

Tecnica della misurazione

1

Obiettivi

- Conoscenza degli strumenti di misurazione e controllo delle dimensioni e delle forme dei pezzi;
- conoscenza delle tecniche di misurazione;
- conoscenza e comprensione degli errori sistematici e casuali;
- conoscenza e comprensione dei criteri di valutazione di una misura, del valore medio, dello scarto tipo e delle carte di controllo dei processi produttivi.

Abilità

- Scegliere e usare per ogni esigenza la strumentazione appropriata;
- eseguire il controllo e la taratura degli strumenti;
- valutare le misure ottenute secondo il grado di precisione richiesto e i criteri di incertezza consentiti;
- rappresentare i risultati delle misurazioni tenendo conto degli errori sistematici e casuali;
- valutare ed utilizzare le carte di controllo per pilotare il processo produttivo.

Concetti fondamentali di metrologia

In generale, nell'ambito delle **misure geometriche**:

- **misurare** significa effettuare un **confronto quantitativo** di una grandezza sconosciuta, lineare o angolare, con uno strumento di misura scelto o tramite campioni materiali;
- **controllare** significa determinare se la dimensione rilevata è compresa entro i **limiti di tolleranza** richiesti dalla qualità del lavoro;
- **collaudare** significa effettuare - nell'ambito dell'organizzazione industriale e del controllo di qualità - una o più **prove meccaniche e tecnologiche**, per controllare se l'organo meccanico possiede le caratteristiche conformi a quanto richiesto, non solo come *dimensione, forma e qualità della superficie*, ma anche per verificare se l'organo meccanico sarà capace di garantire il corretto funzionamento nelle *condizioni reali* alle quali sarà sottoposto.

Si tratta, cioè, di operazioni di **confronto** tra i risultati di quanto controllato e quanto richiesto, come grandezze e caratteristiche meccaniche o tecnologiche del pezzo in esame.

Rilevare le caratteristiche, misurabili o qualitative, di un prodotto di officina presuppone che i vari *risultati* e *riscontri*, conseguiti nelle prove di misurazione e di collaudo, siano conseguiti con la **classe di precisione** richiesta.

1 Metodi di controllo

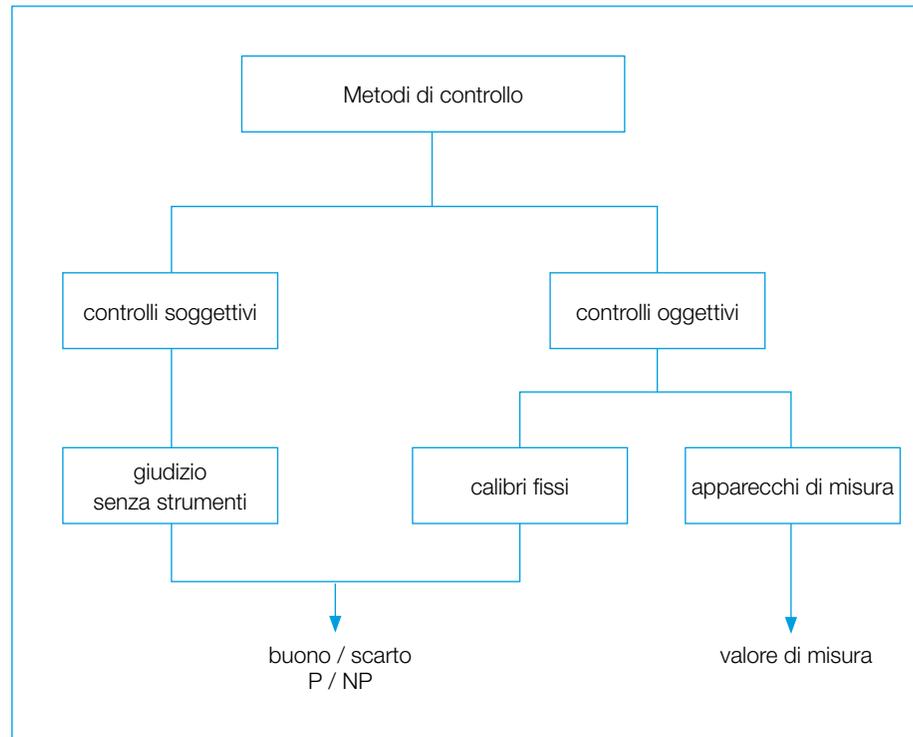


FIGURA 1. Tipi di controlli e risultato.

Come mostra lo schema in FIGURA 1, possiamo distinguere tra:

- controlli **soggettivi**, i cui risultati dipendono dal giudizio e dalla sensibilità dell'operatore, **senza l'impiego di strumenti**; per esempio, controlli a vista possono rilevare la presenza di difetti sulla superficie di un pezzo, oppure, al tatto, giudicare l'ammissibilità o meno della sua rugosità ecc.;
- controlli **oggettivi**, che vengono eseguiti con strumenti e apparecchi di misura o con calibri fissi P/NP (*passa/non passa*).

OSSERVAZIONE È comunque utile che siano stati definiti a priori *criteri* e *codici di valutazione* e condivisi da tutti, in modo da uniformare il più possibile i controlli o i giudizi e i limiti di conformità sia dei prodotti sia dei mezzi di produzione e degli strumenti di misura.

2 Uso degli strumenti di misura e di controllo

► Gli strumenti di misura e di controllo sono mezzi ausiliari indispensabili per eseguire un lavoro secondo le norme stabilite nel disegno o quelle di lavorazione. Prima di iniziare il lavoro occorre, dunque, assicurarsi che gli strumenti scelti siano appropriati al **grado di precisione** richiesto.

Così, se l'approssimazione è di 1/10, basta un calibro decimale o al massimo ventesimale; se è dell'ordine di un millimetro basta la riga millimetrata (detta metrica).

Non è opportuno, ad esempio, controllare la quota di un pezzo grezzo con il micrometro, sia perché i pezzi grezzi hanno una tolleranza molto ampia, sia perché si rovinerebbe lo strumento.

È pertanto necessario usare sempre degli strumenti che permettano di eseguire le misurazioni in base alle tolleranze richieste e con la dovuta approssimazione.

OSSERVAZIONE Le misure di precisione e i controlli devono essere eseguiti alla temperatura costante di 20 °C.

Temperature più alte o strumenti riscaldati, per esempio, dal calore di una mano accaldata, portano a deviazioni della misura (TABELLA 1). Se verificiamo la misurazione con un blocchetto di riscontro (i campioni materiali a più alta precisione), per esempio, di 25 mm, avremo un risultato diverso, ad esempio, 25,002 mm. Le misure effettuate in queste condizioni riporteranno tutte una deviazione (errore) dal valore vero (del campione di riscontro). In questo caso tale deviazione o errore, di tipo **sistematico**, è dovuto a una deformazione dello strumento.

Classe di precisione	Scostamento in μm per lunghezza nominale di 10 mm	Tolleranza in μm di parallelismo	Impiego
00	$\pm 0,06$	0,05	Straordinario o nei laboratori scientifici
0	$\pm 0,12$	0,10	Strumenti blocchetti
1	$\pm 0,20$	0,16	Normale nei controlli
2	$\pm 0,45$	0,30	Normale sulle macchine utensili
K	$\pm 0,20$ (v. cl. 1)	0,05 (v. cl. 00)	Taratura di altri blocchetti

TABELLA 1. Precisione dei blocchetti pianparalleli.

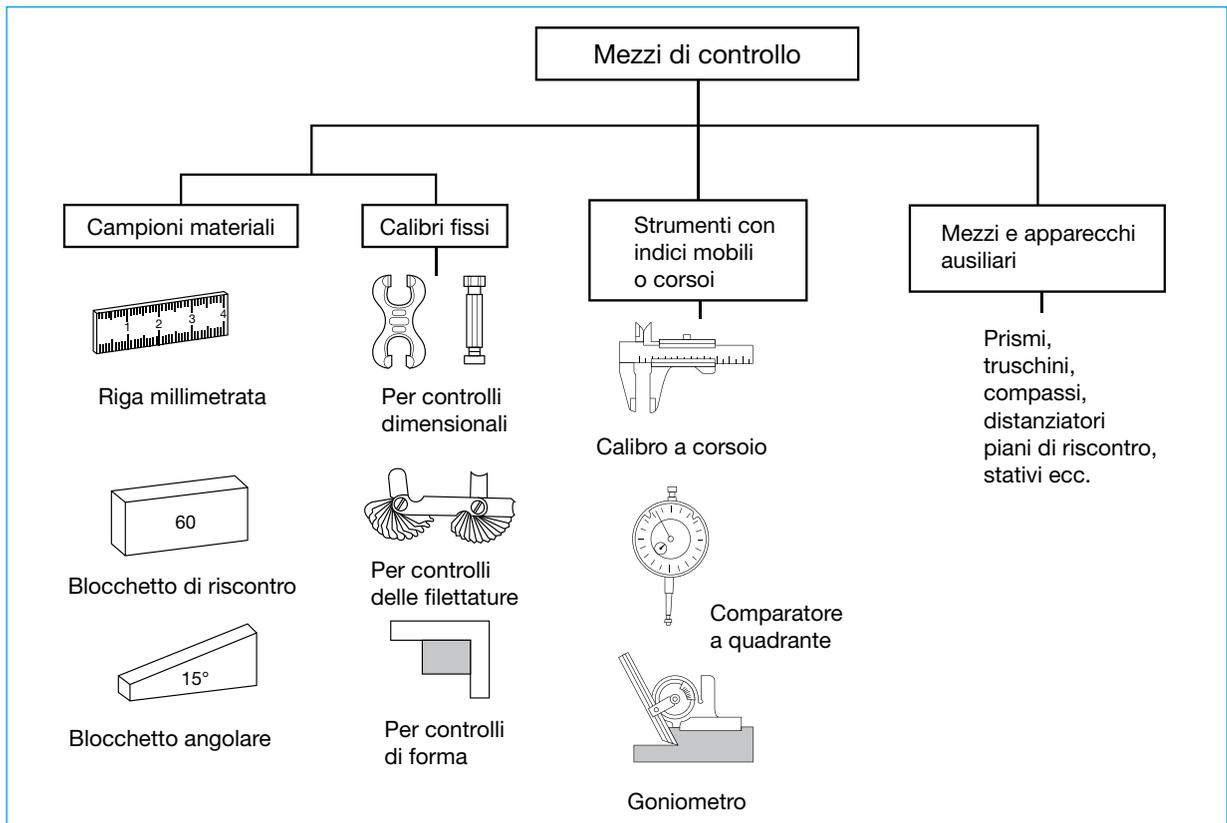


FIGURA 2. Strumenti di controllo e di controllo.

3 Campioni materiali e calibri fissi per misure geometriche

Con i mezzi di controllo (FIGURA 2) non si ottengono valori numerici della misura da controllare, ma sono usati per stabilire se il pezzo è da **accettare** o da **scartare**.

- La *riga millimetrata* (FIGURA 3) è un campione materiale in acciaio bonificato (più resistente alle deformazioni ed all'usura). Questo strumento materializza la dimensione da controllare, tramite la scala graduata. Se ben esercitati si può arrivare ad apprezzare fino ad $\frac{1}{4}$ di millimetro in più o meno.
- I *blocchetti di riscontro*, se **pian-paralleli** (FIGURA 4), materializzano la distanza tra superfici; se **angolari**, materializzano l'angolazione da controllare.

