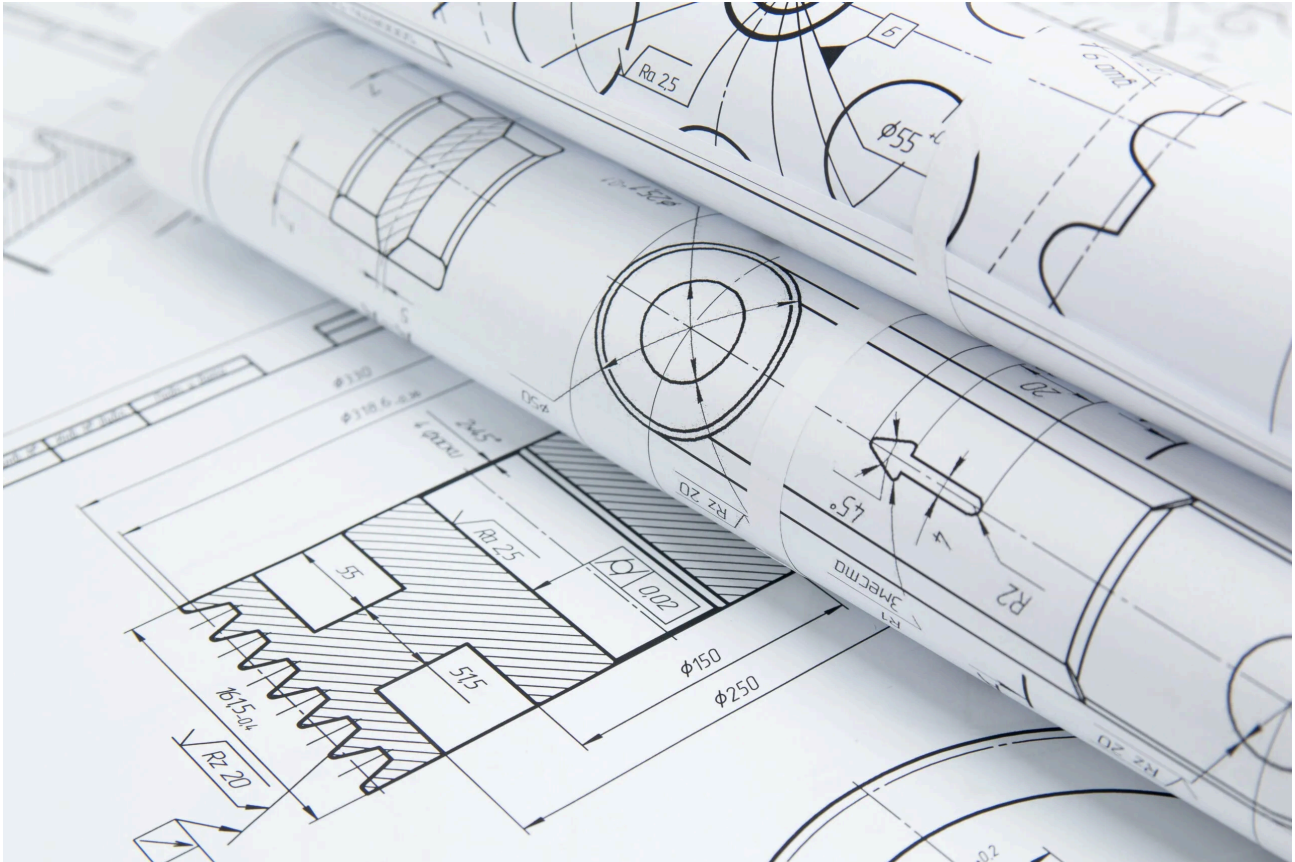


GD&T: La quotatura e le tolleranze geometriche spiegate

 xometry.pro/it/articoli/quotatura-e-tolleranze-geometriche-gdt



Indice

- [Che cos'è il GD&T? E perché utilizzarlo?](#)
- [Riquadro di controllo delle lavorazioni](#)
- [Datum](#)
- [Categorie GD&T](#)
- [Planarità \(Forma\)](#)
- [Rettilinearità \(Forma\)](#)
- [Cilindricità \(Forma\)](#)
- [Circolarità \(Forma\)](#)
- [Parallelismo \(Orientamento\)](#)
- [Perpendicolarità \(Orientamento\)](#)
- [Angolarità \(Orientamento\)](#)
- [Posizionamento \(Posizione\)](#)
- [Concentricità \(Posizione\)](#)
- [Simmetria \(Posizione\)](#)
- [Profilo di una superficie \(Profilo\)](#)
- [Profilo di una linea \(Profilo\)](#)
- [Tolleranza di oscillazione \(Runout\)](#)

- [Oscillazione totale \(Runout\)](#)
- [Modificatori](#)
- [Linee guida sulle tolleranze GD&T](#)

A seconda del processo produttivo, dei macchinari, dell'abilità dell'operatore e di altri fattori, i componenti si discostano sempre dalle dimensioni nominali. Spesso si verificano problemi in fase di assemblaggio: i componenti non si adattano o non funzionano come previsto, oppure lo fanno, ma con attrito o gioco aggiuntivi che possono ridurre significativamente la durata del componente.

Per questo motivo, gli ingegneri utilizzano le tolleranze. Le tolleranze dimensionali, in particolare, sono il metodo più comune per limitare le imprecisioni. La maggior parte dei [disegni tecnici](#) indica una classe di tolleranza generale che si applica a tutte le dimensioni, salvo diversa indicazione.

Tuttavia, le tolleranze dimensionali da sole non riflettono la funzione prevista del componente, lasciando non specificati molti comportamenti critici delle lavorazioni.

Che cos'è il GD&T? E perché utilizzarlo?

Il Dimensionamento e Tolleranza Geometrica (GD&T) fornisce un linguaggio completo per garantire la funzionalità definendo sia le dimensioni che la geometria delle lavorazioni.

Il GD&T è un metodo standardizzato per comunicare non solo le dimensioni, ma anche **forma, posizione e allineamento**, in modo che un componente funzioni esattamente come previsto. Consente agli ingegneri di trasmettere l'intento progettuale ai team di produzione e ispezione, per una comprensione uniforme che massimizza le probabilità di successo del progetto.

Vantaggi chiave:

- **Comunicazione chiara:** i simboli rendono evidenti le lavorazioni importanti per la funzione, eliminando supposizioni tra progettazione, lavorazione e ispezione.
- **Controllare ciò che conta:** a differenza delle dimensioni di base, il GD&T copre dimensioni, posizione, orientamento e forma.
- **Intercambiabilità:** componenti provenienti da lotti o fornitori diversi possono comunque essere assemblati e funzionare correttamente.
- **Risparmio sui costi:** restringere le tolleranze solo dove necessario, riducendo gli scarti ed evitando ritardi dovuti a consegne non idonee.
- **Ispezione coerente:** definisce esattamente come misurare, riducendo le controversie ed evitando che componenti difettosi passino inosservati.
- **Flessibilità quando possibile:** i principi di modificatori delle condizioni del materiale come MMC/LMC possono fornire una tolleranza aggiuntiva quando le dimensioni del componente lo consentono.

In breve, il GD&T rende i disegni più funzionali, riduce i malintesi e può far risparmiare tempo e denaro, se applicato solo dove è realmente necessario.

Nome & Simbolo	Descrizione	Quando utilizzarlo	Esempi di disegno
Planarità	Tutti i punti della superficie devono trovarsi tra due piani paralleli. (<i>Nessun datum.</i>)	Le superfici di accoppiamento/tenuta necessitano di un contatto uniforme; gli elementi di fissaggio necessitano di una sede stabile.	La superficie della piastra di base poggia a filo sul tavolo in granito senza oscillare.
Rettilineità	Deviazione dell'asse limitata all'interno di una piccola zona cilindrica. (<i>Proprietà delle dimensioni.</i>)	Gli alberi/mandrini di guida necessitano di assi veri per un movimento fluido e una bassa usura.	Alberi lunghi scorrono entro determinati limiti di rettilineità, senza incurvare nella parte centrale.
Cilindricità	L'intera superficie cilindrica deve adattarsi ad un singolo cilindro di tolleranza coassiale.	I cilindri rotanti/pressati devono ruotare correttamente lungo tutta la loro lunghezza.	Il cuscinetto è conformato da un cilindro coassiale per tutta la sua lunghezza.
Circolarità (Rotondità)	Ogni sezione trasversale deve rientrare tra due cerchi concentrici. (<i>Nessun datum.</i>)	Le sezioni rotonde isolate necessitano di uniformità senza dover costruire un DRF.	La sezione dell'albero tornito è uniformemente rotonda ad ogni angolo.

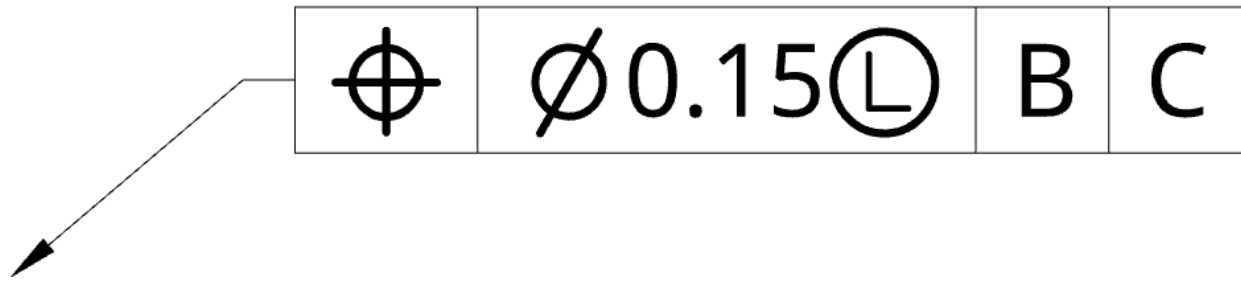
Nome & Simbolo	Descrizione	Quando utilizzarlo	Esempi di disegno
Parallelismo	Superficie/asse orientato parallelamente al datum all'interno di una zona definita.	Le facce/assi opposti devono seguire la stessa direzione per evitare inclinazioni o schiacciamenti.	La faccia superiore di un blocco lavorato rimane parallela alla faccia di riferimento inferiore.
Perpendicolarità	Superficie/asse orientato a 90° rispetto al datum all'interno di una zona definita.	Fori per sedi; percorsi di carico perpendicolari; allineamenti precisi.	Il bordo fresato è perpendicolare (90°) alla superficie di riferimento.
Angolarità	Superficie/asse orientato ad un angolo di base specificato ($\neq 90^\circ$) rispetto ad un datum.	Lavorazioni non ad angolo retto critiche per la creazione di mesh, il flusso e l'assemblaggio.	Smusso mantenuto a 45° rispetto al riferimento di base.
Posizione	Individua un asse/centro nella posizione reale (zona cilindrica; utilizza i riferimenti).	I reticoli/perni/fori devono essere assemblati in modo affidabile tra i vari fornitori.	I centri di fori per bulloni di una flangia posizionati nelle loro posizioni effettive sul modello.
Concentricità	I punti mediani si allineano ad un asse di riferimento.	Allineamento del centro di massa per l'equilibrio: in genere sostituire con posizione/eccentricità.	Il diametro minore di un albero rastremato condive lo stesso centro del foro pilota.

Nome & Simbolo	Descrizione	Quando utilizzarlo	Esempi di disegno
Simmetria	Piano intermedio della lavorazione centrato su un piano di riferimento.	Mantenere lo stesso spazio/carico su entrambi i lati del piano intermedio.	Le pareti di una forcella sono equidistanti rispetto al piano centrale.
Profilo di una superficie	L'intera superficie deve rientrare in una fascia di tolleranza 3D.	Le facce libere/composte devono seguire il CAD per quanto riguarda funzionalità/estetica.	Il rivestimento esterno della portiera di un'auto segue la superficie CAD all'interno della fascia del profilo.
Profilo di una linea	Ogni sezione scelta deve rientrare in una fascia di tolleranza 2D.	Controllare la levigatezza dei bordi/sezioni dove l'adattamento visivo è importante.	La sezione di apertura del paraurti corrisponde alla curva del modello specificato.
Oscillazione circolare	Limitare la variazione della sezione durante la rotazione attorno ad un asse di riferimento.	Controllare "l'oscillazione" della superficie in ogni sezione per ridurre le vibrazioni.	La superficie del disco del freno mostra variazioni minime nel corso di una rivoluzione.

