

Mitutoyo

GUIDA RAPIDA ALLA MISURA

Strumenti di misura per la metrologia dimensionale

EDIZIONE ITALIANA



Significato dei simboli	02
Conformità alla marcatura CE, alla direttiva RoHS, alla direttiva RAEE e al regolamento REACH	03
Controllo della qualità	04
Micrometri	06
Testine micrometriche	12
Micrometri con nottolino	16
Calibri	18
Misuratori di altezze (truschini)	22
Blocchetti di riscontro	26
Comparatori analogici e digitali	27
Calibri lineari	31
Micrometri elettronici	33
Micrometri a scansione laser	35
Sistemi lineari	37
Proiettori di profili	41
Microscopi	43
Macchine di misura ottiche	45
Rugosimetri	50
Strumenti di misura del profilo	52
Strumenti di misura della rotondità	54
Strumenti per la misura di durezza	56
Macchine di misura a coordinate	58

Significato dei simboli

PG
02

ABSOLUTE®

ABSOLUTE è un marchio di fabbrica di Mitutoyo Corporation.

Encoder lineare ABSOLUTE

Questa è una scala di misura elettronica che, all'accensione, fornisce una lettura diretta della posizione lineare assoluta, senza bisogno di essere azzerata o resettata. Gli strumenti di misura Mitutoyo che incorporano queste scale forniscono il notevole vantaggio di essere sempre pronti per la misura senza necessità di impostazioni preliminari dopo l'accensione. La scala può essere elettrostatica, elettromagnetica e una combinazione di metodi elettrostatici e ottici, ma la funzionalità principale è la tecnologia brevettata di Mitutoyo per la creazione di informazioni sulla posizione assoluta nella scala in modo da poterle leggere all'avvio. Questi encoder lineari sono ampiamente utilizzati negli strumenti di misura di Mitutoyo come campione di lunghezza integrato e il loro utilizzo contribuisce notevolmente alla generazione di dati di misura altamente affidabili nell'industria, in particolare in ambienti difficili in cui la contaminazione da fluidi, refrigeranti e polvere da taglio non deve influenzare le prestazioni.

Vantaggi:

1. Non si verifica alcun errore di conteggio anche se si sposta molto rapidamente il cursore o il mandrino.
2. Non è necessario azzerare il sistema quando si accende il sistema dopo lo spegnimento*1.
3. Poiché questo tipo di encoder può funzionare con meno potenza rispetto all'encoder incrementale, la durata della batteria è prolungata a circa 3,5 anni (funzionamento continuo di 20.000 ore)*2 in condizioni di uso normale.

*1: A meno che la batteria non venga rimossa.

*2: Nel caso del Calibro ABSOLUTE DIGIMATIC (modello elettrostatico aticaa).

Codici IP

Sono codici che indicano il grado di protezione fornito da una scocca, (coperture custodia ecc.) alla parte elettrica di un prodotto contro l'ingresso di corpi estranei, polvere e acqua come definito negli standard IEC (IEC 60529: 2001) e JIS C 0920: 2003. [IEC: Commissione elettrotecnica internazionale]

Prima caratteristica numerica	Gradi di protezione contro oggetti estranei solidi	
	Breve descrizione	Definizione
0	Non protetto	—
1	Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di \varnothing 50 mm	Un oggetto con \varnothing 50 mm non deve penetrare completamente la custodia*
2	Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di \varnothing 12 mm	Un oggetto con \varnothing 12,5 mm non deve penetrare completamente la custodia*
3	Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di \varnothing 2,5 mm	Un oggetto con \varnothing 2,5 mm non deve penetrare completamente la custodia*
4	Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di \varnothing 1,0 mm	Un oggetto con \varnothing 1,0 mm non deve penetrare completamente la custodia*
5	Protetto contro la polvere	L'ingresso della polvere non è completamente impedito, ma la polvere che penetra non deve interferire con il funzionamento soddisfacente dell'apparecchio o comprometterne la sicurezza.
6	Resistente alla polvere	Nessun ingresso di polvere permesso.

Seconda caratteristica numerica	Gradi di protezione contro l'acqua	
	Breve descrizione	Definizione
0	Non protetto	—
1	Protetto contro le gocce d'acqua verticali	Le gocce d'acqua che cadono verticalmente non producono effetti nocivi.
2	Protetto contro le gocce d'acqua verticali entro un angolo di inclinazione di 15°	Le gocce d'acqua che cadono verticalmente non producono effetti nocivi quando la scocca è inclinata fino a 15° su entrambi i lati della verticale.
3	Protetto contro l'acqua nebulizzata	L'acqua nebulizzata ad un angolo fino a 60° su entrambi i lati della verticale non produce effetti nocivi.
4	Protetto contro gli spruzzi d'acqua	L'acqua spruzzata contro la custodia proveniente da qualunque direzione non produce effetti nocivi.
5	Protetto contro i getti d'acqua	I getti d'acqua contro la custodia provenienti da qualunque direzione non producono effetti nocivi.
6	Protetto contro getti d'acqua potenti	I getti d'acqua potenti contro la custodia provenienti da qualunque direzione non producono effetti nocivi.
7	Protezione contro l'immersione temporanea in acqua	L'immersione temporanea in acqua, in condizioni di pressione e di tempo standardizzate, non provoca effetti nocivi.
8	Protetto contro gli effetti di immersione continua in acqua	L'immersione continua in acqua, in condizioni di pressione e di tempo concordate tra produttore ed utilizzatore, ma comunque più severe di quelle per IPX7, non provoca effetti nocivi.

*: per dettagli sulle condizioni di prova utilizzate per valutare ogni grado di protezione, fare riferimento alla norma originale.



www.tuv.com
ID 000006683

I marchi di certificazione TÜV Rheinland

Tutti i prodotti che riportano il marchio a sinistra hanno superato il test IP eseguito dall'azienda tedesca di certificazione TÜV Rheinland.

CONVENZIONI UTILIZZATE IN QUESTO MANUALE

I seguenti simboli sono utilizzati in questo manuale per aiutare l'utente a ottenere misure affidabili tramite il corretto uso dello strumento.



corretto

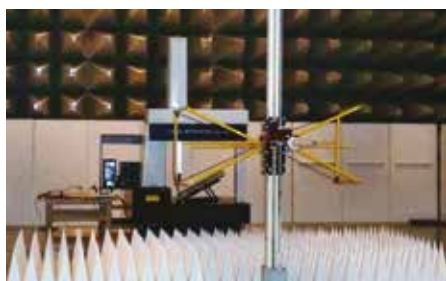


scorretto

Conformità alla marcatura CE, alla direttiva RoHS, alla direttiva RAEE e al regolamento REACH

Conformità alla marcatura CE

Al fine di migliorare la sicurezza, ogni impianto ha dei programmi per conformarsi alle direttive macchine, alle direttive EMC e alle direttive bassa tensione. Anche la conformità alla marcatura CE è soddisfatta. CE sta per "Conformité Européenne". La marcatura CE indica che un prodotto è conforme ai requisiti essenziali della normativa europea rilevante in materia di salute, sicurezza e tutela ambientale.



Valutazione della conformità per la marcatura CE (Direttive EMC)

Principali direttive UE relative ai prodotti Mitutoyo

Nome della direttiva UE	Campo applicabile
Direttiva Macchine	Almeno una parte di una macchina che può causare lesioni al corpo umano se si muove a causa del movimento di un attuatore come ad esempio un motore.
Direttiva EMC (Direttiva sulla compatibilità elettromagnetica)	Un prodotto che può produrre onde elettromagnetiche o che è influenzato da onde elettromagnetiche provenienti dall'esterno.
Direttiva Bassa tensione	Apparecchiatura (dispositivo) che utilizza una tensione CA pari a 50 - 1000V o una tensione CC pari a 75 - 1500V.

Risposta alla direttiva RoHS

La direttiva RoHS*¹ limita l'uso di sostanze chimiche in Europa. Alcune apparecchiature elettroniche contenenti le 6 sostanze specifiche (piombo, cadmio, mercurio, cromo esavalente, bifenili polibromurati (PBB) e difenile etere polibromurato (PBDE)) in quantità superiori rispetto a quanto determinato nella Direttiva sono state vietate per la vendita in Europa dal 1° luglio 2006.

La direttiva RoHS è stata rivista il 1° luglio 2011. Continueremo a contribuire alla protezione ambientale globale e a lavorare affinché tutti i nostri prodotti siano conformi alla direttiva RoHS.

*1 Direttiva RoHS: direttiva 2011/65/UE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alla restrizione dell'uso di talune sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Risposta alla direttiva RAEE

La direttiva RAEE*² è una direttiva che prevede la raccolta e il riciclaggio adeguati di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Lo scopo di questa direttiva è quello di aumentare il riutilizzo e il riciclaggio di questi prodotti e cercare di progettare prodotti ecologici.

Per distinguere tra rifiuti di apparecchiature e rifiuti domestici, sul prodotto è presente il simbolo di un bidone con le ruote barrato

Promuoviamo la progettazione eco-compatibile per i nostri prodotti.

*2 Direttiva RAEE: direttiva 2012/96/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa ai rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Risposta al regolamento REACH

Il Regolamento REACH*³ è un regolamento che disciplina la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche in Europa e sono regolamentati tutti i prodotti come sostanze, miscele e prodotti stampati (compresi gli accessori e i materiali di imballaggio).

Le sostanze chimiche scientificamente provate come sostanze pericolose per la salute umana e per l'ambiente globale (SVHC) sono vietate alla vendita o le informazioni relative a tali sostanze sono obbligatorie in Europa.

Divulghiamo attivamente informazioni sui nostri prodotti e forniamo prodotti sostitutivi se riscontriamo che i nostri prodotti contengono una delle sostanze elencate.

*3 Regolamento REACH: regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche.

Controllo della qualità

Controllo qualità (QC)

Sistema per produrre economicamente beni o servizi con un livello di qualità che soddisfi le richieste del cliente.

Controllo di qualità del processo

Attività volte a ridurre e mantenere minima la variabilità dei risultati di un processo di produzione. Il miglioramento del processo, la sua standardizzazione e lo sviluppo delle tecnologie sono favorite da queste attività.

Controllo statistico del processo (SPC)

Controllo di qualità del processo attraverso metodi statistici.

Popolazione

Un insieme di tutti gli elementi aventi caratteristiche da considerare per il controllo e il miglioramento del processo e la qualità del prodotto. Un insieme che viene trattato sulla base di campioni è normalmente la popolazione rappresentata dai campioni stessi.

Lotto

Insieme di beni prodotti nelle stesse condizioni.

Campione

Un elemento (o elementi) di un prodotto prelevato dalla popolazione al fine di analizzarne le caratteristiche.

Dimensioni del campione

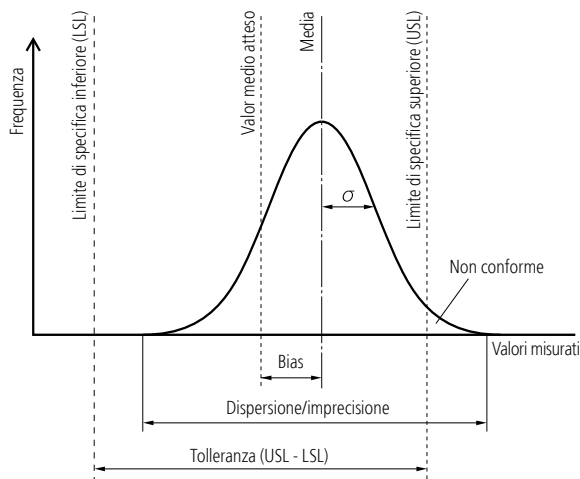
Numero degli elementi del prodotto nel campione.

Errore

Valore calcolato sottraendo il valore reale dalla media dei valori misurati quando vengono eseguite misure multiple.

Dispersione

Variazione nei valori di una caratteristica di interesse in relazione al suo valore medio. La deviazione standard normalmente viene utilizzata per rappresentare la dispersione di valori intorno alla media.



Istogramma

Un diagramma che divide l'intervallo tra il valore massimo e il valore minimo di misura in diverse colonne e ne mostra la frequenza relativa in ciascuna di esse, nella forma di un grafico a barre. Ciò rende più facile stimarne la media o la dispersione. Una distribuzione simmetrica a forma di campana è detta distribuzione normale ed è molto usata negli esempi teorici, poiché le sue caratteristiche sono facili da calcolare. Tuttavia, occorre cautela perché molti processi reali non seguono una distribuzione normale e presupporlo porterebbe a conclusioni errate.

Capacità del processo

Prestazione specifica del processo, dimostrata quando è sufficientemente standardizzato, ogni causa di malfunzionamento è eliminata, ed esso si trova in uno stato di controllo statistico. La capacità del processo è pari a $\pm 3\sigma$ o 6σ quando la caratteristica in uscita dal processo mostra una distribuzione normale. σ (sigma) indica la deviazione standard.

Indice della capacità di processo (PCI o Cp)

Indice che misura la possibilità che un processo possiede di realizzare un risultato coerente entro i limiti di tolleranza della caratteristica. Dovrebbe essere sempre maggiore di 1. Viene calcolato dividendo la tolleranza di una caratteristica per la capacità del processo (6σ). Il valore calcolato dividendo per 3σ la differenza tra la media (\bar{X}) e il valore standard può essere assunto come valore dell'indice in caso di tolleranza unilaterale. L'indice di capacità di processo presuppone che una caratteristica segua la distribuzione normale.

Note: se una caratteristica segue la distribuzione normale, il 99,74% dei dati si trova all'interno dell'intervallo di $\pm 3\sigma$ dalla media.

Tolleranza bilaterale

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

USL: Limite di specifica superiore
LSL: Limite di specifica inferiore

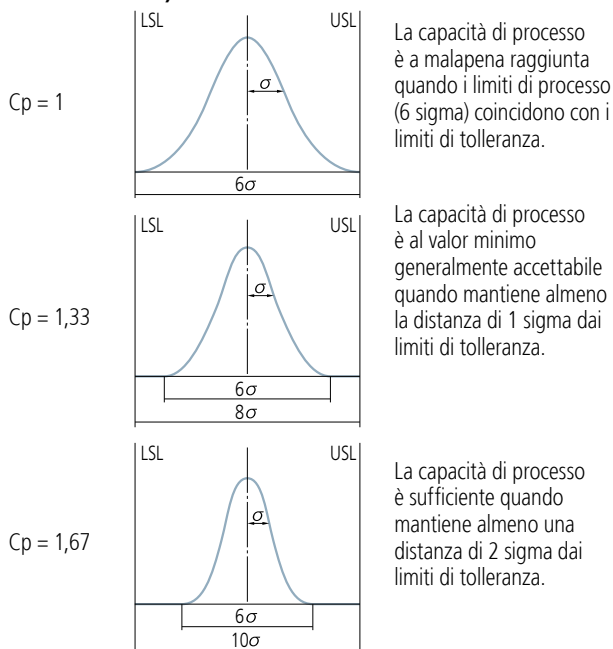
Tolleranza unilaterale... Nel caso in cui sia impostato solo il limite superiore

$$C_p = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$$

Tolleranza unilaterale... Nel caso in cui sia impostato solo il limite inferiore

$$C_p = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$$

Esempi specifici di indice di capacità di processo (Cp) (tolleranza bilaterale)

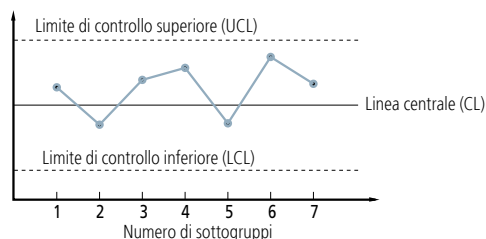


Notare che Cp rappresenta solamente la relazione tra i limiti di tolleranza e la dispersione del processo ma non considera il valore medio del processo rispetto alle tolleranze.

Note: un indice di capacità di processo che prende in considerazione la differenza tra il valore medio del processo e quello atteso è chiamato generalmente Cpk. Esso è definito come il limite di tolleranza superiore (USL meno il valore medio) diviso per 3σ (metà della capacità di processo) o il limite di tolleranza inferiore (il valore medio meno LSL) diviso per 3σ , a seconda del valore più piccolo.

Grafico di controllo

Usato per controllare il processo, separa le variazioni casuali da quelle dovute a un cattivo funzionamento. Il grafico di controllo consiste in una linea centrale (CL) e linee di limite di controllo razionalmente disposte sopra e sotto di essa (UCL e LCL). Si può affermare che il processo è in uno stato di controllo statistico se tutti i punti si trovano all'interno delle linee di limite di controllo superiore e inferiore senza tendenze notevoli quando vengono tracciati i valori caratteristici che rappresentano l'output di processo. Il grafico di controllo è uno strumento utile per controllare l'output di processo e quindi la qualità.



Variazioni casuali

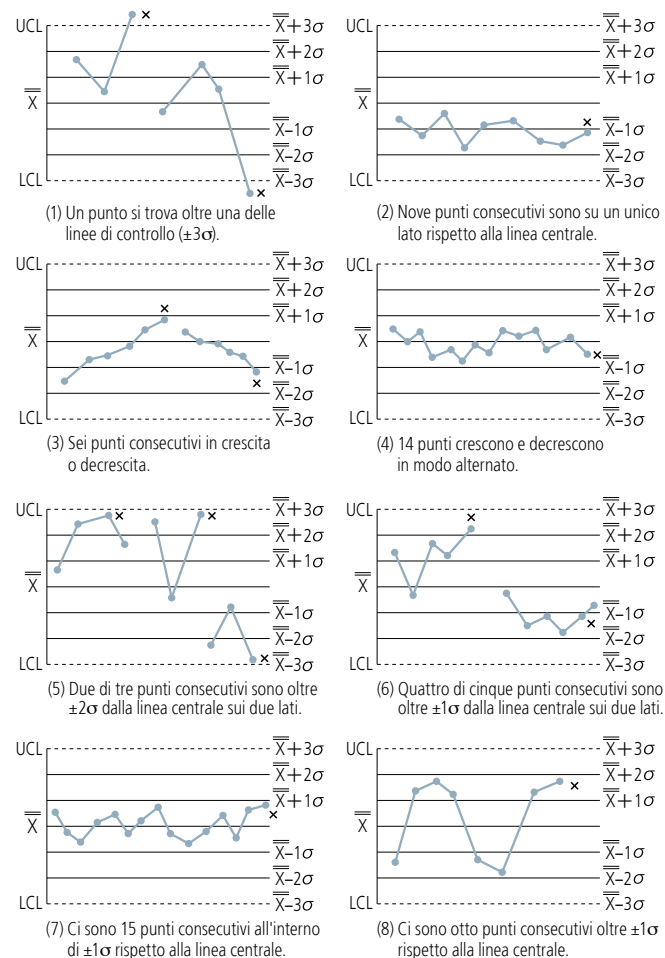
Queste variazioni hanno un'importanza relativamente bassa. Qualora identificate, esse sarebbero tecnologicamente e/o economicamente impossibili da eliminare.

X-R

Grafico utilizzato per il controllo di processo, in grado di fornire il maggior numero di informazioni sul processo stesso. Il grafico X-R consiste nel grafico di controllo X, che usa la media di ogni sottogruppo per monitorare errori anomali della media del processo, e il grafico di controllo R che usa il campo per valutare variazioni anormali. Normalmente i due grafici vengono utilizzati insieme.

Come leggere il grafico di controllo

Di seguito sono riportati i trend tipici della posizione di punti successivi nel grafico di controllo che sono considerati indesiderati. Questi trend indicano che una "causa speciale" sta interessando l'output del processo e che l'azione del gestore di processo è necessaria per rimediare alla situazione. Questi esempi rappresentano solo regole indicative. Nella definizione di regole reali, si prenda in considerazione la specifica variazione del processo. Per applicare tali regole, assumendo che le linee di controllo inferiore e superiore siano distanti dalla linea centrale 3σ , dividere il grafico di controllo in sei aree ad intervalli di 1σ . Lo stesso principio può essere applicato al grafico di controllo X e al grafico di controllo R. Si ipotizza una distribuzione normale. È possibile formulare altre regole in base a ogni tipo di distribuzione.



Note: questa parte della "Guida rapida agli strumenti di misura di precisione" (pagine 6 e 7) è stata scritta da Mitutoyo sulla base della propria interpretazione del Manuale di controllo della qualità JIS pubblicato dall'Associazione giapponese per la standardizzazione.

Riferimenti

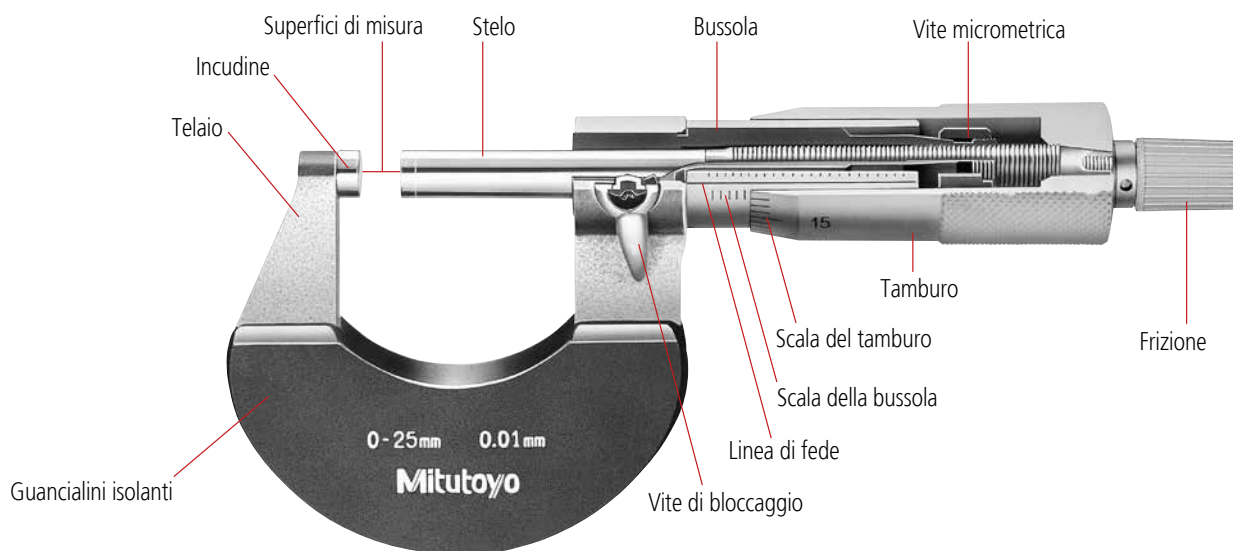
- Manuale di controllo qualità JIS (Associazione giapponese per la standardizzazione)

Z 8101:	1981
Z 8101-1:	1999
Z 8101-2:	1999
Z 9020:	1999
Z 9021:	1998

Micrometri

Nomenclatura

Micrometro meccanico per esterni

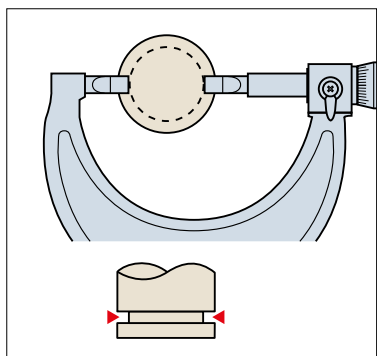


Micrometro per esterni Digimatic



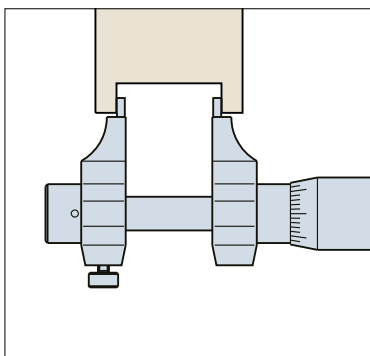
Micrometri per applicazioni speciali

Micrometri con incudini a lama



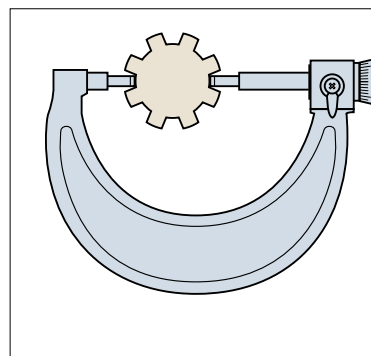
Per la misura di diametri all'interno di gole

Micrometri con incudini per interni



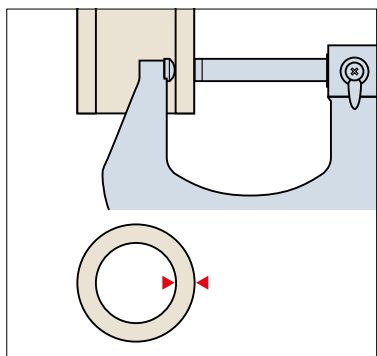
Per piccoli diametri interni e misura della larghezza di scanalature

Micrometri con incudini ribassate



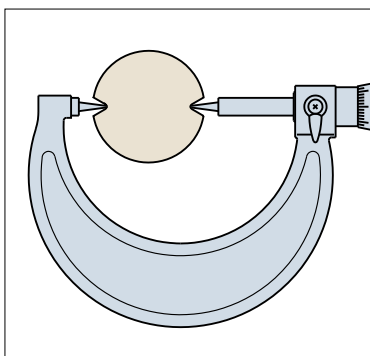
Per la misura del diametro di alberi scanalati

Micrometri per tubi



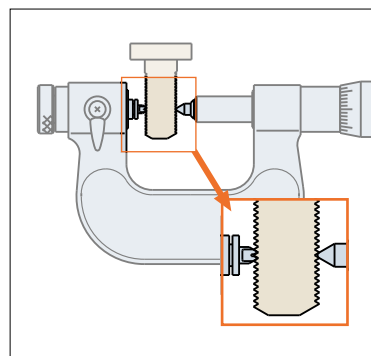
Per misure di spessori di tubi

Micrometri con incudini a punta



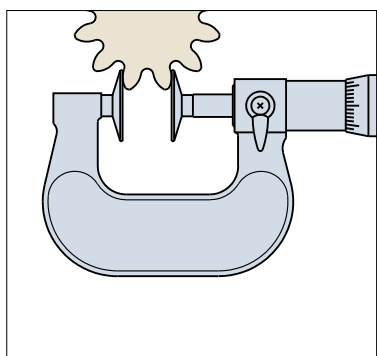
Per la misura del diametro di fondo

Micrometri per filettature



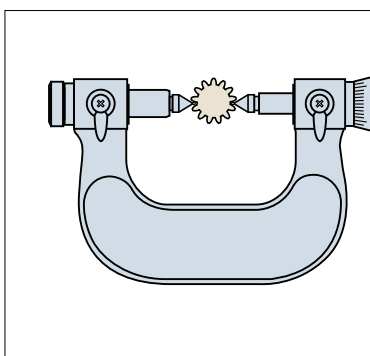
Per la misura del diametro medio di un filetto

Micrometri con incudini a disco



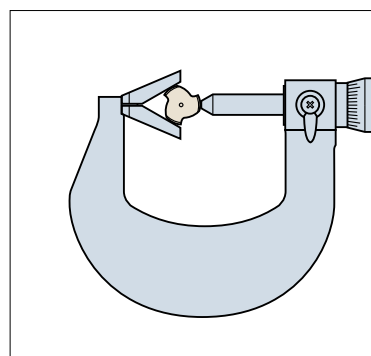
Per la misura di ingranaggi

Micrometri con caprugini a sfera



Misura del diametro di ingranaggi

Micrometri con incudini a V

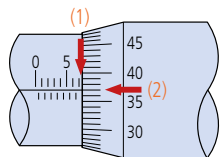


Per misura di utensili a 3 o 5 taglienti

Micrometri

Come leggere la scala

Micrometro con scala standard (graduazione: 0,01 mm)




(1) Lettura scala bussola 7,0 mm

(2) Lettura scala tamburo + 0,37 mm

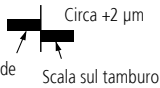
Lettura del micrometro 7,37 mm

Nota: 0,37 mm (2) è rilevato dove la linea di fede della bussola è allineata alle graduazioni del tamburo.

La scala sul tamburo può essere letta direttamente a 0,01 mm, come mostrato sopra, ma può anche essere stimata a 0,001 mm, quando le linee sono quasi coincidenti perché lo spessore della linea è 1/5 della spaziatura tra esse.



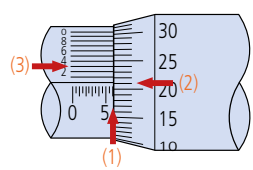
Circa +1 μm



Circa +2 μm

Micrometro con nonio (graduazione: 0,001 mm)

La scala del nonio, posta sopra la linea di fede della bussola, permette di effettuare letture dirette con graduazione 0,001 mm.



(1) Lettura scala bussola 6,0 mm

(2) Lettura scala tamburo 0,21 mm

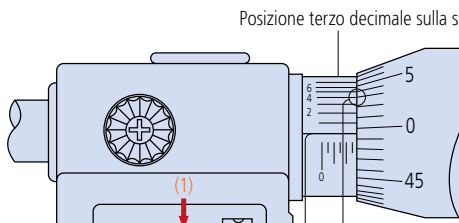
(3) Lettura della scala del nonio di graduazione del tamburo + 0,003 mm

Lettura del micrometro 6,213 mm

Nota: 0,21 mm (2) è rilevato quando la linea di fede si trova tra due graduazioni (21 e 22 in questo caso). 0,003 mm (3) è rilevato quando una delle graduazioni della scala del nonio è allineata con una delle graduazioni del tamburo.

Micrometro con display meccanico o digitale (graduaz.: 0,001 mm)

Posizione terzo decimale sulla scala del nonio (0,001 mm)



Lettura nonio 0,004 mm (2)

Linea di fede

Posizione terzo decimale 0,004 mm (2)

Posizione secondo decimale 0,09 mm

Posizione primo decimale 0,9 mm

Millimetri 2,0 mm

Decine di mm 00,00 mm

Lettura visualizzatore 2,994 mm

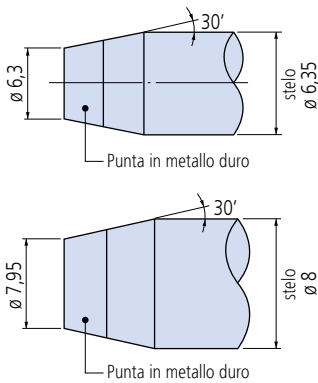
*Indicazione per quattro posizioni.

Nota: 0,004 mm (2) è rilevato dove la linea di graduazione del nonio coincide con una linea di graduazione della scala del tamburo.

Dispositivo di limitazione della forza di misura

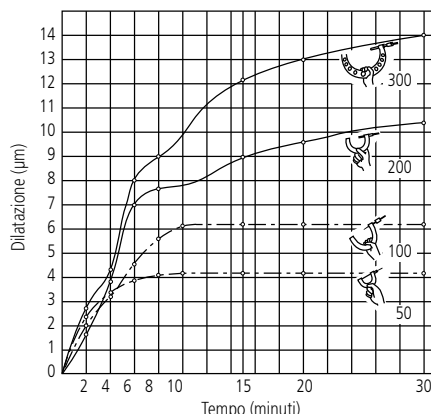
	Udibile durante l'uso	Uso con una mano	Commenti
Arresto con frizione	Si	Non utilizzabile	Il funzionamento con clic acustico provoca micro-shock
Tamburo con frizione	No	Utilizzabile	Utilizzo scorrevole senza scatti o rumore
Frizione su tamburo e cricchetto	Si	Utilizzabile	Il suono udibile conferma la forza di misura costante
Frizione su tamburo e cricchetto	Si	Utilizzabile	Il suono udibile conferma la forza di misura costante

Specifiche superfici di misura



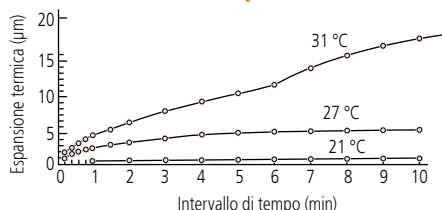
Questi disegni sono solo a titolo di esempio e non sono riportati in scala

Dilatazione del telaio del micrometro utilizzato a mani nude



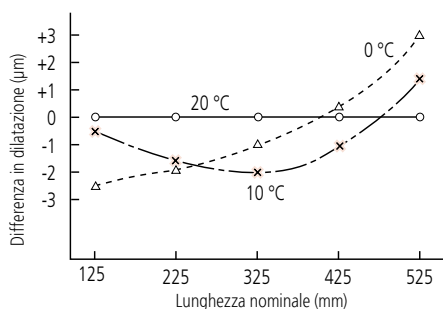
Il grafico mostra la dilatazione del telaio del micrometro, causata dal trasferimento del calore dalle mani nude dell'operatore allo strumento. Come si può vedere, questa dilatazione, può essere fonte di significativi errori di misura. Si suggerisce di ridurre al minimo indispensabile l'utilizzo del micrometro con le mani nude durante la misura. L'utilizzo di guanti o guancialini isolanti può ridurre considerevolmente questo problema. (Il grafico rappresenta una situazione tipica e va considerato come esempio).

Espansione in lunghezza di una campione di lunghezza al variare della temperatura (asta di 200 mm inizialmente a 20 °C)



Il grafico sperimentale mostra come, uno speciale micrometro standard, maneggiato da persone con differenti temperature nelle mani, si espanda con lo scorrere del tempo. La temperatura ambiente è di 20 °C. Si rileva l'importanza di effettuare l'azzeramento dei micrometri evitando di usare le mani nude. Lo stesso concetto è valido nell'uso delle aste di riscontro che devono essere utilizzate tramite gli appositi isolanti termici. Si consideri poi, che al termine di una misura, occorre del tempo prima che un'asta ritorni alla sua dimensione originale. (I valori del grafico sono valori sperimentali, non garantiti.)

Differenza di espansione termica tra micrometro e campione di lunghezza



In questo esperimento, un micrometro e la sua asta di riscontro, sono stati lasciati per circa 24 ore in una stanza a una temperatura costante di 20 °C. Il micrometro è stato quindi azzerato utilizzando la sua asta di riscontro. L'operazione è stata ripetuta alle temperature di 0 °C e 10 °C per circa lo stesso periodo di tempo ed è stata verificata la variazione del punto di inizio. Il grafico mostra i risultati per ciascuna delle grandezze da 125 a 525 millimetri per ognuna delle temperature. Questo esperimento dimostra che, prima di effettuare l'azzeramento di un micrometro è necessario che lo strumento e la sua asta di riscontro, siano lasciati alla stessa temperatura per diverse ore. (I valori del grafico sono valori sperimentali, non garantiti.)

