

TARATURA STATICA

Introduzione

Se si considera uno strumento, in generale esisterà una funzione che leggerà i dati in entrata e quelli in uscita. Tale funzione può assumere una qualunque forma, a seconda del principio fisico che si sta analizzando. La funzione può essere ottenuta mediante la taratura. La taratura è dunque il processo che permette di ottenere la funzione $F=f(V)$, oltre ad altre informazioni sul sistema di misura. L'obiettivo della taratura è lo studio delle prestazioni degli strumenti e dei sistemi di misura con particolare riguardo alla qualità della misura. Come abbiamo già detto le grandezze sono di due tipi:

- Statiche = misura di quantità costanti o che variano lentamente nel tempo
- Dinamiche = misure di quantità che variano velocemente nel tempo

Dal momento in cui esistono due tipi di grandezze, esisteranno altrettanti tipi di caratteristiche:

- Statiche
- Dinamica

Le caratteristiche di un dispositivo per misurazione sono i dati riguardanti le relazioni tra le letture effettuate con un dispositivo per misurazione e/o regolazione e le misure dei parametri con i quali esso interagisce.

Classe di uno strumento

Gli strumenti vengono suddivisi in classe cioè delle categorie convenzionali cui appartengono i dispositivi di misura che rispettano prescritti limiti riguardo ad alcune caratteristiche metrologiche. Quando è noto che un dispositivo appartiene ad una data classe di precisione, è lecito usarlo supponendo che il valore delle sue caratteristiche metrologiche sia pari al limite fissato per esse nella definizione della classe stessa. La classe viene indicata con un indice di numeri e/o lettere.

Caratteristiche statiche

Le caratteristiche statiche di un dispositivo di misura sono:

- Diagramma di taratura = è una relazione che permette di ricavare da ogni valore di lettura fornito da un dispositivo, per misurazione e/o regolazione, la misura da assegnare al misurando.
- Risoluzione = minima differenza che si può apprezzare tra due valori diversi in ingresso quindi è l'attitudine di un dispositivo per misurazione e/o regolazione a risolvere stati diversi del misurando durante la misurazione. Riguarda la capacità del dispositivo di segnalare una piccola variazione del misurando senza peraltro valutarne l'entità: l'unica informazione fornita è che la differenza tra i due stati risolti non è minore del valore della risoluzione. Il valore della risoluzione è la variazione del valore del misurando che provoca una modificazione del valore di lettura di ampiezza pari all'incertezza di lettura. La risoluzione non può essere dedotta dal diagramma di taratura e non va confusa con la sensibilità.
- Ripetibilità = grado di concordanza tra i risultati di misure successive dello stesso misurando effettuate nelle medesime condizioni di misura, eseguite in un breve intervallo temporale. Si riefetta la misura dopo un breve intervallo di tempo controllando che le condizioni al contorno, come temperatura e umidità, ad esempio, non si modifichino, e si valuta se le uscite ottenute sono compatibili, se lo sono allora la ripetibilità è verificata. Affinché uno strumento sia tarato deve necessariamente essere verificata la ripetibilità altrimenti lo strumento restituirebbe sempre valori diversi.
- Riproducibilità = grado di concordanza tra i risultati di misure successive dello stesso misurando effettuate in condizioni di misura. La riproducibilità implica la compatibilità tra due misure in luoghi diversi e in condizioni diversi. È necessario tenere conto delle condizioni al contorno ed eventualmente correggere gli errori sistematici introdotti

- Stabilità = attitudine di un dispositivo di misura a maniere costante il valore fornito in misure eseguite indipendentemente sullo stesso misurando in un intervallo di tempo definito, con identica procedura e nelle stesse condizioni per le grandezze d'influenza
- Deriva = variazione in funzione di una grandezza d'influenza di una caratteristica metrologica di un dispositivo di misura (si vuole evitare la deriva negli strumenti poiché altererebbe le misurazioni effettuate)
- Isteresi = proprietà di uno strumento di fornire valori di lettura diversi in corrispondenza di un medesimo misurando, quando questo viene fatto variare per valori crescenti e per valori decrescenti (si vuole evitare questo effetto). Tipica di quei sistemi che hanno materiali elastomerici