Nome & Simbolo	Descrizione	Quando utilizzarlo	Esempi di disegno
Oscillazione totale	Limitare la variazione dell'intera superficie durante la rotazione.	I perni/le superfici di tenuta a lunghezza intera devono funzionare correttamente (NVH, perdite).	L'albero di trasmissione segue la direzione corretta per tutta la sua lunghezza durante la rotazione.
MMC (Condizione di massimo materiale)	Aggiunge tolleranza bonus quando la lavorazione si discosta dal materiale massimo.	Adattamenti di gioco: perni/fori quando la facilità di montaggio è importante ma la resistenza non ne risente.	Posizionare il foro alla sua dimensione più piccola consente una tolleranza di posizione aggiuntiva.
LMC (Condizione di minimo materiale)	Aggiunge tolleranza bonus quando la lavorazione si discosta dal materiale minimo.	Protezione della distanza dal bordo/spessore della parete in prossimità di fori o scarichi.	Il foro vicino al bordo mantiene una parete minima utilizzando il bonus LMC.
RFS (Indipendentemente dalle dimensioni delle lavorazioni)	Nessun bonus; la geometria è mantenuta indipendentemente dalle dimensioni reali.	Supporti ottici, lavorazioni di tenuta, posizionamento preciso nonostante lo spazio libero.	Foro di allineamento mantenuto in posizione indipendentemente dalle dimensioni effettive.

Panoramica dei simboli GD&T più utilizzati con spiegazioni ed esempi di disegno reali.

Riquadro di controllo delle lavorazioni



Esempio di un riquadro di controllo delle caratteristiche GD&T: tolleranza di posizione di almeno Ø0,15 per le condizioni del materiale, rispetto ai riferimenti B e C.

Il riquadro di controllo delle lavorazioni (FCF) contiene tutte le informazioni necessarie sia per la produzione che per l'ispezione. Specifica **quale** controllo geometrico applicare, **quanta** variazione è consentita e **rispetto a quali** riferimenti.

- **Freccia** – La freccia indica quale superficie o lavorazione è interessata dalle tolleranze geometriche. A volte non c'è alcuna freccia guida: la FCF può essere posizionata accanto ad una **quota** o un **diametro**; in tal caso, è la dimensione ad essere interessata.
- **Simbolo di tolleranza geometrica**: la prima casella del riquadro di controllo definisce quale tolleranza geometrica viene utilizzata, in questo caso la posizione.
- **Tolleranza delle lavorazioni**: il valore numerico è sempre presente (ad esempio, 0,15 mm). Simboli aggiuntivi possono definire la forma della zona (ad esempio, Ø per una zona cilindrica). Questa cella può anche includere un modificatore delle condizioni del materiale: MMC (Ⓜ) per la condizione massima del materiale o LMC (Ⓛ) per la condizione minima del materiale.
- **Datums** – Nei seguenti campi vengono elencati la lista dei riferimenti (ad esempio, |B|C|) che stabiliscono come è orientata e posizionata la tolleranza.

Datum

Un **datum** è un riferimento teoricamente esatto, utilizzato per misurare e verificare i controlli geometrici in GD&T. Poiché i componenti e gli elementi di fissaggio reali non sono mai perfetti, il GD&T distingue tra **lavorazioni di datum**, **datum** e **simulatori di datum**:

- **Datum** – La superficie/bordo/asse reale della parte che si sceglie come riferimento (ad esempio, una faccia lavorata, un asse di foratura). Presenta imperfezioni.
- **Datum** – Il riferimento ideale e perfetto derivato dalla lavorazione di riferimento (ad esempio, un piano o un asse matematicamente perfetto).
- **Simulatore Datum** – Dispositivo fisico che *funge* da riferimento durante l'ispezione o la configurazione (ad esempio, una piastra di superficie, perni, blocchi a V). L'elemento di datum viene messo in contatto con il simulatore per stabilire la configurazione di misura.

Ciò ha implicazioni dirette sui risultati delle ispezioni. Molti riquadri di controllo delle lavorazioni fanno riferimento a più di un datum; **l'ordine** dei riferimenti nel riquadro definisce come è costruito il sistema di coordinate: questo è il **sistema di riferimento del datum (DRF)** utilizzato per la misurazione.

Definire il DRF (A–B–C):

- **Datum primario (A)** –Stabilisce il primo piano/asse di riferimento; richiede almeno **tre** punti di contatto.
- **Datum secondario (B)** – Aggiunge un vincolo di orientamento/posizione; almeno **due** punti di contatto.
- **Datum terzo (C)** – La variazione dell'**ordine A–B–C** modifica il modo in cui il componente viene vincolato sul simulatore e può cambiare i risultati dell'ispezione. Scegliere i riferimenti, e la loro sequenza, in modo che corrispondano all'**assemblaggio funzionale** e alle configurazioni di **ispezione effettive**.

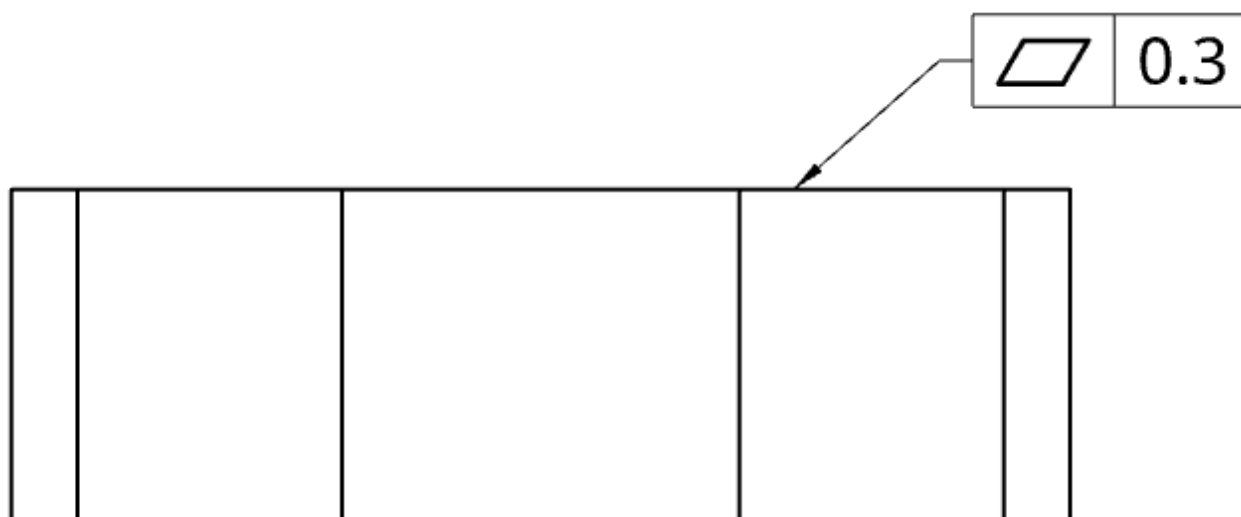
Categorie GD&T

Il dimensionamento e la tolleranza geometrica vengono suddivise in 5 categorie distinte:

- **Forma** – Controllo di forma/consistenza intrinseca delle lavorazioni senza fare riferimento al datum.
 - [Planarità](#)
 - [Rettilineità](#)
 - [Cilindricità](#)
 - [Circolarità](#)
- **Orientamento** – Controlla l'inclinazione o l'allineamento di una lavorazione rispetto ad un determinato datum. Richiede almeno un datum come riferimento.
 - **Parallelismo**
 - **Perpendicolarità**
 - **Angularità**
- **Locazione**–Posizionare con precisione l'asse, il piano o il punto centrale di una lavorazione facendo riferimento ai datum. Questi riferimenti fungono da sistema di coordinate, stabilendo la deviazione ammissibile di una caratteristica dalla sua **posizione reale** rispetto a quella **effettiva**. Questa posizione ideale e prevista è definita dalle quote di base, ovvero dalle linee di quota lineari standard.
 - **Posizione**
 - **Concentricità**(estratto da ASME)
 - **Simmetria** (estratto da ASME)
- **Profilo** – Controllare i contorni 2D/3D rispetto ai riferimenti per un corretto allineamento.
 - **Profilo di una superficie** (3D)
 - **Profilo di una linea** (2D)

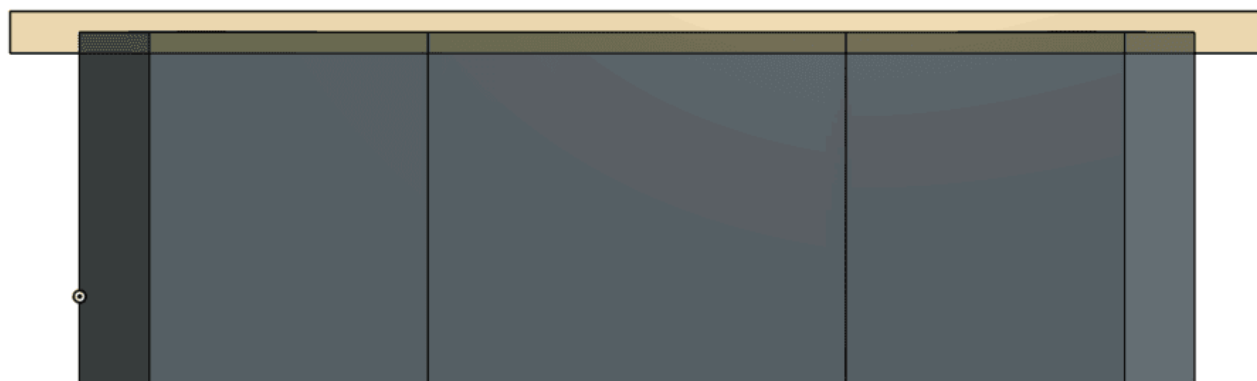
- **Oscillazione (Runout)**– Controlla la variazione della superficie durante la rotazione di un componente attorno ad un asse di riferimento. È unico nel suo genere in quanto controlla sia la geometria che l'allineamento ed è comunemente utilizzato per prevenire le vibrazioni in componenti come assi e alberi.
 - **Oscillazione circolare**
 - **Oscillazione totale**

Planarità (Forma)



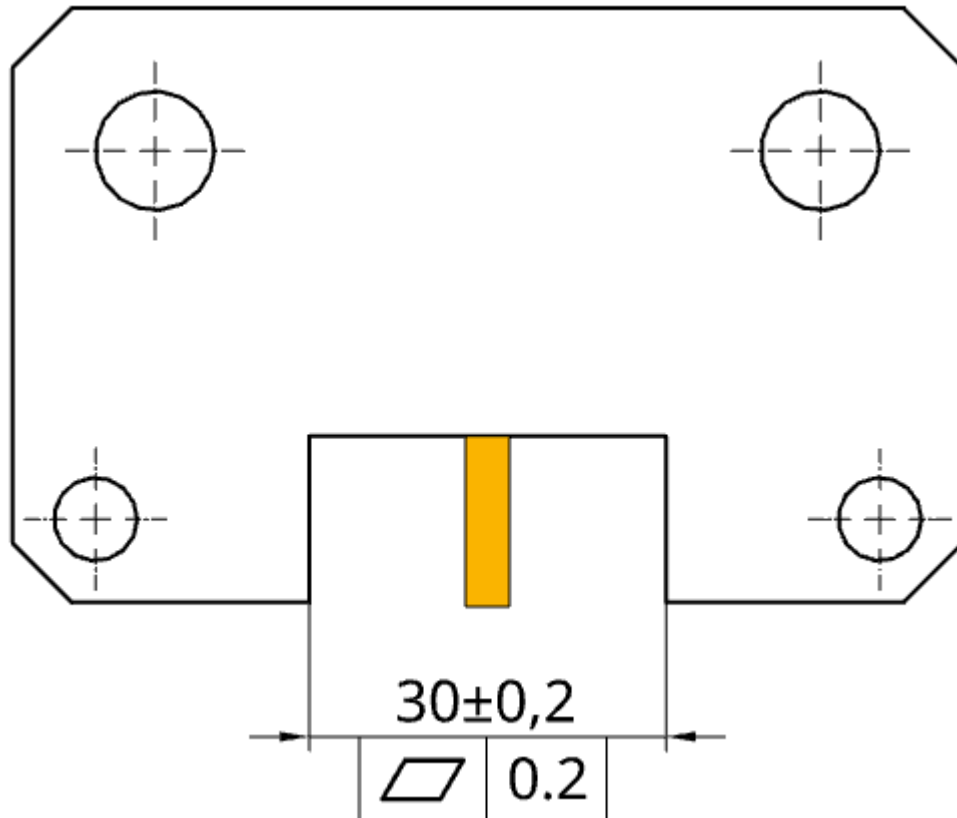
Tolleranza di planarità di 0,3 mm applicata ad una superficie, che garantisce che la faccia si trovi tra due piani paralleli.

