

Minicorso Regole di Disegno Meccanico

di Andrea Saviano

Parte 3

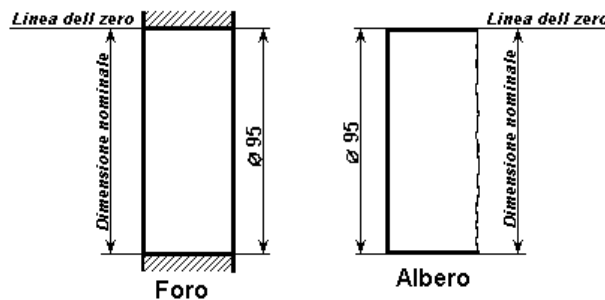
- Tolleranze dimensionali di lavorazione
- Accoppiamenti mobili, stabili e incerti
- Giochi e interferenze
- Posizione della zona di tolleranza e scostamenti
- Sistema di tolleranze dimensionali di lavorazione ISO
- Indicazioni delle tolleranze nei disegni
- Scostamenti per quote senza indicazione di tolleranza

Premessa

Nel regime d'incertezza in cui le misure si manifestano tre concetti sono fondamentali nel disegno meccanico:

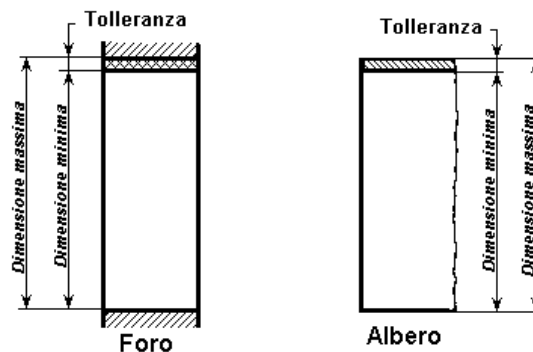
- dimensione nominale,
- linea dello zero,
- tolleranza.

La **dimensione nominale** è la quota assegnata, nel disegno, ad un elemento di un pezzo. Essa definisce la **linea dello zero**.



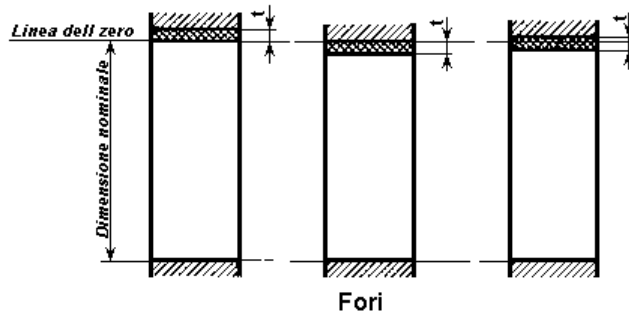
La misura effettiva di un elemento di un pezzo non è mai esattamente uguale alla dimensione nominale a causa delle approssimazioni introdotte dal processo di fabbricazione e di controllo. In ogni caso, non è economicamente conveniente raggiungere precisioni non necessarie alla funzionalità del pezzo.

Potremo pertanto dire che un elemento di un pezzo è funzionalmente idoneo se la sua dimensione effettiva è compresa tra una **dimensione massima** D_{\max} ed una **dimensione minima** d_{\min} . La differenza tra D_{\max} e d_{\min} è detta **tolleranza** t :

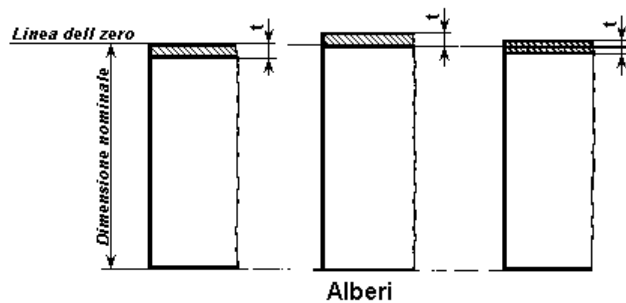


Nel caso di un foro e di un albero vi sono varie possibili collocazioni del campo di tolleranza rispetto alla linea dello zero.

