

- **Forma:** è definita dall'orientamento delle rigature. L'unificazione prevede sette forme, identificate da una lettera maiuscola. Nella **tabella B1.4** sono riportate le varie forme delle zigrinature, la loro denominazione e rappresentazione, perché le rispettive applicazioni e la formula per il calcolo del diametro di rullatura d_2 per $\alpha = 90^\circ$, caso assai frequente.

■ Designazione e rappresentazione convenzionale

La *designazione* completa di una zigrinatura è composta:

- dalla denominazione “Zigrinatura”;
- dal riferimento alla norma UNI 149;
- dal simbolo di identificazione della forma;
- dal valore del passo espresso in millimetri;
- dal valore dell’angolo del profilo α , se diverso da 90° .

esempio ↘

Zigrinatura spinata incavata, $p = 0,8 \text{ mm}$, $\alpha = 90^\circ$:

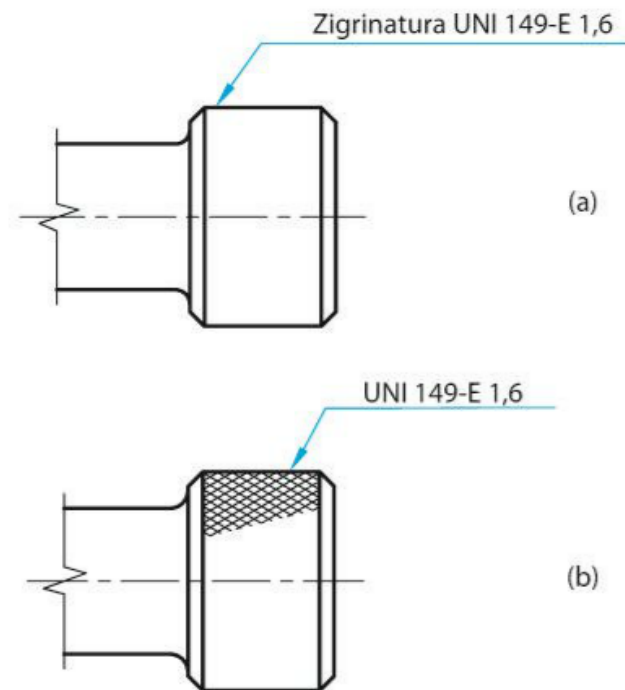
Zigrinatura UNI 149 - E 0,8

Zigrinatura incrociata in rilievo, $p = 1 \text{ mm}$, $\alpha = 105^\circ$:

Zigrinatura UNI 149 - G 1 x 105°

La rappresentazione convenzionale della zigrinatura nei disegni tecnici non viene fatta quando viene identificata con la designazione completa [fig. B1.14a].

In alternativa, si può identificare la zigrinatura con la *designazione abbreviata* (senza il termine *zigrinatura*) e rappresentarne la forma con linea continua fine tipo 01.1.12 UNI ISO 128-24, in una porzione di superficie [fig. B1.14b].



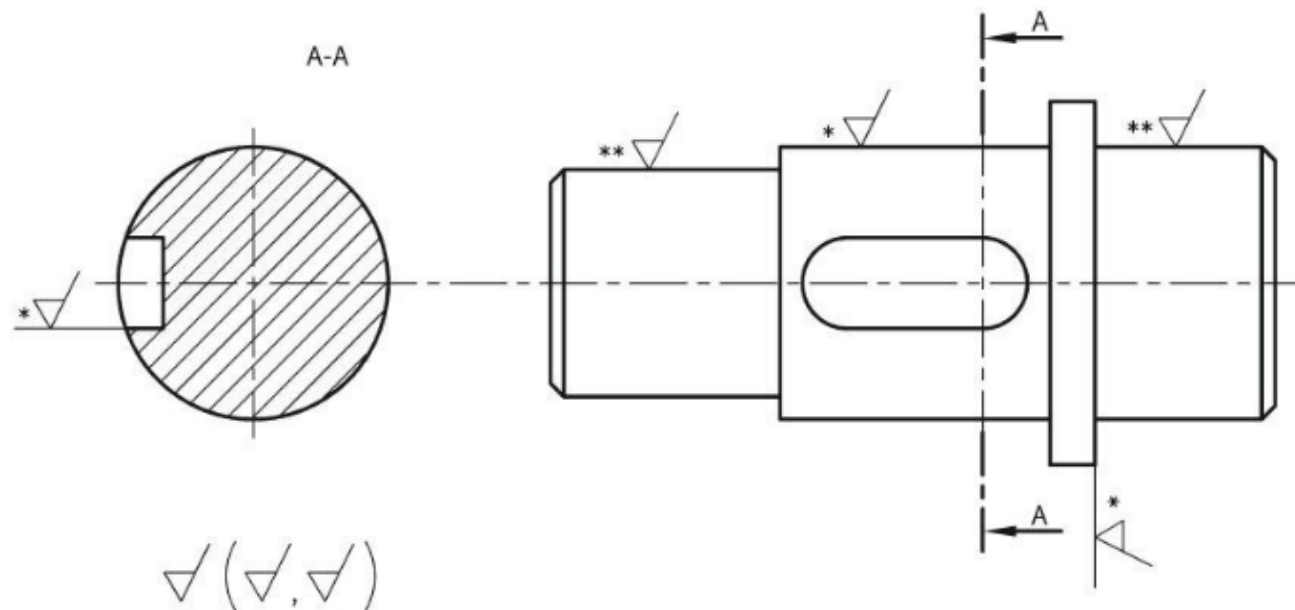
B1.14 Rappresentazione convenzionale delle zigrinature: a) designazione completa; b) designazione abbreviata.

Rugosità superficiale e dotazioni di sicurezza

L'albero rappresentato nella figura è ottenuto con lavorazione per asportazione di truciolo.