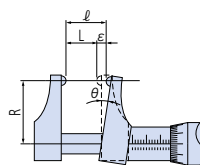
Effetti dovuti ai sistemi di supporto e orientamento dello strumento (Unità: µm)

La modifica del supporto o dell'orientamento dello strumento, dopo il suo azzeramento, può influenzare i risultati di misura. Le tabelle riassumono gli errori di misura attesi se, dopo aver azzerato i micrometri in configurazione "supportato in basso e al centro", questa condizione viene modificata durante la misura. I risultati indicano che è opportuno azzerare ed utilizzare lo strumento con lo stesso orientamento e lo stesso supporto.

Metodo di supporto	Supportato in basso e al centro	Supportato solo al centro
Orientamento		
Lunghezza di misura massima (mm)		
325	0	-5,5
425	0	-2,5
525	0	-5,5
625	0	-11,0
725	0	-9,5
825	0	-18,0
925	0	-22,5
1025	0	-26,0

Metodo di supporto	Supportato al centro, con orientamento orizzontale	Supportato con la mano, rivolto verso il basso
Orientamento		
Lunghezza di misura massima (mm)		
325	+1,5	-4,5
425	+2,0	-10,5
525	-4,5	-10,0
625	0	-5,5
725	-9,5	-19,0
825	-5,0	-35,0
925	-14,0	-27,0
1025	-5,0	-40,0

Principio di Abbe



Il Principio di Abbe afferma che "la massima precisione si ottiene quando la scala e gli assi di misura coincidono". Questo perché, qualsiasi variazione dell'angolo relativo (θ) del becco mobile di misura di uno strumento, come il micrometro con calibro, ne provoca uno spostamento non rilevabile sulla scala dello strumento. Questo è l'errore di Abbe ($\epsilon = l - L$ nel diagramma).

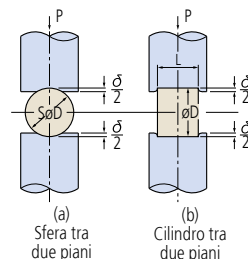
L'errore di rettilineità del mandrino, un suo eccessivo gioco o un eccesso nella forza di misura possono causare la variazione (θ) e l'aumento dell'errore in R.

Legge di Hooke

La legge di Hooke sostiene che l'allungamento subito da un corpo elastico è direttamente proporzionale alla forza ad esso applicata. Questa condizione è vera se si rimane nei limiti di elasticità del materiale.

Formule di Hertz

Le formule di Hertz restituiscono la riduzione apparente nel diametro di sfere o cilindri causata dalla compressione durante la misura tra due superfici piane. Queste formule sono utili per determinare la deformazione di un pezzo causata dalla forza di misura applicata in un punto o lungo una linea di misura.



Assumendo che il materiale sia acciaio, i suoi parametri principali sono:

Modulo di elasticità: $E = 205 \text{ GPa}$

Valore della deformazione: $\delta \text{ (}\mu\text{m)}$

Diametro sfera o cilindro: $D \text{ (mm)}$

Lunghezza cilindro: $L \text{ (mm)}$

Forza di misura: $P \text{ (N)}$

a) Riduzione apparente nel diametro della sfera

$$\delta_1 = 0,82 \sqrt[3]{P^2/D}$$

b) Riduzione apparente nel diametro del cilindro

$$\delta_2 = 0,094 \cdot P/L \sqrt[3]{1/D}$$

Micrometri

Misura del diametro del passo della vite

● Metodo dei tre fili

Il diametro medio della vite può essere misurato con il metodo dei tre fili, come mostrato nella figura.

Il calcolo del diametro medio (E) viene effettuato con le equazioni (1) e (2).

Vite unificate o con filettatura metrica (60°)

$$E = M - 3d + 0,866025P \dots\dots(1)$$

Filettatura Whitworth (55°)

$$E = M - 3,16568d + 0,960491P \dots\dots(2)$$

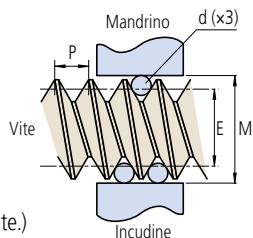
d = Diametro del filo

E = Diametro medio della vite

M = Lettura del micrometro inclusi i tre fili

P = Passo della vite

(Convertire i pollici in millimetri per le viti unificate.)



Tipo di filettatura	Dimensione ottimale dei fili D
Filettatura Metrica o unificata (60°)	0,577P
Filettatura Whitworth (55°)	0,564P

Principali errori di misura nel metodo dei tre fili

Causa di errore	Precauzioni per l'eliminazione degli errori	Errore possibile	Errore che potrebbe non essere eliminabile nonostante le precauzioni
Errore del passo (pezzo)	1. Correggere l'errore del passo ($\delta p = \delta E$). 2. Misurare numerosi punti e considerare la media dei valori ottenuti. 3. Ridurre gli errori del passo singolo.	$\pm 18 \mu\text{m}$ assumendo un errore del passo di 0,02 mm.	$\pm 3 \mu\text{m}$
Errore di metà angolo (pezzo)	1. Usare il diametro ottimale del filo. 2. Nessuna correzione è necessaria.	$\pm 0,3 \mu\text{m}$	$\pm 0,3 \mu\text{m}$
A causa della diversa incudine	1. Usare il diametro ottimale del filo. 2. Usare un filo con un diametro che sia vicino alla media degli altri a un lato del filo.	$\pm 8 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$
Errore diametro del filo	1. Usare una forza di misura predeterminata adatta al passo. 2. Usare la larghezza predeterminata del bordo di misura. 3. Usare una forza di misura costante.	$-3 \mu\text{m}$	$-1 \mu\text{m}$
Errore cumulativo		Nel caso peggiore $+20 \mu\text{m}$ $-35 \mu\text{m}$	Quando misurato in modo accurato $+3 \mu\text{m}$ $-5 \mu\text{m}$

● Metodo ad un filo

Il diametro del passo di un utensile a tagliente può essere misurato utilizzando un micrometro con incudine a V e il metodo a un filo. Ottenuta la lettura della misura (M_1), calcolare M con le equazioni (3) o (4).

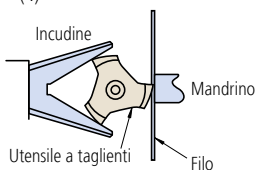
M_1 = Lettura del micrometro con il metodo ad un filo

D = Diametro dell'utensile a tagliente

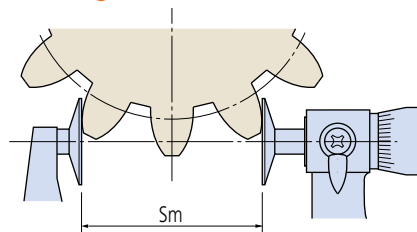
Utensile a 3 taglienti: $M = 3M_1 - 2D \dots\dots(3)$

Utensile a 5 taglienti: $M = 2,2360M_1 - 1,2360D \dots\dots(4)$

Ottenuto il valore M, inserirlo nelle equazioni di cui al punto (1) o (2) per calcolare il diametro del passo (E).



Lunghezza tangente di base



Formula di calcolo per la lunghezza della tangente di base (S_m):

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Z_m - 0,5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$$

Formula per calcolare il numero di denti all'interno della lunghezza di base (Z_m):

$$Z_m' = Z \cdot K(f) + 0,5 \quad (Z_m \text{ è l'integrale più vicino a } Z_m')$$

dove, $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1 + 2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

$$e, f = \frac{X}{Z}$$

$$\operatorname{inv} 20^\circ \approx 0,014904$$

$$\operatorname{inv} 14,5^\circ \approx 0,0055448$$

m: Modulo

α_0 : Angolo di pressione

Z: Numero di denti

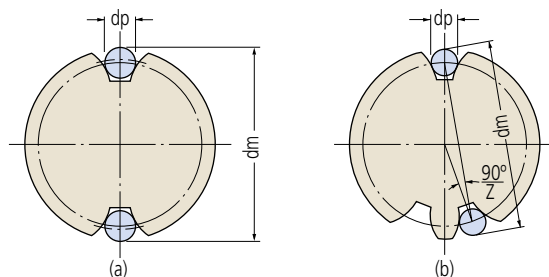
X: Coefficiente di modifica dell'addendo

S_m : Lunghezza tangente di base

Z_m : Numero di denti all'interno della lunghezza tangente di base

Misura ruote dentate

Misura con sfere



Per un ingranaggio con numero di denti pari:

$$d_m = dp + \frac{dp}{\cos \theta} = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$$

Per un ingranaggio con numero di denti dispari:

$$d_m = dp + \frac{dp}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right) = dp + \frac{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{Z} \right)$$

comunque,

$$\operatorname{inv} \theta = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{Z} = \frac{dp}{Z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2Z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{Z} \cdot X$$

Ottenere il θ ($\operatorname{inv} \theta$) dalla tabella delle funzioni evolvente.

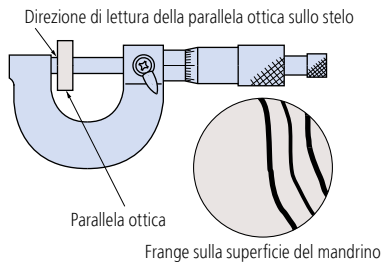
Z: Numero di denti

α_0 : Angolo di pressione del dente

m: Modulo

X: Coefficiente di modifica dell'addendo

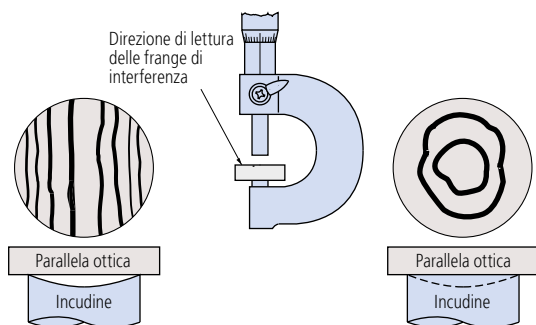
Verifica del parallelismo delle superfici di misura del micrometro



Il parallelismo può essere valutato utilizzando una parallela ottica bloccata tra le superfici. Per prima cosa posizionare con la dovuta pressione la parallela ottica contro la superficie di misura dell'incudine. Quindi andare in chiusura con lo stelo sulla parallela applicando una normale forza di misura e contare il numero di frange di interferenza rosse presenti sulla superficie di misura del mandrino. Ogni frangia equivale a una differenza di mezza lunghezza d'onda in altezza ($0,32 \mu\text{m}$ per le frange rosse). Nella figura precedente il parallelismo è circa $1 \mu\text{m}$, poiché è ottenuto da $0,32 \mu\text{m} \times 3 = 0,96 \mu\text{m}$.

Verifica della planarità delle superfici di misura del micrometro

La planarità può essere valutata portando in adesione una parallela ottica alla superficie di misura. Servendosi di una fonte di luce bianca contare il numero di frange di interferenza rosse presenti sulla superficie di misura. Ogni frangia equivale a una differenza di mezza lunghezza d'onda in altezza ($0,32 \mu\text{m}$ per le frange rosse).

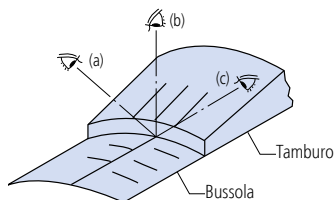


La superficie di misura è curvata di circa $1,3 \mu\text{m}$. ($0,32 \mu\text{m} \times 4$ coppie di frange rosse.)

La faccia di misura presenta una concavità (o convessità) profonda circa $0,6 \mu\text{m}$. ($0,32 \mu\text{m} \times 2$ frange continue)

Note generali sull'uso del micrometro

1. Controllare attentamente il tipo, il campo di misura, l'accuratezza e le altre specifiche del micrometro, al fine di selezionare il modello più adatto alla vostra applicazione.
2. Lasciare il micrometro e il pezzo a temperatura ambiente abbastanza a lungo per stabilizzare le eventuali differenze di temperatura prima di effettuare una misura.



(a) Lettura della linea di fede dall'alto



(b) Lettura diretta della linea di fede

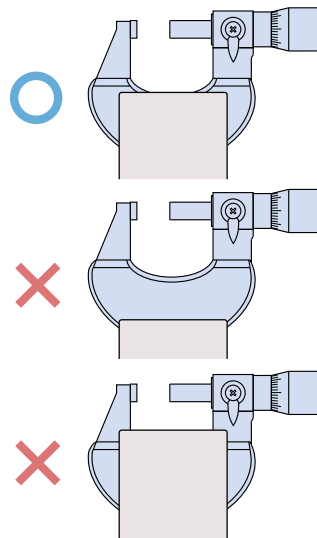


(c) Lettura della linea di fede dal basso

3. Guardare direttamente la linea di fede quando si effettua una lettura tra le graduazioni del tamburo. Una diversa angolazione nella lettura, potrebbe generare un errore di parallasse ed influire sull'accuratezza della misura.
4. Pulire le superfici di misura dell'incudine e dello stelo con un foglio di carta pulito. Impostare l'origine dello strumento prima di effettuare le misure.



5. Rimuovere giornalmente polvere, trucioli e altri detriti dalla circonferenza e dalla superficie delle facce di misura. Inoltre, rimuovere macchie e impronte digitali su ogni parte con un panno asciutto.
6. Utilizzare il dispositivo a forza costante correttamente in modo che le misure siano eseguite applicando la forza di misura corretta.
7. Quando si fissa il micrometro su un supporto, bloccarlo nel centro del corpo strumento. Non fissarlo eccessivamente.



8. Fare attenzione a non far cadere o urtare lo strumento contro corpi estranei. Non ruotare il tamburo con forza eccessiva. Se si sospetta che un micrometro possa aver subito urti o cadute, farne verificare l'accuratezza prima di effettuare le misure.
9. Dopo un lungo periodo di inattività o quando non ci sono film di olio protettivo visibili, applicare uno strato leggero di olio anti-corrosione con l'ausilio di un panno imbevuto.
10. Note sulla conservazione: Evitare di conservare il micrometro alla luce diretta del sole. Conservare il micrometro in un luogo ventilato con bassa umidità. Conservare il micrometro in un luogo con poca polvere. Conservare il micrometro nella sua confezione o in una scatola, evitando di posizionarla sul pavimento. Quando si ripone il micrometro, lasciare sempre uno spazio da $0,1$ a 1 mm tra le superfici di misura. Non conservare il micrometro con il blocco attivato.

Testine micrometriche

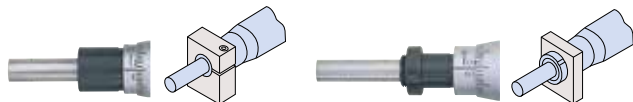
Punti chiave nella selezione dello strumento

I punti chiave nella selezione di una testina micrometrica sono: campo di misura, superfici di misura, superficie del del gambo, stelo, graduazioni, diametro del tamburo ecc...

Gambo

Gambo liscio

Gambo con ghiera di fissaggio



- Il gambo viene usato per fissare la testina micrometrica ad un supporto e può essere "liscio" o "o con ghiera di fissaggio" come illustrato sopra. Il diametro del gambo è prodotto ha una dimensione nominale metrica o imperiale con una tolleranza h6.
- Il gambo con ghiera di fissaggio consente di bloccare in modo rapido e sicuro la testina micrometrica. Il gambo liscio offre il vantaggio di una più ampia applicazione e di una leggera regolazione della posizione nella direzione assiale sull'installazione finale.
- Dispositivi di montaggio multiscopo sono disponibili come accessori opzionali.

Superfici di misura



Superficie piana

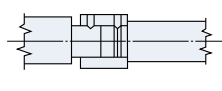
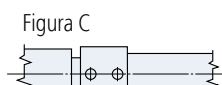
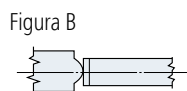
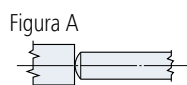


Superficie sferica



Dispositivo anti-rotazione

- Quando la testina micrometrica viene utilizzata in applicazioni di misura viene generalmente utilizzato uno stelo con superficie di misura piana.
- Quando la testina micrometrica viene utilizzata come dispositivo di avanzamento, una superficie sferica può minimizzare gli errori dovuti al disallineamento (Figura A). Al contrario, una superficie piana sullo stelo può poggiare contro una sfera, come, ad esempio, una sfera in carburo (Figura B).
- Una testina micrometrica con stelo non rotante o una testina dotata di un dispositivo di anti-rotazione sul mandrino (Figura C) può essere usata nei casi in cui sia necessario evitare l'azione di rotazione sul pezzo.
- Se una testina micrometrica viene utilizzata come fermo, una superficie piana sia sullo stelo che sulla superficie con cui entra a contatto offre una durata maggiore.



Stelo non rotante

- Una testina con stelo non rotante non esercita un'azione di torsione su un pezzo in lavorazione, che può essere un fattore importante in alcune applicazioni.

Passo della filettatura dello stelo

- La testina standard ha un passo di 0,5 mm.
- Modello con passo da 1 mm: più veloce da impostare rispetto al modello standard ed evita la possibilità di errori di lettura di 0,5 mm. Eccellenti caratteristiche di portata del carico grazie alla maggiore filettatura della vite.
- Modello con passo da 0,25 mm o 0,1 mm
Questo modello è il migliore per le applicazioni di alimentazione o posizionamento di precisione.

Dispositivo a forza costante

- Per le applicazioni di misura si raccomanda l'uso di una testina micrometrica dotata di un dispositivo a forza costante (nottolino o tamburo con frizione).
- Se una testina micrometrica viene utilizzata come fermo, o nei casi in cui il risparmio di spazio è una priorità, probabilmente la scelta migliore è una testa senza nottolino.



Testina micrometrica con dispositivo a forza costante



Testina micrometrica senza dispositivo a forza costante (senza nottolino)

Blocco stelo

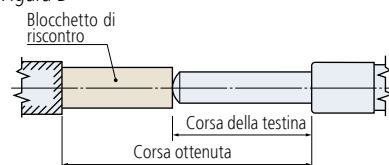
- Se una testina micrometrica viene utilizzata come fermo è opportuno utilizzare un modello dotato di blocco dello stelo in modo che l'impostazione non subisca modifiche anche sotto un carico d'urto ripetuto.



Campo di misura (corsa)

- Quando si sceglie un campo di misura per una testina micrometrica, lasciare un margine adeguato in considerazione della corsa di misura prevista. Per le testine micrometriche standard sono disponibili 6 campi di corsa, da 5 a 50 mm.
- Anche se la corsa prevista è breve, ad esempio da 2 mm a 3 mm, sarà economicamente vantaggioso scegliere un modello con corsa da 25 mm in modo che lo spazio per l'installazione sia sufficiente.
- Nel caso in cui sia richiesta una corsa lunga superiore a 50 mm, l'uso concomitante di un blocchetto di riscontro può estendere il campo di misura effettivo. (Figura D)

Figura D



- In questa guida, il campo (o finecorsa) del tamburo è indicato da una linea tratteggiata. Come finecorsa, considerare il tamburo che si sposta nella posizione indicata dalla linea al momento della progettazione della maschera.

Applicazioni con avanzamento ultra accurato

- Testine micrometriche dedicate, sono disponibili per applicazioni di manipolatori, ecc., che richiedono un avanzamento o una regolazione di massima precisione dello stelo.

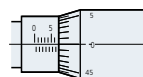
Diametro del tamburo

- Il diametro del tamburo influisce notevolmente sull'uso e sulla "accuratezza" di posizionamento. Un tamburo con diametro ridotto consente un posizionamento rapido mentre un tamburo con ampio diametro permette un posizionamento preciso e una facile lettura delle graduazioni. Alcuni modelli combinano i vantaggi offerti da entrambe le caratteristiche montando un tamburo con avanzamento grossolano (nottolino) su un tamburo con diametro elevato.

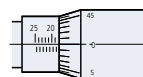


Tipi di graduazione

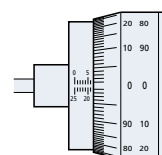
- Quando si esegue una lettura da una testina micrometrica meccanica è necessario prestare attenzione, specialmente se l'utente non ha familiarità con il modello.
- La graduazione "normale", identica a quella di un micrometro per esterni, viene utilizzata nella maggior parte dei modelli Mitutoyo. La lettura aumenta mentre lo stelo si ritrae nel telaio.
- Al contrario, nella "graduazione inversa", la lettura aumenta mentre lo stelo avanza uscendo dal telaio.
- Nella "graduazione bidirezionale", che ha lo scopo di facilitare la misura in entrambe le direzioni, si utilizzano numeri neri per la lettura normale e rossi per la lettura inversa.
- Sono inoltre disponibili testine micrometriche con un display digitale meccanico o elettronico, che consentono la lettura diretta di un valore di misura. Questo evita errori di lettura. Un ulteriore vantaggio del modello con display digitale elettronico è la possibilità di elaborare e memorizzare su computer i dati di misura.



Graduazione
"normale"



Graduazione
"inversa"

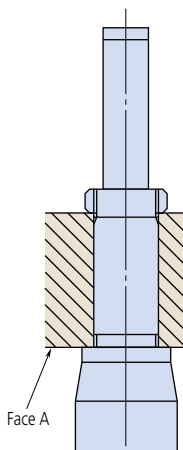
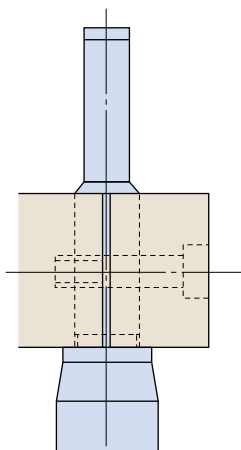
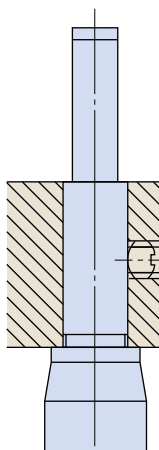


Graduazione
"bidirezionale"

Linee guida per dispositivi fai da te

Una testina micrometrica dovrebbe essere fissata tramite il gambo in un foro accuratamente lavorato, utilizzando un metodo di serraggio che non eserciti eccessiva forza. I tre metodi più comuni sono illustrati di seguito. Il metodo 3 non è raccomandato. Adottare i metodi (1) e (2) ogni qualvolta sia possibile.

(Unità: mm)

Metodo di montaggio	(1) Ghiera di fissaggio				(2) Blocco con corpo diviso				(3) Blocco con grano di fermo							
Punti importanti																
	Diametro dello stelo		ø 9,5	ø 10	ø 12	ø 18	ø 9,5		ø 10	ø 12	ø 18	ø 9,5		ø 10	ø 12	ø 18
	Foro di fissaggio		G7		G7		G7		G7		H5		H5			
	Tolleranze di inserimento		Da +0,005 a +0,020		Da +0,006 a +0,024		Da +0,005 a +0,020		Da +0,006 a +0,024		Da 0 a +0,006		Da 0 a +0,008			
Precauzioni	Prestare attenzione alla perpendicolarità tra la superficie A e il foro di fissaggio. Il gambo può essere bloccato senza alcun problema ad angolo retto di 0,16/6,5.				Rimuovere le bave generate dalle operazioni di rettifica sulla superficie del foro di montaggio.				M3 x 0,5 o M4 x 0,7 è una dimensione appropriata per il grano di fermo. Utilizzare una protezione in ottone sotto il grano per non rovinare lo stelo.							

Testine micrometriche

Capacità di carico massima su testine micrometriche

La massima capacità di carico di una testina micrometrica dipende principalmente dal metodo di fissaggio e dal tipo di carico applicato (statico o dinamico). In ogni caso non è possibile definire esattamente il carico massimo. Di seguito sono forniti i limiti di carico raccomandati da Mitutoyo (a meno di 100.000 giri se utilizzato per effettuare misure all'interno del campo di accuratezza garantito) e i risultati dei test sul carico statico usando una testina micrometrica di piccole dimensioni.

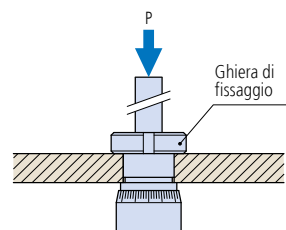
1. Massimi limiti di carico raccomandati

		Limite massimo di carico
Tipo standard	(Passo dello stelo: 0,5 mm)	Fino a circa 4 kgf*
	passo dello stelo: 0,1 mm/0,25 mm	Fino a circa 2 kgf
Tipo ad alta funzionalità	Passo dello stelo: 0,5 mm	Fino a circa 4 kgf
	passo dello stelo: 1,0 mm	Fino a circa 6 kgf
	Stelo non rotante	Fino a circa 2 kgf
	Modello con avanzamento micro-fine MHF (con un meccanismo differenziale)	Fino a circa 2 kgf

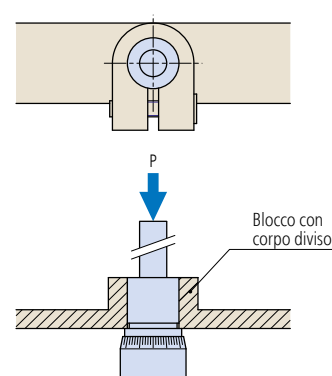
*Fino a circa 2 kgf solo per MHT

2. Test del carico statico per le testine micrometriche (utilizzando MHS per questo test)

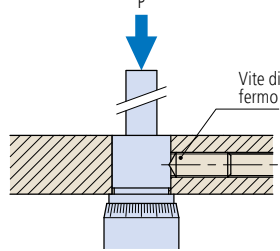
(1) Ghiera di fissaggio



(2) Blocco con corpo diviso



(3) Blocco con vite di fermo

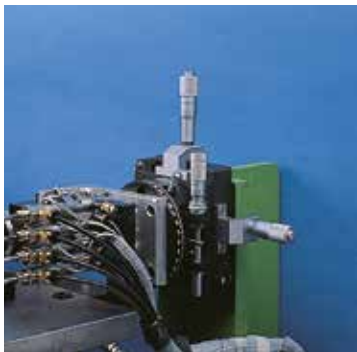
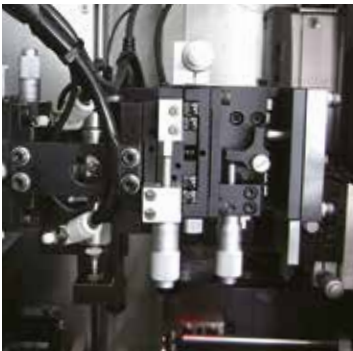


Metodo di prova

Le testine micrometriche sono state configurate come illustrato ed è stata misurata la forza a cui la testina è stata danneggiata o è stata spinta fuori dal supporto a causa dell'applicazione di un carico statico, nella direzione P. (Nei test non si è tenuto conto del campo di accuratezza specificato.)

Metodo di montaggio	Danneggiamento/dislocazione dalla sede di attacco*
(1) Ghiera di fissaggio	I danni all'unità principale si verificano a partire da 8,63 fino a 9,8 kN (da 880 a 1000 kgf).
(2) Blocco con corpo diviso	L'unità principale viene spinta fuori dal supporto a partire da 0,69 fino a 0,69 a 0,98 kN (da 70 a 100 kgf).
(3) Blocco con vite di fermo	I danni alla vite di fermo si verificano a partire da 0,69 fino a 1,08 kN (da 70 a 110 kgf).

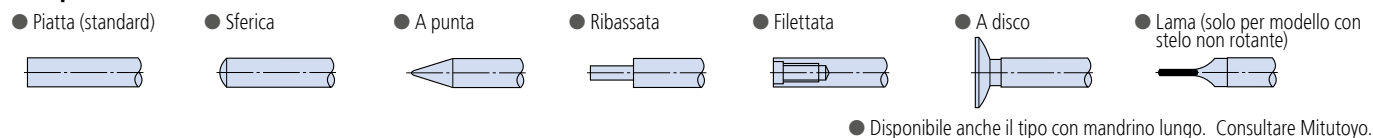
*Valori puramente indicativi.



Prodotti personalizzati (esempi)

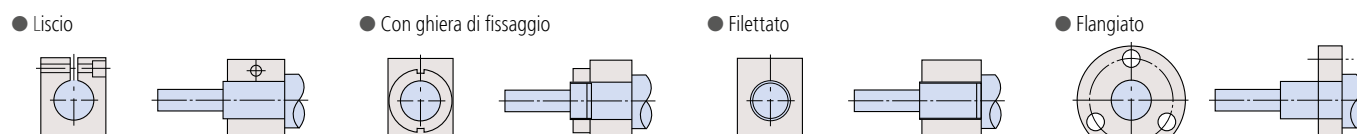
Le testine micrometriche vengono applicate in molti campi della scienza e dell'industria e Mitutoyo offre una vasta di modelli standard per soddisfare le esigenze dei clienti. Tuttavia, nei casi in cui il prodotto standard non è adatto, Mitutoyo è in grado di realizzare una testina personalizzata che incorpori le caratteristiche più adatte per la vostra applicazione specifica. Non esitate a contattare il Mitutoyo in merito a questa possibilità, anche se avete bisogno di un solo pezzo personalizzato.

1. Tipi di estremità dello stelo



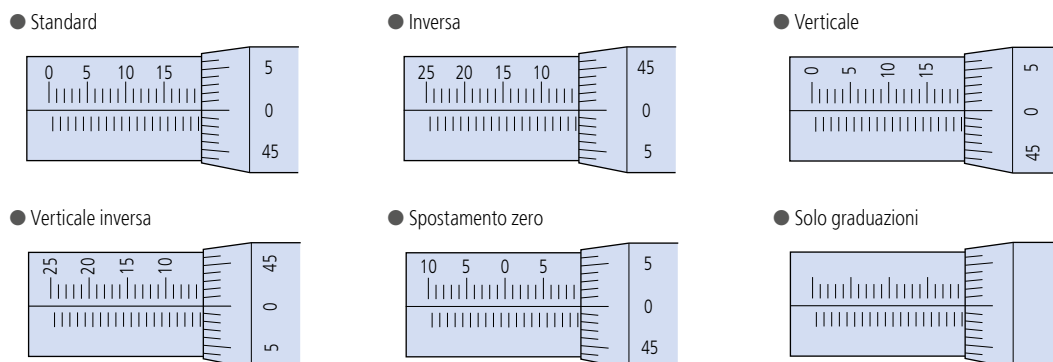
2. Tipi di gambo

Per adattarsi al dispositivo di montaggio è possibile realizzare uno stelo personalizzato.



3. Schemi di graduazione

Sono disponibili vari schemi di graduazione della scala del tamburo e della bussola, come verticale e inverso. Siete pregati di rivolgervi a Mitutoyo per ordinare uno schema personalizzato differente da quelli illustrati.



4. Incisione del logo

Su richiesta è possibile incidere un logo specifico.

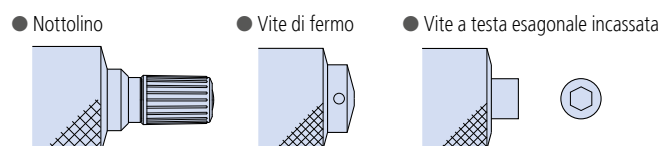
5. Giunto per motore

Possono essere progettati dei giunti per fornire forza di azionamento alla testa.



6. Montaggio del tamburo

Sono disponibili vari metodi di montaggio del tamburo, tra cui frizione, vite di fissaggio e vite con testa esagonale incassata.



7. Passo della filettatura dello stelo

Passi di 1 mm per applicazioni ad avanzamento rapido o di 2,5 mm per avanzamento fine possono essere forniti come alternative al passo standard di 0,5 mm. Sono supportati anche i passi in pollici. Consultare Mitutoyo per ulteriori dettagli.

8. Lubrificante per la filettatura dello stelo

I punti di lubrificazione possono essere specificati dal cliente.

9. Struttura in acciaio inossidabile

Tutti i componenti di una testina possono essere realizzati in acciaio inossidabile.

10. Imballaggio semplice

Ordini di grandi quantità di testine micrometriche possono essere consegnati in imballaggi semplici per la necessità dei costruttori OEM).

11. Stelo e dado (Vite di avanzamento di precisione)

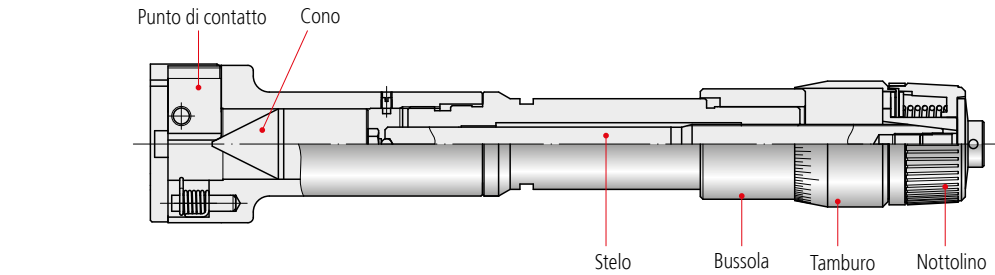
Lo stelo può essere usato come una vite di avanzamento di precisione. Il dado viene lavorato secondo le dimensioni specificate.

12. Certificato di ispezione sull'accuratezza

Un certificato di ispezione sull'accuratezza può essere fornito a un costo aggiuntivo. Per informazioni dettagliate, contattare l'Ufficio Vendite Mitutoyo più vicino.

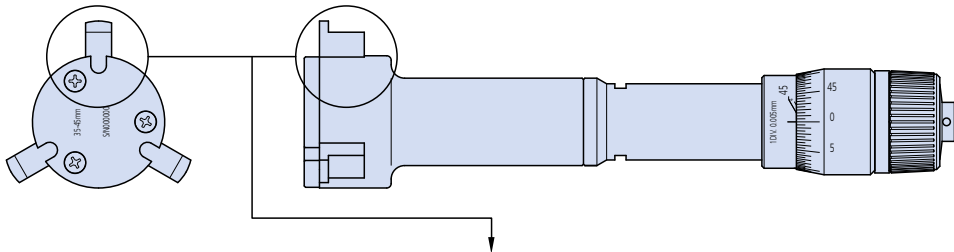
Micrometri a tre punti manuali

Nomenclatura



Prodotti personalizzati (Holtest/Borematic)

Mitutoyo può personalizzare un micrometro per interni, per adattarlo ad applicazioni speciali. Non esitate a contattare il Mitutoyo in merito a questa possibilità, anche se avete bisogno di un solo pezzo. Si prega di notare che, per garantire l'accuratezza dello strumento, è opportuno utilizzarlo dopo averlo calibrato con un anello di riscontro. (Un micrometro personalizzato può essere reso compatibile con un anello di riscontro fornito dal cliente. Consultare Mitutoyo.)