La tolleranza di [planarità](#) definisce una zona compresa tra due piani paralleli. Lo spessore della zona viene indicato nel riquadro di controllo delle lavorazioni. Per soddisfare i requisiti, tutti i punti sulla superficie devono rimanere all'interno della zona di tolleranza.



La planarità garantisce un contatto uniforme tra le parti accoppiate. In questo esempio, la superficie deve essere piana per garantire un contatto uniforme con il piano di riferimento.

La planarità viene spesso utilizzata quando una faccia deve combaciare con un'altra parte per garantire un **contatto uniforme**. Può essere applicata anche ad **elementi di dimensioni** (qualsiasi cosa con dimensioni misurabili, come uno scarico). In tal caso, la zona a due piani si forma **attraverso il centro** dell'elemento misurato.



Esempio di tolleranza di planarità che mostra una superficie controllata entro 0,2 mm attraverso una lavorazione di scarico.

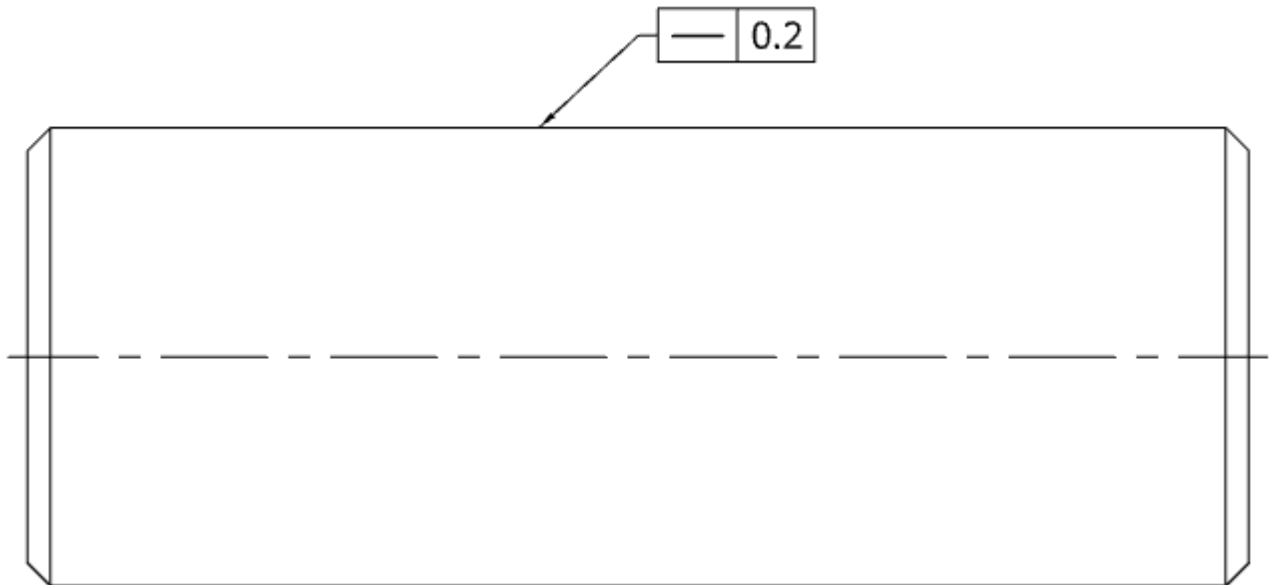
Il dimensionamento e la tolleranza geometrica (GD&T) vengono in genere applicati a componenti e lavorazioni che richiedono tolleranze precise, spesso impercettibili, in particolare nelle lavorazioni meccaniche. Tuttavia, la tolleranza di planarità ha applicazioni più ampie. Ad esempio, nel taglio di lamiere o tubi di grandi dimensioni, il riscaldamento laser può causare pieghe visibili, rendendo la planarità un fattore critico.

Quindi, quando si eseguono diversi tagli su un tubo rettangolare da 120x60x6000 mm, può capitare che esso risulti curvo come una banana. Definire la zona di tolleranza è semplice da fare ed altrettanto da misurare.

Planarità vs. rugosità superficiale: La planarità riguarda la forma complessiva (macro), [la rugosità superficiale](#) riguarda la consistenza (micro). Una superficie può essere piana ma ruvida, o deformata ma liscia.

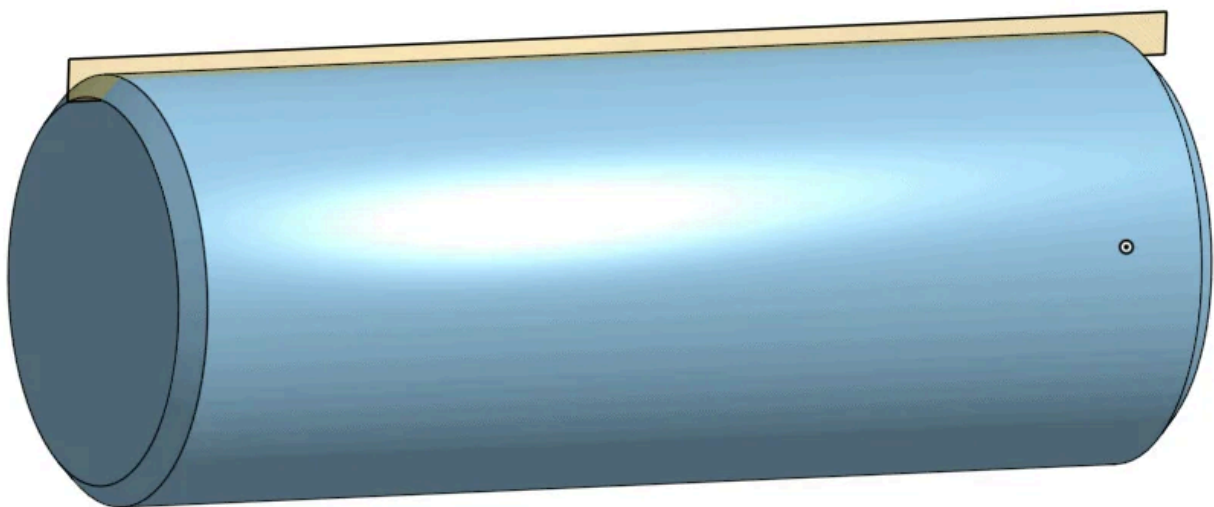
Esempio d'uso: quando due facce si accoppiano e necessitano di uniformità: una **superficie di tenuta del corpo valvola** per prevenire perdite.

Rettilineità (Forma)



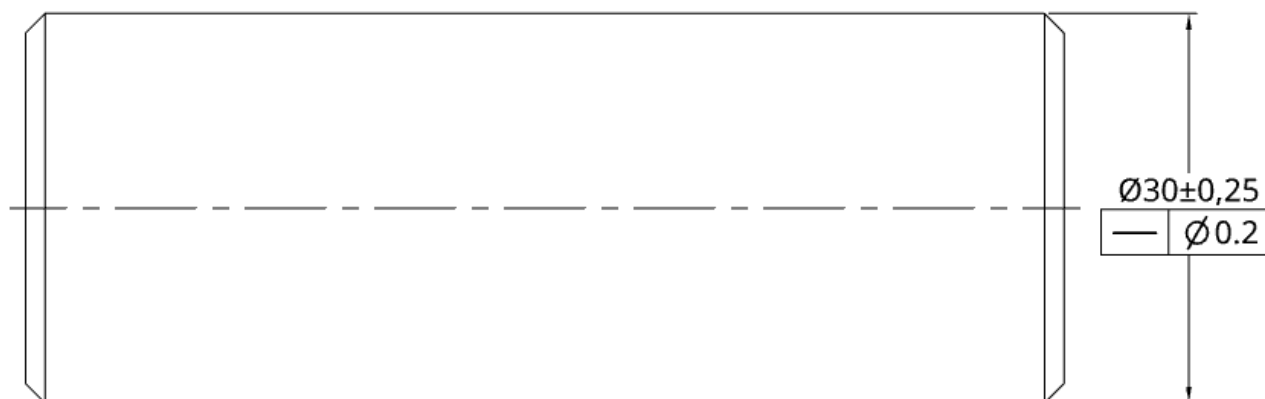
Esempio di tolleranza di rettilineità con un limite di 0,2 mm applicato lungo l'asse dell'albero per un corretto allineamento.

La [rettilineità](#) possiede la stessa tolleranza di planarità, meno una dimensione. Questo significa che la zona di tolleranza è bidimensionale anziché tridimensionale.



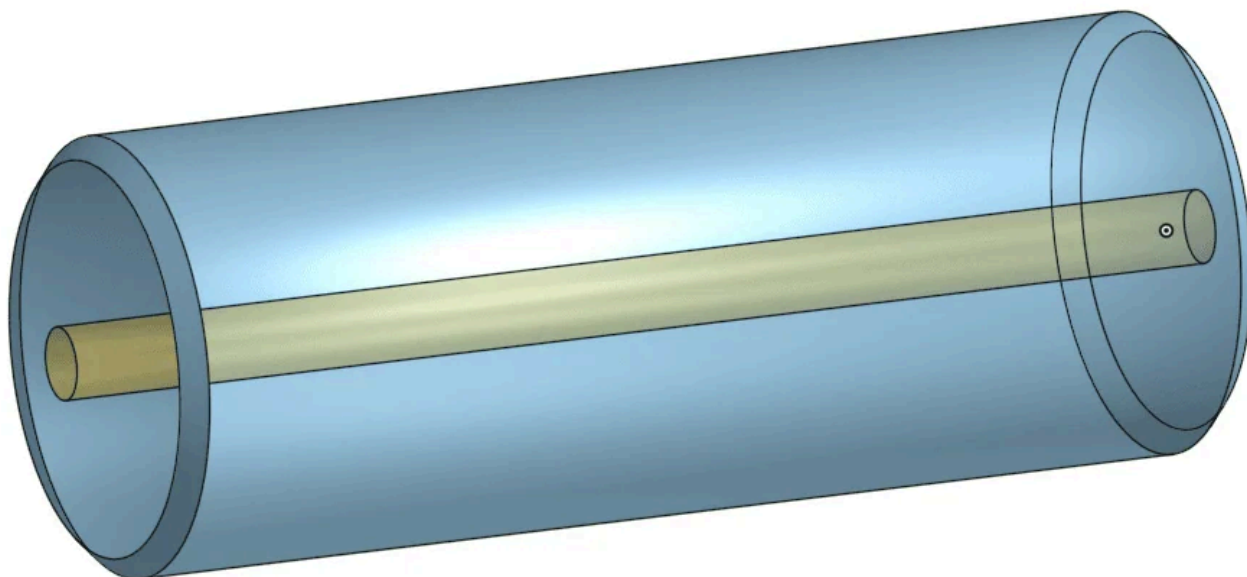
Tolleranza di rettilineità applicata ad una superficie cilindrica, misurata con un piano di riferimento per un allineamento uniforme degli assi.

Un metodo semplice per pensare alla rettilineità è tramite la misurazione: [una macchina di misura a coordinate \(CMM\)](#) si muove lungo un'unica linea retta su di una superficie, verificando che tutti i punti su quella linea rientrino nella zona di tolleranza. Su un pezzo cilindrico, è possibile tracciare molte linee parallele da misurare. Nota: tutte le linee possono passare singolarmente, mentre c'è ancora dislocazione tra le linee non controllate.



Tolleranza di rettilineità sul diametro di un albero, che definisce una zona cilindrica attorno all'asse per garantire un corretto allineamento.

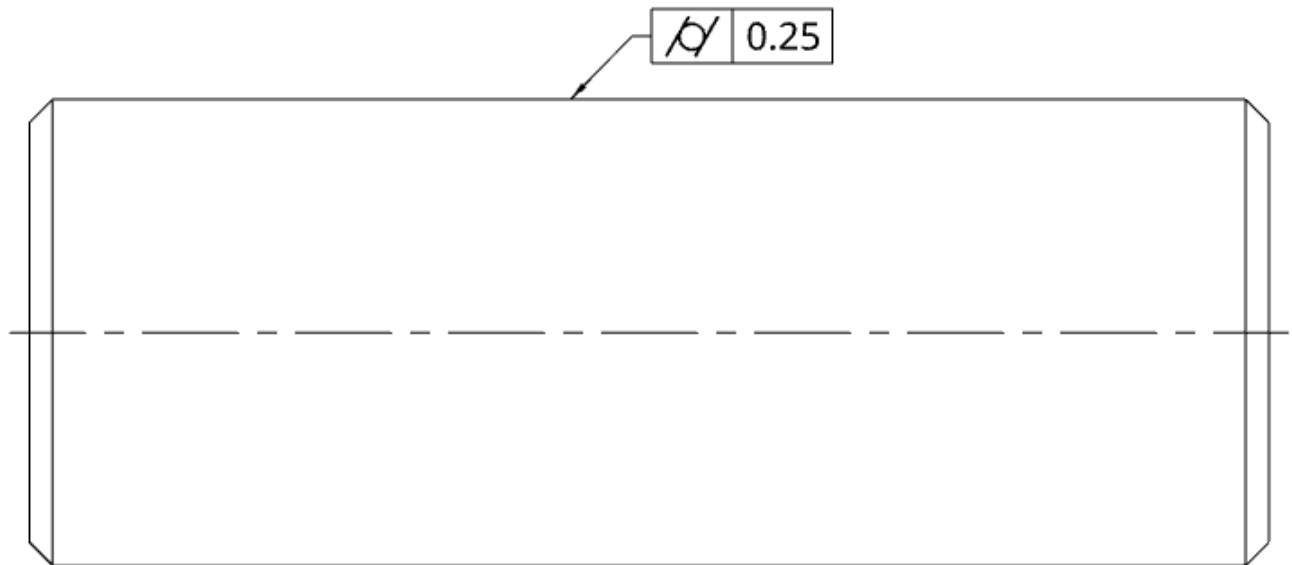
Quando la rettilineità viene applicata (ad esempio, il diametro di un albero), si crea una **zona cilindrica attorno all'asse**. L'asse (o la linea mediana derivata) deve trovarsi all'interno di tale zona lungo la lunghezza. Lo stesso vale per **l'asse di un foro**.



