230.

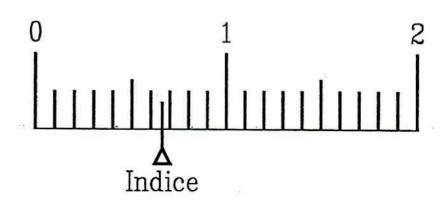
LO STRUMENTO DI MISURA

Lo strumento di misura deve determinare il valore del misurando introducendo il contributo minimo all'incertezza. Per lo strumento di misura possono essere definite alcune caratteristiche metrologiche, anche se esse dipendono sempre dall'intero sistema di misura formato da misurando, strumento, ambiente e operatore.

La risoluzione di lettura

Nell'esempio della misura della porta il metro da muratore è stato scartato anche perché la divisione è troppo grossolana, cioè la risoluzione di lettura inadeguata.

La risoluzione di lettura non coincide con la suddivisione della scala. Nel caso di scale analogiche (in cui la grandezza misurata viene rappresentata, in generale, dalla lunghezza di una scala lineare o dall'angolo in una scala circolare) la divisione può essere suddivisa a occhio in 2, 5 o 10 parti, secondo la qualità e la dimensione della suddivisione.



Nel caso le divisioni siano di lunghezza almeno dell'ordine di 2 mm, la larghezza dell'indice e dei tratti che suddividono la scala all'incirca uguali a un decimo della lunghezza della divisione, la divisione può essere divisa in dieci parti.

Se la divisione ha dimensione inferiore o è tracciata in modo meno netto, può essere tuttavia suddivisa a occhio in 5 o 2 parti.

Esempio

Quale è la risoluzione di un manometro con una scala circolare ben tracciata di 100 mm di diametro divisa in 200 parti, con il fondo scala di 10 MPa?

Risposta

La lunghezza della scala è circa 300 mm $(100 \cdot \pi)$, quindi ogni divisione è di circa 300/200=0.5 mm ed essendo la scala ben tracciata ma la divisione di lunghezza inferiore a 2 mm, può essere suddivisa in cinque parti. La divisione è quindi 10/200=0.05 MPa e la risoluzione 0.05/5=0.01 MPa, che può anche essere espressa in forma relativa, cioè dello 0.1%.

Nel caso delle **scale digitali**, cioè espresse da un indicatore numerico, la risoluzione è in generale il passo di incremento dell'indicazione.

Sono molto comuni gli indicatori che modificano l'indicazione di 2 in 2 o di 5 in 5 e talvolta anche di 10 in 10. In un caso raro, ad esempio l'indicatore procedeva con un passo di 2 e poi con un passo di 3. La risoluzione è, in questo caso, uguale a 3.

Nel caso, però, che l'indicazione non sia stabile, ma oscilli, si prende come risoluzione la metà dell'intervallo di oscillazione.

La risoluzione è la prima caratteristica del sistema di misura da prendere in considerazione. Una risoluzione insufficiente non consente di avere un risultato di misura abbastanza definito; ma anche una risoluzione troppo spinta è dannosa perché aumenta inutilmente i costi e le difficoltà di misura.

La risoluzione è la "particella elementare" del risultato di misura e non può essere, in genere, suddivisa. Ciò, invece, viene fatto impropriamento molto spesso.

Ad esempio, la misura dell'area di una sezione quadrata viene fatta misurando direttamente i due lati d₁ e d₂. Si sia ad esempio ottenuto con uno strumento con risoluzione centesimale d₁=10.16 mm e _d₂=9.98 mm. L'area viene calcolata_ con un semplice prodotto: A=d₁·d₂= 101.3968 mm². Ma il limite di risoluzione dello strumento indica solo che d₁ è compresa tra 10.155 mm e 10.165 mm e d₂ tra

9.975 mm e 9.985 mm, quindi, con una valutazione banale anche se non completamente corretta, facendo il prodotto dei valori massimi e dei valori minimi, l'area è compresa tra 101.3 mm² e 101.5 mm². La risoluzione di misura per l'area può essere considerata, quindi, di 0.1 mm², per cui il valore di misura dell'area deve essere scritto 101.4 mm², senza un numero maggiore di cifre che non avrebbero alcun significato.

