

# Fondamenti di Bioingegneria

***Laurea in  
Ingegneria Informatica, Biomedica e delle  
Telecomunicazioni***

**Fabio Baselice**

*Principi di misure*

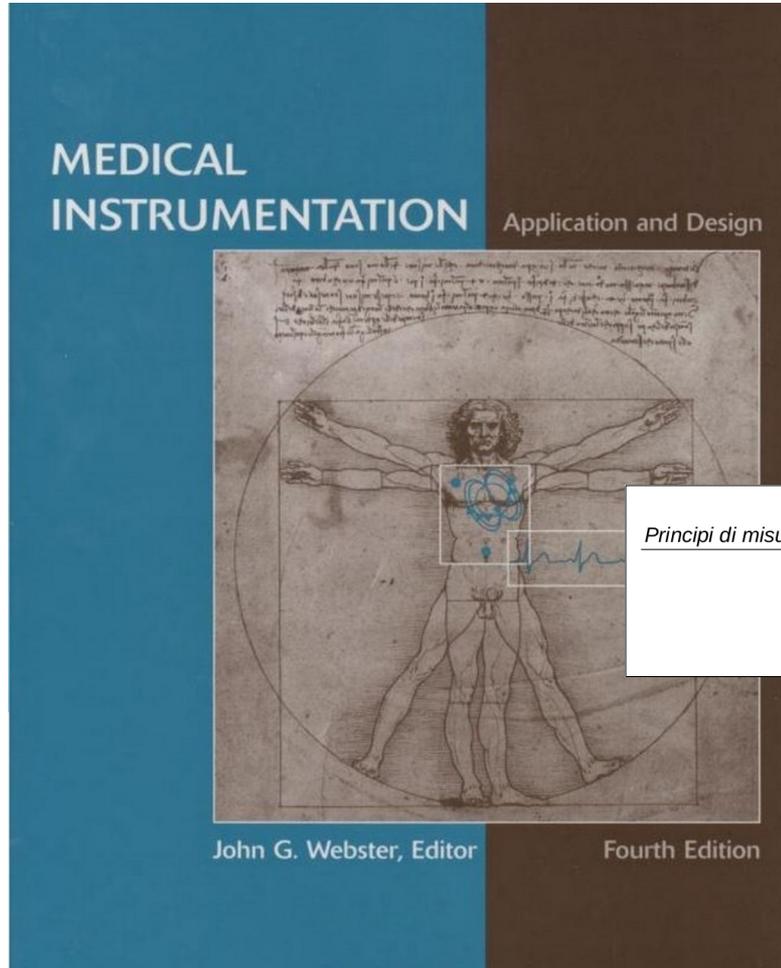


# Argomenti

- Rumore
- Errore di misura
- Misure in ambito biomedico
- Trasduttori



# Fonti



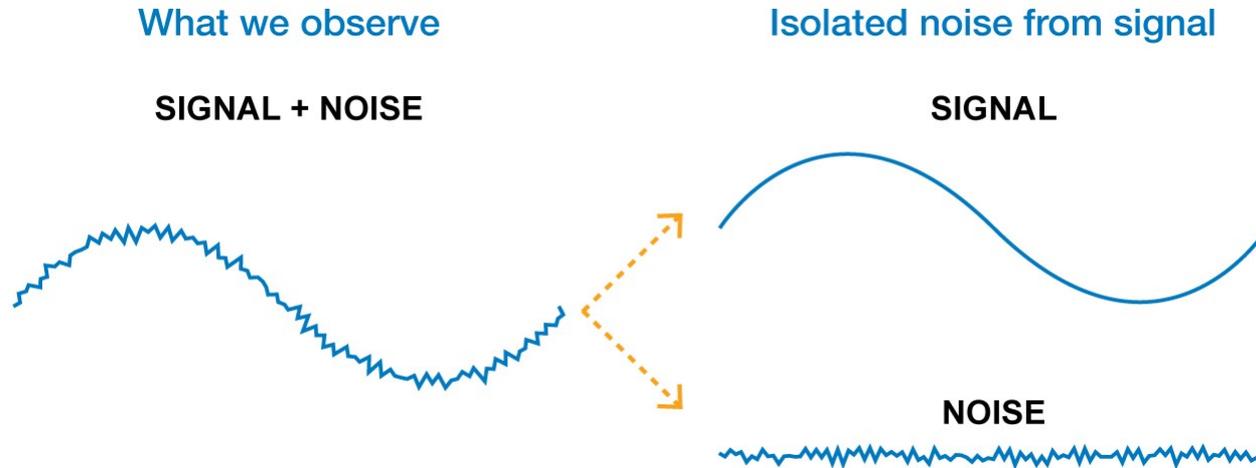
*Principi di misure biomediche e trasduttori*