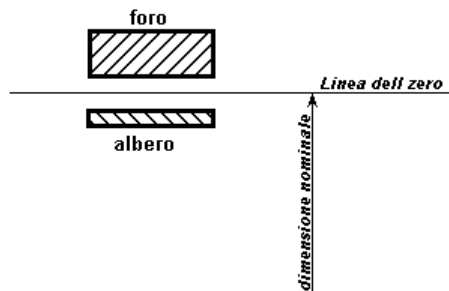
Se la tolleranza si trova tutta sopra o tutta sotto alla linea dello zero, la tolleranza stessa è detta **unilaterale**, mentre quando si trova parzialmente sopra e sotto viene detta **bilaterale**.



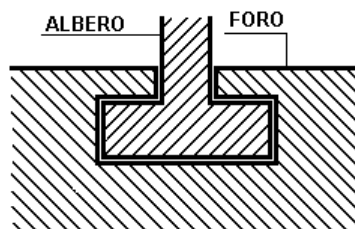
Il valore numerico della tolleranza ed il suo posizionamento rispetto alla linea dello zero sono fondamentali per raggiungere le desiderate condizioni d'accoppiamento fra vari pezzi collegati tra loro. Se le varie dimensioni effettive di un pezzo rientrano fra le rispettive dimensioni massime e minime, si dice che **il pezzo è in tolleranza** ed è dichiarato accettabile.



La necessità di rispettare i campi di tolleranza deriva sempre dalla necessità di montare il singolo pezzo nella posizione che gli compete nell'insieme della macchina, cioè di **accoppiarlo** ad un altro o a più pezzi diversi nel modo e con le caratteristiche previste in sede di progetto.



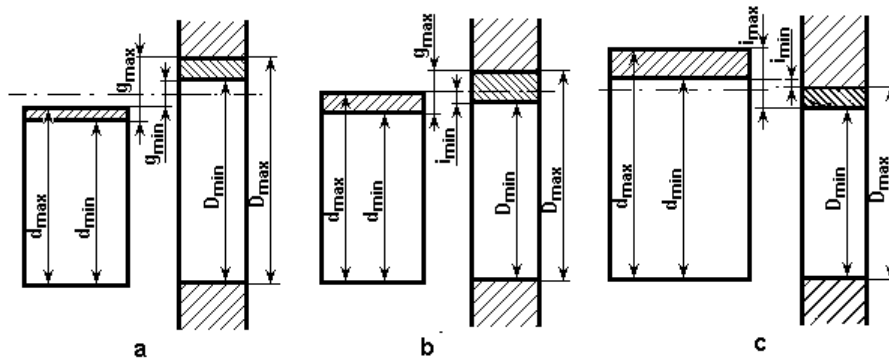
Il tipo più semplice d'accoppiamento è quello costituito da un **albero** e dal suo alloggiamento (detto **foro**); per questo nell'ambito delle tolleranze ci si riferisce sempre ad accoppiamenti albero-foro, intendendo con il termine albero il pezzo, anche non cilindrico, del quale consideriamo la dimensione esterna e con il termine foro il pezzo, anche non cilindrico, di cui consideriamo la dimensione interna.



Accoppiamenti mobili, stabili e incerti

L'accoppiamento avviene sempre tra elementi che hanno la stessa dimensione nominale alla quale è assegnato un ben preciso campo di tolleranza. Possono aversi tre casi:

- accoppiamento mobile,
- accoppiamento incerto,
- accoppiamento stabile.



Accoppiamento mobile

Il campo di tolleranza del foro sta completamente al di sopra del campo di tolleranza dell'albero. Preso un qualsiasi albero ed un qualsiasi foro in tolleranza, l'albero ha una dimensione effettiva sicuramente minore della dimensione effettiva del foro.

I due pezzi si accoppiano liberamente e l'accoppiamento si dice con gioco o mobile.

Accoppiamento incerto

I campi di tolleranza dell'albero e del foro hanno una parte in comune. Preso un qualsiasi albero ed un qualsiasi foro in tolleranza, possono aversi due casi:

- albero accoppiato con un foro di dimensione effettiva maggiore
- albero accoppiato con un foro di dimensione effettiva minore.

I due pezzi possono accoppiarsi liberamente oppure richiedere il forzamento dell'uno nell'altro. L'accoppiamento si dice incerto.

