



LEZIONE # 3

- MISURAZIONE

Il terzo e decisivo passo del procedimento conoscitivo sperimentale è sempre costituito da una serie di *operazioni* che si effettuano per mezzo di determinati *mezzi o strumenti*. In ultima analisi, sono gli *strumenti* che compiono l'operazione fondamentale della misurazione: essi effettuano il rapporto tra la grandezza da misurare A e l'unità di misura U scelta per quella grandezza

$$\frac{A}{U} = a$$

Il risultato di questa operazione è il numero a che quantifica in modo oggettivo l'ampiezza o l'intensità della grandezza in esame.

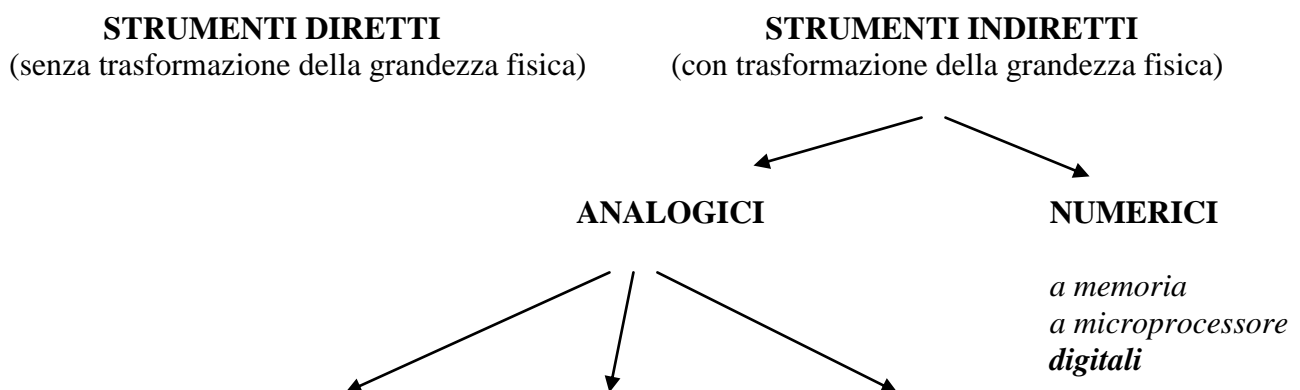
Da questa semplice definizione si è già in grado di distinguere tra

Misure dirette: eseguite con strumenti che operano il *confronto diretto* tra A ed U . Ad es. misure di lunghezza con il regolo graduato (metro). Sono misure semplici, piuttosto precise ma relativamente rare.

Misure indirette: ottenute applicando una legge fisica e misurando le grandezze che vi intervengono. Componendo i valori di queste misure, si ottiene il dato cercato. Ad es. misura di $v = x/t$, misurando lo spazio x e il tempo t ottengo indirettamente la v . Sono misure relativamente diffuse ma sono anche misure soggette a incertezze maggiori (a causa del fenomeno della *propagazione degli errori*).

Misure con strumenti tarati: eseguite mediante strumenti che hanno *memorizzato al loro interno* una volta per tutte il campione U della grandezza A da misurare. Queste, sono le misure più diffuse sia nel settore scientifico che tecnico.

Un'altra possibile classificazione degli strumenti è in base alle caratteristiche d'impiego, con tutte le sottoclassi che ne conseguono:



(segue sulla prossima pagina)



STRUM. A DEFLESSIONE
 (con *quadrante graduato*)

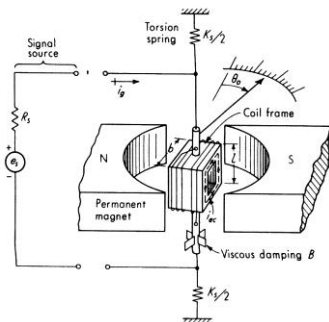


Figura 3.1

STRUM. DI ZERO
 (con *indice nullo*)

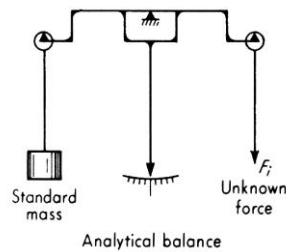


Figura 3.2

STRUM. REGISTRATORI
 (memorizzano la *funzione y=f(t)*)

