

Indice

Premessa	1
Indicazioni delle tolleranze geometriche	1
Riquadro delle tolleranze	
Elementi con indicazioni di tolleranza	
Zone di tolleranza	
Elementi di riferimento	
Principio di Indipendenza	5
Esigenza di inviluppo	6
Condizione di massimo materiale	7
Esempi di applicazione delle condizioni di massimo materiale	8
Perpendicolarità	
Rettilineità	
Localizzazione	
Tolleranze di forma e posizione di valore nullo	9
Tolleranze di forma	10
di rettilineità	
di circolarità	
di definizione di profilo	
Verifica	
Tolleranze di orientamento	14
di parallelismo	
di perpendicolarità	
di inclinazione	
Verifica	
Tolleranze di posizione.....	18
di localizzazione	
di simmetria	
di concentricità	
Verifica	
Tolleranze di oscillazione	22
Verifica	
Il concetto di coassialità	25
Tolleranze geometriche generali	26
Bibliografia.....	27

Tolleranze Geometriche

Premessa

La moderna produzione industriale è caratterizzata da una aumentata complessità degli oggetti progettati, resa possibile dall'utilizzo di macchine sempre più precise ed affidabili, e dalla necessità di garantire livelli di qualità elevati verificabili attraverso controlli oggettivi e ripetibili.

Il disegno del particolare da produrre non può perciò, come in passato, ridursi alla mera rappresentazione grafica, ma deve contenere tutte le indicazioni necessarie per definire la sua completa funzionalità.

Le tolleranze, sia geometriche sia dimensionali, devono diventare quindi parte essenziale della progettazione fin dalle fasi iniziali e non un accessorio da applicare solo a disegno ultimato.

Le tolleranze geometriche indicano i particolari che devono essere controllati e misurati, assicurando il rispetto delle specifiche progettuali e consentendo al costruttore di scegliere le procedure di fabbricazione più adatte.

Ogni tolleranza implica, tuttavia, un controllo e un conseguente aggravio di costi. Pertanto anche le tolleranze geometriche, come quelle dimensionali e le indicazioni di rugosità superficiale, devono essere prescritte solo nei casi in cui siano indispensabili, vale a dire, alla luce di particolari condizioni di funzionamento, intercambiabilità dei prodotti ed eventualmente di fabbricazione.

Indicazione delle tolleranze geometriche

Le tolleranze geometriche devono contenere:

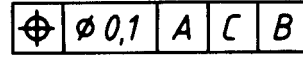
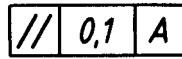
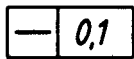
- il simbolo della tolleranza geometrica secondo il Prospetto I;
- il valore totale della tolleranza nell'unità di misura delle dimensioni lineari;
- la lettera o le lettere che individuano gli elementi di riferimento

Prospetto I — Segni grafici per caratteristiche oggetto di tolleranza

Elementi e tolleranze		Caratteristica oggetto di tolleranza	Segno grafico
Elementi singoli	Tolleranze di forma	Rettilineità	—
		Planarità	▭
		Circolarità	○
		Cilindricità	⊘
Elementi singoli od associati		Forma di una linea qualunque	⌒
		Forma di una superficie qualunque	⌒
Elementi associati	Tolleranze di orientamento	Parallelismo	//
		Perpendicolarità	⊥
		Inclinazione	∠
	Tolleranze di posizione	Localizzazione	⊕
		Concentricità e coassialità	⊙
		Simmetria	≡
	Tolleranze di oscillazione	Oscillazione circolare	↗
		Oscillazione totale	↗↘

Riquadro delle tolleranze

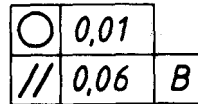
Le indicazioni necessarie devono essere inserite in un riquadro rettangolare diviso in due o più caselle.



Le eventuali annotazioni relative alla tolleranza, per esempio “6 fori” devono essere scritte sopra il riquadro.

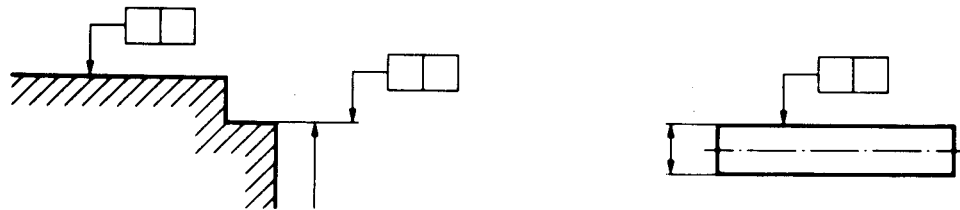
Le indicazioni che caratterizzano la forma dell'elemento all'interno della tolleranza devono essere riportate vicino al riquadro e possono essere unite allo stesso mediante una linea di richiamo.

Se è necessario prescrivere più di un atolleranza geometrica su uno stesso elemento, le indicazioni relative devono essere riportate in riquadri sovrapposti come di seguito indicato.

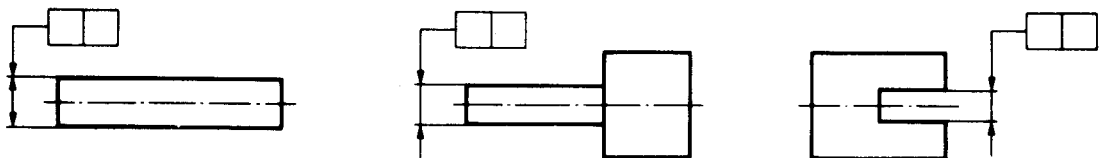
**Elementi con indicazione di tolleranza**

Il riquadro viene unito all'elemento oggetto di tolleranza con una linea di richiamo terminante con una freccia :

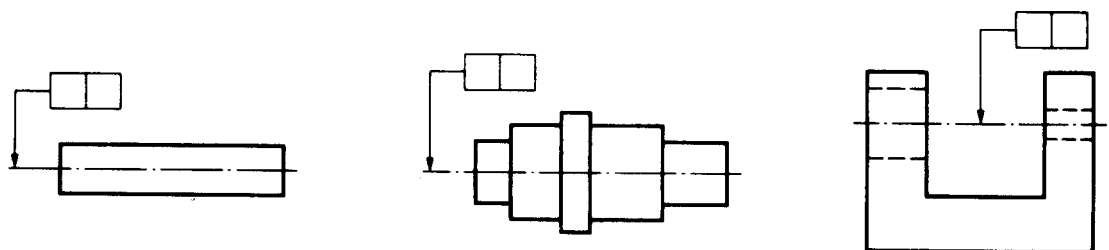
- a) sul contorno dell'elemento o su di una linea di prolungamento del contorno (*ma chiramante staccata dalla linea di misura*) quando la tolleranza si applica ad una linea o a una superficie



- b) sul prolungamento della linea di misura, quando la tolleranza si applica all'asse o al piano mediano della parte quotata

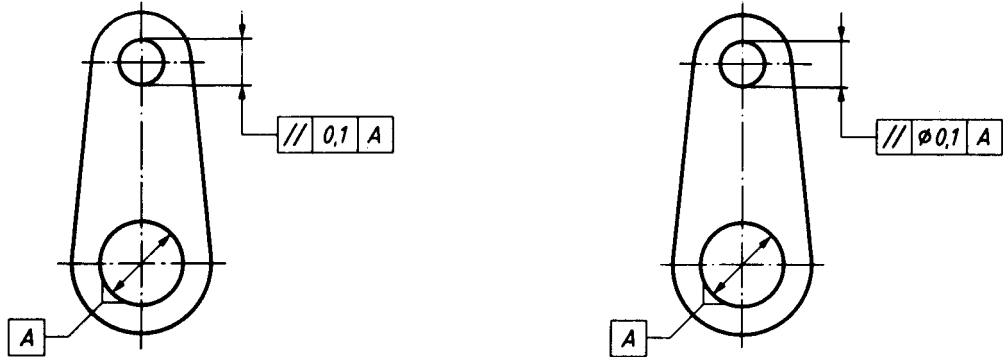


- c) sull'asse quando la tolleranza si applica all'asse o al piano mediano di tutti gli elementi che hanno in comune quell'asse o quel piano mediano.

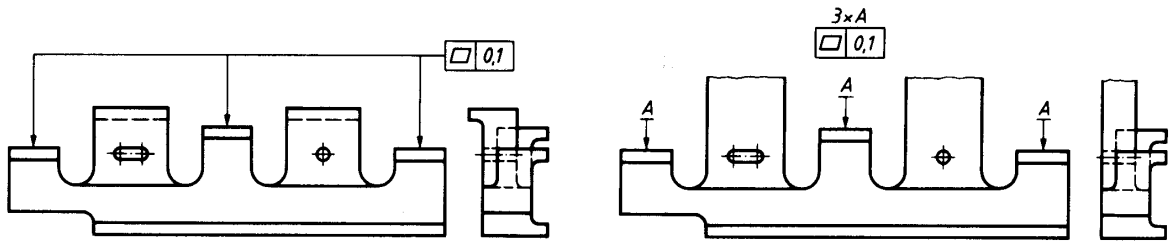


Zone di tolleranza

L'ampiezza della zona di tolleranza è nella direzione indicata dalla freccia della linea di richiamo che unisce il riquadro dell'elemento affetto da tolleranza, salvo il caso in cui il valore della tolleranza è preceduto dal segno ϕ (identificativo di diametro)



Zone di tolleranza singole, aventi lo stesso valore, applicate a più elementi separati, possono essere indicate come di seguito riportato.



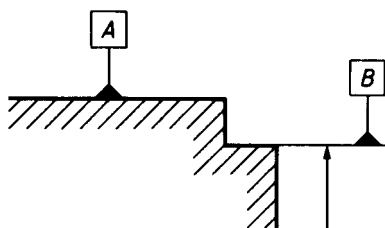
Elementi di riferimento

Quando l'elemento oggetto di tolleranza è in relazione ad un elemento di riferimento, quest'ultimo è identificato con una lettera maiuscola. La stessa lettera che definisce l'elemento di riferimento è ripetuta nel riquadro.