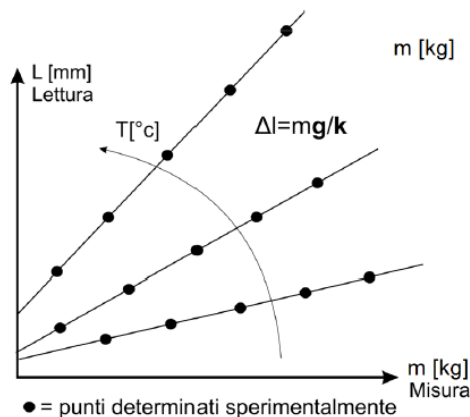
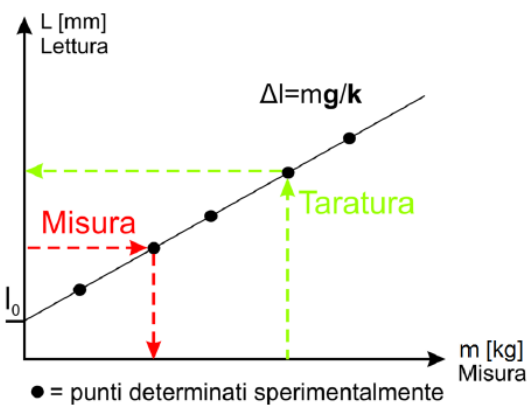
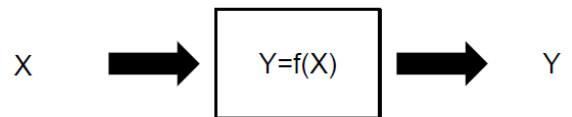
Per determinare le caratteristiche metrologiche sono necessarie determina operazioni:

- se si vuole stabilire il comportamento del trasduttore occorre effettuare la taratura
- se si vuole verificare il comportamento occorre effettuare una verifica di taratura o ritaratura
- se si vuole documentare il comportamento del trasduttore occorre stilare la relazione di taratura.