*Prof. Marcello Bracale*

*Principi di Bioingegneria e Strumentazione Biomedica*

PRINCIPI DI MISURE BIOMEDICHE

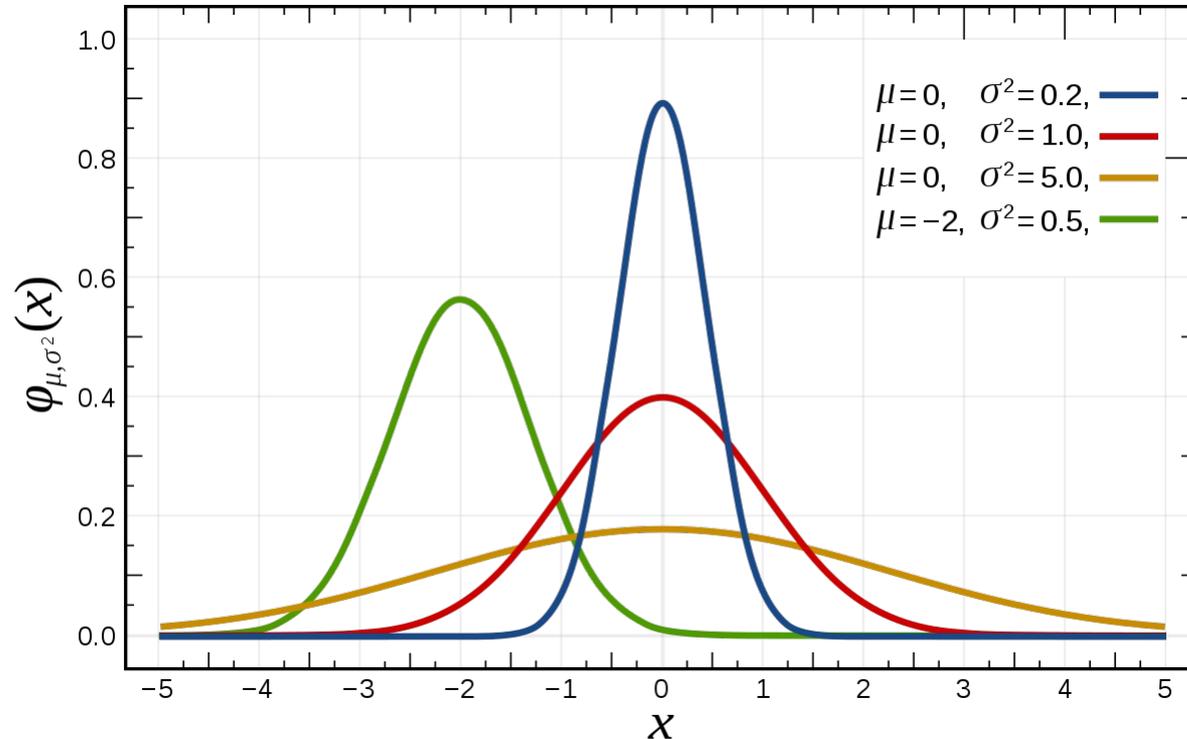
# Rumore



Le misure in generale e quelle elettroniche in particolare, spesso risultano alterate dalla sovrapposizione al segnale utile di segnali spuri di disturbo.

Questi segnali di disturbo, in genere individuati con il termine “rumore”, introducono errori nel procedimento di misure.

# Errori di misura



**Accidentali:** legati all'accuratezza dello strumento, cause occasionali (varianza). Soluzione: molte misure.

**Sistematici:** legati al procedimento di misura, causa individuale (media). Soluzione: analisi analisi teorica della procedura.

# Errori di misura

Definiamo errore di misura la differenza fra valore osservato  $x$  (misurato) e valore “vero” della grandezza misurata  $x_V$ :

$$\varepsilon = x - x_V$$

Spesso si usa l'errore relativo espresso in percentuale, ovvero  $100\varepsilon/x_V$ . L'errore a cui è soggetta una singola misura è indice della sua inaccuratezza o un indice inverso della sua accuratezza: quanto più piccolo è il suo errore, tanto maggiore è l'accuratezza.



# Errori di misura

La **precisione** consiste nell'approssimazione di ciascun risultato all'altro nella ripetizione della stessa misura.

L'**accuratezza** è invece l'approssimazione del risultato della misura al valore reale della grandezza che si vuole misurare.

Una misura può essere effettuata in modo preciso, nel senso che i risultati ottenuti siano ripetibili, ma non accurata. Ciò, ad esempio, potrebbe essere causato da un “errore costante” insito nella metodica.

Per valutare l'accuratezza si può ricorrere all'uso di standard (o campioni di riferimento) .



# Errori di misura

Gli errori si possono ancora distinguere in errori dovuti:

- a) allo strumento;
- b) alle condizioni in cui viene usato (es. perturbazione della grandezza);
- c) all'utilizzatore (es. errore di lettura, di interpolazione);

Gli errori dovuti allo strumento dipendono dalla sua:

- sensibilità;
- precisione;
- accuratezza;
- fedeltà.



# Errori di misura

La sensibilità di uno strumento è il rapporto tra la variazione della grandezza di uscita  $\Delta U$  e la corrispondente variazione della grandezza di ingresso  $\Delta E$ :

$$S = \frac{\Delta U}{\Delta E}$$

Se la caratteristica dello strumento non è lineare, la sensibilità, che è rappresentata graficamente dalla pendenza punto per punto della caratteristica stessa, dipende dal valore della grandezza di ingresso.



# Errori di misura

La **precisione** è l'errore massimo che lo strumento può compiere in una qualsiasi misura.

Più precisamente è la massima differenza che, su basi statistiche ovviamente, può verificarsi tra il risultato di una misura e il valore più probabile (o valore vero) della grandezza.

La precisione assoluta può dipendere dal campo di misura e ciò deve essere chiaramente indicato dal costruttore.



# Errori di misura

A causa degli errori accidentali, successive ripetizioni della misura di una stessa grandezza, effettuate ovviamente in condizioni stazionarie, danno valori diversi.

Il valore medio dedotto da tali misure ed indicato con  $\bar{G}$  viene assunto come risultato finale della misura.