Cilindro cavo con guida interna che mostra i requisiti di rettilineità.

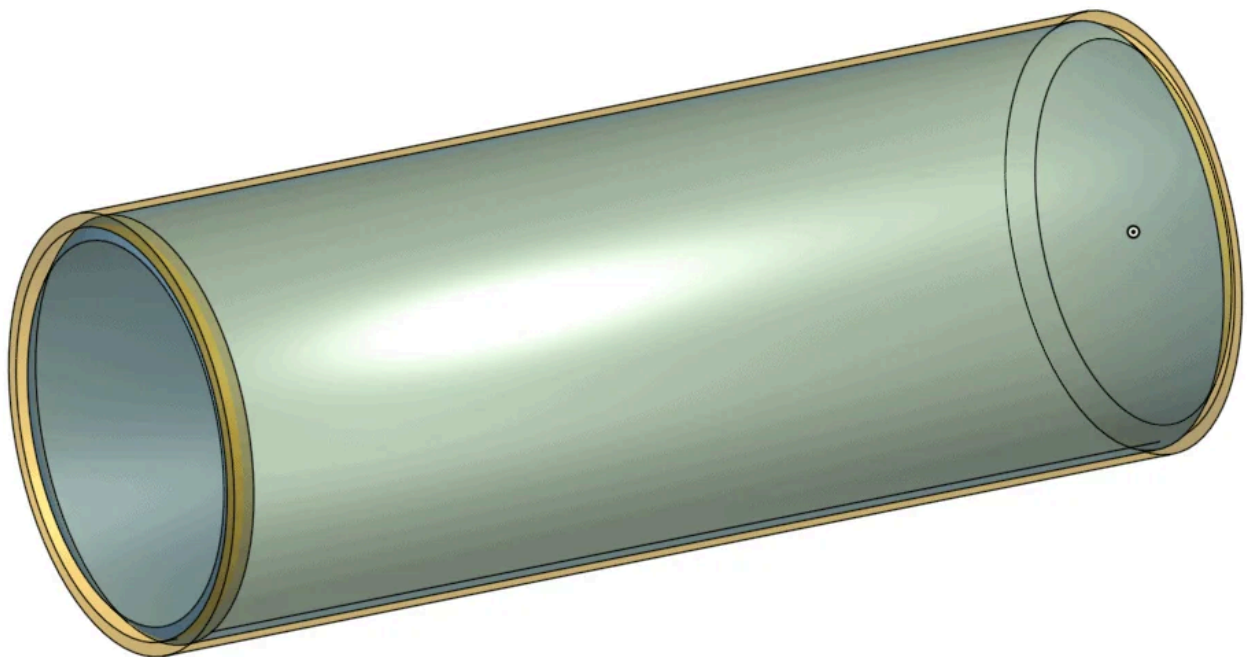
Esempio di utilizzo: quando qualcosa deve essere molto dritto per adattarsi o sigillare correttamente: come una **guida CNC** per un movimento fluido.

Cilindricità (Forma)



La cilindricità controlla una superficie cilindrica in modo che tutti i punti rimangano all'interno di una zona di tolleranza uniforme.

La cilindricità definisce una zona di tolleranza che **circonda uniformemente un cilindro**, un perno o un foro. Ogni punto sulla superficie della lavorazione deve rientrare in questa zona.

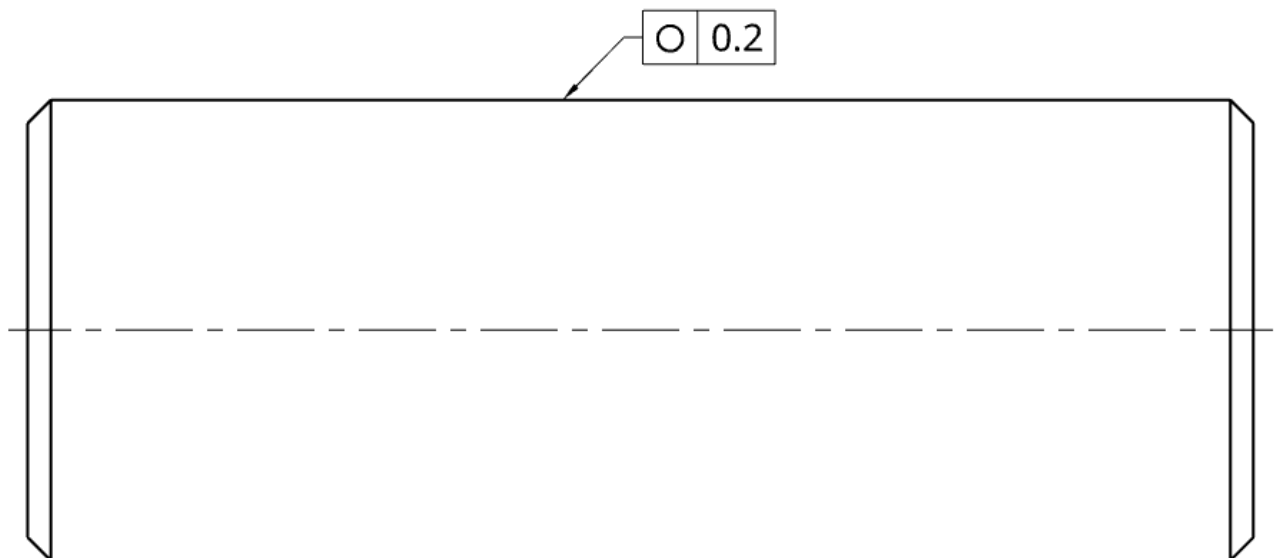


La cilindricità garantisce che l'albero sia tondo e dritto per tutta la sua lunghezza, riducendo al minimo lo squilibrio.

In sostanza, la cilindricità è un controllo 2 in 1 che comprende la circolarità (rotondità in ogni sezione trasversale) e la rettilineità (nessuna deviazione dell'asse) lungo l'intera lunghezza.

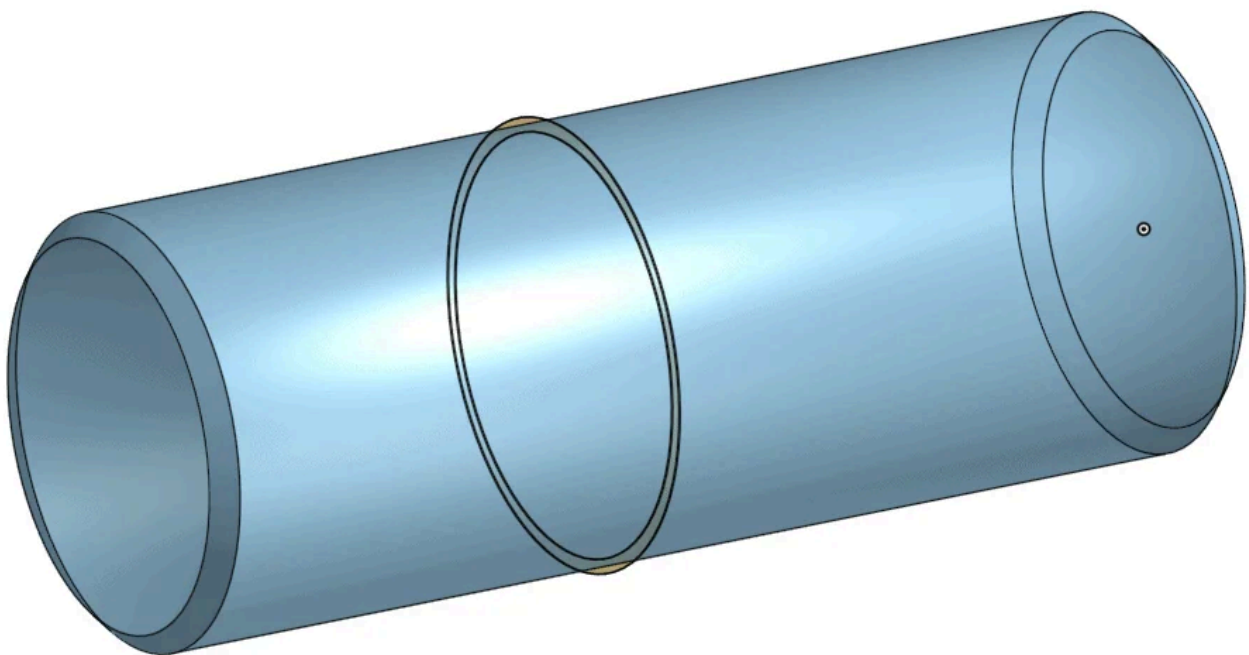
Esempio di utilizzo: un **albero motore ad alta velocità** che deve essere dritto e rotondo lungo tutta la sua lunghezza per ridurre al minimo lo **sbilanciamento**.

Circolarità (Forma)



La circolarità controlla la rotondità di ogni sezione trasversale, mantenendo i punti all'interno di due cerchi concentrici.

La **circolarità** (rotondità) controlla la rotondità di una singola sezione trasversale. La zona è costituita da due **cerchi concentrici**; non c'è **componente di lunghezza**. La circolarità sta alla cilindricità come la rettilineità sta alla planarità. La larghezza della zona di tolleranza si determina ancora una volta dal valore numerico nel riquadro di controllo.

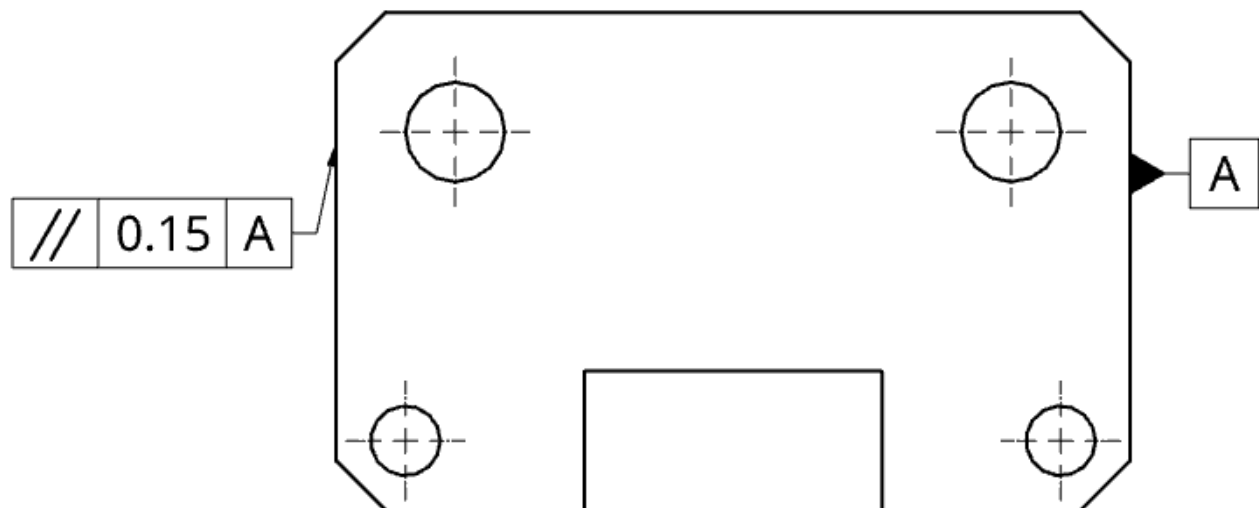


Esempio di circolarità su una sezione trasversale dell'albero

Siccome la circolarità si applica **sezione per sezione**, il componente può avere diversi diametri di sezione trasversale senza problemi; ogni sezione possiede la stessa larghezza di zona ma un valore nominale diverso.