Accoppiamento stabile

Il campo di tolleranza del foro sta completamente al di sotto del campo di tolleranza dell'albero.

L'albero ha dimensione effettiva maggiore di quella del foro. I due pezzi possono essere accoppiati solo mediante forzamento e l'accoppiamento si dice con interferenza o stabile.

Giochi e interferenze

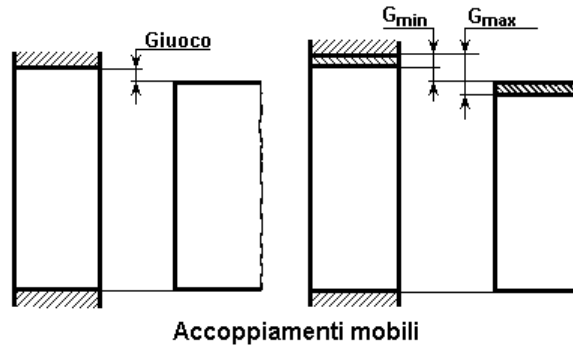
Definizione del gioco

Nel caso di un accoppiamento con gioco, il gioco stesso può variare da un valore massimo G_{max} ad un minimo g_{min} .

Sussistono le seguenti relazioni:

$$G_{max} = D(\text{foro})_{max} - d(\text{albero})_{min}$$

$$G_{min} = D(\text{foro})_{min} - d(\text{albero})_{max}$$

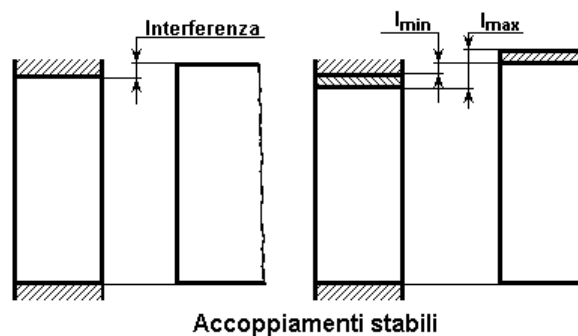


Definizione dell'interferenza

Nel caso di un accoppiamento stabile, cioè quando la dimensione effettiva dell'albero – prima dell'effettuazione dell'accoppiamento – è maggiore di quella effettiva del foro, si ha interferenza. Anche per l'interferenza si ha un valore massimo I_{max} ed uno minimo i_{min} dati da:

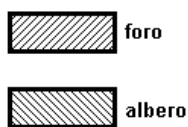
$$I_{max} = d(albero)_{max} - D(foro)_{min}$$

$$I_{min} = d(albero)_{min} - D(foro)_{max}$$

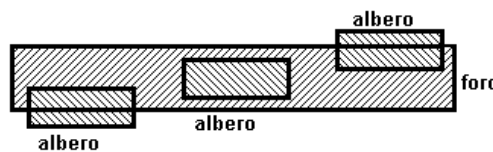


Posizione della zona di tolleranza e scostamenti

Accoppiamenti con giuoco



Accoppiamenti incerti



Accoppiamenti con interferenza



Da quanto precedentemente affermato, si ha che le condizioni di un accoppiamento dipendono dalla posizione che le zone di tolleranza del foro e dell'albero presentano rispetto alla linea dello zero.

Per definire ciò, si ricorre al concetto di scostamento, cioè alla distanza delle zone di tolleranza dalla linea dello zero.

