

# Misure in Campo Biomedico

## Modulo Biosensori

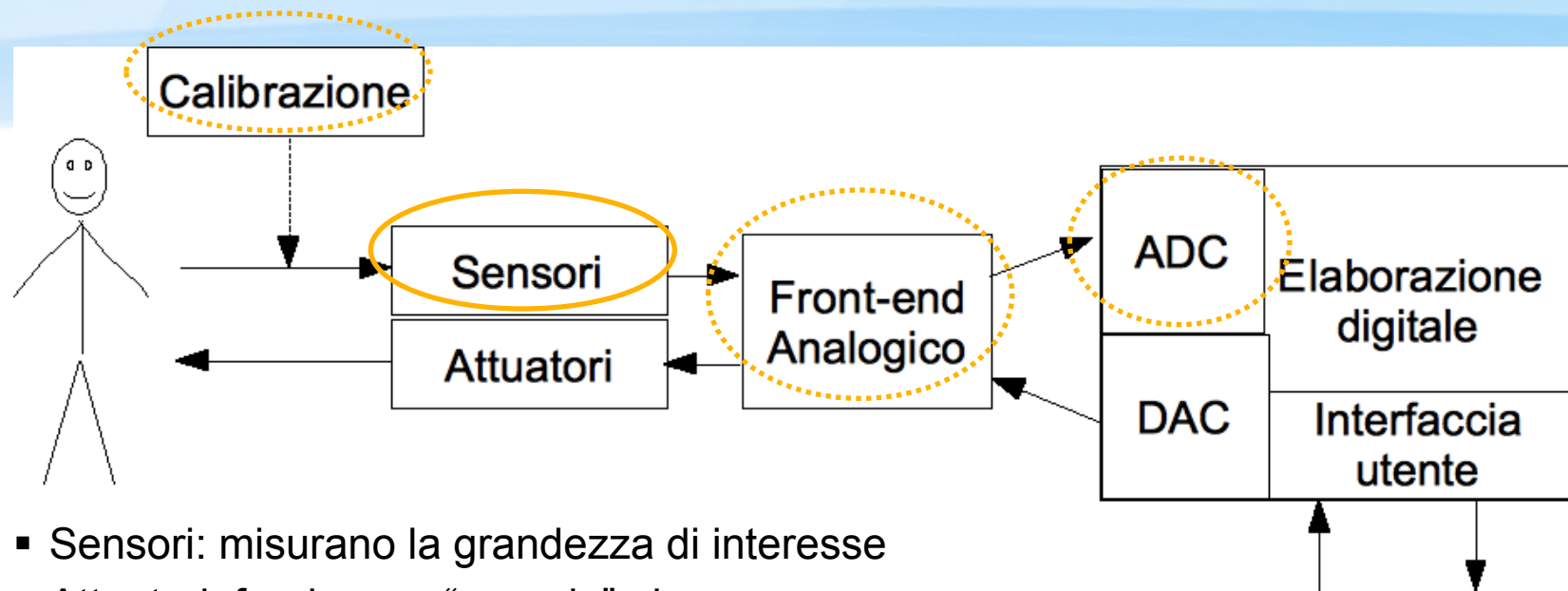
Ing. Nicola Carbonaro

[nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it](mailto:nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it)

# Dettagli sul corso

- Programma di massima
  - Misure in campo biomedico
    - Aspetti carattere generale
  - Sensori fisici
    - Misure di temperatura, forza/deformazione, pressione.....
  - Sensori chimici
    - pH, concentrazione ioni, pO<sub>2</sub>,
  - Elettrodi e sistemi per la misura di biopotenziali
    - Teoria elettrodi, impedenza di elettrodo, macroelettrodi,.....
  - Biosensori
    - Catalitici, immunosensori.....
- Modalità esame
  - Prova scritta con esercizi e domande teoriche
  - 2 prove intermedie
- Materiale didattico
  - Dispense