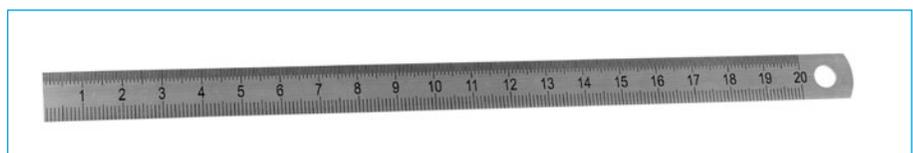


FIGURA 3. Riga millimetrata in acciaio bonificato.

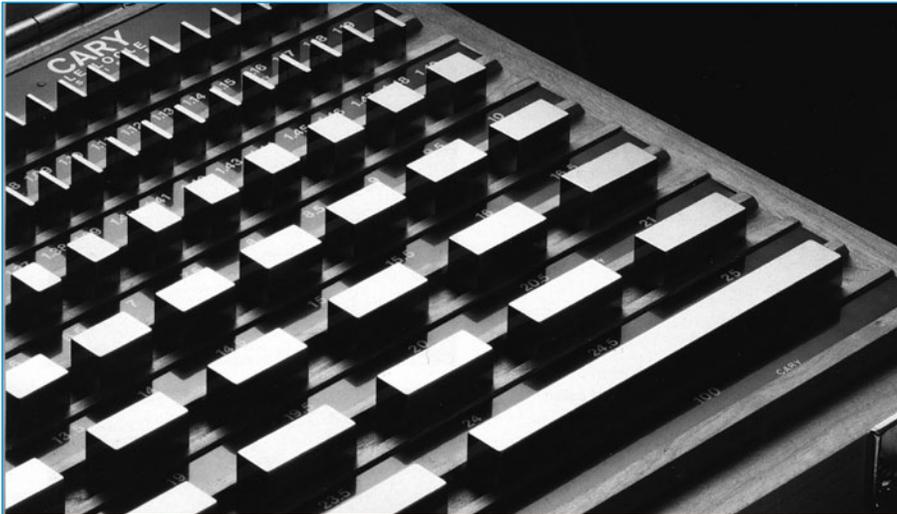


FIGURA 4. Set di blocchetti di riscontro.



FIGURA 5. Alcuni esempi di calibri fissi.

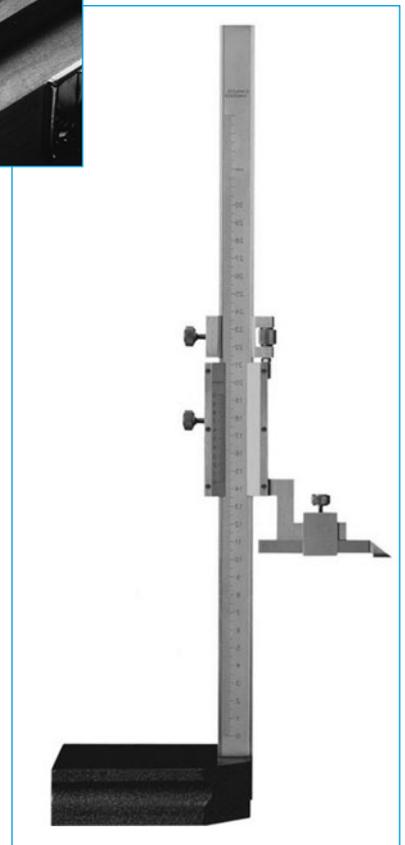


FIGURA 6. Truscino.

- I *calibri fissi* (FIGURA 5) materializzano la figura, o, insieme a questa anche la forma dell'oggetto da misurare (per esempio, il foro di un pezzo).
- I *mezzi e le attrezzature complementari* (FIGURA 6) sono, per esempio, prismi, angolari, truschini, compassi, distanziatori, piani di riscontro, stativi o supporti.

Campioni materiali e blocchetti Johansson o di riscontro

I **campioni materiali** materializzano la dimensione da controllare e sono presi come **riferimento base** per tutte le misure di officina. La classe di precisione del campione scelto è nota, e conseguentemente anche la sua **incertezza** di misura.

Sono **blocchetti** rettificati e rifiniti fino a ritocchi della lappatura effettuata con abrasivi finissimi e in camera termostatica. Segue il collaudo con

TARATURA

Procedimento per la determinazione delle caratteristiche metrologiche dello strumento, come la precisione, o per verificarne la rispondenza ai requisiti stabiliti. L'operazione viene eseguita con un campione di precisione più elevato dello strumento da tarare.

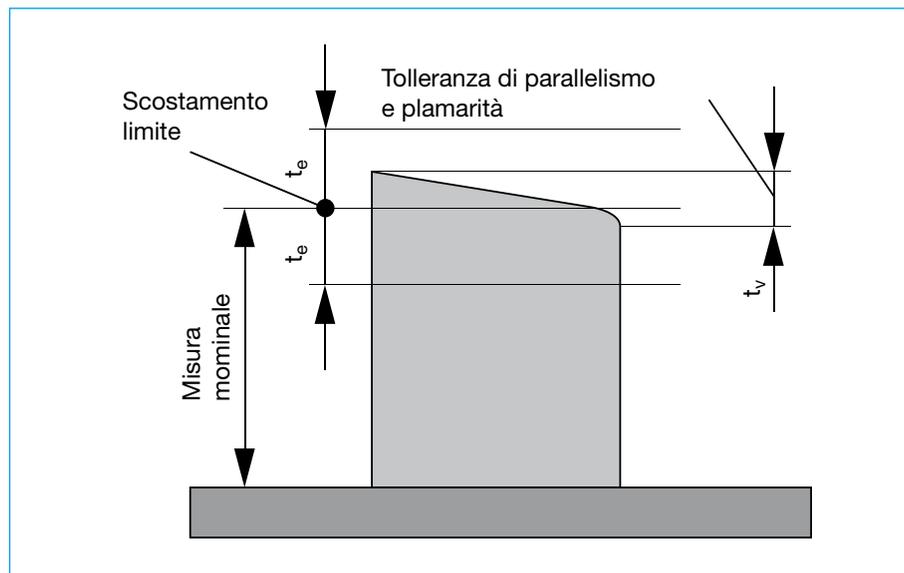


FIGURA 7. Scostamenti di un blocchetto di riscontro.

il metodo intertermometrico. Il controllo della dimensione di un pezzo avviene per riscontro con la dimensione fissa dei blocchetti stessi, impiegando quelli della «classe di precisione» richiesta. Sono in acciaio al carbonio o legato, temprato, o in metallo duro (carburi di tungsteno in matrice di cobalto) o in materiale ceramico ossia in materiali resistentissimi all'usura, all'ossidazione ed alla deformazione.

OSSERVAZIONE Per i blocchetti Johansson e di riscontro sono previste, dalla norma UNI-ISO 3650, quattro classi di precisione – 00, 0, 1, 2 – e una classe di taratura k per la calibratura di altri blocchetti pianparalleli.

La FIGURA 7 mostra gli *scostamenti* e le *tolleranze* di un blocchetto di riscontro rispetto alla misura nominale che sono pari a **0,05 µm** per la classe k fino a **0,3 µm** per la classe 2 e per misure nominali (lunghezze) fino a 25 mm.

La classe di precisione K mantiene i limiti per i valori di scostamento pari alla cl.1, ma risulta molto più precisa nei valori di variazione di lunghezza per misure superiori ai 10 mm.

Gli **impieghi dei blocchetti** della classe di precisione:

- cl. 00 sono per laboratori scientifici;
- cl. K per tarature e azzeramenti di strumenti e calibri
- cl. 0 per la taratura di calibri fissi e strumenti di precisione in ambienti climatizzati;
- cl. 1 per verifica di strumenti usati in officina;
- cl. 2 per utensili e attrezzature.

Calibri fissi

Sono calibri per il controllo di una dimensione fissa.

Da un lato per il controllo *passa* (per esempio, la dimensione massima

di un perno) e dall'altro lato per il controllo *non passa* (per esempio la dimensione minima dell'albero).

Sono usati per la *verifica dei pezzi*:

- durante la loro lavorazione: **calibri di lavoro**;
- per la loro accettazione: **calibri di collaudo**.

Possono essere calibri per il controllo:

- **di forma** (esempio angolari, filettature ecc.);
- **dimensionale** (es. calibri differenziali, a forcilla, a tampone, gli stessi blocchetti di riscontro).

Mezzi e attrezzature complementari

Sono dispositivi che trovano largo impiego in officina per i controlli durante la lavorazione, come:

- **compassi**, quando per esempio, per la particolare forma del pezzo non è possibile usare la riga millimetrata; possono essere *a punte* (FIGURA 8.a) per descrivere cerchi e rilevare distanze su superfici piane o *per interni* (FIGURA 8.b), per rilevare la distanza tra due punti di una superficie concava, o *per esterni* (FIGURA 8.c) per rilevare la distanza tra due punti di una superficie convessa, o ad *aste* (FIGURA 8.d) per la rilevazione di grandi quote;

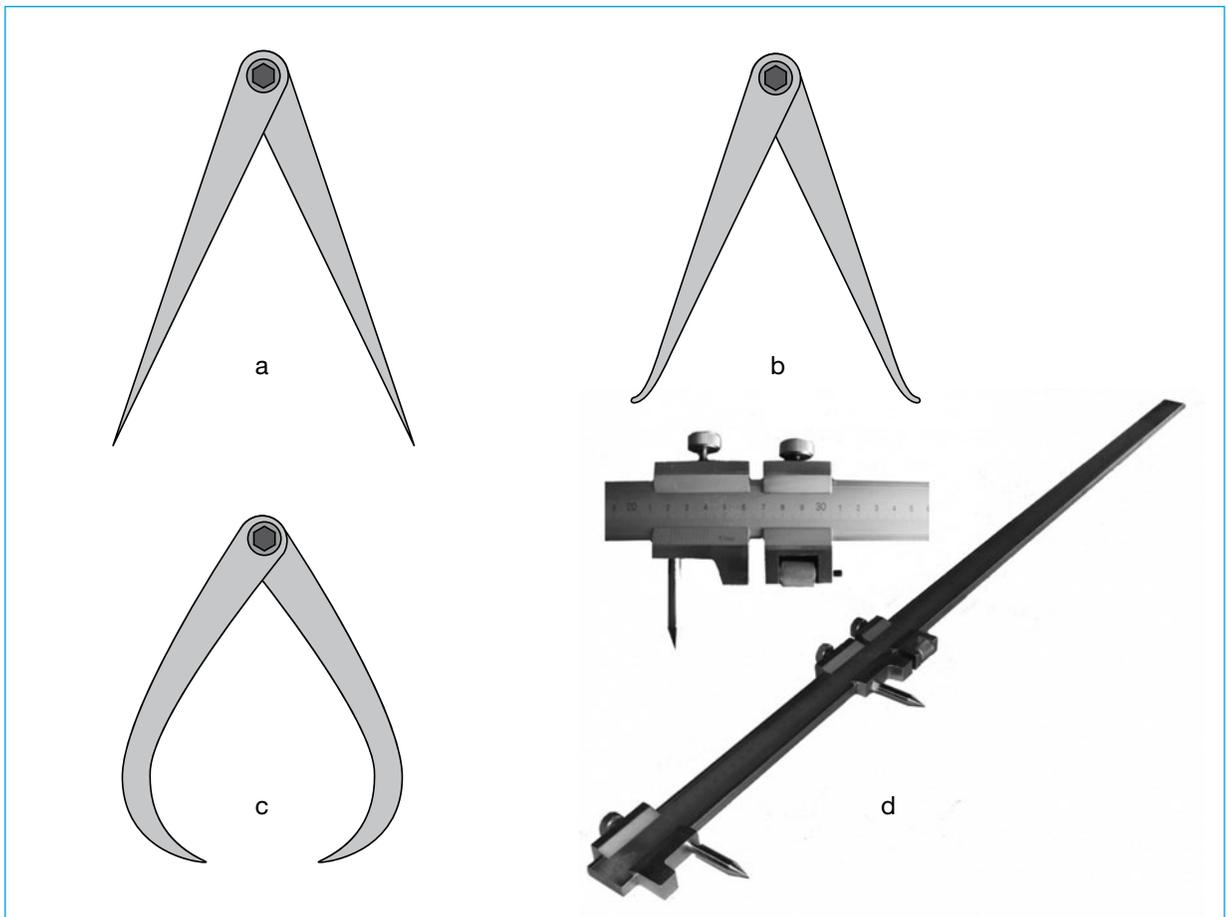


FIGURA 8. Compassi a) a punte, b) per interni, c) per esterni d) ad aste.