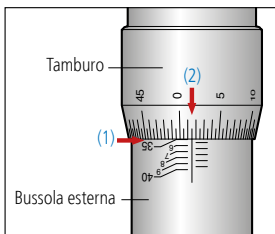


Tipo di caratteristica	Profilo del pezzo (esempio)	Profilo della punta del punto di contatto (esempio)	Commenti
Scanalatura quadrata			<ul style="list-style-type: none">● Consente la misura del diametro di scanalature e incavi di varie forme.● Il diametro minimo della scanalatura misurabile è di circa 16 mm (differisce a seconda del profilo del pezzo).● La dimensione l dovrebbe essere come indicato di seguito: Per $W =$ meno di 2 mm: $l =$ meno di 2 mm Per $W = 2$ mm o più: $l = 2$ mm come valore standard che può essere modificato in base alle circostanze.● Il numero di incavi o dentellature è limitato a un multiplo di 3.● I dettagli del profilo del pezzo devono essere forniti al momento dell'installazione di un ordine personalizzato.● Se l'applicazione necessita di un campo di misura diverso da quello del micrometro per interni standard, sarà necessario un costo iniziale aggiuntivo per la misura dell'anello di riscontro.
Scanalatura rotonda			
Incavo			
Dentellatura			
Foro filettato			

Come leggere la scala

Risoluzione 0,005 mm

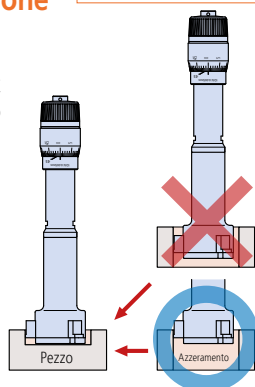
(1) bussola esterna	35	mm
(2) Tamburo	0,015	mm
Letture	35,015	mm



Variazioni dei risultati, in relazione alla posizione di misura

I risultati di misura ottenuti con l'Holtest possono variare in funzione del corretto posizionamento dello strumento nel foro da misurare. Si consiglia di azzerare lo strumento nella posizione il più possibile vicina a quella in cui verrà effettuata la misura.

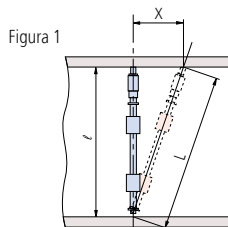
Quando si intende effettuare la misura con la punta dell'incudine, regolare l'azzeramento.



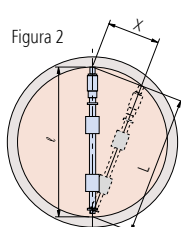
Errore di misura dovuto alla variazione di temperatura dei micrometri tubolari per interni

Il calore trasferito dall'operatore al micrometro deve essere ridotto il più possibile per evitare errori significativi dovuti alla differenza di temperatura tra lo strumento e il pezzo. Se il micrometro viene tenuto in mano dall'operatore è consigliabile che esso usi guanti protettivi o che, se possibile, sullo strumento siano installati appositi guancialini isolanti.

Errori di allineamento

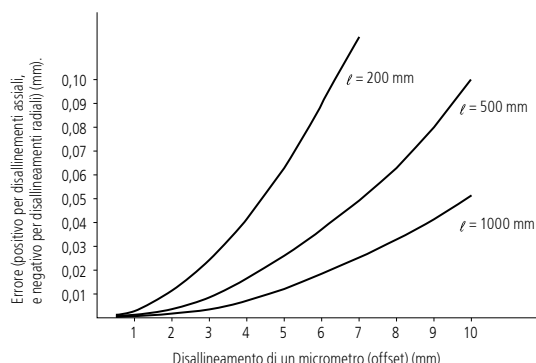


l : Diametro interno da misurare
 L : Lunghezza misurata con un offset assiale
 X : Offset in direzione assiale
 e : Errore di misura
 $L - l = \sqrt{L^2 - X^2} - l$



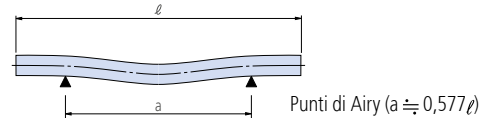
l : Diametro interno da misurare
 L : Lunghezza misurata con un offset radiale
 X : Offset in direzione radiale
 e : Errore di misura
 $L - l = \sqrt{L^2 - X^2} - l$

Se un micrometro tubolare per interni è disallineato in direzione assiale o radiale di un certo valore X , come nelle figure 1 e 2, il valore ottenuto sarà affetto da un errore, calcolabile con le formule illustrate più sopra e riportato graficamente nel grafico sotto.

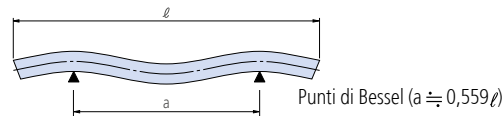


Punti di Airy e Bessel

Se un'asta di riscontro o un micrometro per interni si trovano in posizione orizzontale, appoggiati su due punti, saranno soggetti ad incurvarsi a causa del loro stesso peso, assumendo una forma legata alla distanza tra i due supporti. Al fine di controllare queste deformazioni vengono determinate, con apposite formule, le due distanze a cui posizionare i supporti. (vedi sotto)



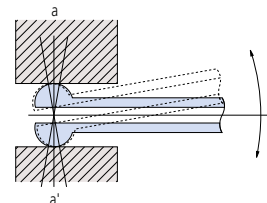
Le estremità di un'asta (o micrometro) possono essere rese esattamente orizzontali distanziando i due supporti simmetricamente come mostrato in precedenza. Questi punti sono conosciuti come i "Punti di Airy" e sono comunemente utilizzati per garantire che le estremità di un'asta siano parallele tra loro, in modo che la lunghezza sia ben definita.



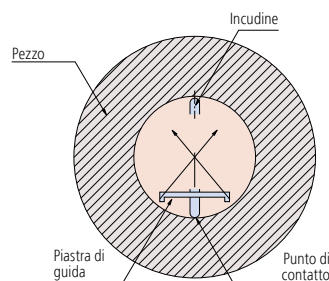
Le variazioni di lunghezza di un'asta (o di un micrometro) causate dall'incurvatura possono essere minimizzate distanziando simmetricamente i due supporti come mostrato sopra. Questi punti noti come "Punti di Bessel" risultano molto utili quando viene utilizzato un micrometro per interni lungo.

Alesametri

- Gli alesametri Mitutoyo per piccoli fori possiedono punti di contatto dotati di una ampia curvatura che gli consente un facile posizionamento per la misura del diametro "reale" del foro (in direzione a-a'). Il diametro "reale" è il valore minimo letto dal comparatore mentre l'alesametro viene fatto oscillare come indicato dalla freccia.



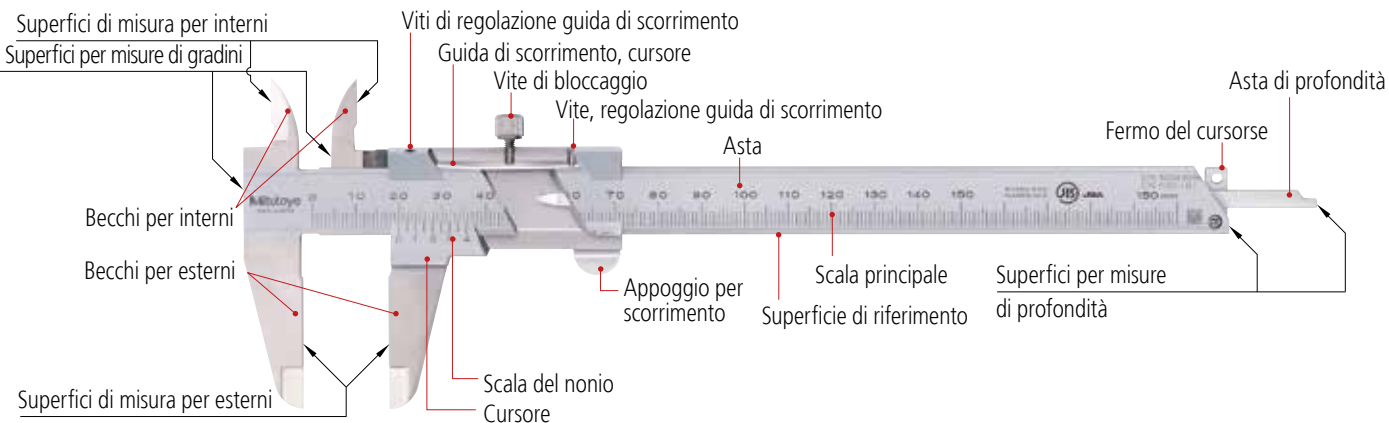
- Negli alesametri Mitutoyo a due punti di contatto è presente una guida supportata da una molla precaricata che garantisce l'allineamento radiale in modo tale che per trovare la lettura minima è richiesta una semplice oscillazione assiale (diametro "reale").



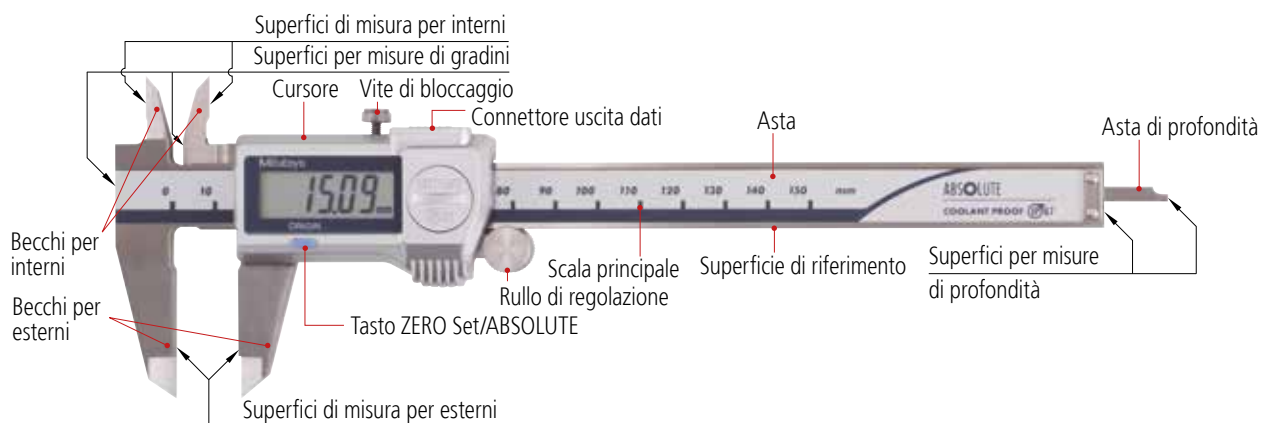
Calibri

Nomenclatura

Calibri a corsoio



Calibro Absolute Digimatic



Come leggere la scala

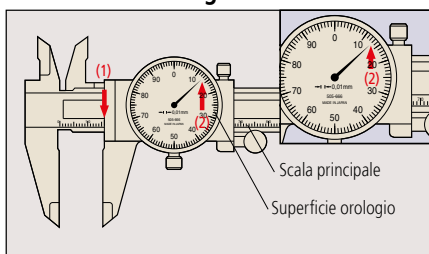
● Calibri a corsoio



Risoluzione 0,05 mm

(1) Lettura della scala principale	4,00 mm
(2) Lettura del nonio	0,75 mm
Letture	4,75 mm

● Calibri ad orologio



Risoluzione 0,01 mm

(1) Lettura della scala principale	16 mm
(2) Lettura dell'orologio	0,13 mm
Letture del calibro ad orologio	16,13 mm

Nota: Immagine sinistra, 0,75 mm (2) è rilevato alla posizione in cui la linea di graduazione della scala principale coincide con la linea di graduazione del nonio.

Esempi di misura

Misure di esterni



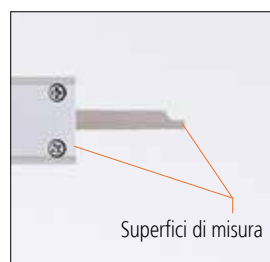
Misure di interni



Misure di gradini

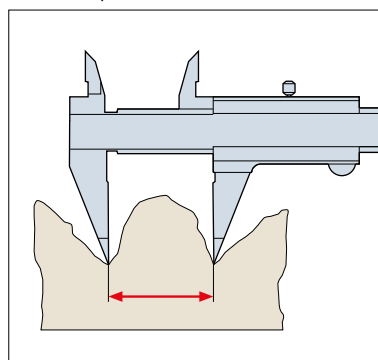


misura della profondità



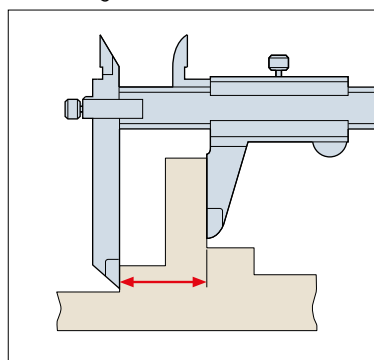
Calibri per applicazioni speciali

Becchi a punta



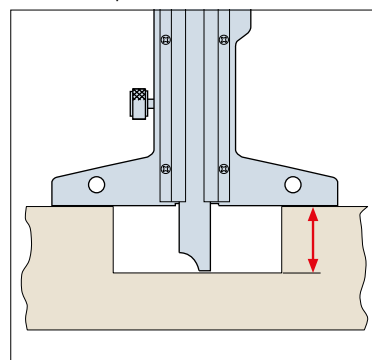
Per superfici irregolari

Becchi regolabili



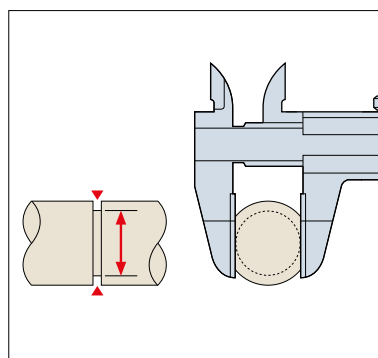
Per gradini

Calibro di profondità



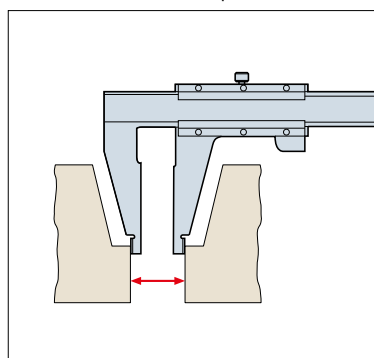
Per misure di profondità

Modello con becchi a lama



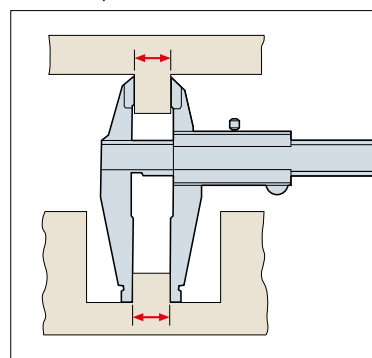
Per diametri di scanalature sottili

Modello con becchi a punta verso l'interno



Per diametri esterni come lo spessore di un incavo

Modello per tubi

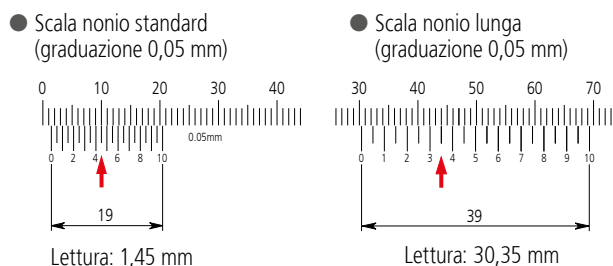


Per misure di spessori di tubi

Calibri

Tipi di nonio

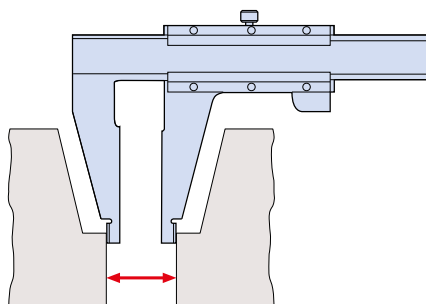
La scala del nonio è collegata al cursore del calibro e ciascuna divisione della sua scala è di 0,05 millimetri più corta di una divisione della scala principale (pari a 1 mm). Una volta che i becchi sono aperti, ogni movimento di 0,05 mm porta la linea successiva del nonio in coincidenza con una linea della scala principale e indica quante unità da 0,05 millimetri contare (per comodità la scala è numerata in frazioni di millimetro). In alternativa, per ottenere una scala del nonio più lunga è possibile realizzarla in modo che ogni sua divisione sia inferiore di 0,05 mm di due divisioni della scala principale. In questo modo la scala, pur conservando la graduazione, risulterebbe di più facile lettura.



Calibri lunghi

Comunemente, per misurare approssimativamente pezzi di grandi dimensioni, vengono utilizzate righe graduate in acciaio. Quando l'accuratezza richiesta diventa maggiore, è consigliabile utilizzare un calibro lungo. Nonostante la convenienza e la semplicità d'uso, è necessario porre attenzione ad alcune semplici regole. Per i dettagli, fare riferimento ai valori nel nostro catalogo. La risoluzione è costante, mentre l'accuratezza ottenibile varia notevolmente in base alla modalità di utilizzo del calibro.

Il metodo di misura adottato da questo strumento suscita dei dubbi poiché la distorsione dell'asta principale provoca numerosi errori di misura. Pertanto, l'accuratezza può variare enormemente anche in relazione al sistema con cui il calibro viene supportato. Utilizzando le superfici di misura esterne è importante non applicare una forza eccessiva poiché a causa dell'estrema lontananza dall'asta principale si potrebbe raggiungere il massimo dell'errore di misura. Questa precauzione è necessaria anche quando si usano le punte delle superfici di misura esterne di un calibro con becchi lunghi.



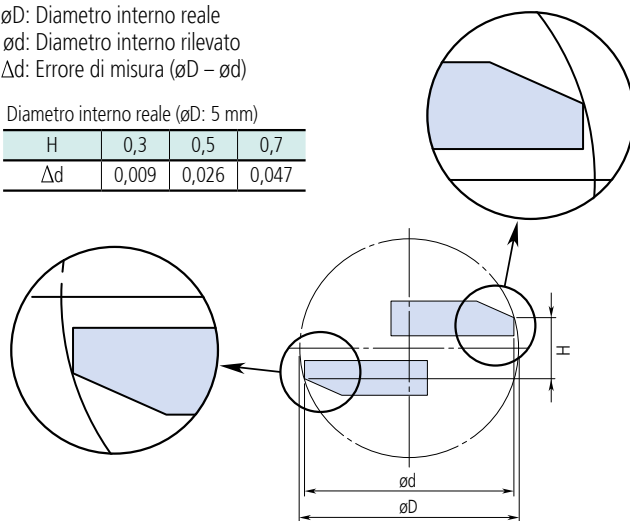
Misura di piccoli fori con il calibro M

La misura del diametro di piccoli fori con un calibro M risulta affetta da un errore strutturale dello strumento.

$\varnothing D$: Diametro interno reale
 $\varnothing d$: Diametro interno rilevato
 Δd : Errore di misura ($\varnothing D - \varnothing d$)

Diametro interno reale ($\varnothing D$: 5 mm)

H	0,3	0,5	0,7
Δd	0,009	0,026	0,047

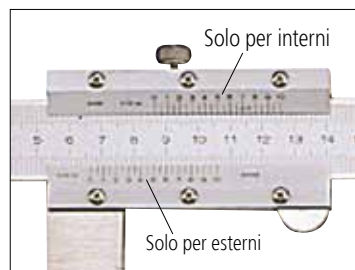


Misure interne con un calibro CM

Le superfici di misura dei becchi interni di un calibro CM si trovano sulle punte degli stessi e sono quindi soggette ad errori di parallelismo generati dall'applicazione di una eccessiva forza di misura. Questo tipo di errore incide sensibilmente sull'accuratezza che si desidera ottenere.

Contrariamente ai calibri M, gli strumenti di questo tipo non possono misurare fori troppo piccoli a causa delle dimensioni dei loro becchi, sebbene solitamente ciò non rappresenti un problema, poiché è insolito misurare fori molto piccoli con questo tipo di calibro. Naturalmente il raggio di curvatura delle superfici di misura è sufficientemente piccolo per permettere misure di diametri interni corrette fino al limite minimo (posizione con i becchi in chiusura).

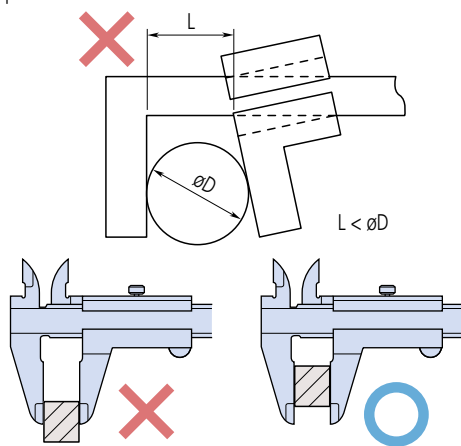
I calibri Mitutoyo CM sono dotati di una ulteriore scala che sul cursore che consente di effettuare misure dirette dei diametri interni senza la necessità di effettuare calcoli, così come per le misure esterne. Questa utile funzionalità elimina la possibilità di errore che si verifica quando si deve aggiungere la correzione dello spessore di un becco interno su un calibro a singola scala.



Indicazioni generali sull'uso del calibro

1. Potenziali cause di errore

Gli errori che si possono verificare durante l'uso di un calibro dipendono da una grande varietà di fattori. Tra i principali troviamo errori di parallasse, eccessiva forza di misura dovuta al fatto che il calibro non è conforme al principio di Abbe, dilatazioni termiche differenziali dovute a una differenza di temperatura tra il calibro e il pezzo, e l'effetto dello spessore dei becchi con bordo a lama e lo spazio tra questi becchi durante la misura del diametro di un foro piccolo. Ulteriori fonti di errore come l'accuratezza della graduazione della scala, la rettilineità dei bordi di riferimento, la planarità della scala principale sulla superficie di riferimento o l'ortogonalità dei becchi sono già considerati nelle tolleranze strumentali. Pertanto se lo strumento rientra nei limiti di errore previsti dal costruttore, essi non causeranno problemi. Al JIS sono state aggiunte delle note affinché i consumatori possano conoscere i fattori di errore provocati dalla struttura del calibro prima dell'uso. Si ribadisce che "poiché il calibro non dispone di un dispositivo di forza costante, è necessario misurare un pezzo con una forza di misura adeguata. Occorre prestare particolare attenzione quando si misura con il fondo o la punta dei becchi in quanto in questi casi potrebbero verificarsi rilevanti errori di misura".



2. Misure di interni

Inserire i becchi quanto più profondamente possibile prima di effettuare la misura.

Durante la misura leggere il valore massimo indicato.

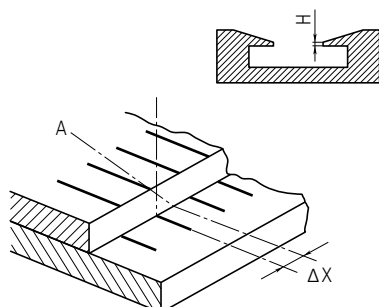
Nel caso della misura della larghezza di una scanalatura leggere il valore minimo indicato.

3. Misurazione della profondità

Durante le misure di profondità leggere il valore minimo rilevato.

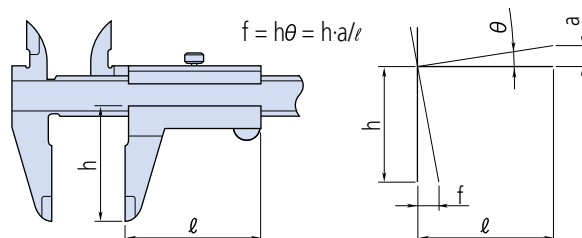
4. Errore di parallasse durante la lettura della scala

Quando si controlla l'allineamento della scala del nonio di un calibro con la sua scala principale è opportuno porsi quanto più possibile dritti rispetto alla stessa. Se si guarda la scala del nonio da una direzione obliqua (A), la posizione di allineamento risulta infatti sfalsata di un valore ΔX , (come mostrato in figura) a causa di un effetto di parallasse generato dal gradino (H) posto tra le due scale. Tutto questo provoca un errore di lettura del valore misurato. Per evitare questo errore, il JIS prevede che l'altezza del gradino non deve essere superiore a 0,3 mm.



5. Errore dovuto all'inclinazione dei becchi

Se il becco mobile, a causa dell'applicazione di una eccessiva forza di misura, o a causa della non rettilineità del bordo del pezzo preso come riferimento per la misura, si inclina fino a non essere più parallelo al becco fisso, si genererà un errore, come mostrato in figura. Questo errore è sostanzialmente causato dal fatto che il calibro, trovandosi nelle situazioni evidenziate, non risulta più conforme al principio di Abbe.



Esempio: assumendo che l'errore di inclinazione del becco provocato dall'inclinazione del cursore sia di 0,01 mm a 50 mm e che i becchi per esterni siano profondi 40 mm, l'errore sulla punta dei becchi viene calcolato come $(40/50) \times 0,01 \text{ mm} = 0,008 \text{ mm}$.

Se la superficie di misura è usurata, è possibile il verificarsi dell'errore anche in caso di applicazione di una corretta forza di misura.

6. Relazione tra misura e temperatura

La scala principale di un calibro viene incisa (o montata) su acciaio inox, e il suo coefficiente di espansione termica lineare (acciaio, $(10,2 \pm 1) \times 10^{-6}/K$) è uguale a quello dei più comuni materiali misurati. È opportuno notare che la misura di materiali diversi, la loro temperatura e la temperatura dell'ambiente di lavoro possono influire sull'accuratezza della misura.

7. Gestione

I becchi dei calibri sono taglienti, prestare attenzione nel maneggiare lo strumento per evitare di ferirsi.

Per evitare di danneggiare la scala dello strumento non incidere numeri di identificazione o altre informazioni con una marcatrice.

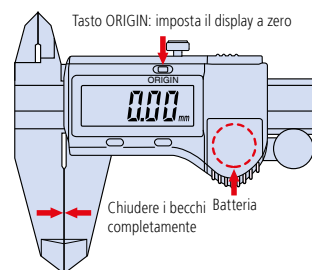
Evitare impatti con oggetti duri o cadute su un tavolo o sul pavimento.

8. Manutenzione delle superfici di scorrimento e di misura

Pulire le superfici di misura e scorrimento con un panno morbido e asciutto prima di utilizzare lo strumento.

9. Controllo ed impostazione del punto di origine

Pulire le superfici di misura inserendo tra loro un foglio di carta e, a becchi chiusi, estrarlo lentamente. Chiudere i becchi completamente e verificare che la scala (o il display) indichino zero. Nell'utilizzo di un calibro Digimatic, resettare l'origine dopo la sostituzione delle batterie (tasto ORIGIN).



10. Precauzioni dopo l'uso

Dopo l'uso, pulire completamente lo strumento da acqua ed olio. Quindi, applicare uno strato sottile di olio anticorrosione e lasciarlo asciugare prima di riporre lo strumento nella scatola.

Nel caso di un calibro con protezione IP rimuovere completamente acqua o liquidi che potrebbero favorire la formazione di ruggine.

11. Note sulla conservazione

Non esporre lo strumento a raggi diretti del sole, alte temperature, basse temperature e umidità.

Se un calibro digitale non dovesse essere usato per più di tre mesi, rimuovere la batteria.

Lasciare i becchi del calibro leggermente aperti.

Misuratori di altezze (truschini)

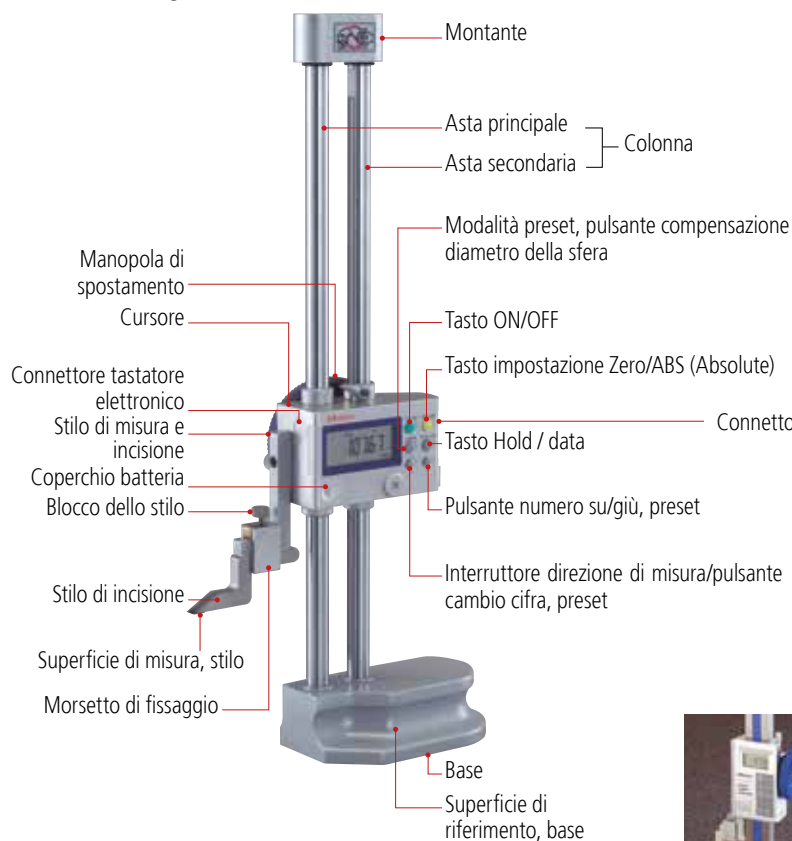
Nomenclatura

Truschini meccanici

Truschino meccanico con contatore



Truschini Digimatic



Applicazioni con accessori opzionali



Applicazione con comparatore a leva



Applicazione con tastatore elettronico bidirezionale



Applicazione con punta per fori

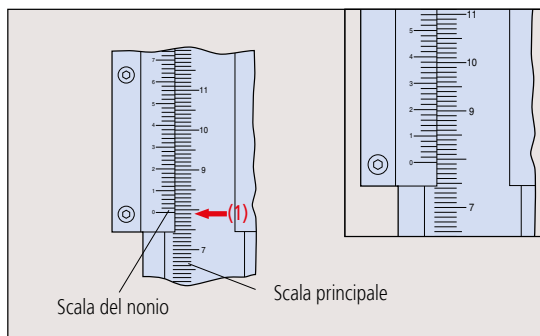


Applicazione con tastatore di profondità

Misuratori di altezze (truschini)

Lettura

Truschino meccanico con nonio



Risoluzione **0,02 mm**

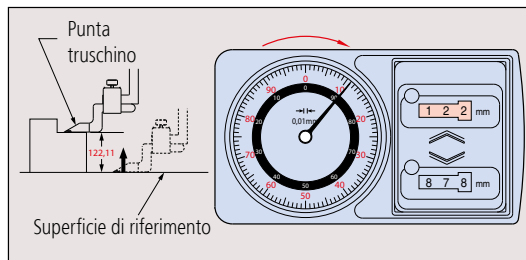
(1) Scala principale 79 mm

(2) Nonio 0,36 mm

Letture 79,36 mm

Truschino meccanico con visualizzatore

Misure a salire da una superficie di riferimento

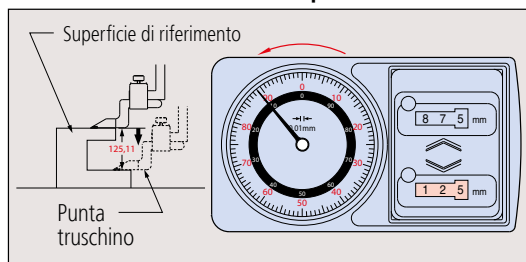


Visualizzatore 122 mm

Quadrante 0,11 mm

Letture 122,11 mm

Misure a scendere da una superficie di riferimento



Visualizzatore 125 mm

Quadrante 0,11 mm

Letture 125,11 mm

Note generali sull'uso dei truschini

1. Potenziali cause di errore

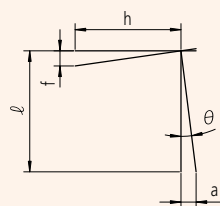
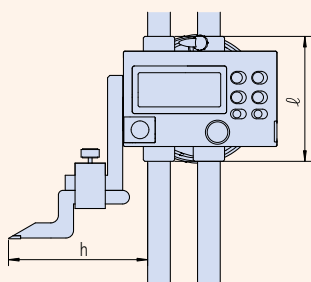
Come nei calibri, le cause principali di errore, includono gli effetti della parallasse, l'applicazione di un'eccessiva forza di misura con conseguente non conformità dello strumento al principio di Abbe, la differenza di temperatura tra lo strumento ed il pezzo in misura.

Ci sono anche altri fattori di errore causati dalla struttura del truschino. In particolare, devono essere studiati i fattori di errore relativi a un bordo di riferimento deformato e all'installazione della punta.

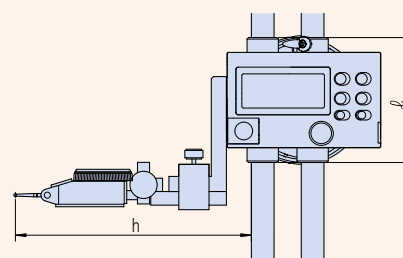
2. Deformazione delle colonne ed installazione della punta.

La deformazione delle colonne del truschino, che hanno il compito di guidare il movimento del cursore, genera gravi errori di misura (vedi figura). La formula qui utilizzata per quantificare questo errore è la stessa che definisce l'errore causato dalla non conformità al principio di Abbe.

L'installazione della punta a tracciare (o di un comparatore a leva) richiede una attenta valutazione perché, in caso di deformazione delle colonne, inciderebbe sensibilmente sul parametro h della formula indicata. In altre parole, se vengono utilizzate punte o comparatori a leva con lunghezze maggiori, potrebbe verificarsi un aumento dell'errore di misura.



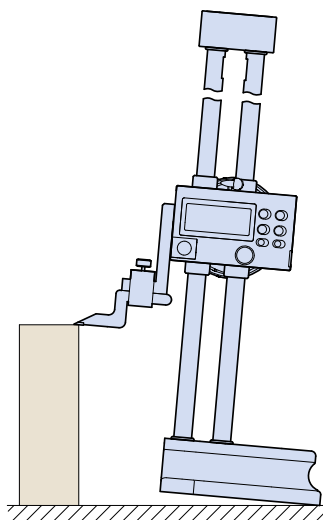
$$f = h \theta = h \frac{a}{l}$$



Esempio: effetto della posizione del punto di misura
Con $h = 150$ mm, l'errore è 1,5 volte maggiore di quando h è 100 mm.