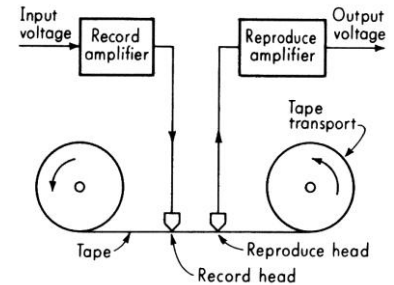
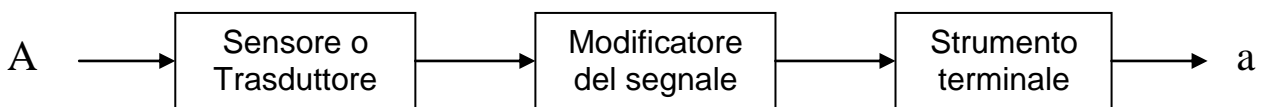


Figura 3.3

• LA CATENA DI MISURA

Lo schema generale di uno strumento o di un sistema di misura può sempre essere riassunto con lo schema seguente:



Questa schematizzazione rappresenta una *catena di misura* (ad anello aperto) nella sua configurazione più generale. Ciascuno *stadio* può quindi essere scomposto in due o più *sottostadi*, a seconda della complessità dello strumento.

E' bene osservare subito che l'individuazione degli stadi di una catena di misura per gli strumenti reali talvolta può essere immediatamente evidente (ad es. termocoppia) qualche altra può essere nascosta dalla semplicità stessa dello strumento (ad es. dinamometro a molla).

• LE QUALITA' METROLOGICHE DEGLI STRUMENTI

L'operazione tecnica della misurazione è sempre inserita in un procedimento logico che richiede tutta una serie di approfondimenti, prima e dopo il momento della misura stessa. Lo scopo ultimo di una misura è di ottenere con il minor costo possibile le informazioni corrette necessarie alla comprensione del fenomeno fisico o del processo sotto esame. La prima domanda che ci si deve porre è : *che cosa si vuole misurare e perché*

1. si vuole avere un controllo di massima di una grandezza fisica ?
2. si desidera fare una misura scientifica rigorosa ?
3. si desidera utilizzare il valore della misura per un controllo automatico ?
4. si vuole conoscere entro quali limiti può variare una grandezza per impostare un segnale di allarme ?

In tutti questi casi (e anche in tutti gli altri qui non riportati), va sempre definita a priori la *qualità* che la misura deve possedere per rispondere allo scopo in modo soddisfacente.



Una misura con *qualità elevata* comporta l'ottenimento di *informazioni meno ambigue possibili* sulla grandezza in esame; il dato numerico ricavato deve avere *bassa incertezza*; queste misure hanno, in genere, un *costo elevato*.

Il *metodo di misurazione* (misura diretta, indiretta, con strumento tarato) va individuato in base alla qualità richiesta. Lo *strumento*, quindi, va scelto in base alle prestazioni dichiarate dal costruttore e/o verificate dall'utilizzatore.

Le *caratteristiche o qualità metrologiche* esprimono efficacemente in maniera *quantitativa* le prestazioni di uno strumento o di un metodo di misura. Se l'operazione di misura viene condotta correttamente, le caratteristiche metrologiche di uno strumento costituiscono una valutazione a priori sulla qualità delle informazioni che sarà possibile ottenere con la misura stessa.

Di seguito viene schematizzato il procedimento logico che orienta una operazione di misura:



1. si sceglie lo strumento in base al *campo di estensione* della grandezza da misurare, in base all'*entità delle variazioni* che si prevede la grandezza possa avere e anche in base alla *velocità di variazione* che si pensa la grandezza possa manifestare.
2. sul dispositivo di uscita dello strumento si legge il *dato numerico a*.
3. per mezzo della *graduazione* dello strumento al dato numerico si associa l'*unità di misura U* eseguendo di fatto l'operazione di misura: $a \cdot U = A$
4. ma a questo punto si è ottenuta solamente una *misura bruta* della grandezza fisica A. Occorre ancora individuare le molte *incertezze* associate alla misura bruta, correggere il dato ottenuto e passare quindi alla *misura corretta*.
5. con l'enorme diffusione degli strumenti digitali è oggi possibile acquisire molte misure ripetute di una grandezza fisica $a_1 a_2 \dots a_n$. Si pone quindi il problema di individuare il *valore vero* della grandezza. Si procede quindi ad una analisi statistica dei dati.