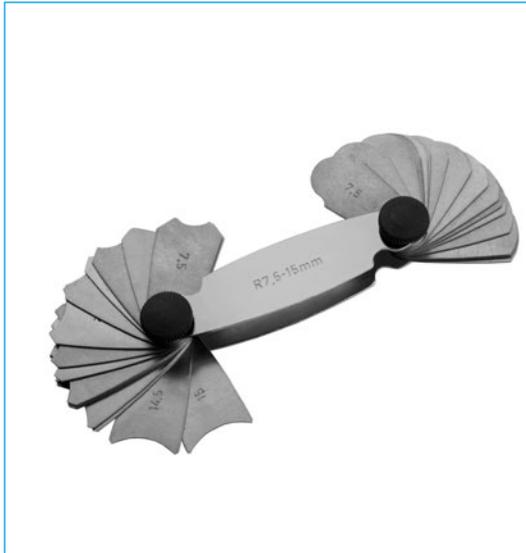


FIGURA 9. Calibro a raggio.



FIGURA 10. Squadre di controllo a 45° e 90°.

- **calibri a raggio** (FIGURA 9) per controllare con la tecnica del confronto i raccordi, le convessità e concavità dei pezzi;
- **squadre** (FIGURA 10) per il controllo angolare. Si trovano di diverso tipo e angolazione.

La verifica dello strumento si effettua con il sistema della fessurazione luminosa.

4 Strumenti con indici mobili o corsoi

- ▶ Questi strumenti e apparecchiature di misura servono a ottenere il **valore numerico** della dimensione lineare o angolare.

4.1 Strumenti a lettura diretta

Appartengono a questa categoria gli strumenti a lettura diretta su scala graduata e con indici mobili o corsoi:

- **calibro a corsoio con nonio** con suddivisione millimetrica (FIGURA 11) o con lettura digitale (FIGURA 12).

Nel **calibro decimale**, la scala graduata del *nonio* è divisa in 10 parti e ha una lunghezza di 9 mm. Quindi la distanza tra due trattini consecutivi sulla scala del nonio è pari a $9 : 10 = 0,9$ mm.

OSSERVAZIONE La **differenza tra le due graduazioni è 0,1 mm** (1 mm – 0,9 mm) ed è la *minima lunghezza che si può misurare* con il calibro decimale, ossia la *sensibilità* di questo strumento è di 0,1 mm.

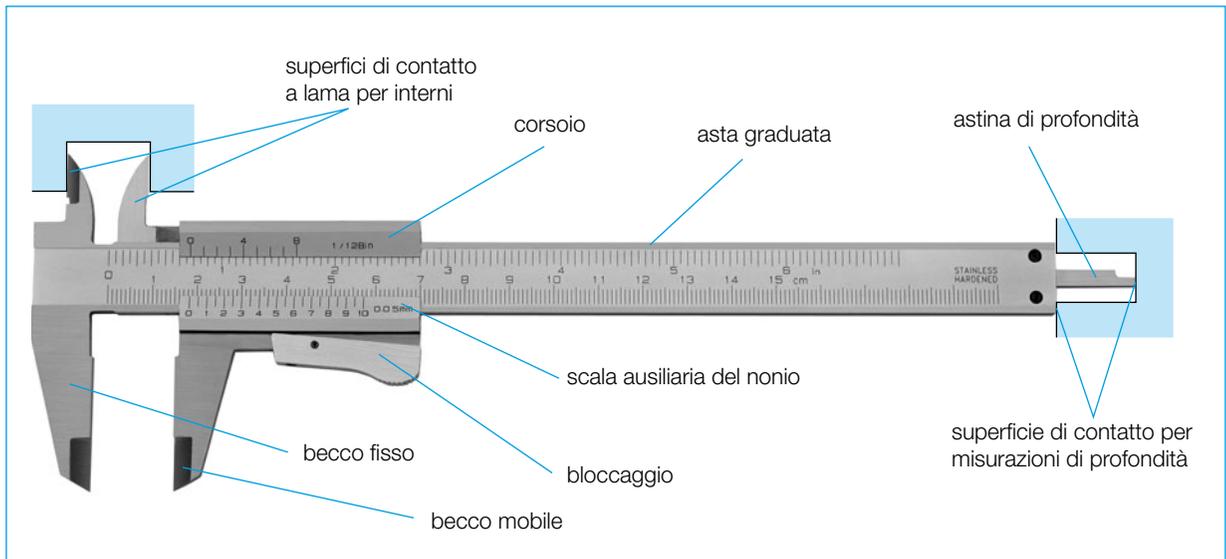


FIGURA 11. Calibro a corsoio a pressione.

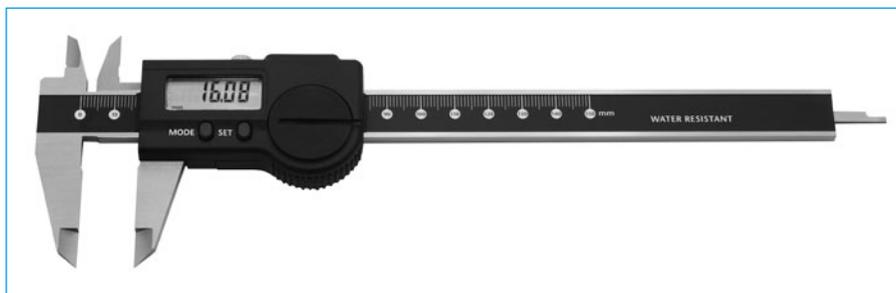


FIGURA 12. Calibro a corsoio digitale.

Nel **calibro ventesimale**, lo strumento più usato, la scala graduata del *nonio* è divisa in 20 parti e ha una lunghezza di 19 mm. Quindi la distanza tra due trattini consecutivi sulla scala del nonio è pari a $19 : 20 = 0,95$ mm e la sensibilità **0,05 mm**.

La lunghezza del nonio può essere raddoppiata (nonio doppio) per facilitare la lettura. Il nonio ventesimale doppio divide una lunghezza di 39 mm in 20 parti uguali. La distanza fra due trattini del nonio doppio vale $39 : 20 = 1,95$ mm. La sensibilità è sempre 0,05 mm;

- **micrometro** con tamburo e bussola suddivisi in mm e mezzi mm, sopra e sotto la «linea di fede» (FIGURE 13 e 14);



FIGURA 13. a) Micrometro per interni fisso, b) micrometro per interni ad asta

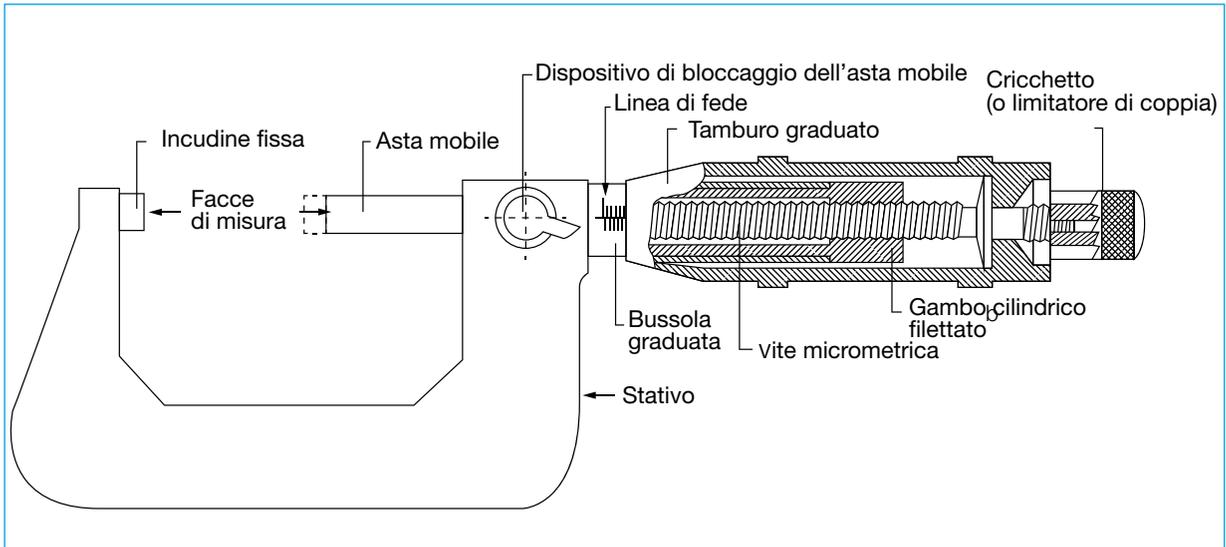


FIGURA 14. Spaccato di micrometro con tamburo e bussola.

- **goniometro:** (FIGURA 15) il più usato è il goniometro universale per misure angolari con nonio suddiviso in dodici divisioni di 5' su un arco di 23°; per cui l'approssimazione «a» è 5' di grado ($1^\circ : 12 = 60' : 12 = 5'$ di grado).

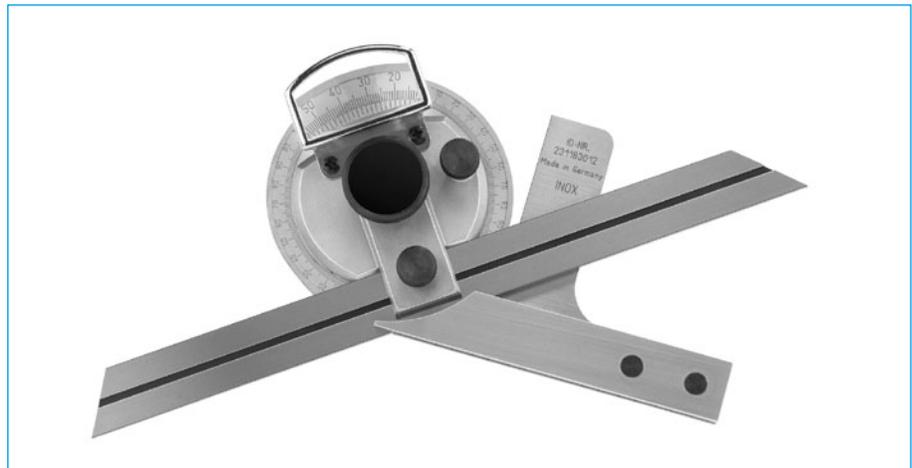


FIGURA 15. Goniometro.