Quotare e definire i valori delle rugosità nell'ipotesi che le superfici:

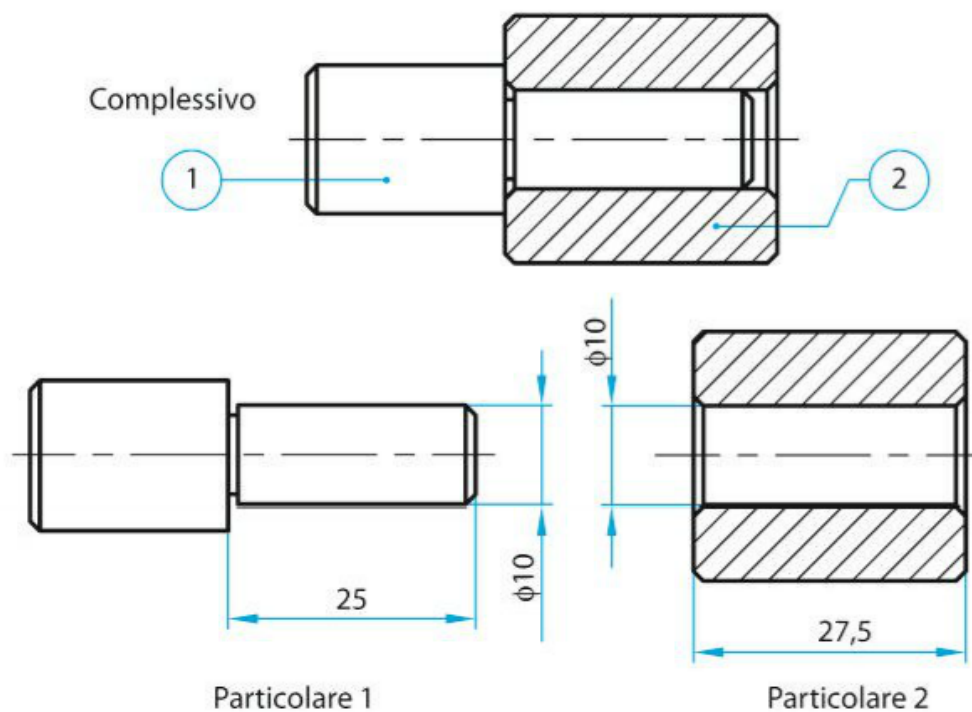
- in generale siano sgrossate d'utensile;
- indicate con un asterisco *, siano finite d'utensile;
- indicate con due asterischi **, siano rettificate.



B2.1 Tolleranze dimensionali

Generalità

Si esamini il complessivo rappresentato nella **figura B2.1**. Esso è composto dal particolare **1**, perno, che deve entrare liberamente senza sforzo, nel foro di pari diametro, $\phi 10$, del particolare **2**.



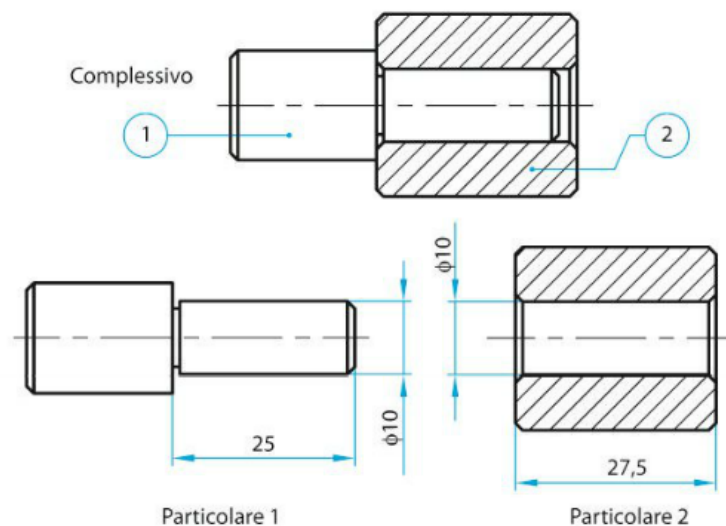
B2.1 Complessivo e particolari.

Si immagini adesso di far costruire i perni in un'officina e il particolare **2** in un'altra officina senza fornire altre indicazioni sulle dimensioni del diametro del perno e del foro.

Poiché durante la lavorazione si commettono delle imprecisioni (dovute ai giochi, al consumo utensile, agli errori di posizionamento ecc.), ogni particolare prodotto avrà un foro il cui diametro è circa 10 mm, ma diverso da ogni altro particolare.

In queste condizioni l'operatore cercherà di avvicinarsi il più possibile alla dimensione del disegno con le conseguenze di seguito descritte:

- la precisione di lavorazione potrebbe essere più elevata di quanto effettivamente necessario, con conseguente aumento dei costi;
- la precisione di lavorazione potrebbe essere meno elevata di quanto effettivamente necessario, con conseguenti problemi di funzionalità;



- il diametro di alcuni alberi potrebbe risultare leggermente più grande di 10 mm, mentre il diametro di alcuni fori potrebbe risultare minore di 10 mm;
- il perno entrerà liberamente nel foro se il suo diametro è minore del diametro del foro; potrebbe risultare necessario pertanto ridurre il diametro di qualche albero o aumentare quello di qualche foro;
- in caso di sostituzione di un particolare, potrebbe essere necessario procedere alla modifica delle sue dimensioni per adattarlo alle condizioni operative.

Per evitare gli inconvenienti appena descritti è opportuno dare, sul disegno, indicazioni più complete; per esempio indicando sulla quota il valore massimo e minimo che ogni dimensione può assumere.

