

La struttura funzionale dei sistemi di misura

Valutazione e scale di valutazione

Valutazione e misurazione

La caratterizzazione del sensore

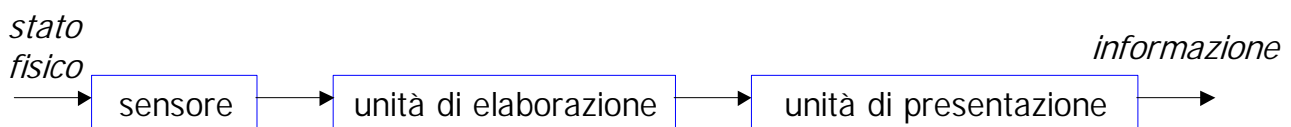
Misurazione e taratura

Riferibilità

Luca Mari, *Strumentazione Elettronica di Misura*

Misurazione e valutazione

In una visione *black box*, un sistema di misura è:



dunque uno strumento per acquisire informazione dal mondo fisico

Tale informazione (le misure) è espressa in forma simbolica

La misurazione è perciò un'operazione di *valutazione*

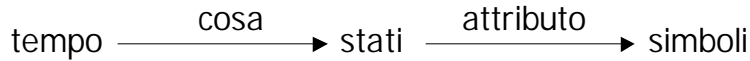
... in cui gli elementi in gioco sono: un *ambiente*, al cui interno si identificano *cose* (eventi, fenomeni, ...), che in ogni *istante* si trovano in un *stato*, a priori non noto, qualificato mediante un insieme di *attributi* (grandezze, parametri, osservabili, ...), e quantificato in ogni istante da un *valore* per ogni attributo

La valutazione

Valutazione: *associazione di simboli* (entità di informazione) *a cose* (entità empiriche)
 ... *in riferimento ad attributi* ("grandezze", "osservabili", "parametri", "proprietà", ...)



... e, a rigore, bisognerebbe formalizzare anche le cose come funzioni, da istanti temporali a stati, cioè come "istanze temporali" di processi:

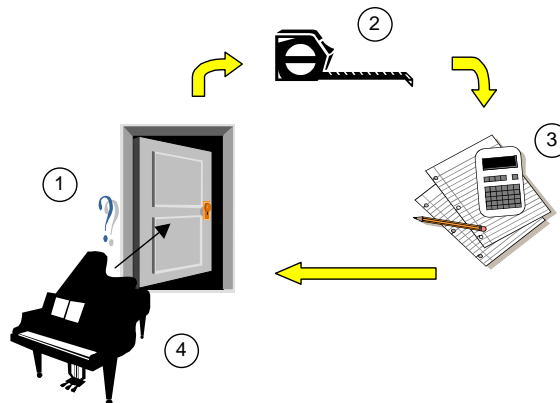


... dunque ogni valore di attributo è interpretabile come un componente del vettore di stato caratteristico della cosa:

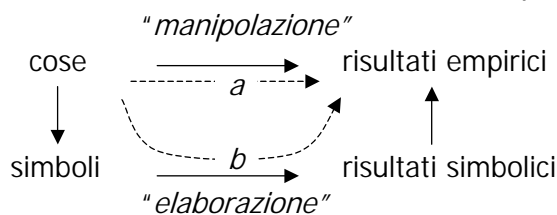
$$\text{valore} = \text{attributo}(\text{stato}) = \text{attributo}(\text{cosa}(\text{tempo}))$$

Perché valutare: la sostituibilità

Per esempio:



I simboli sono considerati fedeli sostituti delle cose, così che ogni informazione ottenuta elaborando simboli si considera "retro-propagabile" alle cose stesse:



... e quindi si sceglie la strategia b in alternativa alla a

La teoria delle scale

Dato un insieme cose (con relazioni empiriche), quanto la condizione di omomorfismo determina univocamente l'insieme simb (con relazioni simboliche)?



(quanto è trasformabile simb in modo da mantenere la condizione che attr sia un omomorfismo? quali caratteristiche deve avere perciò trasf ?)