Letture del calibro decimale

Nell'esempio di FIGURA 16a il calibro decimale indica la misura pari a 32 mm precisi, perché lo zero della scala del nonio coincide con 32 mm della scala fissa dell'asta graduata.

In FIGURA 16b la misura indicata dal calibro è 32,3. Infatti, lo zero del nonio supera di poco la tacca 32 mm della scala fissa. Il nonio consente la lettura della frazione di millimetro che non riusciamo a leggere sulla scala fissa. La divisione del nonio, che coincide con una delle scale fisse, è la terza e la lettura della frazione di millimetro è 0,3.

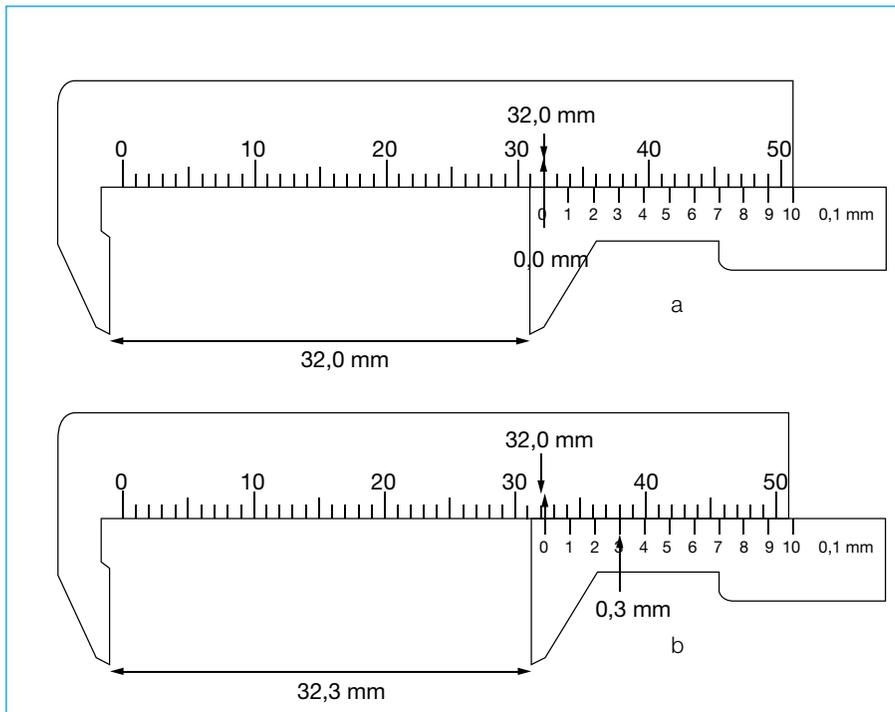


FIGURA 16. Esempi di misurazione con il calibro decimale.

OSSERVAZIONE I calibri sono usati per misurazioni di esterni, di interni e di profondità come mostrato in FIGURA 11.

Letture del micrometro

► Il micrometro non è altro che un calibro con vite micrometrica, visibile nel disegno schematico in FIGURA 13.

Il micrometro, detto anche Palmer, dal nome del suo ideatore, misura lunghezze con sensibilità di $0,01 \text{ mm} = 10 \mu\text{m}$, superiore a quella del calibro a corsoio ($\geq 50 \mu\text{m}$). Sono disponibili micrometri per esterni e per interni.

Micrometri per esterni

Quando l'incudine fissa e l'asta mobile sono a contatto, al ruotare del tamburo, l'asta, la vite ad essa solidale e il tamburo stesso arretrano, scoprendo via via la scala graduata fissa.

I millimetri e i mezzi millimetri si leggono sulla graduazione lineare fissa, incisa sulla bussola in corrispondenza dell'estremità del lembo conico del tamburo graduato.

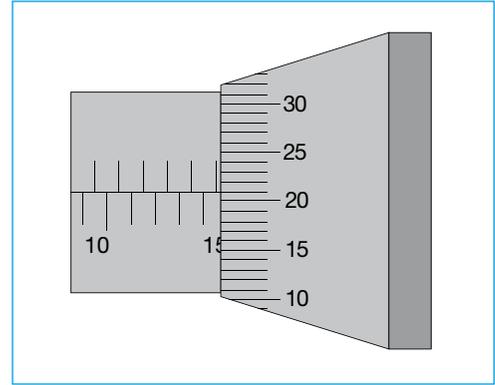
L'asta mobile si prolunga con la vite micrometrica di passo $0,5 \text{ mm}$ (o di 1 mm) solidale al tamburo, graduato in 50 (o 100 parti).

Il tamburo graduato è solidale all'asta di misurazione in modo che ruotando il tamburo, ruota anche l'asta che si avvicina o si allontana dall'incudine a seconda che il tamburo ruoti in senso destrorso o sinistrorso. L'asta cilindrica può quindi spostarsi, per ogni giro del tamburo, di una graduazione

AZZERAMENTO DI UNO STRUMENTO

È l'operazione mediante la quale, negli strumenti analogici, si fa coincidere esattamente l'indice con lo zero della scala graduata o mediante la quale si ristabilisce lo zero negli strumenti digitali.

FIGURA 17. Esempio di misurazione con il micrometro.



corrispondente al passo. Se il passo è 0,5 determina lo spostamento assiale di 0,05 mm dell'asta della vite. Se, invece, si ruota il tamburo di una graduazione, si ottiene lo spostamento dell'asta di $1/50 \cdot 0,5 \text{ mm} = 1/100 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$. La più piccola frazione misurabile con questo tipo di micrometro è dunque centesimale.

Nell'esempio di misurazione in FIGURA 17 la misura è:
14,71 = 14,50 mm sulla bussola graduata + 0,21 mm sul tamburo graduato.

► Il campo di misura del micrometro varia, in genere:
 da 0 a 100: di 25 in 25 mm (FIGURA 18);
 oltre 100 : di 50 in 50 mm (con l'incudine fissa registrabile).

Prima di effettuare la misurazione, è necessario controllare che:

- il tamburo non possa spostarsi - *anche minimamente* - secondo il suo asse a causa del gioco che esiste tra vite e madre vite;
- la lettura iniziale nei micrometri 0-25 (superfici di contatto combacianti) e 25-50 o maggiori (apposito blocchetto di riscontro) sia rispettivamente 0,00 e 25,00;
- le scale fisse e mobili siano uniformi;
- il cricchetto scatti senza esercitare uno sforzo eccessivo.

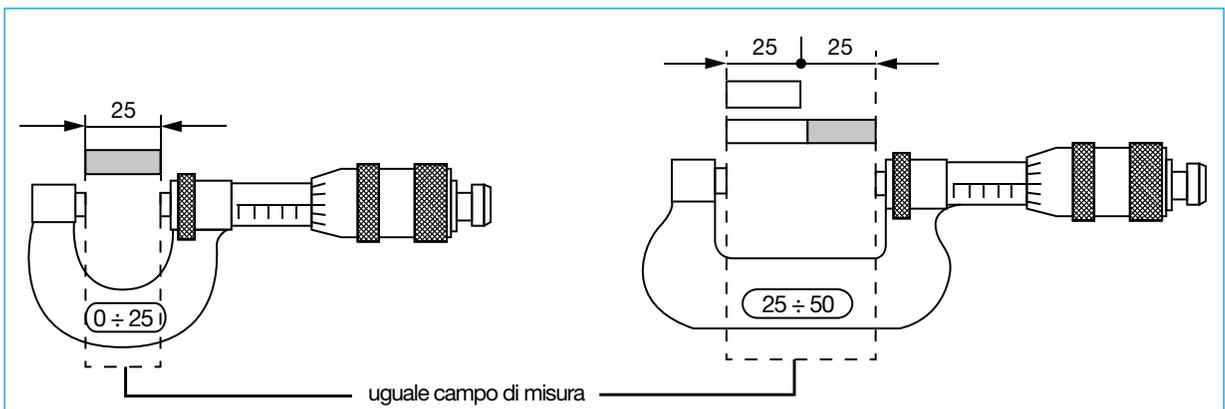


FIGURA 18. Micrometri con portata diversa, ma uguale campo di misura.



FIGURA 19. Micrometro digitale per interni.

Micrometri per interni

- Possono essere ad aste combinabili o espansibili (FIGURA 19).
- Sono disponibili diversi tipi a seconda delle dimensioni dei fori da controllare.
- La sequenza dei calibri per interni è la seguente: 5-50; 50-75; 75-100 mm.
- La lettura è analoga a quella dei micrometri per esterni.

Uso

Per essere sicuri di aver posizionato bene il micrometro nella cavità, si ruota lentamente per allungarlo fino a che non si raggiunge la dimensione della cavità stessa e poi si oscilla leggermente.

Prima di estrarlo occorre riaccorciarlo per non sfregare i piani di contatto contro le pareti della cavità, ma non si può tenere a lungo in mano il micrometro per non riscaldarlo e falsificare le misure. Onde evitare errori di posizionamento dello strumento, si deve oscillare lo strumento in una direzione e poi in quella opposta, ma è consigliabile usarlo solo per cavità grandi o solo per accertarsi se il foro è circolare oppure ovale.

Verifica dello strumento

Si effettua mediante micrometro per esterni. A sua volta questo viene controllato con misura campione (FIGURA 20).

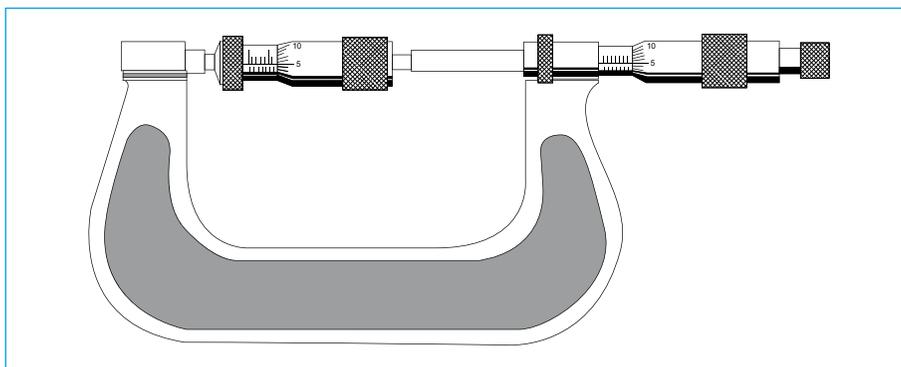


FIGURA 20. Verifica dello strumento.



FIGURA 21. Misurazione piccolo foro con micrometro a tre punti di contatto autocentranti.



FIGURA 22. Micrometro a tre punti, autocentrante, con impugnatura a pistola.

Micrometro autocentrante per interni

Per misure più precise e sicure, si usano micrometri a tre punti autocentranti, come quelli delle FIGURE 21 e 22, dove si vede la testina mentre sta per essere inserita nella cavità.