Le *caratteristiche metrologiche* sono cinque, definiscono in modo *quantitativo* le prestazioni dello strumento e possono quindi essere considerate una *misura della qualità dello strumento*.

1. CAMPO DI MISURA
2. SENSIBILITA'
3. PRECISIONE
4. FINEZZA
5. RAPIDITA'

- CAMPO DI MISURA

Il campo di misura è l'intervallo compreso tra i valori minimo e massimo della grandezza misurabili dallo strumento e, all'interno del quale, sono valide le altre qualità metrologiche.

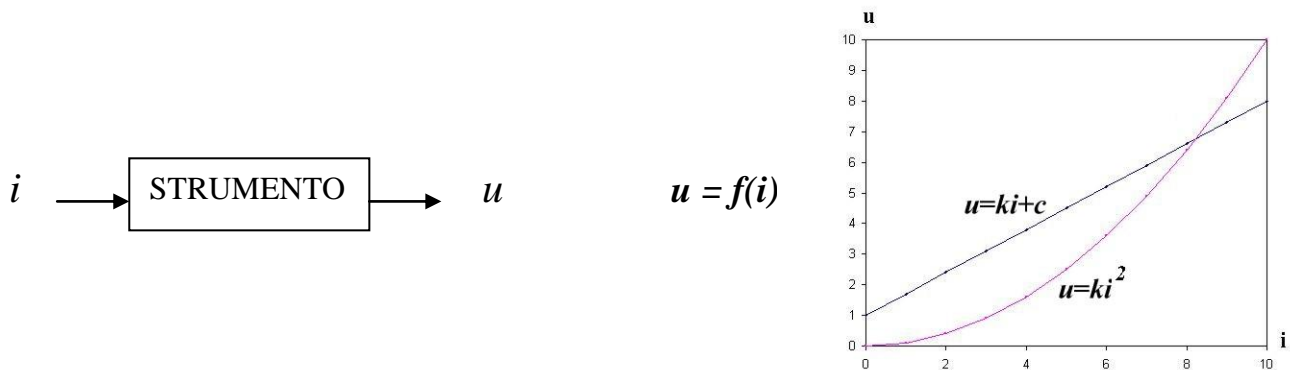
Anche se la graduazione dello strumento può estendersi oltre il campo di misura, nessuno strumento può misurare una grandezza fisica da 0 a ∞ . Sono utili le seguenti definizioni:



- Portata minima:** valore della grandezza al di *sotto* del quale la "accuratezza" dello strumento non è più garantita.
- Portata massima:** valore della grandezza al di *sopra* del quale la "accuratezza" dello strumento non è più garantita.
- Sovraccarico nominale:** valore superiore alla portata massima oltre il quale lo strumento non sopporta più la grandezza in ingresso e si danneggia. In certi casi può essere anche 10 volte la portata massima.

Ci si pone ora la domanda: come sono distribuite le tacche della numerazione sul quadrante dello strumento? sono equidistribuite o, per esempio, si addensano verso una delle due zone estreme? La *legge di distribuzione spaziale delle divisioni* che costituiscono la scala dello strumento prende il nome di **curva di graduazione**.

Essendo una legge, essa può essere rappresentata in forma matematica da un'equazione. La legge di cui si sta parlando è la **legge fisica** sulla quale è fondato il funzionamento dello strumento, mentre l'equazione è l'**equazione rappresentativa della legge fisica**.