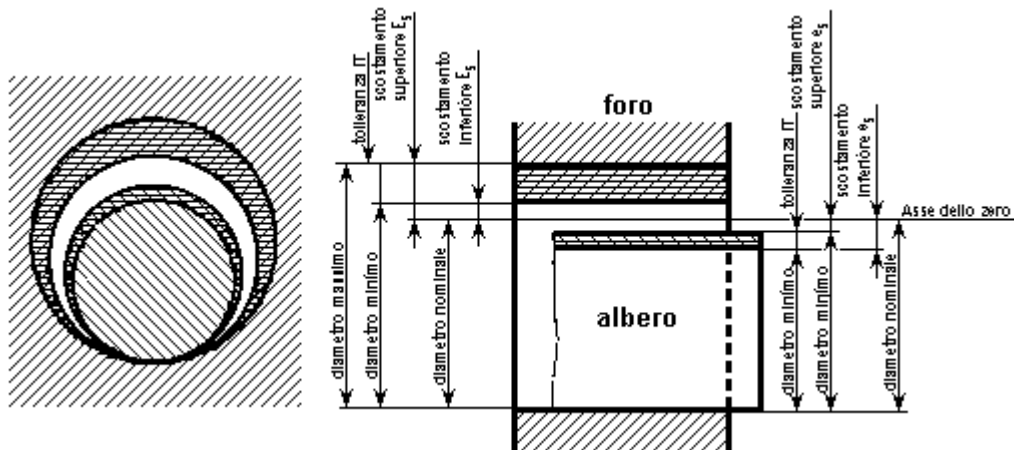
Quindi, per ogni zona di tolleranza si avranno uno **scostamento superiore** ed uno **scostamento inferiore**.

$$\begin{matrix} \text{Fori} & \rightarrow & E_s = \text{scostamento superiore} & E_i = \text{scostamento inferiore} \\ \text{Alberi} & \rightarrow & e_s = \text{scostamento superiore} & e_i = \text{scostamento inferiore} \end{matrix}$$

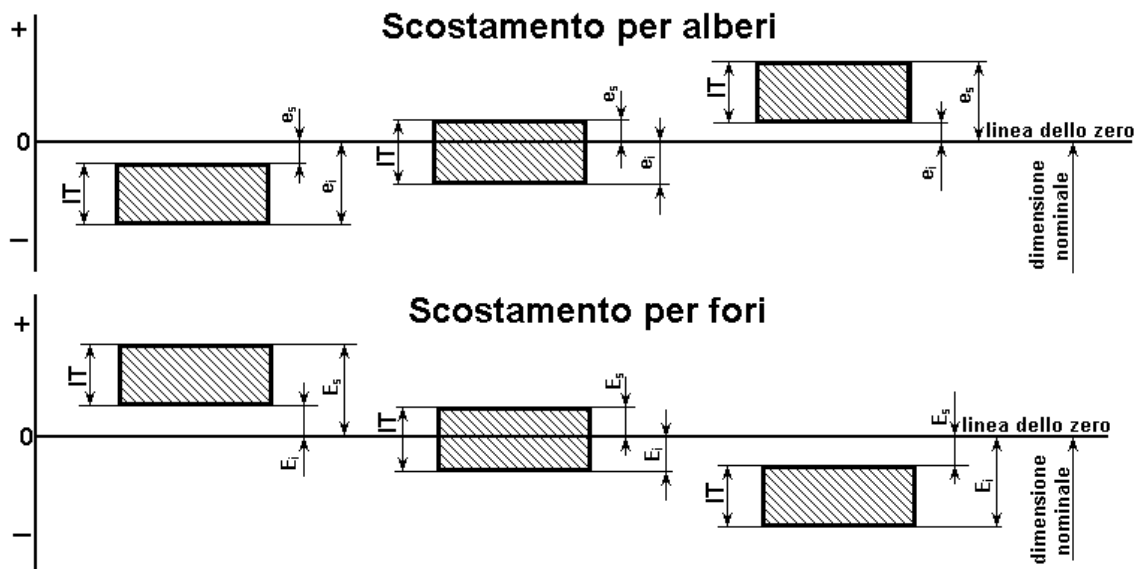
Detta IT la tolleranza, dalla figura seguente si ricava:

$$\begin{matrix} \text{Fori} & \rightarrow & IT = E_s - E_i \\ \text{Alberi} & \rightarrow & IT = e_s - e_i \end{matrix}$$

NOTA: gli scostamenti sono considerati positivi se sono sopra alla linea dello zero, negativi se sotto.