La risposta: dipende proprio dalle caratteristiche del sistema R_{cose} di relazioni su cose
Usualmente sono identificati 5 *tipi di scale*:

- * nominale: R_{cose} include solo una relazione di equivalenza (trasf è una qualsiasi funzione 1-1)
- * ordinale: R_{cose} è arricchito con una relazione di ordine (trasf è una qualsiasi funzione monotona)
- * "a intervalli": R_{cose} è arricchito con una metrica (trasf è una qualsiasi funzione $y=ax+b$)
- * "a rapporti": R_{cose} è arricchito con un punto fisso (trasf è una qualsiasi funzione $y=ax$)
- * assoluto: R_{cose} è arricchito con un secondo punto fisso (trasf è una specifica funzione $y=kx$)

(un esempio di applicazione: significatività delle statistiche)

Da valutazioni a misurazioni

Questo approccio (cosiddetto "rappresentazionale") nasce da logici e scienziati sociali, interessati a definire le condizioni di consistenza strutturale che una valutazione (generalmente non realizzata mediante uno strumento fisico) dovrebbe soddisfare

Ma la conclusione, le misurazioni sono valutazioni omomorfe, non è sufficiente a giustificare le due proprietà considerate tipiche delle misurazioni fisiche, di essere cioè operazioni:

- * *oggettive*, in quanto finalizzate a fornire un'informazione relativa alla cosa misurata e non al soggetto misuratore
- * *intersoggettive*, in quanto finalizzate a fornire un'informazione identicamente interpretabile da più soggetti

Per questo è necessario introdurre le caratteristiche qualificanti per le misurazioni fisiche:

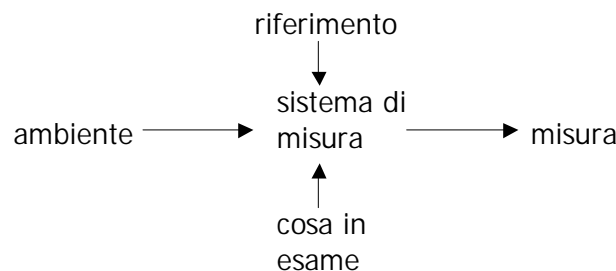
- * le misure sono ottenute con l'impiego di *strumentazione* ...
- * ... da *tarare* relativamente a un *riferimento esterno* ...
- * ... e tenendo conto delle *grandezze di influenza* rilevanti

La struttura generale della misurazione

- Una misura è sempre un valore relativo ...
- ... a un riferimento pre-assunto ...
- ... e alle condizioni dell'ambiente ...
- ... che infatti vanno dichiarati nell'espressione della misura

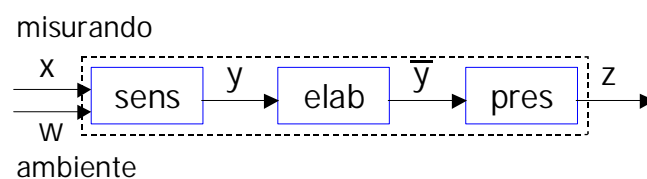
$$R_{T=22^{\circ}\text{C}}(r98) = 1,23 \text{ k}\Omega$$

(il componente r98 alla temperatura di 22°C ha una resistenza pari a 1,23 nel riferimento kΩ)



In modo più o meno esplicito, ogni misurazione è un'operazione di confronto e ogni sistema di misura è un comparatore

La struttura funzionale dei sistemi di misura



- interagiscono in modo controllato con la cosa da misurare, effettuando una transizione di stato (con trasferimento di energia) dipendente
 - idealmente solo dalla grandezza in misurazione x (*misurando*)
 - e praticamente anche da altre grandezze w , proprie della cosa o dell'ambiente (*grandezze di influenza*)
 - associano allo stato così ottenuto un segnale di uscita z (*lettura* dello strumento)
- E' tipico che le tre grandezze x , y (e \bar{y}) e z siano fisicamente diverse:
- * x è ciò che si vuol misurare
 - * y è una grandezza elettrica adatta all'elaborazione
 - * z è una grandezza adatta alla presentazione

