

**Sistemi di lavorazione
albero base e foro base**

Variando il campo e la posizione delle tolleranze sia del foro sia dell'albero si può progettare un accoppiamento di data dimensione nominale in una infinità di modi diversi.

In pratica, quando si deve progettare un accoppiamento si adotta un sistema che prevede una posizione fissa per la tolleranza di un elemento (albero o foro).

L'accoppiamento voluto si ottiene facendo variare solo la posizione della tolleranza dell'altro elemento.

A seconda che venga scelto l'albero o il foro come elemento base, il sistema di lavorazione è detto ad albero base o a foro base.

Se si adotta il sistema detto ad albero base si fa coincidere il diametro massimo dell'albero con la dimensione nominale cioè con la linea dello zero. Il campo di tolleranza dell'albero sta quindi tutto al di sotto e l'accoppiamento voluto si realizza variando la posizione della tolleranza del foro.

Se si adotta il sistema detto a foro base si fa coincidere il diametro minimo del foro con la dimensione nominale, cioè con la linea dello zero. Il campo di tolleranza del foro sta quindi tutto al di sopra e l'accoppiamento voluto si realizza variando la posizione della tolleranza dell'albero.

Questo modo di procedere riduce sensibilmente il numero di modi in cui è possibile progettare uno stesso accoppiamento.

Il sistema ad albero base o a foro base offre inoltre il vantaggio di semplificare, almeno per uno dei due elementi dell'accoppiamento, le operazioni necessarie per portarlo alla tolleranza voluta. In particolare, nelle lavorazioni in serie, risulta semplificata la programmazione dei cicli di lavorazione e si riduce il numero di utensili e attrezzature necessari.

Infine il sistema ad albero base o a foro base offre il notevole vantaggio di ridurre sensibilmente il numero di strumenti di controllo fissi utilizzati per il controllo di pezzi realizzati in serie.

Infatti, per una data dimensione nominale e per un dato campo di tolleranza essendo unica la posizione prevista, è sufficiente un solo calibro differenziale fisso del tipo passa o non passa per controllare le dimensioni dell'elemento scelto come base per l'accoppiamento.

Esempio di lavorazione ad albero base

Si consideri l'albero in figura sul quale sono montati, con accoppiamenti di tipo diverso, più mozzi.

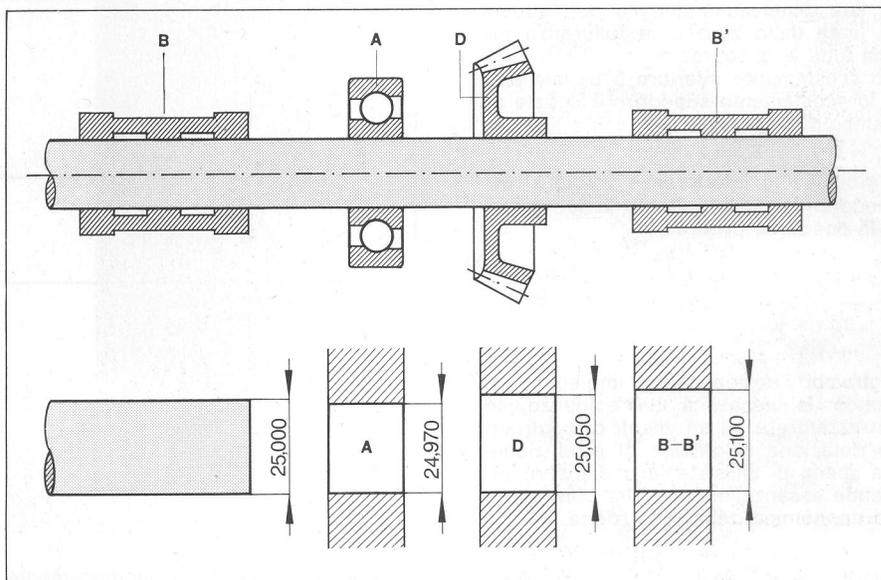
L'albero viene lavorato con tolleranza unica.

Le bronzine di supporto B e B' sono lavorate in modo che si realizzi un certo gioco tra l'albero e le bronzine stesse.

Il foro della ruota dentata D è lavorato in modo che si realizzi un gioco minimo, così che la ruota possa essere rapidamente montata o smontata dall'albero.

L'anello interno del cuscinetto A che deve essere montato forzato a caldo, così da assicurare un accoppiamento fisso, viene lavorato in modo da realizzare una interferenza tra le due parti.