3. Sollevamento della base del truschino dalla superficie di riferimento

Durante il posizionamento della punta su un blocchetto di riscontro o sul pezzo, applicando una forza eccessiva sul cursore, può avvenire un sollevamento della base del truschino dal piano di riferimento e una conseguente generazione di un errore di misura. Per un posizionamento corretto, spostare il cursore lentamente verso il basso muovendo la punta avanti e indietro sulla superficie del blocchetto di riscontro o del pezzo. L'impostazione è corretta quando la punta sfiora appena la superficie in misura. È inoltre necessario assicurarsi che la superficie del pezzo, della punta e quella di riferimento per la base del truschino siano prive di polvere o bave.



4. Errore dovuto all'inclinazione della scala principale (colonna)

Secondo gli standard JIS, la perpendicolarità del bordo di riferimento della colonna rispetto alla superficie di riferimento della base dovrebbe essere migliore di:

$$\left(0,01 + \frac{L}{1000}\right) \text{ mm} \quad L \text{ indica la lunghezza di misura (unità: mm)}$$

Questa non è una specifica molto onerosa. Ad esempio, il limite di perpendicolarità ammissibile è 0,61 mm quando L è 600 mm. Questo perché il fattore di errore ha una piccola influenza e non modifica l'inclinazione del cursore, a differenza di una colonna deformata.

5. Relazione tra accuratezza e temperatura

I truschini sono assemblati con materiali differenti tra loro. Alcune combinazioni tra il materiale dello strumento, la temperatura ambiente e quella del pezzo possono influire sull'accuratezza della misura. È opportuno effettuare un apposito calcolo di correzione sui parametri rilevati.

6. La punta di un truschino è tagliente e deve essere maneggiata con cura al fine di evitare ferite.

7. Per non danneggiare la scala principale del truschino non effettuare incisioni di numeri di identificazione o di altre informazioni con marcatrici elettriche.

8. Maneggiare con cura il truschino in modo da non farlo cadere o urtare altri oggetti.

Note sull'uso del truschino

1. Mantenere pulita la colonna che guida il cursore. Se la polvere o lo sporco vi si accumulano, lo scorrimento diventa difficile causando errori di impostazione e di misura.
2. Quando lo strumento viene utilizzato per tracciare, fissare saldamente il cursore nella posizione desiderata tramite gli appositi blocchi in dotazione. Si consiglia di confermare l'impostazione dopo il fissaggio perché l'azione di fissaggio su alcuni truschini può modificare leggermente l'impostazione. Se è così, durante l'impostazione è necessario tenere in considerazione una tolleranza per compensare questo effetto.
3. Il parallelismo tra la superficie di misura della punta e la superficie di riferimento della base, deve essere di 0,01 mm o maggiore. Rimuovere eventuali tracce di polvere o sbavature sulla superficie di montaggio al momento dell'installazione della punta o del comparatore a leva prima della misura. Verificare il fissaggio della punta e delle altre parti durante la misura.
4. Se la scala principale del truschino può essere spostata, regolarla come richiesto per impostare il punto zero, quindi fissarla saldamente.
5. Gli errori di misura dovuti all'errore di parallasse non sono trascurabili. Porsi sempre direttamente davanti alle graduazioni durante la lettura dei valori rilevati.
6. Gestione dopo l'uso: pulire completamente lo strumento da acqua e olio. Applicare un leggero strato di olio anticorrosione e lasciare asciugare prima di riporlo nella scatola.
7. Note sulla conservazione:
Non esporre lo strumento a raggi diretti del sole, alte temperature, basse temperature e umidità.
Se un truschino digitale non verrà utilizzato per più di tre mesi, rimuovere la batteria.
Utilizzare l'apposita copertura per proteggere lo strumento da polvere e sporcizia.

Blocchetti di riscontro

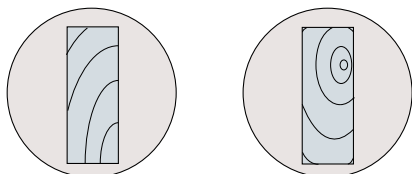
Definizione del metro

Nel 1983 la 17ª Conferenza Generale di Pesi e Misure diede una nuova definizione di metro come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299 792 458 di secondo. Il blocchetto di riscontro è la realizzazione pratica di questa definizione ed è usato ampiamente nelle industrie di tutto il mondo.

Selezione, preparazione e assemblaggio di una pila di blocchetti di riscontro

Selezionare i blocchetti di riscontro da combinare per ottenere le dimensioni necessarie per la pila.

- (1) Prendere in considerazione le seguenti regole quando si selezionano i blocchetti di riscontro.
 - a. Utilizzare il numero minimo di blocchetti possibile.
 - b. Selezionare i blocchetti spessi quando possibile.
 - c. Selezionare la dimensione partendo da quello con la cifra più bassa richiesta lavorando a ritroso fino alle cifre più alte.
- (2) Pulire i blocchetti con un detergente appropriato.
- (3) Verificare la presenza di bave sulle superfici di misura utilizzando una parallela ottica come segue:



- a. Pulire ogni superficie di misura.
- b. Posizionare delicatamente il piano ottico sulla superficie di misura del blocchetto.
- c. Far scivolare leggermente il piano ottico finché non appaiono le frange di interferenza.
 - Giudizio 1: Se non appaiono frange di interferenza, sulla superficie di misura è probabilmente presente una grossa bava o una sostanza contaminante.
 - Giudizio 2: Se le frange di interferenza scompaiono, sulla superficie di misura non è presente alcuna bava.
 - Giudizio 3: Se alcune frange di interferenza rimangono localmente, mentre il piano viene spostato delicatamente avanti e indietro, sulla superficie di misura è presente una bava. Se le frange si muovono insieme all'apposito piano ottico, sulla superficie ottica è presente una bava.
- d. Premere leggermente il piano ottico per verificare che le frange di interferenza non siano più visualizzate.
- e. Rimuovere le bave, se presenti, dalla superficie di misura utilizzando una pietra abrasiva piatta e finissima. Fare riferimento alle figure riportate di seguito per le procedure.

Figura 1

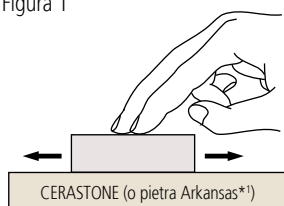
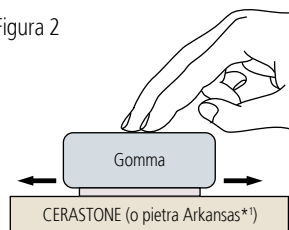


Figura 2

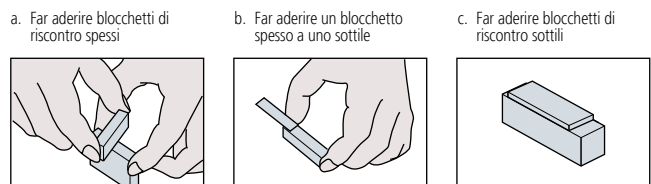


- (1) Rimuovere la polvere e i film di olio dal blocchetto di riscontro e dalla Cerastone (o pietra Arkansas) utilizzando un solvente.
- (2) Posizionare il blocchetto di riscontro sulla Cerastone in modo che la superficie di misura che presenta bave sia rivolta verso la superficie abrasiva della pietra. Applicando una pressione leggera, spostare il blocchetto di riscontro avanti e indietro per circa dieci volte (Fig. 1). Per applicare una pressione uniforme sui blocchetti di riscontro sottili utilizzare una gomma di blocco (Fig. 2).
- (3) Controllare la presenza di bave sulla superficie di misura con l'ausilio di una parallela ottica. Se le bave non sono state rimosse, ripetere il passaggio (2). Se le bave sono troppo grandi, non possono essere rimosse con una pietra abrasiva. In tal caso, scartare il blocchetto di riscontro.

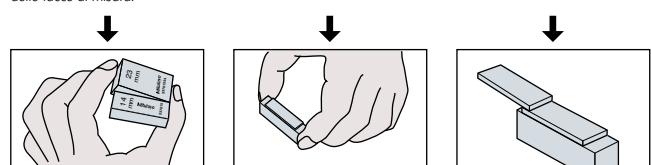
*1 Mitutoyo non offre pietre Arkansas.

- (4) Applicare una piccola quantità di olio spalmandola in modo uniforme sulla superficie di misura. (Pulire la superficie finché la pellicola dell'olio non viene quasi totalmente rimossa.) Sono generalmente utilizzati grassi, olio per mandrini, vaselina, ecc.

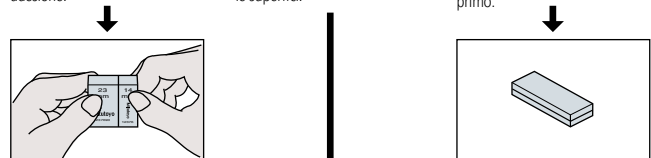
- (5) Sovrapporre delicatamente le superfici dei blocchetti di riscontro da far aderire. Esistono tre metodi da utilizzare (a, b e c come mostrato di seguito) in base alla dimensione dei blocchetti di riscontro da far aderire:



a. Far aderire blocchetti di riscontro spessi
b. Far aderire un blocchetto spesso a uno sottile
c. Far aderire blocchetti di riscontro sottili



Adesione tra blocchetti sottili
Sovrapporre una superficie di misura del blocchetto sottile a una del blocchetto più spesso.
Per evitare la flessione del blocchetto sottile posizionarlo su uno più spesso.



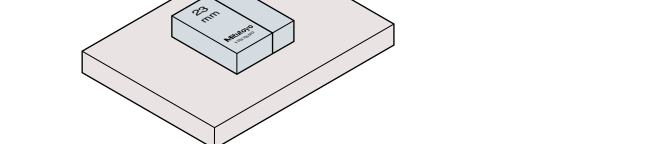
Ruotare i blocchetti applicando una leggera pressione. Potrete apprezzare la sensazione di adesione.
Far scorrere il blocchetto sottile mantenendo una pressione sull'intera area fino ad allineare le superfici.
Proseguire l'adesione dei blocchetti sottili partendo dal primo.



Allineare le superfici di misura tra loro.
Al termine rimuovere il blocchetto più spesso dalla pila.
Applicare una parallela ottica sulla superficie di uno dei blocchetti sottili per verificarne lo stato.



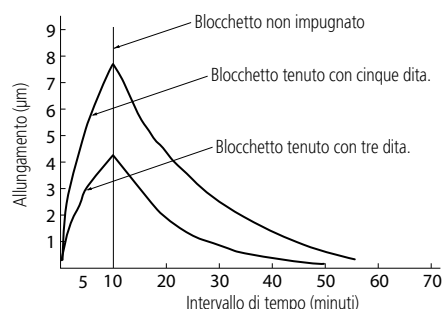
Frangere di interferenza irregolari



Pulire le superfici di misura esposte e proseguire la costruzione della pila ripetendo le operazioni indicate, fino a raggiungere la misura desiderata.

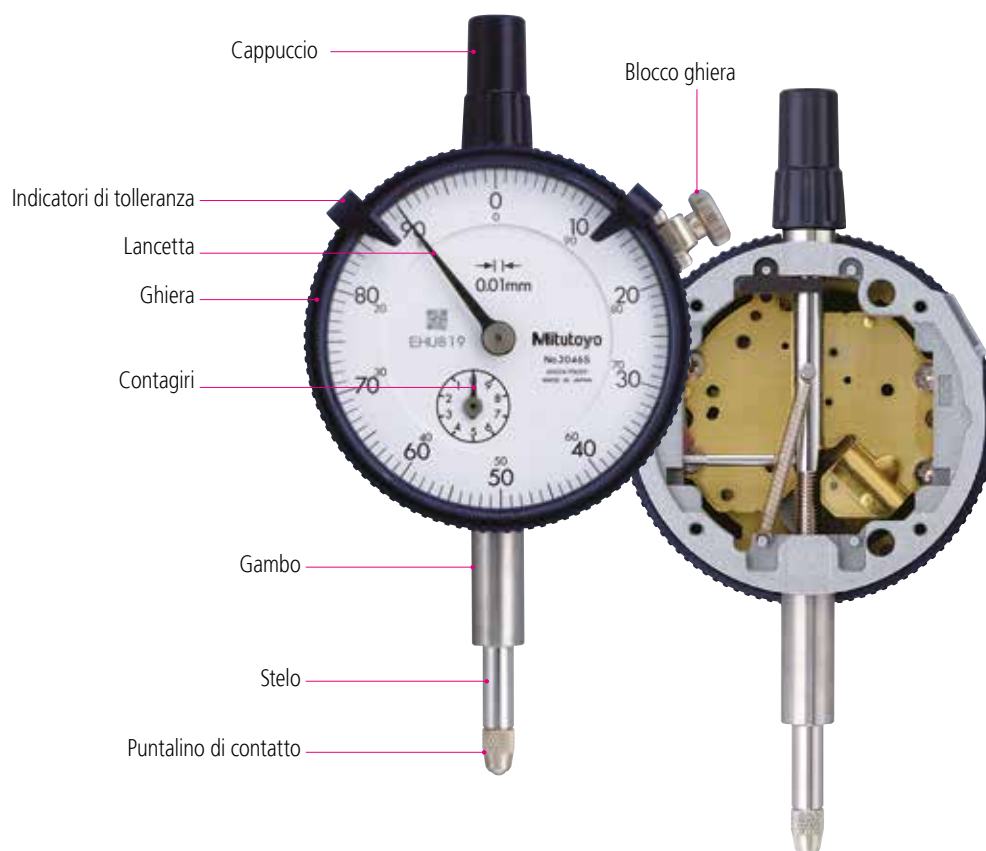
Stabilizzazione termica

Il diagramma illustrato mostra il grado di alterazione dimensionale che avviene quando si maneggia un blocchetto in acciaio da 100 mm a mani nude.



Comparatori analogici e digitali

Nomenclatura



PG
27

Tipi di scale

0,01 mm



Scala progressiva
(graduazione bidirezionale)



Scala su due lati (multigiro)



Scala progressiva
(lettura in senso antiorario)



Scala su due lati (un giro)

0,001 mm



Scala progressiva
(Con spaziatura standard)



Scala su due lati (multigiro)



Scala progressiva (Con spaziatura doppia)



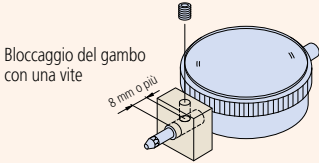
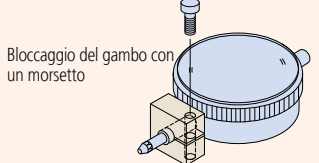
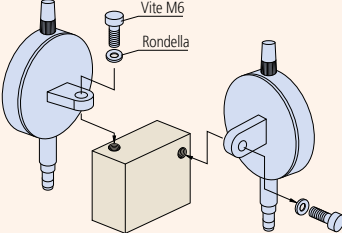
Scala su due lati (un giro)

Scala progressiva:
Scala sui due lati:
Scala con lettura in senso antiorario:
Scala di un giro:

Per lettura diretta
Per la lettura della differenza rispetto a una superficie di riferimento
per misure di profondità o per uso con alesametri
per misure prive di errori di piccoli valori

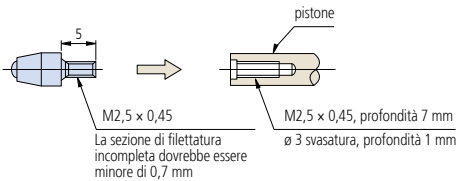
Comparatori analogici e digitali

Montaggio di un comparatore a quadrante


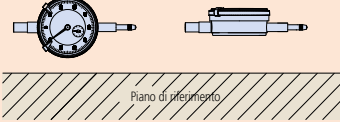

Fissaggio tramite il gambo	Metodo		
	Nota	<ul style="list-style-type: none">• Tolleranza del foro: $\varnothing 8G7(+0,005 \text{ a } 0,02)$• Vite di fissaggio: da M4 a M6• Posizione di fissaggio: 8 mm o più dal bordo inferiore del gambo• Massima forza di serraggio: 150N-cm quando si utilizza una singola vite M5• Un'eccessiva forza di serraggio può compromettere lo scorrimento dello stelo.	<ul style="list-style-type: none">• Tolleranza del foro: $\varnothing 8G7(+0,005 \text{ a } 0,02)$
Fissaggio tramite fondello con asola	Metodo		
	Nota	<ul style="list-style-type: none">• L'asola può essere ruotata di 90° in relazione all'applicazione da eseguire. (In fabbrica viene installata orizzontalmente).• L'asola di alcuni modelli della Serie 1 (Cod.1911T-10, 1913T-10 e 1003T), non può essere spostata in direzione orizzontale.• Per ridurre gli errori dovuti all'effetto coseno, accertarsi che il comparatore sia installato con lo stelo in linea con la direzione di misura desiderata.	

Puntalino di contatto


- La filettatura della vite è standardizzata a M2,5x0,45 (Lunghezza: 5 mm).
- La sezione non filettata alla radice della vite, in caso di autocostruzione, dovrebbe essere inferiore a 0,7 mm.



Effetti dell'orientamento sulla forza di misura

Posizione	Commenti
<p>Puntalino di contatto verso il basso (posizione normale)</p> 	<p>Se la misura viene eseguita con lo stelo orizzontale o il puntalino di contatto rivolto verso l'alto, la forza di misura è inferiore rispetto a quando il puntalino di contatto è rivolto verso il basso. In questo caso assicurarsi di controllare l'operazione e la ripetibilità del comparatore o del display digitale. Per le specifiche di funzionamento in base alle posizioni dei comparatori digitali e dei comparatori analogici, fare riferimento alle descrizioni dei prodotti in un catalogo generale.</p>
<p>Stelo orizzontale (posizione laterale)</p> 	
<p>Puntalino di contatto rivolto verso l'alto (posizione rovesciata)</p> 	

Impostazione dell'origine di un comparatore digitale



Le specifiche del comparatore non sono garantite in un campo di 0,2 mm dalla fine della corsa. Durante l'impostazione dell'origine o la preimpostazione di un valore definito, verificare che lo stelo sia sollevato di almeno 0,2 mm rispetto alla fine della sua corsa.

Manutenzione dello stelo

- Non lubrificare lo stelo. Potrebbe verificarsi un accumulo di polvere e sporco con conseguenti malfunzionamenti.
- Se il movimento dello stelo risulta faticoso, effettuare una pulizia con un panno asciutto o imbevuto di alcol. Se non si ravvisano miglioramenti, contattare Mitutoyo per effettuare la riparazione.
- Prima di effettuare una misura verificare il movimento scorrevole dello stelo e la stabilità del punto di origine.

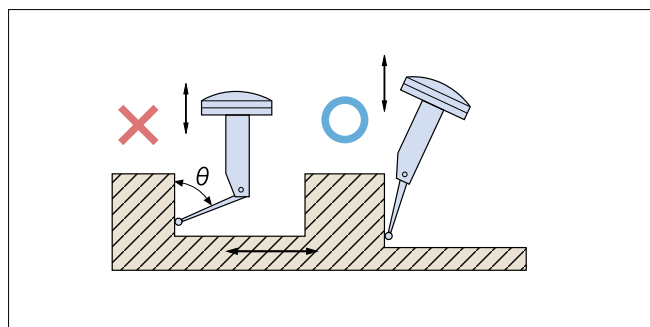
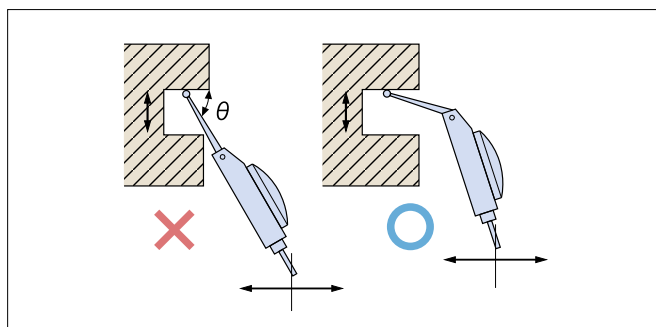
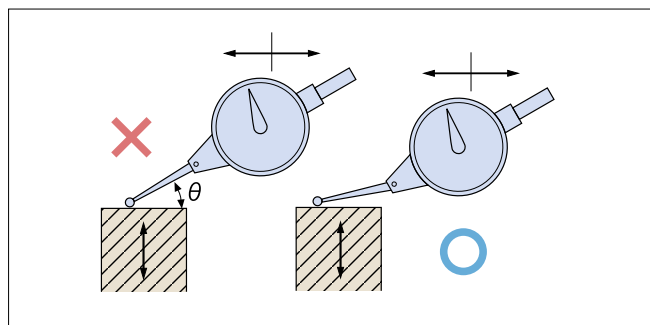
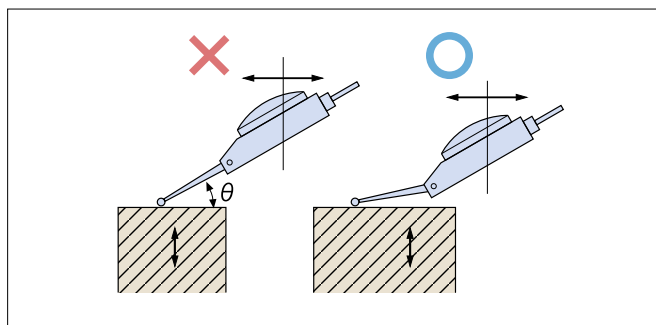
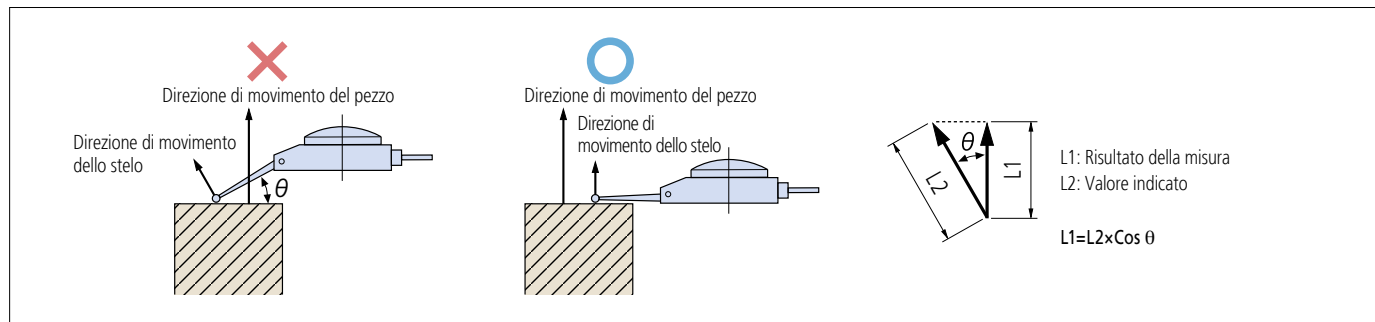


Comparatori analogici e digitali

Comparatori a leva ed effetto coseno

Minimizzare sempre l'angolo tra le direzioni di movimento durante l'uso.

PG
30



La lettura di un qualunque comparatore non risulta accurata se la direzione di spostamento del suo stelo, durante la misura, non è allineata alla direzione di spostamento del pezzo (effetto coseno). Poiché la direzione di misura di un comparatore a leva, è ad angolo retto rispetto a una linea tracciata dal punto di contatto e dal perno dello stelo, questo effetto può essere ridotto al minimo impostando lo stilo in modo da ridurre al minimo l'angolo θ (come mostrato nelle figure). Se necessario, per ottenere la lettura corretta, è possibile compensare la lettura del quadrante θ utilizzando la tabella seguente.

Risultato corretto = valore indicato x valore di compensazione

Compensazione per un angolo diverso da 0

Angolo	Valore di compensazione
10°	0,98
20°	0,94
30°	0,86
40°	0,76
50°	0,64
60°	0,50

Esempio

Per una lettura del comparatore di 0,200 mm, a differenti valori dell'angolo θ , le relative letture corrette si ottengono come indicato:

Per $\theta = 10^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times 0,98 = 0,196 \text{ mm}$

Per $\theta = 20^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times 0,94 = 0,188 \text{ mm}$

Per $\theta = 30^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times 0,86 = 0,172 \text{ mm}$

Nota: è possibile applicare uno speciale punto di contatto, di forma involuta, che compensa automaticamente l'effetto coseno per un angolo θ compreso tra 0° e 30° , eliminando la necessità di effettuare la correzione manuale della lettura. (Questo tipo di contatto è personalizzato.)

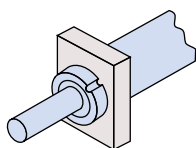


Linear Gauges

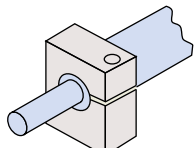
Testa

Gambo liscio e gambo con ghiera di fissaggio

Il gambo che viene utilizzato per fissare un Linear Gauge può essere "liscio" o "con ghiera di fissaggio" come sotto illustrato. Il sistema con ghiera assicura un serraggio rapido e sicuro. Lo stelo liscio amplia però il range di applicazione della testa e ne permette una regolazione più precisa in direzione assiale durante il posizionamento finale. Necessita però di un sistema di fissaggio alternativo o di sistemi adesivi. Si consiglia di non applicare una eccessiva forza di serraggio sul gambo.



Modello con ghiera di bloccaggio sullo stelo



Gambo liscio

Forza di misura

Forza esercitata su un pezzo, dal punto di contatto del Linear gauge al suo fine corsa, espressa in newton.

Misura per comparazione

Metodo di misura nel quale la dimensione di un pezzo viene trovata misurando la differenza tra le dimensioni nominali di campione e quelle effettive del pezzo.

Grado di protezione IP

Grado di protezione IP54

Tipo	Livello	Descrizione
Protegge il corpo umano e protegge contro oggetti estranei	5: Protezione dalla polvere	Protezione contro polveri
Protezione contro l'esposizione all'acqua	4: Resistente agli spruzzi	Protezione dalla penetrazione di acqua da spruzzi provenienti da qualunque direzione.

Grado di protezione IP66

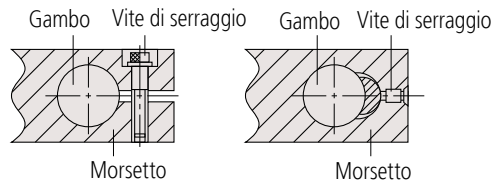
Tipo	Livello	Descrizione
Protezione contro il contatto con il corpo umano e oggetti estranei	6: Polvere fine	Protezione dall'ingresso di polvere Protezione completa dal contatto
Protezione contro l'esposizione all'acqua	6: Resistente all'acqua	Protezione dalla penetrazione di acqua da getti provenienti da qualunque direzione.

Precauzioni nell'installazione del Linear Gauge

- Inserire il gambo dello strumento nel morsetto del sistema di misura, o nel supporto e serrare la vite.
- Si noti che un serraggio eccessivo del gambo può causare problemi di funzionamento dello stelo.
- Non fissare mai un Linear Gauge su altre parti che non siano il gambo.
- Montare il punto di contatto, in modo che sia in linea con la direzione di misura prevista. Una deviazione rispetto a questa direzione provoca un errore di misura.
- Non applicare forza al cavo del Linear Gauge.

Precauzioni durante l'installazione del Laser Hologage

Per fissare il Laser Hologage, inserire il gambo nel supporto o sistema di fissaggio dedicato.



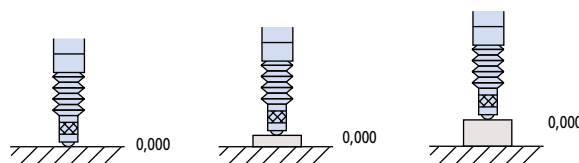
Diametro raccomandato per il foro di fissaggio: 15 mm +0,034/-0,014

- Il foro di attacco deve essere lavorato in modo da avere l'asse parallelo alla direzione di misura. Montare lo strumento con un angolo differente causerà errori di misura.
- Durante il fissaggio del Laser Hologage, non serrare troppo il gambo. Il sovraccarico del gambo può compromettere la capacità di scorrimento dello stelo.
- Se la misura viene effettuata con il Laser Hologage in movimento, montarlo in modo che il cavo non venga sollecitato e nessuna forza eccessiva sia esercitata sulla testa dello strumento.

Unità display

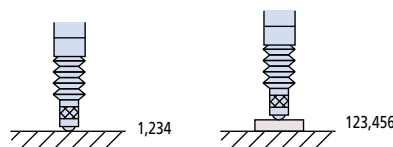
Azzeramento

Il valore visualizzato può essere azzerato con lo stelo in qualunque posizione.



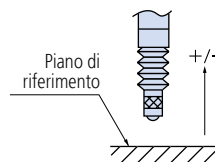
Preimpostazione

Qualunque valore numerico può essere impostato a display in modo che il conteggio parta da quel valore.



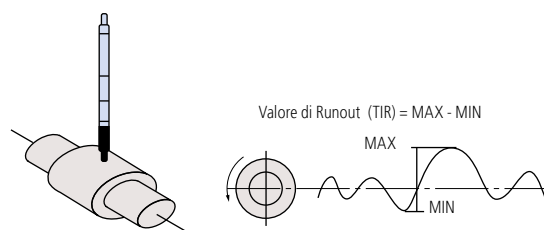
Inversione di direzione

La direzione di misura del gambo può essere impostata sia in valore positivo (+) che in valore negativo (-).



Impostazione MAX, MIN, TIR

L'unità display può bloccarsi sul valore massimo (MAX) o minimo (MIN) rilevabile, o indicare la differenza tra MIN e MAX durante la misura.



Impostazione della tolleranza

I limiti di tolleranza possono essere impostati in varie modalità per indicare automaticamente a display eventuali superamenti degli stessi.

Uscita Open Collector

Un transistor interno allo strumento, che funziona in base a condizioni specifiche, (valori dei risultati del giudizio di tolleranza, ecc.), può attivare un dispositivo esterno come un relè o un circuito logico.

Uscita relè

Uscita che invia un segnale aperto/chiuso.

RS-422

Standard, bidirezionale, con o senza segnali di riferimento zero. I Linear Gauge Mitutoyo RS422 incorporano dispositivi elettronici digitali (segnale di uscita a onda quadra). Alimentazione 5VCC

Codice Digimatic

Protocollo di comunicazione utilizzato nella connessione di strumenti di misura predisposti con vari sistemi e dispositivi di elaborazione dati Mitutoyo. Ad esempio, rende possibile la comunicazione con il Miniprocessore Statistico Digimatic Mitutoyo DP-1VR per l'elaborazione statistica dei dati rilevati.

Uscita BCD

Sistema per l'uscita dei dati in formato binario decimale.

Uscita RS-232C

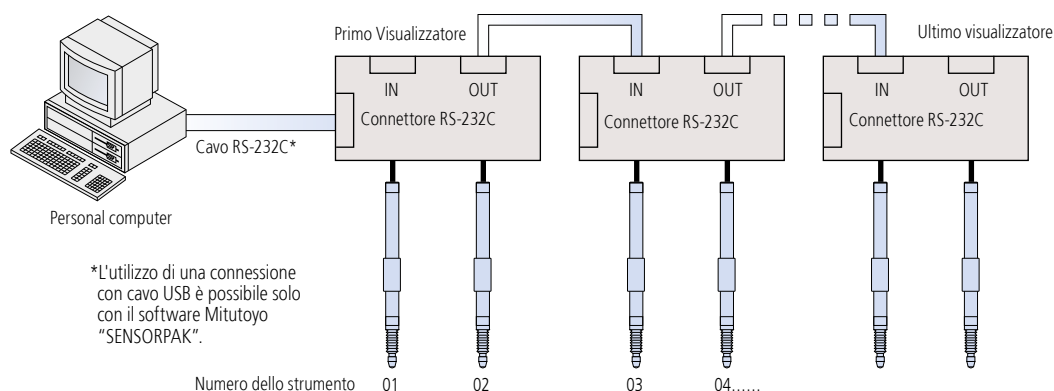
Interfaccia seriale di comunicazione nella quale i dati vengono trasmessi in modo bidirezionale secondo le normative EIA.

Per le procedure di trasmissione fare riferimento alle specifiche di ciascun strumento di misura.

Funzione RS Link È possibile eseguire misure multipunto connettendo diversi visualizzatori EH o EV con cavi RS Link.

RS Link per visualizzatore EH

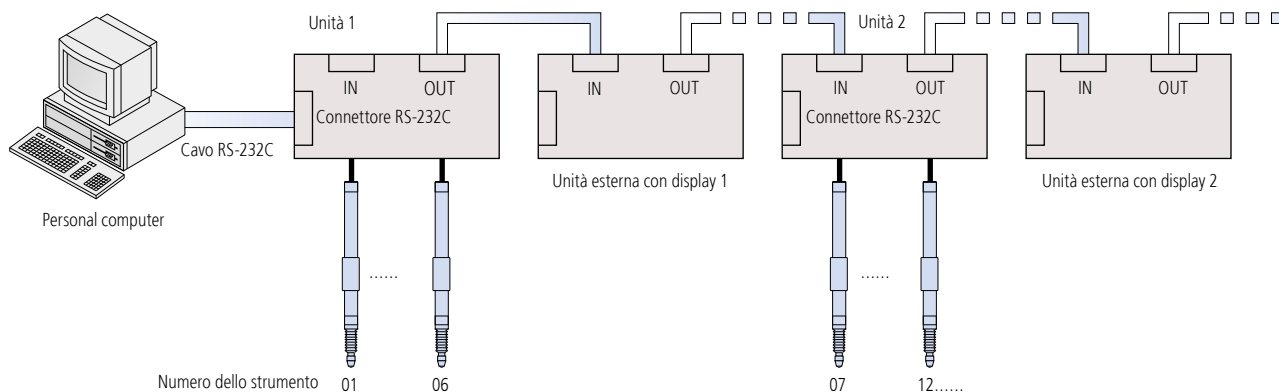
Questo sistema consente di connettere sino ad un massimo di 10 visualizzatori e gestire sino a 20 canali in una misura multipunto contemporaneamente. Per questa connessione, utilizzare il cavo RS Link dedicato **N. 02ADD950** (0,5 m), **N. 936937** (1 m) o **N. 965014** (2 m). (La lunghezza totale dei cavi RS Link permessa nell'intero sistema è 10 m.)



