento, amplificatori).

## *Riferimenti Bibliografici*

- [1] Bolzern, P., Scattolini, R., Schiavoni, N. (2015). Fondamenti di controlli automatici. McGraw-Hill Education. ISBN: 978-88-386-6882-1
- [2] Bertoni, G., Penati, M.E., Simonini, S. (2001). I componenti dell'automazione. Progetto Leonardo, Bologna.
- [3] Magnani, G., Ferretti, G., Rocco, P. (2007). Tecnologie dei sistemi di controllo. McGraw-Hill Education. ISBN-10: 8838663211
- [4] Fraden, J. (2016). Handbook of Modern Sensors. Springer Cham. ISBN: 978-3-319-19302-1