Esempio di utilizzo: una **sede di cuscinetto** che deve essere rotonda per una **distribuzione uniforme del carico**.

Parallelismo (Orientamento)

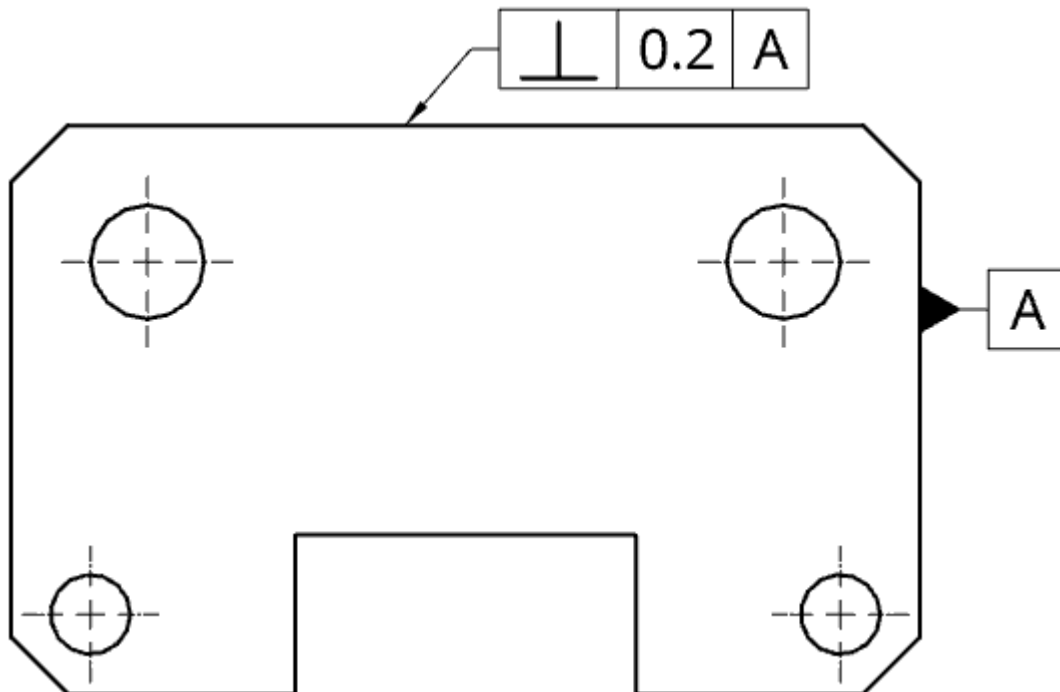


Esempio di tolleranza di parallelismo che richiede che una superficie rimanga parallela al riferimento A entro 0,15 mm.

Il parallelismo afferma che una superficie (o un asse) **deve essere parallela ad un riferimento** entro una zona di tolleranza specificata. Nel CAD si sceglie un riferimento e si ottiene la situazione perfetta; in GD&T si definisce una **zona di tolleranza misurabile** attorno a tale riferimento ideale.

Esempio d'utilizzo: Per funzionare correttamente, due superfici o assi devono essere paralleli: le **guide di un attuatore lineare**.

Perpendicolarità (Orientamento)

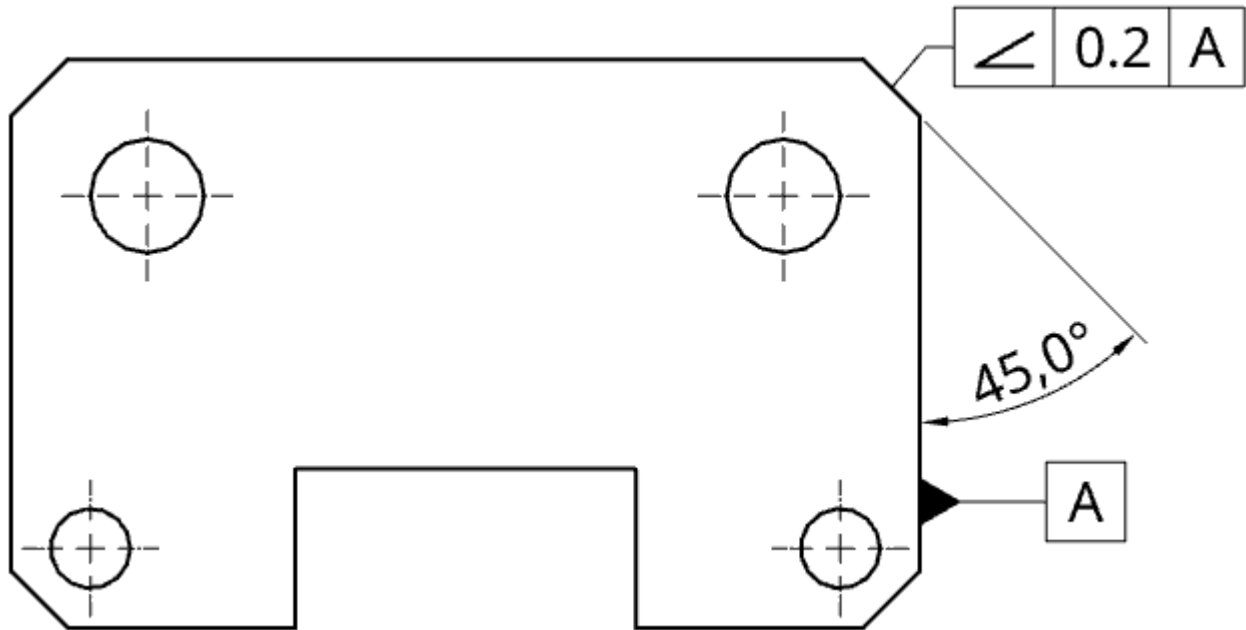


Esempio di tolleranza di perpendicolarità che garantisce che una superficie sia a 90° rispetto al datum A entro 0,2 mm.

La perpendicolarità controlla un elemento o un piano a **90°** rispetto ad un elemento di riferimento. Sebbene il valore nominale sia un angolo, la **tolleranza è espressa in unità lineari**

Esempio d'utilizzo: L'allineamento o il trasferimento del carico richiedono una perpendicolarità quasi perfetta: un **foro del portautensile da taglio** rispetto alla base del portautensile per evitare disallineamenti.

Angolarità (Orientamento)

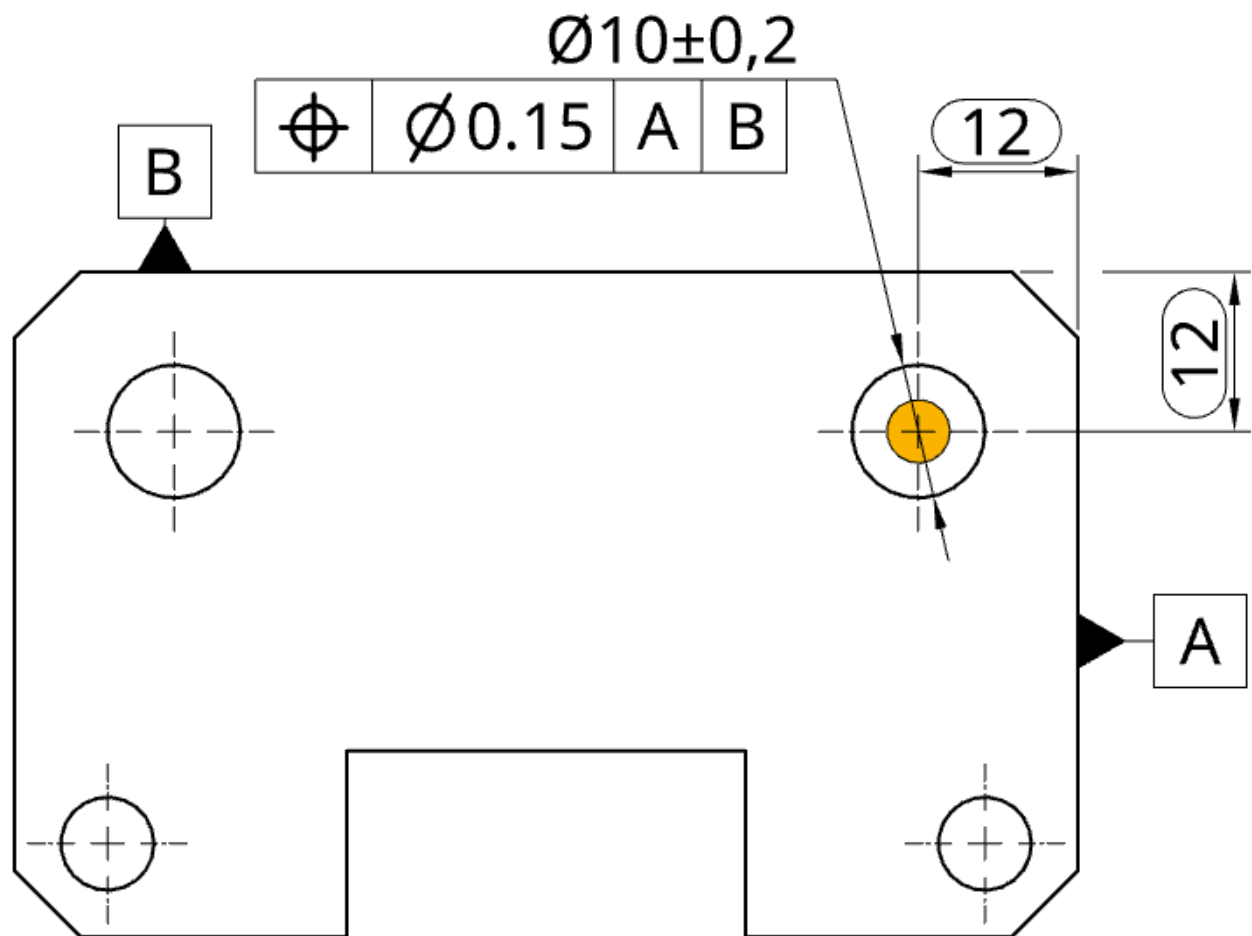


Esempio di tolleranza angolare che richiede che una superficie mantenga un angolo di 45° rispetto al riferimento A entro 0,2 mm.

Simile alla perpendicolarità, ma l'angolo rispetto al riferimento non è di 90°. L'angolo nominale è definito da una **dimensione di base** (ad esempio, 45°); la tolleranza angolare fornisce un margine di errore **lineare**. Questa è spesso più pratica per l'ispezione con CMM o calibri rispetto ad una tolleranza angolare pura.

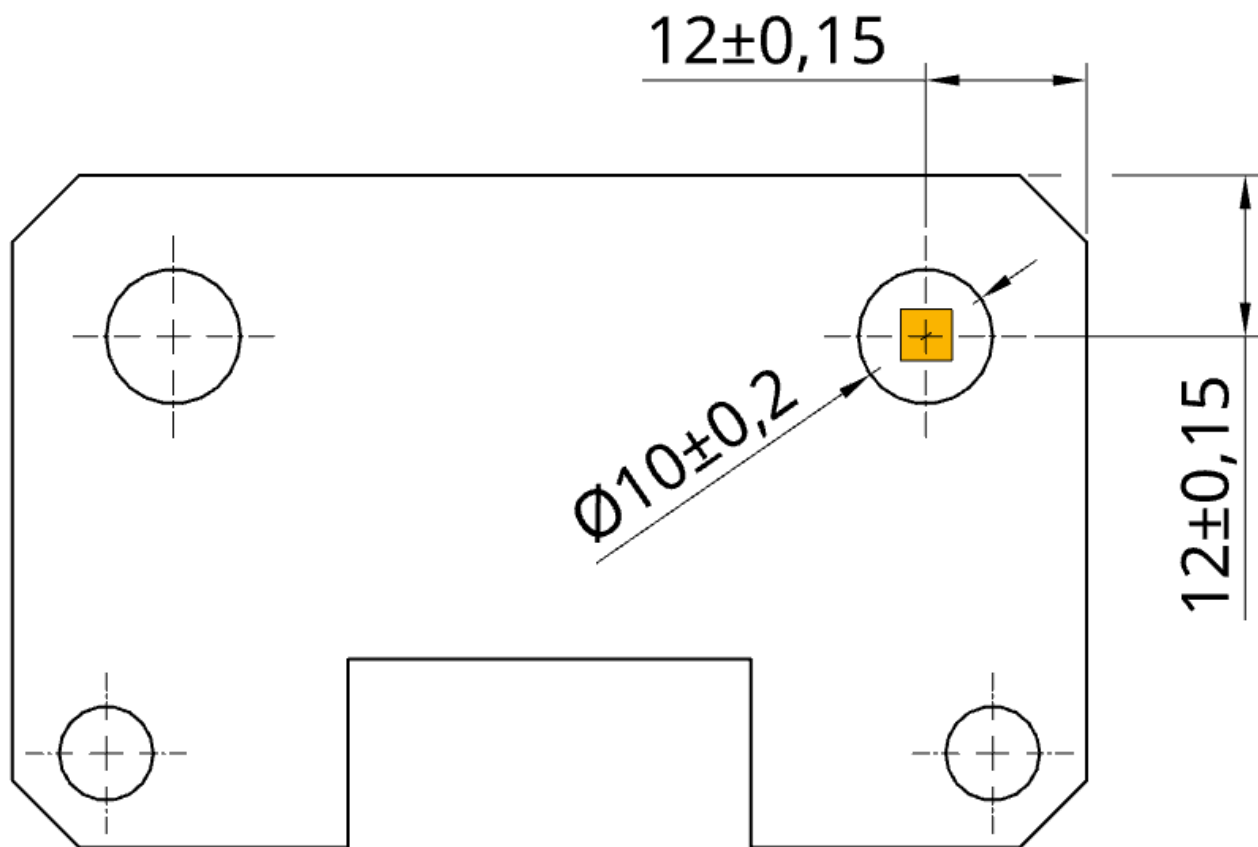
Esempio d'utilizzo: È richiesto un angolo specifico tra i piani: un **angolo della faccia del dente presente in un ingranaggio** per un corretto accoppiamento e una corretta distribuzione del carico.