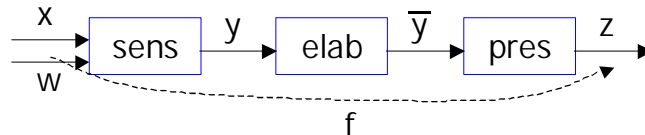
Il problema generale è *di ottenere la misura dalla lettura*, cioè di ricostruire il segnale in ingresso al sistema a partire dalla conoscenza del segnale in uscita

Il ruolo del sensore

La struttura funzionale del sistema può essere così formalizzata:

* y è in relazione con x e w attraverso una *funzione di conversione*, caratteristica del sensore: $y = f_w(x)$

* dal punto di vista metrologico, le trasformazioni compiute dai sottosistemi elab (filtraggi, amplificazione, ...) e pres (trasduzione a una grandezza per la presentazione) possono essere considerate, almeno in prima istanza, funzioni identità



Il comportamento del sistema risulta dunque caratterizzato metrologicamente dalla funzione di conversione del sensore, rappresentabile numericamente mediante una tabella del tipo:

x	w	$y = f_w(x)$
...
...

La caratterizzazione del sensore

Un sensore dovrebbe, idealmente, fornire un segnale y in uscita che consenta di discriminare sul segnale in ingresso, cioè tale che:

$$\text{se } x_1 \neq x_2 \text{ allora } y_1 = f_w(x_1) \neq f_w(x_2) = y_2$$

(condizione di ricostruibilità del segnale in ingresso a partire dal segnale in uscita)

Nell'ipotesi che le grandezze in gioco siano valutate in una scala sufficientemente ricca ("nel continuo"), si definisce:

$$\text{sensibilità} = \frac{\Delta y_w}{\Delta x}$$

cioè la pendenza della funzione di conversione ...

... che in generale varia da punto a punto dell'intervallo dei valori del segnale di input e dipende dal valore delle grandezze di influenza

Per un sensore (e quindi un sistema di misura) sono cruciali anche:

* **la ripetibilità**: "attitudine a fornire valori poco differenti tra loro in operazioni successive eseguite indipendentemente sullo stesso misurando, nelle stesse condizioni per le grandezze di influenza, con lo stesso procedimento, dallo stesso operatore"

* **la stabilità**: "attitudine a fornire valori poco differenti tra loro in operazioni eseguite indipendentemente sullo stesso misurando in un intervallo di tempo definito, nelle stesse condizioni per le grandezze di influenza e con lo stesso procedimento"

La caratterizzazione del sensore /2

A proposito dell'intervallo dei valori del segnale di input e di ogni grandezza di influenza:

	Misurando	Grandezza di influenza
* campo di impiego:	"intervallo comprendente i valori che si possono assegnare mediante un dispositivo per misurazione"	"intervallo in cui deve rimanere compresa la gdi durante la misurazione affinché sia possibile ottenere la misura"
* campo di sicurezza:	"intervallo comprendente tutti valori per il misurando cui un dispositivo per misurazione può essere applicato senza che la sua funzione di conversione resti permanentemente alterata"	"intervallo in cui deve rimanere compresa la gdi durante l'uso di un dispositivo per misurazione affinché non risulti permanentemente alterata alcuna delle sue caratteristiche metrologiche"
* campo di magazzino:	N/A	"intervallo in cui deve rimanere compresa la gdi durante tutto il tempo in cui un dispositivo per misurazione non è in funzione, affinché non risulti permanentemente alterata alcuna delle sue caratteristiche metrologiche"

Naturalmente: campo di impiego \subseteq campo di sicurezza \subseteq campo di magazzino

