

Perché misurare?

- 1) motivazioni commerciali e legali (~~tra~~ nasce dallo stato.)
- 2) motivazioni tipo tecnico
- 3) motivazioni tipo scientifico.

1) Bisognerebbe determinare il valore degli oggetti; determinare la qualità di beni venivano chiamati "Pesi e misure"

In generale ci si accorda. La misurazione è legata ad un accordo di tipo convenzionale.

Ci si accorda su:

- unità di misura
- campione (oggetto che materializza l'unità di misura)
- metodo di misurazione

Bisogna anche comunicare la misura (risultato della misurazione).

L'unità di misura è un problema: i campioni cambiano di dimensione. Inoltre si ha il problema delle conversioni tra unità di misura differenti.

2) Prove di accettazione di semilavorati (intercambiabilità tra i prodotti di più fornitori)

• Prove per la verifica della qualità del processo produttivo (qualità: usabilità del prodotto)

Procedure di prove: accordi specifici, norme nazionali o internazionali.

Accettazione del prodotto sulla base delle prove eseguite

Qui si fanno delle prove ridotte per motivi di tipo economico.

Bisogna garantire la compatibilità tra le misure eseguite in tempi e luoghi diversi.

3) La scienza è una tecnica con il scopo: la conoscenza di un fenomeno fisico. Conoscere un fenomeno fisico significa prevedere il comportamento e controllarlo.

Controllare il comportamento e il far comportare l'oggetto come si vuole.

### Metodo sperimentale:

1 il fenomeno fisico viene teorizzato (modello o legge fisica)

2 si fa l'esperimento su fenomeno fisico

Nell'esperimento si ha l'esecuzione delle misure.

3 si affina il modello (si fanno modifiche o si cerca il campo di validità)

Si cerca di avere un modello ideale perché vale il principio di sovrapposizione degli effetti.

### Le misurazioni nella scienza:

si cerca di ottenere informazioni quantitative e si si basa su un modello.

Bisogna comunicare delle informazioni; - intersoggettive

il messaggio deve essere comprensibile e ~~il~~ l'esperimento deve essere ripetibile.

### MISURARE

- significa acquisire e trasmettere informazioni sul mondo fisico.

- il risultato di una misurazione, l'informazione che si vuole ottenere, si chiama misura.

- bisogna fornire l'unità di misura e l'intervallo

- il processo con cui si misura si chiama misurazione

Misura: grandezza fisica di un'entità da misurare.

Unità di misura: termine di riferimento adottato per confrontare una grandezza con altre della stessa specie.

Misurazione è un procedimento empirico e oggettivo che permette il confronto tra misurato ed un insieme di numeri che permette la misura.

Ad ogni misura è associata un'incertezza che indica quanto è significativa la misura ottenuta.

L'incertezza deve essere valutata dallo sperimentatore e deve sempre essere comunicata.

### Il processo conoscitivo sperimentale

La misurazione si propone di ottenere info. per raggiungere la conoscenza del processo.

Bisogna individuare degli "enti fisici". Gli enti fisici si manifestano attraverso le grandezze fisiche.

La misurazione è un'operazione di quantizzazione (che è sia in spazio sia nel tempo. Di conseguenza si fa un campionamento nel tempo).

È possibile che le manifestazioni degli eventi fisici siano difficili da osservare (esempio: fare rifornimento e misurare dell'energia contenuta nelle benzine. Misuriamo perciò la massa della benzina. Nel passaggio tra energia e massa devo utilizzare un modello). In questo caso si utilizzano dei sensori o trasduttori.

Se si hanno tanti dati conviene elaborare i dati e trovare dei funzionali (condensare n. numeri in uno solo).

### Tipi di Grandezze:

- ~~modelli~~ associabili a leggi fisiche

- tipo numerale: la cui misura è un intero

- tipo razionale: la cui descrizione fatta mediante numeri razionali.

- tipo complesso: grandezze di tipo vettoriale

- definite in modo pressante convenzionale

- tipo strumentali: esempio durezza, impositi

- tipo relativo: percentuali di sabbia determinate con setaccio, percentuali collando per il controllo di qualità.

## Stima delle incertezze nel processo di misurazione

L'incertezza è sempre stimata da chi effettua la misura.

Una misurazione non è un esercizio di matematica, non esiste un risultato giusto.

L'incertezza non può essere nulla!!