Si noti che il numero di cifre significative poteva essere valutato con facilità.

a) nel caso di prodotti o frazioni, le incertezze relative, e le risoluzioni espresse in forma relativa, si sommano con legge quadratica. Quindi, quando i termini sono solo sue, il risultato non differisce come ordine di grandezza dall'incertezza maggiore, per cui il risultato è espresso con il numero di cifre significative più piccolo tra quelli dei due termini.

Sia, ad esempio, la misura dei lati di una sezione rettangolare data da d₁=2.02 mm e d₂=20.04 mm, rispettivamente di 3 e 4 cifre significative, l'area dovrà essere espressa con 3 cifre significative, cioè A=d₁·d₂= 40.5 mm².

b) Nel caso di addizioni o sottrazioni, invece, si sommano con legge quadratica le incertezze (o le risoluzioni) espresse in forma assoluta. Come prima, nel caso di due soli termini, l'incertezza del risultato non sarà differente, come ordine di grandezza, dall'incertezza maggiore tra quelle dei due termini.

Ad esempio, si voglia scrivere la misura dell'altezza di due prismi metallici sovrapposti. Uno, misurato con un calibro decimale ha dato un risultato di 53.2 mm, l'altro, misurato con un palmer centesimale, di 5.03 mm. Essendo l'incertezza di uno dei termini di 0.1 mm, non vi è ragione di esprimere il risultato come 58.23, ma dovrà essere troncato a 58.2 mm.

La rappresentazione del risultato dovrà, cioè, dare un'indicazione della risoluzione del sistema di misura e del metodo utilizzati per ottenere la misura. Si noti, quindi, che nel caso dell'esempio sopra riportato, se i due termini fossero disultati di 55.3 mm e 5.67 mm, il risoltato dovrà essere scritto 61.0 mm per indicare che la risoluzione è ±0.1 mm, e non 61 mm, che indicherebbe una risoluzione di ±1 mm!

La stabilità

Il concetto di stabilità è già stato utilizzato per dare una definizione più ampia di risoluzione che tenga conto delle oscillazioni di lettura degli indicatori digitali (ma, in linea di principio, valido anche per gli indicatori analogici).

La stabilità dipende non solo dallo strumento di misura, ma dall'insieme del sistema di misura, cioè anche dalla stabilità del misurando, e molto dalle condizioni ambientali.

La stabilità si dice, di solito, a breve termine o a lungo termine, in dipendenza del periodo breve o lungo su cui è osservata. È importante sottolineare che quasi tutti gli strumenti hanno un'instabilità iniziale, che si manifesta come deriva nella fase di riscaldamento (ma anche l'ambiente e l'operatore possono avere una fase di "riscaldamento"!). Nelle procedure di misura deve essere quindi contenuta una indicazione sui periodi di riscaldamento da applicare.

La stabilità a lungo termine è molto importante per stabilire l'intervallo di taratura, che deve essere definito per operare in garanzia di qualità. Le metodologie usualmente utilizzate per stabilire gli intervalli di taratura consistono:

 nell'imporre intervalli di taratura costanti, stabiliti in base all'esperienza pregressa sul tipo di sistema di misura (non solo di strumento di misura); 2) nel definire una procedura di controllo che tiene conto dei risultati delle precedenti tarature, definisce la tendenza di variazione e stabilisce un intervallo di sicurezza che garantisce che le misure rimangano nei limiti di tolleranza richiesti.

La seconda metodologia non può essere stabilita fin dall'inizio, poichè è basata su un'esperienza specifica del comportamento del sistema di misura, per cui è sempre necessario partire con la prima metodologia, quindi, per evitare di stabilire periodi troppo brevi, inutilmente costodi, o troppo lunghi, con il rischio di uscire dal campo di tolleranza, è necessario basarsi sull'esperienza specifica.

