

6.7 LINEARITÀ

Per errore di linearità si intende l'indicazione di quanto la curva di taratura si discosta dall'andamento rettilineo. In genere è specificata fornendo il valore massimo dello scostamento, espresso in percentuale rispetto al fondo scala, dei singoli punti della curva di taratura rispetto ad una retta di riferimento opportunamente definita.

Si possono definire diversi tipi di linearità in relazione ai diversi modi di scegliere la retta di riferimento. In particolare le definizioni più utilizzate sono:

- **linearità riferita allo zero**: la retta di riferimento passa per l'estremo inferiore della curva di taratura, corrispondente all'estremo inferiore del campo di misura, ed è determinata in modo da rendere minimo il più elevato degli scostamenti;
- **linearità riferita agli estremi** (figura 6.9): la retta di riferimento è rappresentata dalla retta che congiunge i due punti estremi del campo di misura;
- **linearità indipendente**: la retta di riferimento è quella che rende minimo il più elevato (in valore assoluto) degli scostamenti;
- **linearità secondo i minimi quadrati**: la retta di riferimento è quella che minimizza la somma dei quadrati degli scostamenti;

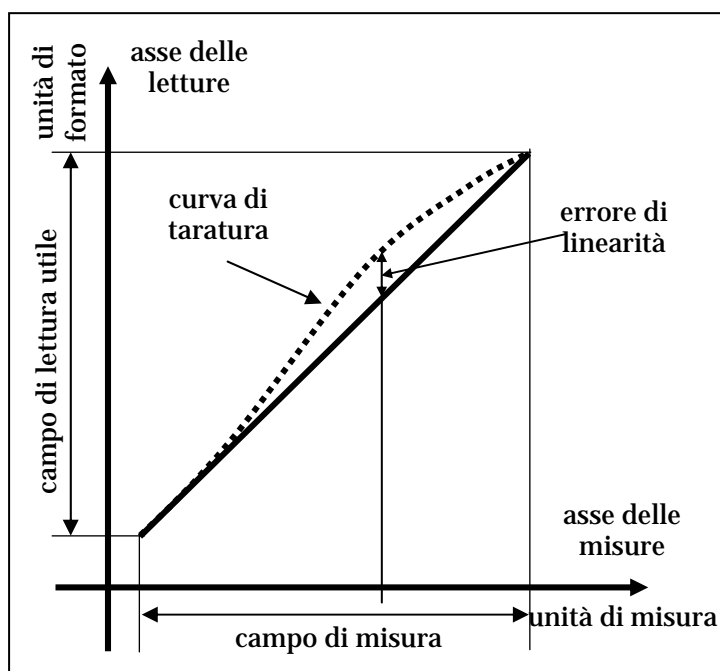


Figura 6.9: linearità riferita agli estremi

In tutte le definizioni di linearità sopra riportate si valuta lo scostamento fra la curva di taratura e la retta di riferimento calcolandone il massimo su tutto il cam-

po di misura. In questi casi si parla quindi di “errore di linearità integrale” ovvero riferita a tutto il campo di misura.

Dal valore massimo di questo errore e da opportune ipotesi sulla distribuzione di probabilità di tale errore, si può ricavare il contributo di incertezza da associare alla non linearità dello strumento.

La retta di riferimento da scegliere per determinare l'errore di linearità di uno strumento dovrebbe essere quella adottata dallo strumento stesso quando effettua la linearizzazione del segnale di uscita in fase di messa in punto (ove prevista) oppure quella adottata dall'operatore per determinare la correzione dello strumento (in base ai risultati della taratura) nei punti diversi da quelli di taratura (nel caso in cui non sia possibile la messa in punto).

Nel caso di strumenti usati per misure di confronto, che si possono quindi azzerare su un punto qualunque del campo di misura e che servono per misurare piccoli spostamenti rispetto al punto di azzeramento, è utile valutare la linearità in un piccolo intorno del punto considerato (linearità differenziale); in questo caso infatti il contributo di incertezza associato allo strumento è dato soltanto dall'effetto della non linearità differenziale e della ripetibilità e/o risoluzione.

La “linearità differenziale” si esprime come rapporto fra la variazione dell'indicazione dello strumento e la variazione del segnale d'ingresso che l'ha generata. Tale rapporto è ovviamente funzione del punto di misura e può essere determinato attraverso prove di caratterizzazione laddove sia possibile misurare campioni con valori nominali poco differenti fra loro; a tal scopo spesso si utilizzano i blocchetti pianparalleli con incrementi di 0,01 mm oppure 0,001 mm presenti nelle scatole di blocchetti di molti costruttori.