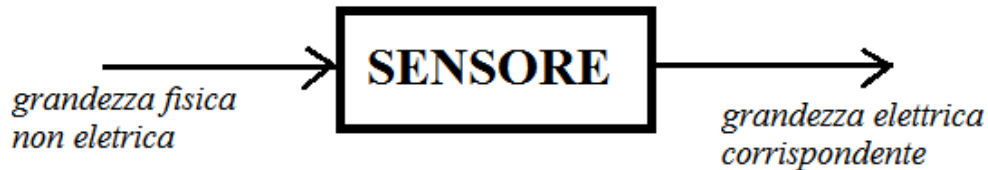
# Schema Generale sistema di misura biomedico



- Sensori: misurano la grandezza di interesse
- Attuatori: forniscono “energia” al corpo umano
- Front-end analogico: Alimentazione, Amplificazione, filtraggio
- ADC: conversione da analogico a digitale
- Elaborazione digitale: micro-processori, DSP, PC
- Interfaccia utente: monitor PC, display LCD, GUI
- DAC: conversione da digitale a analogico
  
- Importanza segnale calibrazione: segnale di “riferimento” per verificare corretto funzionamento della catena (spesso tramite “simulazione” di un segnale biomedico)

# Sensori/Trasduttori

- Il sensore o trasduttore è uno degli elementi più critici di un sistema biomedico
  - Scopo: convertire la variabile da misurare in una forma più facilmente e velocemente elaborabile ovvero un segnale elettrico



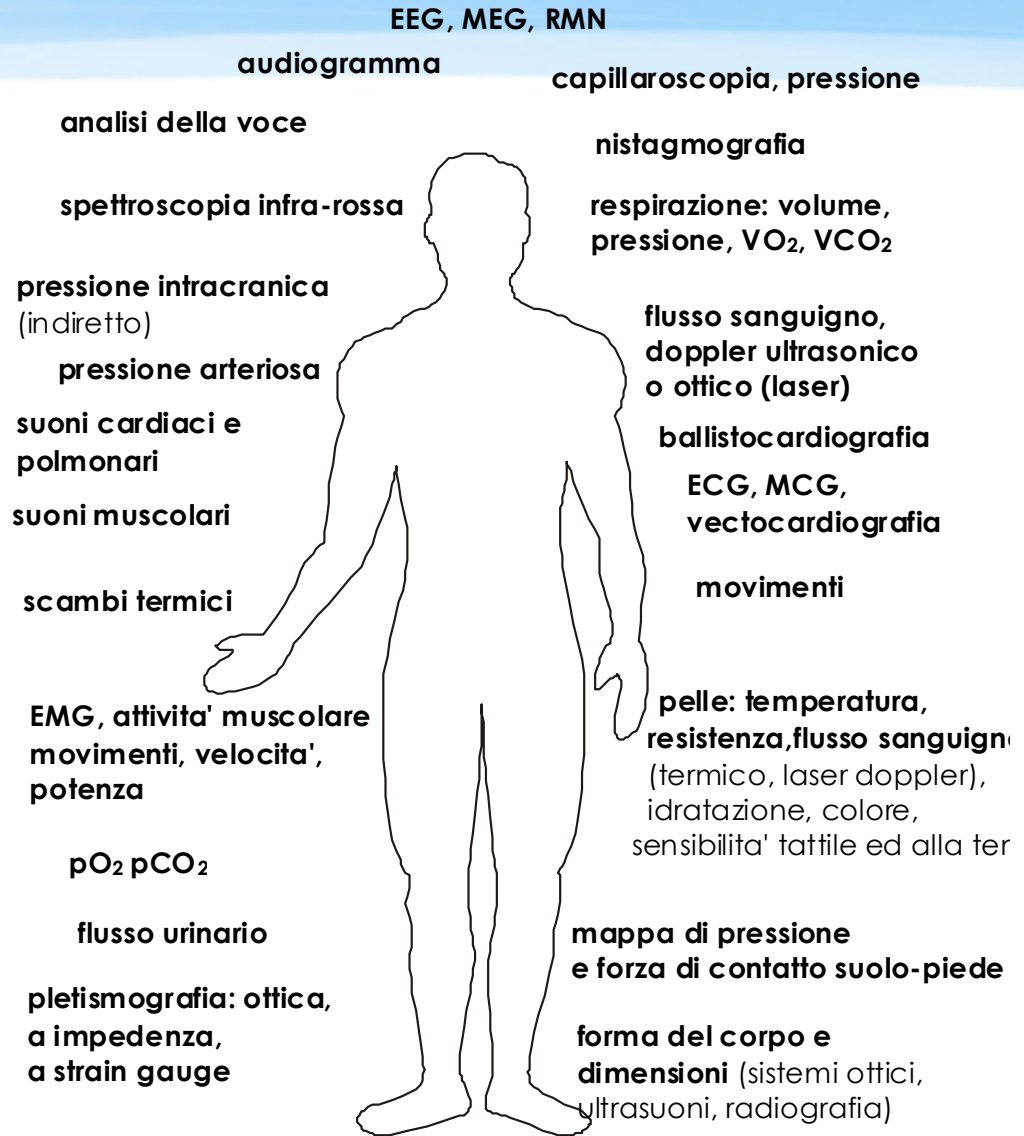
- Il sensore in campo biomedico è utilizzato per una valutazione **oggettiva** delle variabili di origine biologica
  - sostituisce in qualche modo quello che sono stati per secoli e secoli i 5 sensi dei medici.....
- Obiettivo della misura: valutare se una determinata variabile sta dentro valori normali
- Problematiche:
  - Interazioni con sistemi viventi (biochimico, fisiologico o psicologico)
  - Effetto della misura sul sistema misurato difficile da prevedere