I valori dimensionali riportati nel disegno si riferiscono per semplicità ai diametri effettivi dei vari elementi.



Esempio di lavorazione a foro base

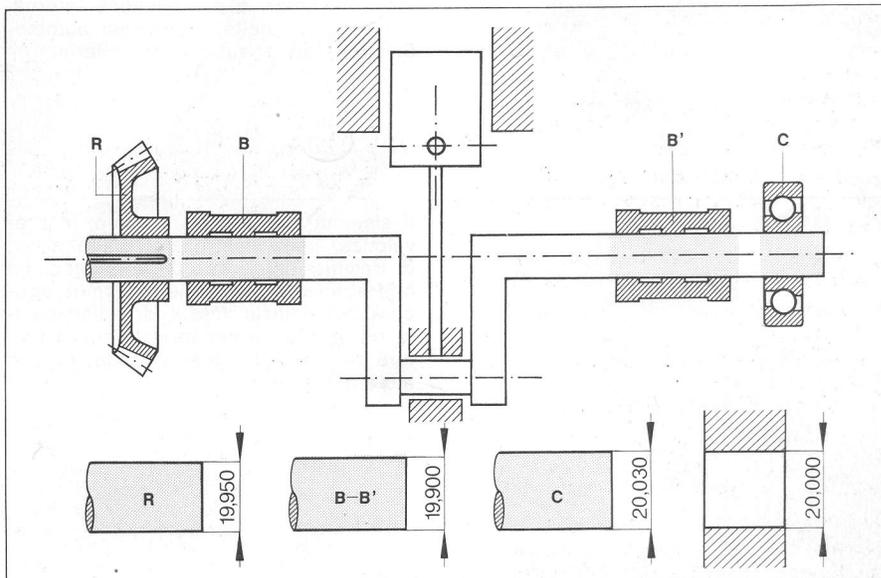
Si consideri l'albero a gomito in figura sul quale sono montati più mozzi con accoppiamenti di tipo diverso.

In questo caso i fori dei mozzi sono stati lavorati tutti con tolleranza unica. I diversi tipi di accoppiamenti voluti si realizzano lavorando le varie zone dell'albero destinate a ricevere i mozzi secondo tolleranze e posizioni diverse.

Le zone da accoppiare alle bronzine B e B' sono lavorate con diametro inferiore a quello nominale in modo da realizzare il gioco richiesto.

La zona scanalata dell'albero sulla quale deve poter scorrere la ruota conica R viene anch'essa lavorata in modo da realizzare un accoppiamento mobile con piccolo gioco tra le parti.

La zona sulla quale deve essere montato forzato il cuscinetto C viene invece lavorata in modo da avere diametro superiore a quello nominale, realizzando così un'interferenza che assicura l'accoppiamento fisso voluto.



**Qualità di lavorazione
o gradi di precisione ISO**

Per soddisfare a tutte le possibili esigenze dei diversi settori industriali, dalle lavorazioni più precise a quelle più grossolane, il sistema di tolleranze ISO prevede 19 diverse qualità di lavorazione o gradi di precisione.

Le 19 qualità sono espresse dal simbolo IT (International Tolerance) seguito da un numero (01, 0, 1, 2, 3, ... fino a 17).

Più piccolo è il numero che indica la qualità di lavorazione, più ristretta è la tolleranza prevista e quindi più precisa la lavorazione da eseguire.

Più grande è il numero che indica la qualità di lavorazione, più larga è la tolleranza prevista e quindi più grossolana la lavorazione da eseguire.

Come risulta dalla tabella riportata sotto, per ogni qualità IT e per ogni gruppo di dimensioni, il sistema ISO prevede un valore, espresso in micrometri, che rappresenta il campo di tolleranza.

I valori dei campi di tolleranza, o tolleranze fondamentali, valgono tanto per gli alberi quanto per i fori.

Ad esempio, se per un albero o per un foro di diametro nominale $D = 75 \text{ mm}$ è richiesto il grado di precisione IT 8, il campo di tolleranza previsto per la loro lavorazione, riportato nella tabella, è $46 \text{ }\mu\text{m}$ (0,046 mm).

① La temperatura di riferimento per i valori stabiliti dall'ISO è di $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

② Soprattutto per le tolleranze più ristrette è infatti sufficiente una variazione di temperatura del pezzo in lavorazione, o in fase di controllo, perché i valori prescritti risultino falsati.

③ Come si può verificare consultando la tabella, l'ampiezza del campo di tolleranza non aumenta soltanto col progredire del grado di precisione da IT 01 a IT 17, ma anche col crescere della dimensione nominale da 1 a 500 mm.