6.8 ISTERESI

La UNI 4546 fornisce la seguente definizione di isteresi: “proprietà di uno strumento di fornire valori di lettura diversi in corrispondenza dello stesso misurando quando questo viene fatto variare per valori crescenti e per valori decrescenti”. La stessa norma prevede che nell'indicare il valore di isteresi bisogna dichiarare sia l'escursione fatta dal misurando, sia in corrispondenza di quale valore del misurando è stata determinata la differenza fra il valore di lettura della sequenza crescente e quello della sequenza decrescente.

Il VIM definisce invece l'isteresi come “proprietà di uno strumento per misurazione la cui risposta ad un segnale di ingresso dipende dalla sequenza dei segnali di ingresso precedenti” (VIM 5.15).

Nell'uso corrente si calcola il valore dell'isteresi (o semplicemente l'isteresi) come la massima differenza dei valori di lettura ottenuti in corrispondenza dello stesso misurando quando questo viene raggiunto in una successione di valori crescenti ed in una successione di valori decrescenti, considerando tutti i possibili valori del campo di misura (figura 6.10).

Nel caso in cui non esista la curva di taratura ottenuta per valori crescenti e quella ottenuta per valori decrescenti, è errato (o meglio può portare ad una sotto-stima dell'errore di isteresi) valutare l'errore di isteresi come la differenza fra i va-

lori assunti in corrispondenza dello stesso misurando, invertendo la sequenza dei valori di misura in un intorno di quel punto di misura senza effettuare l'intera l'escursione dei valori per tutto il campo di misura. Tale differenza può essere definita come errore di inversione.

Il valore di isteresi risente sempre anche dell'effetto dovuto alla risoluzione ed alla ripetibilità pur essendo quest'ultimi considerati separatamente; quindi il valore di isteresi non è significativo se lo scarto tipo ad esso associato risulta della stessa entità di quello associato a ripetibilità o risoluzione.

Negli strumenti meccanici dotati di movimento dell'asta in entrata ed in uscita (come ad esempio il comparatore analogico) l'isteresi comprende sia l'errore di inversione, dovuto ai giochi meccanici che si presentano quando si ha l'inversione del movimento, sia gli effetti dovuti ad attriti ed a deformazioni elastiche durante la corsa.

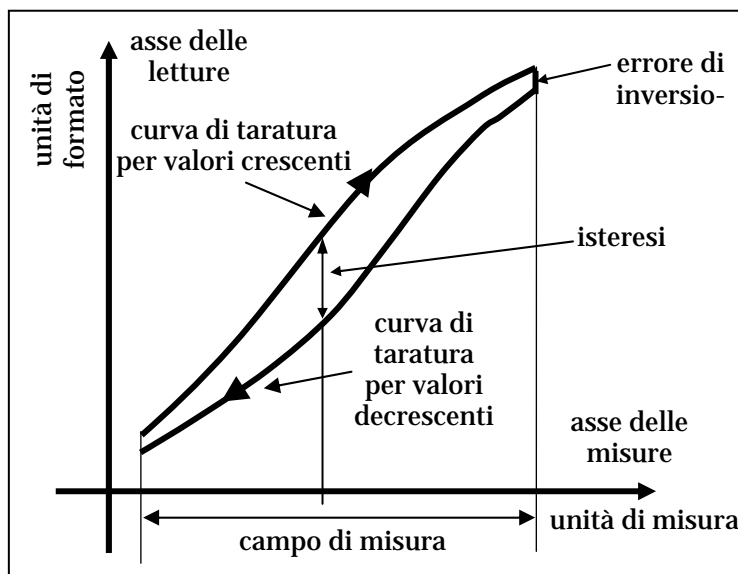


Figura 6.10: isteresi

L'isteresi è quindi una caratteristica metrologica molto importante per quegli strumenti che possono effettuare misure per valori crescenti o decrescenti del misurando come ad esempio comparatori o trasduttori; occorre quindi valutarla per non rischiare di sottostimare l'errore massimo ammesso per quello strumento e quindi il suo contributo all'incertezza di misura.