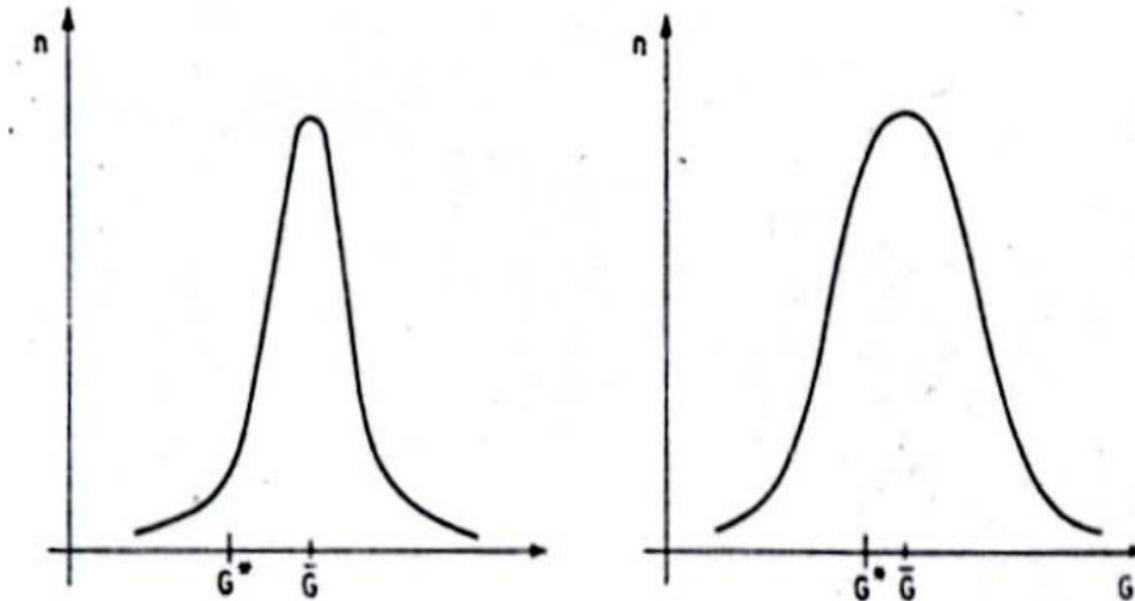
Se si potesse eseguire un numero infinito di misurazioni si otterrebbe il valore più probabile o valore vero della misura  $G^*$ .

Lo scostamento  $|\bar{G} - G^*|$  prende il nome di **accuratezza**.

Si ricordi che l'operazione di media cancella gli errori accidentali, ciò significa che l'accuratezza è dovuta soltanto alla composizione di tutti gli errori sistematici.

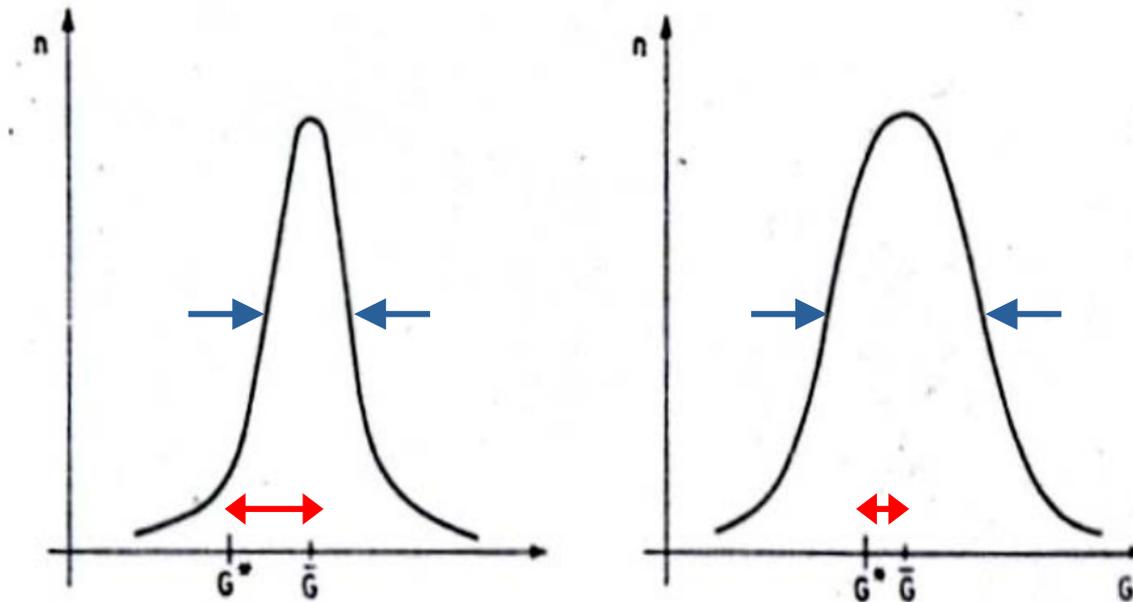
# Errori di misura

La larghezza dell'istogramma delle misurazioni mostra la dispersione dei risultati di una misura e quindi la loro riproducibilità. Da questa caratteristica dipende la **fedeltà** dello strumento.



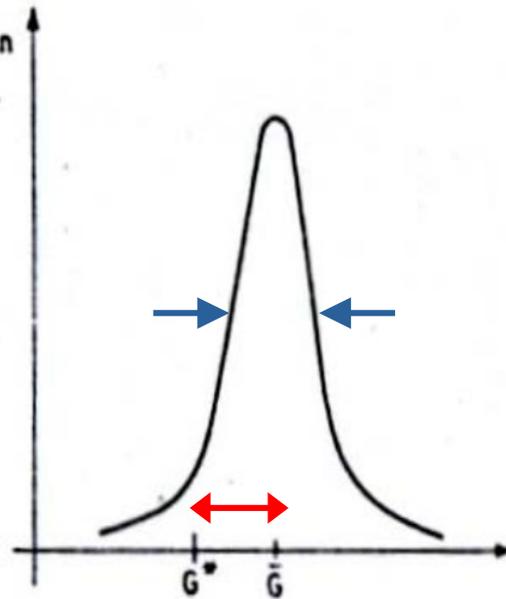
# Errori di misura

La larghezza dell'istogramma delle misurazioni mostra la dispersione dei risultati di una misura e quindi la loro riproducibilità. Da questa caratteristica dipende la **fedeltà** dello strumento.