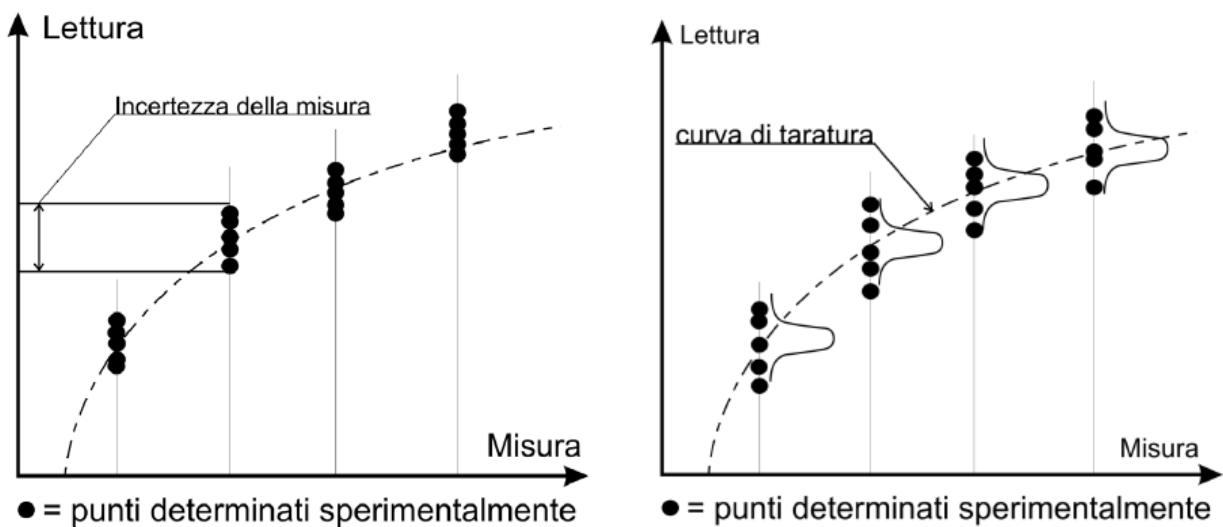
Taratura statica

Per effettuare una taratura è necessario seguire un certo procedimento: la taratura statica è un procedimento che consiste nel confronto, in corrispondenza di definiti campi di variazione per le grandezze di influenza, tra un dispositivo di misura detto dispositivo in taratura ed un secondo avente caratteristiche metrologiche adeguatamente superiori, al fine di ricavare l'insieme di dati di correzione e l'incertezza del dispositivo di misura in taratura. La taratura può essere usata per determinare le caratteristiche metrologiche dello strumento necessari a definirne la funzionalità. Nella pratica la taratura avviene imponendo al sistema dei misurando noti di riferimento e leggendo l'uscita dello strumento per determinare la relazione che li lega. Per tarare occorrono dunque dei riferimenti di misura: affinché il sistema di misura venga tarato correttamente occorre che l'uscita possa essere associata ad un ingresso inequivocabile. Occorre cioè che l'incertezza sul riferimento possa essere trascurata; a tale scopo occorre che il riferimento sia dato da campioni o da misure fornite da uno strumento più accurato di quello che si desidera tarare. Normalmente si richiede che il misurando di riferimento sia almeno più accurato di 4 o 10 volte rispetto l'incertezza strumentale del dispositivo in esame. Le norme devono fissare la massima incertezza dei misurandi in relazione al metodo di misurazione. Non necessariamente lo strumento deve avere sensibilità ed accuratezza elevate.

Nel caso ideale l'ingresso al sistema è noto e con incertezza nulla. In questo caso il sistema ha una sola uscita per ogni ingresso e dunque è possibile rappresentare una retta nel grafico che lega la misura alla lettura. È un caso ideale perché segue la funzione teorica di funzionamento. Dunque nel caso ideale tutte le grandezze di influenza sono fissate; l'uscita dipende solo dal misurando. La relazione biunivoca che lega tra loro ingresso e uscita è una taratura statica. Al variare delle grandezze d'influenza può cambiare la curva di taratura e si otterrà così una famiglia di curva di taratura.

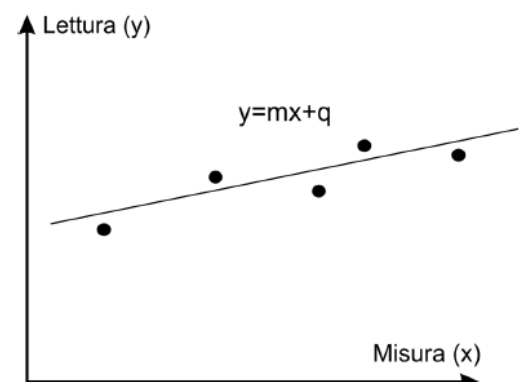
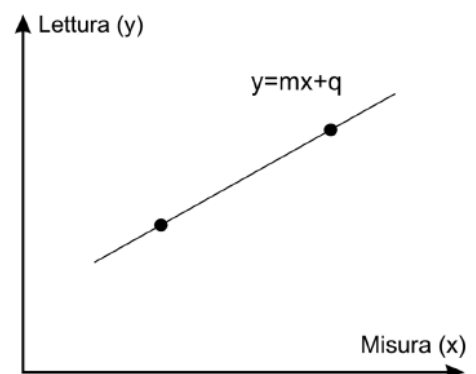