Ovviamente se un comparatore, pur essendo soggetto all'effetto di isteresi, viene utilizzato sempre per valori crescenti o per valori decrescenti del misurando dopo l'azzeramento (per esempio avanzamento di un utensile per misurare la profondità di taglio), la valutazione dell'errore massimo ammesso per lo strumento può prescindere dall'isteresi. Considerando il massimo valore di isteresi su tutto il campo di misura e facendo opportune ipotesi sulla distribuzione di probabilità di tale valore, si può ricavare il contributo di incertezza da associare a questa caratteristica metrologica dello strumento.

6.9 STABILITÀ

La UNI 4546 fornisce la seguente definizione di stabilità: “attitudine di uno strumento a fornire valori di lettura poco differenti tra di loro, in letture eseguite indipendentemente sullo stesso misurando in un intervallo di tempo definito, con procedimento unificato e nelle stesse condizioni per le grandezze d’influenza”.

La stabilità di un apparecchio per misurazione è quindi, in sintesi, l’attitudine a mantenere costanti nel tempo le sue caratteristiche metrologiche. La stabilità deve quindi essere riferita al tempo; se è riferita ad un’altra grandezza, è necessario che sia esplicitamente specificato. La stabilità, a volte anche chiamata col termine “deriva” o “drift”, può essere quindi quantificata in due modi:

- in termini di intervallo di tempo entro il quale una caratteristica metrologica varia in un intervallo di valori prefissato;
- in termini di variazione di una caratteristica in un intervallo di tempo prefissato.

Nel primo modo viene specificato l’intervallo di tempo durante il quale una caratteristica metrologica rimane nei limiti prefissati. Nel secondo modo viene specificata la variazione massima (relativa ai vari punti del campo di misura) che si può avere sui valori di uscita dello strumento, entro un intervallo di tempo prefissato. In entrambi i modi le misure devono essere effettuate mantenendo costanti il misurando e l’intero sistema di misura.

Il valore che caratterizza la stabilità può essere quindi ricavato facilmente se si dispone di due curve di taratura dello strumento effettuate in tempi diversi ma costruite attraverso misurazioni eseguite nelle stesse condizioni del sistema di misura. Considerando di poter trascurare l’incertezza di taratura e l’effetto della ripetibilità, il valore di stabilità è rappresentato dal massimo scostamento fra le due curve sopra citate come mostrato nella figura 6.11.

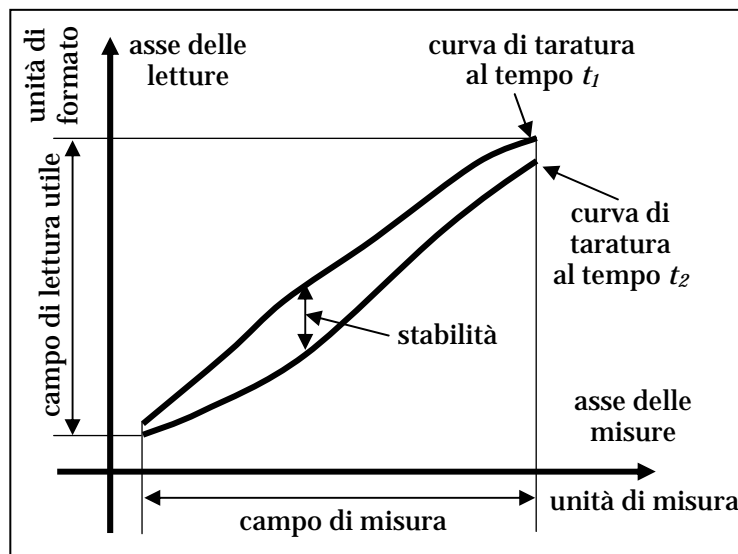


Figura 6.11: stabilità della curva di taratura

Supponiamo ora che un operatore effettui una serie di misure ripetute su di uno stesso oggetto ad intervalli di tempo definiti, con un procedimento di misura unificato e nelle stesse condizioni per le grandezze d'influenza; la misura della stabilità è data dalla differenza tra i valori medi di queste due serie di misure (figura 6.12). Se si effettuano più di una serie di misure su misurandi diversi (punti diversi nel campo di misura), il valore della stabilità è dato dalla massima differenza tra i valori medi di ogni coppia di serie di misure. I valori medi al posto della singola misurazione vengono utilizzati per non conglobare in questa prova anche l'effetto della ripetibilità o meglio per ridurre, come già visto, la sua influenza.