I punti di contatto sono in metallo duro o in zircono ceramico. Data la facilità e rapidità della misurazione, questo strumento (FIGURA 22) viene usato specialmente nel collaudo di lotti numerosi.

4.2 Strumenti di paragone

In questa categoria sono raccolti gli strumenti di paragone che misurano eventuali differenze lineari del pezzo in confronto con la dimensione del campione di riscontro.

Questi strumenti **necessitano di un campione per l'azzeramento**:

- **comparatori** ad amplificazione meccanica, ottica, pneumatica ed elettrica per la misurazione degli scartamenti di forma e degli alesaggi (*alesametro*). Nella FIGURA 23 un comparatore con due lancette: quella corta indica i millimetri, quella lunga i centesimi di mm.

OSSERVAZIONE Sono disponibili comparatori centesimali, ma anche millesimali ed ultramillesimale.

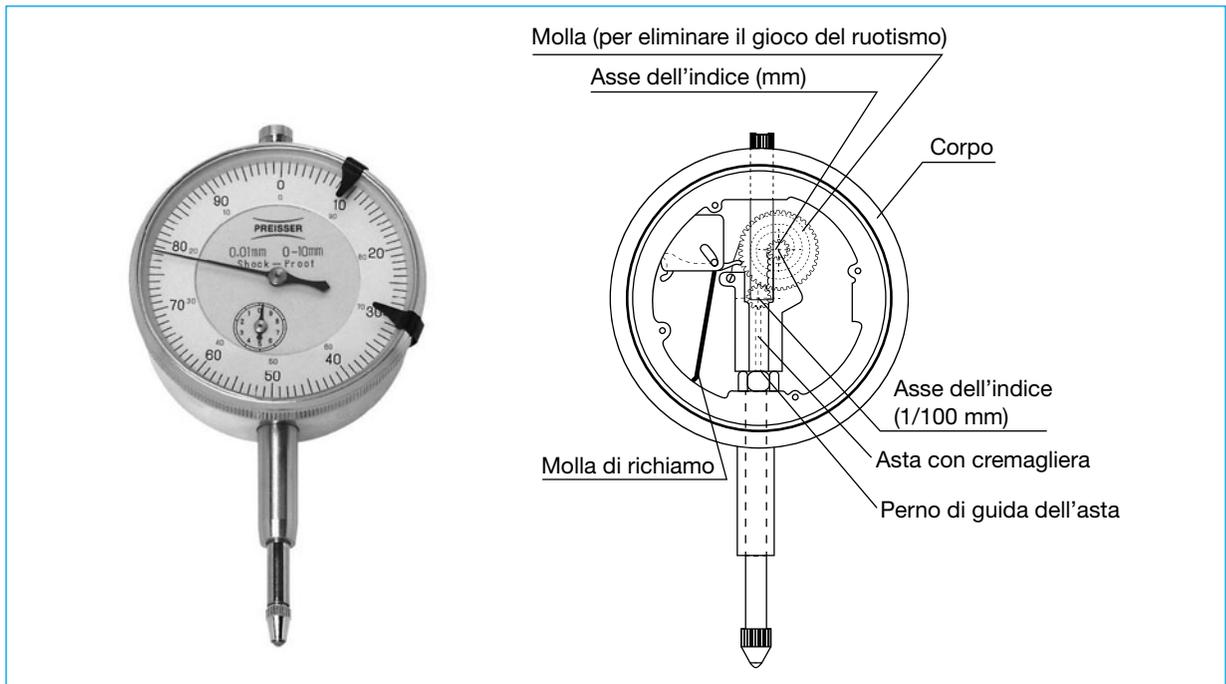


FIGURA 23. Comparatore centesimale.

Consentono il confronto tra una dimensione stabilita e quella dei pezzi che si devono controllare. Nel comparatore si leggono quindi le variazioni in più o in meno di una dimensione reale rispetto a quella stabilita dal disegno o da un campione. Se queste variazioni sono comprese nei limiti di tolleranza la dimensione controllata è accettabile, in caso contrario si ha scarto. Nei comparatori più comuni *a orologio*, sull'asta, sulla quale è tagliata una dentiera (FIGURA 23) con un'estremità a sfera come elemento di contatto, si sposta secondo il suo asse e mette in moto un ruotismo che ingrana con la dentiera stessa. Il moto del ruotismo mette in governa due lancette, una piccola ed una grande. Mentre l'asta si sposta di un millimetro, la lancetta minore ruota di una divisione del suo quadrante, che è graduato in millimetri. E quella maggiore compie un giro.

Il quadrante su cui ruota la lancetta maggiore è diviso in cento parti, quindi una divisione vale 1/100 di mm.

Per effetto di una molla, i denti delle ruote del ruotismo sono sempre in presa: in tal modo si eliminano i giochi. La scala dei *centesimi* è girevole e consente di portare lo zero in corrispondenza della posizione iniziale assunta dall'indice nell'impostazione della misura campione.

Il comparatore viene usato:

- nella verifica di impostazione di pezzi, di planarità, di parallelismo (rispetto a un piano di riferimento) e di eccentricità (rispetto a un asse);
- nella misurazione per determinare, per confronto finale, differenze rispetto a una dimensione data;

FIGURA 24. Comparatore centesimale montato su supporto con base magnetica.



- **apparecchi di misurazione** ad amplificazione ottica, pneumatica ed elettrica.

Gli strumenti di misura di tipo ottico, come i microscopi di officina (FIGURA 25) ed i proiettori di profili (FIGURA 26), permettono ingrandimenti del pezzo da controllare e danno la possibilità di eseguire misurazioni anche su particolari complicati e di difficile realizzazione;



FIGURA 25. Microscopio d'officina.

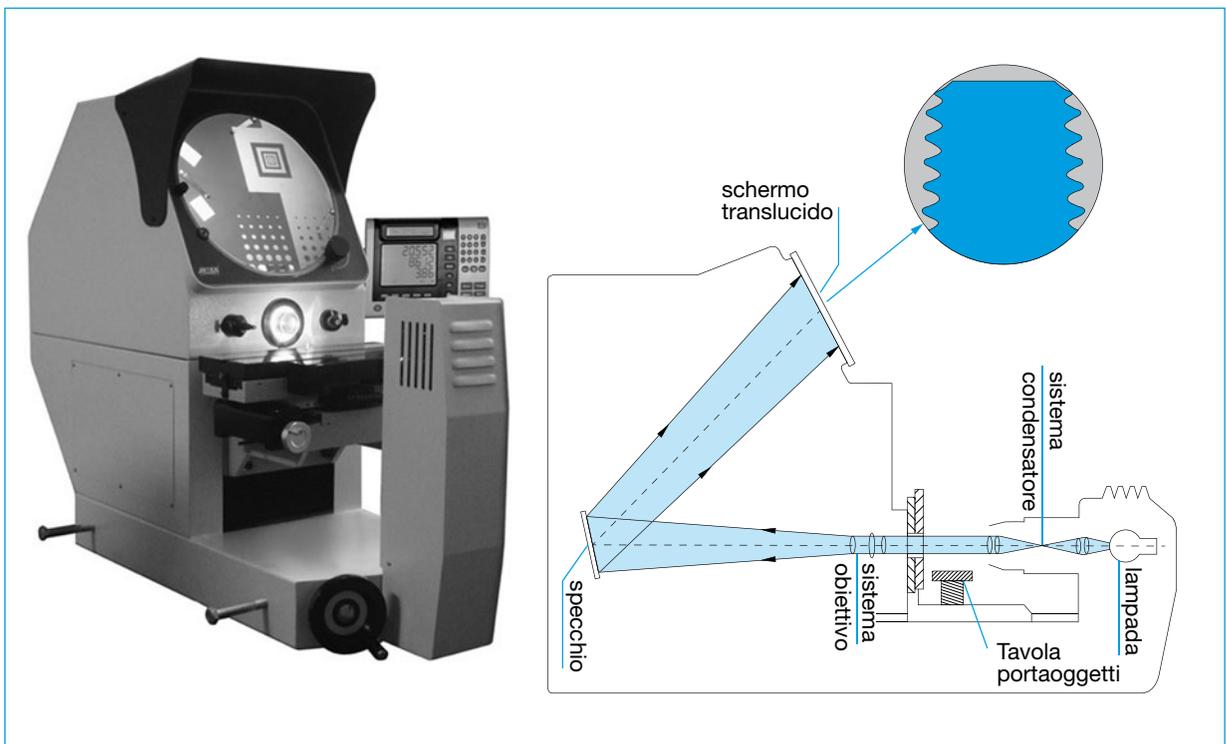


FIGURA 26. Proiettore di profilo e schema di funzionamento.



FIGURA 27. Macchina di misura a coordinate.

- **macchine di misura** (CMM, Coordinate Measuring Machines).

Questi apparecchi ad alta precisione (dell'ordine del micron) si servono di sensori o tastatori che ricostruiscono rapidamente la geometria di pezzi di forma anche molto complessa rilevando le coordinate dei punti della superficie da misurare (FIGURA 27).

Sono macchine di misura e tracciatura tridimensionali a struttura a portale aperta a colonna verticale e braccio orizzontale estrusi a caldo in acciaio con piste di scorrimento (due per lato) cromate. La lavorazione delle guide di scorrimento è eseguita in modo da compensare la flessione dovuta al peso proprio. Il corsoio è costruito in lega leggera con nervature di irrigidimento opportunamente disposte onde annullare il più possibile le flessioni. La testa di lavoro è in acciaio temprato provvista di foro con attacchi per punte di tracciatura o tastatori per la misurazione. Le macchine a CNC sono estremamente manovrabili ed equipaggiate con trasduttori ad alta risoluzione e programmi di misura anche su pezzi di notevole complessità.

4.3 Strumenti a lettura indiretta

Si basano sulla lettura di un'altra grandezza fisica grazie all'uso di strumenti intermedi come, per esempio, il compasso, le spine calibrate per fori ecc., o di calcoli matematici come per esempio la misura della densità ρ , elaborandola dai dati archiviati sulla massa m e sul volume V ($\rho = m/V$).

FIGURA 28. Il disco di vetro mostra che la superficie in esame è concava.



Dal numero di frange interferenziali dei blocchetti di vetro pianparalleli si può controllare la planarità e il parallelismo (FIGURA 28), perpendicolarità e rettilinearità, e il posizionamento di organi mobili, come nel caso delle macchine utensili.

Questa tecnica è usata per verifiche ad altissima precisione. Ad esempio, l'errore massimo di planarità è di solo $0,1 \mu\text{m}$.

5 Unità di misura lineari e angolari

L'unità di base della lunghezza è il **metro** = lunghezza del tragitto della luce nel vuoto percorso in $1/299\,792\,458$ -esimo di secondo.

L'unità angolare è il **grado**. Un grado è la 360-esima parte del cerchio. Il grado si divide in 60 primi [$'$], ciascuno di 60 secondi [$''$].