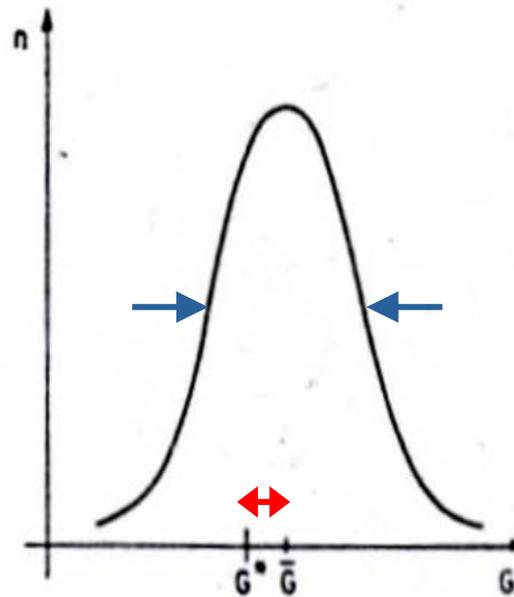


# Errori di misura

La larghezza dell'istogramma delle misurazioni mostra la dispersione dei risultati di una misura e quindi la loro riproducibilità. Da questa caratteristica dipende la **fedeltà** dello strumento.



più **fedele**  
meno **accurato**



meno **fedele**  
più **accurato**

# Misure in ambito biomedico

Nell'effettuare ogni misura nascono molte incertezze. Le incertezze tipiche delle misure biomediche sono insite nella tremenda complessità dei sistemi biologici, che li rende veramente singolari se paragonati ai sistemi più tradizionali.

In generale in una misura biomedica il numero di variabili apparentemente indipendenti diviene molto grande. In aggiunta, la situazione è spesso peggiorata dal fatto che molte di tali variabili sono non note o di difficile comprensione (es. età, sesso, condizione psicologica, alimentazione etc.).



# Misure in ambito biomedico

Da ciò scaturisce la differenza fra le misure nel campo fisico e tecnico e quelle in biologia e medicina.

Nel primo infatti vi è un piccolo numero di variabili ben controllate, mentre nel secondo questo numero può essere notevolmente più ampio ed è costituito da variabili malamente controllate.

Da ciò scaturisce anche che, mentre una misura nel primo campo implica il controllo o la misura di tutte le variabili, nel secondo campo è proprio il significato della misura che può essere alterato.

Il concetto dell'incertezza e dell'errore connesso alla misura sono direttamente collegati al principio di indeterminazione.