Motivi per cui incertezza diversa da 0:

- definizioni di misurando } non descrivono completamente
  - operazioni necessarie per la misurazione } la realtà fisica
- è sempre possibile misurare una grandezza <sup>in modo</sup> ~~operando un più~~ raffinato. Questa è l'incertezza intrinseca (normalmente è minore delle altre incertezze)
- i dispositivi che realizzano il confronto sono affetti da incertezza. (è sempre possibile uno strumento più raffinato). Incertezza strumentale.
  - i campioni che si utilizzano nel confronto sono affetti da incertezza.
  - lo stato dei sistemi che interagiscono nella misurazione non rappresentano completamente la realtà fisica e varia al variare delle condizioni al controllo.

Stato del sistema: insieme dei valori esatti dei parametri del sistema.

## Genesi di incertezza

- le misure effettive sono stime del valore del misurando
  - il risultato non coincide con il valore reale.
- Si ha perciò un errore originato da svariati contributi:

L'effetto di alcuni scarti è modellizzabile

- conoscenza del comportamento dei sistemi che interagiscono nella misurazione
- conoscenza dell'effetto delle grandezze di influenza.

Si può correggere il risultato sulla base del modello  
 esempio: errori di consumo degli strumenti.

Tenere presente che ciò che misuriamo non è mai nello stato in cui si trovava prima della misurazione.

### Stima dell'incertezza

Si usano di più 2 modelli:

1) deterministico (mis. o lettura singola)

2) probabilistico (mis. o lettura ripetuta)



$x$ : misurando  $FdT$ :  $L$ : lettura

$L$ : lettura può essere un angolo (negli strum. a indice)

$FdT$ : funzione di taratura (si trova sul manuale)

### Modello deterministico

Stima pessimistica dell'incertezza. (Tutte le cause di incertezza concorrono senza compensazioni)

Alle fine della misura ho una ragionevole certezza che ~~il misurando~~ <sup>il misurando</sup> si trovi all'interno delle fasce.

Si sommano i valori assoluti dell'incertezza.

La fascia dei valori può essere fornita indicando:

- estremi: es.  $I = [3,035 \div 3,043] A$

- valore centrale e semiampiezza:

• in valore assoluto: es.  $I = [3,039 \pm 0,004] A$

• in valore relativo: es.  $I = 3,039 A \pm 0,13\%$

• in valore ridotto (a un valore convenzionale)

Uso dei reali, ma in realtà uso reali troncetti ad un numero di cifre limitato. Quante cifre devo scrivere?

Normalmente si accetta che l'incertezza sia fornita con l'incertezza dell'ordine del %. Quindi l'incertezza va dichiarata con 1 o 2 cifre. (1 cifra se  $> 5$ , 2 cifre  $\leq 5$ ).

N.B: 0,03 e 0,030 e 0,0300 non sono assolutamente equivalenti. 0,03 incatena su 2° dec. 0,030 incatena su 3° dec, 0,0300 incatena su 4° dec.

### Modello probabilistico

- Modello più raffinato che fornisce una stima più realistica
- esiste legge europea che richiede l'utilizzo di questo modello
- fa riferimento a strumenti matematici:
  - categoria A: analisi statistica di una serie di osservazioni
  - categoria B:

### CATEGORIA A

• grandezza è considerata variabile aleatoria

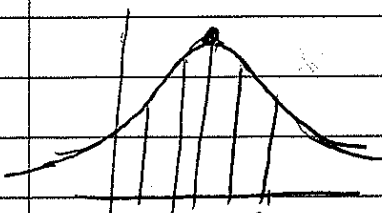
Consideriamo  $m$  osservazioni indipendenti della grandezza (eseguite nelle medesime condizioni)

La stima del valore è la media aritmetica:

$$\bar{n} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m n_k$$

Le osservazioni devono essere statisticamente indipendenti, cioè non devono essere correlate tra loro.

La varianza sperimentale  $s^2$ , stima della varianza  $\sigma^2$  della distribuzione di probabilità



guardando l'istogramma si può immaginare di creare un modello che ha un andamento.

Il più famoso è la distribuzione di Gauss, ma non è l'unico. Nelle curve di distribuzione si possono avere diversi elementi. Uno di questi

è quello che è più probabile. Questo si chiama valore sperato o momento del 1° ordine delle curve. Nelle misurazioni il valore sperato è il valore medio.