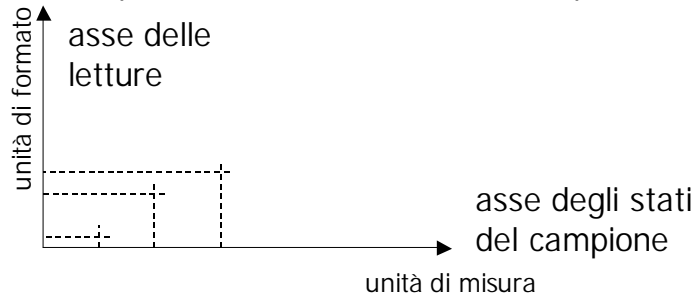
La caratterizzazione del sensore /3

Un sensore è inoltre caratterizzato da:

- * comportamento dinamico (risposta in frequenza)
- * grandezza in ingresso
- * grandezza in uscita
- * comportamento dal punto di vista energetico (deve essere alimentato con una sorgente esterna al segnale di ingresso? qual è la potenza del segnale in uscita? ...)
- * principio di trasduzione

Misurazione e taratura

Torniamo al problema generale di ottenere le misure dalle letture: per interpretare le letture (note) fornite in termini di valori (ignoti) del misurando, prima di cominciare a usare il sistema lo si "mette alla prova", sottoponendogli dei misurandi i cui valori siano assunti come noti (mediante un "campione") e identificando le corrispondenti letture:

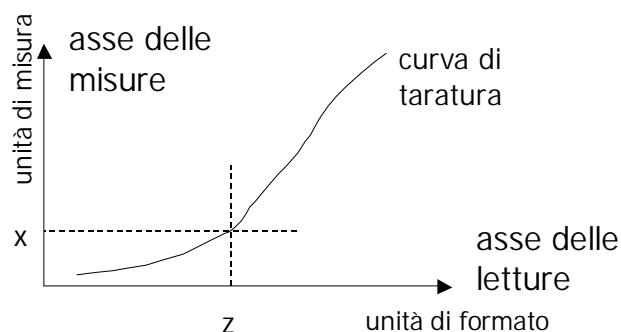


(se si trascurano l'azione dei sottosistemi elab e pres, ciò che si ottiene non è sostanzialmente diverso dalla funzione di conversione di sens)

Per l'uso del sistema si inverte il diagramma (e quindi diventano critiche le condizioni di invertibilità della funzione di conversione), in modo da ottenere un valore per il misurando per ogni lettura nel campo di impiego

Il diagramma di taratura

La corrispondenza tra letture e misure si formalizza mediante i *diagrammi di taratura*

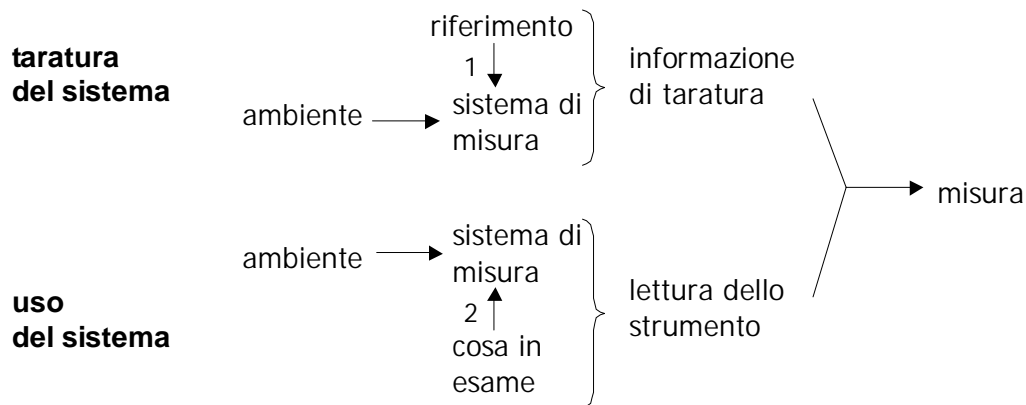


(se si trascurano l'azione dei sottosistemi elab e pres, la curva di taratura è l'inverso della funzione di conversione di sens)