Indicando convenzionalmente con **lettera maiuscola la dimensione del foro** e con **lettera minuscola quella del perno**, si immagini di scrivere:

$$\begin{array}{ll} d_{max} = 9,95 \text{ mm} & D_{max} = 10,15 \text{ mm} \\ d_{min} = 9,85 \text{ mm} & D_{min} = 10,05 \text{ mm} \end{array}$$

Si nota che se il diametro di un perno qualunque e di un foro qualunque sono compresi negli intervalli appena definiti, il perno entrerà liberamente nel foro; inoltre anche la precisione di lavorazione è definita avendo identificato l'errore che può essere commesso durante la lavorazione:

$$\begin{array}{l} errore_{albero} = 9,95 - 9,85 = 0,1 \text{ mm} \\ ERRORE_{foro} = 10,15 - 10,05 = 0,1 \text{ mm} \end{array}$$

Le quote dell'albero e del foro si scriveranno rispettivamente:

$$\phi 10_{-0,15}^{-0,05} ; \phi 10_{+0,05}^{+0,15}$$

Si può quindi definire la tolleranza di lavorazione nel seguente modo:

La **tolleranza** è il massimo scarto dimensionale (errore) ammesso nella lavorazione di un pezzo. Il suo valore risulta come differenza tra le dimensioni massima e minima ammissibili.

Indicando con **IT** (Tolleranza Internazionale) il valore della tolleranza sarà, si avrà:

$$\begin{array}{l} IT = D_{max} - D_{min} \quad (\text{per i fori}) \\ IT = d_{max} - d_{min} \quad (\text{per gli alberi}) \end{array}$$

Le lavorazioni con tolleranza sono la necessaria conseguenza del sistema di *lavorazione in serie* ormai generalizzato, che a volte può ridurre la precisione, ma garantisce sempre l'intercambiabilità dei pezzi.

L'**intercambiabilità** assicura sempre l'assemblaggio di uno qualsiasi dei pezzi prodotti, appartenente a un gruppo, con un altro qualsiasi appartenente a un secondo gruppo, costruito anche in tempi e in posti diversi, garantendo così la funzionalità dell'accoppiamento senza la necessità di ulteriori interventi di adattamento.

Indicando con d_{eff} (o D_{eff}) il valore effettivo (misurato), una dimensione è accettabile quando si verificano le seguenti condizioni:

$$d_{max} \geq d_{eff} \geq d_{min} \quad (\text{per gli alberi})$$

$$D_{max} \geq D_{eff} \geq D_{min} \quad (\text{per i fori})$$

Sistema di tolleranze UNI EN 20286

Termini e definizioni

- **Albero:** termine usato convenzionalmente per designare gli elementi esterni di un pezzo, anche non cilindrici.
- **Foro:** termine usato convenzionalmente per designare gli elementi interni di un pezzo, anche non cilindrici.
- **Dimensione nominale:** numero che esprime, nell'unità prescelta, il valore di una dimensione lineare. Nel disegno tale dimensione è detta **quota** [fig. B2.2]:

$$D_n \quad (\text{per i fori})$$

$$d_n \quad (\text{per gli alberi})$$
- **Dimensione effettiva:** è la dimensione di un elemento determinata mediante la sua misura:

$$D_{eff} \quad (\text{per i fori})$$

$$d_{eff} \quad (\text{per gli alberi})$$
- **Scostamento:** differenza algebrica tra la dimensione effettiva e la dimensione nominale (o teorica). Se la differenza è positiva, la dimensione effettiva è più grande di quella nominale; se la differenza è negativa, la dimensione effettiva è più piccola:

$$E = D_{eff} - D_n \quad (\text{per i fori})$$

$$e = d_{eff} - d_n \quad (\text{per gli alberi})$$
- **Scostamento superiore:** differenza algebrica tra la dimensione massima accettabile e la dimensione nominale (può essere positivo o negativo):

$$ES = D_{max} - D_n \quad (\text{per i fori})$$

$$es = d_{max} - d_n \quad (\text{per gli alberi})$$

- **Scostamento inferiore:** differenza algebrica tra la dimensione minima accettabile e la dimensione nominale (può essere positivo o negativo):

$$EI = D_{min} - D_n \quad (\text{per i fori})$$

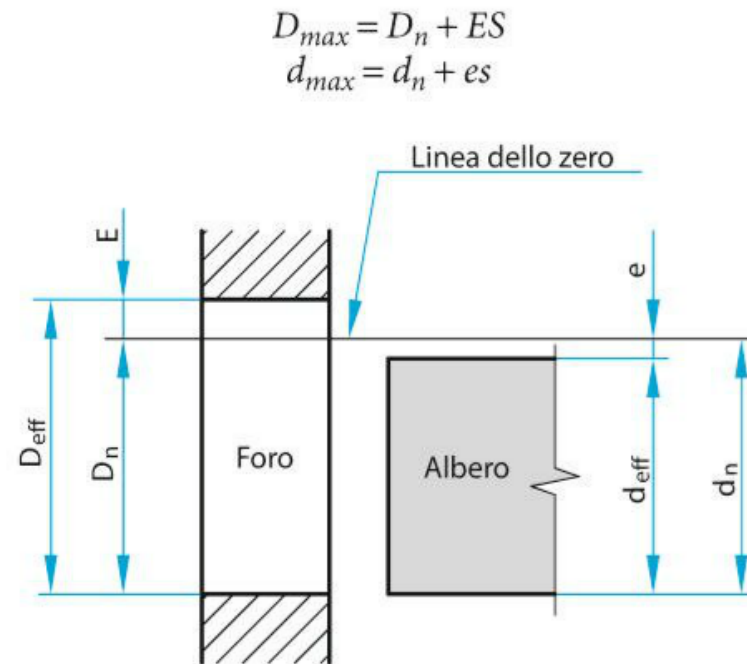
$$ei = d_{min} - d_n \quad (\text{per gli alberi})$$

- **Scostamento fondamentale:** definisce la posizione della zona di tolleranza rispetto alla linea dello zero (o linea di riferimento della dimensione nominale). Può essere sia lo scostamento superiore sia lo scostamento inferiore. Per convenzione si sceglie quello più prossimo alla linea dello zero.