Possiamo anche chiederci di quanto è sperata la distribuzione. L'informazione della speranza è data dal momento del 2° ordine ed è chiamata anche varianza ( $\sigma^2$ )

$$s^2(n_k) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (n_k - \bar{n})^2$$

Non siamo in grado di fare un numero di osservazioni sufficienti per tracciare l'istogramma. Si dimostra che anche con poche misurazioni la stima del valore sperato (stima sperimentale) è consistente.

Si dimostra che analogo discorso può essere fatto per la varianza.

Si può fare una stima di  $\sigma^2$ : la varianza sperimentale ( $s^2$ )

A noi interessa la stima della varianza delle medie sperimentali

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(n_k)}{m}$$

La sua radice quadrata è l'incertezza (detta "incertezza tipo")  $u$

<sup>N.B.</sup> Per calcolare momento del 1° e 2° ordine non dobbiamo ipotizzare nessuna curva probabilistica.

Se faccio tante misure posso far tendere a zero l'incertezza. Però oltre un certo numero di misurazioni per motivi pratici il sistema cambia o le misurazioni sono dipendenti tra loro.

Risultato: sono forniti

- medio aritmetica
- incertezza tipo
- gradi di libertà

## CATEGORIA B

Esperienze non è ottenute con osservazioni ripetute. La sua distribuzione è ipotizzata a priori (es. mis. preced., esper. operative, specifiche tecniche, dati forniti da certificati di taratura).

Dalle valutazioni delle distribuzioni si trovano subito valore sperato ed incertezza tipo.

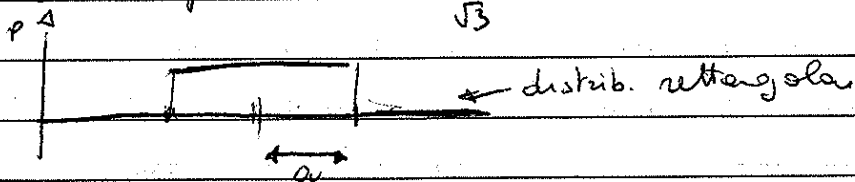
Toratura: è un procedimento che det. come i segnali di uscita degli strumenti sono legati alle misure dei misurandi.

## ESEMPI incertezza tipo B

- 1) - Incertezza DICHIARATA con un intervallo eventre un livello di fiducia (confidenza) del 90, 95, o 99 per cento
- si ipotizza una distrib. normale (gaussiana)
  - valore speso è valore dichiarato
  - incertezza tipo: incertezza dichiarata / 1,64 o 1,96 o 2,58

- 2) - Incertezza DICHIARATA come ampiezza  $2a$  delle fasce di valori distrib. (modello deterministico)

- si utilizza distrib. rettangolare
- valore speso è valore centrale delle fasce
- incertezza tipo:  $u = \frac{a}{\sqrt{3}}$



N.B: L'incertezza totale è stimata sommando i quadrati delle incertezze di tipo A e B

In qualche caso non mi fornisce l'incertezza tipo. Si usa l'incertezza estesa che è data da:  $U = u \cdot K$  con  $K$  compreso tra 2 e 3  
 $K$ : fattore di copertura.

Compatibilità delle misure

Con le misure non esiste più il concetto di uguaglianza. Il fatto che due misure siano numericamente uguali è un caso. Si potrebbe pensare alla matematica degli intervalli; ma è molto difficile. Si utilizza al posto dell'uguaglianza si utilizza il concetto di misure compatibili.

Due misure sono compatibili se hanno almeno un elemento in comune.

Con il concetto di compatibilità non vale più la proprietà transitiva. Le misure che soddisfano le proprietà transitive solo le misure mutualmente compatibili.



Sono mutuamente compatibili le misure che hanno almeno un elemento in comune fra tutte le fosse di valore.

## MISURAZ. DIRETTE

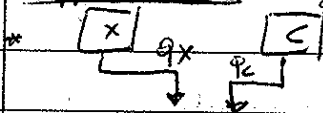
Definizione: procedimento di misura che consente il confronto diretto tra il misurando ed una grandezza di riferimento della stessa specie (materializzata da un campione)

Gli attori della misurazione diretta:

- sistema misurato
- il misurando
- il campione
- strumento (che permette il confronto)

Modi per eseguire una misura diretta

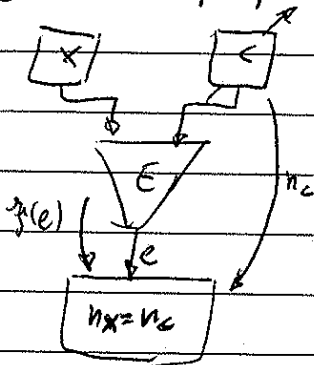
- opposizione: regola, bilancia o due piatti.