Nella realtà però le grandezze d'influenza, cioè i disturbi che alterano le misure, non sono costanti come nel caso ideale. Se le grandezze di influenza sono controllate allora la funzione è ideale, altrimenti si è nel caso reale. Le misure dell'output in questo caso è affetta da incertezza; il legame funzionale tra ingresso e uscita è spesso complesso. Per ogni valore d'ingresso si effettua più volte la misura, ottenendo valori non tutti uguali per via dei disturbi. I dati ottenuti dalla lettura dello strumento hanno una distribuzione gaussiana. In corrispondenza di ogni riferimento di misura le uscite variano in un intervallo di valori a causa dell'incertezza dello strumento in taratura e dei disturbi in ingresso. Mediando le letture di misure ripetute si ottiene una stima della lettura del trasduttore in corrispondenza del valore della misura in ingresso. La deviazione standard fornisce l'incertezza mentre la media fornisce il valore in uscita. La curva di taratura è quindi una relazione biunivoca tra ogni valore fornito dallo strumento e il corrispondente valore da assegnare al misurando. Per tarare lo strumento di misura in modo corretto occorre far variare la grandezza campione su tutto il campo di misura dello strumento da tarare. La curva che approssima in modo adeguato i valori medi delle misure effettuate in corrispondenza di ogni stadio della grandezza di riferimento è la curva di taratura.



La curva di taratura è diversa dal diagramma di taratura cioè un grafico in cui oltre alla curva di taratura è presente anche la fascia di incertezza (curva + fascia di incertezza = diagramma di taratura).

Se lo strumento è lineare la curva che approssima quella di taratura è una retta, ma si possono avere altre funzioni interpolari, oppure funzioni non polinomiali. Se lo strumento è lineare, per identificare i due parametri della retta occorrono almeno due punti di misura, che corrispondono ad una identificazione deterministica. Se i punti a disposizione sono più di due si passa al procedimento di minimizzazione degli scarti fra i punti sperimentali e la curva, o retta, approssimante. Si trova quindi la retta che mediamente segue meglio l'andamento dei punti senza necessariamente passare per alcuno di essi. Per fare ciò bisogna avere dei criteri, normalmente la curva approssimante si ottiene usando il metodo ai minimi quadrati che permette di ottenere dei residui cioè la differenza in termini verticali tra la y dei punti e la y della retta. Si sommano poi i residui al quadrato. Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica di ottimizzazione che permette di trovare una funzione, rappresentata da una curva ottima, che si avvicini il più possibile ad un insieme di dati (tipicamente punti del piano). In particolare, la funzione trovata deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra i dati osservati e quelli della curva che rappresenta la funzione stessa. All'infuori di pochi casi semplici resta comunque l'arbitrarietà della funzione scelta



per l'interpolazione dei dati. Ci sono parametri che indicano quale è la funzione migliore con cui interpolare: l'errore quadratico medio è uno di questo. Nel caso di strumento lineare il coefficiente di correlazione lineare è un altro parametro assai importante, fornito dai più comuni programmi di calcolo. Il coefficiente di correlazione lineare indicato con r . È un indice che dice quanto bene si stanno approssimando i dati con la curva. Se r è uguale a 1 tutti i punti giacciono sulla stessa retta, se invece è uguale a 0 la distribuzione dei valori è casuale.

Il diagramma di taratura è l'unione tra la curva di taratura e la fascia d'incertezza. Importante controllare cosa c'è sugli assi perché possono essere invertiti. In taratura conviene girare gli assi perché è più comodo aver in ingresso il valore letto e in uscita l'asse delle misure. Importante scrivere sia il valore stimato che l'incertezza legata.