Si noti, ad esempio, che il campo di tolleranza di $10 \text{ }\mu\text{m}$ corrisponde a:
qualità IT 7 per un pezzo di dimensione nominale uguale a 2 mm;
qualità IT 4 per un pezzo di dimensione nominale uguale a 100 mm;
qualità IT 2 per un pezzo di dimensione nominale uguale a 500 mm.

Gruppo di dimensioni in mm	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
da 1 fino a 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	—
oltre 3 fino a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	—
oltre 6 fino a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1.500
oltre 10 fino a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1.100	1.800
oltre 18 fino a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1.300	2.100
oltre 30 fino a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1.000	1.600	2.500
oltre 50 fino a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1.200	1.900	3.000
oltre 80 fino a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1.400	2.200	3.500
oltre 120 fino a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1.000	1.600	2.500	4.000
oltre 180 fino a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1.150	1.850	2.900	4.600
oltre 250 fino a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1.300	2.100	3.200	5.200
oltre 315 fino a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1.400	2.300	3.600	5.700
oltre 400 fino a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1.550	2.500	4.000	6.300

Unità di tolleranza

L'ampiezza della tolleranza per le qualità da IT 5 a IT 17 è calcolata in funzione di una speciale unità di tolleranza "I" data dalla formula:

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

in cui D è espresso in mm e I in μm .

Il valore di D, che si deve introdurre nella formula precedente per il calcolo di I, si ottiene effettuando la media geometrica dei valori estremi del gruppo di dimensioni cui appartiene la dimensione nominale in esame.

I valori delle tolleranze fondamentali sono multipli interi delle unità di tolleranza I, come risulta dalla tabellina riportata qui a fianco.

La formula che esprime l'unità di tolleranza I è frutto di una serie di osservazioni sperimentali e risponde a esigenze pratiche della produzione meccanica.

Qualità tolleranza	Valore tolleranza
IT 5	7 I
IT 6	10 I
IT 7	16 I
IT 8	25 I
IT 9	40 I
IT 10	64 I
IT 11	100 I
IT 12	160 I
IT 13	250 I
IT 14	400 I
IT 15	640 I
IT 16	1000 I
IT 17	1600 I

Per le qualità inferiori a IT 5 i valori delle tolleranze fondamentali sono stati calcolati in altri modi, sui quali qui non ci si sofferma.

Esempio

Calcolo del valore della tolleranza IT 8 per un albero di $\varnothing 15 \text{ mm}$.

Il valore D da inserire nella formula va calcolato facendo la media geometrica tra i valori estremi del gruppo di dimensioni al quale appartiene 15 mm (oltre 10 fino a 18):

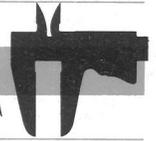
$$D = \sqrt[3]{10 \times 18} = 13,4164 \text{ mm.}$$

$$I = 0,45 \sqrt[3]{13,4164} + 0,001 \times 13,4164 = 1,0824 \text{ }\mu\text{m.}$$

Per la qualità IT 8 si ha infine:

$$25 I = 25 \times 1,0824 = 27,06 \text{ }\mu\text{m}$$

Il valore così trovato, approssimato al μm , corrisponde a quello riportato nella tabella dei valori delle tolleranze per un albero di $\varnothing 15$ e per la qualità IT 8.



Accoppiamenti nel sistema di tolleranze ISO

Al fine di ridurre il numero di accoppiamenti possibili tra alberi e fori, presi ognuno con la sua tolleranza e la sua posizione, il sistema di tolleranze ISO prevede, per gli accoppiamenti:

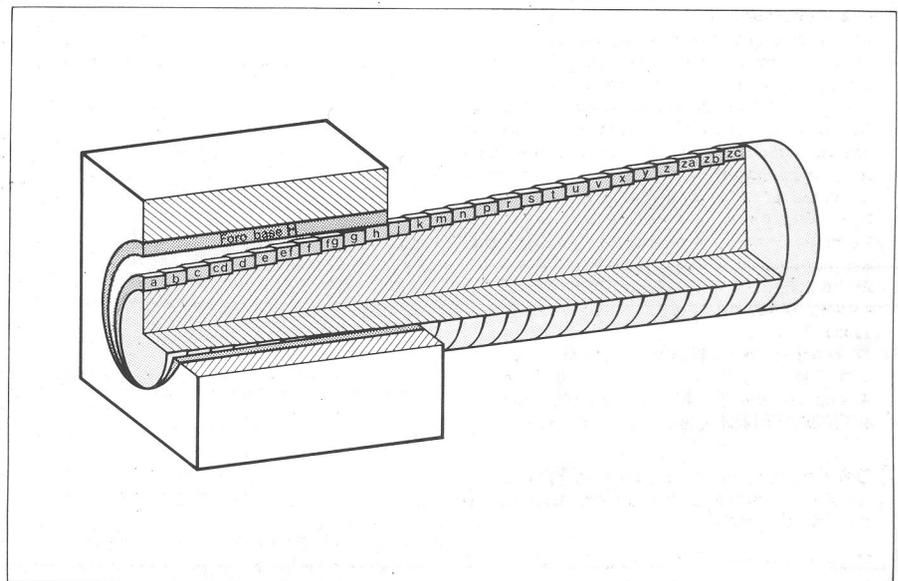
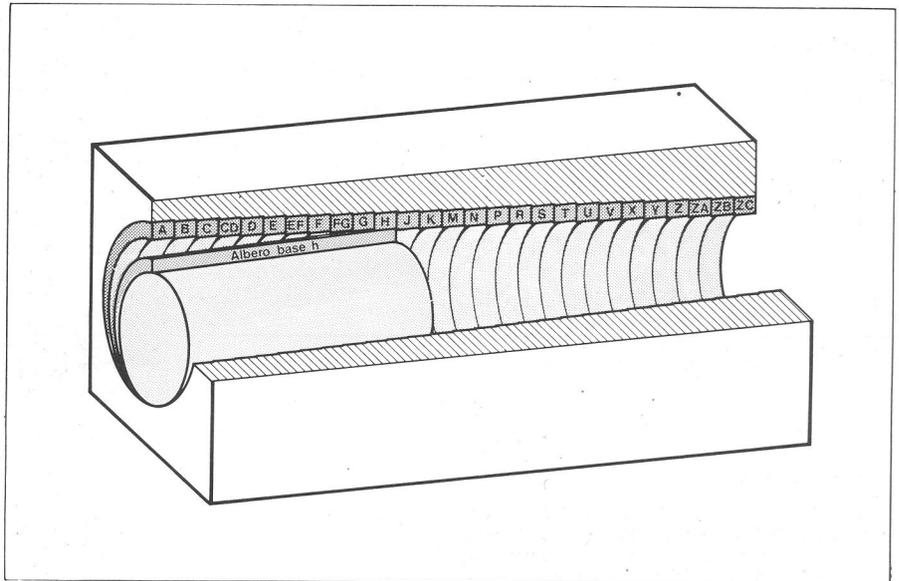
di mantenere costante la posizione della tolleranza di uno dei due elementi, l'albero o il foro;

di far variare la posizione della tolleranza dell'altro elemento per ottenere il tipo di accoppiamento voluto (mobile, stabile o incerto).

A seconda che l'elemento scelto come base sia l'albero o il foro, si ha per gli accoppiamenti il sistema di lavorazione ad albero base o il sistema di lavorazione a foro base.

Nel sistema albero base la posizione costante dell'albero è quella designata dalla lettera **h**.

Nel sistema foro base la posizione costante del foro è quella designata con la lettera **H**.





Sistema albero base

Nel sistema ad albero base si adotta come riferimento per l'albero e per qualsiasi qualità di lavorazione la posizione **h**.

Lo scostamento superiore di questa posizione è uguale a 0, cioè la dimensione massima ammessa per l'albero **h** coincide con quella nominale.

Nella lavorazione ad albero base tutti gli alberi vengono lavorati con il grado di precisione che si ritiene più adatto, a seconda delle esigenze tecniche e funzionali, ma con posizione della tolleranza costante per tutti gli accoppiamenti.

L'accoppiamento voluto (stabile, fisso o incerto) si ottiene scegliendo opportunamente la posizione della tolleranza dei fori.

Sono possibili 28 accoppiamenti diversi per ognuno dei 19 gradi di precisione IT scelti per l'albero **h**, cioè **Ah, Bh, Ch, ... Hh, ... ZCh**.

Accoppiamenti mobili con gioco

Albero **h**
Fori da **A** a **H**

Se si accoppia l'albero base con un foro lavorato con tolleranze che corrispondono alle posizioni da **A** fino ad **H**, si ottengono sempre accoppiamenti mobili, perché la dimensione effettiva dell'albero sarà sempre inferiore a quella del foro.
Tra i due elementi esiste sempre un gioco.

