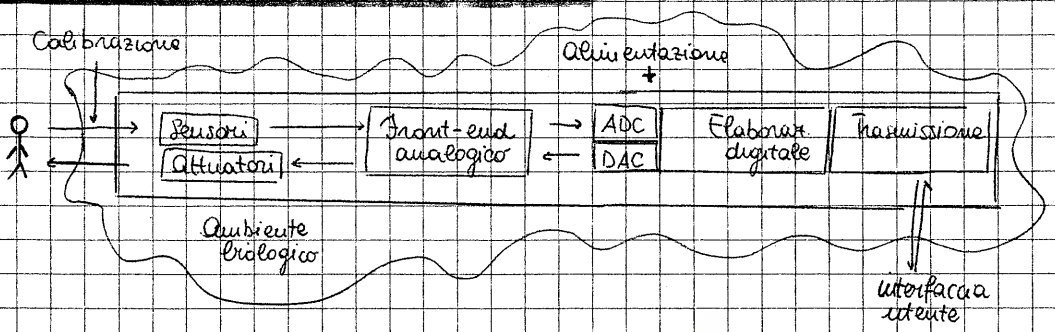
Biosensori

~ Magnetti; scritto (2 es) + orale
→ letteralmente, sensore elettronico interfacciato con elem. biologico (marcatore biologico) → x NOI, sono in generale i sensori usati in ambito biomedico

SCHEMA GENERALE SISTEMA di MISURA BIOMEDICO:



Es: ECG, termometro, sfigmomanometro, ecografo

→ Sensori: costituiscono la principale interfaccia con il paziente, prelevano la grandezza fisica da misurare ("misurando"), stimare (es: sensore di termometro rileva temperatura; elettrodo per ECG, nell'ecografo è interno alla sonda). In uscita ha una grandezza analogica, presa da...

Front-end analogico: blocco che contiene dispositivi che permettono trattazione analogica del segnale; amplificazione segnale, filtraggio (passabasso / banda), per ↓ contenuto frequenziale (anti-aliasing), amplificatori di isolamento per sicurezza di circuiti di alimentazione

Conversione A/D: segnale tempo continuo viene campionato (tempo) e quantizzato (ampiezza), così segnale si presenta come una successione di numeri finiti interi trasformati in una successione di bit (simboli) → segnale digitale facilmente memorizzabile, processabile, e ha un range di variazione finito e un errore definito a priori.
Tempo di campionamento va commisurato a contenuto frequenziale di interesse

Elab. digitale: PC, laptop..., filtraggio digitale passabasso, ↑ alto, ↓ banda, elaborazione segnale
Trasmissione: wired, wireless
Interfaccia utente: carta millimetrata, schermo, display

← Attuatori: possono mandare energia (al corpo, in caso biomedico); non sempre presenti (es: ecografo misura con ultrasuoni che invia al corpo, da cui rileva risposta (eco), come i vari sistemi di IMAGING; risonanza, TAC, bioimpedenza (VII-2), immetto corrente e misuro tensione)
Usati per terapia o rilevazione

Ambiente biologico: contesto del sistema di misura, che può reagire con organismo, me va tenuto conto (temperatura fluttuante, alimentazione...)
Sistema di alimentazione: rete elettrica (problemi di sicurezza), batteria (durata, carica, ...)
Calibrazione: per rilevare affidabilità del sistema, invio un segnale noto simulato, di cui conosco la risposta aspettata da strumento

SENSORI (o TRASDUTTORI): convertono la variabile da misurare in forma più facilmente e velocemente elaborabile, in segnale elettrico, è impiegato per una valutazione oggettiva delle variabili di origine biologica (sostituisce e migliora i 5 sensi del medico).

grandezza fisica non elettrica → SENSORE → grandezza elettrica corrispond.

- Obiettivo della misura = valutare se una variabile di importanza clinica rientra in un range di valori normali o meno
- Problematiche: interazioni con sistemi viventi (biochimico, fisiologico, psicologico)
  effetto della misura su sistema misurato difficile da prevedere
  misura ha sempre un grado di imprecisione { non dare un numero preciso, ma intervallo
  ERRORE nella stima, deve essere noto

Es termometro: in usata ho tensione/corrente in fx di temperatura;
posso conoscere temperatura d'ingresso conoscendo tale fx ed amplificare, elaborare la grandezza in uscita.