RS Link per visualizzatore EV

Questo sistema consente di connettere e gestire contemporaneamente sino ad un massimo di 10* visualizzatori e sino a 60 canali in una misura multipunto. Per questa connessione, utilizzare il cavo RS Link dedicato **N. 02ADD950** (0,5 m), **N. 936937** (1 m) o **N. 965014** (2 m). (La lunghezza totale dei cavi RS Link permessa nell'intero sistema è 10 m.)

* Se viene collegato un visualizzatore EH il numero massimo di unità collegabile scende a 6.



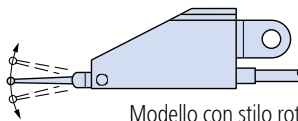
Micrometri elettronici

Sonda

Un sensore che converte il movimento di un punto di contatto su uno stilo o su di uno stelo in un segnale elettrico.

Sonde a leva

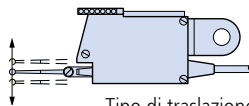
Le sonde a leva sono disponibili in due modelli. Il tipo più comune utilizza uno stilo rotante, in modo che il punto di contatto si possa muovere in un arco circolare; questo modello è soggetto all'effetto coseno e pertanto, le misure, possono richiedere la correzione della linearità se la direzione di misura è molto diversa dalla direzione di movimento del punto di contatto. Il tipo meno comune utilizza un meccanismo di traslazione parallelo a molla, per cui il movimento del punto di contatto è lineare; questo modello non richiede alcuna correzione.



Modello con stilo rotante

MLH-521 (la direzione di misura può essere commutata con la leva su/giù)

MLH-522 (la direzione di misura non è commutabile)

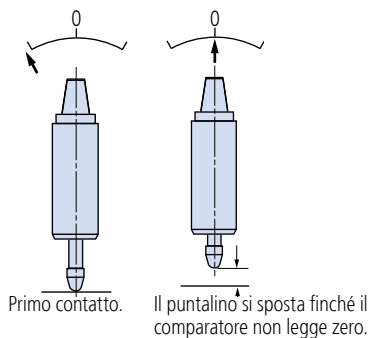


Tipo di traslazione parallela

MLH-526 (la direzione di misura può essere commutata con il quadrante superiore)

Pre-spostamento

La distanza dal primo contatto con un pezzo fino a quando il comparatore non legge zero.



Primo contatto.

Il puntalino si sposta finché il comparatore non legge zero.

Forza di misura

La forza applicata al pezzo dal puntalino quando il comparatore registra lo zero. È indicato in newton (N).

CODICE Digimatic

Un formato dati specifico per gli strumenti di misura Mitutoyo.

Uscita Open Collector

Un collegamento diretto al collettore di un transistor di trasmissione.

Uscita relè

Uscita che invia un segnale aperto/chiuso.

Misura comparativa

Metodo di misura nel quale la dimensione di un pezzo viene trovata misurando la differenza tra le dimensioni nominali di campione e quelle effettive del pezzo.

Questo metodo viene solitamente applicato quando la misura da effettuare è superiore al campo di misura dello strumento.

Linearità

Il rapporto di proporzionalità tra l'uscita della sonda e la distanza misurata. Se questo non è costante entro limiti accettabili, è necessaria una correzione.

Punto 0 (zero)

Un punto di riferimento sul campione in una misura comparata.

Campo di misura

Il campo di misura prescelto determina la risoluzione disponibile. Un campo piccolo aumenta la risoluzione e viceversa. I tastatori analogici Mu-checkers forniscono intervalli multipli a causa della limitata lunghezza della scala, mentre le versioni digitali devono fornirne solo due.

Limiti di tolleranza

Limiti di tolleranza possono essere impostati sul micrometro elettronico per fornire una valutazione automatica se un valore misurato rientra nella tolleranza.



Micrometri a scansione laser

Compatibilità

Ogni micrometro a scansione laser è stato regolato per funzionare con l'Unità ID consegnata insieme allo strumento. L'unità ID, che ha lo stesso numero di codice e lo stesso numero di serie del micrometro, deve essere installata nell'unità di visualizzazione. In questo modo, il micrometro a scansione laser può essere utilizzato, in caso di necessità, su differenti unità display.

Pezzo e condizioni di misura

L'accuratezza nella misura con un micrometro a scansione laser, può essere condizionata da differenti fattori quali: la forma del pezzo, la sua rugosità superficiale, la visibilità o invisibilità del laser. Si suggerisce quindi di eseguire la calibrazione dello strumento con un pezzo campione che abbia caratteristiche quanto più simili a quelle del pezzo da misurare.

Se i valori di misura mostrano un elevato grado di dispersione a causa delle condizioni di misura, aumentare il numero di scansioni di ogni media per migliorare l'accuratezza della misura.

Interferenze elettriche

Per evitare malfunzionamenti, non far passare il cavo di segnale e il cavo del relè del micrometro a scansione laser vicini ad una linea ad alta tensione o ad un altro cavo in grado di indurre rumore elettrico nei conduttori vicini. Collegare a terra tutte le unità e schermare accuratamente i cavi.

Connessione a PC

Per evitare malfunzionamenti, non far passare il cavo di segnale e il cavo del relè del Micrometro a scansione laser vicini ad una linea ad alta tensione o ad un altro cavo in grado di indurre rumore elettrico nei conduttori vicini. Collegare a terra tutte le unità e schermare accuratamente i cavi.

Sicurezza del laser

I micrometri a scansione laser Mitutoyo utilizzano un laser per misure, visibile, a bassa potenza. Il laser è un dispositivo CLASS 2 EN/IEC60825-1 (2007). Avvisi ed etichette esplicative sono esposti in modo visibile sullo strumento.

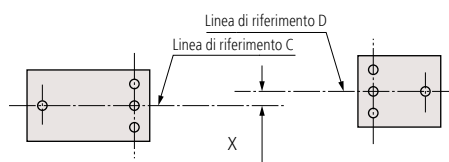


Riassemblaggio dopo la rimozione dalla base

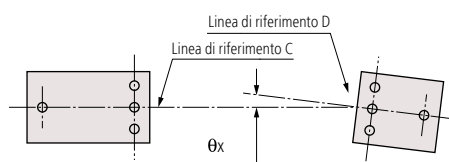
Osservare le seguenti indicazioni quando si riassemblano l'unità di emissione e l'unità di ricezione per ridurre al minimo gli errori di misura dovuti a disallineamenti dell'asse ottico del laser con l'unità di ricezione.

■ Allineamento sul piano orizzontale

- a. Deviazione parallela tra le linee di riferimento C e D:
X (in direzione trasversale)

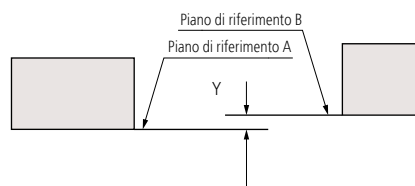


- b. Angolo tra le linee di riferimento C e D: θ_x (angolo)

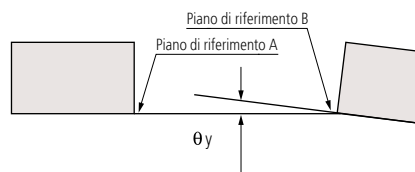


■ Allineamento sul piano verticale

- c. Deviazione parallela tra i piani di riferimento A e B: Y (in altezza)



- d. Angolo tra i piani di riferimento A e B: θ_y (angolo)



● Limiti di accettabilità dei disallineamenti dell'asse ottico

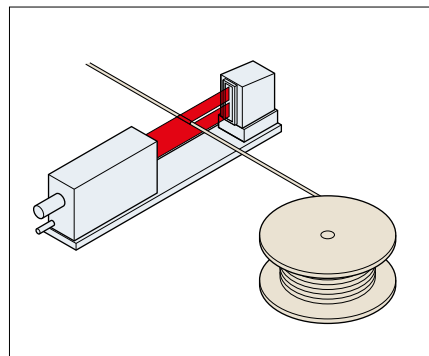
Modello	Distanza tra Unità di Emissione e Unità di ricezione	X e Y	θ_x e θ_y
LSM-501S	68 mm (2,68") o minore	Entro 0,5 mm (0,02")	Entro 0,4° (7 mrad)
	100 mm (3,94") o minore	Entro 0,5 mm (0,02")	Entro 0,3° (5,2 mrad)
LSM-503S	130 mm (5,12") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,4° (7 mrad)
	350 mm (13,78") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,16° (2,8 mrad)
LSM-506S	273 mm (10,75") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,2° (3,5 mrad)
	700 mm (27,56") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,08° (1,4 mrad)
LSM-512S	321 mm (12,64") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,18° (3,6 mrad)
	700 mm (27,56") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,08° (1,4 mrad)
LSM-516S	800 mm (31,50") o minore	Entro 1 mm (0,04")	Entro 0,09° (1,6 mrad)

Micrometri a scansione laser

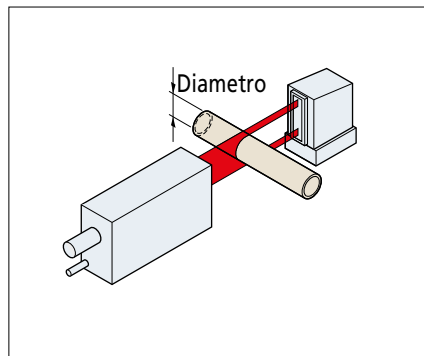
Esempi di misura

PG
36

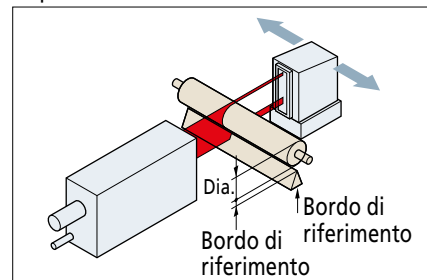
Misura in linea del diametro di fili e cavi



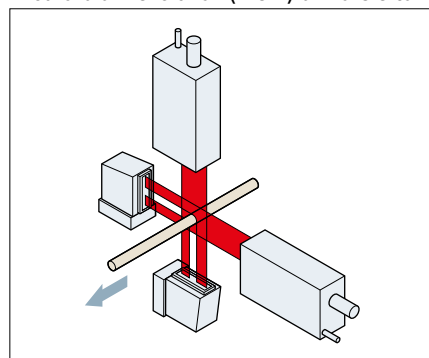
Misura del diametro esterno di cilindri



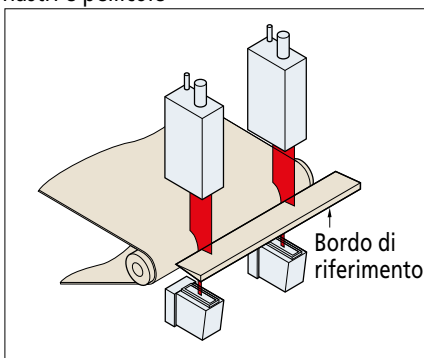
Misura di diametri esterni e rotondità su pezzi cilindrici



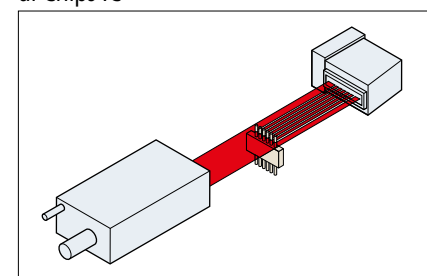
Misura bidimensionali (X e Y) di fibre e cavi



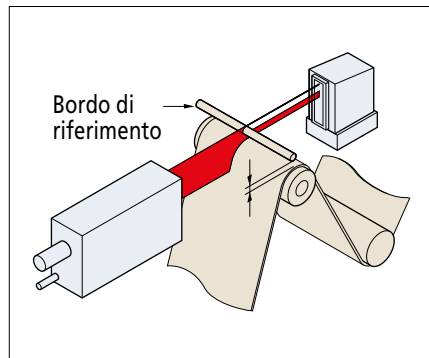
Misura delle variazioni di spessore di nastri e pellicole



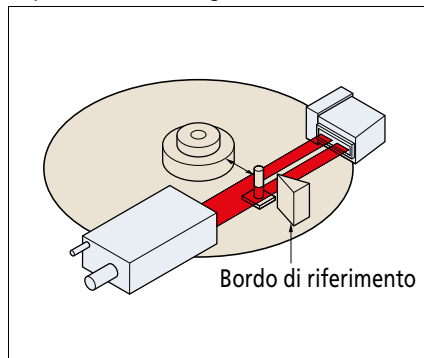
Misura della distanza tra terminali di Chips IC



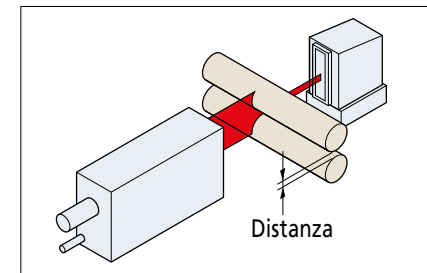
Misura dello spessore di pellicole e membrane



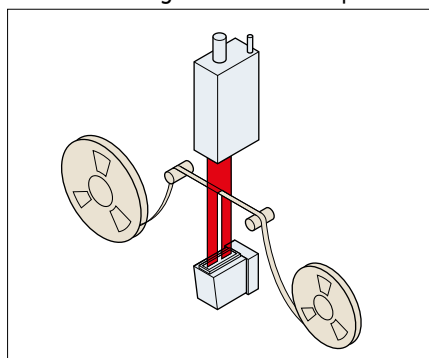
Misura dell'errore radiale di piastre laser e magnetiche



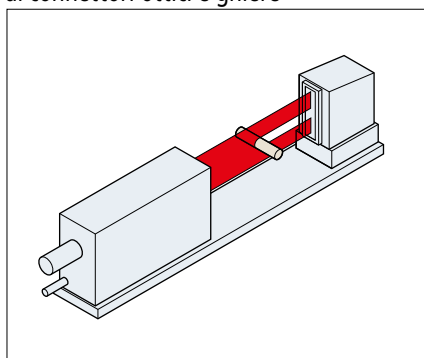
Misura della distanza tra rulli



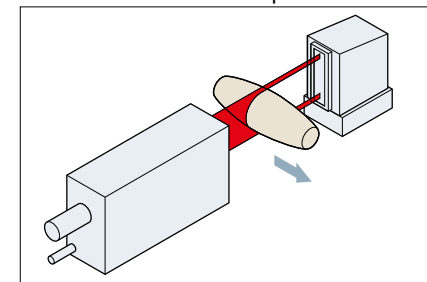
Misura della larghezza di nastri e pellicole



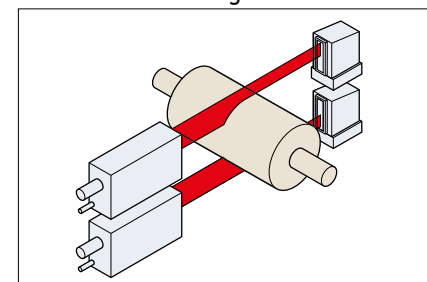
Misura del diametro esterno di connettori ottici e ghiere



Misura della forma di un pezzo



Doppio sistema per la misura di diametri esterni di grandi dimensioni



Sistemi lineari

Prove di valutazione sistemi lineari

1. Test (temperatura di utilizzo)

Conferma che non ci sono malfunzionamenti durante l'uso dello strumento all'interno del campo di temperatura di utilizzo e che i dati in uscita sono aderenti alle normative.

2. Test sul ciclo di temperatura (caratteristiche dinamiche)

Conferma che non ci sono malfunzionamenti durante l'uso dello strumento con una variazione ciclica di temperatura e che i dati in uscita sono aderenti alle normative.

3. Test vibrazioni (Sweep test)

Conferma che non ci sono malfunzionamenti in una unità soggetta a vibrazioni con frequenza compresa tra 30Hz e 300Hz e una accelerazione massima di $3g_n$.

4. Test vibrazioni (Acceleration test)

Conferma che non ci sono malfunzionamenti in una unità soggetta a vibrazioni con frequenza specifica, senza risonanza.

5. Test di rumorosità

Il test di rumorosità è conforme alla Direttiva EMC EN61326-1+A1:1998.

6. Test di caduta di materiale pesante (Test package drop)

Questo test è conforme allo standard JISZ0200 (test di caduta di materiale pesante).

Glossario

■ Sistema Absolute

Il valore della posizione è disponibile dalle immediatamente dopo l'accensione e può essere richiamato in qualsiasi momento. Non è necessario spostare l'asse per trovare la posizione di riferimento.

■ Sistema incrementale

Il valore di posizione viene ottenuto conteggiando gli incrementi individuali (passi di misura) da un punto di origine. I sistemi lineari sono dotati di una scala aggiuntiva che reca un indice di riferimento.

Questo riferimento deve quindi essere scansionato per stabilire un riferimento assoluto o per trovare l'ultimo dato selezionato.

■ Indici di riferimento a distanza incrementale

Indici di riferimento multipli sono distanziati individualmente secondo l'algoritmo matematico.

L'elettronica di sequenza (nc) trova il riferimento assoluto dopo avere attraversato per pochi millimetri due indici di riferimento successivi. Distanza di trasmissione (cavo) fino a 30 metri.

■ Offset origine

Funzione che consente di traslare le coordinate del punto di origine di un sistema di misura, in un altro punto, posto a una distanza nota. Perché questa funzione operi, è necessario memorizzare un punto di origine permanente nel sistema.

■ Ripristino del punto di origine

Funzione che, grazie ad un fine corsa integrato, rallenta fino a fermare gli assi di una macchina in una posizione specifica.

■ Controllo in sequenza

Tipo di controllo che effettua procedure in sequenza secondo un ordine prestabilito.

■ Controllo numerico

Un modo per controllare i movimenti di una macchina attraverso comandi codificati creati e implementati con l'ausilio di un computer (CNC). Una sequenza di comandi forma generalmente un "part program" che richiede a una macchina di eseguire un'operazione completa su un pezzo.

■ Uscita binaria

Uscita dei dati in forma binaria (uno e zero) che rappresenta i numeri interi potenza di 2.

■ RS-232C

Un'interfaccia standard che utilizza un metodo asincrono di trasmissione seriale dei dati attraverso una linea di trasmissione non bilanciata. Viene usata per lo scambio di dati tra dispositivi relativamente vicini l'uno all'altro. È un mezzo di comunicazione utilizzato principalmente per il collegamento di un personal computer con dispositivi esterni.

■ BCD

Modo di esprimere i numeri da 0 a 9 per ogni cifra di un numero decimale per mezzo di quattro-bit in sequenza binaria. La trasmissione dei dati è a senso unico in uscita TTL o Open Collector.

■ Segnale di uscita incrementale

I sistemi lineari Mitutoyo forniscono un segnale differenziale a onda quadra (rs422).

Distanza di trasmissione (cavo) fino a 30 metri. Alimentazione 5VCC

■ Alimentazione 5VCC

Segnali incrementali 1Vpp.

I sistemi lineari Mitutoyo con uscita sinusoidale 1Vpp forniscono segnali di tensione che possono essere altamente interpolati. Distanza di trazione lunga (cavo) fino a 150 metri

■ Accuratezza

Le specifiche di accuratezza di una riga sono indicate in termini di errore massimo prevedibile, a 20 °C, tra le posizioni indicate dalla scala e le posizioni reali in un qualunque punto della scala. Poiché non esiste uno standard internazionale per le i sistemi lineari, ogni produttore ha un modo proprio di indicare l'accuratezza. Le specifiche di accuratezza del nostro catalogo sono state determinate mediante interferometria laser.

■ Accuratezza in campo stretto

I reticoli normalmente utilizzati su di una scala hanno un passo di circa 20µm. (Variabile in funzione del tipo di scala). L'accuratezza in campo stretto si riferisce all'accuratezza determinata dalla misura del passo di ogni reticolo al limite di risoluzione. (Per esempio 1µm).

Interfacce ABS

Interfaccia seriale Siemens-FANUC DRIVE-CLiQ - Interfaccia ad alta velocità Mitsubishi - Interfaccia seriale Panasonic.
Le interfacce ABS sono interfacce digitali bidirezionali per scale lineari. Sono in grado sia di trasmettere valori di posizione, sia di trasmettere o aggiornare le informazioni memorizzate nelle scale lineari. Grazie al metodo di trasmissione seriale sono necessarie solo quattro linee di segnale.

Bus di campo

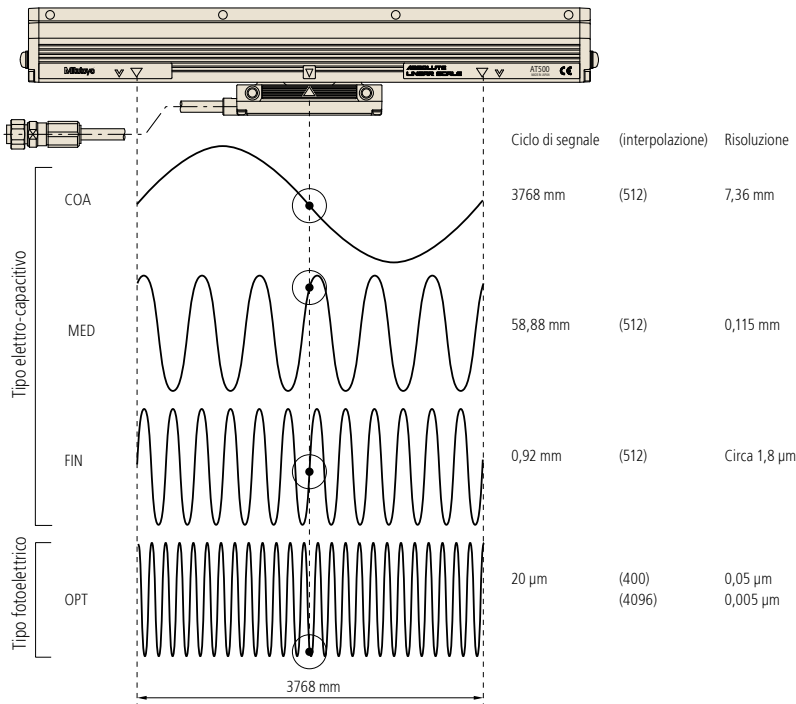
Il bus di campo è un sistema di comunicazione a due vie seriale digitale che funge da rete di base a livello di un impianto di automazione di fabbrica. L'uso tipico è quello di collegare l'encoder rotativo e le scale lineari al PC industriale.

Risoluzione

Segnale sinusoidale e passo di griglia mediante interpolazione TTL Ad esempio passo della griglia della scala lineare di 20 µm: 5 per unità di digitalizzazione PSU200: 4 per NC = risoluzione di 1µm.

Principio di funzionamento dei sistemi lineari Absolute (Esempio: AT300, 500-S/H)

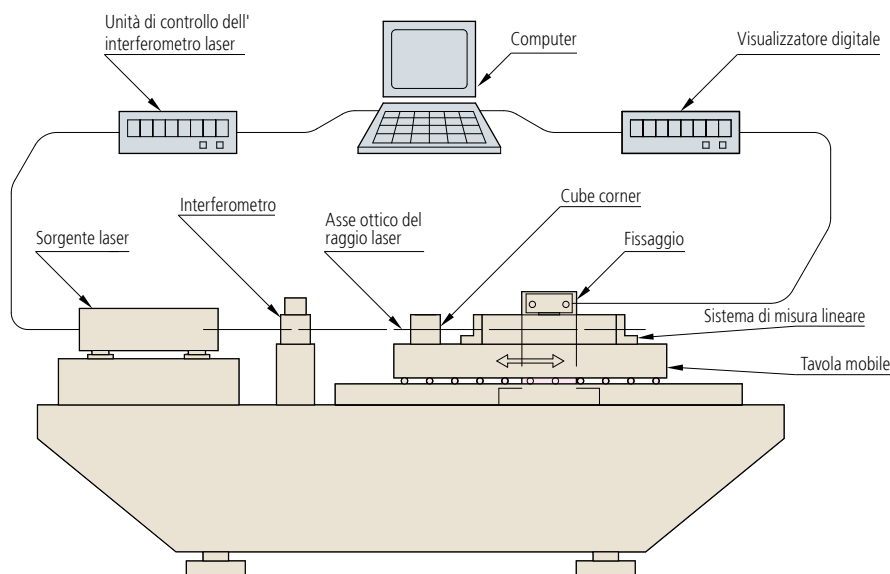
Quando una riga Absolute Linear Scale viene alimentata, vengono rilevate letture di posizione provenienti da tre sottoscale capacitive (COA = Bassa risoluzione, MED = Media risoluzione e FIN = Alta risoluzione) e da una scala fotoelettrica. Queste sottoscale utilizzano una combinazione di passi e sono posizionate l'una rispetto all'altra in modo che le letture in ogni punto formino un unico set leggibile dal microprocessore che calcolerà la posizione assoluta della testina di lettura con una risoluzione di 0,05 µm (0,005 µm).



Accuratezza nell'indicazione di posizione

L'accuratezza di una scala lineare è definita confrontando il valore di posizione indicato dal sistema lineare, con il corrispondente valore misurato con il laser interferometrico, a intervalli regolari usando il sistema di verifica dell'accuratezza come mostrato nella figura sottostante. Poiché la temperatura dell'ambiente di ispezione è di 20 °C, l'accuratezza della scala si applica solo in un ambiente a questa temperatura. Altre temperature di ispezione possono essere utilizzate per conformarsi agli standard interni.

Panoramica del sistema di verifica dell'accuratezza



L'accuratezza della scala, in ogni suo punto, è definita come errore calcolato con la seguente formula:

Errore = Valore indicato dal sistema di misura, rispetto a quello indicato dall'interferometro

Un grafico che riporta l'errore in ogni punto viene definito "grafico dell'accuratezza".

Esistono due metodi per certificare l'accuratezza di una scala, su due lati o su un solo lato.

(1) Specifica di accuratezza su due lati: errore massimo meno errore minimo

Questo metodo specifica semplicemente l'errore massimo meno l'errore minimo dal grafico di accuratezza, come mostrato di seguito. Formula: $E = (\alpha + \beta L) \mu\text{m}$. L è il campo di misura effettivo (mm), mentre α e β sono fattori specifici di ogni modello di linear scale.

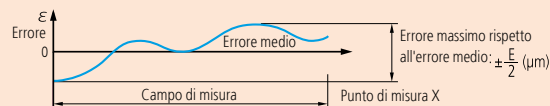
Se, per esempio, un particolare modello linear scale ha una specifica di accuratezza di $\left(3 + \frac{3L}{1000}\right) \mu\text{m}$ e un campo effettivo di 1000 mm, E è 6 μm .



(2) Specifica di accuratezza: più e meno rispetto all'errore medio

Questo metodo specifica l'errore massimo riferito all'errore medio riportato sul grafico.

Viene espresso come: $e = \pm \frac{E}{2} (\mu\text{m})$. Questo metodo è utilizzato principalmente in specifiche di unità di misura di tipo separato (retrofit).



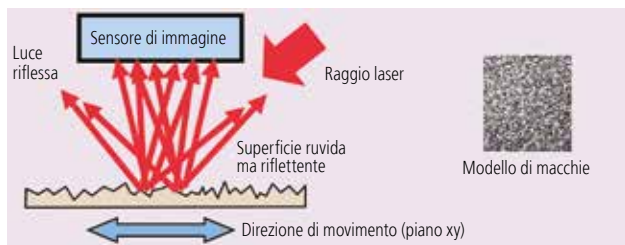
Il sistema di misura legge lo spostamento tramite la graduazione di misura a passo costante. Durante la rilevazione delle graduazioni si ottengono due onde sinusoidali sfasate. L'interpolazione di questi segnali in un circuito elettrico, consente di leggere un valore più piccolo di quello della graduazione, generando un segnale ad impulso corrispondente alla risoluzione desiderata. Ad esempio, se il passo di graduazione è 20 μm , l'interpolazione dei valori può generare una risoluzione di 1 μm . L'accuratezza di questo procedimento non è esente da errori e si definisce accuratezza di interpolazione. L'accuratezza globale di posizione di una Linear scale dipende sia dall'errore di passo delle graduazioni sia dall'accuratezza di interpolazione.

Sistemi lineari

Correlazione delle immagini ed encoder bidimensionale MICSYS

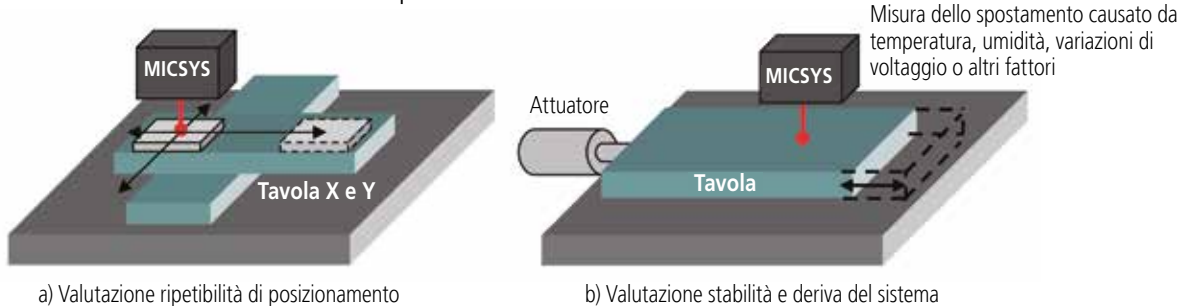
Principio di misura

Quando la superficie ruvida di un oggetto viene irradiata con un laser, una luce coerente si diffonde dalla stessa, generando interferenze sotto forma di macchie. Muovendo l'oggetto nel piano X-Y anche le macchie si muoveranno con lui. La verifica dello spostamento di un oggetto può essere effettuata confrontando, attraverso la correlazione di immagini, le immagini ottenute prima e dopo il movimento. Questo è il principio utilizzato nel sistema di misura ad alta accuratezza MICSYS.

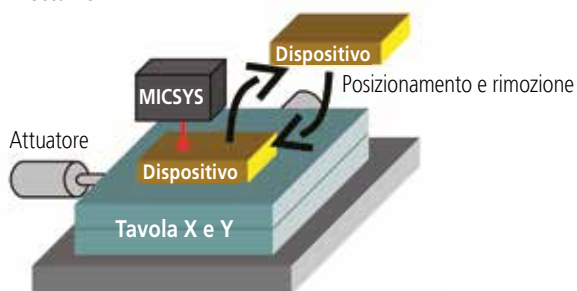


Applicazioni

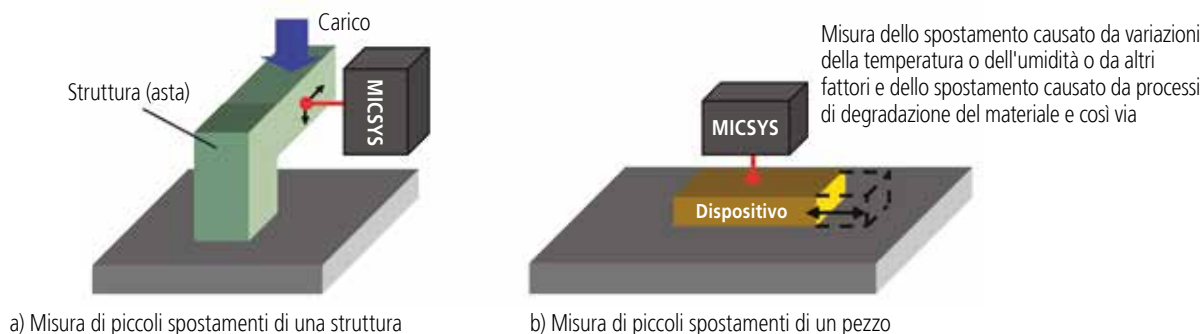
1. Valutazione delle tavole usate in sistemi costruttivi e di ispezione



2. Posizionamento ad alta accuratezza di pezzi meccanici



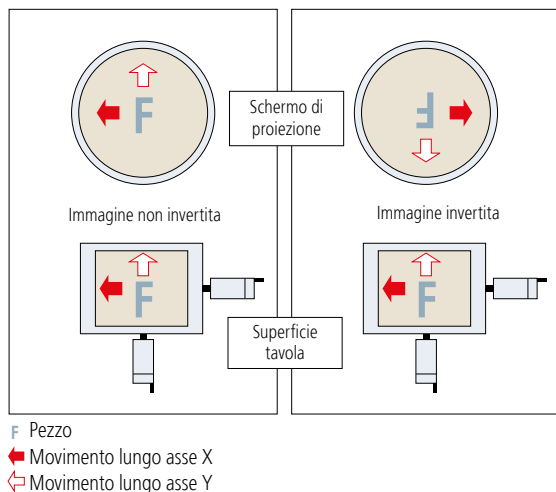
3. Misura di piccoli spostamenti



Proiettori di profili

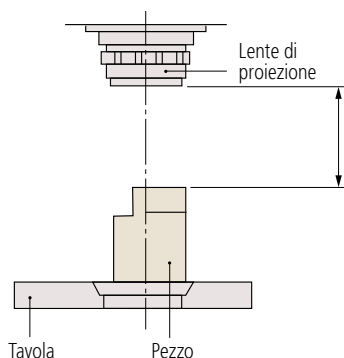
Immagine invertita e non invertita

Si definisce "non invertita" l'immagine di un oggetto, proiettata su di uno schermo, con lo stesso orientamento dell'oggetto stesso posizionato sulla tavola. Se l'immagine è ruotata sottosopra o da sinistra a destra e il suo movimento sullo schermo è contrario rispetto a quello dell'oggetto sulla tavola, (vedi figura) viene definita immagine "invertita" (o rovesciata, e risulta probabilmente più accurata).



Distanza di utilizzo

Distanza tra la superficie del proiettore e quella del pezzo in condizione di messa a fuoco. Nel seguente diagramma è indicata con L.



Accuratezza di ingrandimento

La precisione di ingrandimento di un proiettore che utilizza un obiettivo definito, viene stabilita proiettando l'immagine di un oggetto di riferimento, confrontandone quindi la dimensione misurata sullo schermo con quella attesa. (in base all'ingrandimento dell'obiettivo). Il risultato viene espresso come percentuale rispetto all'ingrandimento nominale dell'obiettivo. L'oggetto di riferimento è spesso sotto forma di una piccola scala di vetro graduata chiamata "micrometro per oggetti" o "scala standard", e la sua immagine proiettata viene misurata con una scala di vetro più grande conosciuta come "scala di lettura".