La misurazione di  $q_x$  presuppone  $C_0$  presenta di un campione  $C$  noto e verificabile finemente.

$q_x$  è la proprietà che ci interessa misurare

$q_c$  è la proprietà di riferimento del campione.



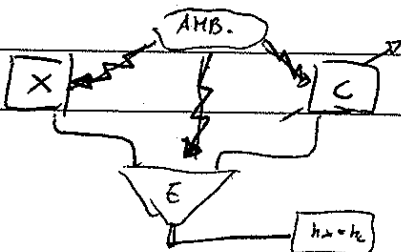
Si muove  $C$  fino a che il rivelatore  $E$  indica equivalente.

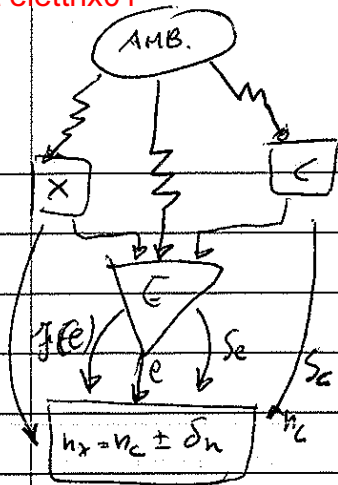
•  $n_x$  è il valore  $q_x$

•  $n_c$  è il valore  $q_c$

•  $f(e)$  è la funzione interpretativa di  $e$

La misurazione avviene all'interno dell'ambiente che influenza lo strumento.





La stima  $\hat{x}_n$  è un'operazione che l'utilizzatore deve eseguire tenendo conto dello stato  $S$  degli oggetti.

Lo stato del sistema misurato non è una causa di incertezza. Bisogna però anche dare le informazioni sullo stato del sistema misurato.

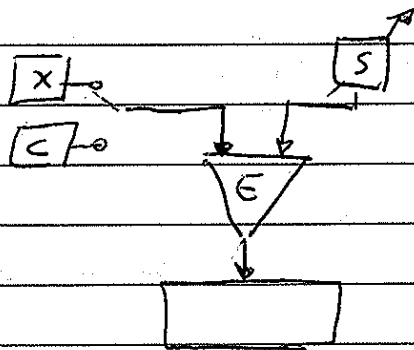
Le cause di incertezza sono:

- conoscenza dello stato  $S_x$
- conoscenza degli stati  $S_c$  ed  $S_e$
- modello di  $E$  (inter.  $q_x, q_c$  ed  $e$ )

Si ha anche l'incertezza con cui l'utilizzatore interpreta  $e$  (sulle basi di  $F(e)$ )

L'incertezza si può stimare con i modelli probabilistici o con quello deterministico

### metodo di sostituzione



Si deve possedere una zavorra  $S$  stabile finemente variabile

1° passo: si applica  $X$  e si varia  $S$  fino ad ottenere l'equilibrato.

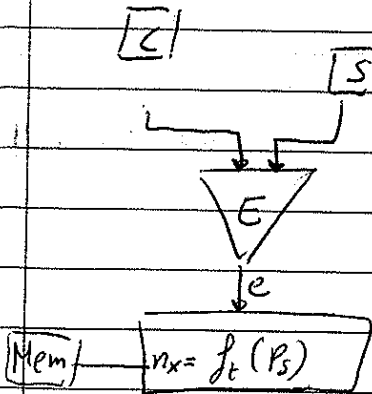
2° passo: tolgo  $X$  e ci metto  $C$ . Varo  $C$  finché non ho ottenuto di nuovo l'equilibrato

L'ambiente influente  $X, C, E$  ed  $S$  inoltre tra le due misure c'è un intervallo di tempo (che in opposizione non era presente)

Le cause di incertezza saranno su  $X, C, E, S$  e dovute al tempo ci si aspetta un'incertezza maggiore.

