



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di Ingegneria

Lezioni del Corso di
Fondamenti di Metrologia Meccanica

A.A. 2005-2006 Prof. Paolo Vigo





Indice

1. Errori ed Incertezze
2. Errori Sistemati ed Accidentali
3. Proprietà degli Strumenti
4. Incertezza di Misura
5. Propagazione delle Incertezze
6. Errore Massimo Tollerato





“... non commettere ingiustizia nelle misure di lunghezza, nei pesi o nelle misure di capacità. Avrete bilance giuste, pesi giusti, efa giusti, hin giusti. Io sono il Signore, vostro Dio, che vi ho fatto uscire dal paese di Egitto ...”

Levitico 19, 35-36



- ✚ il risultato di misurazioni diverse e ripetute del medesimo misurando non è sempre lo stesso
- ✚ è lo stesso processo di misurazione ad “*alterare*” più o meno significativamente il misurando rendendone impossibile la conoscenza del “*valore vero*”
- ✚ non si inficia il presupposto di unicità della misura, ma si è obbligati a stimare ed esprimere unitamente alla misura la “*qualità*” della misura stessa, ovvero **l’incertezza**

$$X = (x \pm u_c) g_X$$

- u_c (*incertezza tipo composta*) indica la qualità della misura
- irrealizzabilità di un’esatta conoscenza del valore del misurando
- impossibilità di realizzare il processo di misura senza essere influenzati dall’ambiente e dalle imperfezioni di strumenti e operatore.



ERRORE (causa)  INCERTEZZA (effetto)

il valore vero di una grandezza non è, per definizione, noto né conoscibile (**principio di indeterminazione di Heisenberg**), anche l'errore così definito risulta non noto e non conoscibile e, pertanto, di nessuna importanza pratica.

- valore vero X_v di una grandezza:

il valore con un infinito numero di cifre decimali esatte che effettivamente compete alla grandezza, noto tramite una misurazione perfetta

- errore assoluto:

differenza tra valore misurato X_m ed il valore vero X_v

$$\mathbf{e} = \mathbf{X}_m - \mathbf{X}_v$$



Valore Vero (X_v)  *Valore Ritenuto Vero (X_{rv})*

principio di indeterminazione di Heisenberg

il valore vero di una grandezza non è, per definizione, noto né conoscibile (), anche l'errore così definito risulta non noto e non conoscibile e, pertanto, di nessuna importanza pratica.

- valore ritenuto vero X_{rv} di una grandezza:

valore vero convenzionale

- errore assoluto:

differenza tra valore misurato X_m ed il valore ritenuto vero X_v

$$e = X_m - X_{rv}$$



errore relativo:

$$e = \frac{E}{X_{rv}} = \frac{X_m - X_{rv}}{X_{rv}}$$

E' impossibile effettuare misure esatte, si può:

- ▣ ricavare dalle misure effettuate il valore più probabile del misurando (e quindi **l'errore/correzione**)
- ▣ stimare l'intervallo, centrato intorno a tale valore, all'interno del quale il valore ritenuto vero dovrebbe cadere con un certo livello di confidenza (**incertezza**).