Posizionamento (Posizione)



Esempio di tolleranza che controlla la posizione dell'asse del foro rispetto ai riferimenti A e B all'interno di una zona cilindrica di 0,15 mm.

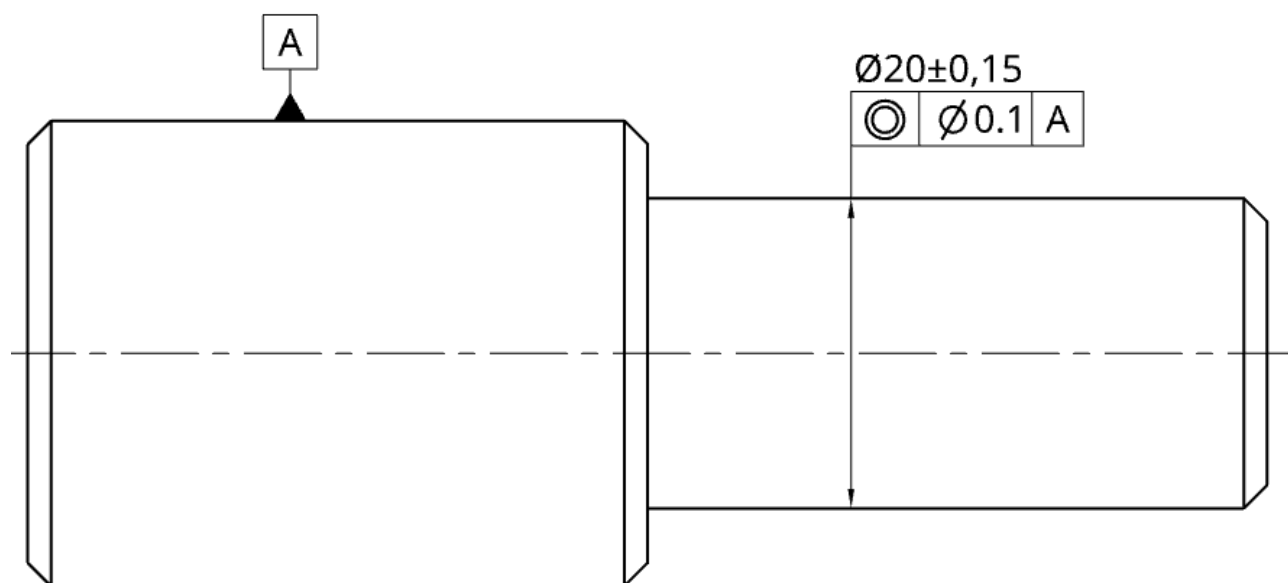
La **posizione** è uno dei controlli GD&T più utilizzati. Invece di “caselle” di tolleranza rettangolari basate sulle quote lineari, la posizione definisce una **zona di tolleranza cilindrica** centrata sulla **posizione effettiva** (rispetto alle quote di base). Ciò consente di controllare non solo la posizione di una lavorazione (ad esempio, l'asse di un foro), **ma anche di garantire** che sia correttamente orientata rispetto ai riferimenti di datum.



Le dimensioni di base (nel riquadro) stabiliscono la **posizione reale**; il controllo della **posizione** definisce la **zona di tolleranza cilindrica** consentita rispetto a quella posizione reale

Esempio d'utilizzo: Posizioni esatte di fori/perni essenziali per l'assemblaggio: un percorso di bulloni su una flangia per l'allineamento della guarnizione.

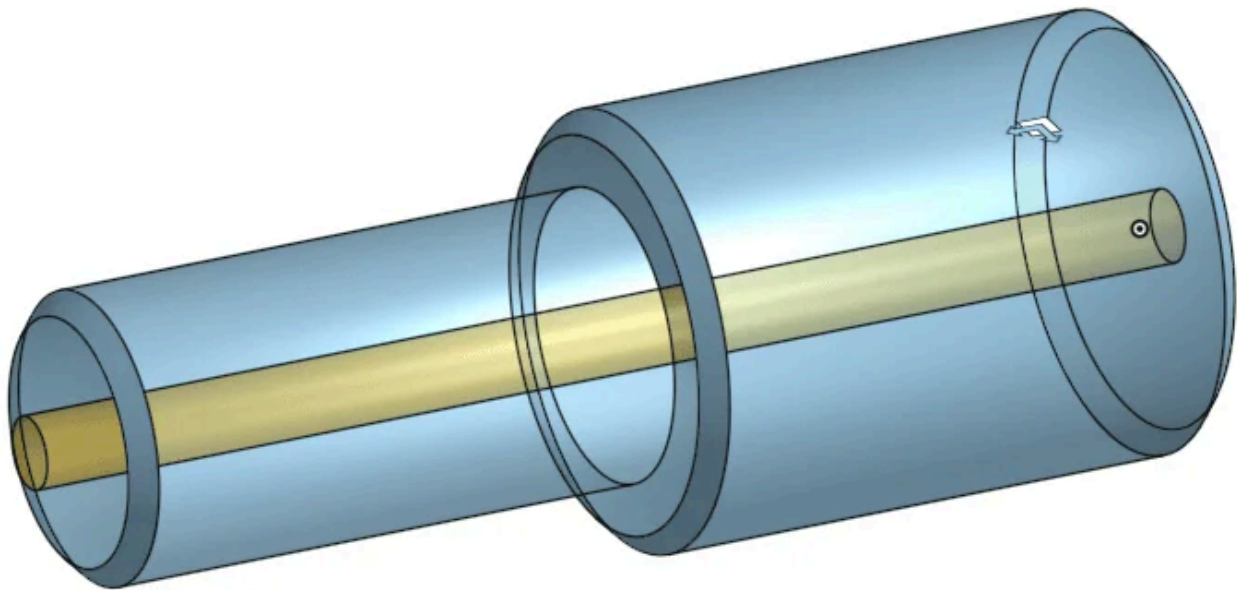
Concentricità (Posizione)



Tolleranza di concentricità applicata ad un albero rispetto al riferimento A.

Nella più recente revisione dello standard ASME, [ASME Y14.5-2018](#), la concentricità è stata rimossa. Questo perché la sua definizione può essere coperta dalla tolleranza di posizione e dall'oscillazione, entrambi utilizzati più frequentemente. Tuttavia, è importante notare che la concentricità è ancora presente [nella famiglia equivalente di standard ISO](#).

La concentricità richiede che i punti mediani di tutti gli elementi di superficie diametralmente opposti rientrino in una zona cilindrica coassiale con un asse di riferimento. Sebbene possa essere giustificata meccanicamente, complica l'ispezione (pesante utilizzo di dati CMM). Spesso sostituita da posizione e/o tolleranza d'oscillazione nei flussi di lavoro ASME.

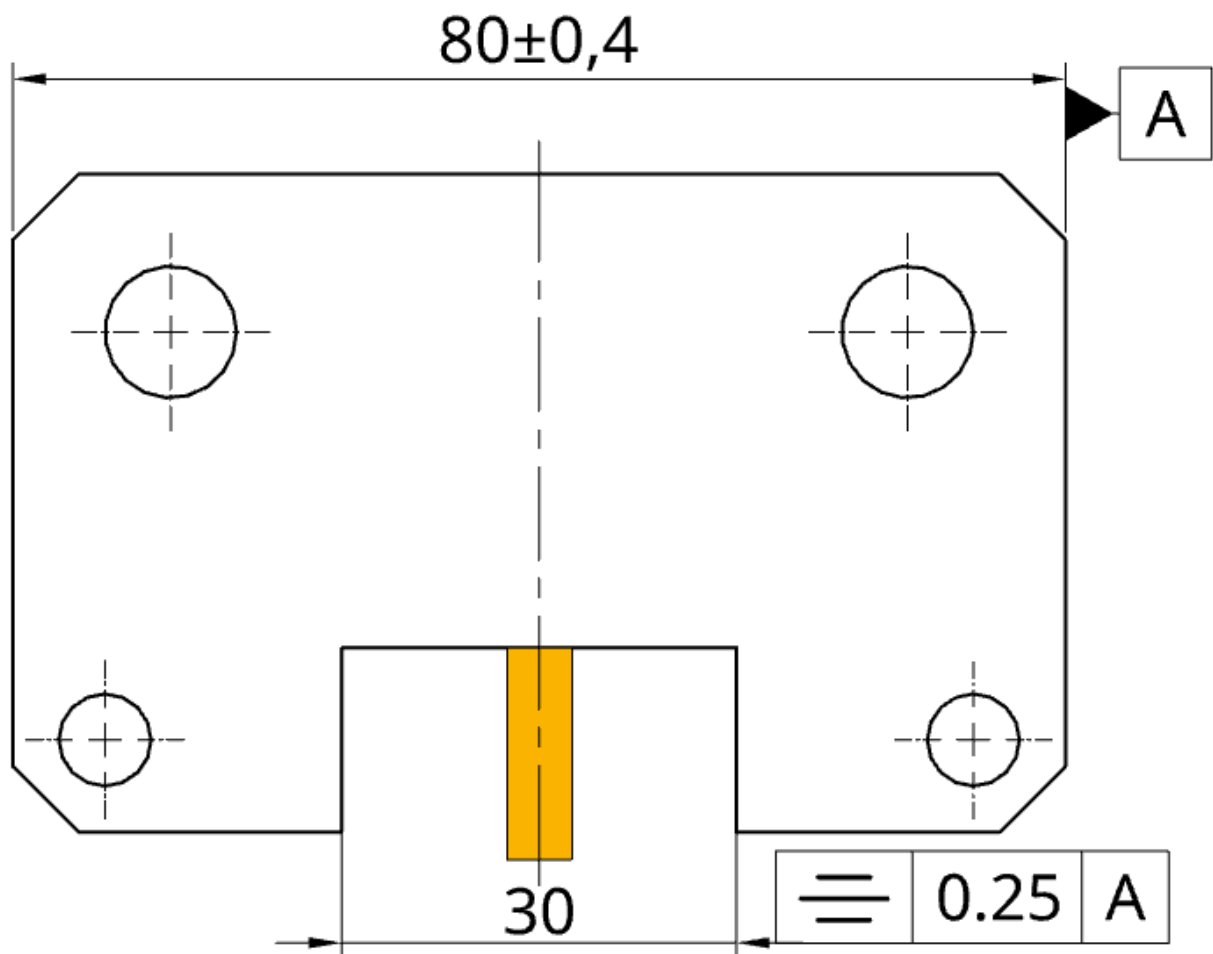


Modello 3D che mostra l'allineamento concentrico di due alberi lungo un asse comune.

Per un albero rastremato con diametri variabili, al fine di ottenere una fluidità di rotazione ottimale, è possibile designare l'asse di una sezione (ad esempio, quella più spessa) come asse di riferimento. Quindi, concettualizzare un tubo di tolleranza cilindrico immaginario che si estende da questo asse di riferimento. Il fattore chiave è che tutti i punti dell'asse della seconda sezione dell'albero devono rimanere confinati all'interno di questo tubo di tolleranza esteso.

Esempio d'utilizzo: Quando l'**asse centrale della massa** deve allinearsi per bilanciare la rotazione: sezioni dell'albero di una turbina.