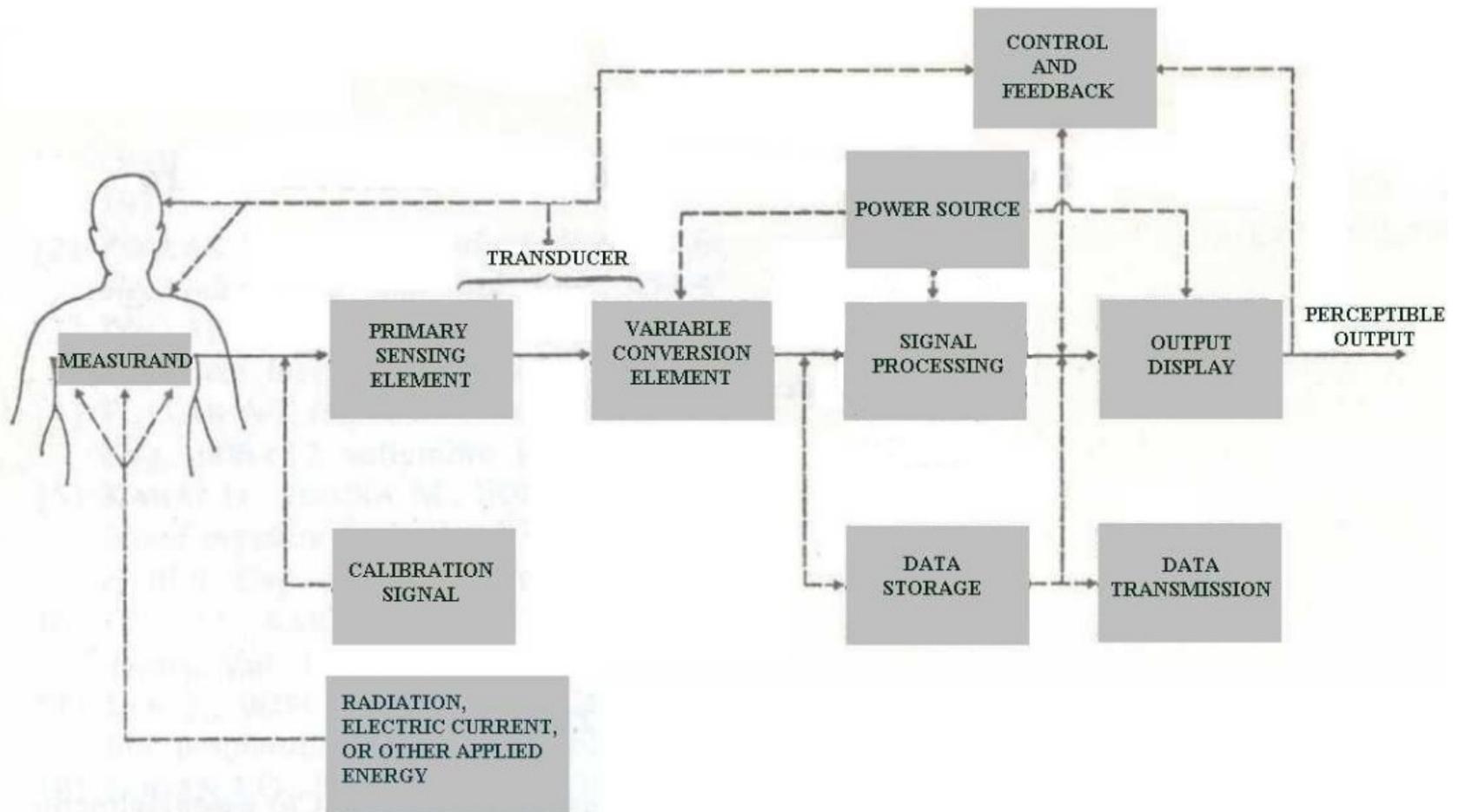
# Misure in ambito biomedico

Come possiamo interpretare dati misurati in un sistema così complesso?

- Possiamo ritrovare relazioni epistemologiche tra la teoria e l'esperimento. Ciò ovviamente porta alla necessità di formulare teorie biologiche in termini di nuovi
- Possiamo utilizzare un approccio di tipo deduttivo, attraverso le determinazioni delle caratteristiche ingresso-uscita del sistema sotto studio, ignorando dati diretti misurati all'interno del sistema stesso.
- Un terzo approccio è quello in termini statistici.



# Misure in ambito biomedico



Schema generale delle misure in ambito biomedico.

# Misure in ambito biomedico

Possiamo distinguere:

- **IL TRASDUTTORE:** serve a convertire l'energia biofisica in un'altra generalmente elettrica. Le caratteristiche essenziali dovrebbero essere di interfacciamento con il mezzo biologico in modo tale da minimizzare l'energia estratta attraverso un prelievo possibilmente non-invasivo. Molti sensori presentano una doppia traduzione.
- **IL CONDIZIONATORE DI SEGNALE** è generalmente presente tra il trasduttore e l'apparato di visualizzazione. Ciò al fine di amplificare, e filtrare il segnale all'uscita del trasduttore. Esso può ulteriormente trattare l'informazione attraverso tecniche di miglioramento del rapporto segnale rumore (averaging) o spostamento della rappresentazione dal dominio del tempo a quello della frequenza. Ciò ovviamente implica che il condizionatore di segnale può anche avere le
- caratteristiche di un elaboratore analogico o digitale



# Misure in ambito biomedico

**Table 1.1** Medical and Physiological Parameters

Parameter or Measuring Technique	Principal Measurement Range of Parameter	Signal Frequency Range, Hz	Standard Sensor or Method
Ballistocardiography (BCG)	0–7 mg	dc–40	Accelerometer, strain gage
	0–100 $\mu\text{m}$	dc–40	Displacement linear variable differential transformer (LVDT)
Bladder pressure	1–100 cm H <sub>2</sub> O	dc–10	Strain-gage manometer
Blood flow	1–300 ml/s	dc–20	Flowmeter (electromagnetic or ultrasonic)
Blood pressure, arterial			
Direct	10–400 mm Hg	dc–50	Strain-gage manometer
Indirect	25–400 mm Hg	dc–60	Cuff, auscultation
Blood pressure, venous	0–50 mm Hg	dc–50	Strain gage
Blood gases			
$P_{\text{O}_2}$	30–100 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric
$P_{\text{CO}_2}$	40–100 mm Hg	dc–2	Specific electrode, volumetric or manometric



# Trasduttore

Il trasduttore costituisce l'elemento di ingresso di una catena di misura. Esso è l'elemento sensibile che converte la grandezza da misurare in una grandezza elettrica.

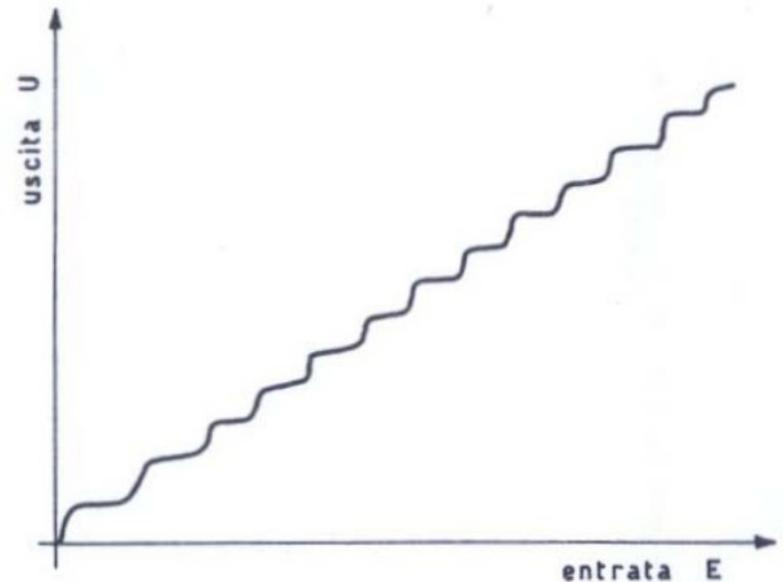
I trasduttori possono essere classificati in base ai seguenti elementi :

- grandezza di ingresso
- intervallo di valori della grandezza di ingresso
- grandezza elettrica in uscita
- principio fisico di trasduzione
- eventuali caratteristiche peculiari accessorie.

# Caratteristiche di un trasduttore

**Sensibilità:** il rapporto tra la variazione del segnale in uscita del trasduttore e la corrispondente variazione nella grandezza da misurare. La sensibilità deve essere abbastanza grande da assicurare una soddisfacente risoluzione del sistema di misura.

