

Taratura di uno strumento di misura

Il diagramma di taratura è la relazione che permette di ricavare da ogni valore della grandezza di uscita, L_0 , la corrispondente fascia di valori ragionevolmente attribuibili al misurando, ΔM . L'informazione completa è di solito fornita specificando separatamente, in forma grafica, tabulare, o analitica, dove si colloca la fascia di valore, mediante un punto situato in posizione intermedia nella fascia, e l'ampiezza della fascia stessa. La taratura è solitamente svolta dal costruttore prima di affidare il dispositivo all'utilizzatore, anche se in alcuni casi, soprattutto per i campioni, il costruttore fornisce dispositivi non tarati; in questo caso è l'utilizzatore che deve provvedere all'operazione di taratura.

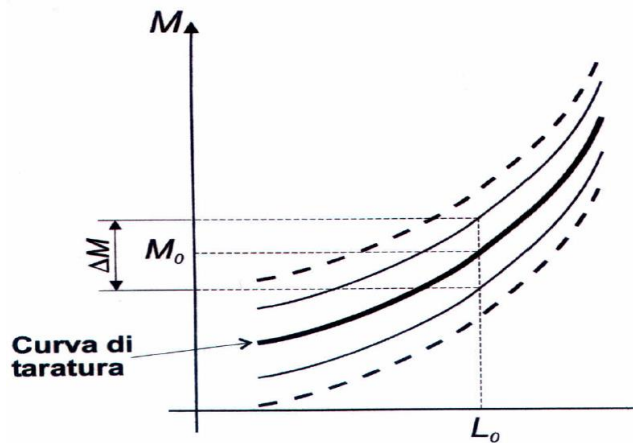


Fig. 1: Esempio di diagramma funzione di taratura

Si distinguono dunque i due seguenti tipi di informazione:

- **Curva di taratura:** è la relazione univoca tra ogni valore della grandezza d'uscita e il punto centrale della fascia di valore relativa al misurando. Quando la curva di taratura è una retta, cioè esiste una relazione di proporzionalità fra uscita e misurando, essa viene espressa di regola con un coefficiente chiamato *costante di taratura*.
- **Incertezza di taratura:** E' la larghezza della fascia di valore. Può essere specificata:
 - in valore assoluto, con la stessa unità di misura del misurando;
 - in valore relativo, rapportandola al valore del punto intermedio della fascia a cui è associata;
 - in valore ridotto, rapportandola a un determinato valore del campo di misura, di solito il limite superiore.

Dalla funzione di taratura possono essere ricavate alcune caratteristiche, spesso fornite anche separatamente.

- **Sensibilità:** può essere definita con riferimento a un punto qualsiasi della curva di taratura e coincide con l'inverso della pendenza della curva stessa. Nel caso particolare in cui la curva di taratura è una retta, la sensibilità è pari all'inverso della costante di taratura. Essa è dunque espressa con riferimento alle unità di misura del misurando e della grandezza d'uscita; ad esempio, in un sensore di forza con uscita in tensione, in volt/newton.
- **Linearità:** è un'indicazione di quanto la curva di taratura si discosta dall'andamento rettilineo. E' specificata fornendo il valore massimo dello scostamento dei singoli punti della curva di taratura da una retta di riferimento opportunamente definita.
- **Isteresi:** indica la tendenza di uno strumento di fornire valori di lettura diversi in corrispondenza dello stesso misurando, quando questo è fatto variare per valori crescenti o decrescenti. Essa viene valutata come la massima differenza fra i valori della grandezza d'uscita corrispondenti al medesimo misurando, quando si considerano tutti i possibili valori entro il campo di misura, ed ogni valore viene raggiunto, prima partendo dall'estremo inferiore, poi partendo dall'estremo superiore. L'isteresi viene espressa specificando la variazione massima che si può verificare nell'uscita, in valore assoluto o in percentuale della portata, a parità di misurando e di condizioni operative, entro un determinato intervallo di tempo.

Controllo di taratura e messa a punto di uno strumento di misura

Le prestazioni metrologiche di uno strumento di misura sono solitamente garantite dal costruttore per un determinato intervallo di tempo. Spesso il tempo trascorso dall'operazione di taratura è considerata una grandezza

d'influenza ed allo strumento sono assegnati diagrammi di taratura differenti, per esempio, a 90 giorni, a 1 anno ed a 2 anni dalla taratura. Il costruttore fornisce anche un'indicazione riguardo al massimo intervallo di tempo dalla taratura entro cui lo strumento è in grado di fornire misure secondo un diagramma di taratura assegnato. Superato questo intervallo di tempo, è indispensabile che lo strumento sia sottoposto a controllo di taratura, ossia ad un'operazione che permette di controllare se le letture fornite da uno strumento in corrispondenza di una serie di misurandi noti sono contenute entro un diagramma di taratura preassegnato. Durante questa operazione, le grandezze di influenza devono essere comprese nei campi per cui è dichiarato il diagramma di taratura dello strumento.