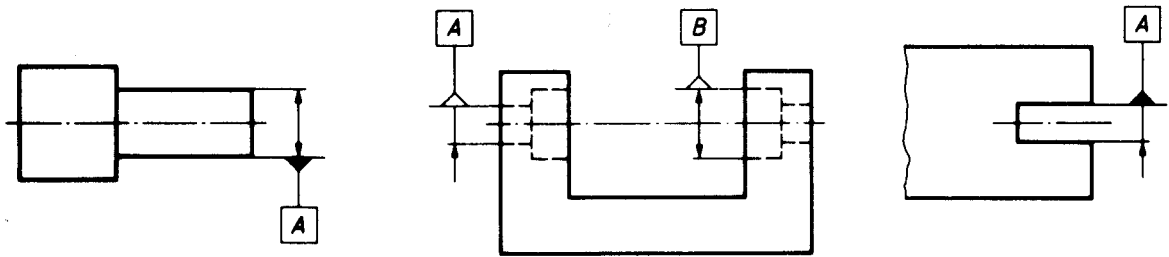


Per identificare l'elemento di riferimento si unisce una lettera maiuscola inscritta in un riquadro ad un triangolo nero o bianco posto sull'elemento di riferimento. Tale triangolo con la lettera di identificazione è situato:

- sulla linea di contorno dell'elemento o sul suo prolungamento (ma chiaramente separato dalla linea di misura) quando l'elemento di riferimento è la linea o la superficie stessa;

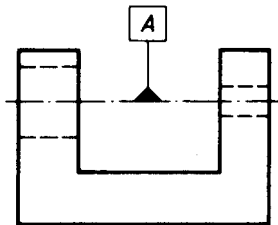


b) sul prolungamento della linea di misura quando l'elemento di riferimento è l'asse o il piano di simmetria;

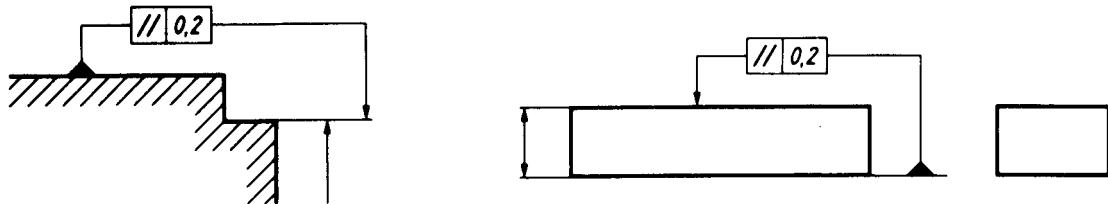


c) sull'asse o sul piano mediano quando l'elemento di riferimento è:

1. l'asse o il piano mediano di un elemento singolo;
2. l'asse o il piano comune a due elementi



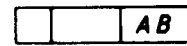
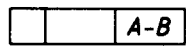
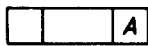
Se il riquadro può essere unito direttamente all'elemento di riferimento mediante una linea di richiamo, la lettera di riferimento può essere omessa.



Un elemento di riferimento singolo è identificato da una lettera maiuscola. Un riferimento comune formato da due elementi di riferimento deve essere identificato da due lettere diverse separate da un trattino.

Se l'ordine di due o più elementi di riferimento è importante, le relative lettere devono essere indicate in caselle diverse del riquadro in ordine di priorità da sinistra a destra.

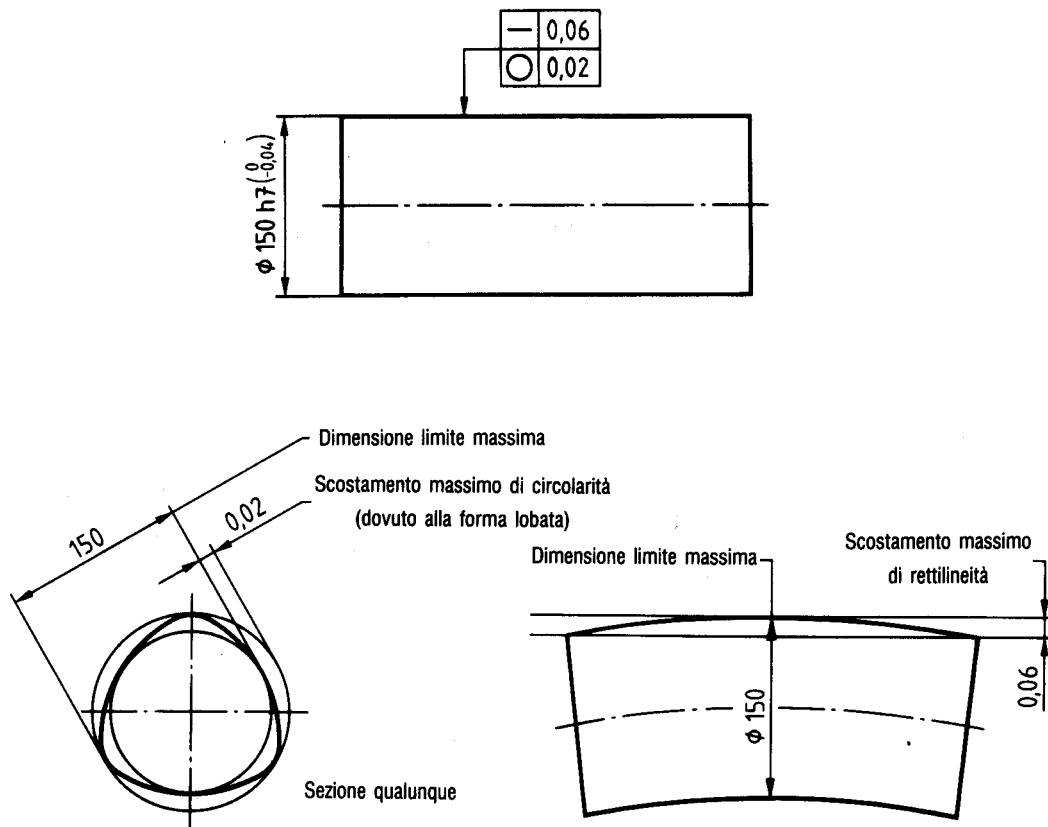
Nel caso in cui l'ordine non abbia importanza le lettere possono essere inscritte nella medesima casella.



Principio di Indipendenza

Ciascuna prescrizione dimensionale o geometrica specificata su di un disegno deve essere rispettata in se stessa, salvo non sia specificata una relazione particolare.

Le tolleranze geometriche si applicano quindi indipendentemente dalle dimensioni locali reali degli elementi singoli. Gli scostamenti geometrici possono raggiungere i loro valori massimi, indipendentemente dal fatto che le sezioni trasversali degli elementi considerati siano o no, nella dimensione corrispondente al massimo materiale. Per esempio, un albero dove tutte le sezioni sono nelle condizioni di massimo materiale, può avere una forma lobata all'interno della tolleranza di circolarità e può anche essere curvato di un valore uguale alla tolleranza di rettilineità.



Interdipendenza tra la dimensione e la geometria

Se è richiesta una relazione particolare tra:

- la dimensione e la forma oppure
- la dimensione e l'orientamento oppure
- la dimensione e la posizione,

essa deve essere specificata sul disegno.

L'interdipendenza tra la dimensione può essere introdotta:

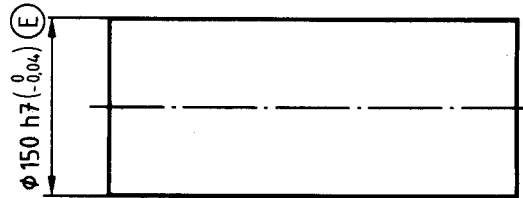
- da esigenza di involuppo;
- dall'applicazione della condizione del massimo materiale

Esigenza di involuppo

L'esigenza di involuppo può essere applicata ad un elemento isolato, sia esso un cilindro, sia esso un elemento definito attraverso due superfici piane parallele ed implica che non deve essere superato l'involuppo di forma perfetta nella dimensione corrispondente alla condizione di massimo materiale.

Esempio: esigenza di involuppo applicata ad un elemento cilindrico

a) indicazione a disegno

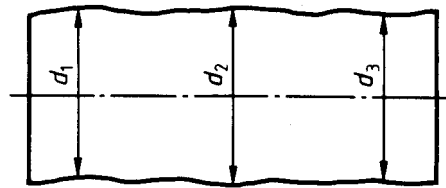


b) esigenza funzionale

- la superficie dell'elemento cilindrico non deve superare l'involuppo di forma perfetta alla dimensione di $\phi 150$, corrispondente alla condizione di massimo materiale;
- nessuna dimensione locale reale deve essere minore di $\phi 149.96$

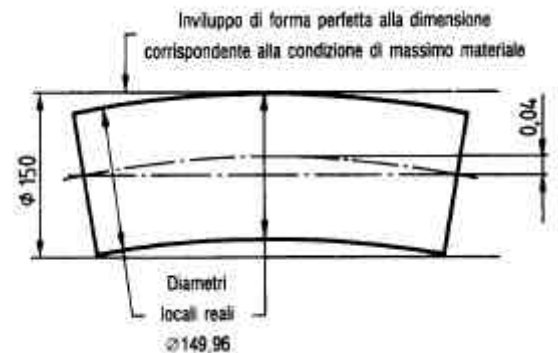
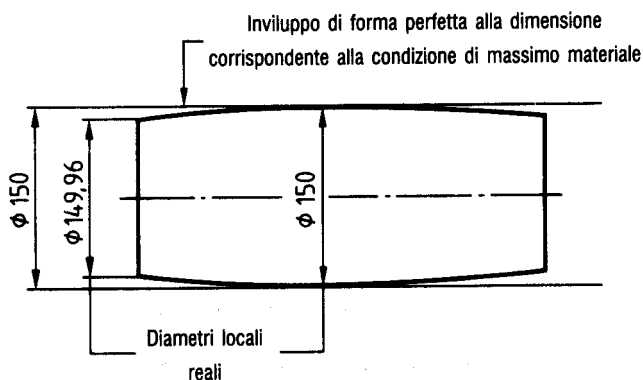
Questo implica che il pezzo reale deve rispettare le seguenti esigenze:

- ciascun diametro locale reale dell'albero deve restare nella tolleranza dimensionale di 0.04 e può quindi variare tra $\phi 150$ e $\phi 149.96$

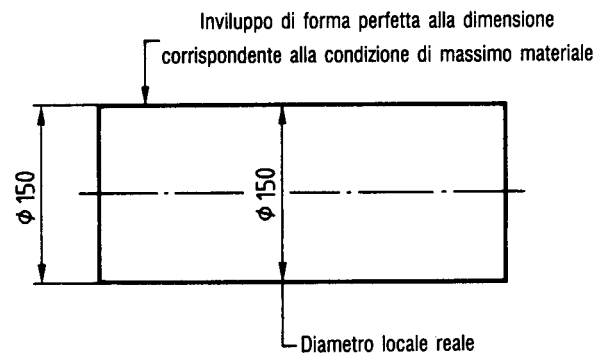


(d_1, d_2, d_3 : diametri locali)

- tutto l'albero deve restare nel limite dell'involuppo cilindrico di forma perfetta di $\phi 150$



Ne consegue che l'albero deve essere perfettamente cilindrico quando tutti i diametri locali siano alla dimensione corrispondente alla condizione di massimo materiale di $\phi 150$



Condizione di massimo materiale (MMC Maximum Material Condition)

La condizione di massimo materiale, come peraltro la condizione di minimo materiale (LMC Least Material Condition), esprime una situazione in cui le tolleranze di forma e posizione possono essere incrementate di un valore (bonus) pari alla differenza tra la dimensione di massimo (minimo) materiale e la dimensione effettiva. Tale incremento risulta estremamente vantaggioso agli effetti della economicità di produzione, ma può risultare inammissibile per ragioni d'ordine funzionale. L'aumento della tolleranza secondo la MMC e/o LMC può essere in genere accettato per le distanze interassiali di fori per bulloni e spine, mentre risulta inammissibile per assi di ingranaggi e collegamenti cinematici in genere. Spetta comunque sempre al progettista stabilire se, in quella particolare circostanza, le esigenze funzionali consentono o meno l'applicazione della condizione di massimo (minimo) materiale.

Ricordiamo tuttavia che la condizione di massimo (minimo) materiale può essere applicata solo a determinate caratteristiche geometriche

Caratteristica geometrica	Applicabilità MMC/LMC	Caratteristica geometrica	Applicabilità MMC/LMC
Rettilineità	solo assi	Perpendicolarità	solo assi
Planarità	NO	Inclinazione	solo assi
Circolarità	NO	Localizzazione	SI
Cilindricità	NO	Concentricità	NO
Forma di un profilo	NO	Simmetria	SI
Forma di una superficie	NO	Oscillazione circolare	NO
Parallelismo	solo assi	Oscillazione totale	NO

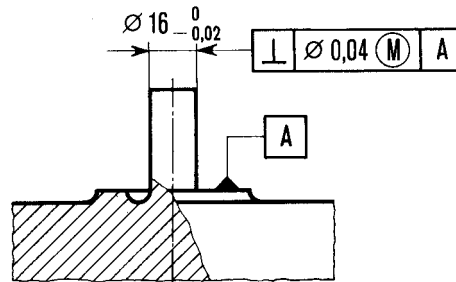
Nel disegno, l'applicabilità della condizione di massimo (minimo) materiale è confermata dall'apposizione nel riquadro, accanto al valore della tolleranza, dei rispettivi simboli modificatori

Ⓜ Ⓛ

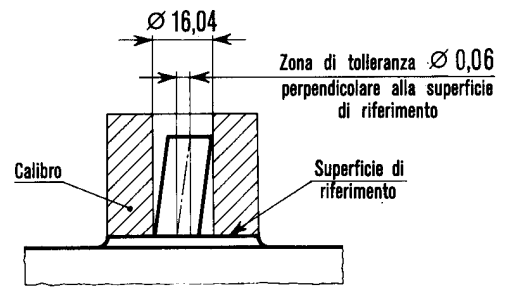
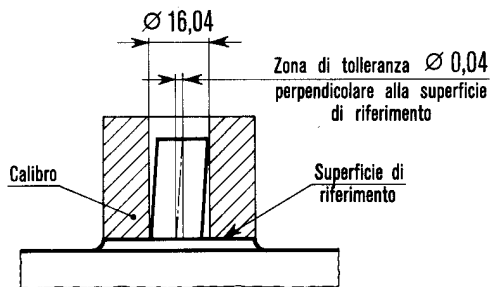
Esempi di applicazione delle condizioni di massimo materiale

Perpendicolarità

L'asse del perno deve trovarsi in una zona di tolleranza cilindrica perpendicolare al piano di riferimento A; il diametro di questa zona varia da 0.04 a 0.06 (bonus di 0.02), in quanto il diametro effettivo del perno può variare da 16 (MMC) a 15.98

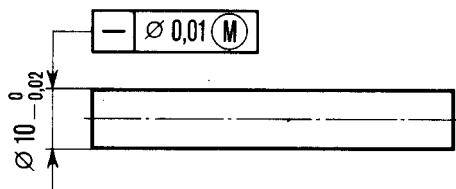


La verifica contemporanea dell'errore di perpendicolarità e di quello dimensionale può essere effettuata con il calibro sotto rappresentato. Il diametro del perno deve peraltro essere verificato separatamente per controllare che non siano stati superati i valori di tolleranza dimensionale.

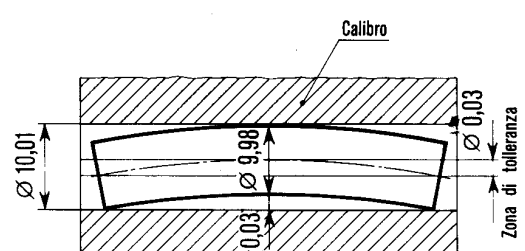
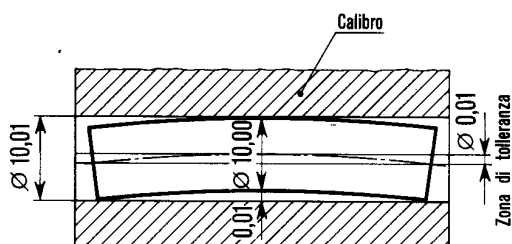


Rettilinearità

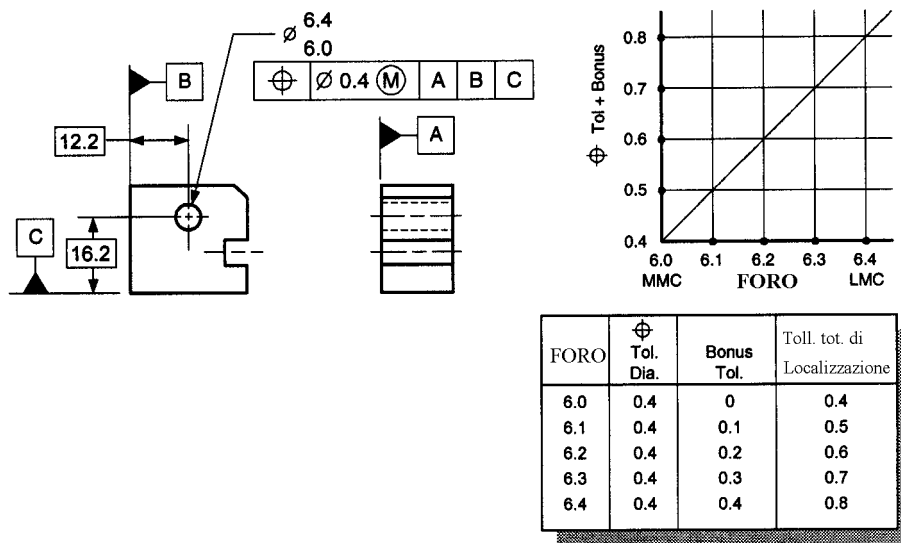
L'asse dell'albero deve essere compreso in una zona di tolleranza cilindrica di diametro da 0.01 a 0.03, in quanto il diametro effettivo dell'albero può variare da 10.00 (MMC) a 9.98



La verifica contemporanea dell'errore di rettilineità e di quello dimensionale può essere effettuata con il calibro sotto rappresentato. Il diametro del perno deve peraltro essere verificato separatamente per controllare che non siano stati superati i valori di tolleranza dimensionale