# Classificazione delle misure

Una prima fondamentale classificazione delle misure in campo biomedico è quella tra misure invasive e non invasive.

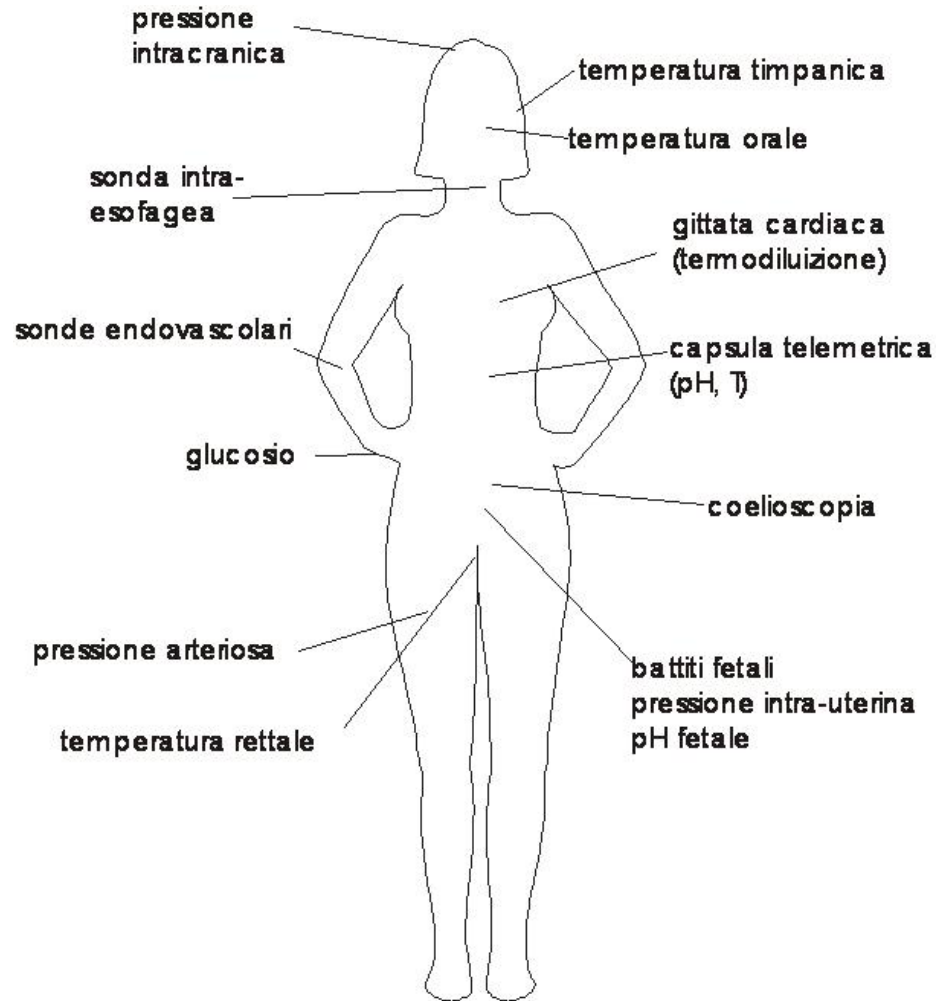
## Misura non-invasiva

Preleva il segnale senza creare traumi, lesioni o alterazioni dei parametri vitali



**MISURE NON INVASIVE**

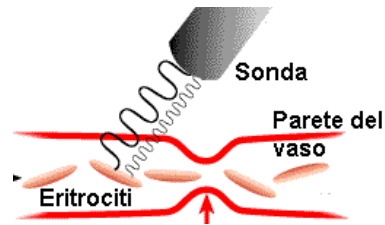
# Classificazione delle misure



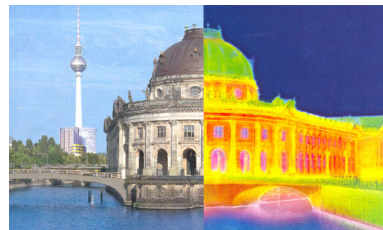
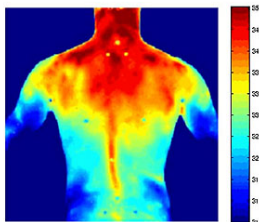
MISURE MINIMAMENTE INVASIVE

# Classificazione delle misure (1)

- **Active**, in cui il segnale che poi verrà elaborato viene emesso dall'apparecchiatura stessa.
  - Esempio, in un ecografo viene elaborato il segnale ultrasonico generato dalla macchina e mediato dalle interazioni coi tessuti.



- **Passive**, in cui l'origine del segnale da elaborare deriva spontaneamente e direttamente dall'organismo
  - Esempio: nella termografia viene sfruttata la radiazione infrarossa emessa dalle varie parti del corpo in funzione della loro temperatura superficiale.



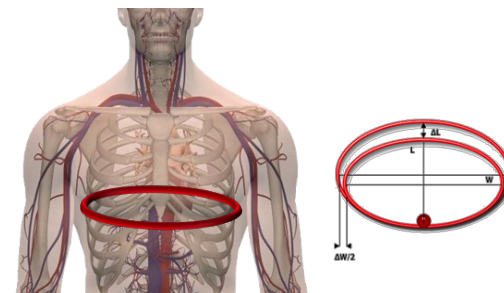
# Classificazione delle misure (2)

- **Dirette**, rilevano le quantità fisiche e chimiche d'interesse semplicemente confrontandole con valori di riferimento.

- Esempi: misura di temperatura pelle, misura resistenza pelle.

- **Indirette**, si basano su relazioni matematico-fisico-statistiche che intercorrono tra variabili che non possono invece essere misurate direttamente.