**Risoluzione:** l'uscita del trasduttore, al variare della grandezza da misurare, assume dei valori di volta in volta separati da un intervallo finito, anche se piccolo. L'ampiezza di questi gradini nella curva d'uscita, espressi in percentuale del fondo scala è detta risoluzione del trasduttore.



# Caratteristiche di un trasduttore

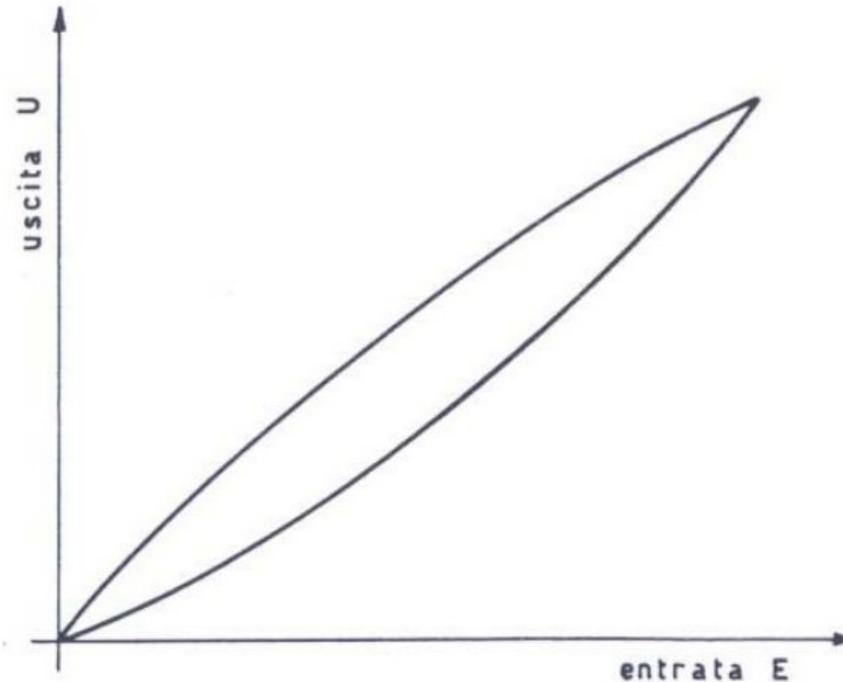
**Soglia:** la minima variazione da attribuire alla grandezza da misurare affinché la grandezza di uscita registri una variazione.

**Range:** è l'intervallo di valori della grandezza in esame che il trasduttore è in grado di misurare, individuato dai valori limite inferiore e superiore.

**Effetti di carico:** tutti i trasduttori assorbono una certa quantità di energia dalla grandezza in esame. Il progettista si deve assicurare che questa quantità sia trascurabile oppure deve compensare le letture per questa perdita.

**Calibrazione:** la caratteristica di uscita di un trasduttore viene determinata mediante un test durante il quale valori noti della grandezza da misurare vengono applicati al trasduttore e le letture corrispondenti vengono registrate. In questo consiste l'operazione di calibrazione.

# Caratteristiche di un trasduttore



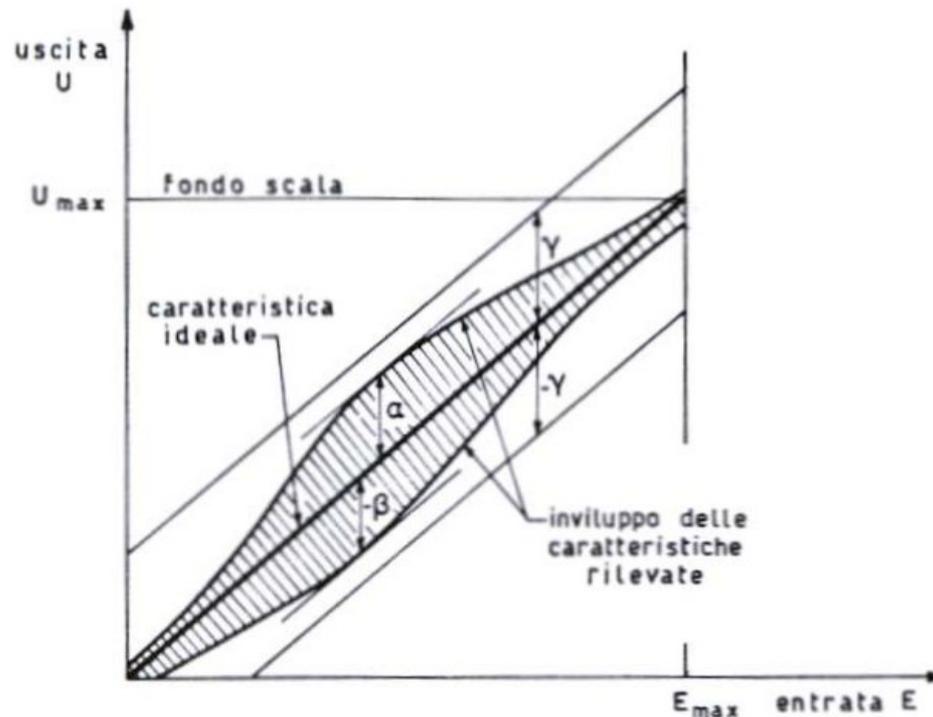
**Isteresi:** la massima differenza tra i due cammini di andata e di ritorno dell'uscita del trasduttore durante un ciclo di calibrazione; è espressa in percentuale del fondo scala. Può essere dovuta a numerose cause tra cui l'attrito.

# Caratteristiche di un trasduttore

**Linearità:** buona parte dei trasduttori è progettata in modo da avere una curva caratteristica ingresso-uscita lineare. La linearità è espressa nella forma  $\pm \dots\%F.S.$ , intendendosi con tale simbolo il massimo scostamento, espresso in percentuale del fondo scala, tra curva reale del trasduttore come rilevata da un ciclo di calibrazione e una specificata linea retta.