- **Dimensione massima:** massima dimensione ammessa. È la somma algebrica della dimensione nominale e dello scostamento superiore:

$$D_{max} = D_n + ES$$

$$d_{max} = d_n + es$$



B2.2 Dimensione nominale, effettiva e scostamenti.

- **Dimensione minima:** minima dimensione ammessa. È la somma algebrica della dimensione nominale e dello scostamento inferiore [fig. B2.3]:

$$D_{min} = D_n + EI$$

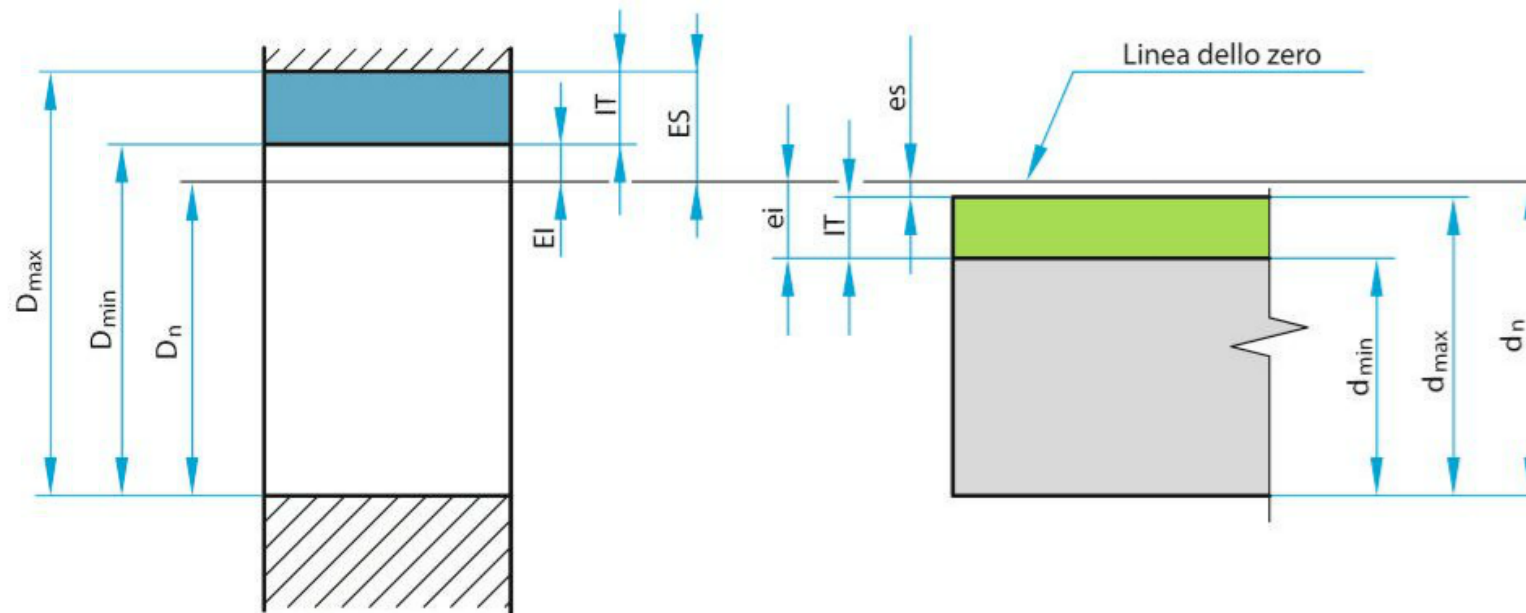
$$d_{min} = d_n + ei$$

- **Gioco:** differenza tra le dimensioni del foro e dell'albero, prima del montaggio, quando la dimensione del foro è maggiore di quella dell'albero:

$$G = D - d$$

- **Interferenza:** differenza tra le dimensioni dell'albero e del foro, prima del montaggio, quando la dimensione dell'albero è maggiore di quella del foro:

$$I = d - D$$

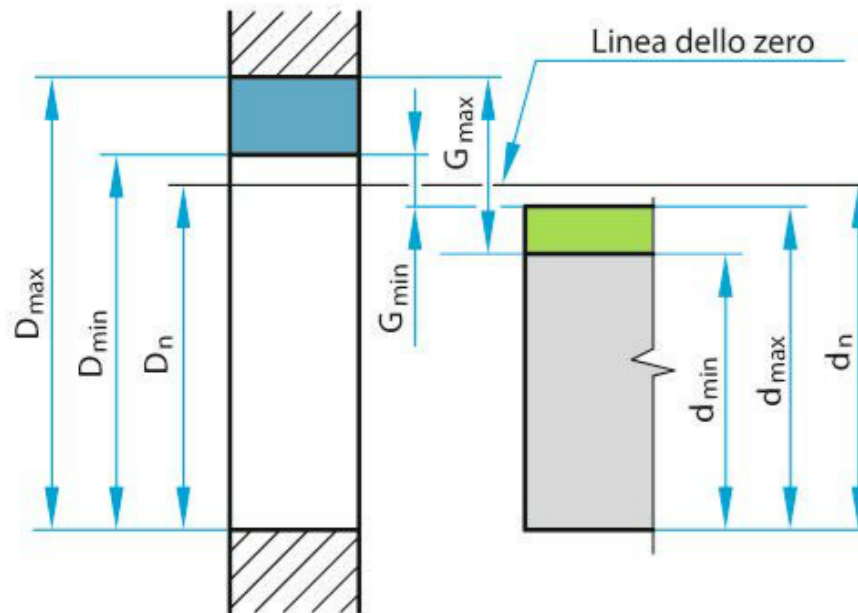


B2.3 Parametri che caratterizzano le tolleranze.