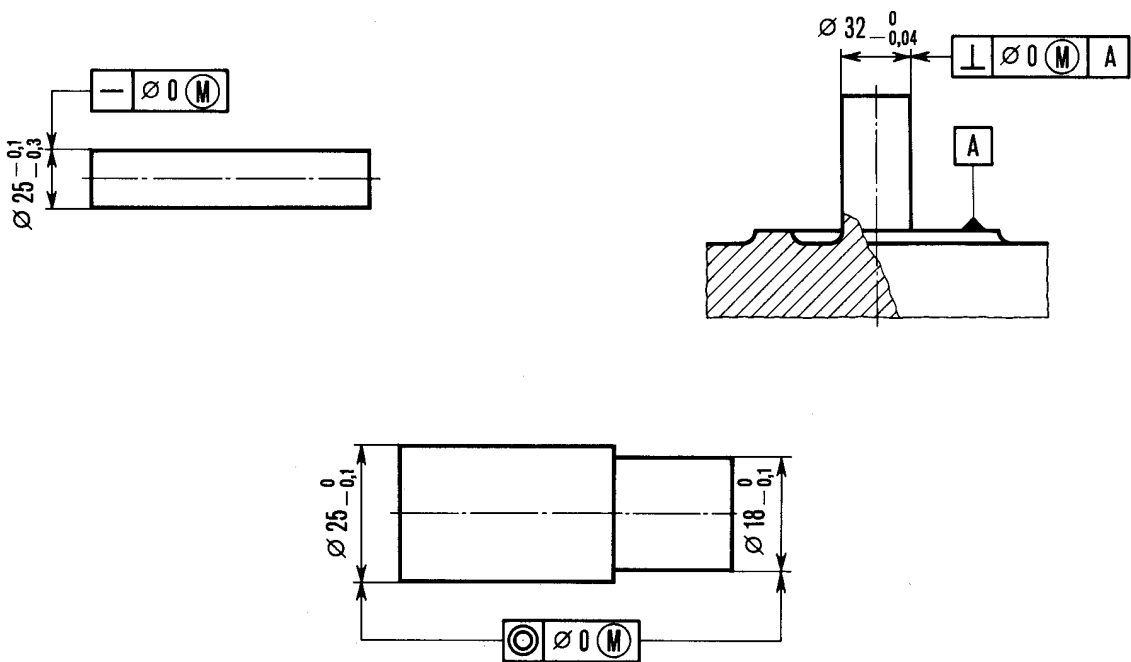


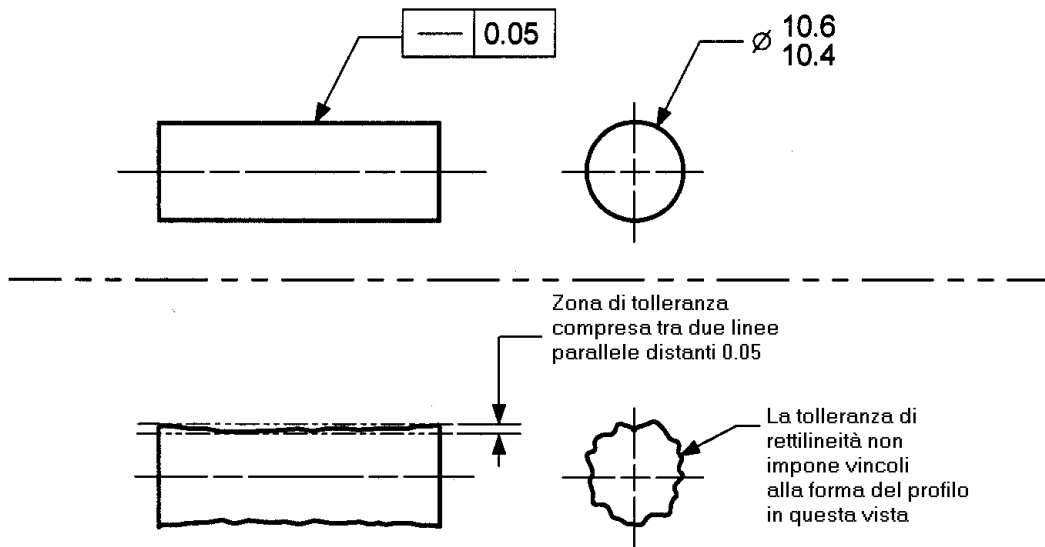
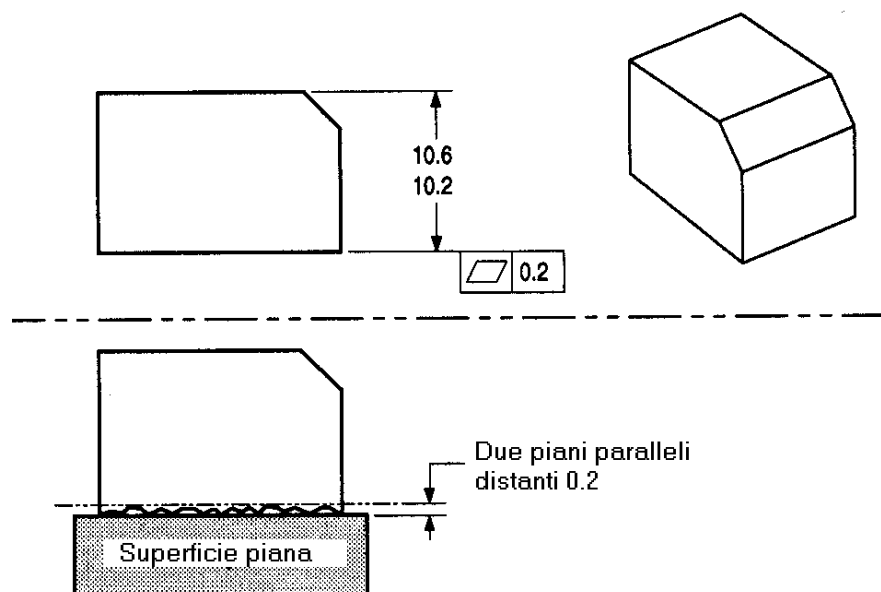
Localizzazione



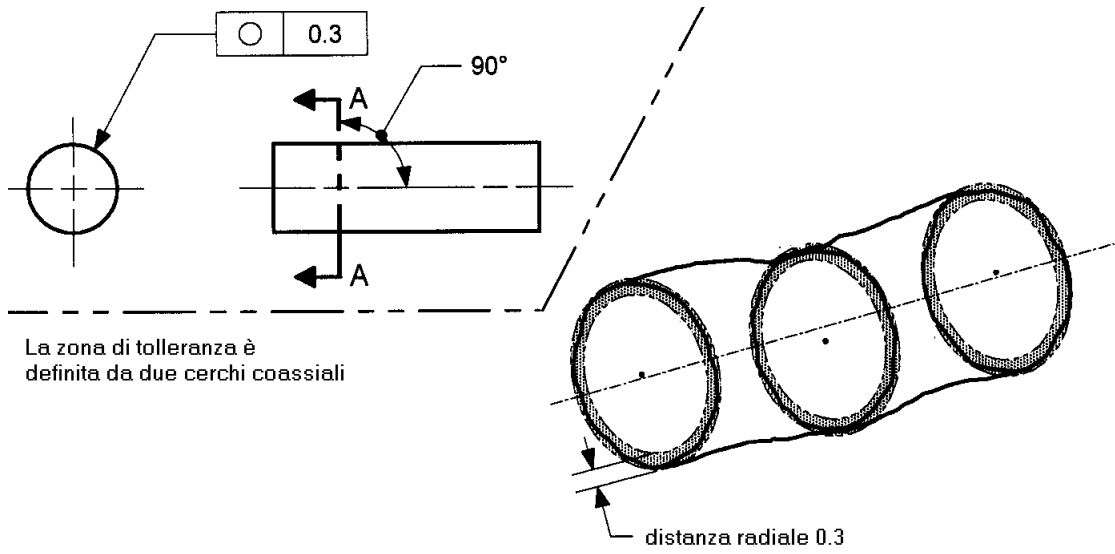
Tolleranze di forma e posizione di valore nullo

Queste indicazioni significano che se l'elemento ha dappertutto dimensione effettiva uguale alla dimensione di massimo materiale, la sua forma deve essere perfetta, mentre se l'elemento si scosta dalla dimensione di massimo materiale, sono ammessi errori di forma o di posizione nella misura limitata alla differenza rispetto alla predetta dimensione di massimo materiale.