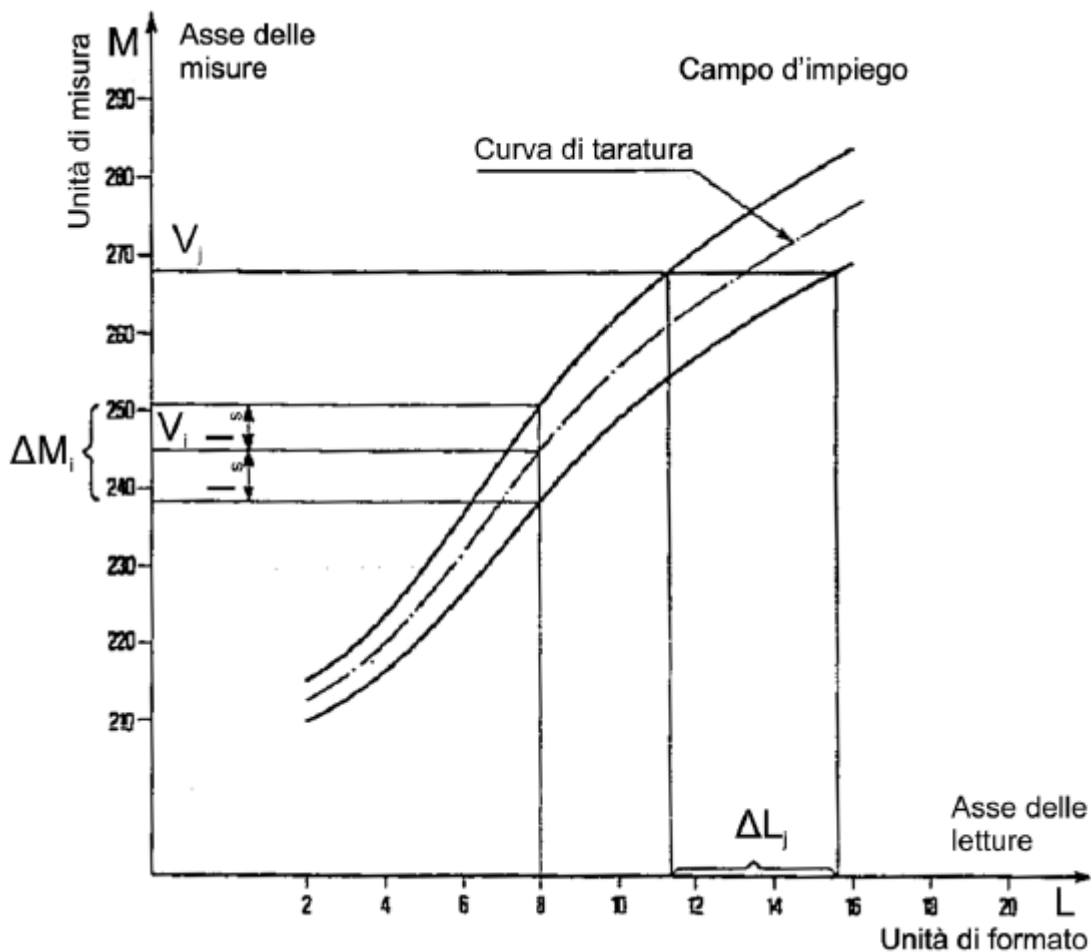
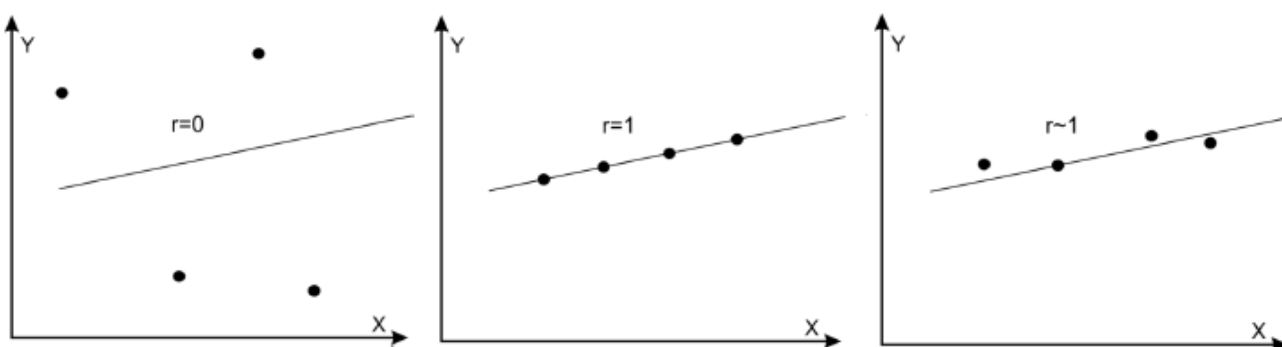
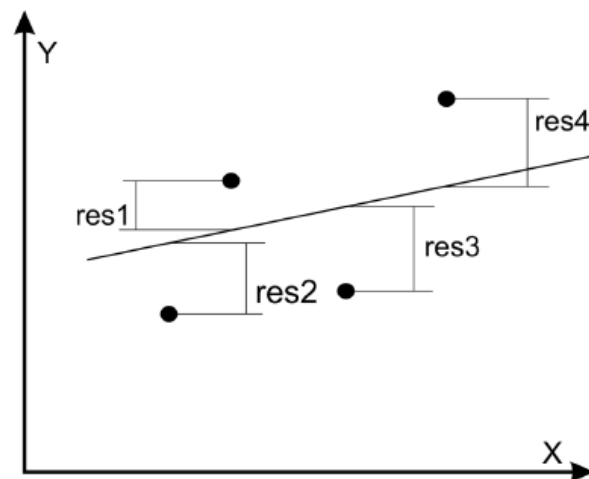