- **Accoppiamento:** relazione risultante dalla differenza, prima del montaggio, tra le dimensioni di due contorni (foro e albero) destinati a essere accoppiati. I due elementi dell'accoppiamento hanno la stessa dimensione nominale.
- **Accoppiamento con giuoco (libero):** accoppiamento che assicura sempre giuoco tra albero e foro, dopo il montaggio: l'albero è sempre più piccolo o uguale al foro ($d_{max} \leq D_{min}$), come illustrato nella [figura B2.4](#). Si possono verificare le due condizioni estreme:

$$G_{max} = D_{max} - d_{min}$$

$$G_{min} = D_{min} - d_{max}$$



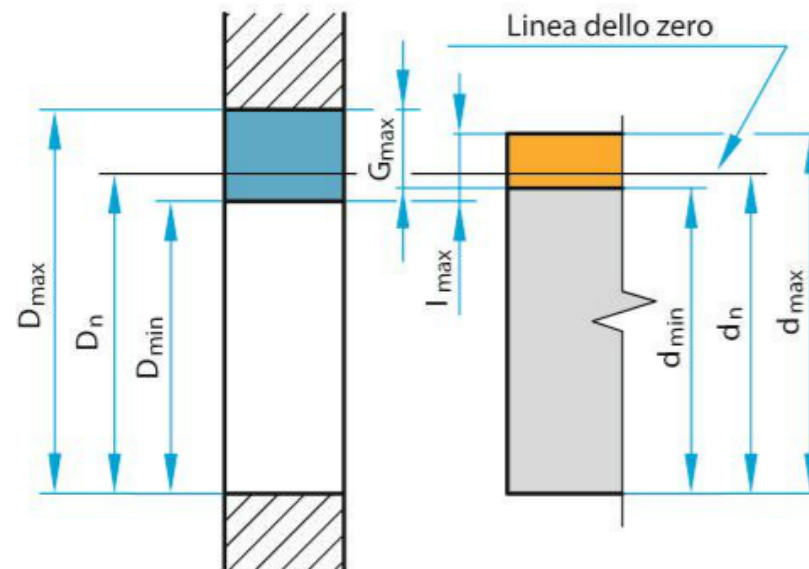
B2.4 Accoppiamento con giuoco.

- **Accoppiamento incerto:** accoppiamento in cui si può verificare giuoco o interferenza dopo il montaggio, secondo la dimensione effettiva dell'albero e del foro ($D_{max} > d_{min}$; $d_{max} > D_{min}$) come dimostra la **figura B2.6**. Si possono verificare le due condizioni:
 - albero più piccolo del foro, accoppiamento con giuoco:

$$G_{max} = D_{max} - d_{min}$$

- albero più grande del foro; accoppiamento con interferenza:

$$I_{max} = d_{max} - D_{min}$$

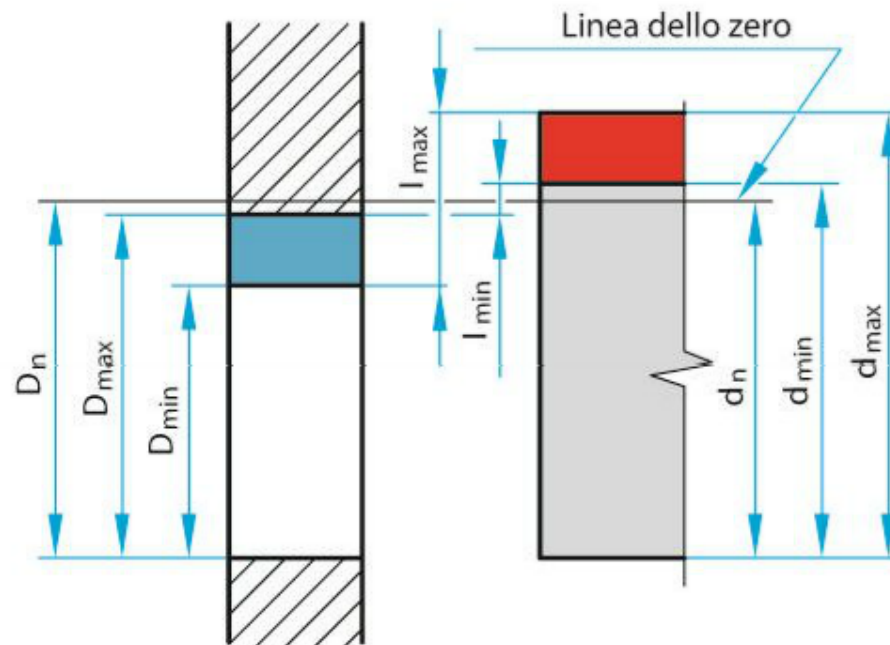


B2.6 Accoppiamento incerto.

- **Accoppiamento con interferenza (bloccato o stabile):** accoppiamento che assicura sempre interferenza tra albero e foro, dopo il montaggio: l'albero sempre più grande o uguale al foro ($d_{min} \leq D_{max}$) come illustrato nella **figura B2.5**:

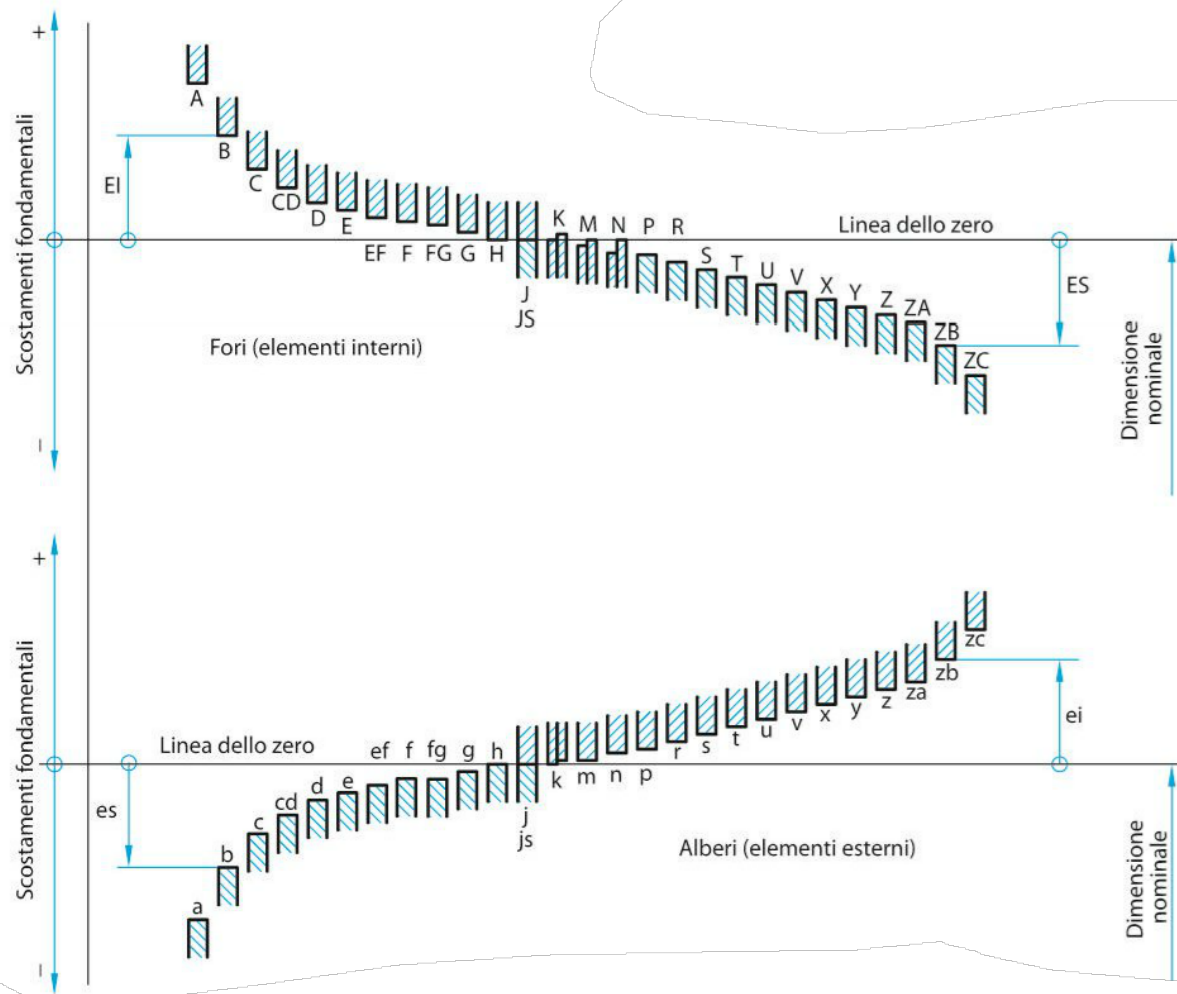
$$I_{max} = d_{max} - D_{min}$$

$$I_{min} = d_{min} - D_{max}$$



B2.5 Accoppiamento con interferenza.

La **figura B2.8** visualizza, per gli alberi e per i fori, la posizione degli scostamenti fondamentali, a volte coincidenti con lo scostamento superiore e a volte con lo scostamento inferiore.



B2.3 Esempi di calcolo di quote con tolleranze

Si ricorda che i *valori degli scostamenti* devono essere presi in *modulo e segno* e che:

$$\begin{aligned} IT &= D_{max} - D_{min}; & IT &= d_{max} - d_{min} \\ ES &= D_{max} - D_n; & es &= d_{max} - d_n \\ EI &= D_{min} - D_n; & ei &= d_{min} - d_n \end{aligned}$$

- Fori di posizione della tolleranza compresa tra **A** e **H**. Scostamento fondamentale **EI** (scostamento inferiore).

– $\phi 25 \text{ F8}$

$$D_n = 25$$

$$EI = +0,020 \quad (EI=20 \mu\text{m} - \text{tab. B2.3})$$

$$IT = 0,033 \quad (IT=33 \mu\text{m} - \text{tab. B2.1})$$

si possono quindi calcolare:

$$D_{min} = D_n + EI = 25,020$$

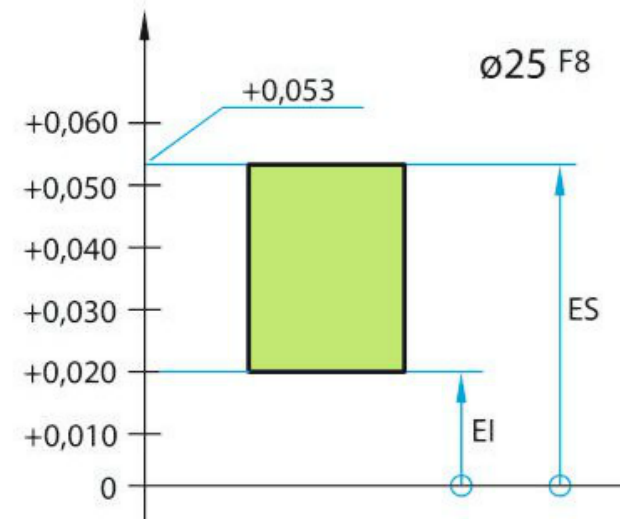
$$D_{max} = D_{min} + IT = 25,053$$

$$ES = D_{max} - D_n = 0,053$$

La scrittura convenzionale della quota comprende il diametro nominale, la posizione e il grado di tolleranza e (tra parentesi) gli scostamenti; sopra lo scostamento superiore sotto quello inferiore:

$$\phi D_n \text{ F8} \begin{matrix} (ES) \\ (EI) \end{matrix} = \phi 25 \text{ F8} \begin{matrix} (+0,053) \\ (+0,020) \end{matrix}$$

Si noti che nella scrittura *convenzionale* della quota in tolleranza, valori degli scostamenti devono essere espressi in modulo e segno anche quando sono positivi. La tolleranza è sempre positiva per definizione.