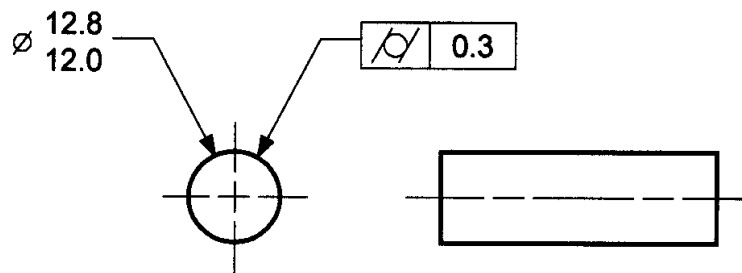


Tolleranze di forma□ **Tolleranza di rettilineità**□ **Tolleranza di planarità**

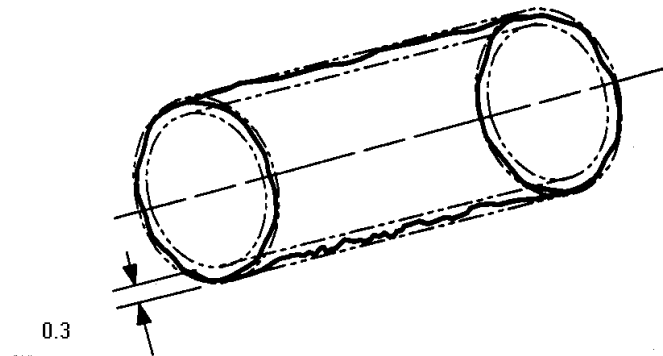
□ *Tolleranza di circolarità*



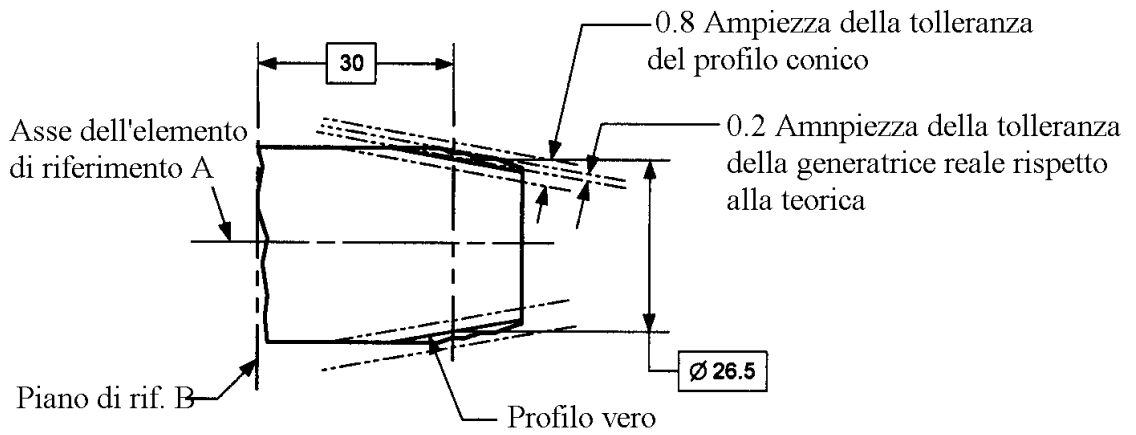
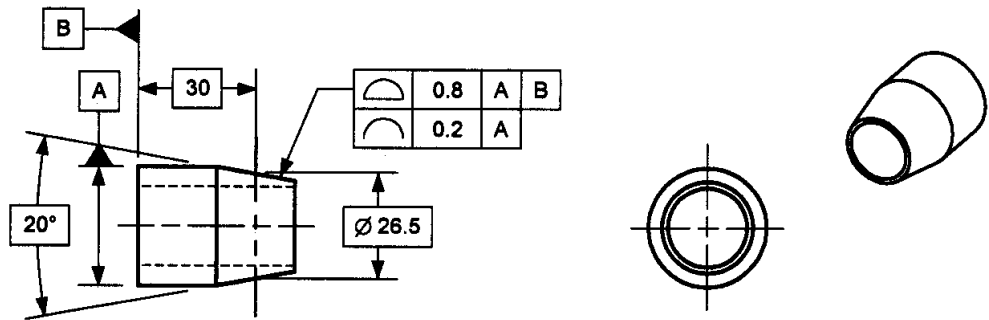
□ *Tolleranza di cilindricità*



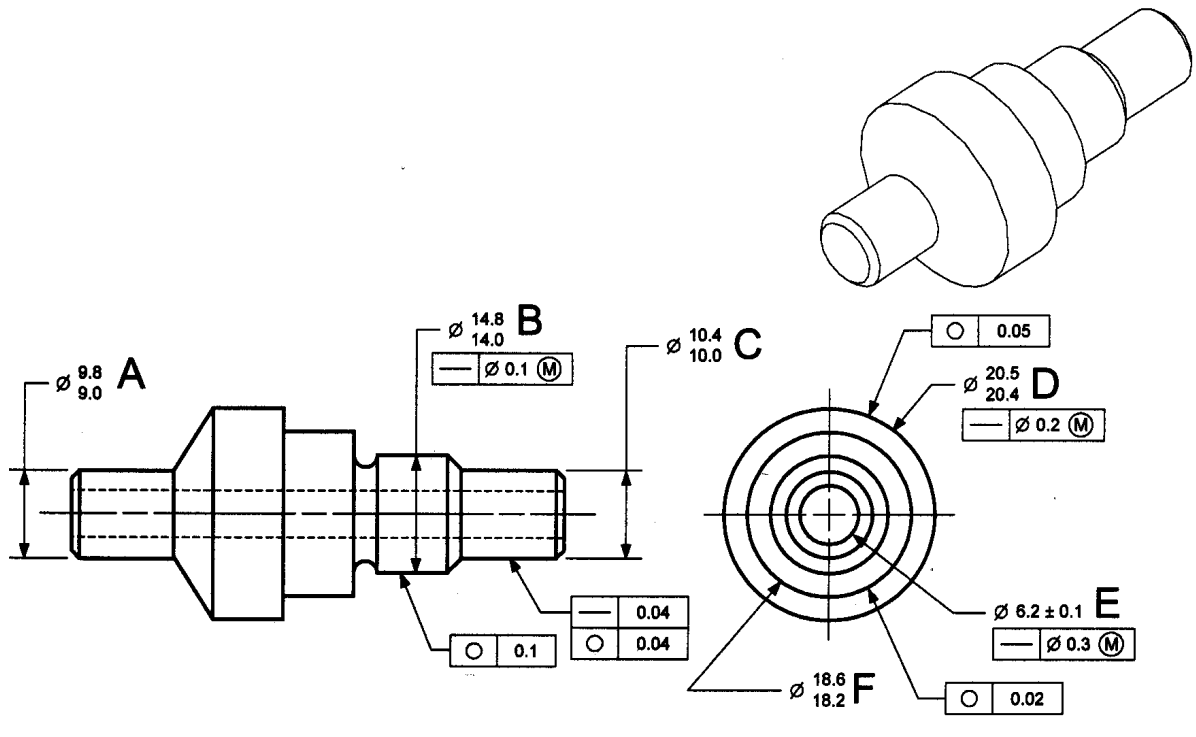
La zona di tolleranza è definita da due cilindri coassiali



□ **Tolleranza di definizione di Profilo**

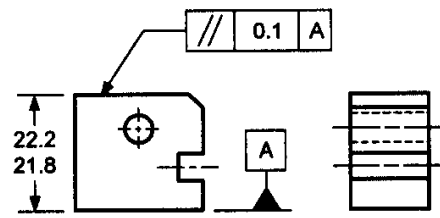


Verifica

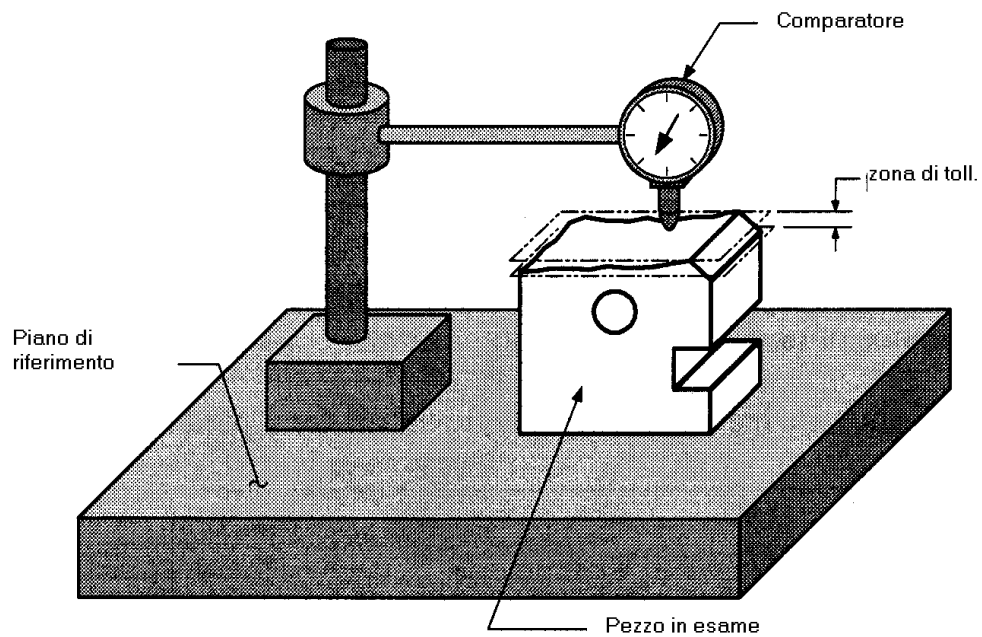
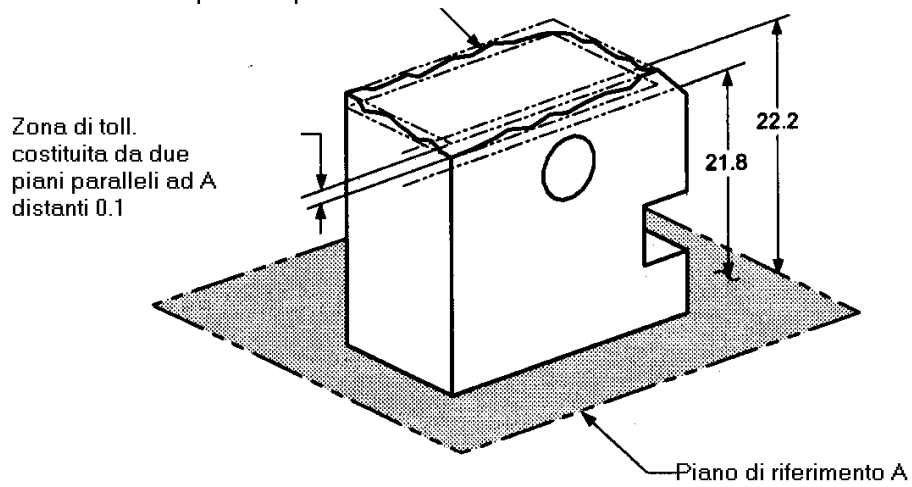