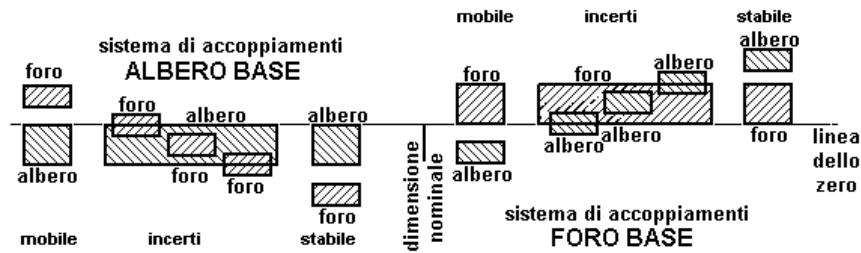
Di seguito, una piccola rivisitazione grafica sul concetto di scostamento:



Da quanto detto, emerge che una lavorazione meccanica è tanto più precisa quanto più è piccola la zona di tolleranza con cui viene effettuata. Quindi, qualità di lavorazione e tolleranza sono concetti intimamente collegati.

NOTA: è da evidenziare che, per una data qualità di lavorazione, il valore della zona di tolleranza non è costante, ma cresce con il crescere delle dimensioni del pezzo stesso.

Qualunque condizione d'accoppiamento (**mobile**, **stabile** e **incerto**) potrebbe essere ottenuta posizionando opportunamente e liberamente la zona di tolleranza di foro e albero. Però, per praticità operativa, si è visto che conviene scegliere uno dei seguenti sistemi di riferimento:



Sistema albero base

Lo scostamento superiore dell'albero viene posto uguale a zero e la zona di tolleranza sta tutta al disotto della linea dello zero. Le varie condizioni di accoppiamento si hanno posizionando la tolleranza del foro.

Sistema foro base

Lo scostamento inferiore del foro viene posto uguale a zero e la zona di tolleranza sta tutta al disopra della linea dello zero. Le varie condizioni di accoppiamento si hanno posizionando la tolleranza dell'albero.

Sistema di tolleranze dimensionali di lavorazione ISO

La necessità di stabilire norme ben precise per quanto riguarda le tolleranze e gli accoppiamenti è così evidente e sentita che i vari enti internazionali di unificazione vi hanno dedicato da sempre una particolare attenzione. Il sistema di seguito illustrato è quello proposto dall'ISO e adottato ufficialmente dall'UNI, esso deriva da quelli precedentemente utilizzati (UNIM, ISA) e ne costituisce un opportuno affinamento ed ampliamento.

Tale sistema si basa sulle definizioni di:

- un'unità di tolleranza, funzione della dimensione da tollerare;
- un certo numero di qualità di lavorazione ad ognuna delle quali corrisponde un campo di tolleranza multiplo dell'unità di tolleranza stessa;
- un certo numero di possibili posizioni del campo di tolleranza rispetto alla linea dello zero.

Il sistema ISO prevede due campi di dimensioni e precisamente il campo fino a 500 mm compresi e quello oltre i 500 mm, fino a 3.150 mm.

Per il campo di dimensioni fino a 500 mm compresi, le qualità di lavorazione definite dalla ISO sono 19 e sono denominate IT01, IT0, IT1, ... , IT17 e si riferiscono a lavorazioni che, procedendo dalla 01 alla 17, sono sempre meno precise.

Le qualità di lavorazione fino alla 4 per gli alberi ed alla 5 per i fori sono utilizzate solo per lavorazioni di estrema precisione (per esempio: nella costruzione di strumenti di misura), mentre per le normali lavorazioni meccaniche con asportazione di truciolo si adottano qualità che vanno dalla 5 alla 11 per gli alberi e dalla 6 alla 11 per i fori.

Le qualità di lavorazione dalla 12 alla 17 sono utilizzate per lavorazioni grossolane su pezzi che normalmente non devono essere accoppiati.

Sotto è riportata la tabella di corrispondenza tra qualità di lavorazione da IT5 a IT17 e l'unità di tolleranza *i* che, moltiplicata per i fattori indicati fornisce il valore del campo di tolleranza stesso:

Qualità di lavorazione	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Unità di tolleranza	7 <i>i</i>	10 <i>i</i>	16 <i>i</i>	25 <i>i</i>	40 <i>i</i>	64 <i>i</i>	100 <i>i</i>	160 <i>i</i>	250 <i>i</i>	400 <i>i</i>	640 <i>i</i>	1000 <i>i</i>	1600 <i>i</i>

Per le qualità di lavorazione di maggior interesse pratico (quelle da IT5 a IT17), l'unità di tolleranza *i* si definisce come segue:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$$

dove D è espresso in mm e i in μm . Da notare che in questa formula il valore di D non è quello della dimensione nominale da tollerare, ma la media geometrica delle dimensioni estreme del gruppo al quale la dimensione stessa appartiene.