B2.9 Grafico degli scostamenti relativi al foro $\phi 25 \text{ F8}$.

- Fori di posizione della tolleranza compresa tra **J** ed **N**. Scostamento fondamentale **ES** (scostamento superiore).

B2.4 Accoppiamenti con tolleranze UNI EN

Nel sistema UNI EN, gli accoppiamenti vengono designati convenzionalmente indicando:

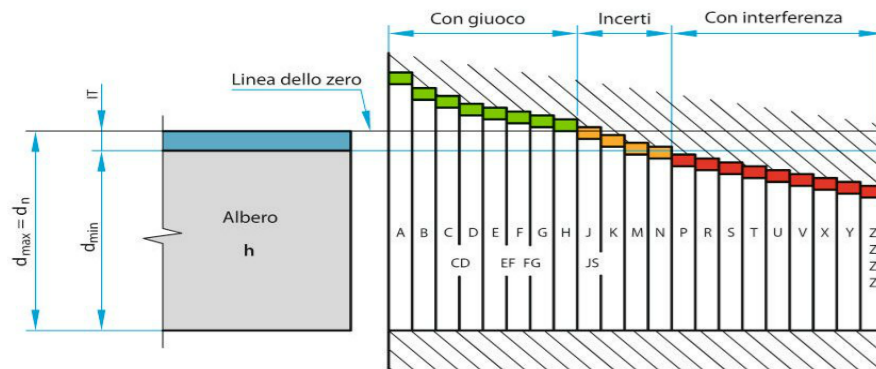
- la dimensione nominale comune ai due pezzi accoppiati;
- la posizione e il grado di tolleranza rispettivamente del foro e dell'albero, per esempio:

$\phi 60 H8/f7; \phi 50 P7/h6$

Nell'esecuzione degli accoppiamenti, soprattutto se precisi, occorre tener presente che si lavorano più facilmente le dimensioni esterne (alberi) e meno facilmente quelle interne (fori).

Perciò di solito, ipotizzando la stessa accuratezza di lavorazione, si accoppia un albero con grado di tolleranza $IT(n)$ con un foro di grado $IT(n + 1)$.

Lo schema della **figura B2.14** rappresenta la relazione tra i gradi di tolleranze e le lavorazioni normalmente usate in officina.



Con il sistema di tolleranze **ISO** è possibile combinare tra di loro alberi e fori con posizione della tolleranza qualsiasi, ottenendo un numero elevato di accoppiamenti, che richiederebbero molti calibri di controllo. Per evitare questo inconveniente, sono usati i sistemi di accoppiamento **albero-base** e **foro-base**.

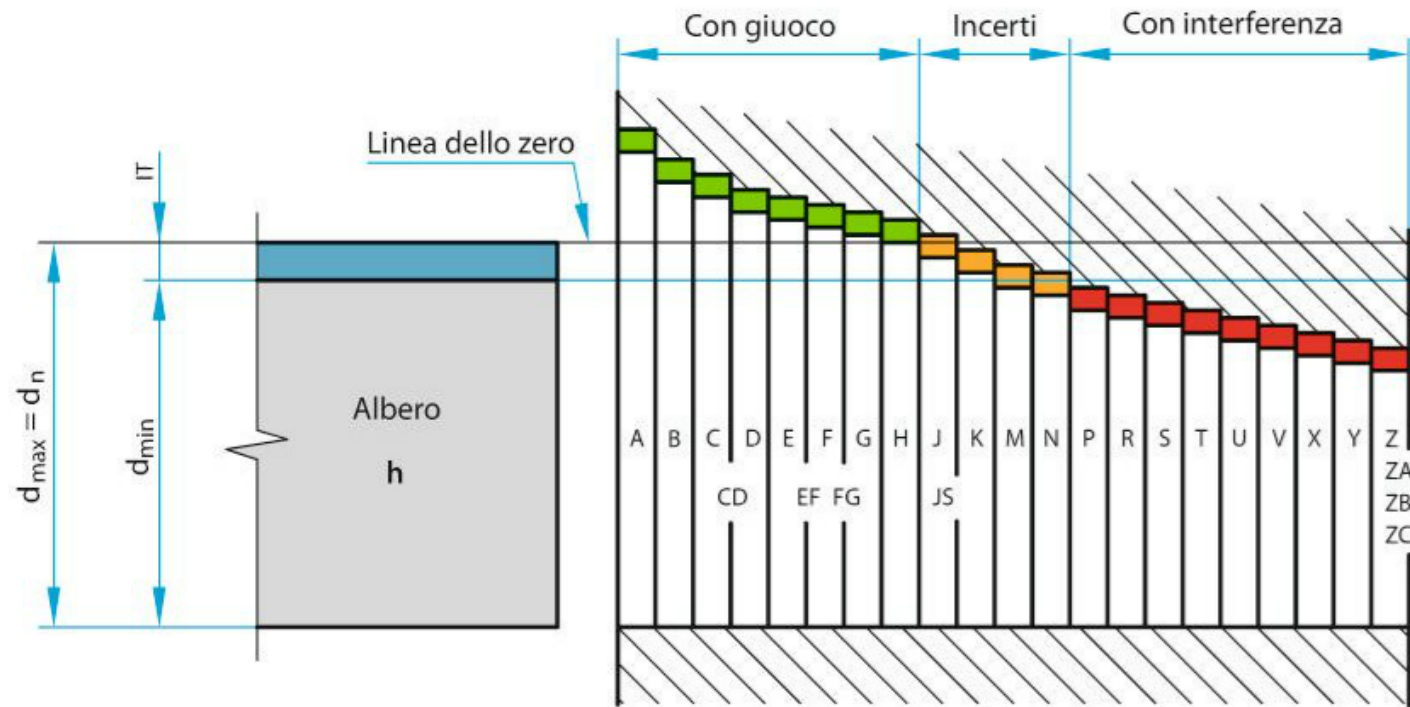
■ Sistema di accoppiamento albero-base

Insieme di accoppiamenti nel quale la dimensione massima dell'albero coincide sempre con la dimensione nominale (posizione dell'albero h , $es = 0$).