(Si noti che l'accuratezza di ingrandimento non corrisponde all'accuratezza di misura.)

$$\Delta M(\%) = \frac{L - \ell M}{\ell M} \times 100$$

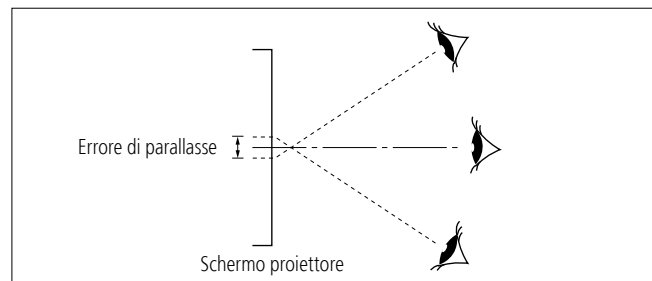
$\Delta M(\%)$: accuratezza di ingrandimento espressa come percentuale dell'ingrandimento nominale dell'obiettivo
L: lunghezza dell'immagine dell'oggetto di riferimento proiettata misurata sullo schermo
 ℓ : lunghezza dell'oggetto di riferimento
M: ingrandimento dell'obiettivo

Tipo di illuminazione

- Illuminazione bordi: metodo di illuminazione per osservare un oggetto con luce trasmessa, utilizzato principalmente per misurare il profilo ingrandito di un pezzo.
- Illuminazione superficiale coassiale: un metodo di illuminazione per cui un pezzo è illuminato dalla luce trasmessa coassialmente alla lente per l'osservazione/misura della superficie. (È necessario uno specchio semiriflettente o una lente di proiezione con specchio semiriflettente integrato).
- Illuminazione obliqua della superficie: metodo con il quale la superficie di un pezzo viene illuminata obliquamente. Questo metodo fornisce un'immagine di contrasto rafforzato che consente di osservare in modo tridimensionale e chiaro. Tuttavia, si noti che si può verificare un errore in misura dimensionale con questo metodo di illuminazione. (È necessario uno specchio semiriflettente inclinato. I modelli della serie PJ-H30 sono forniti con tale specchio inclinato.)

Errore di parallasse

Variazione della posizione di un oggetto su uno sfondo fisso, dovuto al cambiamento di posizione dell'osservatore e da una separazione tra l'oggetto e il piano di sfondo.



Diametro del campo visivo

Diametro massimo di un oggetto che può essere proiettato con l'uso di un determinato obiettivo.

$$\text{Diametro campo visivo (mm)} = \frac{\text{Diametro dello schermo del proiettore}}{\text{Ingrandimento obiettivo utilizzato}}$$

Esempio: nel caso di un obiettivo con ingrandimento 5X su un proiettore con schermo $\varnothing 500$ mm:

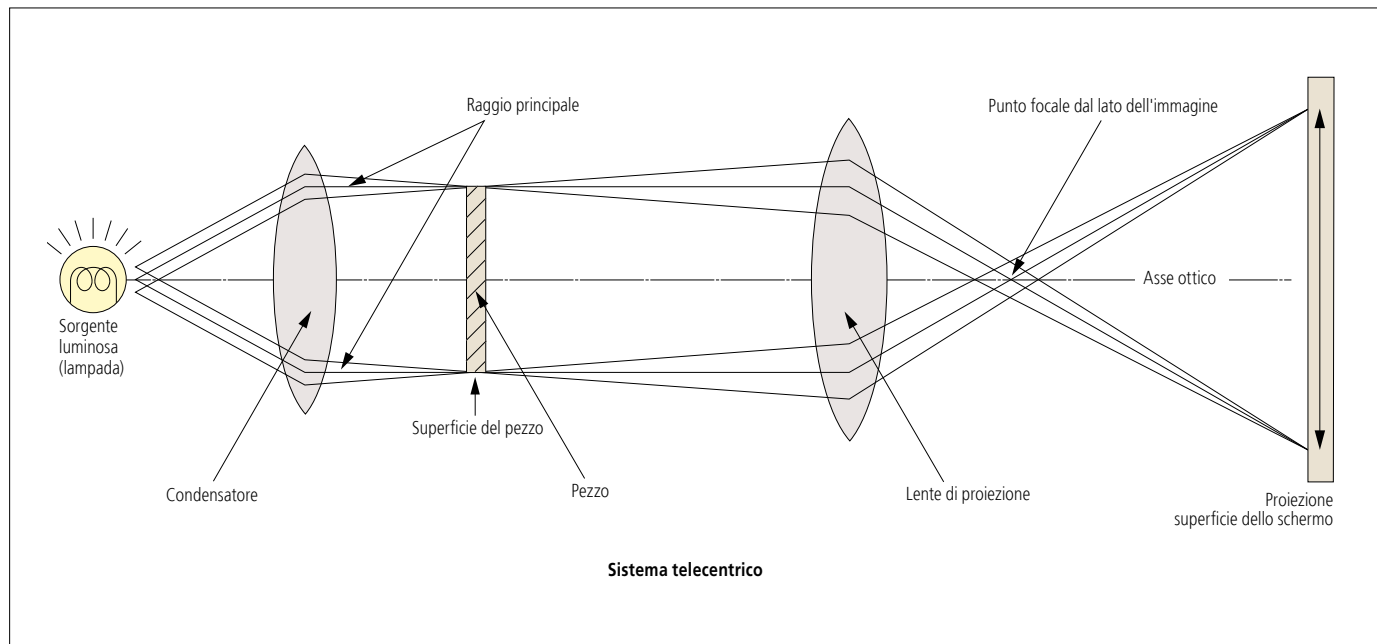
$$\text{Il diametro del campo visivo è dato da } \frac{500 \text{ mm}}{5} = 100 \text{ mm}$$

Proiettori di profili

Sistema ottico telecentrico

Sistema ottico basato sul principio che il raggio principale è allineato parallelamente all'asse ottico, per mezzo di una lente di stop, posta sul punto focale dal lato dell'immagine. Con questo sistema, l'immagine non varierà in dimensioni se l'oggetto si sposterà lungo l'asse ottico.

Nei proiettori di profili e nei microscopi di misura si ottiene lo stesso risultato ponendo il filamento di una lampada nel punto focale della lente di un condensatore in modo che l'oggetto venga illuminato con fasci paralleli. (Vedi figura seguente.)



Microscopi

Apertura numerica (NA)

L'apertura numerica NA è un parametro importante poiché indica il potere di risoluzione di un obiettivo. Maggiore è il valore di NA e più accurata sarà l'osservazione dei dettagli di una immagine. Un obiettivo con un elevato valore di NA è in grado di raccogliere più luce e di restituire una immagine più luminosa con una profondità di fuoco più ridotta.

$$NA = n \cdot \sin \theta$$

La formula mostra come NA dipenda da n , indice di rifrazione di ciò che si trova tra l'obiettivo ed il pezzo osservato (x l'aria, $n=1,0$), e dall'angolo θ , che rappresenta la metà dell'angolo del massimo cono di luce che può entrare nell'obiettivo.

Potere di risoluzione (R)

La distanza minima rilevabile tra due punti su un'immagine rappresenta il limite di risoluzione. Il potere di risoluzione (R) è determinato dalla apertura numerica (NA) e dalla lunghezza d'onda (λ) della fonte di illuminazione.

$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \quad (\mu m)$$

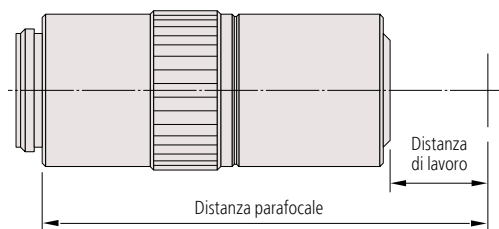
$\lambda = 0,55 \mu m$ è spesso usato come lunghezza d'onda di riferimento

Distanza di lavoro (W.D.)

Distanza tra l'estremità frontale dell'obiettivo di un microscopio e la superficie di un particolare, una volta ottenuta la migliore messa a fuoco.

Distanza parafocale

Distanza tra la posizione di attacco dell'obiettivo di un microscopio e la superficie di un particolare, una volta ottenuta la migliore messa a fuoco. Gli obiettivi montati su una stessa torretta devono avere la stessa distanza parafocale, in modo da ridurre al minimo gli spostamenti di messa a fuoco, in caso di cambio obiettivo.

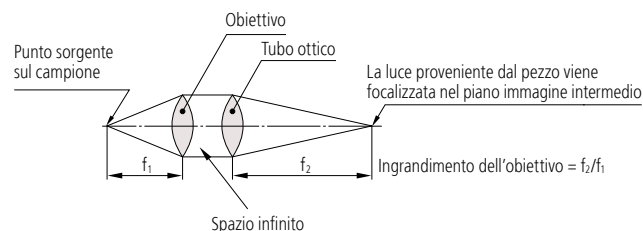


Punto focale

I raggi luminosi che viaggiano paralleli all'asse ottico di un sistema di lenti convergenti e vi passano attraverso, convergono in un punto sull'asse, noto come punto focale posteriore, o punto focale dell'immagine.

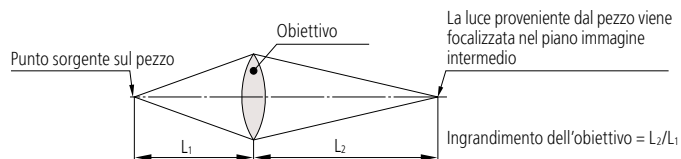
Sistema ottico con correzione all'infinito

Sistema ottico nel quale l'obiettivo crea la sua immagine in un punto tendente all'infinito ed un tubo ottico posto tra obiettivo ed oculare produce una immagine intermedia. Dopo essere passata attraverso l'obiettivo, la luce viaggia parallela all'asse ottico nel tubo ottico in una zona definita come "spazio infinito". In questa zona è possibile montare componenti ausiliari come prismi con contrasto ad interferenza differenziale (DIC), polarizzatori, etc., con una influenza minima sulla messa a fuoco e sulle correzioni delle aberrazioni.



Sistema ottico con correzione finita

Un sistema ottico che utilizza un obiettivo per formare l'immagine intermedia in una posizione finita. La luce dal pezzo che passa attraverso l'obiettivo è diretta verso il piano di immagine intermedia (situato al piano focale anteriore dell'oculare) e converge in quel piano.



Lunghezza focale (f)

unità: mm

Distanza tra il punto principale ed il punto focale di una lente. Se f_1 rappresenta la distanza focale di un obiettivo ed f_2 la distanza focale di una lente di formazione dell'immagine (tubo), l'ingrandimento dell'obiettivo è dato dal rapporto tra i due parametri. (Nel caso del sistema ottico con correzione all'infinito.)

$$\text{Ingrandimento obiettivo} = \frac{\text{Lunghezza focale della lente di formazione dell'immagine (tubo)}}{\text{Lunghezza focale dell'obiettivo}}$$

$$\text{Esempio: } 1X = \frac{200}{200}$$

$$\text{Esempio: } 10X = \frac{200}{20}$$

Profondità di fuoco (DOF)

unità: mm

Conosciuta anche come "profondità di campo", questa è la distanza (misurata nella direzione dell'asse ottico) tra i due piani che definiscono i limiti di nitidezza accettabile quando il microscopio è concentrato su un oggetto. All'aumentare dell'apertura numerica (NA) la profondità di fuoco diventa inferiore, come mostrato dall'espressione sottostante:

$$DOF = \frac{\lambda}{2 \cdot (NA)^2} \quad \lambda = 0,55 \mu\text{m} \text{ è spesso usato come lunghezza d'onda di riferimento}$$

Esempio: obiettivo **M Plan Apo 100X (NA = 0,7)**

La sua profondità di fuoco è

$$\frac{0,55 \mu\text{m}}{2 \times 0,7^2} = 0,6 \mu\text{m}$$

Illuminazione in campo chiaro e in campo scuro

Nell'illuminazione in campo chiaro un cono pieno di luce è concentrato dall'obiettivo sulla superficie del campione. Questa è la modalità normale di visualizzazione con un microscopio ottico. Nell'illuminazione in campo scuro, la parte interna del cono è oscurata e la superficie del pezzo è raggiunta solo dai raggi che hanno una inclinazione obliqua. Questo tipo di illuminazione consente di rilevare graffi e contaminazione sulla superficie del pezzo.

Obiettivo apocromatico e acromatico

Un obiettivo apocromatico è una lente corretta per l'aberrazione cromatica (sfocatura colore) in tre colori (rosso, blu, giallo).

Un obiettivo acromatico è una lente corretta per l'aberrazione cromatica in due colori (rosso, blu).

Ingrandimento

Rapporto tra le dimensioni di un'immagine generata da un sistema ottico e le dimensioni reali dell'oggetto. Comunemente, con ingrandimento, si intende l'ingrandimento laterale, ma in alcuni casi potrebbe assumere il significato di ingrandimento verticale o angolare.

Raggio principale

Raggio emesso da un punto dell'oggetto sull'asse ottico e che attraversa il centro di un diagramma di apertura in un sistema ottico.

Diaframma d'apertura

Apertura circolare regolabile che controlla la quantità di luce passante per un sistema ottico. L'apertura del diaframma incide sulla nitidezza e la profondità di fuoco di un'immagine. Viene denominata anche come stop dell'apertura.

Stop campo

Dispositivo che controlla il campo visivo in un sistema ottico.

Sistema telecentrico

Sistema ottico nel quale i raggi sono paralleli all'asse ottico nell'oggetto e/o nello spazio dell'immagine. In questo modo, l'ingrandimento di un'immagine rimane pressoché costante lungo tutta la distanza di lavoro.

Immagine eretta (non invertita)

Immagine il cui orientamento sinistro, destro, alto e basso e le cui direzioni di movimento sono gli stessi del pezzo posizionato sulla tavola.

Numero di campo (FN), campo visivo reale e ingrandimento del monitor

unità: mm

Il campo di osservazione della superficie del campione viene determinato dal diametro dello stop di campo dell'oculare. Il valore, in millimetri, di questo diametro, è chiamato numero di campo (FN). Per contro, il campo visivo reale consiste nel campo sulla superficie del pezzo ingrandita ed osservata con il solo obiettivo.

Può essere calcolato con la seguente formula:

(1) Il campo del pezzo che può essere osservato con il microscopio (diametro)

$$\text{Campo visivo reale} = \frac{\text{FN dell'oculare}}{\text{Ingrandimento dell'obiettivo}}$$

$$\begin{aligned} \text{Esempio: Il campo reale di un obiettivo 1X è } 24 &= \frac{24}{1} \\ \text{Il campo reale di un obiettivo 10X è } 2,4 &= \frac{24}{10} \end{aligned}$$

(2) Campo di osservazione monitor

$$\text{Campo di osservazione monitor} = \frac{\text{Dimensione sensore immagine telecamera (diagonale)}}{\text{Ingrandimento dell'obiettivo}}$$

Dimensione sensore immagine

Formato	Lungh.diagonale	Lunghezza	Altezza
0,847 cm/1/3"	6,0	4,8	3,6
1,270 cm/1/2"	8,0	6,4	4,8
1,693 cm/2/3"	11,0	8,8	6,6

(3) Ingrandimento monitor

Ingrandimento monitor =

$$\text{Ingrandimento obiettivo} \times \frac{\text{Lunghezza diagonale sul monitor}}{\text{Lunghezza diagonale del sensore immagine}}$$

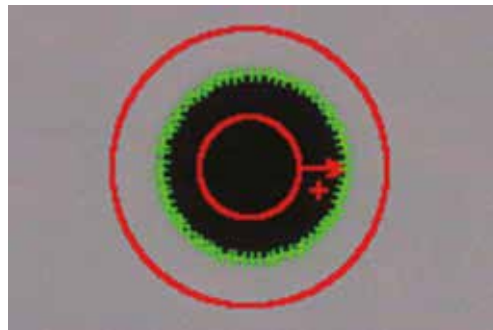
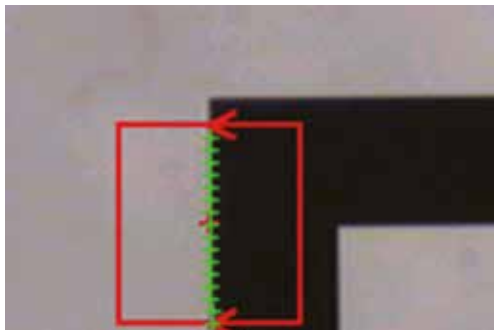
Macchine di misura ottiche

Misura ottica

Le macchine di misura ottiche (Vision) posseggono principalmente le seguenti capacità.

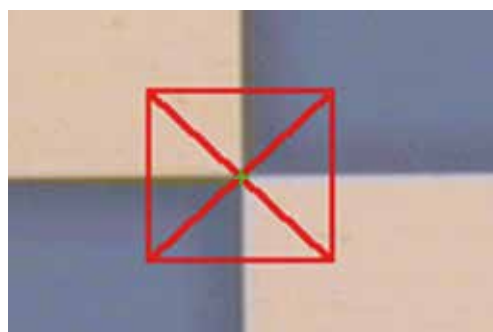
■ Rilevamento bordi

Rilevazione/misura bordi nel piano XY



■ Messa a fuoco automatica

Messa a fuoco e misure lungo l'asse Z

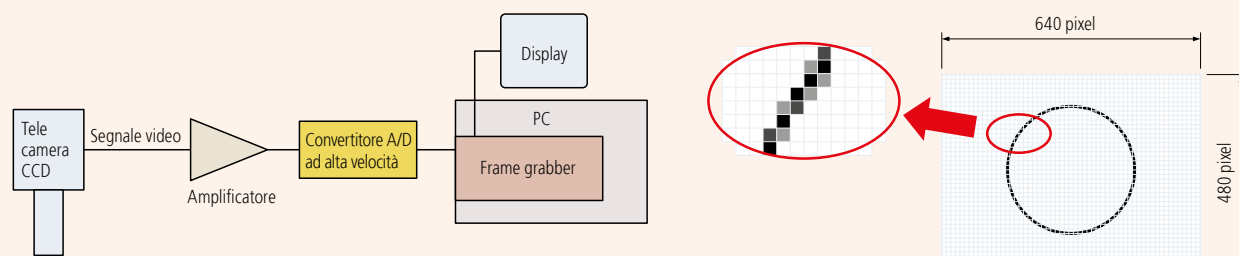


■ Riconoscimento modelli (pattern recognition)

Allineamento, localizzazione e controllo di una caratteristica

Memorizzazione delle immagini

Una immagine è composta da una matrice regolare di pixel. È lo stesso principio di una foto riportata su carta da stampa dove ogni quadrato è riempito con un colore differente fino a formare il soggetto.

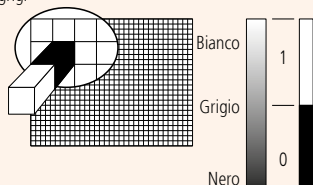


Macchine di misura ottiche

Scala di grigi

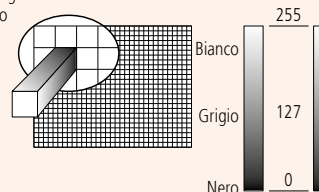
Il PC memorizza una immagine dopo averla convertita in valori numerici. Un valore numerico viene assegnato a ciascun pixel di un'immagine. La qualità dell'immagine varia a seconda di quanti livelli di scala di grigi sono definiti dai valori numerici. Il PC è in grado di fornire due tipi di scale di grigi: a due livelli e a livelli multipli. Generalmente la rappresentazione di una immagine avviene con una scala di grigio a 256 livelli.

Scala di grigi
a 2 livelli



I pixel di una immagine che abbiano una luminosità oltre un certo valore vengono mostrati come bianchi e tutti gli altri come neri.

Scala di grigi
multilivello



Ogni pixel viene mostrato come uno dei 256 livelli posti tra nero e bianco. In questo modo si possono generare immagini di alta qualità.

Differenza nella qualità delle immagini

Differenza tra un'immagine con scala di grigi a due livelli e una a 256 livelli di grigio.



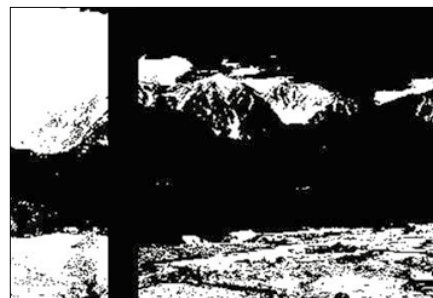
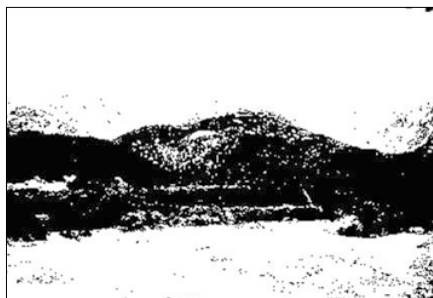
Esempio di immagine con scala di grigi a 2 livelli



Esempio di immagine con scala di grigi a 256 livelli

Variazione immagine in funzione del livello di soglia

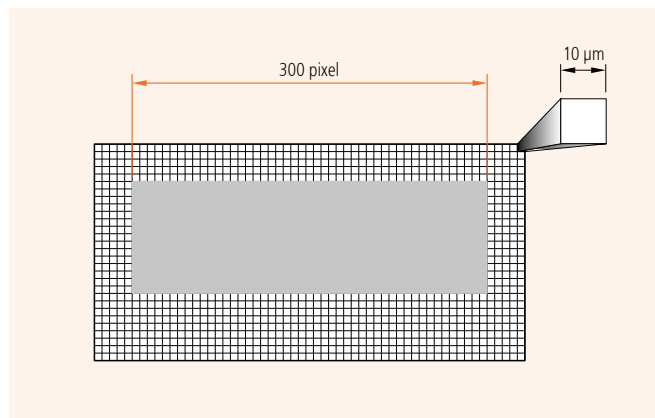
Queste tre immagini sono in realtà la stessa immagine in una scala a due livelli di grigio, mostrata a differenti livelli di soglia (threshold levels). Queste soglie attivano o disattivano specifici pixel in relazione al rispettivo valore di luminosità. L'impostazione con scala a 2 livelli di grigio, non viene usata nella strumentazione di alta precisione perché i valori numerici dei pixel dipendono troppo strettamente dal livello di soglia.



Misura dimensionale

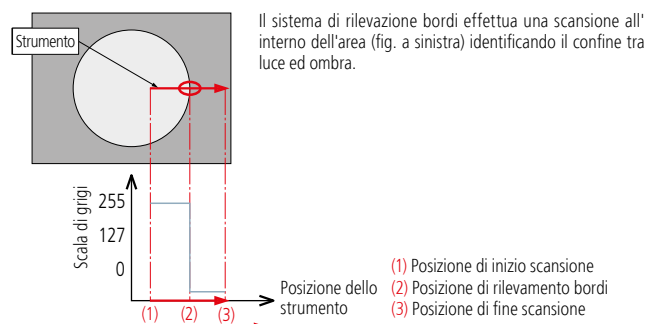
Un'immagine è formata da pixel. Se si intende misurare una sezione dell'immagine, contare il numero di pixel e moltiplicare il risultato ottenuto per la dimensione del singolo pixel. Quanto ottenuto sarà la lunghezza della sezione. Volendo fare un esempio, si consideri il lato di un pezzo quadrato formato da 300 pixel, come mostrato nella figura successiva.

Se la dimensione del pixel ingrandito è $10\text{ }\mu\text{m}$, la lunghezza totale del lato sarà $10\text{ }\mu\text{m} \times 300\text{ pixel} = 3000\text{ }\mu\text{m} = 3\text{ mm}$.



Rilevamento dei bordi

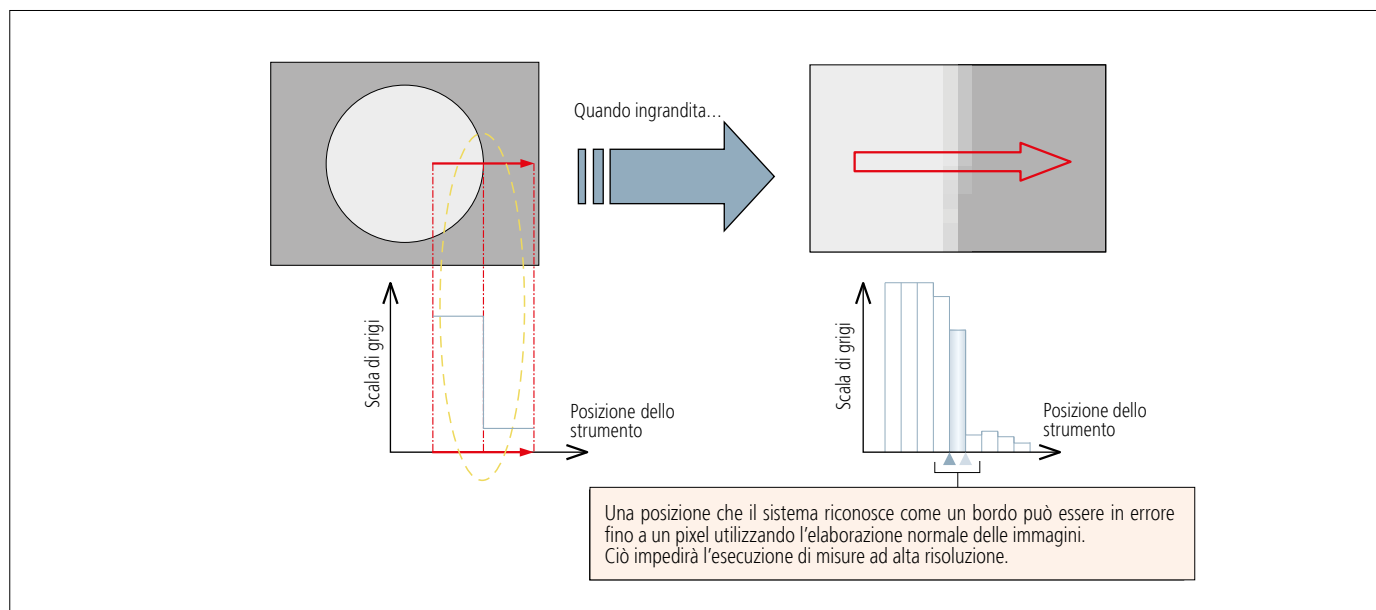
Per descrivere la rilevazione del bordo di un pezzo in una immagine, utilizzeremo la seguente immagine monocromatica. La rilevazione avviene all'interno di un'area definita. Il simbolo che consente di visualizzare tale area è indicato con il nome di strumento (tool). Nei software di misura sono disponibili numerosi strumenti per la rilevazione delle diverse geometrie di un pezzo.



244	241	220	193	97	76	67	52	53	53
243	242	220	195	94	73	66	54	53	55
244	246	220	195	94	75	64	56	51	50

Esempio dei valori assegnati ai pixel dallo strumento

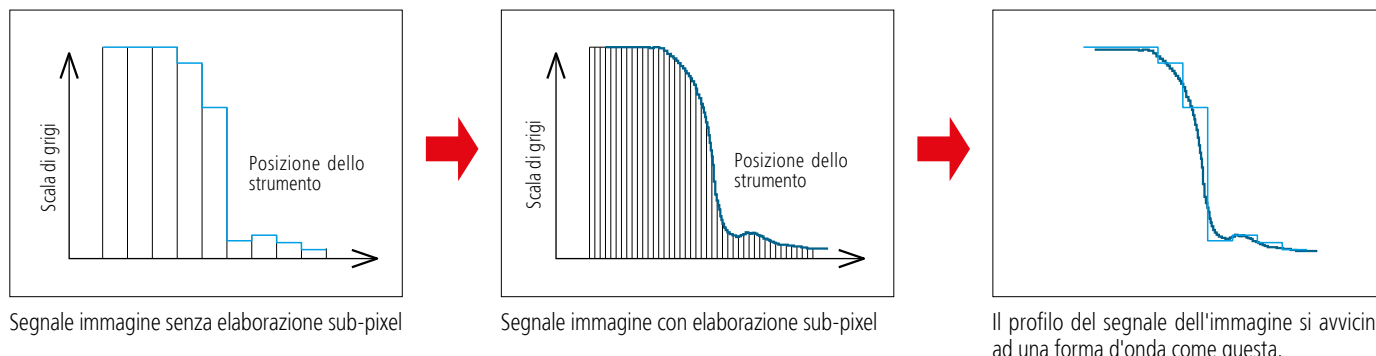
Misure ad alta risoluzione



Al fine di incrementare l'accuratezza nella rilevazione dei bordi viene usato un processo di elaborazione dei sub-pixel dell'immagine.

In questo modo il bordo viene rilevato determinando la curva di interpolazione tra i dati dei pixel adiacenti come mostrato sotto.

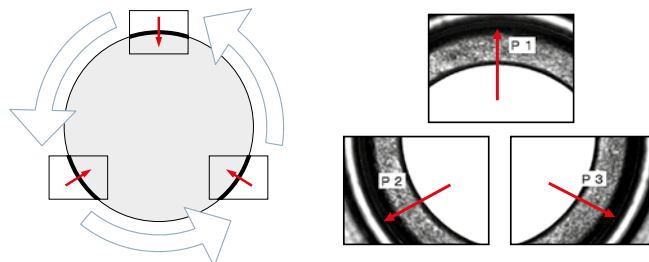
Si ottiene quindi una risoluzione maggiore di 1 pixel.



Macchine di misura ottiche

misura di porzioni multiple di una immagine

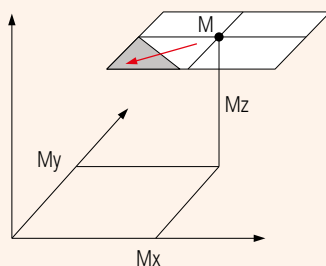
La misura di caratteristiche geometriche che, per le loro dimensioni, non possano essere contenute in una schermata avviene verificando con accuratezza la posizione del sensore e del tavolino in modo da individuare un punto di riferimento all'interno di ogni singola immagine. Ad esempio è possibile misurare grandi diametri attraverso la rilevazione del bordo, in diverse immagini, spostandosi lungo le parti periferiche della caratteristica.



Coordinate composite di un punto

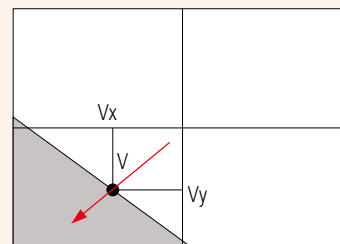
Poiché le misure vengono effettuate durante la memorizzazione di ogni singola posizione, il sistema può effettuare senza problemi misure di porzioni non incluse nella schermata.

Sistema coordinate macchina



Posizione della fase di misura della macchina $M = (M_x, M_y, M_z)$

Sistema coordinate schermo

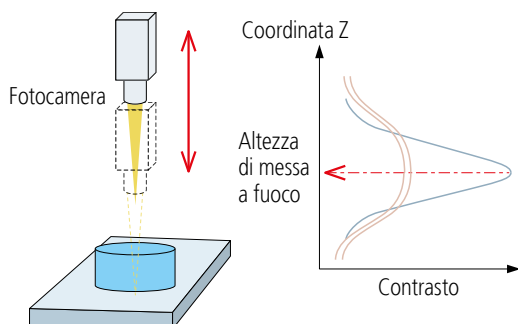


Posizione del bordo rilevato (dal centro visivo) $V = (V_x, V_y)$

Le coordinate effettive sono date rispettivamente da $X = (M_x + V_x)$, $Y = (M_y + V_y)$ e $Z = M_z$.

Principio di messa a fuoco automatica

Il sistema può eseguire la misura del piano XY, ma non può eseguire la misura dell'altezza utilizzando solo l'immagine della fotocamera. Il sistema è comunemente dotato del meccanismo di messa a fuoco automatica (AF) per la misura di altezze. Esistono dispositivi AF che lavorano sull'immagine (come di seguito) ed altri che impiegano un laser AF.



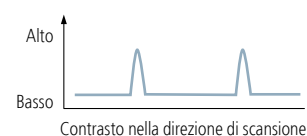
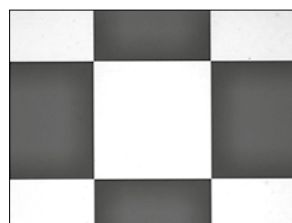
Il sistema AF analizza un'immagine mentre si sposta la fotocamera su e giù nell'asse Z. Nell'analisi del contrasto dell'immagine, un'immagine a fuoco nitida mostrerà un contrasto di picco e una sfuocata mostrerà un basso contrasto. Di conseguenza l'altezza alla quale verrà rilevato il picco di contrasto sarà anche il punto di messa a fuoco dell'immagine.

Variazione del contrasto in base alle condizioni di messa a fuoco

Contrasto del bordo basso a causa del fuori fuoco.



Contrasto del bordo alto in condizione di messa a fuoco.



Panoramica di ISO 10360-7

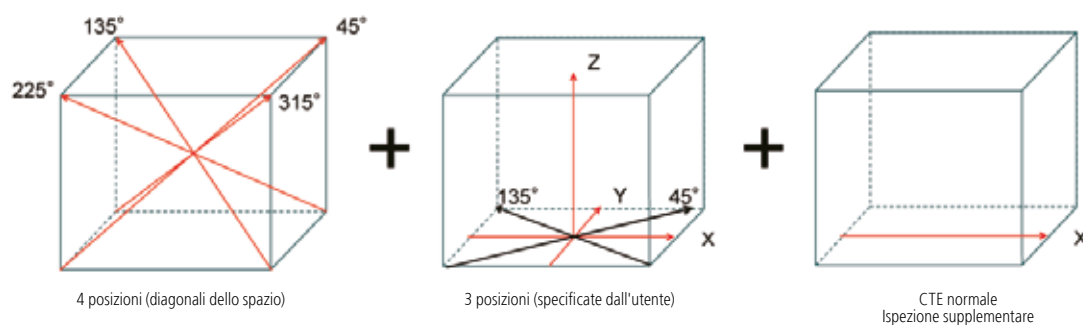
ISO10360-7 (Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Test di accettazione e riequilibrio per macchine di misura a coordinate (CMM) - Parte 7: CMM dotate di sistemi di sondaggio per immagini) è stato pubblicato il 1° giugno 2011.

Alcuni elementi di ispezione sono elencati in ISO10360-7. Il seguente riassume il metodo di prova per determinare l'errore di misura della lunghezza (E) e l'errore di tastatura (PF2D).

Errore di misura della lunghezza, E

Cinque lunghezze di prova in sette direzioni diverse nel volume di misura, ogni lunghezza misurata tre volte, per un totale di 105 misure. Quattro direzioni sono le diagonali dello spazio; restano tre posizioni specificate dall'utente; le posizioni predefinite sono parallele agli assi VMM.

Quando CTE (coefficiente di espansione termica) del manufatto della lunghezza della prova è $< 2 \times 10^{-6}/K$, viene effettuata la misura supplementare dell'artefatto con CTE normale (da 8 a $13 \times 10^{-6}/K$).