In questo modo si evita di dover calcolare un numero infinito di unità di tolleranza i , riducendosi a calcolarne un numero pari al numero dei gruppi di dimensioni in cui abbiamo diviso l'intervallo da 1mm a 500 mm. Da notare anche che il secondo termine del secondo membro della formula precedente è inserito per tenere conto delle incertezze di misura, crescenti al crescere del diametro, comincia a farsi sentire in pratica per diametri maggiori di 80 mm.

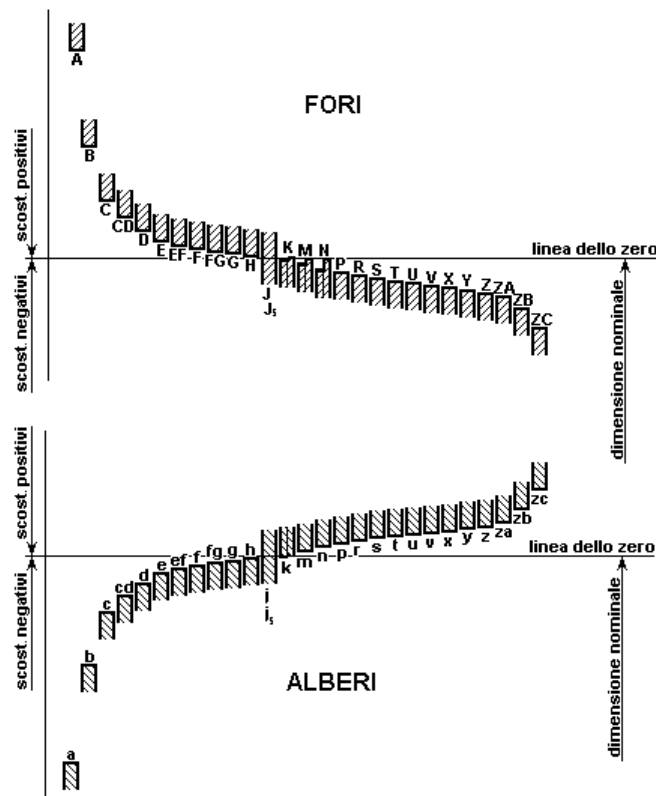
Stabilita la qualità di lavorazione, ora è possibile calcolare l'ampiezza del campo di tolleranza. Infatti, l'unificazione prevede che – a partire dalla qualità IT5 e fino alla IT17 – corrispondano ad ognuna di esse campi di tolleranza di ampiezza crescente come indicato nella tabella precedente.

Per i gruppi di dimensioni da 500mm a 3150mm, i valori dei campi di tolleranza sono dati in base ad un'unità I calcolata con la formula:

$$i = 0,004 \cdot D + 2,1$$

Le qualità di lavorazione previste dalle norme per questo campo di dimensioni sono undici, da IT6 a IT16. Esiste, poi, una tabella analoga a quella precedente per il calcolo diretto dei valori dei campi di tolleranza in funzione della qualità di lavorazione.

Rimane a questo punto da definire soltanto la posizione del campo di tolleranza rispetto alla linea dello zero. Per fare ciò, è sufficiente definire la posizione di uno degli scostamenti nominali – quello superiore o quello inferiore – che verrà quindi detto **scostamento fondamentale**. L'ISO prevede ventotto possibili posizioni del campo di tolleranza rispetto alla linea dello zero, ciascuna individuata dalle lettere maiuscole che vanno da **A** a **ZC** per i fori e, con lettere minuscole, da **a** a **zc**, per gli alberi.