- 1 ° Esempio: misura dell'attività respiratoria



Misuro le variazioni della circonferenza toracica

(espansione /contrazione) direttamente correlate all'attività di  
inspirazione/espirazione

- 2° Esempio: misurare la portata sanguigna in uscita dal cuore attraverso l'aorta (gittata cardiaca), attraverso il principio di diluizione dell'indicatore.

Mediante l'uso di cateteri, si inietta un indicatore e si misura la variazione nel tempo della concentrazione dell'indicatore nel sistema cardiovascolare. Tale misura è chiaramente indiretta poiché facciamo uso della relazione tra gittata e concentrazione dell'indicatore

# Classificazione delle misure (3)

- In campo biomedico possono essere raggruppate in relazione a:
  - **Grandezza misurata**
    - Es. potenziali elettrici, pressioni, portate...
    - un vantaggio di tale classificazione è quello che i differenti metodi utilizzati per la misura di una certa grandezza possono essere confrontati facilmente
  - **Principio di trasduzione**
    - Es. resistivo, induttivo, capacitivo, piezoelettrico, elettrochimico, ecc
  - **Sistema fisiologico analizzato**
    - Es. sistema cardiovascolare, polmonare, nervoso, endocrino, ecc.
  - **Specialità medica**
    - Es. pediatrica, ostetrica, cardiologica, neurologica, radiologica ecc.
    - questo approccio è valido soprattutto per il personale medico, che è interessato a strumenti specializzati per il proprio campo.