Diagramma di taratura - sensibilità

La sensibilità di uno strumento è il rapporto tra la variazione della grandezza in uscita e la corrispondente variazione della grandezza in ingresso di un dispositivo di misura:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta M}$$

A parità di grandezza in ingresso, lo strumento più sensibile fornisce un'indicazione maggiore. Si ricorda che la sensibilità S è deducibile dalla sola curva di taratura ed è in generale variabile al variare del valore della misura M . Dal punto di vista grafico la sensibilità è la pendenza della curva di taratura quando sull'asse delle x è presente la misura mentre sull'asse delle y è presente la lettura. Lo strumento può non avere sensibilità costante perché la pendenza della curva può cambiare. La sensibilità dello strumento è costante solo se si ha uno strumento lineare e se quindi la curva di taratura è una retta.

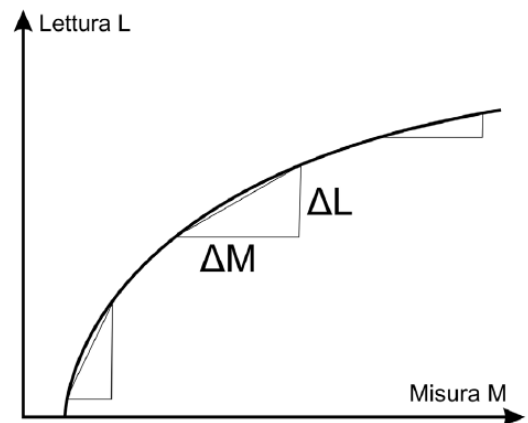


Diagramma di taratura – altre caratteristiche statiche

Definiamo anche:

- campo di misura = l'intervallo comprendente i valori di misura che si possono assegnare mediante un dispositivo per misurazione e/o regolazione
- portata = limite superiore del campo di misura
- campo di sicurezza = l'intervallo comprendente tutte le misure del misurando cui un dispositivo per misurazione può essere applicato senza che il suo diagramma di taratura resti permanentemente alterato.