La ripetibilità

Per controllare quali le migliori possibilità di funzionamento del sistema di misura si fanno prove di ripetibilità, che consistono nel replicare le operazioni di misurazione introducendo il minimo disturbo possibile, quindi effettuando solo le operazioni strettamente necessarie a replicare la misurazione in un breve intervallo di tempo.

Nell'esempio della misura della larghezza della porta la prova di ripetibilità consente di determinare con misurazioni tipo b e c la dispersione dei risultati che, essendo considerata eccessiva, porta a un'analisi delle cause ed alla determinazione dell'errore causato dall'inclinazione del metro. Ciò indica in modo concreto quale debba essere la serie dei passi da fare nell'impostare un sistema di misura: stabilito

che la risoluzione e la stabilità sono adeguate alle richieste, si valuta la non-ripetibilità, e se essa è eccessiva rispetto alle caratteristiche tipiche della strumentazione impiegata nell'ambito delle reali condizioni ambientali e di funzionamento, si cercano le cause delle variazioni dei risultati. Se si riescono ad individuare delle cause definite, che possono essere eliminate, o i loro effetti corretti o compensati, si trasforma parte dell'incertezza in errori sistematici, che possono essere corretti o eliminati.

La ripetibilità indica rapidamente se il sistema di misura è adatto a svolgere le funzioni richeste, ma evidentemente si tratta di una condizione necessaria ma non sufficiente.

La riproducibilità

•

おきのではの場所である。また、 450mm をあるとのできる。 12個目の

La riproducibilità è una caratteristica metrologica che indica la capacità del sistema di misura di ottenere risultati poco dispersi quando viene ripetuto l'insieme completo delle operazioni coinvolte nello schema di misurazione (alcune norme per dinamometri trasportabili richiedono, addirittura, che durante la taratura lo strumento venga imballato come previsto per il trasporto).

La non-ripetibilità e la non-riproducibilità dipendono dagli errori accidentali, cioè numerosi effetti di piccola entità che introducono variazioni in ogni direzione ai risultati di misura. Esse possono essere, quindi, valutate su base statistica, calcolando lo scarto tipo dei risultati ottenuti nelle replicazioni.

L'accuratezza

Laccuratezza è la caratteristica di un sistema di misura di dare risultati distribuiti intorno ad un valore prossimo valore di riferimento.

di riferimento è valore dato dal gradino immediatamente più alto nella scala metrologica, fino a giungere ai campioni primari. Così la scala di micrometro palmer viene un controllata con blocchetti pian-paralleli di lavoro, che vengono controllati con blocchetti pian-paralleli di riferimento, che vengono controllati con sistemi di taratura interferometrica, che vengono controllati con il laser di riferimento, che viene controllato con il laser campione primario di lunghezza.

Per determinare il valore attorno al quale si distribuiscono i risultati di misura si determina il valore medio dei risultati ottenuti nelle replicazioni. Le ragioni dello scostamento del valore medio dal valore di riferimento si deve ricercare nella presenza di errori sistematici, che cioè si ripresentano in forma identica ogni volta che riproducono le stesse condizioni di misura.

Alcuni degli errori sistematici più comuni sono:

- l'errore di linearità
- l'errore di isteresi
- l'errore d'inversione
- l'effetto della temperatura
- la deriva.

A tale norma ci si deve riferire per ogni valutazione nel campo della qualità. Qui è opportuno solo aggiungere alcuni cenni, avendo parlato di errori sistematici e errori accidentali. Nel caso dell'inertezza non si utilizzano mai i termini sistematico e accidentale, ma si distingue in componenti dell'incertezza determinabili per via statistica, detti di tipo A e quelli da determinarsi per altra via, detti di tipo B.