Accoppiamenti stabili con interferenza

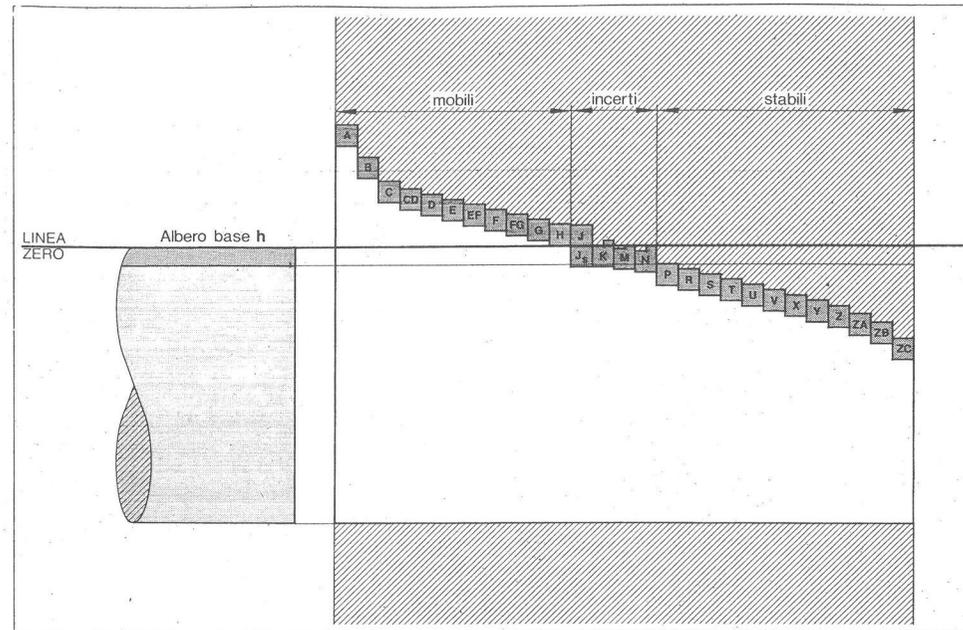
Albero **h**
Fori da **P** a **ZC**

Se si accoppia l'albero base con un foro lavorato con tolleranza che corrisponde alle posizioni da **P** a **ZC**, si ottengono sempre accoppiamenti stabili, perché la dimensione effettiva dell'albero sarà sempre maggiore di quella del foro.
Tra i due elementi esiste sempre una interferenza.

Accoppiamenti incerti con gioco o interferenza

Albero **h**
Fori **J, K, M, N**

Se si accoppia l'albero base con un foro lavorato con tolleranza che corrisponde alle posizioni **J, K, M, N**, si ottengono sempre accoppiamenti incerti, perché le dimensioni effettive raggiunte dai due elementi al termine della lavorazione possono dar luogo sia a un piccolo gioco, sia a una piccola interferenza.



Sistema foro base

Nel sistema foro base si adotta come riferimento per il foro e per qualsiasi qualità di lavorazione la posizione **H**.
Lo scostamento inferiore di questa posizione è uguale a 0, cioè la dimensione minima ammessa per il foro **H** coincide con quella nominale.

Nel sistema foro base tutti i fori sono lavorati con il grado di precisione che si ritiene più adatto a seconda delle esigenze tecniche e funzionali, ma la posizione **H** della tolleranza rimane costante per tutti gli accoppiamenti.

L'accoppiamento voluto (mobile, fisso o incerto) si ottiene scegliendo opportunamente la posizione della tolleranza degli alberi.

Sono possibili 28 accoppiamenti diversi per ognuno dei 19 gradi di precisione IT scelti per il foro **H**, cioè **Ha, Hb, Hc, ... Hh, ... Hzc**.

Accoppiamenti mobili con gioco

Foro **H**
Alberi da **a** ad **h**

Se si accoppia il foro base **H** con un albero lavorato con tolleranze che corrispondono alle posizioni da **a** fino ad **h**, si ottengono sempre accoppiamenti mobili, perché la dimensione effettiva del foro sarà sempre maggiore di quella dell'albero.
Tra i due elementi esiste sempre un gioco.