Errori sistematici

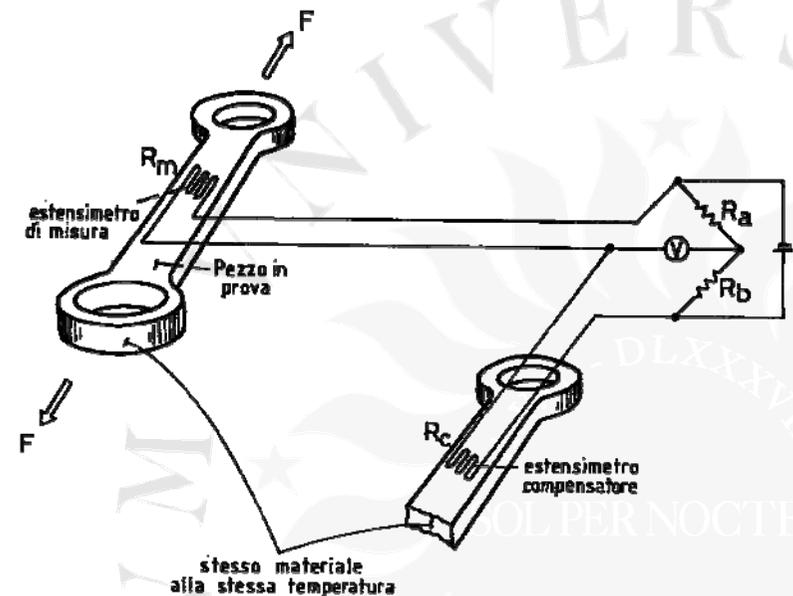
- ✚ sono dovuti a difetti costruttivi, o di taratura degli strumenti e dei campioni, o ad errori e irregolarità nell'applicazione del modello sperimentale (procedura)
- ✚ sono legati alla causa che li produce da una legge fisica ben determinata
- ✚ si presentano con segno costante ed entità circa costante.
- ✚ è quasi sempre possibile compensarne gli effetti
- ✚ non sono influenzati dalla ripetizione delle misure

Esempi di errori sistematici:

- ✓ errore sullo zero
- ✓ errore sulla caratteristica (differenza tra curva caratteristica nominale e reale);
- ✓ errore di disturbo (schiacciamento, scambio di energia termica, alterazione del regime delle correnti in un circuito, perdite di carico, ...)
- ✓ errori dovuti alle grandezze di influenza (pressione, temperatura ed umidità dell'ambiente di misura)

Minimizzazione degli errori sistematici:

- ✚ **insensibilizzazione** dello strumento (uso dell'invar a coefficiente di dilatazione termica è praticamente nullo) negli strumenti di misura di lunghezza;
- ✚ **compensazione** degli effetti di influenza (introducendo un segnale eguale e di segno opposto a quello che si osserverebbe in assenza di compensazione – es. estensimetri termocompensati)
- ✚ **correzione** (quando si conosce la legge di dipendenza della grandezza di misura da quella d'influenza).





Errori Sistematici ed Accidentali

Gli errori accidentali sono invece prodotti da cause accidentali quali:

-  *irregolarità casuali del procedimento o dello strumento di misura;*
-  *instabilità delle condizioni ambientali;*
-  *imperfezioni congenite dell'operatore umano;*
-  *conseguenza delle correzioni errore sistematico*

1. agiscono di volta in volta con segno diverso ed entità diversa
2. grandezza di natura aleatoria
3. effetto, sia positivo che negativo, di un elevato numero di termini, tutti egualmente probabili
4. distribuzione di tipo gaussiano intorno al valore medio