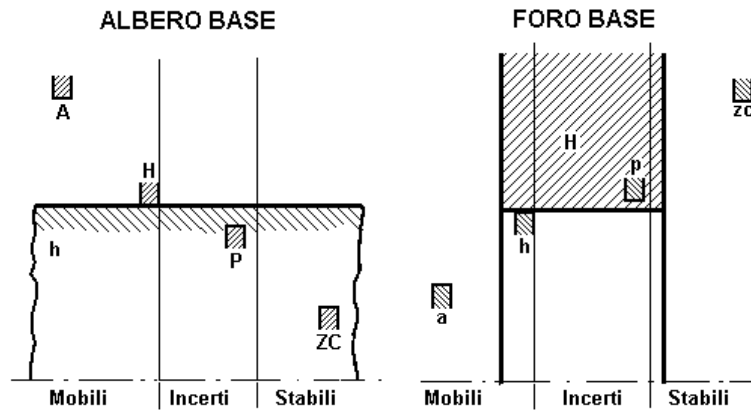


I valori degli scostamenti in μm per le qualità di lavorazione da 15 a 17 sono riportate in tabelle analoghe a quella illustrata di seguito.

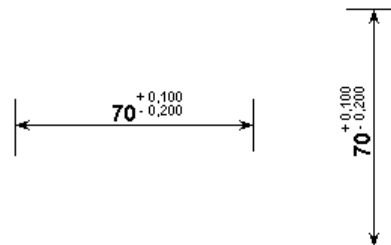
Qualità di tolleranza												
IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
$7 \cdot i$	$10 \cdot i$	$16 \cdot i$	$25 \cdot i$	$40 \cdot i$	$64 \cdot i$	$100 \cdot i$	$160 \cdot i$	$250 \cdot i$	$400 \cdot i$	$640 \cdot i$	$1000 \cdot i$	$1600 \cdot i$
Tolleranza fondamentale												

Per conferire determinate caratteristiche ad un accoppiamento si può scegliere, in teoria, fra un numero elevatissimo di coppie albero-foro: infatti è sufficiente che le ampiezze e le posizioni relative dei campi di tolleranza per ciascuna coppia siano le stesse perché tali risultino anche le caratteristiche di accoppiamento. In pratica, però, è conveniente riferirsi sempre a coppie albero-foro particolari e di generale impiego per le quali le caratteristiche di accoppiamento sono immediatamente individuate ed il controllo è spesso possibile con un numero non troppo elevato di calibri fissi.

Per questo sono stati introdotti due sistemi unificati di accoppiamenti denominati **albero base** e **foro base**. Per ciascuno di essi si prende come fissa la posizione con scostamento fondamentale sulla linea dello zero (**h** oppure **H**); la scelta della posizione del campo di tolleranza dell'altro elemento definisce le caratteristiche dell'accoppiamento come può vedersi dallo schema sotto riportato:

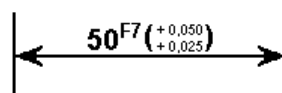


Indicazioni delle tolleranze nei disegni

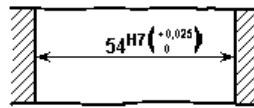


Questo metodo (orizzontale e verticale) d'indicazione è l'unico consentito quando le tolleranze non sono quelle unificate.

I valori degli scostamenti devono essere espressi tutti con lo stesso numero di cifre, eccetto il caso in cui uno scostamento sia nullo, nel qual caso è sufficiente indicarlo con 0.

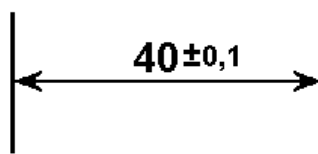


Le tolleranze ISO possono essere indicate mediante la sola quota nominale seguita dal simbolo alfanumerico ISO corrispondente, ma – per motivi di praticità di costruzione e controllo – si possono aggiungere tra parentesi gli scostamenti relativi.

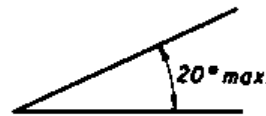
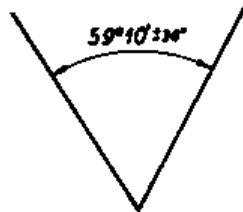


Nell'indicazione della tolleranza, i relativi scostamenti devono essere scritti uno sotto l'altro. Sopra si scrive sempre lo scostamento superiore e sotto quello inferiore.