# Come effettuare una misura

- Misura
  - Si misura una quantità dalla quale risaliamo alla grandezza “desiderata”
    - Misura diretta: misuriamo direttamente la variabile di interesse
    - Misura indiretta: necessita la conoscenza di un modello matematico
- Processo complesso
  - Calibrazione, misura, elaborazione del segnale
  - Fattori che influenzano le misure: variabilità tra soggetti, artefatti, effetto temperatura, rumore elettrico.....
- Stima dell'accuratezza della misure
  - Errore < massimo consentito
  - Interazione uomo/sistema di misura
    - Minimizzata il più possibile
- Scelta dello strumento più adatto o sua progettazione
  - Specifiche della misura
- Conoscenza e riduzione del rumore
  - Filtraggio, averaging
- Scopo della misura
  - Misurare una grandezza e le sue variazioni temporali (ambito diagnostico)
    - La grandezza misurata è il nostro obiettivo finale
  - Comprensione di un processo (ambito fisiologico)
    - oltre ai valori precisi assunti dalla grandezza sotto misura, siamo interessati a conoscere il suo andamento
  - Controllo di un processo (ambito terapeutico)
    - Sistema di controllo “retroazionato”, interessa conoscere la variazione di una variabile rispetto ad un riferimento.

# Parametri di interesse biomedico (1)

- I Campi di variabilità sono fondamentali in fase di progetto

Variabile misurata o tecnica di misura	Campo dei valori in ampiezza della variabile (tipico range di misura)	Campo utile di frequenza del segnale misurato (Hz)
<b>VARIABILI MECCANICHE</b>		
Pressione arteriosa (diretta)	10 - 300 mmHg	0 - 50
Pressione arteriosa (indiretta)	25 - 400 mmHg	0 - 60
Pressione venosa	0 - 50 mmHg	0 - 50
Pressione gastrointestinale	0 - 80 mmHg	0 - 10
Pressione vescicale	1 - 100 mmHg	0 - 10
Pressione intracranica	10 - 60 mmHg	0 - 40
Forza gastrointestinale	10 <sup>-2</sup> - 0.5 N	0 - 1
Fonocardiografia	soglia > 10 <sup>-4</sup> Pa.	5 - 2 10 <sup>3</sup>
Ballistocardiografia	range dinamico 80 dB	0 - 40
Pedobarografia	0 - 7 mg	16 immagini/s
Pletismografia	0 - 100 μm	0 - 30
(cambiamenti di volume)	2 - 130 N/cm <sup>2</sup>	0 - 20
Portata volumetrica di sangue	varia con l'organo sotto esame	0-20
Gittata cardiaca	1 - 300 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s	0 - 40
Pneumotacografia	4 - 25 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /min	0.1 - 10
Frequenza respiratoria	0 - 0.6 m <sup>3</sup> /min	0.1 - 10
Volume Tidal	2 - 50 respiri/min - (0.05 - 1) 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /respiri	0 - 0.1
Temperatura corporea	32 - 42 C	0 - 0.1