I diversi accoppiamenti si ottengono variando la posizione e il grado di tolleranza del foro **[fig. B2.15]**.

Questo sistema è adottato nella costruzione di trasmissioni, di apparecchi di sollevamento e nelle officine di meccanica generale, in particolar modo quando si usano alberi di acciaio trafilati, calibrati o rettificati, messi in commercio già lavorati con posizione della tolleranza h .

B2.15 Sistema di accoppiamento albero-base.



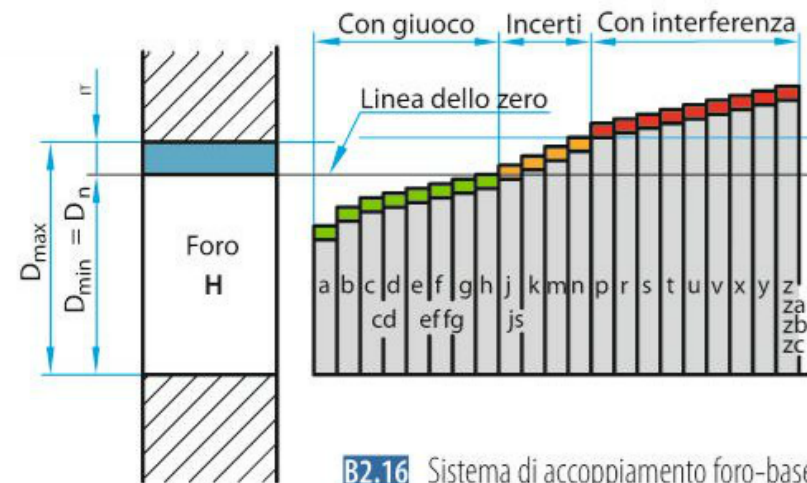
B2.15 Sistema di accoppiamento albero-base.

■ Sistema di accoppiamento foro-base

Insieme di accoppiamenti nel quale la dimensione minima del foro coincide sempre con la dimensione nominale (posizione del foro H , $EI = 0$).

I diversi accoppiamenti si ottengono variando la posizione e il grado di tolleranza dell'albero [fig. B2.16].

Questo sistema, permettendo di ridurre gli alesatori per la finitura dei fori e i calibri di controllo, viene adottato di preferenza nell'industria automobilistica, nell'industria aeronautica e in generale nella costruzione di macchine utensili.



B2.16 Sistema di accoppiamento foro-base.

TABELLA B2.4 – Accoppiamenti raccomandati

Accoppiamenti raccomandati foro-base di impiego comune					
Precisione	Libero	Mobile di scorrimento	Incerto smontabile	Bloccaggio leggero (non smontabile a mano)	Bloccaggio serrato (montabile alla pressa o a caldo)
Alta	H6/g5 Parti rotanti lubrificate. Acciaio bonificato rettificato.	H6/h5 Accoppiamento di centratura. Lubrificato internamente.	H6/js5 Parti fisse. Sfilabile a mano con mazzetta.	H6/n5 Parti non bloccate assialmente. Vincolo torsionale con linguetta o scanalato.	H6/p5 Parti da considerarsi un sol pezzo.
Buona	H7/g6 Accoppiamenti rotanti con buona centratura. Lubrificazione mediocre.	H6/h6 Alberi veloci poco carichi con mozzidi ruote.	H7/j6 Parti reciproche fisse. Sfilabile a mano. Buona centratura.	H7/n6 Parti reciproche fisse senza linguetta o scanalato. Buona centratura.	H7/r6 Trasmissione con carichi assiali e torsionali senza linguette o scanalati.
Media	H7/f7 Accoppiamenti rotanti veloci. Centratura imperfetta.	H7/h6 Centratura di scorrimento. Movimento alternativo circolare e assiale. Comandi idraulici di precisione.	–	H8/n8 Ingranaggi di forza da smontare raramente, collegati con linguetta.	–
Grossolana	H11/d11 Macchine agricole. Apparecchi di sollevamento. Meccanismi esposti a intemperie.	H8/f8; H8/h8 Accoppiamenti rotanti in genere. Bassi carichi senza esigenze di centratura.	–	–	–

Accoppiamenti raccomandati albero-base di impiego comune					
Precisione	Libero	Mobile di scorrimento	Incerto smontabile	Bloccaggio leggero (non smontabile a mano)	Bloccaggio serrato (montabile alla pressa o a caldo)
Alta	—	—	—	M6/h6 Smontabile senza forte pressione con vincolo rotatorio e di scorrimento assiale.	—
Buona	—	H6/h6 Parti con movimento relativo. Alberi veloci lubrificati.	K6/h6; K7/h7 Organi fissi smontabili facilmente. Assicurati contro la rotazione.	J6/h6 Senza scorrimento relativo. Assicurati contro la rotazione.	N6/h7 Smontabile con forte pressione. Vincolo rotatorio e di scorrimento assiale.
Media	E8/h7; F8/h8 H9/h8 Parti scorrevoli con giuoco abbondante.	F8/h7 Movimento relativo con giuoco sensibile.	—	—	—
Grossolana	D10/h8 Parti scorrevoli, giuoco abbondante senza esigenze di precisione.	—	—	—	—