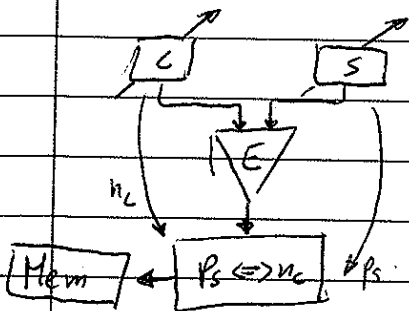
Il vantaggio del metodo di sostituzione è che scompare l'incertezza sul numero di equazioni.

metodo con memoria delle funzioni di taratura



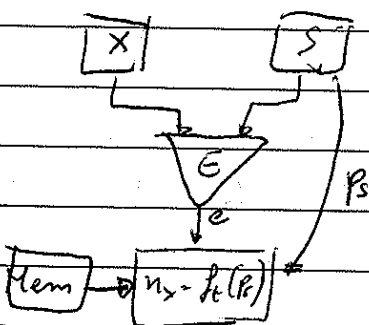
Si basa su un riferimento interno  $S$  su un campione esterno usato "una tantum" e su una memoria di taratura.

Fase 1: taratura



Si applica il campione, si varia  $S$  e si memorizzano i risultati nella memoria di taratura.

Fase 2: utilizzo



Si applica il misurato e si varia  $S$ . Si usano i dati della memoria per fornire il valore  $x$ .

Nella memoria è immagazzinata la funzione di taratura.

Si ha incertezza su  $X$ ,  $E$ ,  $S$ . Si aggiunge come causa il tempo trascorso dalla taratura.

Molto spesso non si esegue una taratura, ma una verifica di taratura (si verificano l'inizio, la fine e alcuni punti delle curve).

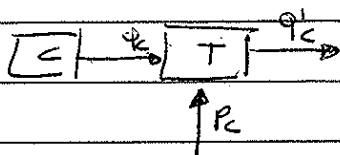
La verifica di taratura può essere fatta, a seconda dello strumento, ogni 20-30 anni (caterbar elettromeccanici) oppure una volta all'anno (volometri elettronici con pensata al per mille).

Gli strumenti compiono una volta al mese.

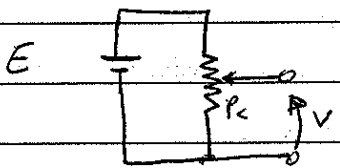
Normalmente si manda lo strumento ad un centro di taratura. La taratura è una cosa costosa. Uno strumento non tarato non ha valore commerciale!! È importante utilizzare strumenti tarati!!

Come si realizza un campione variabile?

Si crea un trasduttore comandato collegato ad un campione



$$n_{q_c} = f(n_{P_c}, n_{P_c})$$



Si aggiunge alle cause di incertezza quelle del trasduttore comandato.

Portata: È il limite superiore assoluto dell'intervallo comprendente tutti i valori delle misure che lo strumento può eseguire.

Bisogna misurare con strumenti che hanno portata non ~~meno~~ <sup>o la stessa</sup> del misurato. È conveniente avere strumenti multiporata. Per cambiare portata si utilizza un trasduttore comandato.

Quindi il trasduttore comandato è utile per:

- cambiare il valore del campione
- cambiare la portata dello strumento.

MISURAZIONE INDIRETTA:

Le misurando non è messa a confronto con una quantità di riferimento, ma si ottiene la misura attraverso calcoli.

Esempio: - velocità di un oggetto

- densità di una sostanza

- volume di un solido sferico

- resistenza di un resistore.

Le maggioranze delle misure che si ottengono sono di tipo indiretto. Le motivazioni sono per ragioni di comodità e di costo.

La misurazione indiretta presuppone l'esistenza di un modello ( $m = f(n_1, n_2, n_3, \dots, n_m)$ ) che lega le  $m$  misure.

Si aggiunge perciò un'incertezza intrinseca del modello.

Stime dell'incertezza:

Le incertezze delle misure dirette sono note e definite e le grandezze devono essere tutte indipendenti. Inoltre le incertezze devono essere piccole rispetto alle misure e devono essere definite e derivate parziali prima di  $f$  rispetto alle variabili indipendenti.