- * Al variare delle condizioni ambientali la curva di taratura cambia
- * Con il trascorrere del tempo la curva di taratura cambia
- * Se la curva di taratura non è lineare, di principio occorrerebbe tarare lo strumento per ogni valore del campo di misura (se la curva è una retta, la sua pendenza viene detta *costante di taratura*: è l'inverso della sensibilità di sens)

Lo schema generale

Dunque:



e quindi è essenziale distinguere *la lettura* dello strumento *dalla misura*, ottenuta dalla lettura e dall'informazione di taratura (questo diventerà particolarmente importante quando introdurremo l'incertezza di misura! Per ora siamo facendo un discorso semplificato ...)

Qualche caratteristica ulteriore

Le misurazioni possono essere *dirette* o *indirette* (in questo caso la misura viene assegnata per calcolo, a partire da misure effettuate su altri parametri da cui il misurando è dipendente funzionalmente)

... e, se dirette, *a lettura singola* o *a lettura ripetuta* (in questo caso la misura viene assegnata come risultato di un'analisi statistica sulla distribuzione delle letture ottenute in condizioni nominalmente uguali)

I metodi di misurazione diretti più tipici sono:

- * per deviazione (a lettura diretta): la misura è in relazione con un segnale prodotto dallo strumento
- * per azzeramento (a confronto diretto): la misura è ottenuta per confronto con un campione omogeneo al misurando

Riferibilità

Un problema ulteriore: come garantirsi che il riferimento usato sia compatibile con gli altri riferimenti omologhi usati in altre situazioni sperimentali?

(... che 1 k Ω a Castellanza sia uguale a 1 k Ω a New York?)

Occorre "tarare i riferimenti" mediante meta-riferimenti, e questi mediante meta-meta-riferimenti, ecc.

E inversamente: dai campioni primari, ai campioni nazionali, fino ai campioni di laboratorio e agli strumenti di misura industriali tarati (si parla al riguardo di *disseminazione delle unità di misura*)

Questa catena di riferimenti rende uno strumento di misura tarato anche *riferibile*

L'organizzazione che gestisce la riferibilità deve essere dunque internazionale, e prevede organismi nazionali:

- * per mantenere i campioni nazionali
- * per disseminare le relative unità, attraverso la logica dell'accreditamenti di laboratori

La riferibilità in Italia

* campioni nel campo della meccanica e della termologia: Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti (IMGC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

* campioni di tempo e di frequenza e campioni nel campo dell'elettricità, della fotometria, dell'optometria e dell'acustica: Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN)

* campioni nel campo delle radiazioni ionizzanti: Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI) dell'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA)

→ per realizzare e conservare i campioni nazionali, verificarne la coerenza con quelli di altre nazioni, e disseminare le unità di misura realizzate per mezzo di tali campioni

Il processo di disseminazione viene anche attuato per via indiretta tramite i Centri di taratura convenzionati SIT (Servizio Italiano di Taratura) e accreditati dalle rispettive Strutture di accreditamento SIT dei suddetti Istituti

Il prodotto: il certificato di taratura

... che specifica (tra l'altro):

- * le funzioni che il dispositivo è chiamato a svolgere
 - * il diagramma di taratura, o i diagrammi se sono previsti diversi campi di impiego per le grandezze di influenza
 - * il campo di misura per ogni diagramma di taratura
 - * il campo di impiego per le singole grandezze di influenza per ogni diagramma di taratura
 - * le condizioni operative di impiego per ogni diagramma di taratura
 - * il campo di sicurezza per il misurando
 - * la validità nel tempo delle caratteristiche fornite
 - * l'attestazione della riferibilità dei campioni usati per ottenere il diagramma di taratura
 - * la descrizione del metodo di taratura adottato
-

La gran parte delle definizioni qui presentate è tratta da:

"Misure e misurazioni – Termini e definizioni fondamentali", norma UNI 4546, 1984