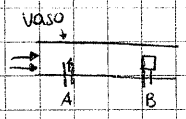
master COPY COPISTERIA

CLASSIFICAZIONE MISURE (→ obiettivo = stima accurata di variabile di interesse)

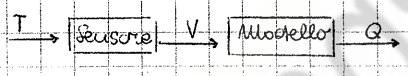
- Mai invasive: preleva segnale senza creare traumi, lesioni o alterazioni di param. vitali
  es: pressione arteriosa, movimenti, pressione e forza di contatto piede-suolo
- (Minimamente) invasive: glicosio, temperatura orale o timpanica, sonde endovascolari.

- Attive: mediante attuatori, segnale che verrà elaborato è emesso da apparecchiatura stessa
  es: in un ecografo viene elaborato il segnale ultrasonico generato da macchina e mediato da interazioni con tessuti.
- Passive: origine del segnale deriva spontaneamente e direttamente da organismo
  es: termografia coglie la radiazione infrarossa

- Dirette: rilevano quantità fisiche/chimiche d'interesse confrontandole con valori di riferimento
  es: temperatura o resistenza elettrica della pelle.
- Indirette: si basano su relazioni matematico-fisico-statistiche tra variabile di interesse e la quantità rilevata dal sensore.
  Es: misurare portata sanguigna tramite principio di diluizione di indicatore.
  Mediante catetere (A) inietto una soluzione fredda (bolo freddo) in un vaso; e valle ne misuro la temperatura (B). Ottengo curva legata alla portata: ↑ portata = ↑ diluizione:
  ↓ tempo impiegato per tornare ai fisiologici 37°C.







- Misure possono raggrupparsi in base a...
  grandezza misurata: potenziali, pressioni, portate...
  principio di trasduzione: resistivo, induttivo, capacitivo, piezoelettrico...
  sistema fisiologico analizzato: sistema polmonare, nervoso, cardiovascolare...
  specialità medica (utile x personale medico): pediatria, cardiologia...

- Complessità della misura:
  - misura diretta / indiretta (→ modello matematico)
  - processo complesso: calibrazione, misura, elaborazione; fattori che influenzano misure (variabilità soggetti, artefatti, rumore elettrico)
  - Stima accuratezza misure: errore < max consentito; minima interazione sonda/sistema di misura
  - Scelta strumento più adatto a sua progettazione
  - Conoscenza e riduzione rumore (averaging, filtraggio)
  - Scopo misura: diagnostico (grandezza misurata è obiettivo finale), fisiologico (comprensione di un processo), terapeutico (controllo "retroazionato" di un processo, confronto con valori di riferimento)

ERRORE: $e = x - \hat{x}$ (x = misurando, $\hat{x}$ = stima)

Possibili cause:
- Artefatti legati al metodo: misure indirette hanno possibilità di errore legato a modello matematico (es per misurare la Q, possibili errori su flusso e cinetiche di mescolamento)
- Artefatti di interazione meccanica: ingombro, malposizionamento, movimento relativo sensore/corpo (es movimento ed ECG); misure di flusso e pressioni intravasali via catetere (es alterazione dei profili del flusso)

Parametri di interesse biomedico: progettista o utente deve conoscere con quale grandezza fisica deve interfacciarsi sensore e compiere campionamento ideale per la freq: tabella importante! così da scegliere un sensore adatto, una corretta amplificazione...

master COPY COPISTERIA

SENSORI → Dispositivo che trasforma la grandezza fisica che vogliamo misurare (MISURANDO X(t)) in un'altra grandezza di natura diversa, tipicamente elettrica (USCITA, Y(t)); l'USCITA Y(t) è la grandezza disponibile direttamente a utilizzatore.

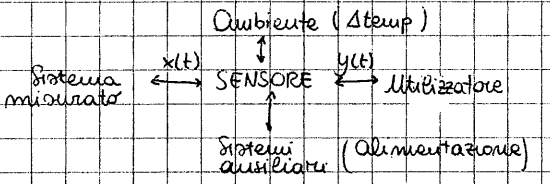
X(t) → [SENSORE] → Y(t)

(In generale, sensore può contenere o meno la circuitistica analogica per trattare il segnale. Y(t) può anche essere digitale)

Osservando variabile Y(t), l'obiettivo è stimare misurando X(t): X(t) = F(y(t)), funzione di trasferimento. Nota la Fx conversione, va considerato anche l'errore.

Per conoscere misurando, è necessario conoscere la funzione di conversione... diretta: $X(t) = F_d(Y(t))$ / indiretta: $Y(t) = F_i(X(t))$

- Sensore è un sistema complesso, che interagisce con fattori ESTERNI (sottosistemi)



Taratura e calibrazione:
↓ caratterizzazione che ha come scopo la definizione delle caratteristiche metrologiche di strumento di misura; ciò avviene di solito mediante strumento di riferimento, definito campione; lo strumento oggetto di taratura viene anche detto tarando. È un'operazione sperimentale.
Taratura ≠ calibrazione (→ ha come obiettivo la maggior accuratezza di strumento): con TARATURA si calcolano la FUNZIONE di CONVERSIONE (diretta / inversa).