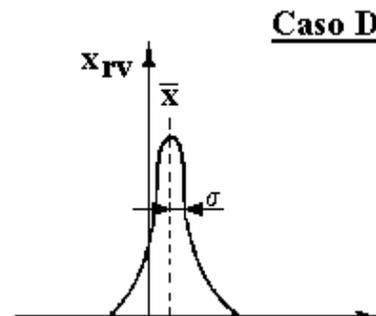
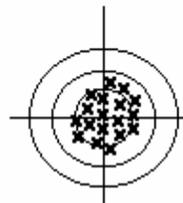
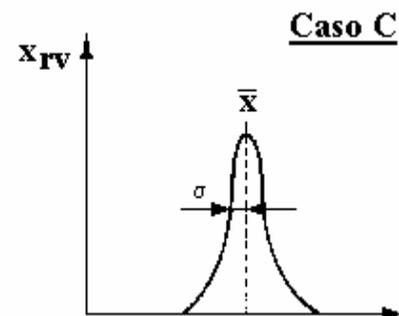
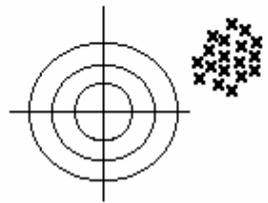
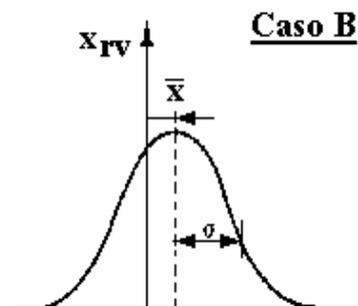
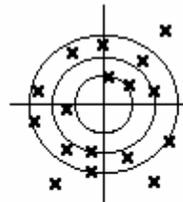
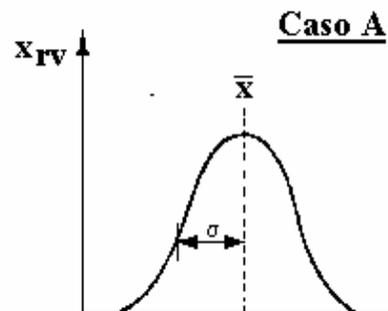
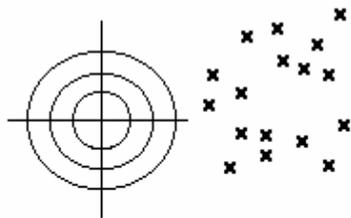
Esempi di Errori Accidentali

- ✚ errore di risoluzione di lettura
- ✚ errore di parallasse
- ✚ errore di interpolazione
- ✚ errore dovuto al rumore di fondo dello strumento
- ✚ errore di mobilità
- ✚ errore di inversione
- ✚ errore di isteresi



*Errori Sistematici ed Accidentali****Esempi di cause di errore***

	Causa di errore	Tipo	Esempio
Misurando	interazione sensore – misurando definizione del misurando variazioni del misurando	Sist. o accid. Gener. Sistem. Gener. accid.	schacciamento del pezzo per la pressione esercitata geometria non rispondente a quella ipotizzata
Strumento di Misura	errore sulla caratteristica (sul modello, sulla grandezza di riferimento) errori intrinseci (deriva, risoluzione, isteresi, ripetibilità, ...) errori dinamici	Gener sistem. Gener. accid. Gener. accid.	non cilindricità del capillare in un termometro a dilatazione differenza delle misure effettuate in salita e discesa
Ambiente	grandezze di influenza (inadeguata conoscenza, imperfetta compensazione o correzione)	generalmente sistematico	variazioni dell'uscita con la temperatura o la pressione ambiente
Utilizzatore	distorsione utilizzatore (parall, interp.) distorsione strumento utilizzatore distorsione trasmissione di un segnale	generalmente sistematico	tachimetro automobile impedenza di ingresso caduta di potenziale segnale

Errori Sistematici ed Accidentali**Accuratezza e ripetibilità:**

- a) misura poco ripetibile e poco accurata;
- b) misura accurata e poco ripetibile;
- c) misura ripetibile e poco accurata;
- d) misura accurata e ripetibile.

Proprietà degli Strumenti

ripetibilità (repeatability)

capacità di uno strumento di misura a fornire indicazioni concordi in risposta a condizioni di ingresso (condizioni di misura) costanti e consecutive.

La ripetibilità è legata al valore dello scarto quadratico medio di una serie di misure ottenute in condizioni costanti, ed uno strumento è tanto più ripetibile quanto più piccolo è lo scarto quadratico medio.

accuratezza (precision)