Simmetria (Posizione)



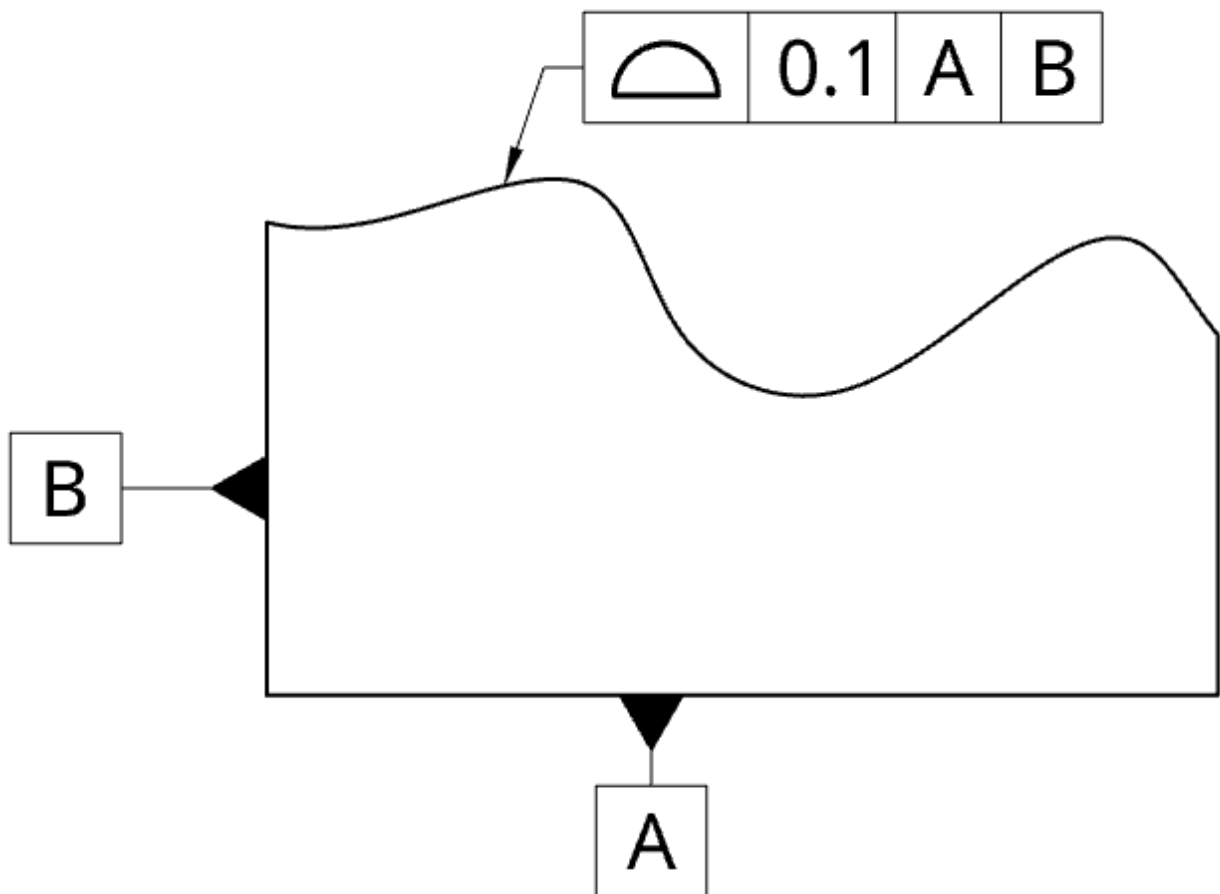
Tolleranza di simmetria applicata ad uno scarico rispetto al datum A.

Analogamente alla concentricità, **la simmetria è stata rimossa dallo standard ASME** per considerazioni simili, ma rimane una lavorazione dello standard ISO.

La simmetria richiede che i punti mediani di due elementi opposti rientrino in una zona di tolleranza specificata, rappresentata da un blocco giallo centrato su un piano di riferimento. In sostanza, il piano centrale dell'elemento deve allinearsi con il piano centrale di riferimento entro una banda di tolleranza definita.

Esempio d'utilizzo: Una spaziatura uniforme è importante per la funzionalità o l'equilibrio: **superfici di montaggio a forchetta** (come la forcella di un giunto universale) centrate rispetto all'asse dell'albero per una distribuzione uniforme del carico.

Profilo di una superficie (Profilo)



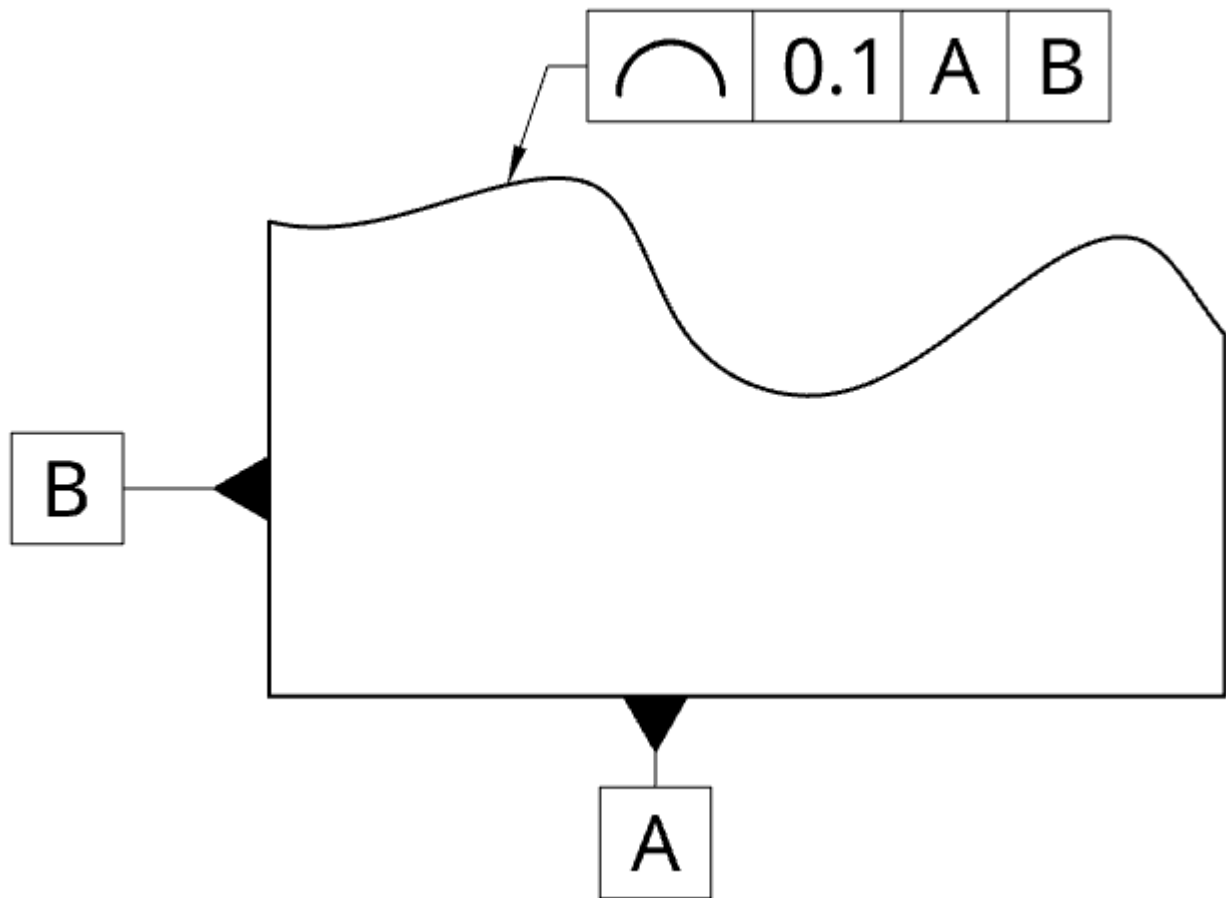
Profilo di una tolleranza superficiale applicata ad una superficie libera rispetto ai riferimenti A e B.

Il profilo di una superficie definisce una zona di tolleranza 3D uniforme attorno alla superficie nominale (a partire dalle dimensioni di base) e fa riferimento ai datum per l'orientamento/posizione. È un concetto di involuppo simile alla planarità, ma la **planarità** è un controllo di forma **senza riferimenti**, mentre il **profilo di superficie** supporta forme semplici o complesse con relazioni di riferimento.

La differenza è che il profilo di una superficie è adatto anche a forme più complesse, creando una zona in cui devono trovarsi tutti i punti della superficie. Inoltre, necessita di una lavorazione di riferimento.

Esempio d'utilizzo: Controllo di superfici curve/a forma libera in cui la coerenza della forma è importante: un pannello aerodinamico che rimane all'interno del profilo progettato per il flusso d'aria.

Profilo di una linea (Profilo)



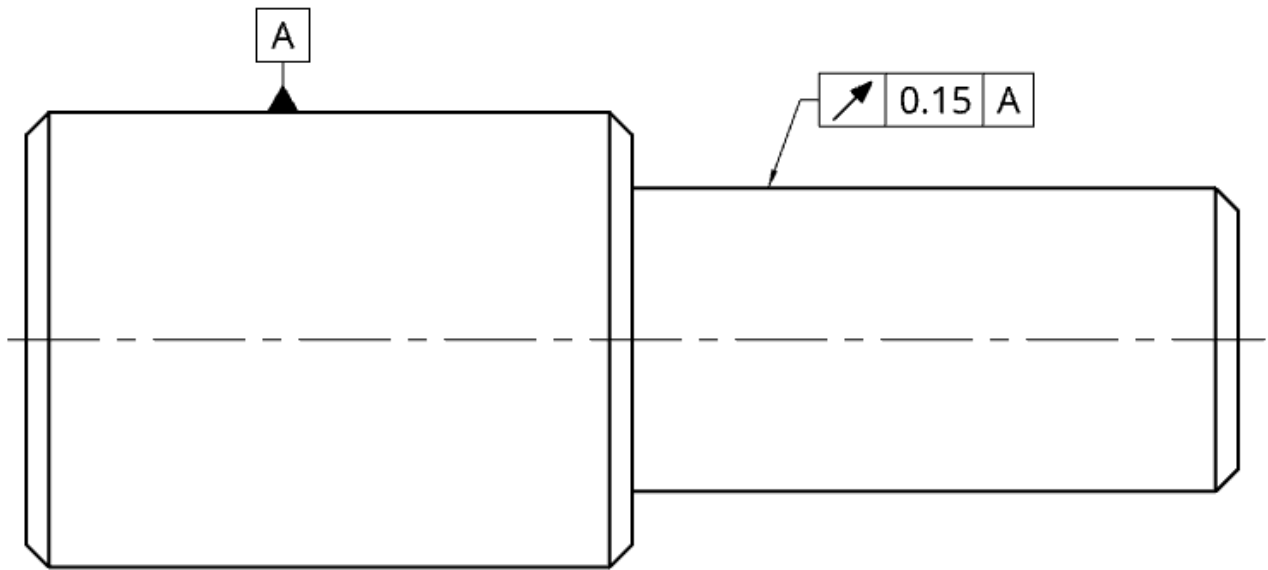
Profilo GD&T di un esempio di tolleranza di linea con frame di controllo delle lavorazioni.

Il profilo di una linea sta al profilo di una superficie come la **rettilinearità** sta alla **planarità**. Specifica i limiti minimo e massimo della sezione trasversale più sottile di una superficie, ignorando di fatto **la terza dimensione**.

Questo approccio è utile quando è necessario un controllo preciso della forma di una superficie lungo direzioni specifiche senza necessariamente vincolare l'intera superficie contemporaneamente.

Esempio d'utilizzo: Controllo della **curvatura di un pannello della carrozzeria** lungo una sezione per garantire riflessi uniformi e spazi di assemblaggio uniformi.