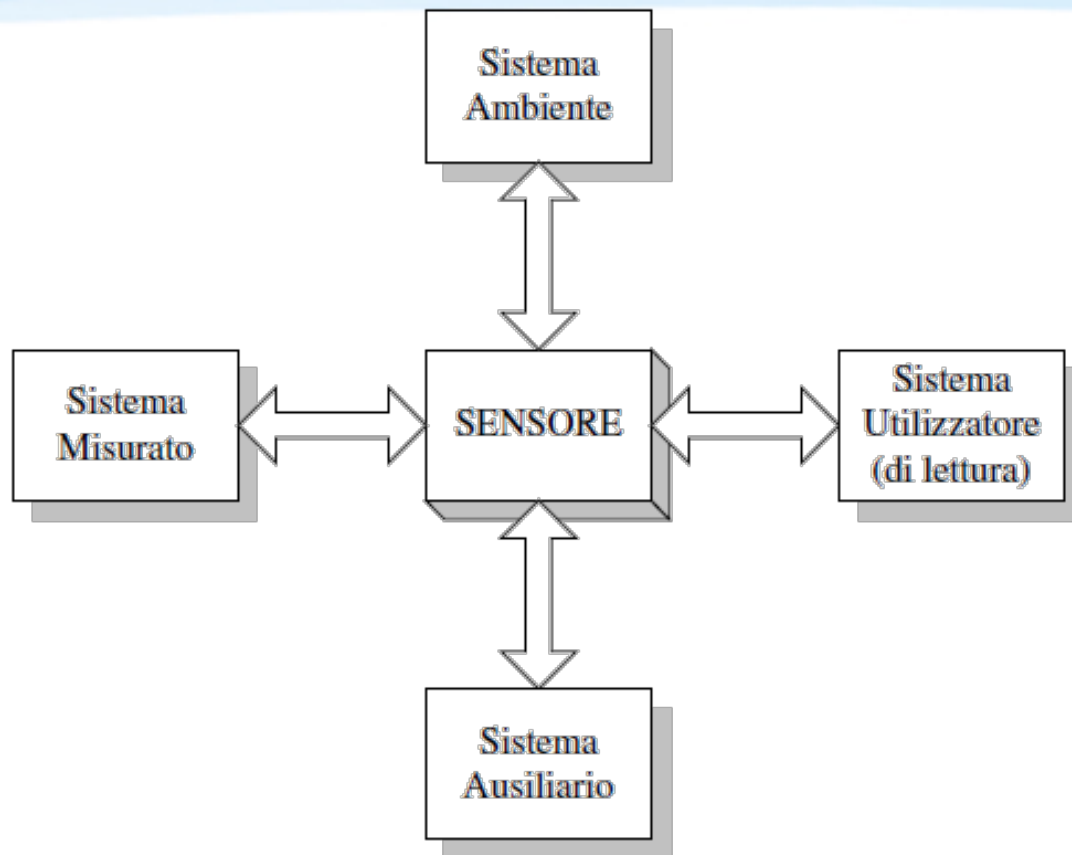
# Parametri di interesse biomedico (2)

Variabile misurata o tecnica di misura	Campo dei valori in ampiezza della variabile (tipico range di misura)	Campo utile di frequenza del segnale misurato (Hz)
	<b>VARIABILI ELETTRICHE e MAGNETICHE</b>	
Potenziali nervosi	0.01 - 3 mV	0 - 10 <sup>4</sup>
Elettrocardiografia (ECG)	0.5 - 4 mV	0.01 - 250
Elettroencefalografia (EEG)	5 - 300 $\mu$ V	0 - 150
Elettrogastrografia (EGG)	10 - 1000 $\mu$ V	0 - 1
Elettromiografia (EMG)	0.1 - 5 mV	0 - 10 <sup>4</sup>
Potenziali evocati visivi		
EOG	50 - 3500 $\mu$ V	0 - 50
ERG	0 - 900 $\mu$ V	0 - 50
Risposta galvanica cutanea	1 - 500 K $\Omega$	0.01 - 1
Magnetocardiografia (MCG - SQUID)	- 100 pT	0 - 50