Con riferimento alla figura, compilare la sottostante tabella

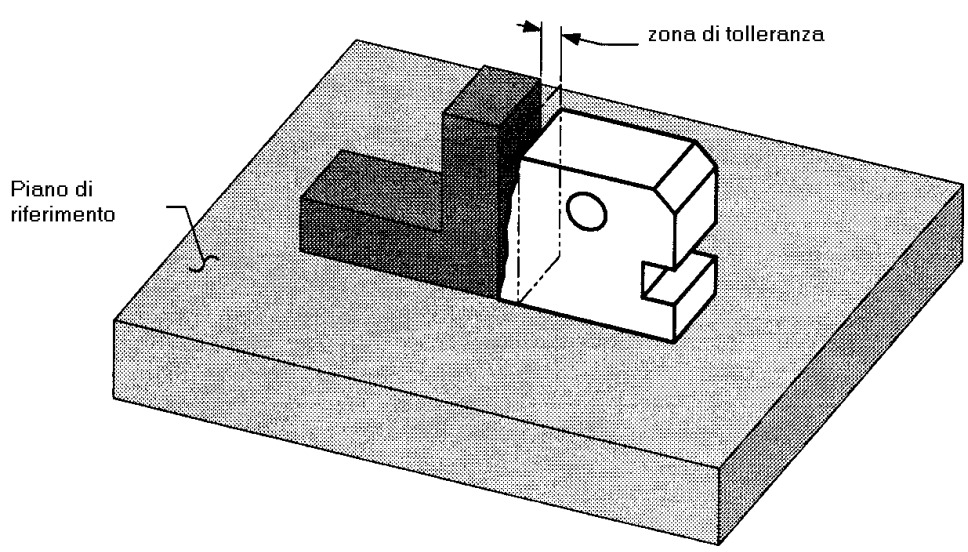
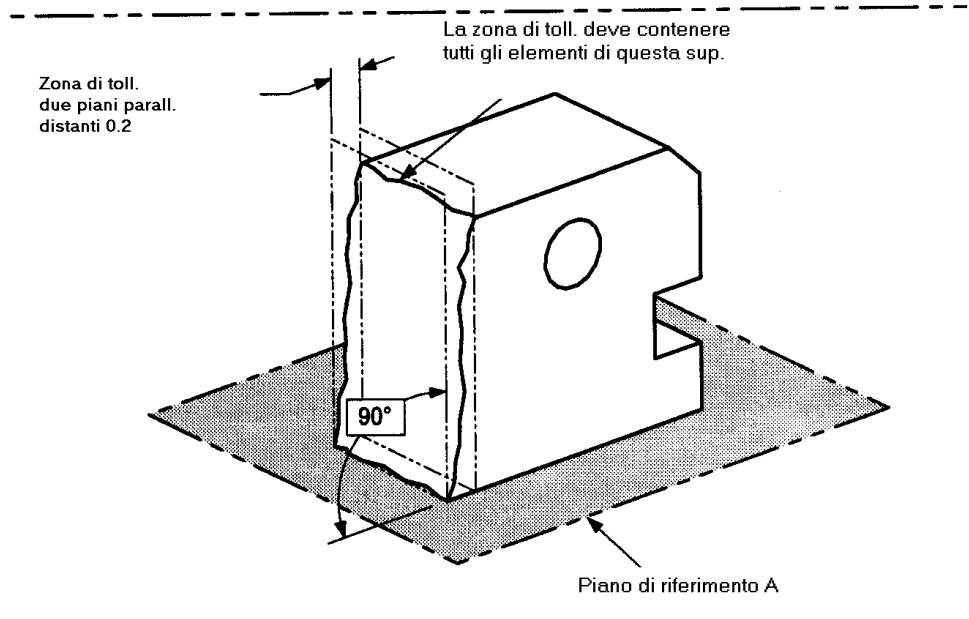
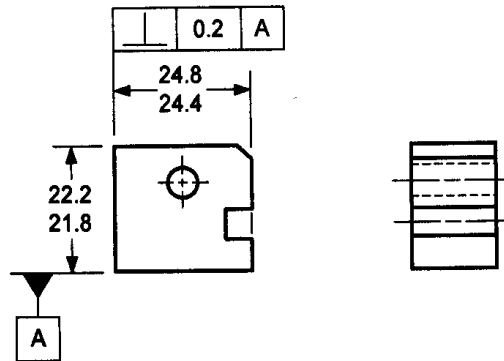
Diametro	Max errore di circolarità	Max errore di rettilineità sull'asse	Max errore di rettilineità sulla generatrice
A			
B			
C			
D			
E			
F			

Tolleranze di orientamento□ **Parallelismo**

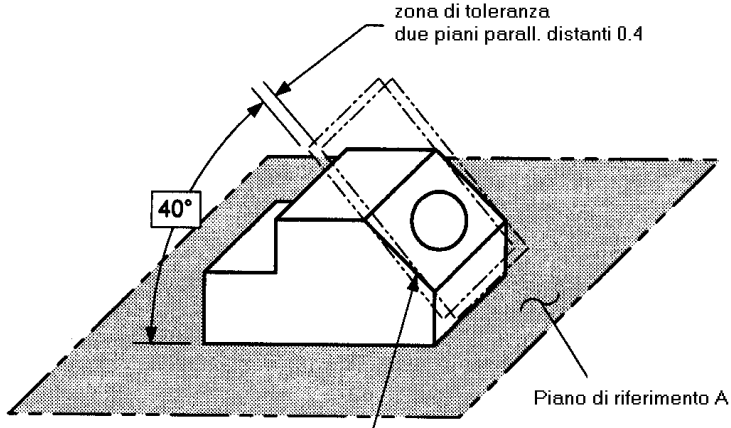
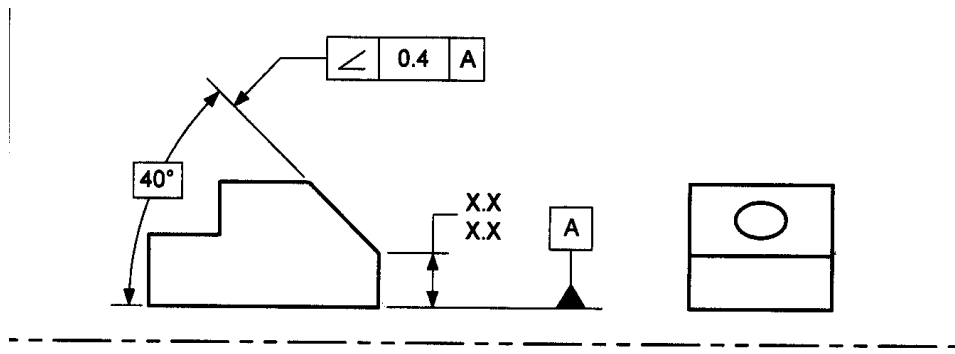
La zona di toll. deve contenere tutti gli elementi di questa sup.