- se l'equazione è di 1° grado (una retta) \longrightarrow lo strumento si dice *lineare* !
 se l'equazione è di 2° grado (quadratica) \longrightarrow lo strumento si dice *quadratico* !

esempio: determiniamo la curva di graduazione di un termometro a liquido (mercurio o alcool)
 Lo strumento funziona in base alla legge fisica dell'espansione volumetrica in funzione della temperatura, la cui espressione matematica è $V = V_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$

quindi $V - V_0 = \alpha \cdot V_0 \Delta T$ ovvero $\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha \cdot \Delta T$

ma $\Delta V = S \cdot \Delta h$ quindi $\frac{S \cdot \Delta h}{V_0} = \alpha \cdot \Delta T$

$\Delta h = \frac{\alpha \cdot V_0}{S} \Delta T$ questa è la *curva di graduazione*.

↑ uscita ↑ ingresso

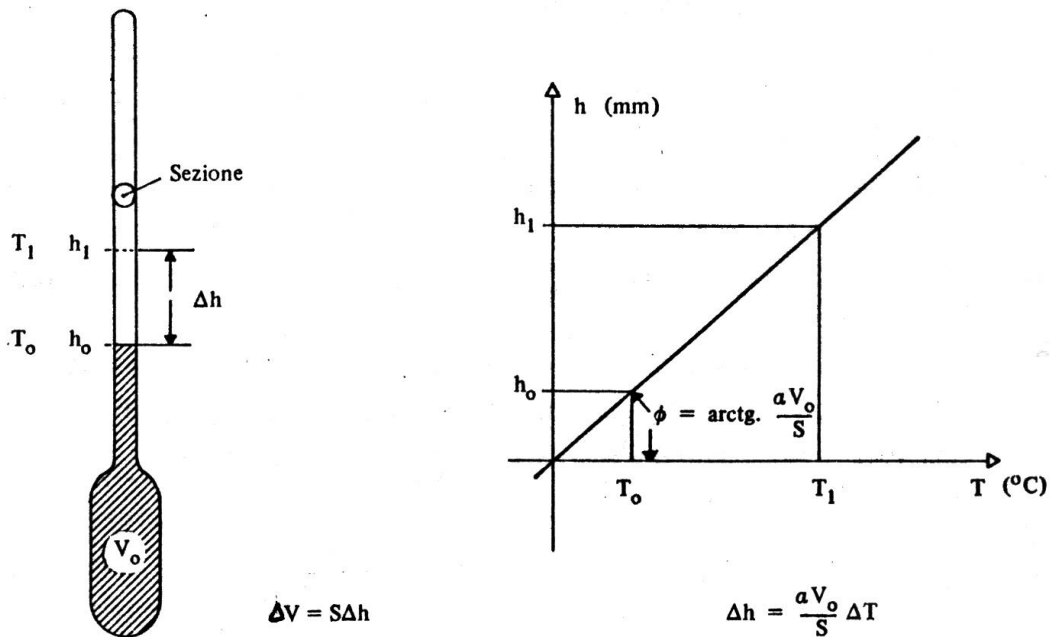


Figura 3.4

Al contrario, la **curva di taratura** è un procedimento sperimentale che non conosce nulla sul principio di funzionamento dello strumento.

La curva di taratura si costruisce avendo a disposizione i *campioni* della grandezza d'ingresso, o anche potendo disporre di uno *strumento campione*, la cui precisione è nota ed è di *almeno un ordine di grandezza superiore* a quella dello strumento della serie da tarare.

La curva viene tracciata per punti, al variare dell'intensità della grandezza in ingresso, annotando sul grafico lo scostamento tra la misura dello strumento campione e lo strumento della serie, oppure direttamente lo scostamento tra il valore dei campioni e l'uscita corrispondente dello strumento serie.