# Parametri di interesse biomedico (3)

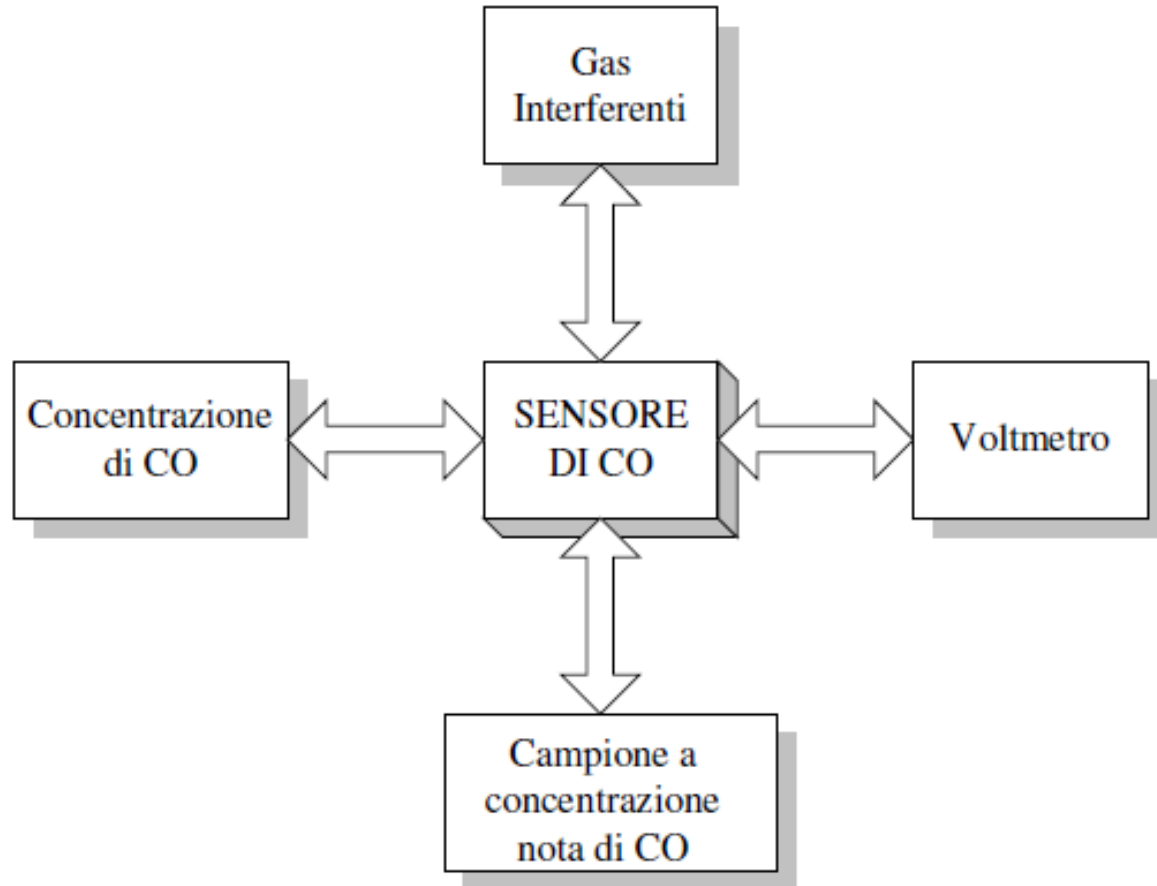
Variabile misurata o tecnica di misura	Campo dei valori di ampiezza della variabile (tipico range di misura)	Campo utile di frequenza del segnale misurato (Hz)
<b>VARIABILI CHIMICHE</b>		
pH del sangue	6.8 - 7.8 unità pH	0 - 2
pH gastrico	3 - 13 unità pH	0 - 1
Gas disciolti nel sangue:	30 - 100 mmHg	0 - 2
pO <sub>2</sub>	40 - 100 mmHg	0 - 2
pCO <sub>2</sub>	1 - 3 mmHg	0 - 2
pN <sub>2</sub>	0.1 - 0.4 mmHg	0 - 2
pCO	0.05 - 0.3 M	0 - 2
Principali ioni nel plasma:	0.001 - 0.01 M	0 - 2
Na <sup>+</sup>	0.0002 - 0.002 M	0 - 2
K <sup>+</sup>	0.001 - 0.005 M	0 - 2
Mg <sup>++</sup>	0.05 - 0.2 M	0 - 2
Ca <sup>++</sup>	0.01 - 0.1 M	0 - 2
Cl <sup>-</sup>		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
<b>VARIABILI BIOCHIMICHE</b>		
Urea	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-2</sup> M	0 - 1
(via biosensore a ureasi)	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-1</sup> M	0 - 1
Glucosio		
(via biosensore a glucosio-ossidasi)		