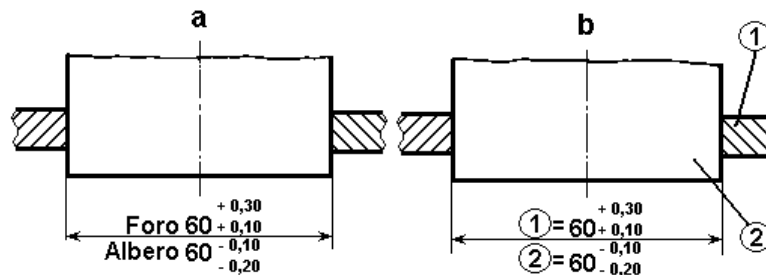
Se i valori degli scostamenti sono simmetrici rispetto alla dimensione nominale, il valore assoluto dello scostamento deve essere scritto una sola volta e preceduto dal segno \pm .



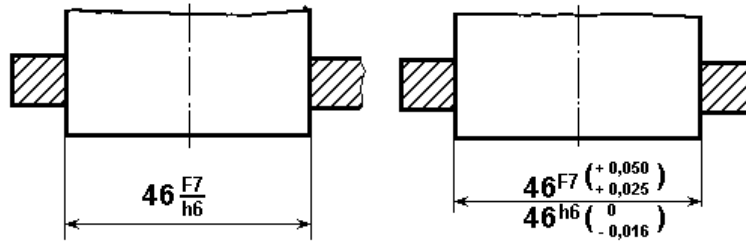
La stessa regola vale per le quotature degli angoli.



Quando per particolari esigenze si quota un insieme, le quote di ciascun elemento devono essere precedute dalla denominazione dell'elemento cui le quote si riferiscono (caso a), oppure dal riferimento dell'elemento stesso (caso b). In entrambi i casi, la quota del foro è sempre scritta sopra la linea di misura e quella dell'albero sotto.



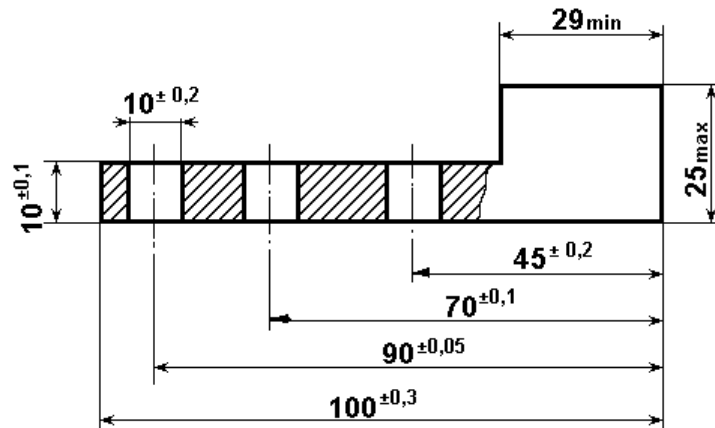
Se si quota un accoppiamento ISO, si devono indicare i simboli delle tolleranze, mentre la dimensione nominale dei due elementi viene riportata una sola volta. Il simbolo del foro viene posto sopra la linea mentre quello dell'albero al di sotto.



Nelle due figure seguenti viene illustrata la comparazione dell'effetto delle tolleranze nei casi di quotatura in serie



e in parallelo.



Scostamenti per quote senza indicazione di tolleranza

Nei disegni costruttivi di particolari, devono essere indicate le tolleranze solo per quelle quote legate a dimensioni del pezzo funzionalmente importanti. Per le altre dimensioni è normalmente sufficiente la precisione che s'ottiene con normali processi tecnologici. Quindi è il progettista che – conoscendo ogni dettaglio strutturale, funzionale e tecnologico del pezzo – può indicare quali siano le quote che debbano riportare un preciso campo di tolleranza.

Nei due prospetti seguenti sono riportati gli scostamenti e le tolleranze per dimensioni lineari e angolari, per tre gradi di precisione definiti come:

- grossolano,
- medio,
- preciso.

La norma dalla quale sono ricavate le tabelle in questione è la UNI 5307. Le lavorazioni alle quali è applicabile la citata unificazione, indipendentemente dai tipi di macchine utensili utilizzate, sono:

- sbavatura,
- sgrossatura,

- taglio,
- tranciatura,
- molatura,
- lisciatura,
- rettifica,
- smerigliatura,

e similari dove sia coinvolta l'asportazione di truciolo.