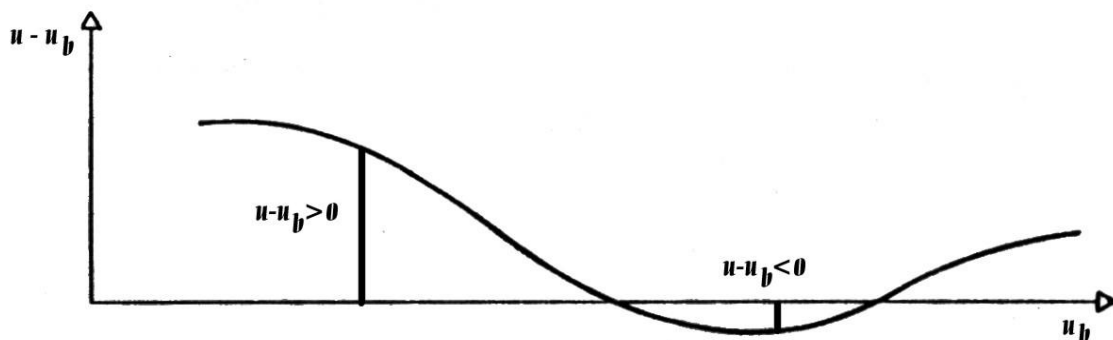


Figura 3.5

u indicazione dello strumento campione oppure *valore* del campione
 u_b indicazione "bruta" dello strumento della serie



$u - u_b = f(u_b)$ è la **curva di taratura**, ovvero la curva degli scarti tra la lettura del valore u_b e il valore di riferimento u , per ogni uscita u_b .

se $u - u_b > 0 \longrightarrow u > u_b$ lo strumento della serie **sottostima** la grandezza in ingresso quindi a u_b si deve **aggiungere** lo scarto indicato
se $u - u_b < 0 \longrightarrow u < u_b$ lo strumento della serie **sovrastima** la grandezza in ingresso quindi a u_b si deve **sottrarre** lo scarto indicato.

Se la taratura viene eseguita presso un centro abilitato SIT (Sistema Italiano di Taratura), viene rilasciato un certificato di taratura che comprende:

- ✓ l'indicazione della procedura impiegata;
- ✓ i dati identificativi delle grandezze di riferimento impiegate, riportando l'incertezza e i campioni da cui proviene la *riferibilità*;
- ✓ la curva di taratura per il campo di misura e di riferimento per le grandezze d'influenza;
- ✓ la stabilità e l'incertezza dello strumento.

• SENSIBILITA'

La sensibilità è l'attitudine dello strumento a rilevare piccole variazioni della grandezza in ingresso.

E' sempre possibile rappresentare lo strumento con lo schema seguente:



La sensibilità risponde alla domanda: quanto piccola può essere una *variazione* Δi della grandezza in ingresso per ottenere in uscita dallo strumento un Δu apprezzabile ?

Si può certamente scrivere $\frac{\Delta u}{\Delta i}$ che per variazioni $\Delta i \rightarrow 0$ significa $\frac{du}{di}$, ovvero $\lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{du}{di} = S$

Si osserva subito che, se $u = f(i)$ è la *curva di graduazione*, $S = \frac{du}{di}$ è la **derivata della curva di graduazione**.

La sensibilità S è calcolata in ogni punto della curva di graduazione, mediante il rapporto dei differenziali $\frac{du}{di}$. Essa ha quindi un significato geometrico notevole: è il coefficiente angolare della tangente alla curva di graduazione *nel punto del campo di misura* che si sta considerando.

esempi: *strumento lineare*: $u = ki + c \rightarrow S = \frac{du}{di} = K$ la **sensibilità è costante**.

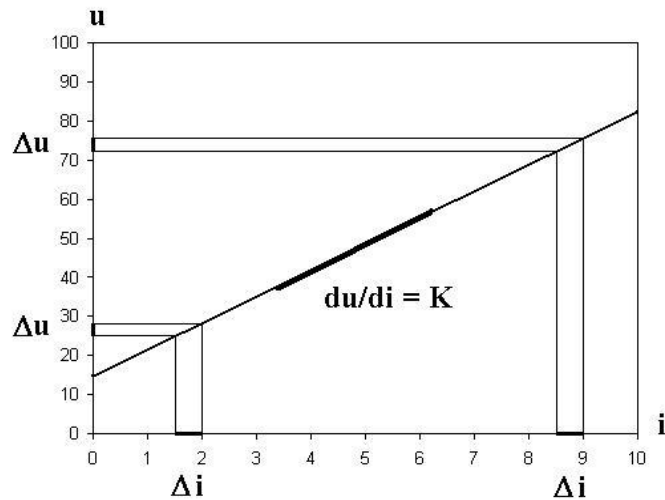


Figura 3.6

strumento quadratico: $u = ki^2 \rightarrow S = \frac{du}{di} = 2ki$ la sensibilità è una funzione del punto in cui calcolo la derivata, ovvero è *funzione dell'intensità della grandezza in ingresso* allo strumento. Si osserva infatti nella figura 3.7 come, a parità di Δi la sensibilità dello strumento quadratico cresce in prossimità del fondo scala.