Tolleranza di oscillazione (Runout)



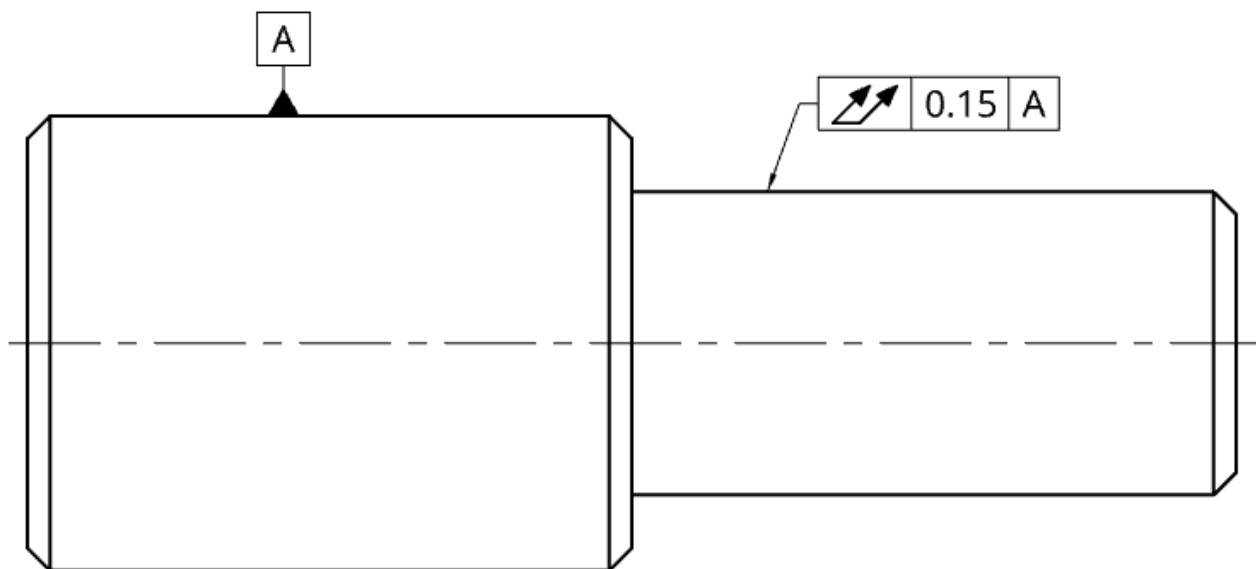
Tolleranza di oscillazione circolare applicata ad un albero in GD&T.

L'oscillazione circolare definisce la rotondità delle singole sezioni trasversali di un elemento rispetto all'asse di riferimento. La sua zona di tolleranza, simile alla circolarità, è delimitata da due cerchi concentrici centrati sull'asse di riferimento.

Tuttavia, è importante notare che l'oscillazione circolare non è la stessa cosa della circolarità. In pratica, la **tolleranza di oscillazione viene valutata con il pezzo in rotazione attorno all'asse di riferimento**, mentre la circolarità è un controllo statico della rotondità su una singola sezione trasversale.

La somiglianza con la circolarità sta nel fatto che il diametro della zona può variare a ogni sezione trasversale, e probabilmente lo fa. **Esempio d'utilizzo:** Le parti rotanti devono rimanere allineate ed equilibrate: il perno dell'**albero motore** deve essere disassato rispetto all'asse principale per evitare vibrazioni e usura irregolare dei cuscinetti.

Oscillazione totale (Runout)



Tolleranza di oscillazione totale applicata a un albero in GD&T.

Il runout totale è simile a quello circolare, ma ispeziona l'intera superficie di un elemento, anziché singole sezioni trasversali, rispetto ad un asse di riferimento. La zona di tolleranza è cilindrica e si estende per l'intera lunghezza dell'elemento.

Questo controllo garantisce che la superficie sia rotonda e dritta lungo tutto il suo asse, non solo in sezioni isolate.

Esempio d'utilizzo: Quando la qualità della rotazione a tutta lunghezza è importante. Ad esempio, la **scentratura totale dell'albero** motore per garantire una rotazione fluida ed evitare vibrazioni della trasmissione.

Modificatori

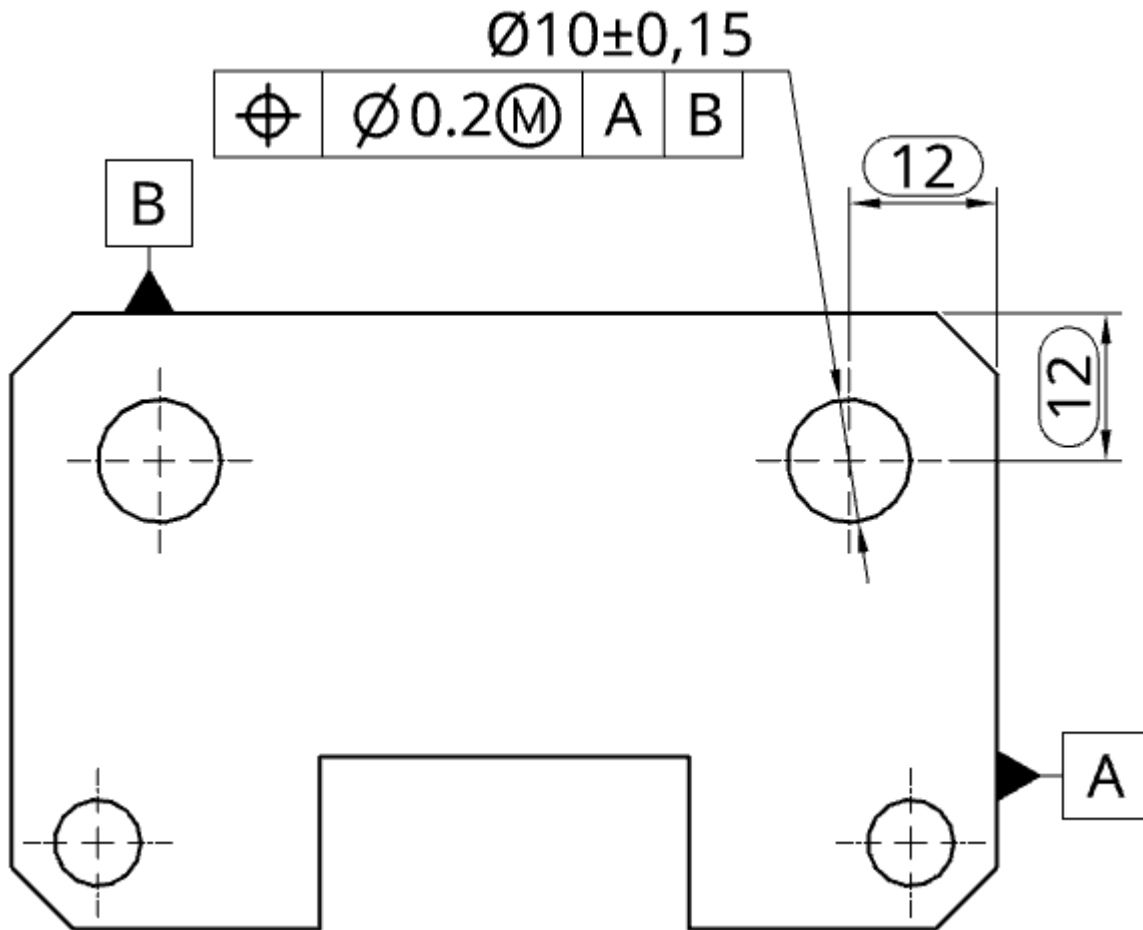
I modificatori rappresentano una parte importante del GD&T. Consentono di aggiungere un **bonus di tolleranza** per le tolleranze, a seconda di quanto una lavorazione sia vicina ai suoi limiti di tolleranza.

Condizione massima del materiale

La condizione di massimo materiale, o MMC in breve, è una condizione in cui **il pezzo in lavorazione presenta la massima quantità di materiale residuo dopo l'esecuzione di un ritaglio**.

Ad esempio, se si specifica un foro da 10 mm con una tolleranza di $\pm 0,15$ mm, la dimensione minima consentita per il foro è 9,85 mm. Questa dimensione di 9,85 mm rappresenta la MMC, in quanto lascia la maggior quantità di materiale.

Quando si utilizza la tolleranza di posizione GD&T senza una definizione MMC, la posizione del foro deve semplicemente rispettare la tolleranza specificata (per esempio 0,2 mm), indipendentemente dalle sue dimensioni effettive. Tuttavia, nelle applicazioni pratiche, le dimensioni sono spesso critiche e questo problema può essere risolto applicando il modificatore MMC.



Esempio GD&T MMC che mostra la tolleranza della posizione del foro con modificatore.

Applicando il modificatore MMC, si ottiene una “tolleranza bonus” se la dimensione effettiva del foro è maggiore della MMC. Ad esempio, se il foro è di 10,1 mm, si ottengono 0,25 mm ($10,1 - 9,85 = 0,25$) di tolleranza di spostamento in più rispetto alla tolleranza di posizione originale.

Lo scopo principale della tolleranza bonus è aumentare il margine di errore ammissibile, contribuendo in ultima analisi a ridurre i costi di produzione.

Tolleranza bonus = dimensione effettiva della lavorazione – dimensione MMC

Condizione di minimo materiale

Sebbene meno comune della condizione di massimo materiale, la condizione di minimo materiale ha comunque applicazioni pratiche. Il suo caso d'uso potrebbe non essere immediatamente evidente.

Si consideri uno scenario con un foro vicino al bordo di una piastra. Per evitare errori, è necessario garantire una quantità di materiale sufficiente tra il foro e il bordo. **Se la dimensione effettiva del foro è inferiore al limite della Condizione di Minimo Materiale (LMC)** (ad esempio, 9,85 mm), il centro del foro può essere più vicino al bordo della differenza. Questa differenza contribuisce ad una “tolleranza bonus”.

Tolleranza bonus = dimensione LMC – dimensione effettiva della lavorazione

Ad esempio, se la LMC è 10,15 mm e la dimensione effettiva del foro è 9,85 mm, la tolleranza bonus sarebbe di 0,3 mm ($10,15 - 9,85 = 0,3$), che si aggiunge alla tolleranza di posizione consentita.

Indipendenza dalle dimensioni della lavorazione

L’indipendenza dalle dimensioni della lavorazione (RFS) significa che la tolleranza geometrica rimane costante, indipendentemente dalle dimensioni effettive della lavorazione, purché rimanga entro i limiti dimensionali specificati. A differenza di MMC o LMC, RFS **non offre alcuna “tolleranza bonus”** quando la lavorazione devia dalla sua condizione massima o minima del materiale.

La RFS è la **condizione predefinita** nel GD&T. Se non è presente alcun simbolo MMC o LMC nel riquadro di controllo della lavorazione, l’interpretazione passa automaticamente come RFS. Di conseguenza, molti disegni non indicano esplicitamente RFS.

RFS viene in genere scelta quando il requisito funzionale richiede un **controllo rigoroso sia sulle dimensioni che sulla geometria in contemporanea**, indipendentemente da qualsiasi potenziale gioco. Ad esempio, un foro per un perno di allineamento per una montatura ottica potrebbe richiedere che la sua posizione sia mantenuta entro una tolleranza rigorosa, anche se il foro è leggermente sovradimensionato, poiché anche un piccolo spostamento di posizione potrebbe causare un disallineamento.

Linee guida sulle tolleranze GD&T

1. Il GD&T non è decorazione

Se non siete sicuri che sia funzionale, non applicatelo. Ogni richiamo GD&T comporta costi di ispezione aggiuntivi.

2. Prima la funzione

Tollerare solo ciò che influisce su adattamento, allineamento, tenuta o prestazioni. Lasciare le lavorazioni non critiche alle tolleranze generali.

3. Mantenere pulito il disegno tecnico

Posizionare le tolleranze all’esterno dei confini delle parti, utilizzare profili reali visibili, raggruppamento/orientamento/spaziatura coerenti.

4. Non specificare troppo

Evitare le istruzioni di processo a meno che non siano essenziali. Spesso si presumono condizioni di 90° e coassiali, salvo diversa indicazione.

5. Scegliete riferimenti logici

Occorre basarli sulla realtà dell'assemblaggio/ispezione e sulla sequenza in cui verranno utilizzati ($A \rightarrow B \rightarrow C$).

6. Verificare la fattibilità

Confermate con i partner di produzione la capacità di processo per le tolleranze richieste. Utilizzate MMC/LMC quando riducono i costi senza compromettere la funzionalità.

Il GD&T è il modo in cui si traduce l'intento progettuale in parti che si adattano, sigillano, allineano e si muovono come previsto, senza pagare troppo per [tolleranze](#) di cui non si ha bisogno.

Tuttavia, i componenti che non si adattano, si usurano più velocemente o richiedono rilavorazioni a causa di imprecisioni spesso costano molto di più in termini di tempo e denaro. Un uso oculato del dimensionamento geometrico e delle tolleranze può aiutare a prevenire questi problemi.

Di seguito troverai una tabella con 17 simboli GD&T comuni, tra cui [planarità](#), [rettilineità](#), [cilindricità](#), [circolarità](#), parallelismo, perpendicolarità, angolarità, posizione, concentricità, simmetria, profilo di una superficie, profilo di una linea, oscillazione circolare, oscillazione totale, condizione di massimo materiale (MMC), condizione di minimo materiale (LMC) e indipendentemente dalle dimensioni della lavorazione (RFS).

[Scarica il PDF](#)