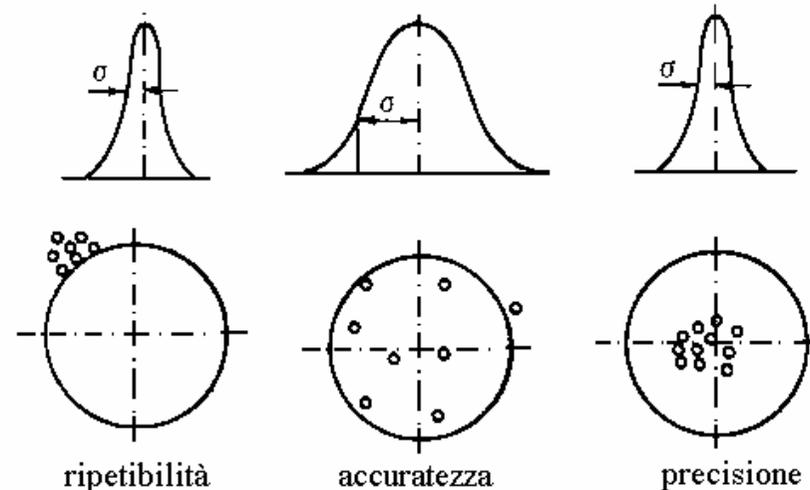
differenza in valore e segno tra il valore ritenuto vero e la media di una serie di misure.

uno strumento è tanto più accurato quanto più la media di una serie di misure da esso effettuate è vicina al valore ritenuto vero, cioè al valore ottenuto come media di una serie di misure effettuate con uno strumento campione.

precisione (accuracy)

sintetizza i concetti di ripetibilità ed accuratezza; è l'attitudine dello strumento a fornire una misura con il minimo errore rispetto al valore ritenuto vero e con una elevata ripetibilità.

La precisione è, quindi, legata al valore dell'incertezza composta estesa.





Classe di precisione

Nel VIM si parla di classe di precisione come condizione di appartenenza di uno strumento di misura ad una categoria che rispetta determinate caratteristiche metrologiche, quali:

- l'incertezza strumentale;
- il valore della stabilità;
- altre eventuali caratteristiche metrologiche





Riproducibilità (VIM UNI CEI U37.00.001.0)

grado di concordanza tra i risultati di misurazioni dello stesso misurando quando le singole misurazioni siano condotte combinando condizioni come:

- ✚ metodo di misurazione
- ✚ osservatore
- ✚ strumento di misurazione
- ✚ luogo
- ✚ condizioni di utilizzazione
- ✚ tempo



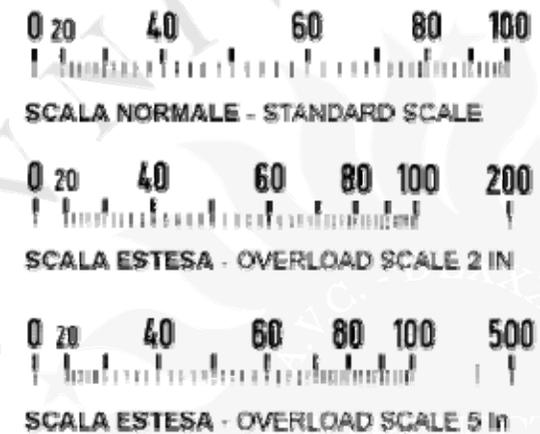
Campo di Misura

Il *campo di misura* (*measurement range*), definisce i limiti entro i quali può variare la grandezza d'ingresso affinché il sensore funzioni secondo le specifiche fissate.

Il *campo di sicurezza*, solitamente più ampio del campo di misura, definisce i limiti di variazione del segnale d'ingresso entro i quali il sensore non subisce danni.

Il limite superiore del campo di misura viene definito *portata*, con un corrispettivo inglese nel vocabolo “*full scale*” (F.S.).

Il termine inglese “*span*” rappresenta, invece, la differenza tra i valori estremi del campo di misura, mentre il termine “*rangeability*” rappresenta il rapporto tra tali valori (ad es. 10:1, 100:1, ecc.).