6 Requisiti degli strumenti di misura

I requisiti degli strumenti di misura sono:

- precisione
- portata
- campo di misura
- amplificazione
- approssimazione
- prontezza

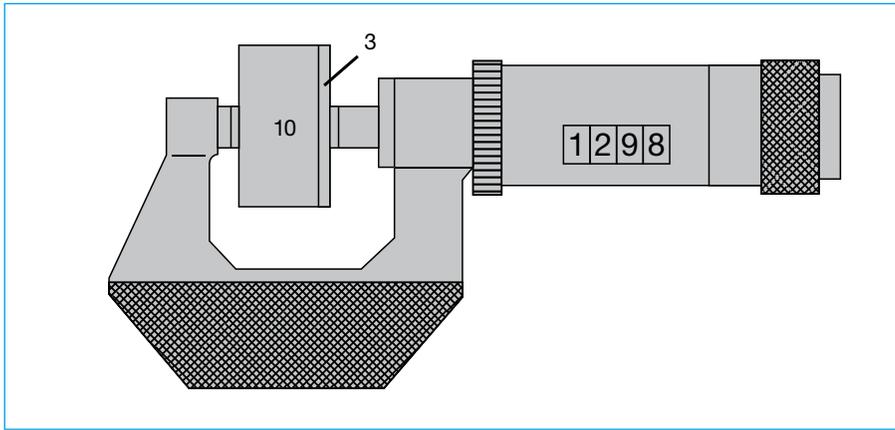


FIGURA 29. Deviazione dello strumento.

Precisione, deviazione dello strumento o accuratezza della misura

Nell'esempio in FIGURA 29, il valore «vero» di riscontro (assunto come riferimento) è 13,00 mm, mentre quello «effettivo» misurato è 12,98 mm.

La precisione o deviazione (dello strumento) = valore effettivo – valore vero = -0,02 mm è la differenza tra il valore dato dallo strumento e il valore vero della grandezza misurata.

Valore «vero» = 13,00 mm (nominale e di riscontro) del blocchetto.

Valore «effettivo» = 12,98 mm (misurato dallo strumento) ossia letto.

Rappresentazione di una misura

Oggi la misura viene rappresentata da una «fascia di valori», definita da un **elemento centrale** e dall'**incertezza** (= intorno simmetrico di valori compresi nella fascia).

Esempio: la misura del diametro di una barra cilindrica è **38,5 ± 0,1 mm**. Significa che i valori rilevati sistematicamente, con ripetute misurazioni, sono compresi nella fascia tra 38,4 e 38,6 mm. Questa misura o «informazione» ha senso solo se è *compatibile con la precisione richiesta* per quel determinato prodotto e se l'**incertezza** data per la lavorazione del pezzo (per esempio, del ± 0,1) è compatibile con il livello di qualità richiesto o se è accettabile per il previsto funzionamento del pezzo, altrimenti è un costo aggiuntivo inutile.

OSSERVAZIONE Tanto più alto è il livello di qualità, tanto più alta deve essere la «classe di precisione» dello strumento impiegato e severo l'ambito in cui si effettuano le misurazioni (fino a lavorazioni e controlli in camere termostatiche, per esempio per la fabbricazione dei blocchetti pianparalleli).

Si riduce l'**incertezza di misura** solo di tanto quanto necessario, in base al funzionamento previsto o espressamente richiesto dal cliente, ossia tramite il grado di tolleranza riportato sul disegno.

In altre parole, la scelta della «classe» dello strumento – come è già stato preliminarmente chiarito – è fatta in base al **grado di precisione richiesto**.

Il **valore medio** è il valore più vicino al valore reale del pezzo, se non ci sono fattori esterni o sistematici che alterano le nostre misure, come per esempio una scarsa *accuratezza* della misura o dello stesso strumento usato.

► La teoria degli errori definisce il valore della «deviazione» ovvero la differenza tra la misura accertata e quella vera (nominale).

Il **valore vero** è un valore *convenzionale*, dato che nessun valore può essere perfettamente noto.

Il valore vero, pur essendo convenzionale, è un valore assunto come **riferimento** in quanto dedotto da misure effettuate con strumenti con *classe di precisione* molto maggiore e i cui valori misurati con ripetute misurazioni si discostano molto poco fra loro. Ad esempio, non assumeremo mai come valore vero della lunghezza di un oggetto, il valore medio misurato con una riga metrica che ha fornito le misure: 10,3; 10,8; 11; 9,9. Al contrario assumiamo il valore medio della stessa grandezza, misurato con un calibro che ha fornito quest'altro set di misure : 10,3; 10,2; 10,1; 10,2. La precisione è quindi oggettiva, non soggettiva.

Portata

► La portata, o *fondo scala*, è la **massima misurazione possibile** con lo strumento impiegato, scelto in base alle dimensioni del pezzo.

Con una riga di un metro non si potranno effettuare misure più lunghe di un metro. Maggiori sono le dimensioni del pezzo, più grande deve essere lo strumento per poterlo misurare. I micrometri possono avere portata da 25 a 1500 mm. Come abbiamo visto nella FIGURA 18 la portata è diversa a seconda che si scelga il micrometro **a** o **b**.

FIGURA 18.a: portata max 25 mm (per misure di pezzi grandi fino a 25 mm).

FIGURA 18.b: portata max = 50 mm (per misure di pezzi più grandi, oltre i 25 mm).

Campo di misura

► Il campo di misura può essere *uguale* o *più ristretto* rispetto all'ampiezza massima raggiungibile, per esempio tra l'incudine e l'asta mobile di un micrometro o tra i becchi di un calibro a corsoio, cioè *rispetto alla portata dello strumento*.

Si definisce come il campo di valori di misura limite che lo strumento è in grado di rilevare con la precisione richiesta.

Come si vede in FIGURA 18, il campo di misura di micrometri differenti (con differente ampiezza della staffa ad arco e portata) è sempre limitato a 25 mm, cioè la differenza tra la misura massima e la misura minima è sempre la stessa.

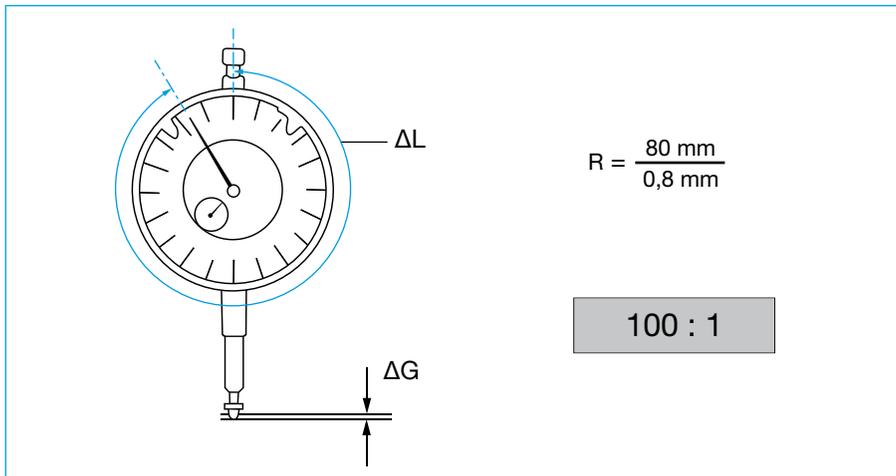


FIGURA 30. Controllo con comparatore.

Amplificazione o «sensibilità dello strumento»

La sensibilità dello strumento, ossia il *limite inferiore apprezzabile del campo di misura dello strumento*, dipende dal tipo di amplificazione (meccanica, pneumatica, elettrica). Per esempio, se l'indice di un comparatore compie un giro completo sul quadrante in rapporto a 1 mm di spostamento del tastatore, l'*amplificazione* o «sensibilità» (FIGURA 30) è:

$$A = \Delta l / \Delta G = \frac{100 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = [100 : 1]$$

Quindi l'indice indicherà per esempio 80 mm per uno spostamento del tastatore di 0,8 mm. Infatti:

$$A = \frac{80 \text{ mm}}{0,8 \text{ mm}} = [100 : 1]$$

è il rapporto tra lo spostamento ($\Delta l = 80 \text{ mm}$) dell'indice dello strumento e il corrispondente incremento ($\Delta G = 0,8 \text{ mm}$) della grandezza da misurare.

OSSERVAZIONE Quando lo strumento è molto sensibile, una piccola variazione della grandezza da misurare provoca un grande scostamento dell'indice (es. bilancia, comparatore a quadrante).

Se uno strumento ci fornisce la sua risposta con più cifre **significative** rispetto a un altro, questo vuole dire che quello con più cifre ha una capacità maggiore di registrare piccole variazioni della grandezza in misura: ha una maggiore sensibilità.

In generale la sensibilità è data in divisioni/grandezza. Per esempio, in un orologio 1 div/min., oppure 1 div/s.

D'altra parte, all'aumentare della **sensibilità** (più cifre **significative**) difficilmente i risultati di misure ripetute coincideranno. Se un orologio segna solo le ore, anche più misurazioni daranno lo stesso risultato, ma se leggiamo anche i minuti, saranno molto diversi e le misure saranno ancora più

diverse se leggiamo i secondi. Andrà ancora peggio se lo strumento segnerà anche i decimi e i centesimi.

Approssimazione dello strumento

► Con «*approssimazione*» e «*risoluzione*» di uno strumento, si intende la più piccola frazione di una grandezza che è possibile **misurare** con lo strumento.

Per esempio, l'approssimazione di una riga suddivisa in mezzi millimetri è di 0,5 mm (FIGURA 31). Un goniometro diviso in gradi, ha l'approssimazione di 1°, la più piccola frazione di 360°.

La lunghezza più piccola che il **calibro ventesimale** può apprezzare è 1/20 di mm = 0,05 mm (FIGURA 32).

La misura in figura è sicuramente maggiore di 25,10 e minore di 25,20. Ossia $X = 25,15 (\pm 0,05)$.

Infatti, il nonio è suddiviso da trattini in 20 parti di 0,95 mm, mentre l'asta è suddivisa in spazi di 1 mm. Se si fa scorrere il corsoio fino a far coincidere il primo tratto del nonio con il primo della scala fissa, l'apertura del calibro sarà di 0.05 mm.

Infatti si avrà:

$$(1 \text{ mm} - 19/20) = (20/20 - 19/20) = 1/20 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}$$

e nel calibro ventesimale a nonio doppio si avrà:

$$(2 \text{ mm} - 39/20) = (40/20 - 39/20) = 1/20 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}.$$

L'**incertezza** del calibro **ventesimale** è dunque:

$$a = 1 - 0,95 = 0,05 \text{ mm}$$

$$a = \pm 50 \mu\text{m}$$

Nel **micrometro centesimale** (FIGURA 33), dove i mm e i mezzi mm si leggono sulla graduazione dell'asta in corrispondenza dell'estremità del bordo conico del tamburo graduato e i centesimi di mm si leggono sul tamburo graduato in corrispondenza

FIGURA 31. Approssimazione di una riga graduata.