Modello deterministico

$m = f(n_1, n_2, \dots, n_m)$  dove  $n_i$  sono i valori centrali.

$$\delta m = \left| \frac{\partial f}{\partial n_1} \right| \delta n_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial n_2} \right| \delta n_2 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial n_m} \right| \delta n_m \quad \text{non ci sono compensazioni.}$$

Esempio:  $x = a + b$        $\delta x = E_x = \delta a + \delta b$   
 $x = a - b$        $\delta x = E_x = \delta a + \delta b$

$\delta x$  è l'incertezza assoluta.

$$x = a \cdot b \quad \frac{\delta x}{|x|} = E_x = \frac{\delta a}{|a|} + \frac{\delta b}{|b|} = E_a + E_b$$

$$x = \frac{a}{b} \quad \frac{\delta x}{|x|} = E_x = \frac{\delta a}{|a|} + \frac{\delta b}{|b|} = E_a + E_b$$

$$x = a^n$$

$$\frac{\delta x}{|x|} = E_x = n E_a$$

cosa di: piccolo incremento:  $x = a + \Delta$ ;  $\frac{\Delta}{a} \ll 1$

$$\frac{\delta x}{|x|} = E_x = \frac{\delta a}{a} + \frac{\Delta}{|a|} \frac{\delta \Delta}{|\Delta|} = E_a + \left| \frac{\Delta}{a} \right| E_\Delta$$

In prima approssimazione  $\frac{\delta x}{|x|} \approx E_a$

Modello probabilistico (2 casi, ne vediamo 1 (l'altro due occhi che è solido))

H<sub>0</sub>: definite le incertezze tipo  $u_i$ , delle misure dirette  $n_i$  e piccole rispetto a mis. le grandezze  $q_i$  sono stat. indipendenti:

$$n'_0 = f(n_{10}, n_{20}, \dots, n_{m0}) \quad n_{i0} \text{ sono i valori spuntati}$$

$$u_{n'_0}^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial n_1} \right)^2 u_{n_1}^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial n_2} \right)^2 u_{n_2}^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial n_m} \right)^2 u_{n_m}^2$$

Esempi ( $a > 0, b > 0$ , non correlati)

$$x = a + b \quad u_x^2 = u_a^2 + u_b^2$$

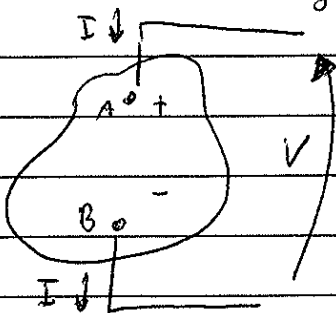
$$x = a - b \quad u_x^2 = u_a^2 + u_b^2$$

$$x = a \cdot b \quad \left( \frac{u_x}{x} \right)^2 = \left( \frac{u_a}{a} \right)^2 + \left( \frac{u_b}{b} \right)^2$$

Esempio di misurazione

MISURA della RESISTENZA di un RESISTORE

Dato un oggetto, individuiamo <sup>parametri</sup> 2 oggetti



$$V = R I$$

Possiamo utilizzare 3 metodi di misura -

Scegliamo il modello deterministico. Possiamo usare 3 metodi.

- 1 ohmetro
- 2 volt-ammperometro
- 3 ponte di Wheatstone

3

1) è una misurazione diretta. Dobbiamo:

- verificare le caratteristiche dello strumento.
- grandezze di influenza
- incertezza intrinseca del misurando.

Scala	incertezza
300 $\Omega$	0,7% + 2 count
3K $\Omega$ - 3M $\Omega$	0,7% + 1 count
30 M $\Omega$	2% + 1 count

N.B: Portata è il valore assoluto max dell'impiego

Fondo scala: indicazione di usata dello strumento (in alcuni casi portata e fondoscala non coincidono).

incertezza dello strumento è una formula binomiale. Il primo termine è lo 0,7% del valore letto, quindi un'incertezza proporzionale al valore letto. A questo va aggiunto 2 count (digit) rappresentano un'incertezza assoluta sull'ultima cifra (in questo caso di 2 sull'ultima cifra).

Grandezze di influenza. In questo caso è la temperatura

temperature  $25 \pm 5^\circ\text{C}$

tempo dalle tarature: 1 anno

Se siamo fuori dai  $20$  e  $30^\circ\text{C}$  non si può usare lo strumento. Iniziamo di essere nell'interno del campo d'impiego.

$$R = 2900 \Omega \Rightarrow L = 2900 \rightarrow$$

$$E_0 = 2900 \cdot 0,007 + 1 = 213 \Omega \rightarrow E_0 = \frac{213}{2900} = 0,0074 = 0,7\%$$

$$R = 3100 \Omega \Rightarrow L = 310 \rightarrow$$

$$E_0 = 10 \cdot (310 \cdot 0,007 + 1) = 31,7 \Omega \Rightarrow E_0 = \frac{31,7}{3100} = 0,01 = 1\%$$

## 2) Metodo Volt-Amperometrico

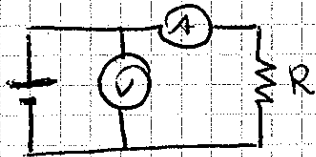
$$R = \frac{V}{I} \quad \text{metodo di misurazione indiretta}$$

La misurazione è più complicata anche perché dobbiamo fare il circuito.