0 20 40 60 80 100

SCALA NORMALE - STANDARD SCALE

0 20 40 60 80 100 200

SCALA ESTESA - OVERLOAD SCALE 2 IN

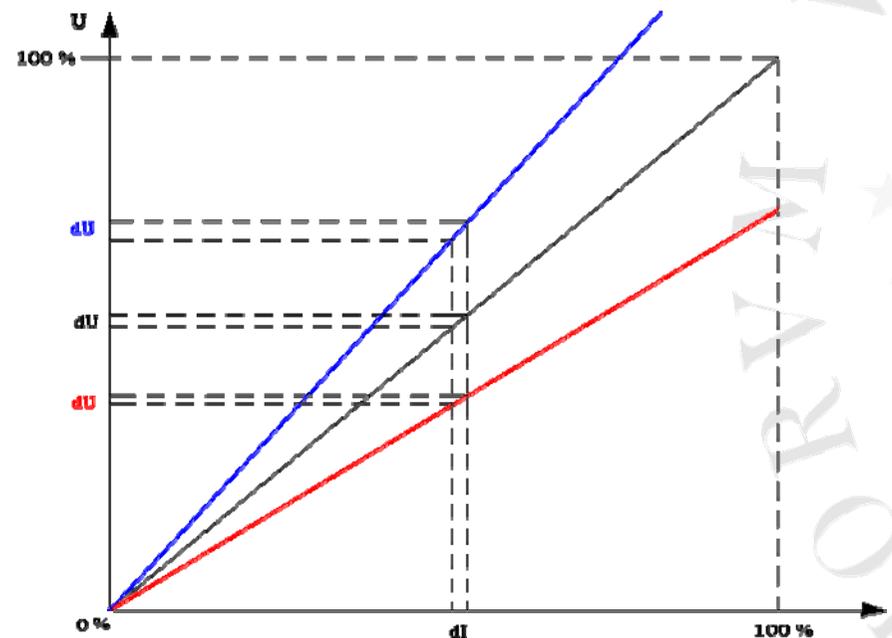
0 20 40 60 80 100 500

SCALA ESTESA - OVERLOAD SCALE 5 IN

Sensibilità Statica

La *sensibilità* statica (*sensitivity*) è il rapporto tra la variazione della grandezza in uscita e quella in ingresso $S = \Delta U / \Delta I$,

La condizione migliore è, ovviamente, quella a sensibilità costante, cioè di curva caratteristica lineare; se ciò non avviene bisogna definire la sensibilità in ogni punto del campo di misura ($S = dY/dX$).



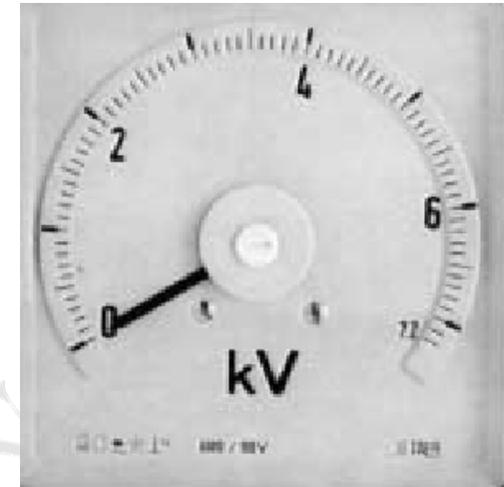
Risoluzione

La *soglia di sensibilità* è la più piccola variazione della grandezza di misura capace di provocare una risposta percettibile dello strumento - *risoluzione*, (resolution).

- ✚ strumenti **digitali** la risoluzione coincide con l'ultimo digit dello strumento
- ✚ strumenti **analogici** la risoluzione coincide con la più piccola variazione apprezzabile dall'utilizzatore (non sempre coincide con la distanza tra due tacche)

Nota:

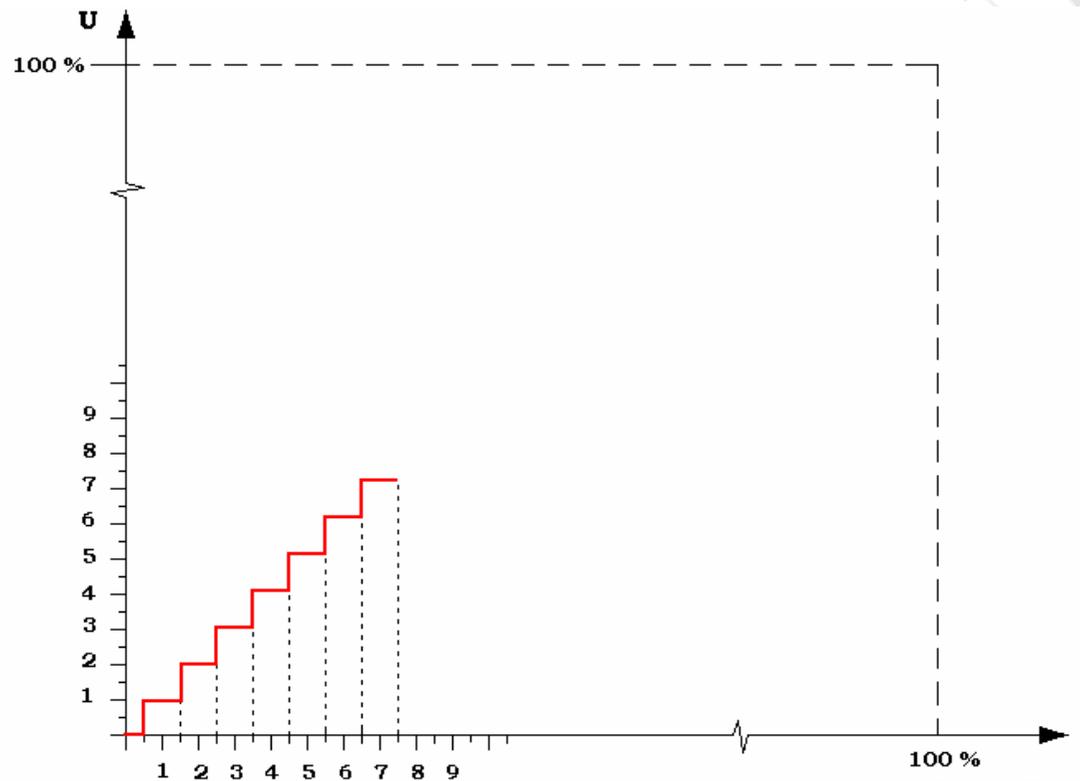
Quando il sensore funziona intorno allo zero, al termine risoluzione si preferisce spesso il termine soglia (threshold), intendendo così il valore minimo del misurando che fornisce un'uscita apprezzabilmente diversa da zero (si suppone che a misurando nullo corrisponda uscita nulla).





Errore di Risoluzione

La risoluzione rappresenta la più piccola variazione del segnale di ingresso che produce una variazione significativa dell'uscita, mentre la divisione rappresenta la parte della scala compresa tra due tacche successive.



Stabilità

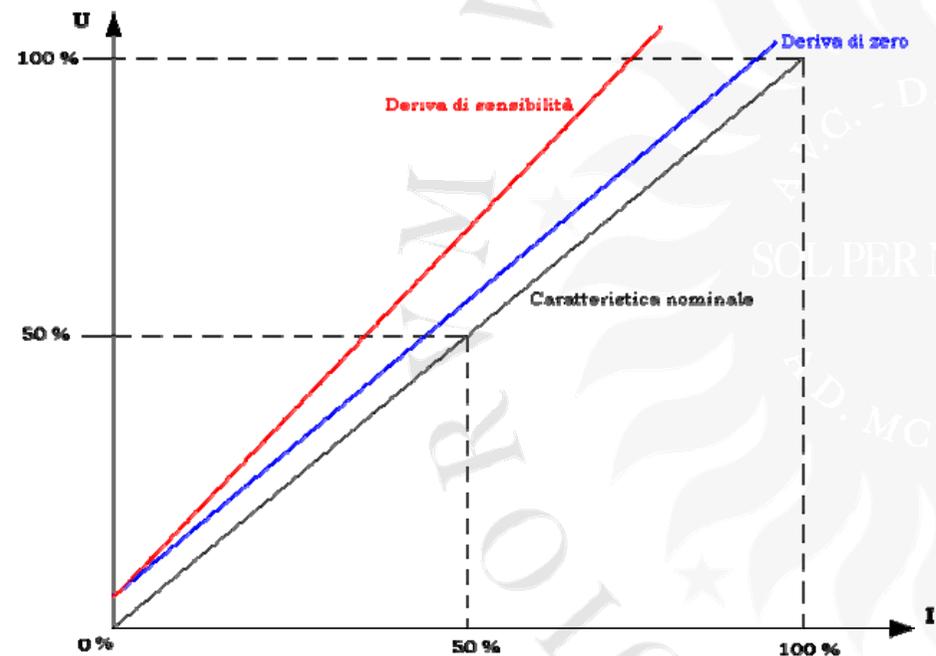
Capacità di conservare inalterate le caratteristiche di funzionamento per un intervallo di tempo relativamente lungo:

- ✚ stabilità (lungo termine)
- ✚ ripetibilità (breve termine)

La *Stabilità* è quindi la massima variazione in uscita (in valore assoluto, relativo o ridotto), a parità di misurando e di condizioni operative, entro un determinato intervallo di tempo.

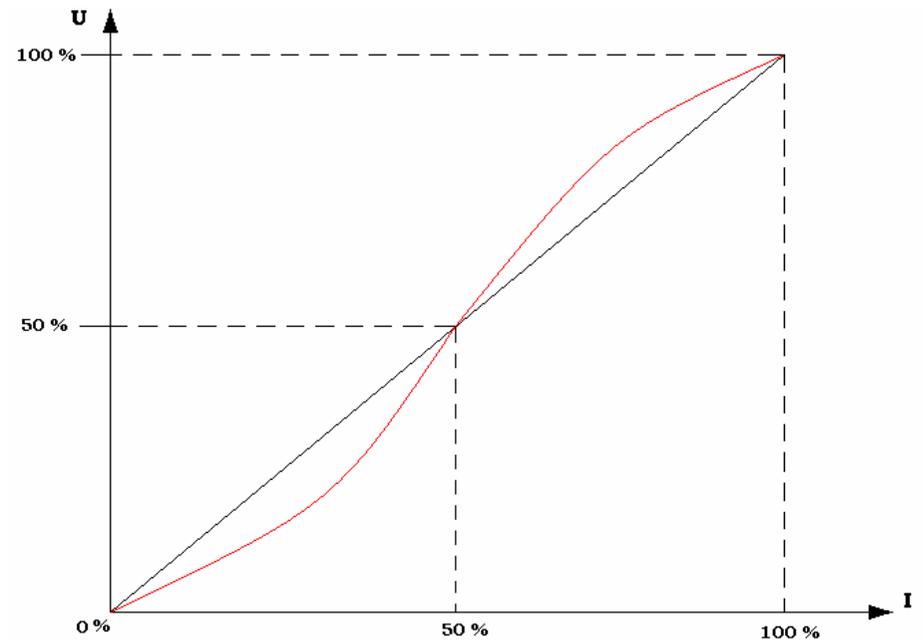
Nota:

A volte è usato il termine *deriva* (drift), con significato più o meno equivalente. Viene anche usato, con riferimento all'uscita con misurando nullo, il termine *deriva dello zero* (*zero shift* oppure *offset drift*).



Non Linearità

E' l'indicazione di quanto la curva di taratura si discosti dall'andamento rettilineo. Normalmente è il valore massimo dello scostamento dei singoli punti della curva di taratura dalla retta di riferimento (può essere espressa in valore relativo o assoluto).





Isteresi

Massima differenza, a parità di misurando, tra i valori della grandezza d'uscita misurati con ciclo crescente e decrescente.

Essa viene espressa specificando la variazione massima che si può verificare nell'uscita (in valore assoluto, relativo o ridotto), a parità di misurando e di condizioni operative, entro un determinato intervallo di tempo.