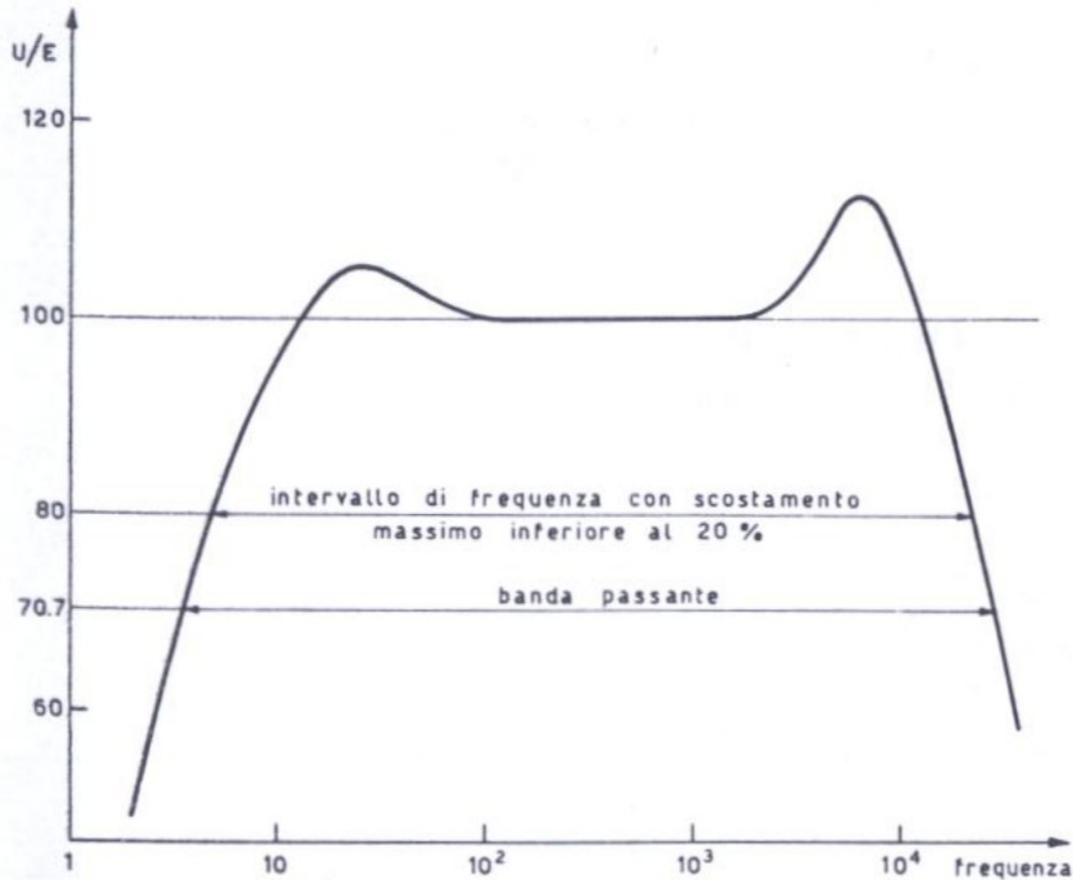
**Errore:** è la differenza tra il comportamento reale del trasduttore e il comportamento ideale (curva teorica). Viene espresso solitamente in percentuale del fondo scala o della uscita del trasduttore.

# Caratteristiche di un trasduttore



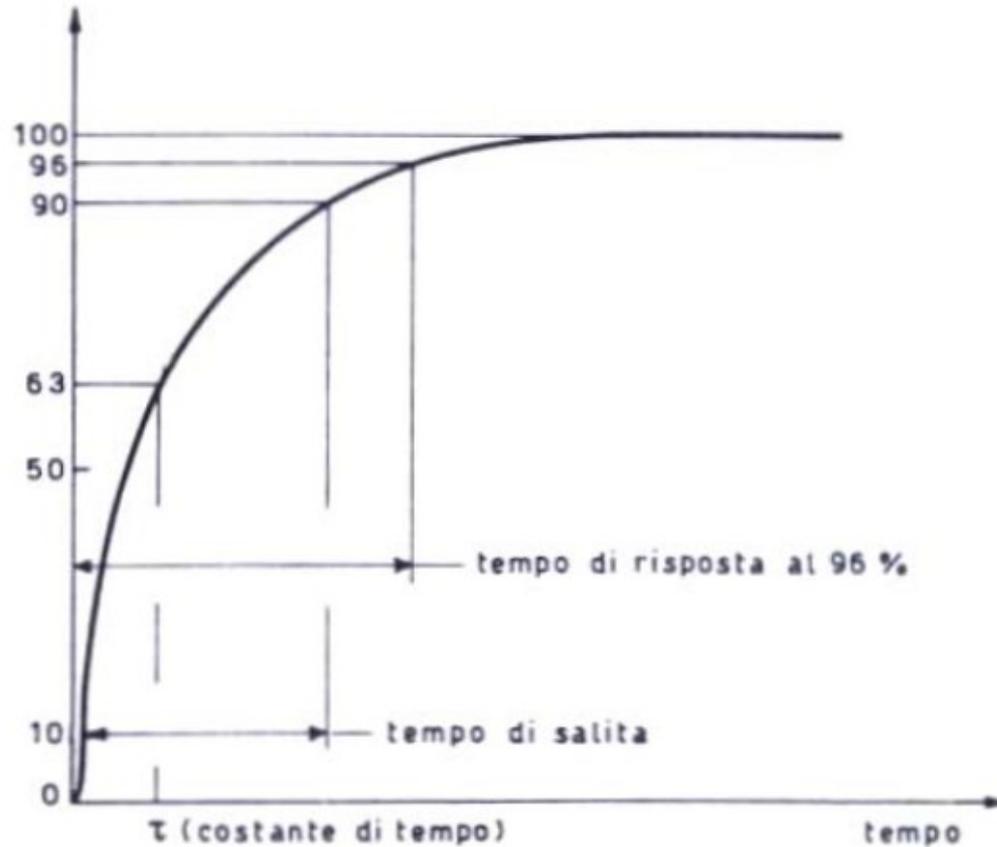
**Banda d'errore:** è una forma per indicare lo scostamento dall'andamento teorico, che comprende un pò tutti gli errori, senza più distinguerli a seconda delle cause che li determinano. È espressa come  $\pm \dots\%F.S.$