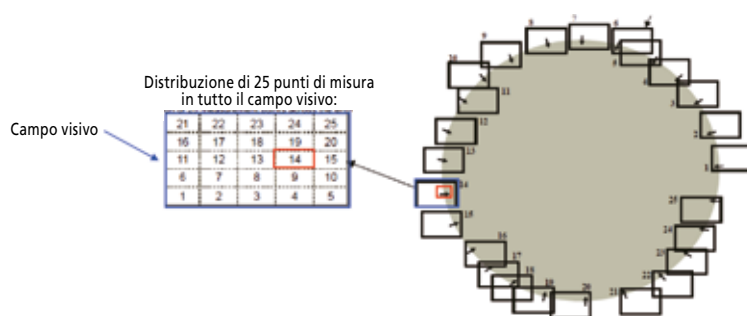


Errore di tastatura, P_{F2D}

Misurare 25 punti distribuiti uniformemente intorno al cerchio di prova (passo 14,4°).

Ciascuno dei 25 punti deve essere misurato utilizzando le 25 aree specificate del campo visivo.

Calcolare l'errore di sondaggio come il campo delle 25 distanze radiali ($R_{max} - R_{min}$) dal centro del cerchio di minimi quadrati.



Rugosimetri

Profili e filtri

(EN ISO 4287 e EN ISO 16610-21)

Il **profilo di superficie effettivo** è il risultato della superficie effettiva del pezzo che interseca con un piano perpendicolare a questa superficie. Il piano dovrebbe muoversi verticalmente rispetto ai segni dell'utensile.

Il **profilo di superficie misurato** è il profilo dopo aver tracciato il profilo di superficie effettivo utilizzando una sonda. I valori misurati vengono filtrati a causa dell'effetto del raggio di punta dello stilo r e, meccanicamente, a causa del pattino del sistema sonda. Le imperfezioni superficiali, quali crepe, graffi e dentellature, non sono considerati rugosità e non devono essere misurati. Se necessario, specificare le tolleranze secondo DIN EN ISO 8785.

Il **profilo primario** è il profilo dopo il filtraggio passa-basso dei valori di misura con la lunghezza d'onda di taglio λ_s . Per questo, i segmenti del profilo a onde corte sono rimossi. I parametri sono identificati da **P** e vengono valutati all'interno della singola lunghezza di campionamento. In questo caso, questa è uguale alla lunghezza di valutazione o alla lunghezza del profilo di superficie misurato.

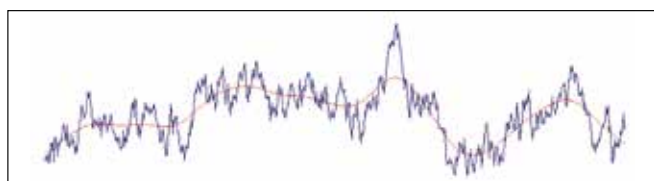


Fig. 1: Profilo primario e linea media per il filtro di profilo λ_s

Il **profilo di rugosità** è il risultato del filtraggio passa-alto del profilo primario con la lunghezza d'onda di taglio λ_c . Per questo, i segmenti del profilo a onde lunghe sono rimossi. I parametri sono identificati da **R** e vengono analizzati in tutta la lunghezza della valutazione **ln**, che di solito consiste in cinque lunghezze di campionamento individuali l_r . La lunghezza del campionamento è uguale alla lunghezza d'onda di taglio λ_c del filtro di profilo.

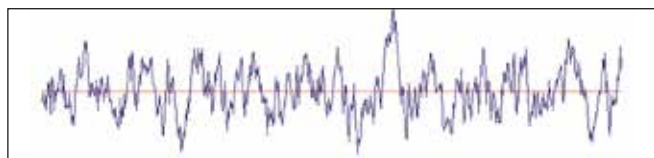


Fig. 2: Profilo di rugosità con linea media (filtraggio passa-alto del profilo primario utilizzando il profilo di filtro λ_c)

Il **profilo di ondulazione** è il risultato del filtraggio passa-basso del profilo primario con la lunghezza d'onda di taglio λ_c e del filtraggio passa-alto con la lunghezza d'onda di taglio λ_f . I parametri sono identificati da **W** e sono valutati sulla lunghezza di valutazione **ln**, che consiste di diverse lunghezze di campionamento **lw**. La lunghezza di campionamento l_w corrisponde alla lunghezza d'onda di taglio λ_f del filtro passa-alto. Tuttavia, il numero di lunghezze di campionamento non è standardizzato e deve quindi essere sempre specificato sul disegno. Dovrebbe essere compreso tra cinque e dieci.

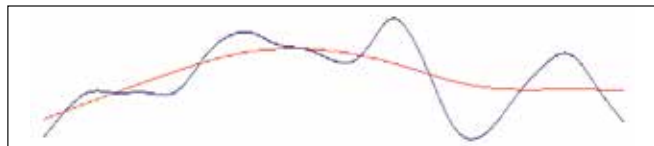


Fig. 3: Linea media dal profilo primario e linea media per il filtro di profilo λ_f dopo il filtraggio passa-alto

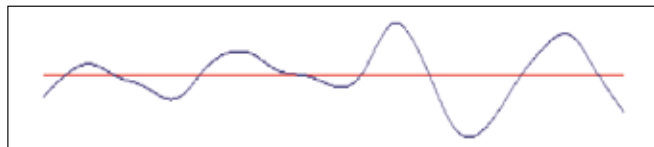


Fig. 4: Profilo di ondulazione con linea media dopo filtraggio passa-basso utilizzando il filtro di profilo λ_c

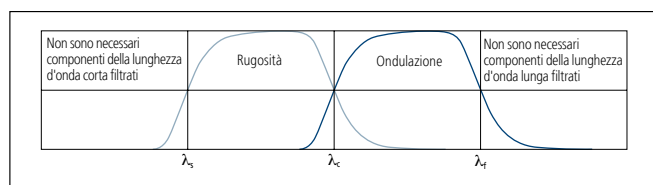


Fig. 5: caratteristiche di trasmissione dei filtri per i vari profili, filtro Gaussian in conformità allo standard EN ISO 16610-21

Parametri di rugosità (EN ISO 4287)

Ra - Valore medio di rugosità aritmetica: media aritmetica delle somme di tutti i valori del profilo (Fig. 6)

Rmr(c) - Percentuale materiale del profilo: quoziente dalla somma delle lunghezze degli elementi del profilo all'altezza della sezione specificata c (in μm) e della lunghezza di valutazione **ln** (specificata in percentuale)

RSm - Larghezza scanalatura media: valore medio della larghezza degli elementi del profilo **Xsi** (ln precedenza **Sm**); le soglie di conteggio orizzontale e verticale sono state definite per la valutazione (Fig. 8)

Rt - Altezza totale del profilo di rugosità: somma dall'altezza **Zp** del picco del profilo più alto e della profondità **Zv** della valle più bassa del profilo entro la lunghezza della valutazione **ln** (Fig. 7)

Rz_i - Altezza massima del profilo di rugosità: somma dall'altezza del picco del profilo più alto e la profondità della valle del profilo più bassa in una lunghezza di campionamento **l_r**

Rz1max - Profondità massima della rugosità: il più grande dei cinque valori **Rzi** dalle cinque lunghezze di campionamento **l_r** entro la lunghezza della valutazione **ln**

Rz - Profondità media di rugosità: valore medio dei cinque valori **Rzi** dalle cinque lunghezze di campionamento **l_r** entro la lunghezza di valutazione **ln**

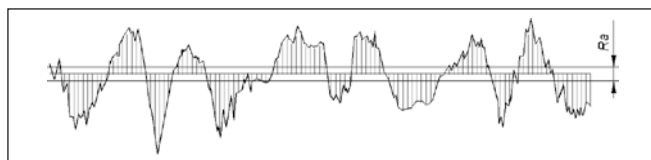


Fig. 6: Valore medio aritmetico di rugosità **Ra**

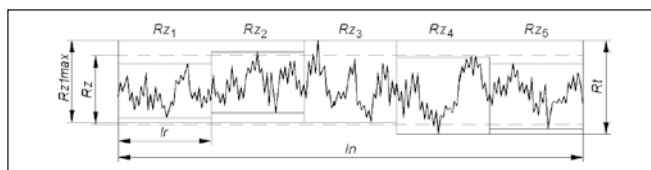


Fig. 7: Altezza totale del profilo di rugosità **Rt**, profondità di rugosità media **Rz** e profondità di rugosità massima **Rz1max**

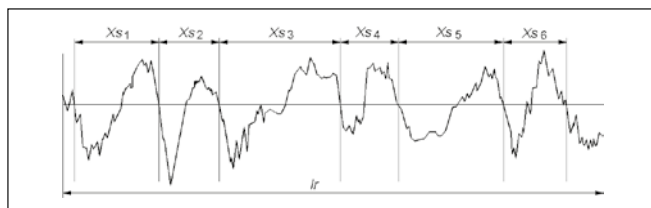


Fig. 8: La larghezza della scanalatura media **RSm** è il valore medio della larghezza **Xsi** degli elementi del profilo

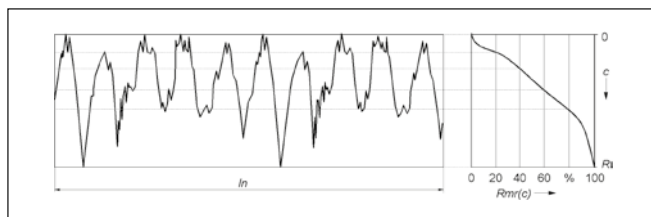


Fig. 9: La curva di rapporto materiale del profilo rappresenta la porzione materiale **Rmr(c)** del profilo in funzione dell'altezza della sezione c (curva Abbott-Firestone)

Parametri preferiti

Profondità massima di rugosità Rz1max per superfici su cui le deviazioni individuali influenzano fortemente la funzione della superficie, ad esempio superfici di tenuta.

Porzione materiale del profilo Rmr(c) per superfici di guida e superfici di tenuta opposte.

La profondità di rugosità media Rz si applica solitamente a tutte le altre superfici. Il valore di rugosità media aritmetica **Ra** reagisce difficilmente a picchi o valli individuali a causa del valore medio formato da tutti i valori del profilo. La sua rilevanza è quindi piuttosto bassa.

Condizioni di misura della rugosità (EN ISO 4288)

Profili non periodici		Profili periodici	Condizioni di misura secondo EN ISO 4288 ed EN ISO 3274			
Rettificata, affilatura, lappatura, erosione ↓ o ↓		Tornitura, fresatura, piallatura ↓	r_{tip} Raggio di punta massimo dello stilo	l_r Lunghezza di campionamento	l_n Lunghezza di valutazione	l_t Lunghezza di passaggio (lunghezza di valutazione più lunghezze di pre-viaggio e post-viaggio)
Rt, Rz μm	Ra μm	RSm mm	r_{tip} μm	$\lambda_s = l_r$ mm	l_n mm	l_t mm
> 0,025... 0,1	> 0,006... 0,02	> 0,013... 0,04	2	0,08	0,4	0,48
> 0,1... 0,5	> 0,02... 0,1	> 0,04... 0,13	2	0,25	1,25	1,5
> 0,5... 10	> 0,1... 2	> 0,13... 0,4	2*)	0,8	4	4,8
> 10... 50	> 2... 10	> 0,4... 1,3	5	2,5	12,5	15
> 50... 200	> 10... 80	> 1,3... 4	10	8	40	48

*) Per $Rz > 3 \mu m$ o $Ra > 0,5 \mu m$ può essere utilizzato il raggio di punta dello stilo $r_{tip} = 5 \mu m$.

Inoltre, la distanza del punto di misura Δx e la lunghezza d'onda di taglio λ_s del filtro passa-basso sono standardizzate. Tuttavia, questi valori sono già stati impostati nei dispositivi di misura della rugosità.

Suggerimento pratico 1: se la superficie del pezzo non è sufficiente per la lunghezza di attraversamento richiesta l_t , il numero di lunghezze di valutazione deve essere ridotto e indicato nel disegno.

Suggerimento pratico 2: se c'è ancora spazio insufficiente, l'altezza totale del profilo primario Pt è misurata sulla lunghezza disponibile anziché Rt o Rz . Pt è ancora uguale a Rt , ma definito al profilo primario e il valore di misura è sempre maggiore.

Valutazione delle misure della rugosità (EN ISO 4288)

I valori di misura della rugosità, in particolare i parametri verticali Rt , Rz , Rz_{1max} e Ra , hanno un divario compreso tra -20% e +30%. Un valore di misura singolo non può quindi fornire una dichiarazione completa per quanto riguarda il rispetto delle tolleranze dei parametri consentiti. La procedura seguente è specificata nella norma DIN EN ISO 4288 Appendice A:

Regola max

Tutti i parametri di rugosità con l'aggiunta di "max" rappresentano il valore medio massimo misurato nelle cinque lunghezze di campionamento: misurare almeno tre punti sulla superficie in cui sono previsti i valori più elevati; il limite indicato non può essere superato in alcun punto.

Regola del 16%

Tutti i parametri di rugosità senza l'aggiunta di "max" rappresentano il valore medio delle cinque lunghezze di campionamento: il 16% dei valori misurati può superare il limite stabilito; la procedura passo dopo passo è la seguente:

1. Se il primo valore misurato è inferiore al 70% rispetto al limite stabilito, questo è considerato conforme.
2. Se il risultato è contrario, vengono effettuate altre due misure in altre posizioni sulla superficie; se tutti e tre i valori misurati sono inferiori al limite stabilito, questo è considerato conforme.
3. Se il risultato è superiore, vengono effettuate nove misure aggiuntive in altre posizioni sulla superficie; se non più di due dei valori misurati superano il limite stabilito, questo è considerato conforme.



Simboli di disegno (EN ISO 1302)

	Simbolo di base	a Un unico requisito di finitura superficiale b Requisiti supplementari per la superficie
	Rimozione materiale tramite la lavorazione meccanica richiesta	c Processo di produzione (ad es. ruotato, macinato, cromato)
	Rimozione di materiale non consentita	d Simbolo per la direzione di disposizione (scanalature di superficie) e Spazio di lavorazione (in mm)
	Struttura identica di tutte le superfici	x Lettera per il benchmarking semplificato, se lo spazio è limitato

	Voci di simbolo (in alto) Simboli per la direzione di disposizione (posizione d, in basso)	
--	---	--

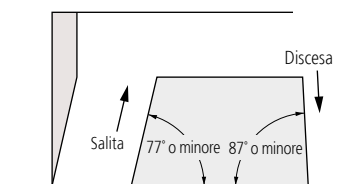
=	⊥	X	M	C	R	P
Parallelo *	Verticale *)	Intersecante	Misto	Concentrico	Radiale	Non diretto

*)... al piano di proiezione di vista in cui è inserito il simbolo

Esempi	Spiegazione
	Nessun rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , regola del 16%, profondità di rugosità media 5 μm (limite superiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , regola max, profondità di rugosità massima 3 μm (limite superiore); spazio di lavorazione 0,2 mm
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , lunghezza di valutazione di 3 lunghezze di campionamento, regola del 16%, profondità di rugosità media 4 μm (limite superiore); scanalature di superfici concentriche
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , regola del 16%, profondità media 5 μm ; valore medio di rugosità aritmetica 1 μm (limite superiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , regola del 16%, profondità di rugosità media tra 1 μm (limite inferiore) e 3 μm (limite superiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita per λ_s , nessun filtro λ_c , profilo P , la lunghezza di valutazione equivale alla lunghezza del pezzo, regola del 16%, altezza totale del profilo primario 25 μm (limite superiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita 0,8 (= λ_c) 25 (= $\lambda_f = l_w$) mm, profilo W , lunghezza di valutazione di 5 lunghezze di campionamento $l_n = 5 \cdot l_w = 125$ mm, regola del 16%, altezza totale del profilo 10 μm (limite superiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , regola del 16%, altezza totale del profilo di rugosità 1 μm (limite superiore); la porzione materiale del profilo è il 90% dell'altezza di taglio $c = 0,3 \mu m$ (limite inferiore)
	Rimozione materiale consentita, banda di trasmissione predefinita, profilo R , larghezza scanalatura media tra 0,1 μm (limite inferiore) e 0,3 μm (limite superiore)
	Spiegazione del significato (a destra) del benchmarking semplificato (a sinistra), se lo spazio è limitato.

Strumenti di misura del profilo

Angolo tracciabile

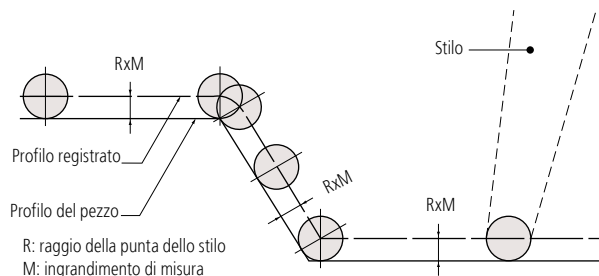


L'angolo massimo che uno stilo può percorrere verso l'alto o verso il basso lungo il contorno di un pezzo, nella sua direzione di marcia, viene indicato come angolo tracciabile. Uno stilo ad un tagliente con un angolo di punta di 12° (come in figura) può percorrere un massimo di 77° verso l'alto e 87° verso il basso. Per uno stilo conico (cono 30°) l'angolo tracciabile è più piccolo. Una pendenza con un angolo di 77° o meno potrebbe effettivamente includere un angolo superiore a 77° per effetto della rugosità superficiale. La stessa influisce anche sulla forza di misura.

Per il modello CV-3200/4500, lo stesso tipo di stilo (SPH-71: ad un tagliente con un angolo di punta di 12°) può percorrere un massimo di 77° di inclinazione verso l'alto e un massimo di 83° di inclinazione verso il basso.

Compensazione per raggio di punta dello stilo

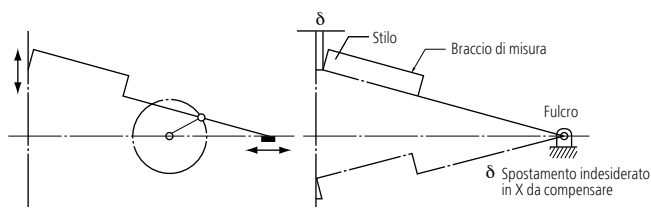
Un profilo rilevato rappresenta il movimento del centro di una sfera che rotola sulla superficie del pezzo. (Raggio tipico 0,025 mm). Ovviamente questo non corrisponde al profilo reale del pezzo, che viene ottenuto attraverso la compensazione del raggio di punta attraverso l'elaborazione dei dati.



Compensazione per rotazione braccio

Lo stilo è trasportato su un braccio oscillante in modo da ruotare quando la superficie viene tracciata e la punta di contatto non segue solamente nella direzione Z. Pertanto è necessario applicare la compensazione nella direzione X per garantire la precisione. Per effettuare la compensazione della rotazione del braccio è necessario applicare uno dei tre metodi seguenti.

- 1: Compensazione meccanica
- 2: Compensazione elettrica



- 3: Elaborazione del software. Per misurare il profilo di un pezzo che comporta un grande spostamento nella direzione verticale con un'elevata precisione è necessario implementare uno di questi metodi di compensazione.

Blocco da sovraccarico

Se una forza eccessiva (sovraccarico) viene esercitata sulla punta dello stilo, (per esempio a causa di una inclinazione eccessiva sul pezzo, di una bava, ecc.), un dispositivo di sicurezza interrompe automaticamente il funzionamento dello strumento e viene emesso un segnale acustico di allarme. Questa gamma di strumenti è comunemente dotata di dispositivi di sicurezza separati per il movimento in direzione orizzontale (asse X) e per il movimento in direzione verticale (asse Y).

Nel modello CV-3200/4500 il dispositivo entra in funzione se il braccio si stacca dalla sua sede.

Braccio a guida semplice o complessa

Nel caso di un braccio, sostenuto da un vincolo semplice, il movimento che la punta dello stilo effettua, durante i movimenti verticali (asse Z) è un arco circolare affetto da un offset indesiderato in X, che necessita di essere compensato. Maggiore è il movimento dell'arco e maggiore sarà lo spostamento X indesiderato (δ) da compensare. (Fig. in basso a sinistra). L'alternativa è l'uso di un complesso sistema meccanico di collegamenti che consentano di ottenere una traslazione lineare in Z, eliminando così la necessità di compensazione in X.

Metodo di misura asse Z

Anche se il metodo di misura comunemente adottato lungo l'asse X è una scala a lettura digitale, la misura dell'asse Z avviene sia con metodi analogici (utilizzando un trasformatore differenziale, ecc.), sia con scale a lettura digitale. Con il metodo analogico la risoluzione dell'asse Z varia in funzione del campo di misura e dell'ingrandimento. I metodi con scala digitale hanno una risoluzione fissa.

Metodi di analisi del profilo

Dopo aver completato le operazioni di misura, è possibile eseguire l'analisi del profilo con uno dei due seguenti metodi.

Sezione elaborazione dati e programma di analisi

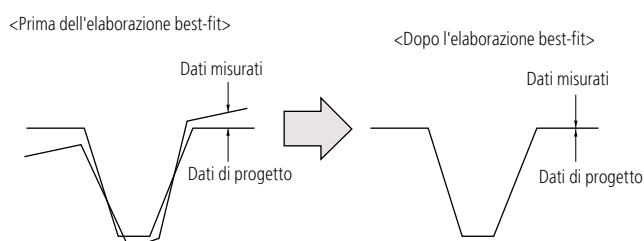
Il profilo misurato viene inviato in tempo reale alla unità di elaborazione dati e, all'interno di un programma dedicato, con l'uso di tastiera e mouse, l'operatore può eseguirne l'analisi. Angoli, raggi, passi, gradini ed altri dati vengono visualizzati direttamente come valori numerici. È possibile effettuare facilmente analisi combinando i sistemi di coordinate. Il grafico, dopo la procedura della correzione del raggio di punta dello stilo, viene mandato in stampa come profilo registrato.

Tolleranze con i dati di progettazione

I dati del profilo misurato del pezzo possono essere confrontati con i dati di progetto in termini di forma e di singole dimensioni. Con questa tecnica vengono visualizzate e registrate tutte le deviazioni tra il profilo previsto e quello reale. I dati di un eventuale pezzo campione possono essere elaborati per essere utilizzati come riferimenti nominali con cui confrontare la produzione. Questa funzione è particolarmente utile quando la forma di una sezione influisce notevolmente sulle prestazioni del prodotto, o quando la sua forma ha un'influenza sull'accoppiamento o l'assemblaggio di parti.

Best-fitting

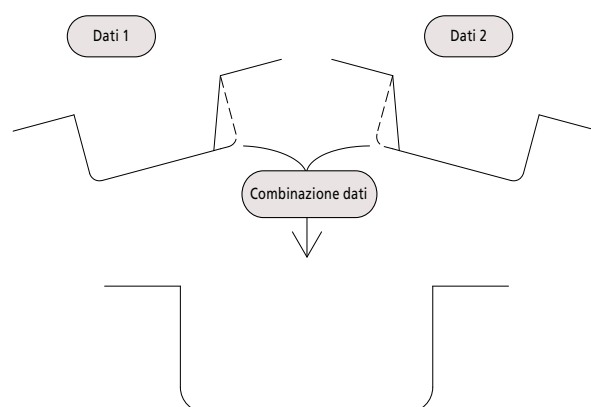
Questa funzione cerca di inserire i punti di misura sullo stesso sistema di coordinate dei punti di riferimento memorizzati. È in grado di eliminare l'effetto di spostamenti del pezzo durante il suo posizionamento nei processi automatici di analisi.



Gli algoritmi di elaborazione della procedura di best-fit ricercano gli scostamenti tra i dati di progetto e quelli rilevati. Creano quindi un sistema di coordinate in cui la somma dei quadrati delle deviazioni è minima quando i dati misurati si sovrappongono ai dati di progetto.

Combinazione dati

Quando, a causa di angoli particolari sul pezzo, non sia possibile eseguire una scansione completa del profilo, si usa dividere la misura in differenti settori che saranno analizzati separatamente. La funzione di combinazione dei dati consente di comporre le diverse sezioni tra loro attraverso elementi comuni (linee, punti). Una volta generato il profilo completo sarà possibile effettuare le analisi in modo consueto.



Esempi di misura



Doppio stilo per misure verso l'alto e verso il basso



Profilo dell'anello interno/esterno di un cuscinetto



Denti interni di ingranaggi



Profilo di una filettatura (femmina)



Profilo di una filettatura (maschio)



Profilo di un calibro

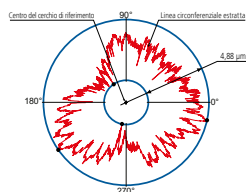
Strumenti di misura della rotondità

Definizione di rotondità

La deviazione dalla rotondità perfetta è definita dalla differenza tra i raggi di due cerchi concentrici e complanari di riferimento le cui dimensioni e posizione centrale sono costruite da uno dei quattro metodi (descritti di seguito) dopo l'estrazione della linea circonferenziale. Le figure mostrano come il valore di deviazione ottenuto sia influenzato dal metodo usato.

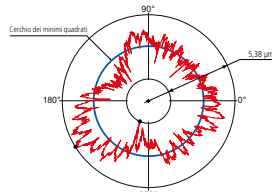
Cerchio area minima (MZCI)

Due cerchi concentrici (circostritto ed inscritto al profilo misurato) vengono determinati in maniera da avere la minor separazione radiale. Il centro di questi cerchi (cerchi di zona minima) è definito come quello del profilo di riferimento. La rotondità è data dalla differenza fra i raggi della zona minima.



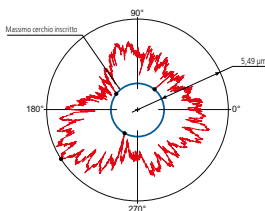
Cerchio ai minimi quadrati (LSCI)

Il cerchio ai minimi quadrati sul profilo misurato è determinato in maniera tale che sia minima la somma dei quadrati delle deviazioni del profilo al cerchio. La rotondità del profilo è la differenza fra i raggi dei cerchi circostritto ed inscritto concentrici al cerchio dei minimi estratta.



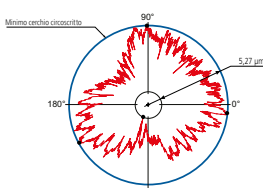
Cerchio massimo inscritto (MICI)

Viene definito come centro del profilo della dimensione massima che tocca e racchiude la linea circonferenziale estratta. Si ottiene un secondo cerchio concentrico con il primo che tocca e, insieme al primo cerchio, racchiude la linea circonferenziale estratta.

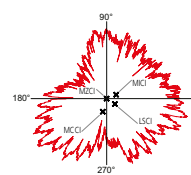


Cerchio minimo circostritto (MCCI)

Viene definito come centro del profilo della dimensione minima che tocca e racchiude la linea circonferenziale estratta. Si ottiene un secondo cerchio concentrico con il primo che tocca e, insieme al primo cerchio, racchiude la linea circonferenziale estratta.



La posizione del centro dei cerchi concentrici definisce il centro della linea circonferenziale estratta e, pertanto, la posizione della struttura circolare misurata. Ciascuno dei metodi descritti sopra crea diverse posizioni centrali per i cerchi di riferimento, come mostrato di seguito.

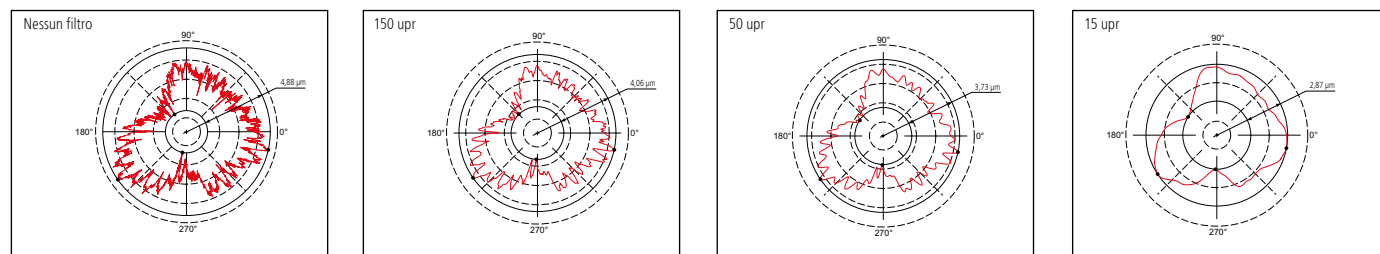


Simbolo caratteristico*	Definizione	Tolleranza geometrica*	Metodo di prova	Risultato
	Rotondità La deviazione della rotondità è la differenza dei raggi tra due cerchi concentrici costruiti per toccare e racchiudere la linea circonferenziale estratta. La caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t.			
	Rettilineità La deviazione della rettilineità è la distanza tra due linee parallele costruite per toccare e racchiudere la retta estratta con distanza minima. La caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t.			
	Planarità La deviazione della planarità è la distanza tra due piani paralleli costruiti per toccare e racchiudere la superficie piana estratta con distanza minima. La caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t.			
	Cilindricità La deviazione della cilindricità è la differenza dei raggi tra due cilindri coassiali costruiti per toccare e racchiudere la superficie cilindrica estratta con distanza minima. La caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t.			
	Coassialità La deviazione della coassialità è la distanza radiale massima tra l'asse della superficie cilindrica estratta e l'asse di riferimento oltre la lunghezza del campo di valutazione. La caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t/2.			

*Seguendo ISO 1101:2012; t = tolleranza

Filtraggio

La deviazione dalla rotondità perfetta è definita dalla differenza tra i raggi di due cerchi concentrici e complanari di riferimento le cui dimensioni e posizione centrale sono costruite da uno dei quattro metodi (descritti di seguito) dopo l'estrazione della linea circonferenziale. Le figure mostrano come il valore di deviazione ottenuto sia influenzato dal metodo usato.



Simbolo caratteristico*	Definizione	Tolleranza geometrica*	Metodo di prova	Risultato
	Concentricità La deviazione della concentricità è la distanza radiale massima tra il centro della linea circonferenziale estratta e il centro dell'elemento di riferimento in una sezione trasversale circolare. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore $t/2$.			
	Parallelismo (da piano a piano) La deviazione del parallelismo da piano a piano è la massima differenza di distanza tra la superficie piana estratta e il piano di riferimento. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Perpendicolarità (da piano ad asse) La deviazione della perpendicolarità da piano ad asse è la massima differenza di distanza tra la superficie piana estratta e un piano perpendicolare all'asse di riferimento. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Perpendicolarità (da asse a piano) La deviazione della perpendicolarità da asse a piano è la massima differenza della distanza tra la linea assiale estratta e un asse perpendicolare al piano di riferimento. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Run-out (radiale) La deviazione del run-out radiale è la differenza massima dei raggi di una linea circonferenziale estratta centrata sull'asse di riferimento. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Run-out (assiale) La deviazione del run-out assiale è la differenza massima della distanza in direzione assiale tra una linea circolare estratta e un piano perpendicolare all'asse. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Run-out totale (radiale) La deviazione del run-out totale radiale è la differenza dei raggi tra due cilindri concentrici coassiali con l'asse di riferimento costruiti per toccare e racchiudere la superficie cilindrica estratta con distanza minima. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			
	Run-out totale (assiale) La deviazione del run-out assiale totale è la massima differenza della distanza in direzione assiale tra una superficie piana estratta e un piano perpendicolare all'asse. Una caratteristica è tollerata limitando la deviazione a un valore t .			