Fd ricavabile in diverse modalità:
1) Nota a priori conoscendo modello elettrico / fisico del sensore (caso più raro, è necessario sempre svolgere anche i punti successivi, a causa inevitabile tolleranze su componenti elettronici e costruzione)
2) Per punti, imponendo X noti (non sempre possibile; ok per caratterizzazione quasi-statica)
3) " utilizzando sensore di riferimento molto preciso di cui è nota la fd:

Sistema misurato → Sensore → Y(t) → f_d
Sensore di riferimento → $Y_R(t)$ → f_d^R → X(t)

master COPY COPISTERIA

28 09 2016 **Modello matematico di un sensore**

- hp: STATO STAZIONARIO (= esauriti tutti i transitori, a regime; misurando e uscita costanti, quindi togliamo la variabile tempo). Il modello dipenderà, oltre che dal misurando, da altre grandezze fisiche dette "di influenza", che variando influenzano uscita (Δtemp se misuriamo press; ΔV alimentazione; Δumidità aria...) e vorremmo quindi minimizzare. $y = f_i(x, g_1, \dots, g_n)$

Semplificazione:
1) Effetto di misurando separato dal resto di "grandezze di infl" → $y = f(x) + f'(x, g_1, \dots, g_n)$ (hp non sempre vera, perché l'effetto di g può variare al variare di misurando
2) $y = f(x) + f''(g_1, \dots, g_n)$
3) Effetto influenze tra di loro indipendenti: $y = f(x) + f'(g_1) + \dots + f^M(g_n)$

Se volessimo introdurre il tempo, potremmo introdurlo come la f^{M+1} grandezza di influenza:
$y(t) = f(x(t)) + f'(g_1(t)) + \dots + f^M(g_n(t)) + f^{M+1}(t)$
↳ indica che la fx di trasferimento può essere tempo variante.

Definizioni importanti:

- Campo di misura: intervallo di valori del misurando per cui è valido il modello descrittivo sopra riportato (x valori del misurando fuori dal range si deve modificare modello)
- Campo di sicurezza: intervallo di valori del misurando per il quale non si danni al sensore (campo misura < sicurezza)
- Campo di funzionamento normale: range di valori dell'uscita relativi al campo di misura
- Valori estremi: range di valori dell'uscita relativi al campo di sicurezza

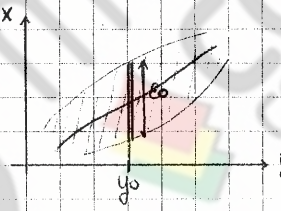
Caratteristiche del sensore, info sulle caratteristiche di uscita del sensore:
Natura dell'uscita (tensione, corrente...), campo di funzionamento normale (output range), valori estremi di uscita, potenza erogabile al sistema utilizzatore, impedenza in uscita, caratteristiche alimentazione.

Nell'ambito sensoristico, sia del pari di progettista che utente, non vengono date f_d o f_i, ma le "caratteristiche metrologiche nel regime stazionario/dinamico" in tempo e/o frequenza (per le condizioni dinamiche)

Caratteristiche metrologiche in regime STAZIONARIO:

- Funzione di taratura: relazione che $\forall$ valore di uscita, definisce l'intervallo di variabilità del misurando (NB: non voglio valore ma "fascia di valore"), causa incertezze dovute a grandezze/funzioni di influenza)
  ↳ f_d e y_i

  $y_0 \rightarrow x_0 \pm \varepsilon/2$,



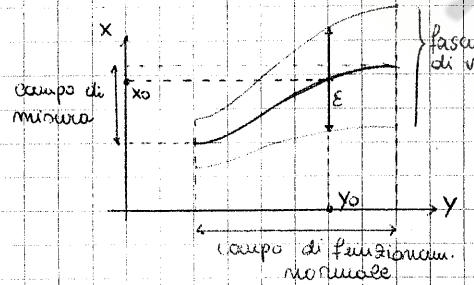
Per uscita y_0, "fascia di ingresso" ε ↓

Più fascia è larga, più è imprecisione

- Curva di taratura: curva che unisce tutti i punti medi della fascia di variabilità nella f_x di taratura.

↓

NB: non necessariamente funzione lineare e ampiezza fascia non necessariamente costante.
Se fosse rettilineo, si potrebbe definire una COSTANTE di TARATURA, cioè il coeff. angolare.