L'esecuzione del controllo di taratura richiede quindi di disporre dei campioni che realizzano la serie di misurandi da applicare all'ingresso dello strumento; questi misurandi devono inoltre essere realizzati con un'incertezza trascurabile rispetto all'incertezza fornita dallo strumento sottoposto a taratura. Quando l'esito del controllo è negativo, risulta probabile che lo strumento non sia più in grado di fornire misure secondo il diagramma di taratura preassegnato. In questo caso risulta indispensabile ricorrere alla messa a punto dello strumento, ossia ad un insieme di operazioni automatiche o parzialmente manuali che impongono allo strumento di fornire particolari letture in corrispondenza a particolari misurandi applicati al suo ingresso.

Un esempio di messa a punto è quello che porta a determinare e spesso correggere l'errore di zero in uno strumento, in altre parole la sua indicazione quando al suo ingresso non è applicata la grandezza cui è sensibile. Una volta determinata l'entità dell'errore di zero, o offset, essa solitamente può essere automaticamente compensata dallo strumento, sottraendola algebricamente al valore del misurando, fornendo così all'operatore la misura già corretta. Altra tipica operazione di messa a punto che può essere effettuata da uno strumento evoluto è quella della correzione del suo fattore di scala, che è il fattore di proporzionalità tra la grandezza di ingresso e il corrispondente valore di misura in uscita. Applicando all'ingresso una quantità o un segnale di riferimento e predisponendo opportunamente lo strumento, quest'ultimo può confrontare la sua lettura con il valore di riferimento e correggere il fattore di scala affinché lettura e valore di riferimento coincidano. Operazioni di messa a punto di questo tipo sono normalmente eseguite da strumenti quali bilance elettroniche, multimetri elettronici, ecc... In seguito all'operazione di messa a punto, lo strumento può nuovamente fornire misure secondo il diagramma di taratura preassegnato.

E' importante non confondere il processo di messa a punto con quello di taratura: il primo garantisce solo la miglior predisposizione dello strumento affinché possa effettuare al meglio delle sue capacità le misure, ma non fornisce alcuna informazione sulle caratteristiche metrologiche dello strumento in termini di incertezza; l'operazione di taratura è finalizzata invece a fornire proprio queste ultime informazioni.

Solitamente, alla messa a punto segue un controllo di taratura, che ha lo scopo di accertare la validità del diagramma di taratura dello strumento e quindi la buona riuscita della messa a punto.

Esecuzione della taratura di un voltmetro

Durante il processo di taratura l'ingresso applicato, che deve essere noto con incertezza inferiore di almeno un ordine di grandezza rispetto all'incertezza del sistema sottoposto a taratura, viene fatto variare in un certo campo e si registrano le relative misure fornite dallo strumento da tarare.

L'operazione di taratura può essere effettuata (vedi Fig. 2):

- fornendo un ingresso noto mediante un calibratore, cioè un generatore di tensione, o corrente, continua di elevata precisione;
- oppure facendo variare l'ingresso ed effettuare la taratura per confronto mediante uno strumento campione.

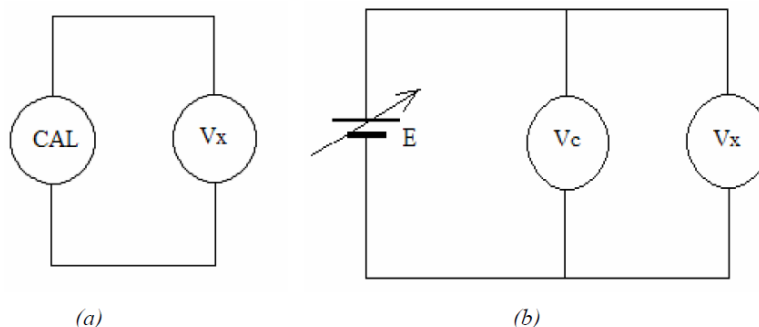


Fig.2: Esempi circuitali per la taratura di un voltmetro

Per entrambe le soluzioni adottate, una singola misurazione per ogni livello di tensione è caratterizzata da uno scostamento rispetto al valore fornito in ingresso, $\Delta V = V_{out} - V_{in}$, che ha due componenti: una aleatoria ed una sistematica. Come è noto, per ridurre la variabilità casuale del risultato di una misurazione bisogna aumentare il numero di osservazioni e considerare il valore medio osservato nelle prove ripetute. In questo modo lo scostamento tra il valore medio delle misure ed il valore in ingresso è dovuto solo ad effetti sistematici.