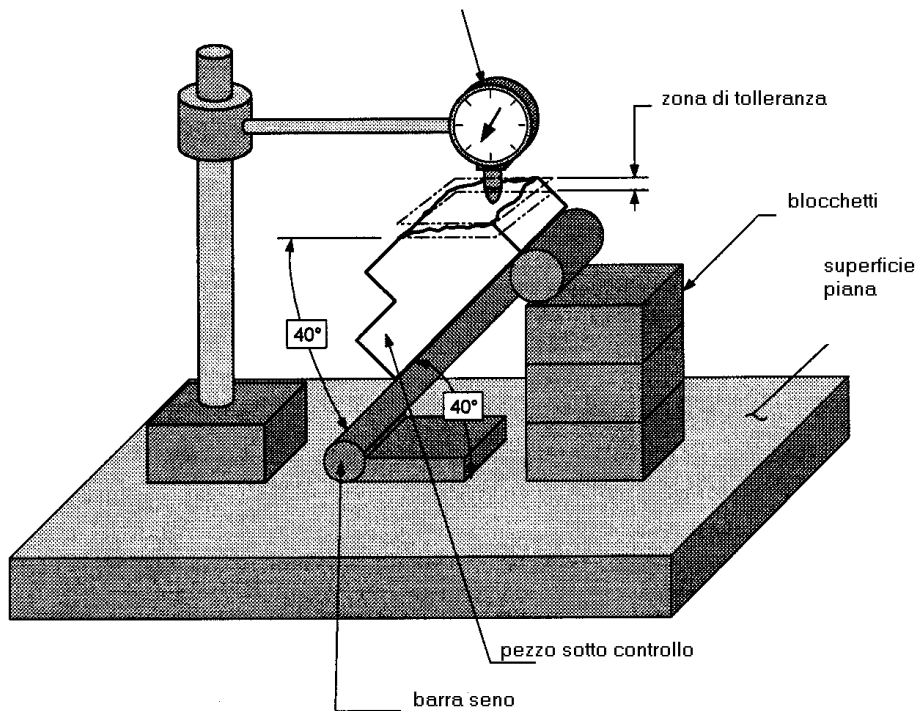
□ *Perpendicolarità*

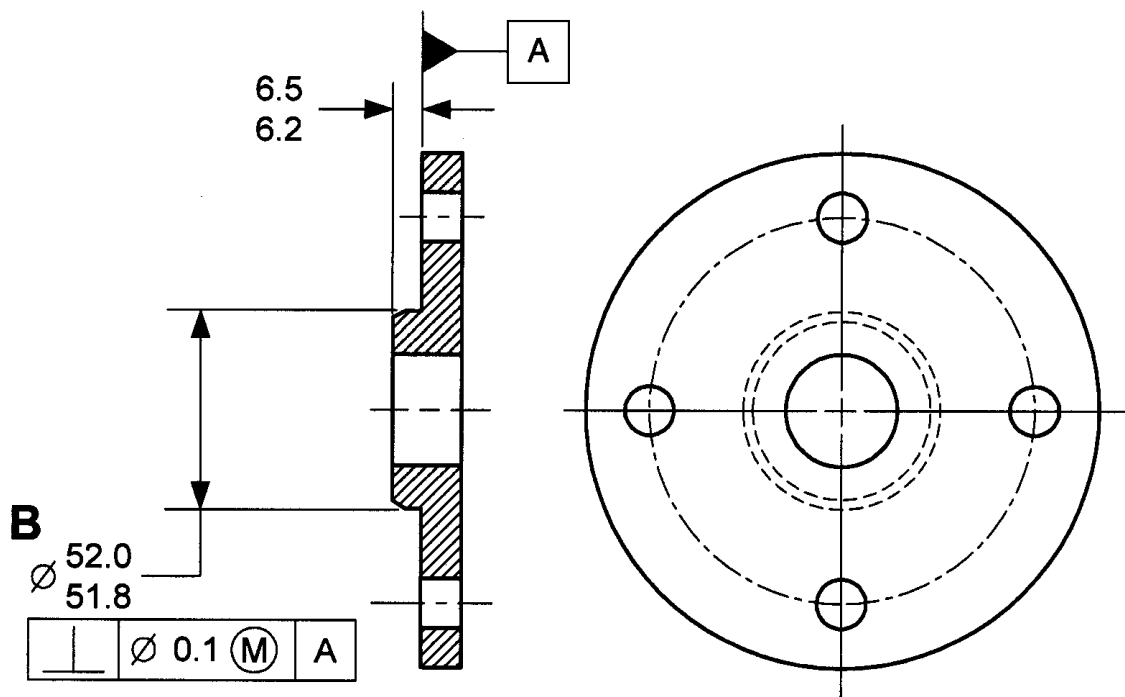


□ **Inclinazione**



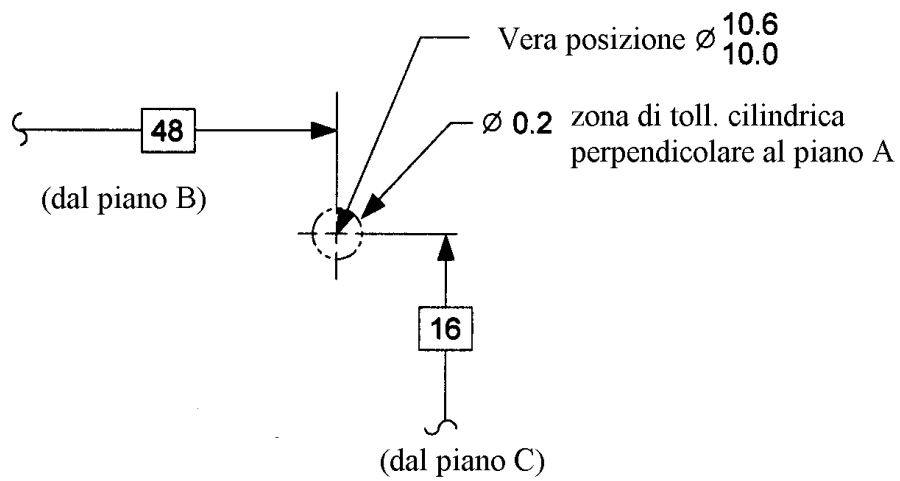
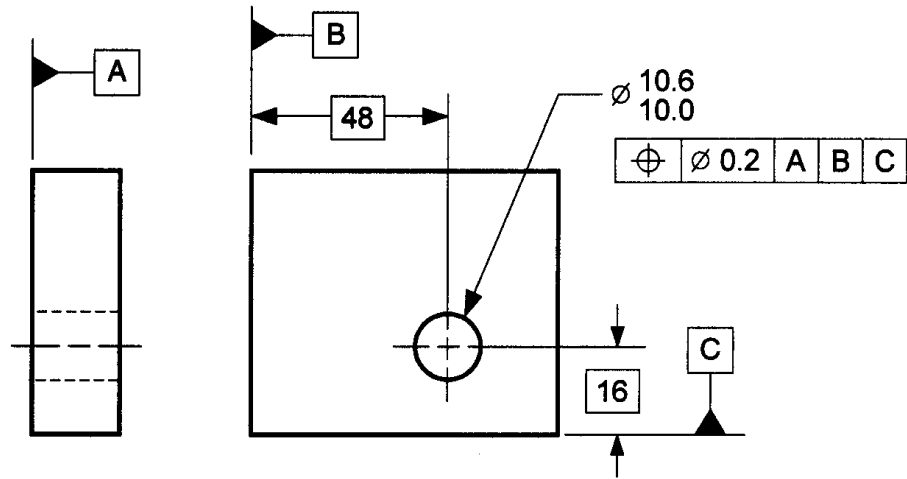
Tutti gli elementi di questa superficie devono giacere all'interno della zona di tolleranza

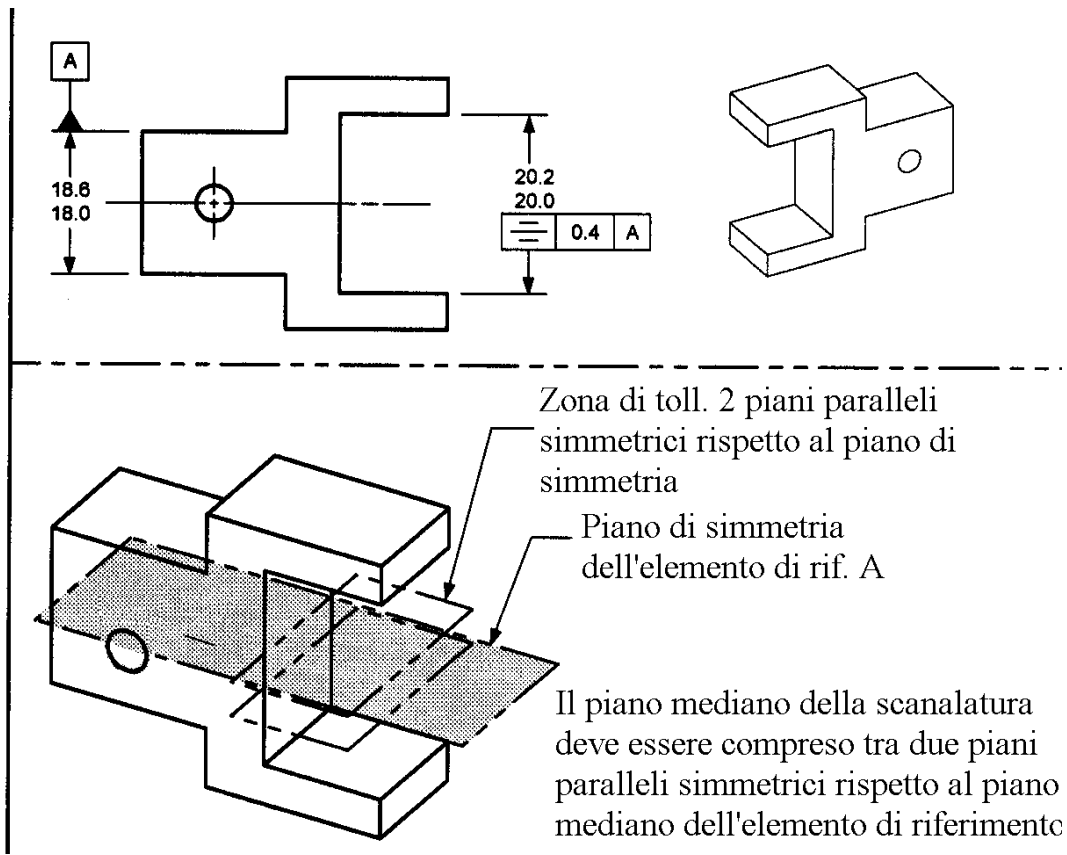


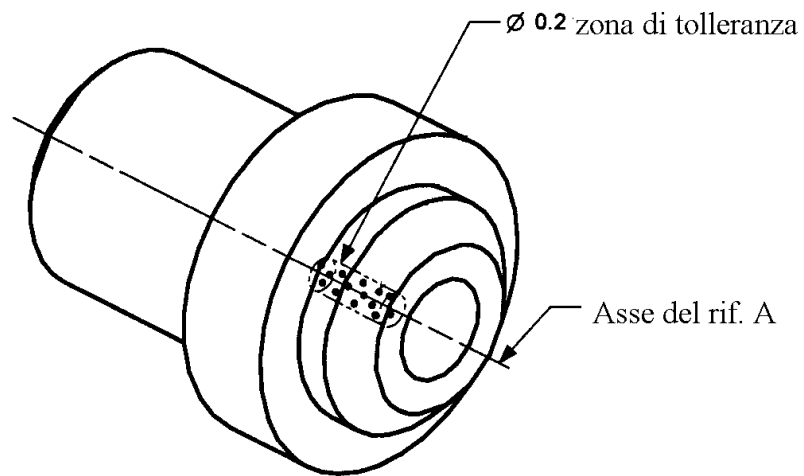
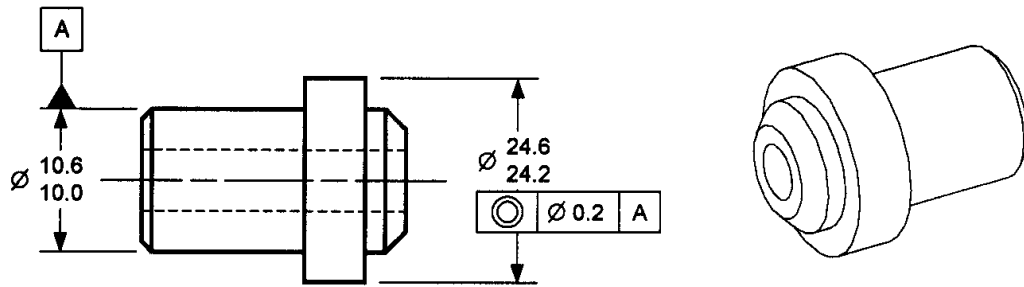
Verifica