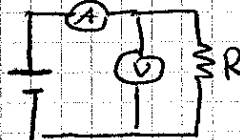
Supponiamo incertezza intrinseca del misurato (trascurabile)

Il tipo di circuito causa diverse incertezze

(A) voltmetro a monte



(B) voltmetro a valle



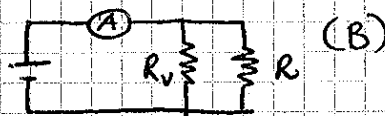
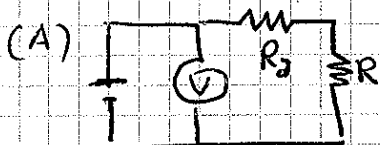
Useremo strumenti di tipo elettromeccanico in classe 1

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{fs} = 100 \text{ V} \quad SV = 1 \text{ V} \quad V = 80 \text{ V} \quad E_V = 1,25 \% \\ I_{fs} = 10 \text{ A} \quad SI = 0,1 \text{ A} \quad I = 4 \text{ A} \quad E_I = 2,5 \% \end{array} \right.$$

Negli strumenti <sup>elettromecc.</sup> non è fornito un manuale, ma bisogna leggere la norma CEI. Nelle Norme si dice che l'incertezza è data dall'indice di classe. L'indice di classe rappresenta l'incertezza relativa in % quando l'indicazione è al fondo scala. L'indice di classe fornisce un'incertezza assoluta, tutti gli strumenti elettromeccanici hanno incertezza assoluta costante.

$$R = \frac{V}{I} = 20 \Omega \quad E_R = 3,75 \%$$

Gli strumenti non sono ideali!! Infatti l'ampmetro ha una resistenza interna non nulla e il voltmetro ha una resistenza interna  $R_V$  non infinita. Quindi i due circuiti sono differenti.



Voltmetro a monte: si misura  $R + R_A$

Voltmetro a valle: si misura  $R \parallel R_V$

Devo perciò effettuare delle correzioni. La correzione non è totale perché i valori del carico strumentale sono affetti da errore.

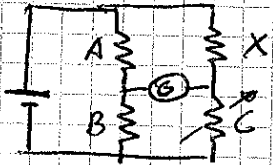


Conviene scegliere la condizione in cui l'effetto del carico strumentale è minore.

9

Dell'esempio si nota che bisogna tenere in conto ciò che il modello non descrive.

3) Ponte di Wheatstone: misurazione di un'impedenza. Si fa confronto con resistenze campione. Si cerca un equilibrio di tensioni.



Si modifica il campione C fino a che il galvanometro G indica equilibrio

$$R_x = \frac{R_A}{R_B} \cdot R_C$$

A e B fissi e C finemente variabile.

incertezza: - caratteristiche dei campioni

- grandezze di influenza
- galvanometro (risoluzione)
- fenomeni secondari
- incertezza intrinseca.

$$R_x = \frac{R_A}{R_B} \cdot R_C \Rightarrow E_r = E_{R_A} + E_{R_B} + E_{R_C} + E_G \dots$$

L'incertezza  $\sigma_x$  dovuta al galvanometro a dettante squilibrate leggermente il ponte

$$\sigma_x = \frac{\Delta R_x / R_x}{\Delta e / e} \text{ dove}$$

$R_x$  valore di equilibrio di C  
 $\Delta R_x$  di quanto varia C  
 $\Delta e$  deviazione prodotta da  $\Delta R_x$   
 $e$  mmie deviaz. oppert.

$$E_r = E_A + E_B + E_C + \sigma_x$$

La pila non è fonte di incertezza, inoltre il valore della tensione è irrilevante. Come si sceglie la V di alimentazione: Tensione troppo bassa riduce la tensione ai capi di G molto bassa tensioni troppo alte fanno scaldare i resistori. Queste considerazioni influenzano l'incertezza in 2° battuta.