Verifica di taratura

La verifica di taratura è una particolare taratura effettuata in condizioni di riferimento per le grandezze di influenza, stabilite di volta in volta secondo gli scopi della verifica. La verifica di taratura si esegue in diverse situazioni:

- Scade il periodo di validità del diagramma di taratura
- Una delle grandezze di influenza è fuori dal campo di sicurezza
- Al dispositivo è stata applicato un misurando al di fuori del campo di sicurezza
- Il dispositivo è impegnato in condizioni operative diverse rispetto a quelle del diagramma di taratura
- Sono intervenuti fatti che possono avere alterato il comportamento del dispositivo

Relazione di taratura

La relazione di taratura è un documento che contiene tutte le informazioni sulle caratteristiche sia del dispositivo di misura, sia delle grandezze di influenza. Tipiche informazioni contenute nella relazione sono:

- Funzione del dispositivo
- Diagramma di taratura
- Campo di misura
- Campo di riferimento per le grandezze di influenza
- Informazioni al fine di una corretta utilizzazione
- Validità nel tempo delle caratteristiche fornite
- Riferibilità = è definita come proprietà di un risultato di una misurazione consistente nel poterlo riferire a campioni appropriati, generalmente nazionali o internazionali, attraverso una catena ininterrotta di confronti. Stabilita la riferibilità, lo strumento di misura è in grado di produrre misure compatibili con il campione primario. La riferibilità presuppone che sia stata stabilita una gerarchia di campioni e strumenti, con incertezza strumentale crescente: infatti i successivi confronti dal campione primario in giù aggiungono sempre nuova

incertezza. La riferibilità garantisce che in tutto il mondo le grandezze misurate siano compatibili. L'accreditamento è la verifica che un laboratorio sappia eseguire prove di conformità secondo le norme. Ci sono poi delle certificazioni che in generale riguardano la capacità a seguire particolari procedure gestionali, che danno garanzie di trasparenza, ma non tocca la competenza tecnica. L'accreditamento è diverso dalla certificazione.

- Descrizione del metodo di taratura

La relazione diventa un certificato di taratura se:

- Le informazioni sono quelle essenziali
- Sono garantite competenza ed imparzialità dell'ente che emette il certificato

Il controllo di taratura è l'operazione mediante la quale invece si controlla, prima dell'uso, se i valori di lettura in corrispondenza ad una serie assegnata di misura di sono contenuti entro un diagramma di taratura preassegnato.

Errori di taratura

Gli errori di taratura sono:

- Deriva = si ha quando l'uscita non è stabile nel tempo. È un errore tipico degli strumenti elettrici per i quali è necessario mandare a regime termico i componenti prima di effettuare la misura.
- Isteresi = applicando ingressi crescenti si arriva ad un valore massimo attraverso la curva B e poi, partendo da tale valore e applicando ingressi decrescenti, si arriva a zero attraverso la curva A. Nella valutazione della curva di taratura si considerano entrambe le curve A e B ottenendo un'unica retta di regressione C. Questo tipo di errore è frequente in strumenti elettrici che hanno componenti magnetizzati.
- Errori di linearità = è lo scostamento massimo della curva di taratura da una retta opportunamente scelta.
- Errori di lettura = ad esempio errore di parallasse
- Errori di carico

Sulla curva di taratura è possibile rappresentare l'errore di linearità in quattro modi diversi:

1. Come percentuale del fondo scala cioè del massimo valore misurabile: dunque l'incertezza sarà una fascia costante
2. Come percentuale della lettura: dunque la fascia di incertezza sarà variabile
3. Come sovrapposizione delle due espressioni dunque il maggiore tra il valore costante e quello percentuale della lettura
4. Come somma delle due espressioni quindi sia una percentuale del fondo scala sia una percentuale di quello letto.

Sempre nell'abito della taratura ricordiamo la conferma metrologica cioè delle operazioni richieste per garantire che un'apparecchiatura per misurazione sia conforme ai requisiti per l'utilizzazione prevista.