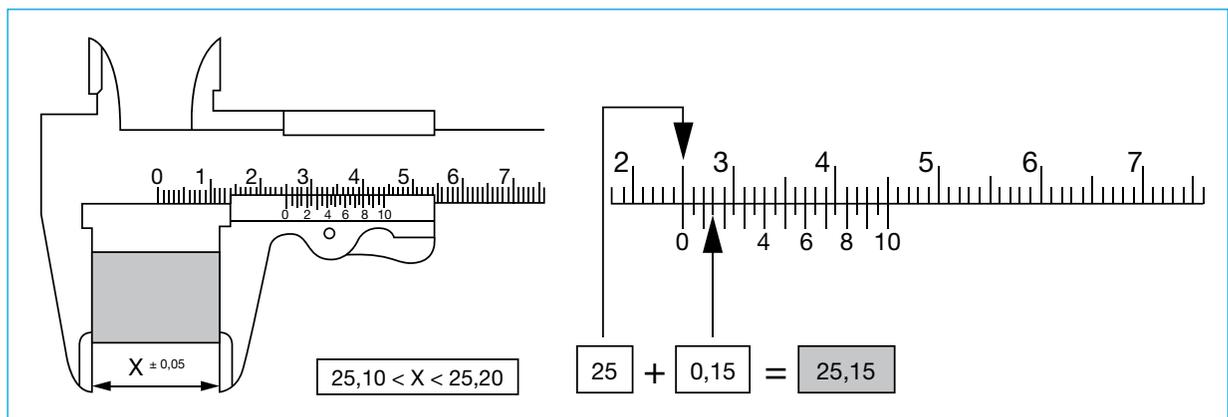
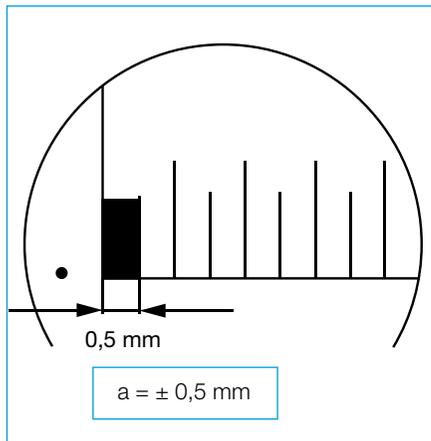


FIGURA 32. Misura ed approssimazione di un calibro ventesimale.

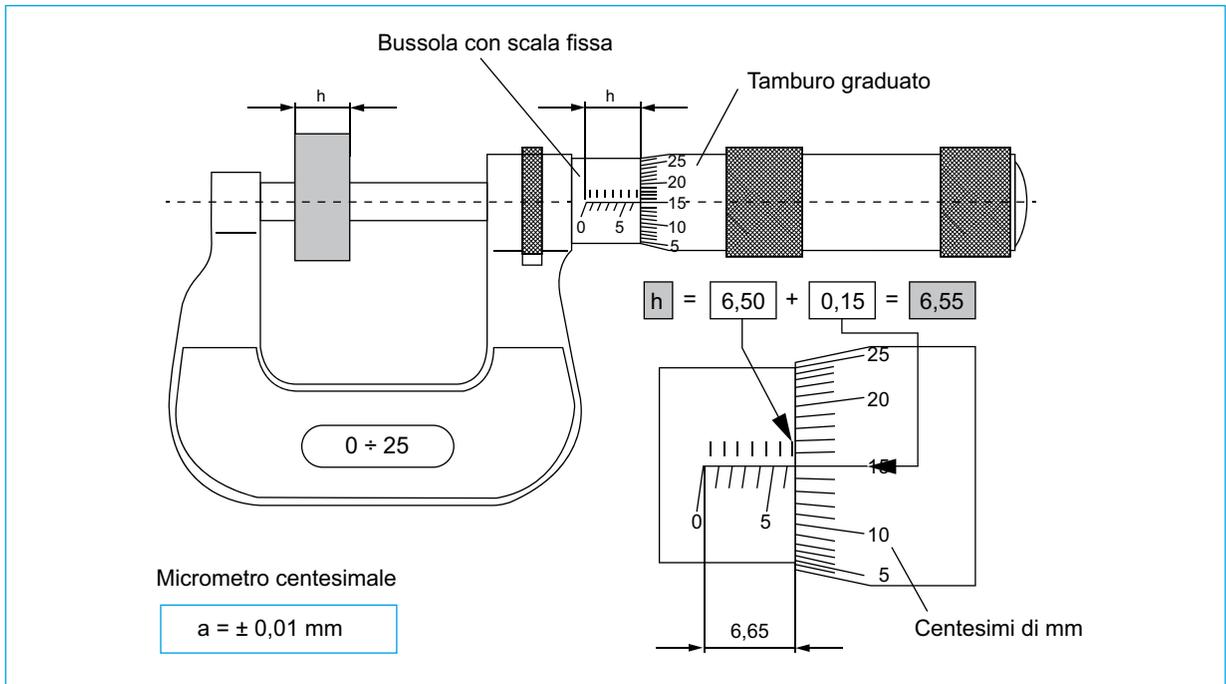


FIGURA 33. Misurazione con il micrometro centesimale.

della linea di fede, il valore numerico (6,50) va sommato alla misura (0,15) del tamburo e si ha la quota 6,65 mm.

Per un micrometro **centesimale** (o un comparatore centesimale):

$$a = \pm 10 \mu\text{m}$$

per un comparatore **millesimale**:

$$a = \pm 1 \mu\text{m}$$

Prontezza

Se, per esempio, si immerge un termometro a mercurio in un liquido a 80°C, necessita di un certo tempo prima che il mercurio salga lungo la scala della colonnina e arrivi al valore corrispondente a 80 °C.

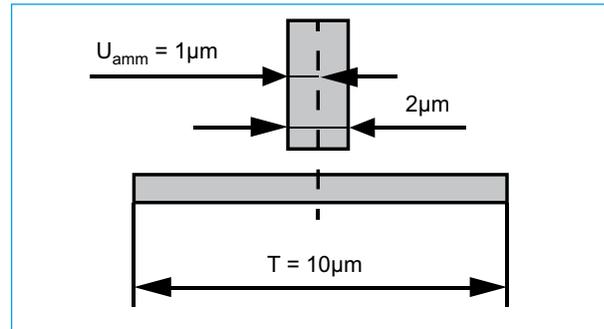
- La prontezza è la rapidità di risposta che lo strumento può dare per raggiungere la posizione definitiva di equilibrio dell'indice.

OSSERVAZIONE Questa caratteristica è molto importante per esempio per il controllo delle macchine utensili a CNC.

7 Errori di misura e incertezza ammissibile

Abbiamo visto che per la scelta dello strumento di misura da impiegare, oltre a considerare la tolleranza dimensionale da misurare, bisogna con-

FIGURA 34. Misurazione con il micrometro centesimale.



siderare le dimensioni del pezzo e la sua forma, il campo di misura dello strumento, la sua capacità di risoluzione e, di conseguenza, la sua approssimazione in base al grado di precisione richiesto.

Per il fatto che gli errori di misura sono inevitabili, i risultati di operazioni di misura contengono sempre un margine di dubbio, un'incertezza più o meno grande.

Di solito, l'**incertezza ammissibile** di misura dello strumento deve essere al massimo pari a **1/10 del valore della tolleranza**. Se, per esempio, il campo di tolleranza è $T = 10\mu m$ (= differenza tra dimensione massima e minima consentite), l'incertezza ammissibile dello strumento di misura dovrà essere:

$$U_{amm} = 1/10 \text{ di } T = 1\mu m \text{ (FIGURA 34)}$$

La misurazione è comunque soggetta a deviazioni o errori, che possono essere sia sistematici sia accidentali, ma che devono essere compatibili con il livello di qualità richiesto.

8 Teoria degli errori: casuali e sistematici

► Le incertezze sperimentali che possono essere rivelate ripetendo delle misure sono dovute a errori **casuali**. Quelle che non possono essere rivelate in questo modo sono chiamate errori **sistematici**. Per illustrare questa distinzione, consideriamo alcuni esempi.

Supponiamo, in primo luogo di misurare il periodo di rotazione del piatto di un giradischi che ruota in modo stazionario. Una sorgente di errore sarà il nostro tempo di reazione nel far partire e nel fermare il cronometro. Se il nostro tempo di reazione fosse sempre esattamente lo stesso, questi due ritardi si cancellerebbero l'un l'altro. In pratica, comunque, il nostro tempo di reazione varierà. Possiamo ritardare di più nel far partire il cronometro, e così sottostimiamo il tempo di una rotazione; o possiamo ritardare di più nel fermarlo, e così sovrastimare il tempo.

Dal momento che ciascuna possibilità è ugualmente probabile, il valore e il segno dell'effetto è puramente «**casuale**». Se ripetiamo la misura parecchie volte, alcune volte sovrastimeremo e alcune volte sottostimeremo.

Così, il nostro tempo di reazione variabile si manifesterà come una variazione dei risultati trovati. Analizzando lo sparpagliamento dei risultati *statisticamente*, possiamo ottenere una stima molto realistica di questo genere di errore.

D'altra parte, se il nostro cronometro marcia costantemente lento, allora tutti i nostri tempi saranno sottostimati, e la ripetizione delle misure (con lo stesso cronometro) non rivelerà questa sorgente di errore.

Questo genere di errore è chiamato «**sistematico**», perché spinge i nostri risultati sempre nella stessa direzione. (Se il cronometro marcia lentamente, noi sottostimiamo sempre; se il cronometro marcia rapidamente, noi sovrastimiamo sempre).

Come secondo esempio di errori casuali e sistematici, supponiamo di dover misurare qualche lunghezza ben definita con un righello. Una sorgente di incertezza sarà la necessità di interpolare tra le tacche della scala e questa incertezza sarà probabilmente **casuale**. (Quando si interpola, abbiamo verosimilmente la stessa probabilità di sovrastimare come di sottostimare). Ma c'è anche la possibilità che il nostro righello si sia deformato; e questa sorgente di incertezza sia **sistematica**. (Se il righello si è allungato, noi sottostimiamo sempre; se si è accorciato, noi sovrastimiamo sempre).

9 Gli errori di misura e loro cause

Possiamo distinguere gli errori accidentali e sistematici secondo le cause che li generano (TABELLA 2).

SISTEMATICHE	ACCIDENTALI
<ul style="list-style-type: none"> usura dello strumento di misura differenze dalle temperatura di riferimento (+20°C) deformazioni della forza di misura errori della scala e di regolazione dello strumento disposizione sbagliata dello strumento misurazione effettuata non dalla stessa parte 	<ul style="list-style-type: none"> bave, sporcizia, attrito errori di lettura di posizionamento dello strumento campo elettrico o magnetico di deriva o oscillazione per errori provocati non sempre dalla stessa causa

TABELLA 2. Cause e tipi di deviazioni.

Deviazioni dovute all'ambiente

Possono essere:

- accidentali** (dette anche errori **casuali**), in quanto si verificano quando mutano accidentalmente le condizioni ambientali (temperatura, umidità, polveri, vibrazioni casuali ecc.) durante la misurazione;

- o **sistematiche**, per misurazioni effettuate in condizioni diverse, per differenza di temperatura tra lo strumento ed il pezzo più caldo per la lavorazione subita, per differente dilatazione termica, pur alla stessa temperatura del pezzo e dello strumento ecc.

Le deviazioni sistematiche dovute all'ambiente sono eliminabili soltanto modificando le condizioni ambientali e riportandole a quelle normali, e in assenza di disturbi, oppure, se non è possibile, tenendo conto nei risultati delle variazioni quantitative e cambiandole di segno, quando occorre.

Una scarsa pulizia, ossidazioni o usura sono causa di deviazioni sistematiche, mentre una temporanea variazione di un campo elettrico, per esempio, è causa di deviazioni accidentali.

OSSERVAZIONE Anche un eccesso di umidità o di pulviscolo o di illuminazione possono causare deviazioni sistematiche o, se disturbi temporanei, deviazioni accidentali dovuti all'ambiente.