# Schema generale di un sensore



Un **dispositivo** che trasforma una **grandezza fisica** che si vuole misurare in un segnale di **natura diversa** (tipicamente elettrico, più facilmente misurabile o memorizzabile)

# Esempio di Sensore CO



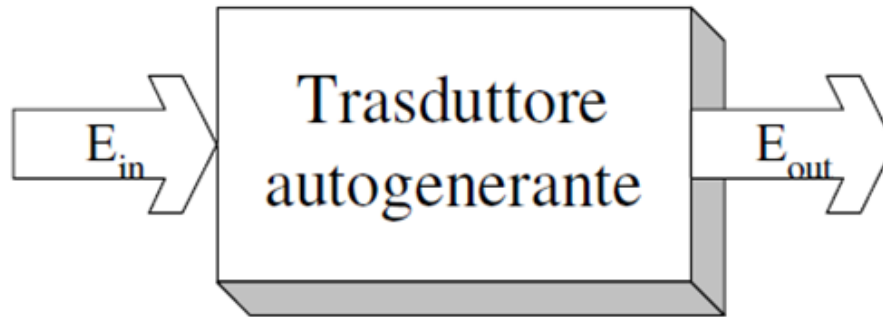
# Classificazioni

Si possono classificare sensori in molti modi basandosi sulle loro più importanti caratteristiche:

1. Tipo di sensore (elettrolitico, a conduttanza, a semiconduttore...)
2. Modello descrittivo ( fisico, chimicofisico, quantistico, ottico...)
3. Applicazioni ( medico, ambientale, industriale...)
4. Parametro misurato ( fisico, chimico: temperatura, pressione, concentrazione...)
5. Tecnologie di realizzazione e materiali impiegati ( film spesso, film sottile, ceramico, polimerico...)

# Altri tipi di classificazioni

- Da un punto di vista energetico possiamo dividerli in:
  - Trasduttori Passivi (autogeneranti)

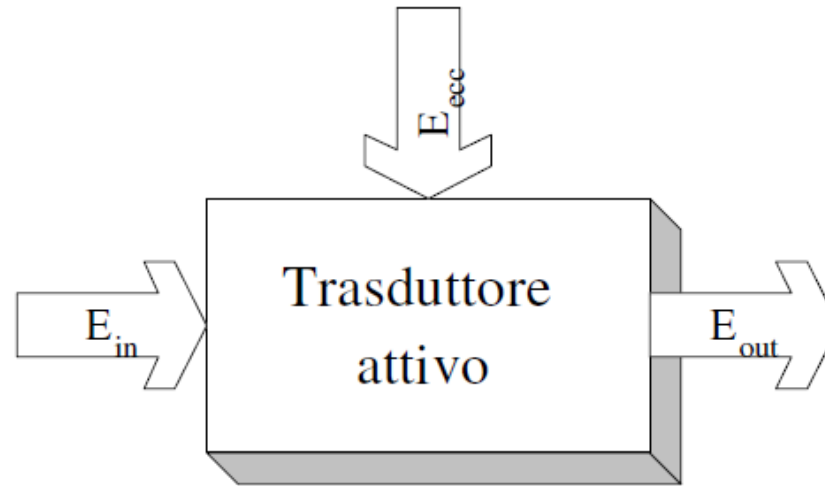


Si hanno due porte per l'energia; la seconda (l'uscita) è generalmente a bassa potenza: è quindi necessaria una interfaccia opportuna per la lettura e l'amplificazione del segnale.

- Es. di trasduttore passivo: la termocoppia, perchè è la differenza tra le temperature delle giunzioni che crea una forza motrice

# Altri tipi di classificazioni

- Trasduttori Attivi



Sono caratterizzati da almeno tre porte per l'energia; la potenza fornita dal generatore di eccitazione può essere indipendente da quella ricavabile all'uscita. (Trasduttori ad anello aperto)

- Es. di trasduttore attivo: il termistore è un trasduttore attivo, perchè richiede una sorgente ausiliaria per generare la sua uscita