# Caratteristiche di un trasduttore



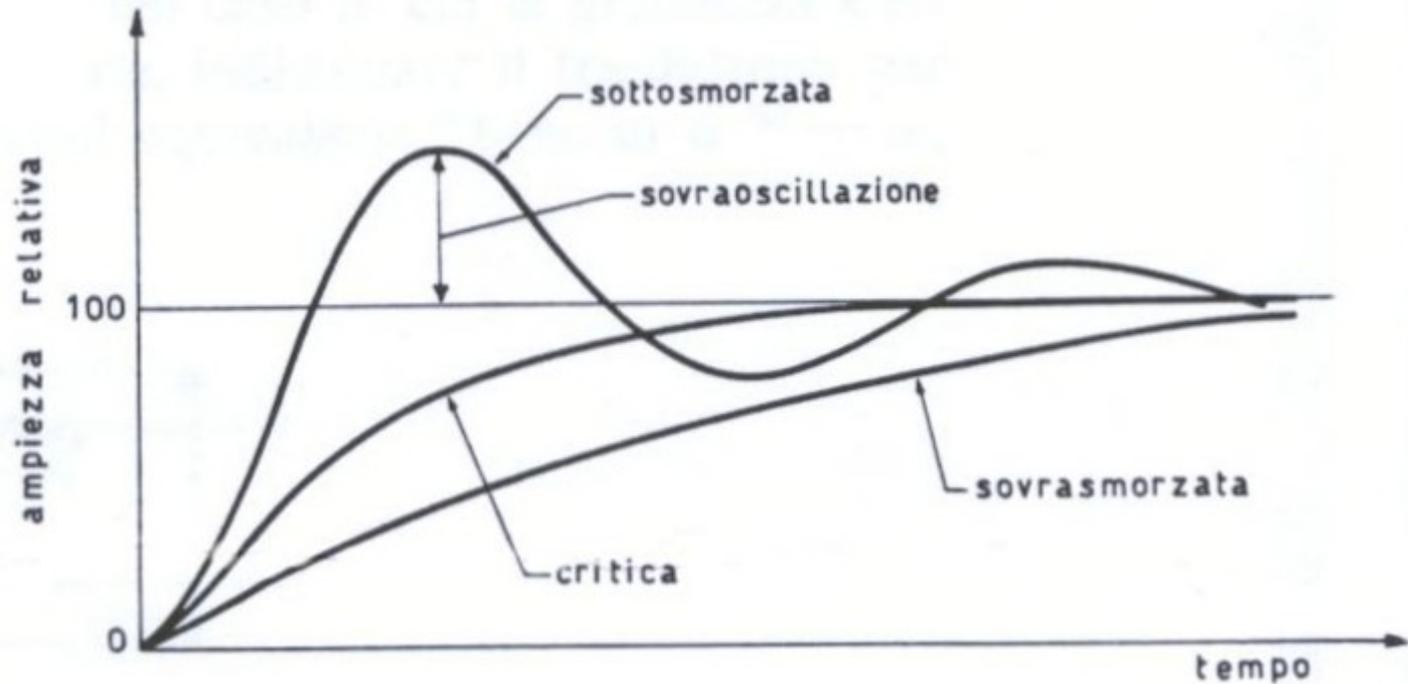
**Risposta in frequenza:** l'andamento del modulo del rapporto ampiezza dell'uscita del trasduttore/ampiezza della grandezza da misurare al variare della frequenza, ottenendo il cosiddetto diagramma di Bode.

# Caratteristiche di un trasduttore



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

# Caratteristiche di un trasduttore



**Smorzamento:** al variare della capacità di dissipare energia del trasduttore la risposta al gradino può essere di 3 tipi (vedi fig.).

# Biostatistica

Medical research studies can be *observational studies*, wherein characteristics of one or more groups of patients are observed and recorded, or *experimental intervention studies*, wherein the effect of a medical procedure or treatment is investigated. The simplest observational studies are *case-series* studies that describe some characteristics of a group. These studies are without control subjects, in order only to identify questions for further research. *Case-control* observational studies use individuals selected because they have (or do not have) some outcome or disease and then look backward to find possible causes or risk factors. *Cross-sectional* observational studies analyze characteristics of patients at one particular time to determine the status of a disease or condition. *Cohort* observational studies prospectively ask whether a particular characteristic is a precursor or risk factor for an outcome or disease. Experimental clinical trials are *controlled* if the outcome for patients administered a drug, device, or procedure is compared to the outcome for patients given a placebo or another accepted treatment. The trials are *uncontrolled* if there is no such comparison. *Concurrent controls* are best, because patients are selected in the same way and for the same time period. *Double-blind* study with *randomized* selection of patients to treatment options is preferred, because this design minimizes investigator and patient bias. Medical outcome studies show cost-effective improvements in patient health are increasingly required prior to adoption and reimbursement for new medical technologies