Con riferimento alla figura, compilare la tabella sotto riportata

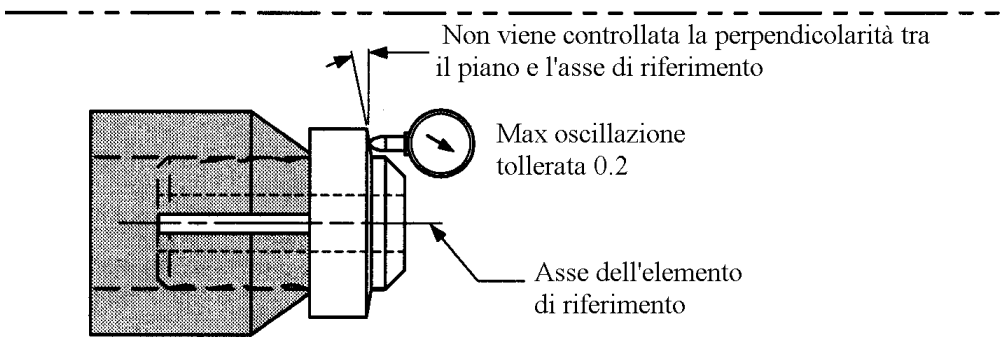
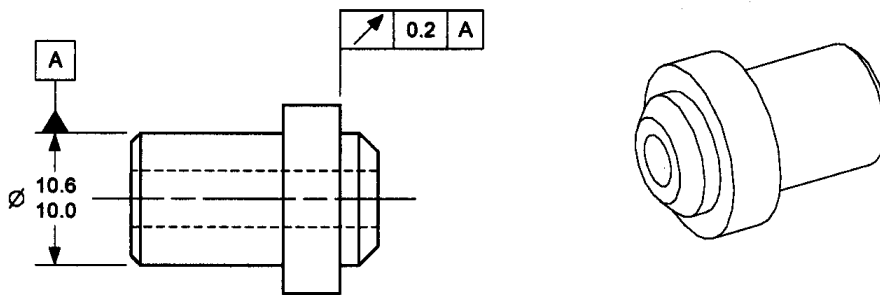
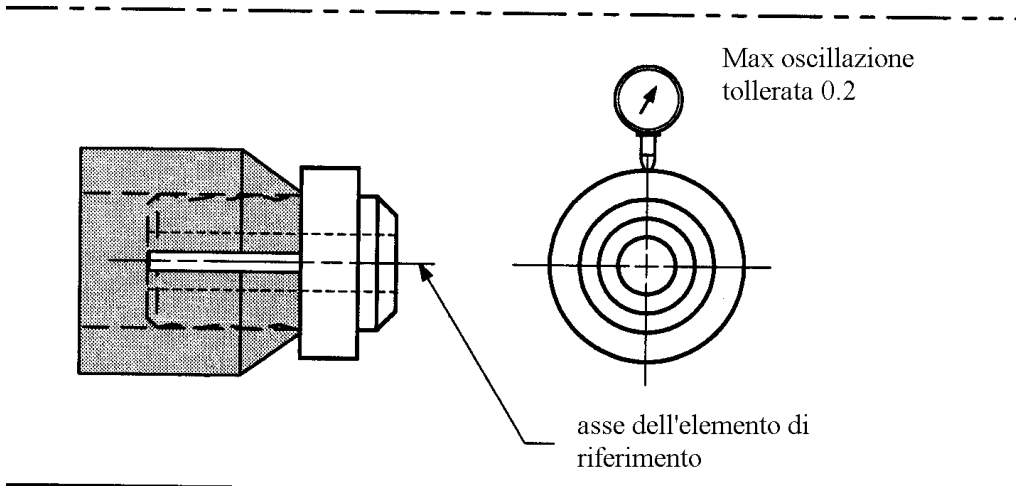
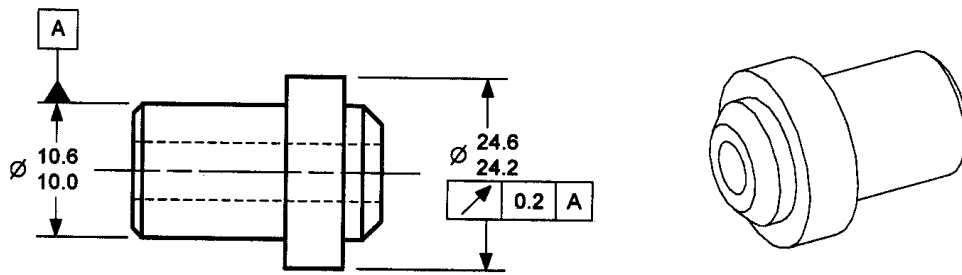
Se la misura del diametro B vale...	Il bonus di toll. è ...	Il diametro della zona di toll. di perpendiclarità è
52.0		
51.9		
51.8		

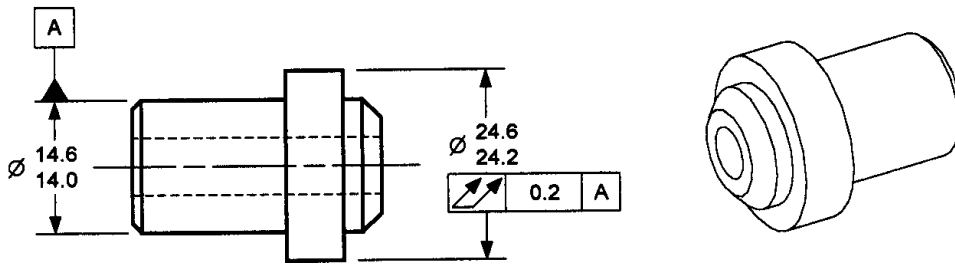
Tolleranze di posizione□ **Localizzazione**

□ *Simmetria*

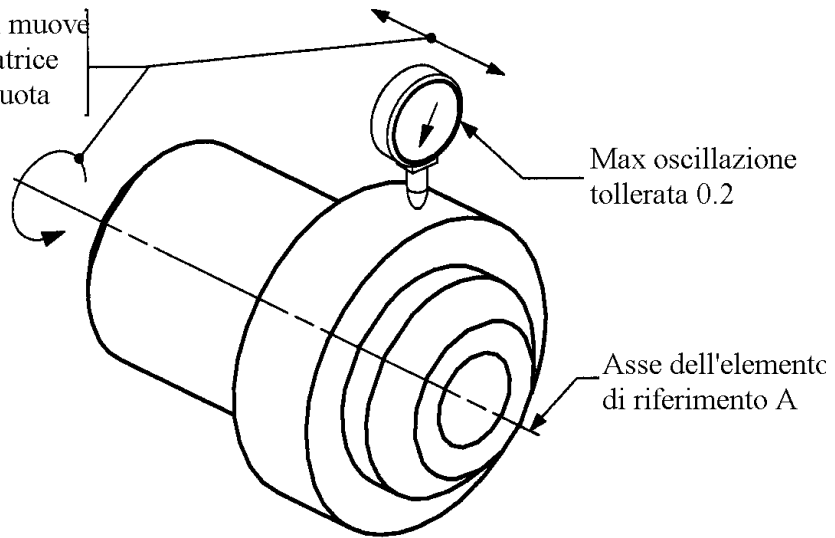
□ *Concentricità*

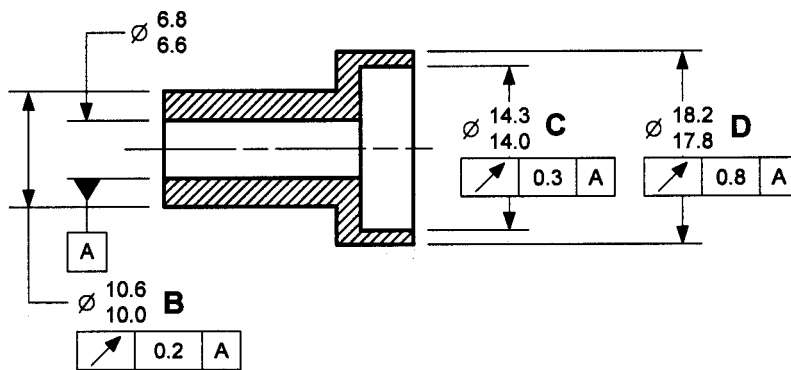
Tolleranze di oscillazione





Il comparatore si muove
lungo una generatrice
mentre il pezzo ruota



Verifica

<i>Dia</i>	<i>Max spostamento dell'asse rispetto a quello dell'elemento di riferimento A</i>
<i>B</i>	
<i>C</i>	
<i>D</i>	

Il concetto di coassialità

La coassialità controlla l'errore di posizione di elementi geometrici che hanno lo stesso asse di simmetria.

Per l'indicazione dell'errore di coassialità è possibile utilizzare tre vincoli di tolleranza diversi:

- 1) tolleranze di concentricità per il controllo di posizione dell'asse (assicura il controllo del bilanciamento di un organo rotante);
- 2) tolleranze di oscillazione per il controllo di ogni possibile variazione di forma (forma di controllo più ristretta e costosa);
- 3) tolleranze di posizione per il controllo dell'accoppiamento (assicura l'intercambiabilità di organi non rotanti).

	<i>Controllo geometrico</i>		
	Concentricità	Oscillazione totale	Tolleranza di posizione
Zona di tolleranza	Cilindro	Due cilindri coassiali	Cilindro
La tolleranza si applica a.....	Punti medi dei diametri tollerati	Elementi di superficie definite dai diametri tollerati	Assi della superficie definite dai diametri tollerati
Costo di esecuzione	€€	€€€	€
Costo di controllo	€€€	€€	€
Caratteristiche soggette a controllo	Posizione e orientamento	Posizione, orientamento e forma	Posizione e orientamento

Tolleranze geometriche generali

Si prevede l'uso di tre classi di tolleranza di precisione crescente: **H, K, L**

Sul disegno l'applicazione delle tolleranze geometriche generali deve essere esplicitata. Ad esempio, intendendo applicare una classe di tolleranza K, deve essere indicata la seguente dicitura:

Tolleranze generali UNI ISO 2768-K

Classe di tolleranza	Tolleranze generali di rettilineità e di planarità per campi di lunghezza nominali					
	fino a 10	>10 a 30	>30 a 100	>100 a 300	>300 a 1000	>1000 a 3000
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

Classe di tolleranza	Tolleranze generali di perpendicolarità per campi di lunghezza nominali del lato minore			
	fino a 100	>100 a 300	>300 a 1000	>1000 a 3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

Classe di tolleranza	Tolleranze di simmetria per campi di lunghezza nominali			
	fino a 100	>100 a 300	>300 a 1000	>1000 a 3000
H	0.5	0.5	0.5	0.5
K	0.6	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

Classi di tolleranza	Tolleranza di oscillazione circolare
H	0.1
K	0.2
L	0.5

Bibliografia

Alex Krulikowski	Fundamentals of geometric dimensioning and tolerancing	Delmar
Chirone Tornincasa	Disegno tecnico industriale	Il capitulo
Straneo Consorti	Disegno, progettazione e organizzazione industriale 2	Principato
AA. VV.	M1 Norme per il disegno tecnico	UNI