Effetti di 2° grado:  $\delta$

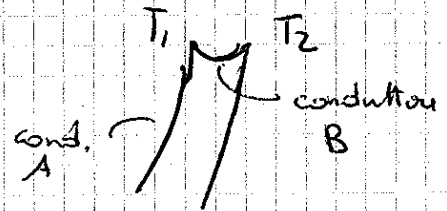
• forze termo-elettive motrici:

- se in un circuito fatto da materiali omogenei A e un altro materiale B si genera una forza termo-elettiva motrice che dipende

del salto di temperatura tra le giuntioni. (termocoppie)

$$e_{\text{FTEH}} = f(T_1 - T_2) = \alpha (T_1 - T_2) + \beta (T_1 - T_2)^2 + \dots$$

$$\alpha = 5 \div 50 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} \quad \beta = 0$$



Nel ponte di Wheatstone ci sono differenze di temperatura o di materiali nel circuito?

Materiali: rame - stagno

Il rame ha un coefficiente <sup>di temp.</sup> del  $4 \cdot 10^{-5}$ . Il campione non è rame, normalmente si usano leghe come la manganina.

Abbiamo delle possibilità di avere delle termo coppie.

Di sicuro ci sono salti di temperatura tra due punti.

Si generano perciò forte termo-elettromotrici.

Se il salto di temperatura è dell'ordine dei gradi e i materiali sono i sovraposti, la  $f_{\text{tem}}$  è dell'ordine dei  $10 \mu\text{V}$ .

L'effetto della  $f_{\text{tem}}$  si minimizza equalizzando termicamente il circuito. Molte si possono inventare le alimentazioni del ponte.

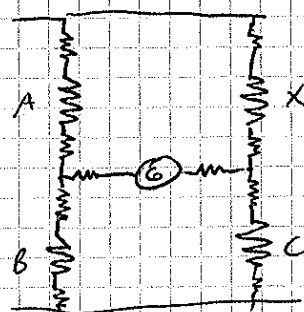
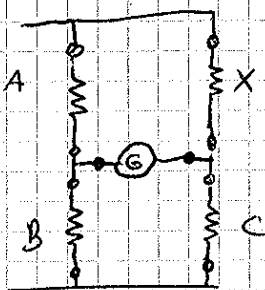
Si può equalizzare termicamente ~~se si~~ mettendo il circuito nel polistirolo oppure appoggiando il circuito su una piastrina buona conduttrice termica.

Invertendo l'alimentazione elettrica cioè che prima si sommasse ora si sottrae. Facendo la media si ottiene il valore della resistenza.

C'è anche la componente tempo, ma la considero trascurabile.

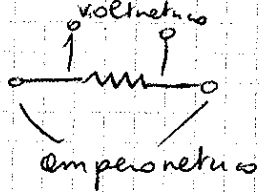
Altre cause di incertezza sono le resistenze di contatto che sono dell'ordine del  $\text{m}\Omega$ . Il valore varia ogni volta che si fa contatto.

Le resistenze di contatto sono dell'ordine dei centesimi di  $\Omega$ . Il loro effetto è tanto più elevato quanto più sono bassi i valori di resistenza coinvolti. Le resistenze di contatto possono essere nei punti:



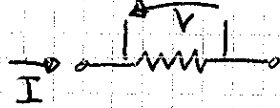
Possiamo trascurare la resistenza sul galvanometro

Posso trascurare le resistenze A e B, ma non su C e X. Cambio modello del resistore (creo un resistore a 4 morsetti.)



(10)

Con questo sistema elimino l'effetto delle resistenze di contatto. Infatti definisco  $R = \frac{V}{I}$



Le resistenze di contatto su

morsetti amperometrici non influiscono su corrente e la tensione sui morsetti voltmetrici non risente delle resistenze.

Problema: con il ponte di Wheatstone posso usare solo 1 <sup>resistore</sup> ponte e 4 morsetti. Devo usare il ponte di Thomson (o Kelvin)

Si hanno anche le resistenze di dispersione in parallelo alle resistenze. Le resistenze di dispersione solo eliminate e il problema viene risolto però con l'utilizzo di schemi.

### Metodo per eseguire le misurazioni:

- bisogna avere idee dell'ordine di grandezza.
- in generale abbiamo più di un metodo
- li usiamo in base alle difficoltà
- calcolo le incertezze (osservo modello, osservo ipotesi per il modello, fantasma)
- valgo l'incertezza voluta e ho automaticamente il metodo.