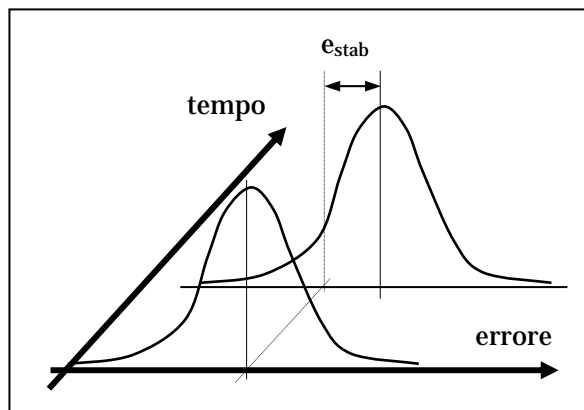


Figura 6.12: prova di stabilità

6.10 ERRORE MASSIMO AMMESSO PER LE CARATTERISTICHE METROLOGICHE E PER LO STRUMENTO

Per ogni caratteristica metrologica è possibile definire un errore massimo ammesso (MPE) inteso come “valori estremi dell'errore di una caratteristica metrologica, definiti da una specifica e/o da norme per un dato strumento di misura”. In questo modo è possibile definire ad esempio l' MPE per l'errore di linearità (MPE_{lin}) o per l'errore di stabilità (MPE_{sta}) o per la ripetibilità (MPE_{rip}) di un dato strumento per misurazione.

Stabilito l' MPE per una caratteristica metrologica di uno strumento per misurazione, tramite opportune prove occorre verificare che l'errore introdotto da quella caratteristica sia inferiore o uguale al valore dell' MPE definito, ovviamente ridotto della incertezza di misura come previsto dalla UNI EN 14253-1.

Il VIM definisce l'errore massimo ammesso come: “valori estremi dell'errore ammesso dalle specifiche, dai regolamenti ecc. per un determinato strumento per misurazione”. Questa definizione, a rigore, sarebbe applicabile solo allo strumento, ovvero all'effetto cumulativo di tutte le caratteristiche metrologiche dello strumento e non alle singole caratteristiche metrologiche.

Quindi, quando un costruttore assegna l'errore massimo ammesso ad uno strumento, congloba generalmente in tale parametro tutte le caratteristiche metrologiche dello strumento (linearità, ripetibilità, risoluzione, isteresi ed altre ancora) che contribuiscono all'incertezza strumentale e quindi all'incertezza di misura.

La conformità dello strumento all' MPE definito dal costruttore è verificata se l'errore d'indicazione dello strumento, rilevabile dalla curva di taratura e tenendo

conto dell'incertezza di taratura, è compreso entro tali limiti con un margine di rischio accettabile. Una modalità molto semplice di esprimere il valore dell'errore massimo ammesso è quella di dare un valore limite costante (preceduto dal doppio segno) inteso come limiti simmetrici rispetto allo zero e cioè:

$$MPE = \pm a$$

La figura 6.13 illustra ad esempio un $MPE = \pm 4 \mu\text{m}$.



Figura 6.13: errore massimo ammesso costante

Ovviamente i limiti dell'errore potrebbero essere funzione del valore nominale del misurando (L); in questo caso un modo di esprimere l'errore massimo ammesso è:

$$MPE = \pm (a + b \cdot L)$$

come illustrato in figura 6.14 ove a è la parte costante dell'errore e b la pendenza della retta dell'errore massimo ammesso.

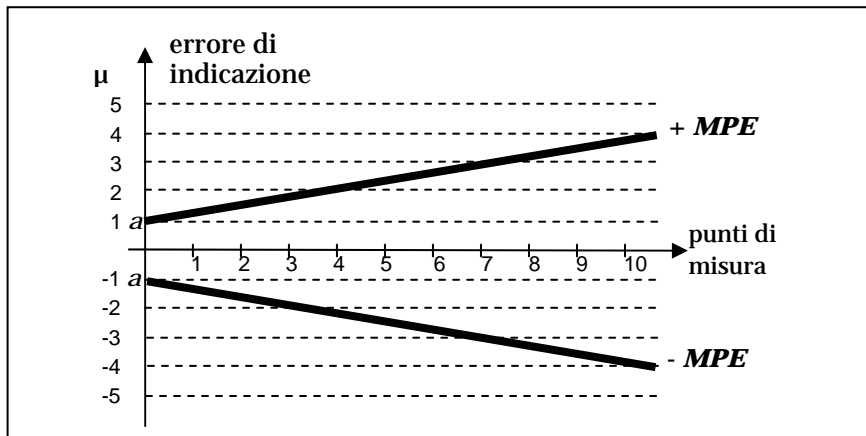


Figura 6.14: errore massimo ammesso proporzionale al misurando