Per ciò che concerne la variazione dell'ingresso si utilizza un passo costante dell'intervallo di taratura; se l'intervallo scelto viene coperto sia per valori crescenti che per valori decrescenti, è possibile evidenziare eventuali effetti di isteresi sullo strumento.

Per poter valutare eventuali effetti sistematici bisogna calcolare il valore medio dei valori misurati in corrispondenza di uno stesso ingresso: lo scostamento tra la media, $\bar{x}$, e l'ingresso rappresenta l'errore che commette lo strumento nella misura di quel valore. Lo scarto tipo sperimentale, s , invece, consente di ricavare l'incertezza della taratura. In particolare il diagramma di taratura può essere ricavato considerando le medie e gli scarti tipo. Rappresentando i dati raccolti su di un piano cartesiano mettendo in ascissa i valori letti e sulle ordinate i corrispondenti valori di ingresso, si ha che la curva che unisce i valori medi dei valori misurati rappresenta la curva di taratura, mentre le altre due curve possono essere ricavate unendo i valori $\bar{x} + ks$ e $\bar{x} - ks$ dove il fattore di copertura k va scelto in funzione del livello di confidenza e della distribuzione che meglio modella il processo di misurazione.

Lo scopo è quello di ottenere la curva di taratura, dalla quale è possibile determinare tutti i parametri d'interesse.

Innanzitutto è possibile riportare in un diagramma cartesiano i valori medi dell'ingresso corrispondenti delle diverse letture sullo strumento da tarare. Ad esempio in Fig. 3 sono riportati la curva ed il diagramma di taratura ipotizzando un comportamento lineare dello strumento, e considerando le rette calcolate col metodo dei minimi quadrati, considerando i valori medi e un fattore di copertura pari a 3.

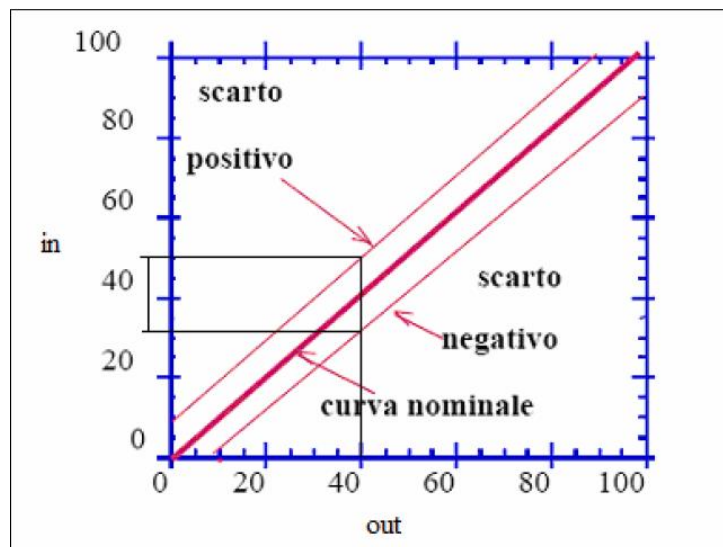


Fig. 3: Esempio di diagramma di taratura

E' possibile valutare la presenza di effetti sistematici confrontando la retta dei valori medi con quella ideale di equazione $y = x$, cioè con la retta avente offset pari a zero e pendenza di 45° ; così facendo si determinano l'errore di offset, in corrispondenza dell'intercetta della retta, e l'errore di guadagno, legato al coefficiente angolare della stessa.

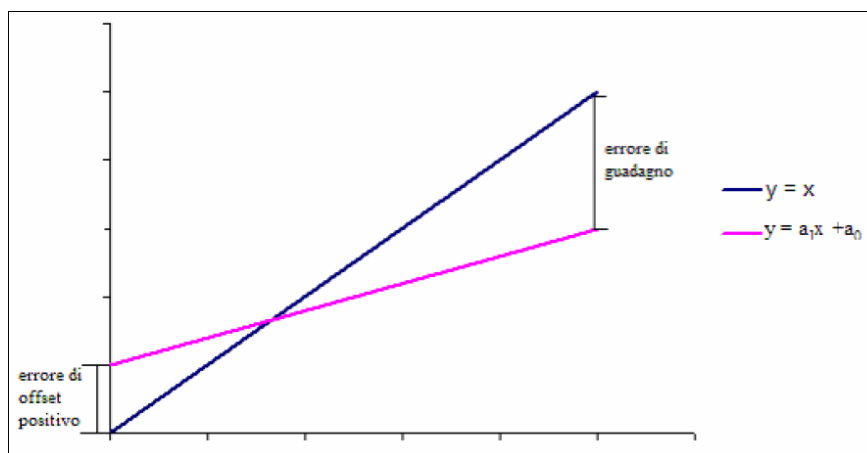


Fig. 4: Curve di taratura ideale, $y = x$ e reale $y = a_1x + a_0$.