*Seguendo ISO 1101:2012; t = tolleranza

— Geometria estratta — Dell'elemento di riferimento

Strumenti per la misura di durezza

Metodi per le prove di durezza e linee guida per la scelta di una macchina per prove di durezza

Metodo di prova	Microdurezza (Micro-Vickers)	Caratteristiche della micro-superficie del materiale	Vickers	Rockwell	Rockwell Superficiale	Brinell	Shore	Per spugna, gomme e plastica	Modelli portatili a rimbalzo
Materiali									
IC wafer	●	●							
Carburo, ceramica (utensili da taglio)		▲	●	●					
Acciaio (materiali temprati, materie prime in ingresso)	●	▲	●	●	●		●		●
Mole per rettifica	●	▲	●	●	●				●
Plastica		▲		●				●	
Macine in pietra				●					
Materiale di fusione						●			
Spugne e gomme								●	
Forma									
Fogli sottili di metallo (lame per rasoi, fogli metallici)	●	●	●		●				
Film sottili, placcature, verniciature, riporti superficiali strati nitruati	●	●							
Piccole parti (lancette, aghi ecc.)	●	▲							
Grandi campioni (strutture)						●	●		●
Configurazione di metalli multistrato (durezza di ogni strato della lega)	●	●							
Superfici in plastica	▲	▲		●				●	
Spugne, superfici in gomma								●	
Applicazioni									
Resistenza o proprietà fisiche dei materiali	●	●	●	●	●	●	●	●	▲
Trattamenti termici	●		●	●	●		▲		▲
Profondità di cementazione	●		●						
Profondità dello strato decementato	●		●		●				
Profondità strato indurito a fiamma o ad alta frequenza	●		●	●					
Temprabilità			●	●					
Massima durezza di un punto di saldatura			●						
Durezza saldature			●	●					
Durezza a temperature elevate (caratteristiche a temperature elevate, lavorabilità a caldo)			●						
Resistenza a frattura (ceramica)	●		●						

Principale: ●●● Adatto
▲▲▲ Ragionevolmente adatto

Metodi di misura della durezza

(1) Vickers

Il test di durezza Vickers è il metodo con il più ampio campo d'uso, poiché consente di effettuare test con un carico di prova arbitrario. Questo test ha un numero estremamente ampio di campi di applicazione e viene utilizzato in particolare per test di durezza con carichi di prova inferiori a **9,807N** (1 kgf). Come mostrato nella formula seguente, la durezza Vickers è un valore che si determina dividendo il carico di prova F (N) per l'area di contatto S (mm²) generata dal penetratore sul pezzo. Tale area viene calcolata a partire dalla diagonale d (mm, media tra le due) di una impronta lasciata dal penetratore (diamante piramidale a base quadrata, con angolo tra le facce opposte $\theta = 136^\circ$) nel campione con un carico di prova F (N). k è una costante ($1/g = 1/9,80665$).

$$HV = k \frac{F}{S} = 0,102 \frac{F}{S} = 0,102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \end{matrix}$$

La valutazione dell'errore nel calcolo della durezza Vickers, è data dalla seguente formula. Qui, $\Delta d1$, $\Delta d2$ e " a " rappresentano rispettivamente: l'errore causato dal microscopio, l'errore nella lettura dell'impronta e la lunghezza di una linea di un bordo generata dalle facce opposte del penetratore. $\Delta \theta$ viene espresso in gradi.

$$\frac{\Delta HV}{HV} \approx \frac{\Delta F}{F} - 2 \frac{\Delta d1}{d} - 2 \frac{\Delta d2}{d} - \frac{a^2}{d^2} 3,5 \times 10^{-3} \Delta \theta$$

(2) Knoop

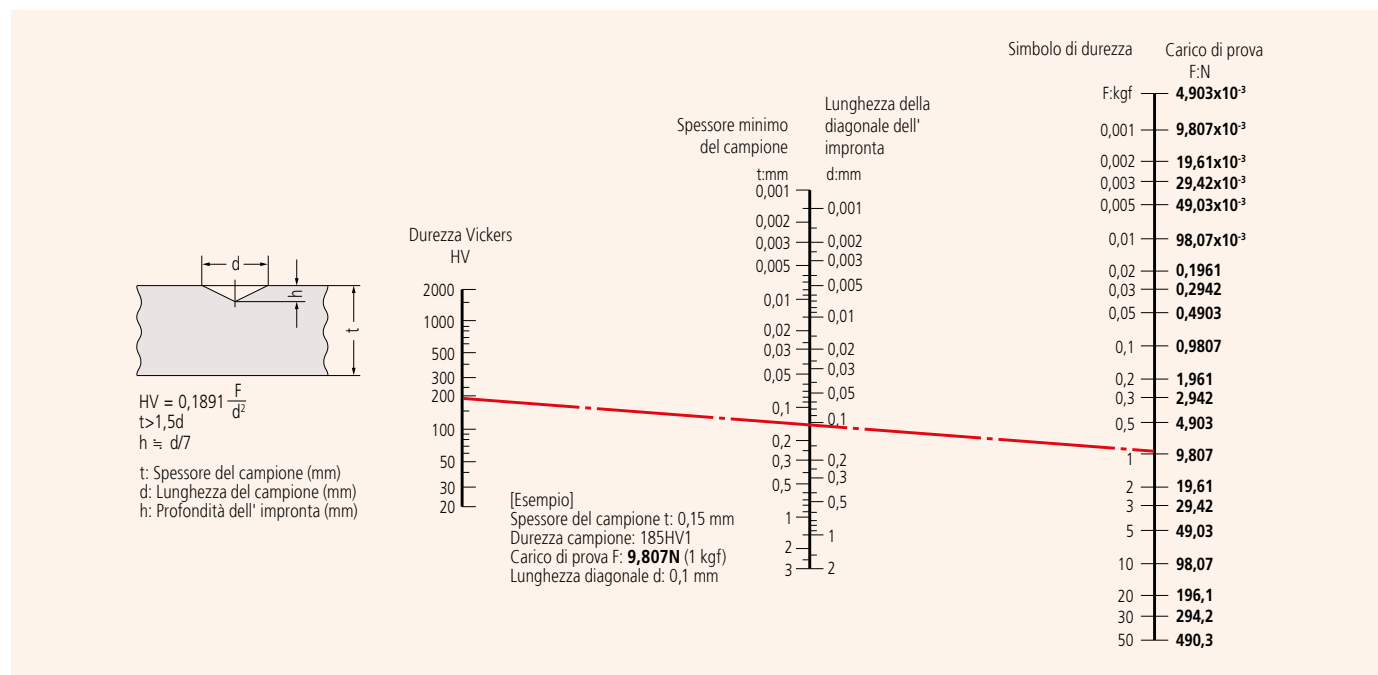
Come mostrato nella seguente formula, la durezza Knoop è un valore ottenuto dividendo la forza di prova per l'area proiettata A (mm²) di un'impronta, a sua volta calcolata dalla lunghezza diagonale più lunga d (mm) dell'impronta formata dalla pressione di un penetratore romboidale diamantato (angoli di bordo opposti di 172° e 130°) in un campione. La durezza Knoop può essere misurata sostituendo il penetratore Vickers del microduremetro Vickers, con il penetratore Knoop.

$$HK = k \frac{F}{A} = 0,102 \frac{F}{A} = 0,102 \frac{F}{cd^2} = 1,451 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: N \\ d: mm \\ c: Costante \end{matrix}$$

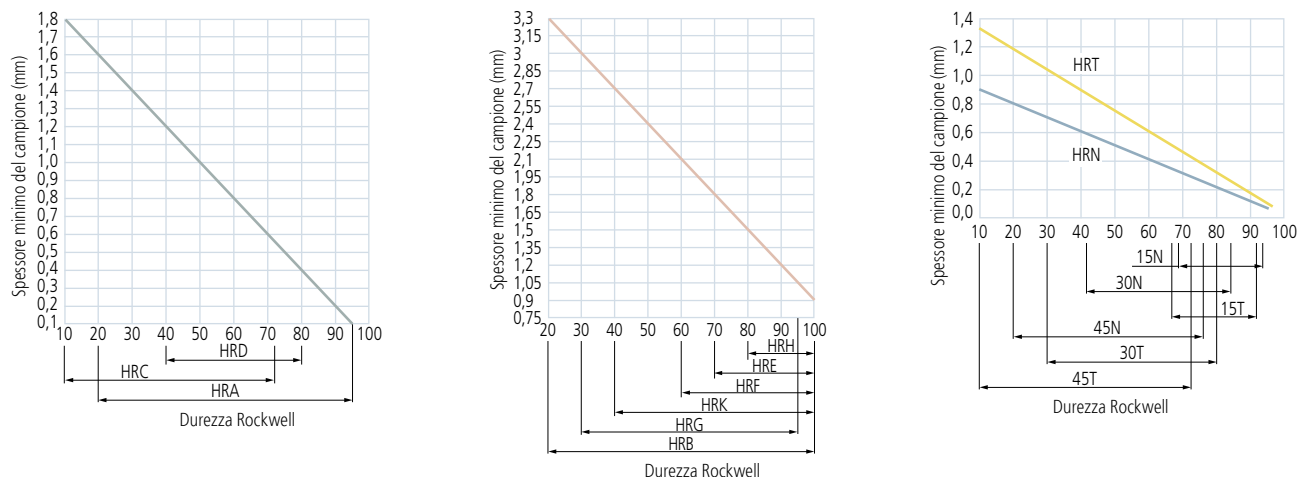
(3) Rockwell e Rockwell Superficiale

La misura delle durezza Rockwell e Rockwell Superficiale si esegue applicando sul campione un precarico iniziale, quindi, il carico completo per un tempo definito e, raggiunta la massima penetrazione, ritornando al precarico iniziale. Il penetratore può essere conico in diamante (angolo del cono: 120° , raggio di punta: 0,2 mm) o a sfera (in acciaio o metallo duro). Il valore di durezza è dato dalla differenza h (μm) fra la profondità dell'impronta che si ha con l'applicazione del precarico e quella ottenuta con l'applicazione del carico di prova completo. Rockwell utilizza una forza di precarico di 98,07N e Rockwell Superficiale 29,42N. Un simbolo specifico fornito in combinazione con un tipo di penetratore, forza di prova, e la formula di durezza è nota come una scala. Le normative Japanese Industrial Standards (JIS) definiscono diversi tipi di scale.

Relazione tra durezza Vickers e spessore minimo di un campione



Relazione tra durezza Rockwell/Rockwell Superficiale e spessore minimo di un campione



Scale di durezza Rockwell

Scala	Penetratore	Carico di prova (N)	Applicazioni
A	Diamante	588,4	Carburo cementato, lamina sottile di acciaio
D		980,7	Acciaio temprato
C		1471	Acciaio (100HRB superiore ~ 70HRC inferiore)
F	Sfera con diametro di 1,5875 mm	588,4	Metallo antifrizione, ottone rame ricotto
B		980,7	Leghe dure di alluminio, rame berilio, bronzo fosforoso
G		1471	
H	Sfera con diametro di 3,175 mm	588,4	Metallo antifrizione, mola
E		980,7	Metallo antifrizione
K		1471	Metallo antifrizione
L	Sfera con diametro di 6,35 mm	588,4	Plastica, piombo
M		980,7	
P		1471	
R	Sfera con diametro di 12,7 mm	588,4	Plastica
S		980,7	
V		1471	

Scale di durezza Rockwell Superficiali

Scala	Penetratore	Carico di prova (N)	Applicazioni
15N	Diamante	147,1	Carburazione, nitrurazione, ecc.
30N		294,2	Strato sottile indurito della superficie di acciaio
45N		441,3	
15T	Sfera con diametro di 1,5875 mm	147,1	Acciaio dolce, ottone, lamina sottile di bronzo, ecc.
30T		294,2	
45T		441,3	
15W	Sfera con diametro di 3,175 mm	147,1	Plastica, zinco, leghe per cuscinetti
30W		294,2	
45W		441,3	
15X	Sfera con diametro di 6,35 mm	147,1	Plastica, zinco, leghe per cuscinetti
30X		294,2	
45X		441,3	
15Y	Sfera con diametro di 12,7 mm	147,1	Plastica, zinco, leghe per cuscinetti
30Y		294,2	
45Y		441,3	

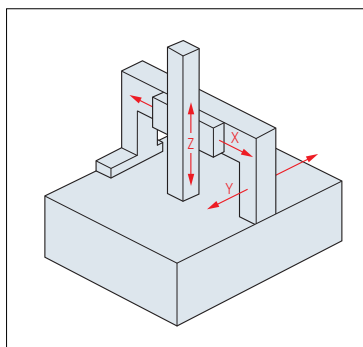
Macchine di misura a coordinate

Le macchine di misura a coordinate di Mitutoyo utilizzano principalmente quattro tipi di struttura che offrono svariati vantaggi, tra cui ottima stabilità, alta precisione, elevata velocità di misura, comodità di bloccaggio dei pezzi, ecc.

CMM a ponte mobile

In questa configurazione il braccio si muove verticalmente (asse Z) montato su un carrello (asse X), il carrello (asse X) si muove orizzontalmente su una struttura a ponte supportata dalla base e guidata orizzontalmente per formare l'asse Y. Un pezzo è caricato sulla tavola.

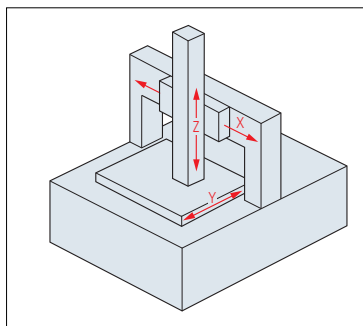
Molti modelli di CMM Mitutoyo hanno adottato questo tipo di struttura, ottenendo una precisione, una velocità e un'accelerazione elevate. Mitutoyo offre un'ampia gamma di CMM di questo tipo dai modelli compatti fino ai modelli di grandi dimensioni.



CMM a ponte fisso

In questa configurazione, il braccio si muove verticalmente (asse Z) montato su un carrello (asse X), il quale si muove orizzontalmente su una struttura a ponte fissata alla base. Una tavola (asse Y), su cui viene posizionato il pezzo, si muove orizzontalmente sulla base.

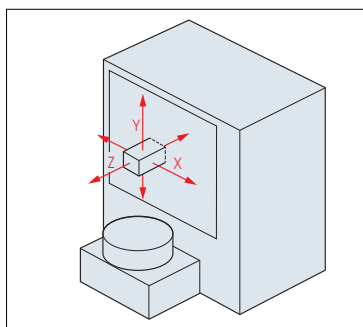
La serie LEGEX di CMM CNC a elevata accuratezza di Mitutoyo ha adottato questo tipo di struttura, fornendo la massima precisione al mondo e riducendo al minimo le fonti di errore. indagini e analisi esaurienti.



CMM con braccio orizzontale

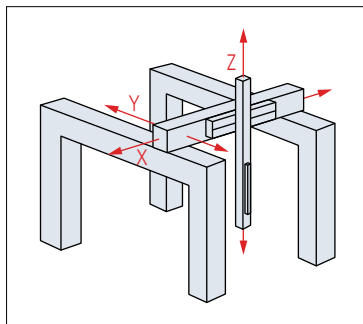
In questa configurazione, il braccio si muove orizzontalmente (asse Z) montato su un carrello (asse Y), il quale si muove verticalmente su una colonna supportata dalla base e dalla colonna (asse X) che si muove orizzontalmente sulla base. Un pezzo è caricato sulla base.

La serie MACH-3A di CMM CNC in linea di Mitutoyo ha adottato questo tipo di struttura, ottenendo posizionamenti ad alta velocità, risparmio di spazio e durata in modo da essere compatibile con l'installazione in linea di produzione.



CMM a ponte/pavimento

In questa configurazione il braccio si muove verticalmente (asse Z) montato su un carrello (asse X), che si muove orizzontalmente su una struttura a doppio ponte (asse Y) supportata da un basamento. Il pezzo è posato direttamente sul pavimento. Mitutoyo ha scelto questa tipologia per le CMM CNC di grandi dimensioni, che incorpora la struttura ad installazione sul pavimento del ponte mobile. Permette la misura ad alta precisione di un pezzo pesante e di grandi dimensioni, con il più ampio campo di misura del mondo.



Metodo di valutazione delle prestazioni delle macchine di misura a coordinate

Per quanto riguarda il metodo di valutazione delle prestazioni della CMM, nel 2003 è stata rilasciata una revisione della norma ISO 10360, che è stata parzialmente rivista nel 2009. Di seguito viene descritto il metodo di ispezione standard incluso il contenuto rivisto.

Tabella 1 Serie ISO 10360

	Elemento	N. standard ISO	Anno di pubblicazione
1	Termini	ISO 10360-1:2000	2002
2	Misura della lunghezza*	ISO 10360-2:2001	2001
3	CMM dotata di tavola rotante	ISO 10360-3:2000	2000
4	Misura di scansione	ISO 10360-4:2000	2000
5	Misura singola/multistilo**	ISO 10360-5:2002	2002
6	Ispezione del software	ISO 10360-6:2001	2001

*Rivista nel 2009 **Rivista nel 2010

Errore massimo di misura della lunghezza ammissibile $E_{0,MPE}$ [ISO 10360-2:2009]

Utilizzando la CMM standard con sonda specifica, misurare 5 lunghezze diverse, calibrate 3 volte e ciascuna in 7 direzioni all'interno del volume di misura (come indicato nella Figura 1), effettuando un totale di 105 misure.

Se questi risultati di misura, inclusa la tolleranza per l'incertezza della misura, sono uguali o inferiori ai valori specificati dal costruttore, ciò dimostra che le prestazioni della CMM sono conformi alle specifiche.

Il risultato di OK/NG deve essere valutato tenendo conto delle incertezze.

L'errore massimo consentito (valore standard) del test può essere espresso in una qualsiasi delle seguenti tre forme (unità: μm).

$$\begin{aligned} E_{0,MPE}(MPE_L) &= A + L/K \leq B \\ E_{0,MPE}(MPE_L) &= A + L/K \\ E_{0,MPE}(MPE_L) &= B \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} A: \text{Costante } (\mu\text{m}) \text{ specificata dal costruttore} \\ K: \text{Costante senza dimensioni specificata dal costruttore} \\ L: \text{Lunghezza misurata} \\ B: \text{Valore limite superiore } (\mu\text{m}) \text{ specificato dal costruttore} \end{array} \right.$$

*La norma ISO 10360-2:2009 specifica la misura in 4 direzioni diverse come essenziale e raccomanda la misura parallela a ogni asse, mentre la norma ISO 10360-2:2001 ha specificato la misura "in 7 direzioni arbitrarie".

Le seguenti definizioni di errore sono state aggiunte in ISO 10360-2:2009.

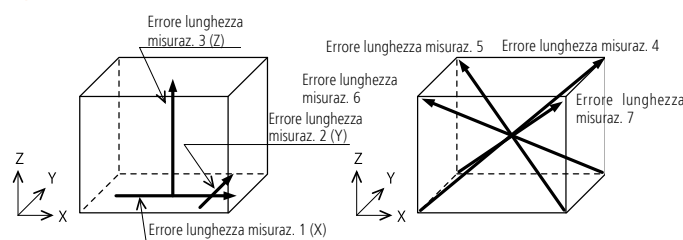


Figura 1 Indicazioni di misura per ottenere l'errore di misura della lunghezza

Errore massimo di misura della lunghezza ammissibile/Errore di misura della lunghezza quando l'offset dello stilo è di 150 mm $E_{150,MPE}$ [ISO 10360-2:2009]

Oltre alla misura della lunghezza in 7 direzioni, la norma ISO 10360-2:2009 specifica la misura in 2 righe sopra il piano diagonale YZ o XZ con offset della sonda.

Nota: l'offset dello stilo è impostato come predefinito a 150 mm.

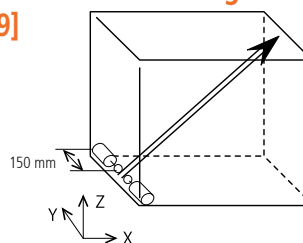


Figura 2 Errore di misura della lunghezza quando l'offset dello stilo dell'asse Z è pari a 150 mm

Limite massimo ammissibile nelle misure della lunghezza ripetute $R_{0,MPL}$ [ISO 10360-2:2009]

Limite massimo ammissibile in misure della lunghezza ripetute R_0 , MPL [ISO 10360-2:2009]

Dopo aver misurato la lunghezza data 3 volte, valutare la variazione dei risultati della misura.

Quindi, calcolare il campo di ripetibilità R_0 .

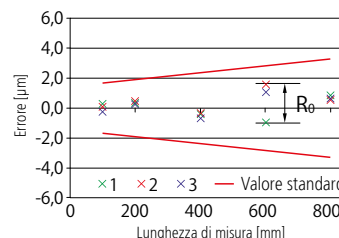


Figura 3 Ripetizione del campo di misura della lunghezza

Massimo errore ammissibile di direzione radiale dell'asse rotativo MPE_{FR} , Massimo errore ammissibile di direzione collegamento dell'asse rotativo MPE_{FT} , e Massimo errore ammissibile di direzione assiale dell'asse rotativo MPE_{FA} [ISO 10360-3:2000]

La procedura di prova secondo questo standard consiste nel posizionare due sfere standard sulla tavola rotante come mostrato nella Figura 4. Ruotare la tavola rotante su un totale di 15 posizioni tra cui 0° , 7 posizioni nella direzione più (+) e 7 posizioni nella direzione meno (-) e misurare le coordinate centrali delle due sfere in ogni posizione. Quindi aggiungere l'incertezza della forma sferica standard a ciascuna variazione (campo) di elementi di direzione radiale, elementi di direzione di collegamento ed elementi di direzione dell'asse rotativo delle due coordinate centrali della sfera standard. Se entrambi i valori calcolati risultano inferiori ai valori dichiarati, la prova è riuscita.

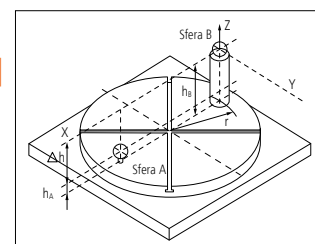


Figura 4 Valutazione di una CMM con una tavola rotante

Macchine di misura a coordinate

Errore massimo di scansione ammissibile MPE_{THP} [ISO 10360-4:2000]

Questa è la normativa di riferimento per la verifica delle prestazioni di una CMM equipaggiata con una testa a scansione. L'errore di tastatura di scansione è stato standardizzato per la prima volta nella norma ISO 10360-2:2009. La procedura consiste nell'effettuare una scansione di 4 piani sulla sfera standard e quindi, per il centro della sfera dei minimi quadrati calcolato utilizzando tutti i punti di misura, calcolare il campo (dimensione "A" nella Figura 3) in cui sono presenti tutti i punti di misura. Basandosi sul centro della sfera calcolato in precedenza si rileva la differenza tra il raggio della sfera campione e il massimo punto misurato o il minimo punto misurato. Si considera quindi la distanza maggiore (dimensione "B" nella Figura 3). Si aggiunge, alle quote A e B, un valore di incertezza estesa che comprenda l'incertezza dovuta alla forma della punta dello stilo ed alla forma della sfera campione. Se entrambi i valori calcolati risultano inferiori ai valori dichiarati, la prova è riuscita.

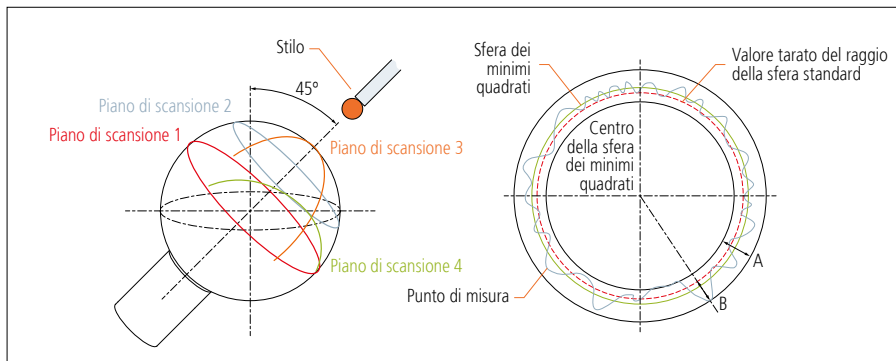


Figura 3 Piani di misura di riferimento per l'errore di prova di scansione massimo ammissibile e la sua valutazione

Errore di forma massimo ammissibile per uno stilo singolo $P_{FTU, MPE}$ [ISO 10360-5:2010]

Questa misura è stata inclusa nella misura dimensionale in ISO 10360-2:2009. Tuttavia, è specificato come "CMM che utilizzano sistemi di tastatura con stilo singoli e multipli" in ISO 10360-5:2010.

La procedura di misura non è stata modificata e bisogna eseguire le seguenti operazioni.

Misurare i punti di destinazione definiti su una sfera standard (25 punti, come nella Figura 6) e utilizzare tutti i risultati per calcolare la posizione centrale della sfera con un metodo dei minimi quadrati.

Quindi, calcolare la distanza R dalla posizione centrale della sfera con un metodo dei minimi quadrati per ciascuno dei 25 punti di misura e ottenere la differenza di raggio $R_{max} - R_{min}$. Se la differenza di raggio alla quale viene aggiunta un'incertezza composta delle forme della punta dello stilo e della sfera di prova standard è uguale o inferiore al valore specificato, si può valutare che la sonda abbia superato la prova.

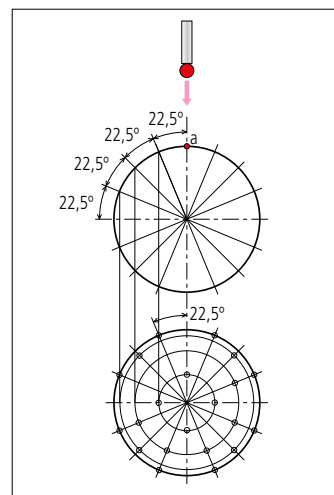


Figura 2 Punti di riferimento per la determinazione dell'errore massimo ammissibile

Misura dell'incertezza della CMM

L'incertezza di misura è un'indicazione utilizzata per valutare l'affidabilità dei risultati di misura.

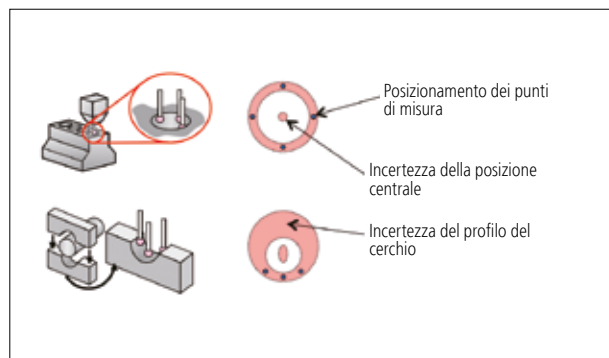
Nella norma ISO 14253-1:2013 si propone di considerare l'incertezza nella valutazione del risultato di misura in riferimento alla specifica.

Tuttavia, non è facile stimare l'incertezza della misura eseguita da una CMM.

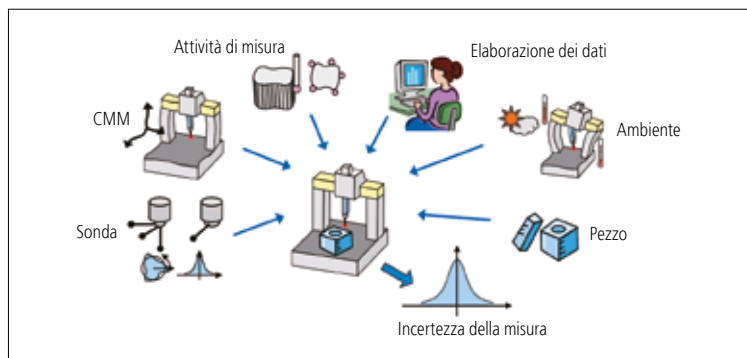
Per stimare l'incertezza della misura, è necessario quantificare l'origine di ogni incertezza e determinare come influisce sul risultato della misura. La CMM è in grado di avere tutti i tipi di impostazioni che determinano la modalità di esecuzione della misura, come la distribuzione dei punti di misura o la definizione del punto di origine, in base all'istruzione di disegno o all'intenzione dell'operatore. Questa caratteristica rende più difficile rilevare la fonte dell'incertezza che influenza il risultato. Considerando la misura del cerchio come esempio, solo una differenza di un punto di misura e la sua distribuzione determina la necessità di ricalcolare l'incertezza.

Inoltre, ci sono molte fonti di incertezza da considerare con la CMM e le loro interazioni sono complicate.

A causa di quanto sopra, è quasi impossibile fornire un'indicazione generale su come stimare l'incertezza di misura della CMM.



Esempio di misura del cerchio da CMM



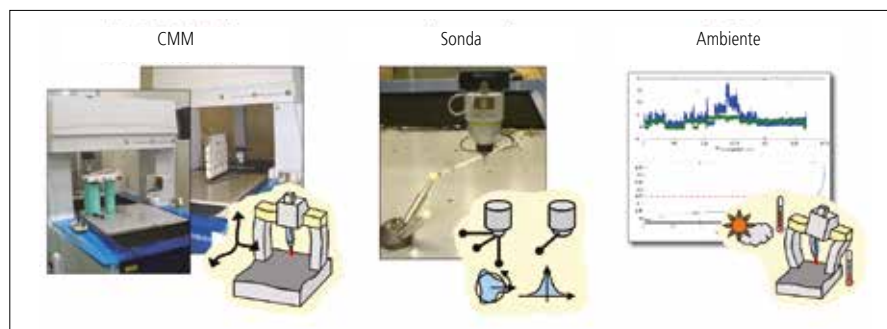
Contributi importanti che causano l'incertezza di misura della CMM

misura dell'incertezza della CMM e del software Virtual CMM

Il software Virtual CMM consente di stimare la complicata incertezza di misura di una CMM. Il software simula una CMM su un PC in base alle sue caratteristiche della macchina ed esegue le misure virtuali (simulate). Le misure simulate vengono eseguite in base al part program creato dall'operatore. Le caratteristiche della macchina vengono valutate dai valori sperimentali basati sulle caratteristiche geometriche della macchina reale, le caratteristiche di tastatura e l'ambiente di temperatura e così via. L'incertezza di misura della CMM può essere facilmente stimata utilizzando il pacchetto software Virtual CMM.

La norma ISO15530 Parte 4 (ISO/TS 15530-4(2008)) definisce come verificare la validità delle incertezze di misura specifiche dell'attività utilizzando simulazioni al computer.

Virtual CMM è conforme a questa specifica.



Quantificazione degli elementi di incertezza CMM per esperimento

Nota: Virtual CMM è un pacchetto software originariamente sviluppato da PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

Parti rilevanti della norma ISO15530: *Specifiche del prodotto geometrico (GPS) - Macchine di misura a coordinate (CMM): Tecnica per determinare l'incertezza di misura -*

Parte 3: Utilizzo di pezzi tarati o di standard di misura

Parte 4: Valutazione dell'incertezza di misura specifica dell'attività mediante la simulazione [Specifiche tecniche]

Macchine di misura a coordinate

Guida rapida agli stili

La scelta dello stilo ha un importante effetto sull'accuratezza della misura ottenuta da una CMM. Di seguito è fornita una guida rapida su come selezionare uno stilo.

Lo stilo è la parte di una sonda che entra in contatto con un pezzo, ed è generalmente costituito da uno stelo e da una punta a sfera. La sonda funziona portando la sfera in contatto con un pezzo per acquisire una misura dal segnale risultante. La forma e le dimensioni di uno stilo devono essere selezionate a seconda del pezzo. In ogni caso, è importante che uno stilo abbia un'elevata rigidità e che la forma della punta sia una sfera praticamente perfetta.



• Selezione di uno stilo

Si raccomanda di selezionare uno stilo sulla base dei seguenti fattori per garantire la massima precisione di misura.

1. Scegliere lo stilo più corto possibile.

Più lungo è lo stilo, maggiore sarà la flessione e minore sarà l'accuratezza. Inoltre, l'accuratezza posizionale della sonda è inversamente proporzionale alla distanza dal perno della sonda alla sfera dello stilo, quindi la sonda più corta offre la massima precisione.

2. Ridurre il numero di giunti dove possibile.

La combinazione di stili e l'utilizzo di estensioni aumenta la possibilità di flessione. Utilizzare il minor numero di componenti possibile per qualsiasi applicazione.

3. Utilizzare una punta a sfera più grande possibile.

L'uso di una sfera più grande aumenta la distanza tra la sfera e lo stelo, riducendo così la possibilità di contatto tra lo stelo e il pezzo (schermatura). Una sfera più grande riduce anche l'influenza della finitura superficiale di un pezzo sull'accuratezza di misurazione.

• Materiale

Uno stilo utilizza un materiale appropriato per l'albero, la sfera e gli altri accessori in base all'applicazione. Di seguito vengono fornite le caratteristiche e i meriti dei materiali comunemente usati.

1. Stelo

Per minimizzare la flessione, lo stelo deve essere il più rigido possibile. Mitutoyo offre i seguenti materiali:



• Carburo di tungsteno

Questo materiale offre un'ottima rigidità per i piccoli diametri dello stelo, quindi è ottimale per molte applicazioni standard. Si consiglia di considerare la massa dello stilo nel caso di un ampio diametro dello stelo e una lunghezza elevata dello stilo.



• Acciaio inox

Gli steli in acciaio inossidabile non magnetico offrono il miglior rapporto di rigidità e peso.

- **Ceramica**

Questo materiale è utilizzato principalmente per gli stili a causa del suo elevato rapporto di rigidità e peso. Ha un'ottima stabilità termica e non è influenzato dalla temperatura dell'ambiente, consentendo così una maggiore precisione di misura.

- **Fibra di carbonio**

La fibra di carbonio è un materiale appropriato per stili lunghi poiché il peso di uno stilo in fibra di carbonio è circa il 20% di quella di uno stilo in carburo. Grazie all'ottima stabilità termica, uno stilo in fibra di carbonio è poco influenzato dall'ambiente operativo.

2. Punta a sfera

La scelta del materiale della punta a sfera più adatto comporta la considerazione della procedura di misura e del materiale del pezzo.

- **Rubino**

Una sfera di rubino fornisce una superficie particolarmente dura e liscia, con elevata resistenza alla compressione e ottima pulizia meccanica. Il rubino è un materiale appropriato per una sfera per la scansione di pezzi diversi, ma può causare abrasione durante la misura di scansione di alluminio e ghisa. In questo caso è consigliabile utilizzare altri materiali come indicato di seguito.

- **Nitrato di silicio**

Il nitrato di silicio, simile al rubino, è un materiale ceramico che fornisce un'elevata durezza e una forte resistenza all'abrasione. Poiché il nitrato di silicio non si fonde con l'alluminio, non causerà usura adesiva come il rubino. Tuttavia, si raccomanda che la sfera di nitrato di silicio sia usata solo per pezzi in alluminio a causa di una marcata sensibilità all'abrasione sulle superfici in acciaio. Nota: questo materiale è disponibile su ordinazione.

- **Zirconia**

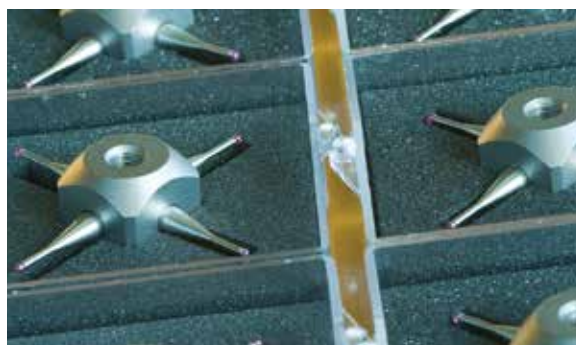
La zirconia è un materiale ceramico che dimostra una durezza particolarmente eccezionale e presenta caratteristiche di durezza e abrasione equivalenti a un rubino. Una sfera di zirconio è ottimale per la scansione di pezzi in ghisa a causa delle sue caratteristiche non abrasive di questo materiale. Nota: questo materiale è disponibile su ordinazione.

- **Taratura**

Anche se viene selezionato uno stilo appropriato per un pezzo, il risultato di misura non sarà accurato se non si effettua la taratura della sonda da utilizzare prima della misura, cosa che comporta la verifica di una sfera di riferimento master in una sequenza definita in modo che il software CMM possa stabilire le caratteristiche della punta a sfera e della sonda/stilo.

- **Meccanismo di taratura**

La CMM calcola la posizione centrale e il diametro di ciascuna sfera dello stilo usando il programma di taratura specifico della sonda. Questo programma utilizza le misure CMM della sfera di riferimento con ciascuna sfera dello stilo configurata per determinare i veri diametri delle sfere e memorizza i dati misurati nel software. Il diametro preciso della sfera di riferimento è noto da una precedente misura di taratura e viene memorizzato per l'utilizzo nei calcoli. Poiché un pezzo può essere misurato da ogni direzione, uno stilo viene tarato con misure a più punti sulla sfera di riferimento. Un sistema di scansione deve ottenere un gran numero di punti per la taratura. Se queste procedure vengono osservate, il diametro effettivo per ciascuna sfera dello stilo e le posizioni centrali delle sfere dello stilo nel sistema di coordinate della macchina sono impostate per consentire una misura accurata.



Mitutoyo Italiana S.r.l.

C.so Europa, 7
20045 Lainate MILANO
Tel. +39 (0) 2.93578.1
Fax +39 (0) 2.93578.255
commerciale@mitutoyo.it
www.mitutoyo.it