Deviazioni dovute all'operatore

Si tratta di deviazioni «**accidentali**», rilevabili ripetendo le misure, e possono essere causate:

- per difetto di *posizionamento* o *di manovra*. Sono dovuti all'operatore che, accidentalmente, ha posizionato male lo strumento rispetto al pezzo o lo ha trattenuto in modo non corretto durante la misurazione;
- per difetto di *parallasse*. In certi strumenti l'indice è distanziato dalla scala graduata. In questo caso sono possibili errori di lettura se la visuale dell'operatore non è sempre perpendicolare alla scala;
- per deviazioni di *deriva*, quando la misurazione dura troppo a lungo o è ripresa dopo un'interruzione, l'indice può tendere lentamente a spostarsi;
- per errore di letture o di *interpolazione*, per es., tra le tacche di un righello.

Deviazioni dovute allo strumento

Si tratta di deviazioni «**sistematiche**», di solito sono sempre dello stesso segno e possono essere causate:

- per la rigidità dello strumento rispetto alla deformabilità elastica del pezzo, o viceversa, sotto la reciproca pressione di contatto durante la misurazione;
- per difetto di divisione della scala graduata o, per esempio, del passo di filettatura della vite di un micrometro;
- per scarsa affidabilità dello strumento (per esempio per i giochi tra i vari organi e ingranaggi); in questo caso si parla di *non ripetibilità dello strumento*.

OSSERVAZIONE Errori dovuti a misurazioni effettuate non dalla stessa parte o per disposizione sbagliata dello strumento sono, di solito, di tipo «sistematico».

10 Risultato delle misurazioni

Tenendo conto delle deviazioni sistematiche e accidentali, il risultato delle misurazioni è espresso da:

$$R = M_m + K \pm i$$

$M_m = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_n}{n}$ è il valore medio, scelto come il valore più vicino al vero tra le n misure, in modo da ridurre gli errori accidentali.

K è il valore della deviazione «sistematica» che, nelle stesse condizioni di misurazione, ha sempre la stessa entità e lo stesso segno. Questa deviazione invalida il valore della misura. È quindi necessario tenerne conto per eliminarla, riefettuando le misurazioni nelle condizioni prescritte o cambiandola di segno.

i è l'incertezza di misura per le cause accidentali che abbiamo visto (inaffidabilità di contatto, forma o posizione sfavorevole della grandezza da misurare, difficoltà di lettura ecc.) e che rendono il valore della misura poco sicuro. La deviazione ammissibile è, comunque, dell'ordine di grandezza della frazione più piccola apprezzabile con lo strumento impiegato.

11 Scarto quadratico medio o deviazione standard

► La **deviazione standard** o **scarto tipo** o **scarto quadratico medio** è un indice di dispersione delle misure sperimentali e quindi degli errori casuali.

Se si effettuano n misurazioni, lo scarto sarà:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Lo scarto rappresenta: *di quanto le misure si discostano dal valore medio.*

Più precisamente rappresenta:

la *media quadratica degli scostamenti* (casuali delle n misure x_i) dal loro **valore medio** \bar{x} , o anche: la *media della dispersione dei valori rilevati rispetto ad \bar{x}* , dove:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Pertanto il risultato delle misure sarà, anche se scritto con una diversa simbologia, analogo alla formulazione del precedente paragrafo, a meno del valore dovuto ad una deviazione sistematica:

$$x = \bar{x} \pm s$$

Lo scarto può quindi essere indicativo delle incertezze delle misure rilevate.

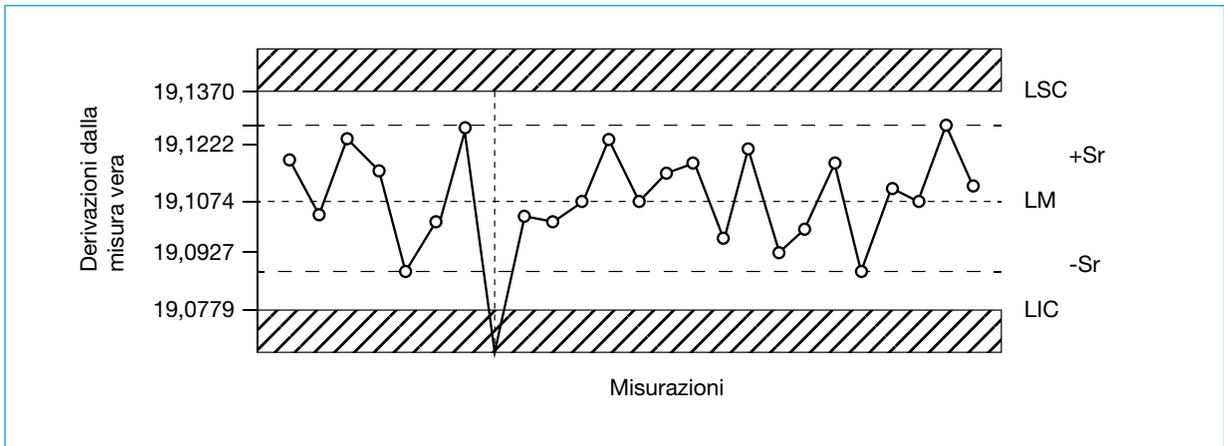


FIGURA 35. Carta di controllo.

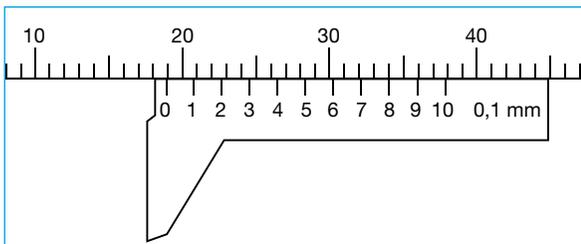
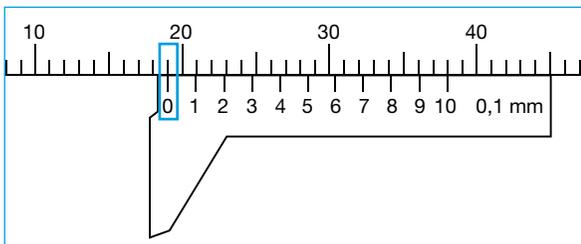
Il diagramma in FIGURA 35 riporta lungo le ascisse i risultati x_i delle n misurazioni eseguite durante un processo di lavorazione, per esempio, con un comparatore e in ordinata gli scarti s_i rispetto alla linea. Le misure che cadono nelle fasce superiori e inferiori sono fuori dei limiti accettabili.

La *linea centrale (Central Line) o linea media (LM)* rappresenta il valore dovuto o di riferimento.

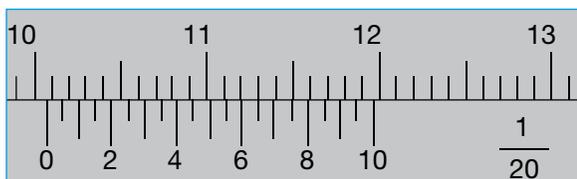
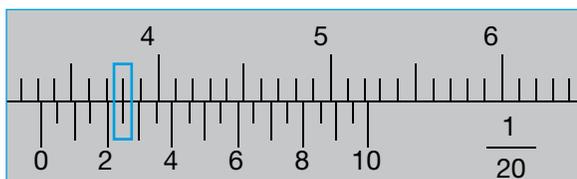
L'obiettivo è quello di controllare se il processo di produzione è *sotto controllo* e non mostra una tendenza (*trend*) ad andare fuori dei limiti ammissibili stabiliti: uno inferiore (LIC, *Limite Inferiore di Controllo o Lower Control Limit*) e uno superiore (LSC, *Limite Superiore di Controllo o Upper Control Limit*). Se è presente un errore *sistematico*, questo determinerebbe una deviazione sempre dello stesso segno. Una variabilità sistemica indica, infatti, distorsioni dovute, per esempio, a materie prime difettose, macchine o strumenti usati non in buono stato ecc.

Diagrammi come quello in FIGURA 35 danno la possibilità di intervenire velocemente per scoprire le cause di deviazioni anomale e riportare la produzione entro i valori richiesti.

- 1 Che funzione hanno i campioni materiali?
- 2 Che differenza c'è tra controlli soggettivi e oggettivi e come si eseguono?
- 3 Qual è la differenza tra calibri fissi, campioni materiali e strumenti di misurazione?
- 4 A cosa servono i blocchetti Johansson e in base a cosa si classificano?
- 5 Che cosa si intende per valore vero e valore effettivo?
- 6 Cosa rappresenta lo scarto.
- 7 Qual è la differenza tra errore sistematico ed errore accidentale? Fare qualche esempio.
- 8 Come si scrive il risultato delle misurazioni tenendo conto degli errori casuali e sistematici?
- 9 Leggere le letture del calibro decimale (la prima è facilitata).

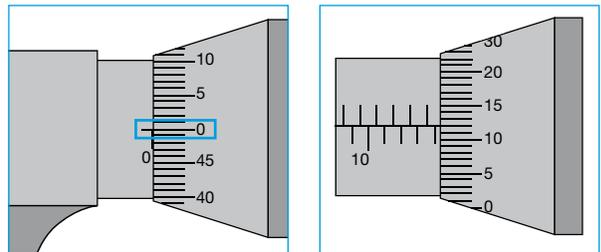


- 10 Leggere le letture del calibro ventesimale (la prima è facilitata).

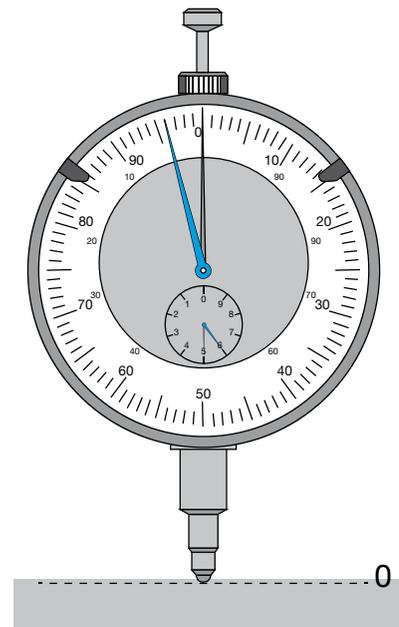


- 11 Come viene controllata la precisione di un micrometro?

- 12 Eseguire le letture del micrometro centesimale (la prima è facilitata).



- 13 Eseguire la lettura del comparatore.



- 14 Calcolare l'incertezza ammissibile dello strumento usato per il controllo di pezzi con tolleranza di 20 μm .
- 15 Qual è l'incertezza di un normale comparatore?
- 16 Quale strumento posso usare per la misura di profondità di un foro cieco?
- 17 Sono state eseguite cinque misurazioni con un calibro a corsoio decimale; le misure rilevate sono: 8,4 mm, 8,5 mm, 8,2 mm, 8,4 mm, 8,3 mm. Calcolare il valore più attendibile della grandezza.
- 18 Quali sono i vantaggi delle carte di controllo di un processo produttivo?
- 19 Con quale strumento si esegue il controllo di un lotto di alberi?
- 20 Dopo aver effettuato 6 misurazioni, i cui risultati siano: 29; 27; 26; 29; 28; 26, costruire una tabella e calcolare il valore medio \bar{x} e la deviazione standard s .