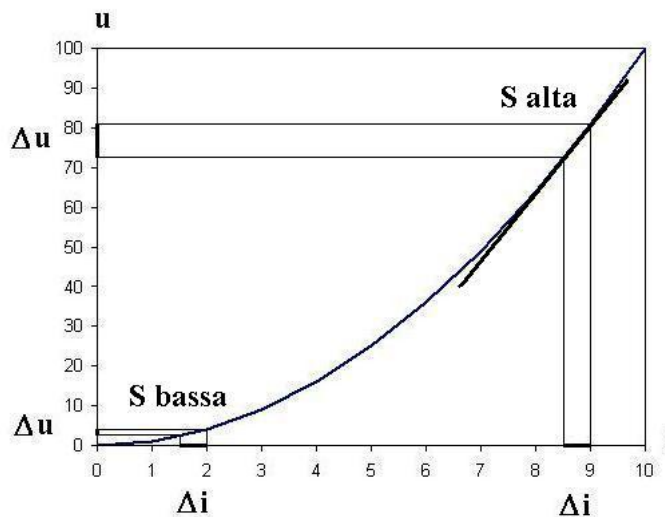


Figura 3.7

strumento logaritmico: $u = k \log i \rightarrow S = \frac{du}{di} = \frac{k}{i}$ la sensibilità è ancora funzione del punto di misura ma qui è alta nella zona iniziale del campo di misura, quando l'intensità (il valore) della grandezza in ingresso è piccola.

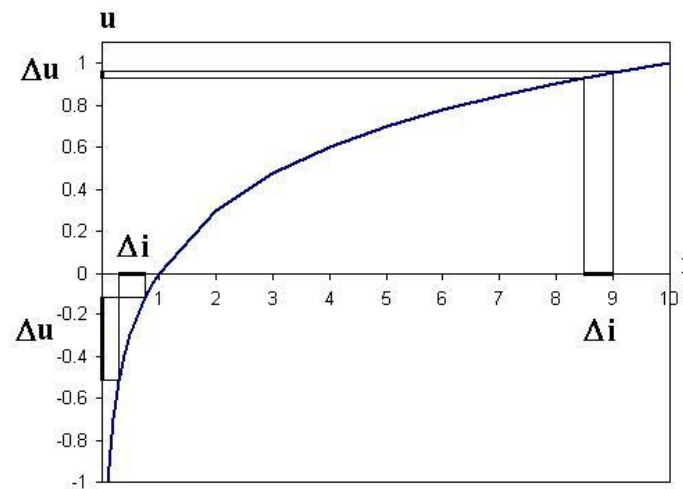


Figura 3.8

N.B. La sensibilità S non può essere definita semplicemente come “la più piccola variazione Δi della grandezza in ingresso che lo strumento riesce a rilevare”. Infatti, si è appena visto, che S può non essere costante per tutto il campo di misura e può variare *dependentemente dall'intensità della grandezza in ingresso*. Alla definizione di sopra si può, al più, dare il significato di **risoluzione** massima. Tuttavia, anche il termine *risoluzione* ha un significato ben preciso; oggi viene usato soprattutto per gli strumenti digitali, che verranno discussi più avanti.

In definitiva, essendo stata definita quale *derivata della curva di graduazione*, la sensibilità S è una *qualità intrinseca* dello strumento che dipende dalla legge fisica sulla quale è basato il suo funzionamento.

Note:

Figure 3.1; 3.2; 3.3 courtesy of:
Doebelin E.O. – *Measurement systems, application and design* – McGraw Hill

Figure 3.4; 3.5 courtesy of:
Branca F.P. – *Misure Meccaniche* – ed. ESA