Ad esempio, si debba valutare l'incertezza nelle misure ottenute con uno strumento certificato di conformità di classe 1. Il certificato di conformità classe di precisione definisce solo la strumento, cioè che l'incertezza è dell'1%, ma non fornisce i valori da сы trarre le indicazioni dell'accuratezza e della ripetibilità. In tal caso l'incertezza di tipo A viene valutata statisticamente replicando le misure, ma non è possibile determinare sulla base di misure ripetute lo scostamento rispetto al riferimento. Si deve tener conto quindi di un tipo contributo di В. non determinabile statisticamente, per il quale si possiede solo l'informazione dellla classe di precisione data dal certificato di conformità dell'1%.

Nel primo caso è possibile accettare un livello di confidenza del 95%, cioè che vi sia il 5% di probabilità che, pur avendo dichiarato la spina in tolleranza essa sia fuori tolleranza.

Nel secondo caso il rischio di affermare erroneamente che la spina è in tolleranza deve essere limitato all'1%.

Se si utilizza per fare la misura del diametro della spina un micrometro centesimale per il quale l'incertezza a livello 1σ sia di 0.01 mm, e si ricava una misura di 10.01 mm. Nel primo caso il massimo del campi d'incertezza è 10.03 mm, per cui la spina viene dicharata in tolleranza, nel secondo caso è 10.04 mm, quindi viene dichiarata fuori tolleranza. Questa situazione è charamente definita in una collaborazione tra norma preparata in organizzazioni internazionali, tra cui ISO, nel cui ambito è curata dal TAG4/WG3, che definisce l'incertezza standard, espressa a livello 1σ, che deve essere definita con considerazioni metrologiche, e l'incertezza estesa, per la quale deve essere specificato il livello 20, 30 o altro adottato, che viene stabilito dall'utente delle misure.

L'incertezza

L'incertezza è rappresentata dall'intervallo in cui possono cadere i risultati della misurazione. L'entità di tale intervallo dipende sia dagli errori accidentali, sia dagli errori sistematici. Gli errori accidentali, come si è visto, si possono considerare distribuiti secondo la distribuzione gaussiana, cioè possono essere compresi in un intervallo infinito. Man mano ci si allontana dal valore medio, però, diminuisce la probabilità di trovare dei risultati, quindi si possono definire intervalli finiti se si stabilisce il valore di probabilità a cui operare. Ad esempio in un intervallo compreso tra -2σ e +2σ è contenuto circa il 95% dei dati sperimentali; in un intervallo compreso tra -3σ e +3σ è contenuto circa il 99%.

La scelta se operare ad un livello di confidenza del 95% o del 99% non dipende da considerazioni metrologiche, ma dall'oggetto a cui l'operazione di misurazione si applica.

Mettiamo di dover controllare il diametro di una spina che ha tolleranze definite: $10 \text{ mm} \pm 0.03 \text{ mm}$.

Distinguimo due casi differenti:

- nel caso sia utilizzata una spina fuori tolleranza il danno conseguente è limitato;
- nel caso sia utilizzata una spina fuori tolleranza il danno conseguente è grave.

La norma stabilisce in questo caso di considerare la distribuzione come rettangolare con ampiezza b_1 uguale alla classe di precisione, e di calcolare lo scarto tipo che, per una distribuzione rettangolare è dato da $u_1=b_1/\sqrt{3}$. Se l'analisi delle replicazioni ha determinato il contributi di tipo A tramite lo scarto tipo dei dati replicati $a_1=0.3\%$, e se la classe di precisione è data a livello 2σ , si trova il contributo di tipo B a livello 1σ dividendo per due, $b_1=0.5\%$ ed infine il valore equivalente dello scarto tipo.

Descrizione	Tipo	Valore		Varianza associata		
		Livello		1σ		
Riproducibilità	Α	1σ	0.3%	0.3%	·a ₁ ²	9·10 ⁻⁶
Classe di prec.	В	2σ	1%	0.5%	b ₁ ² /3	8.3·10 ⁻⁶

Totale				0.4%		17.3·10 ⁻⁶