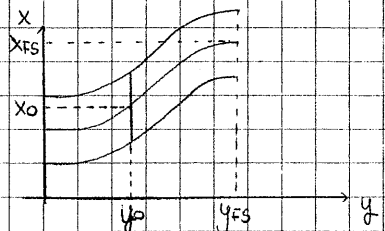


Campo di misura: range di misurando di cui conosco f_x di taratura

Per y_0, $x_0 \in [x_0 - \varepsilon/2 ; x_0 + \varepsilon/2]$

Incertezza di taratura (errore): è ε, la larghezza della fascia di valore. Può essere espresso in modi diversi:
- in valore assoluto (cioè ε), con stessa unità di misura di misurando (<<incertezza assoluta>>)
- in valore relativo: (ε/x_0), spesso valore percentuale (<<incertezza relativa>>)
- in valore ridotto: rapportandola a un determinato valore del campo di misura, di solito il limite **fondoscala** (<<incertezza ridotta>>) → $\varepsilon_{RID} = \varepsilon/x_{FS}$
  - ↳ cioè misurando relativo all'estremo superiore del campo di misura.

Max è costante, ma solitamente viene fornito un solo valore, cioè il max valore di ampiezza in tutto il range d'uscita (errore max) → **MASSIMA incertezza** nel range di funzionamento normale.



Noti ε, ε_R, ε_{rid} — x_0: "valore nominale"

$$x = \left[x_0 - \frac{\varepsilon}{2};\ x_0 + \frac{\varepsilon}{2}\right]$$

$$x = \left[x - \frac{\varepsilon_R x_0}{2};\ x + \frac{\varepsilon_R x_0}{2}\right] \qquad \varepsilon_R = \varepsilon/x_0$$

$$x = \left[x - \frac{\varepsilon_{RID} x_{FS}}{2};\ x + \frac{\varepsilon_{RID} x_{FS}}{2}\right] \qquad \varepsilon_{RID} = \varepsilon/x_{FS}$$

Costruttore/progettista fornisce: curva di taratura, incertezza di taratura (un unico valore e non su tutto il range → Per ogni y_0 ricaviamo il rispettivo x_0 sulla curva di taratura e, utilizzando l'incertezza fornita, ricaviamo la stima della misura (intervallo)

Meglio avere curva piatta, perché per piccole Δx ho grandi Δy (pendenza: $\frac{\Delta x}{\Delta y}$) → grande sensibilità!

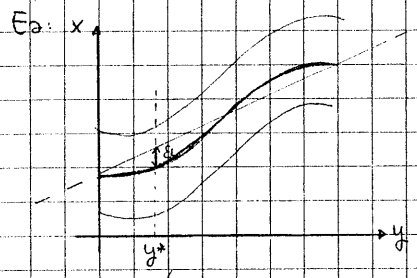
Sensibilità: $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, è reciproco di pendenza di curva di taratura (se linearità, inverso di costante di taratura)

Offset: valore di uscita se misurando nullo

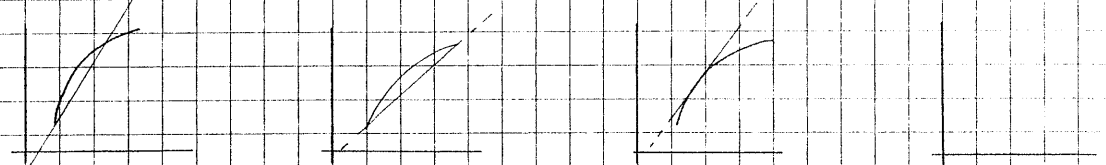
Risoluzione: minima variazione del misurando rilevabile dal sensore (Δx che provoca una Δy pari all'incertezza dell'uscita)

di ott 2016:

Linearità: indicazione di quanto la curva di taratura si discosta dall'andamento rettilineo. È specificata indicando max scostamento dei singoli punti della curva da una retta di riferimento. ↓ approssimaz. lineare della curva stessa.
si indica quindi un ERRORE



Ecco una retta interpolante passante per i due punti estremi. Visivamente individuo max scostamento in y^*, quindi definisco ε_L. ε_L dipende dalla retta interpolante, e ci sono 20 rette interpolanti. Nel nostro caso, «linearità definita rispetto agli estremi», ma ci hanno altre varianti; oltre a ε_L, il costruttore associato indica anche come ha costruito la retta.



"Linearità riferita allo zero": passante per estremo inf e angolata in modo da minimizzare gli scostamenti

"Linearità riferita agli estremi" (Spiegata in es #1)

"Linearità indipendente": retta che minimizza il max scostamento

"Linearità secondo i minimi quadrati": retta corrisponde al valor minimo della somma dei quadrati degli scostamenti