Accoppiamenti stabili con interferenza

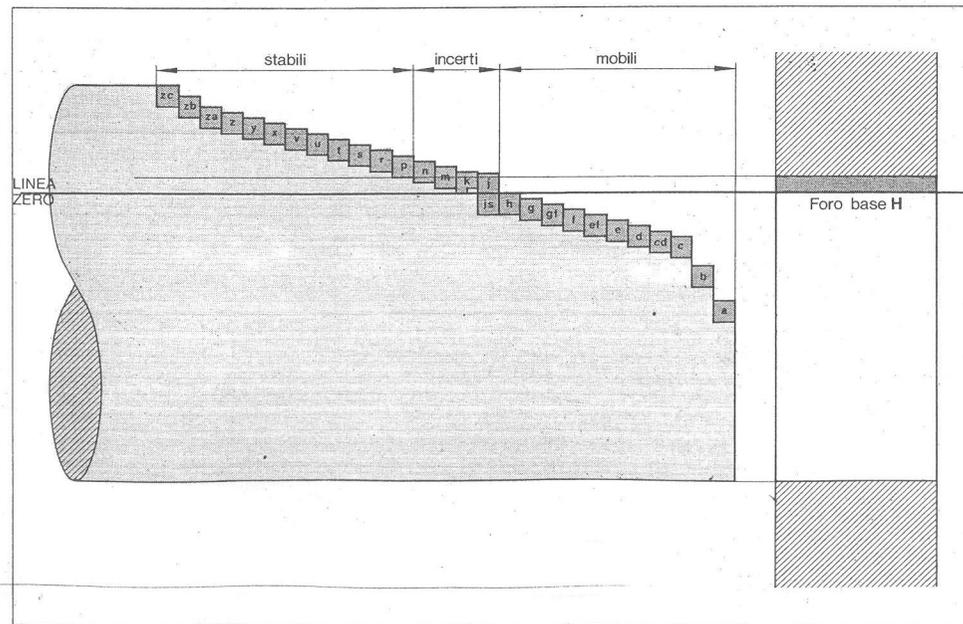
Foro **H**
Alberi da **p** a **zc**

Se si accoppia il foro base **H** con un albero lavorato con tolleranze che corrispondono alle posizioni da **p** a **zc**, si ottengono sempre accoppiamenti stabili perché la dimensione effettiva del foro sarà sempre minore di quella dell'albero.
Tra i due elementi esiste sempre una interferenza.

Accoppiamenti incerti con gioco o interferenza

Foro **H**
Alberi **j, k, m, n**

Se si accoppia il foro base **H** con un albero lavorato con tolleranze che corrispondono alle posizioni **j, k, m, n**, si ottengono sempre accoppiamenti incerti, poiché le dimensioni effettive raggiunte dai due elementi al termine della lavorazione possono dar luogo sia a un piccolo gioco, sia a una piccola interferenza.





Accoppiamenti nel sistema albero base

Nel sistema albero base la tolleranza dell'albero rimane costante e i vari tipi di accoppiamento (libero, stabile, incerto), sono ottenuti variando opportunamente la posizione della tolleranza del foro.

L'albero viene cioè lavorato in modo che la sua dimensione massima non superi la dimensione nominale, cioè coincida con la linea dello zero e la tolleranza prescelta ne stia al di sotto. Lo scostamento superiore è uguale a 0 e lo scostamento inferiore è uguale al campo di tolleranza:

$$e_s = 0 \quad e_i = t$$

I giochi e le interferenze volute si ottengono variando solo i diametri dei fori.

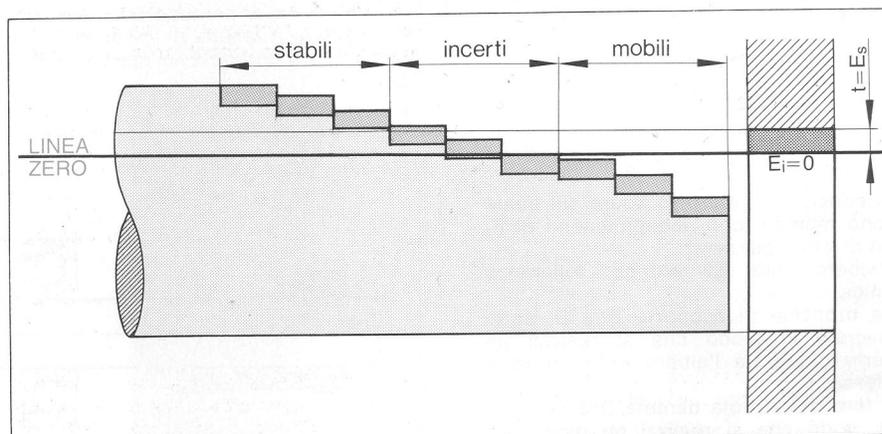
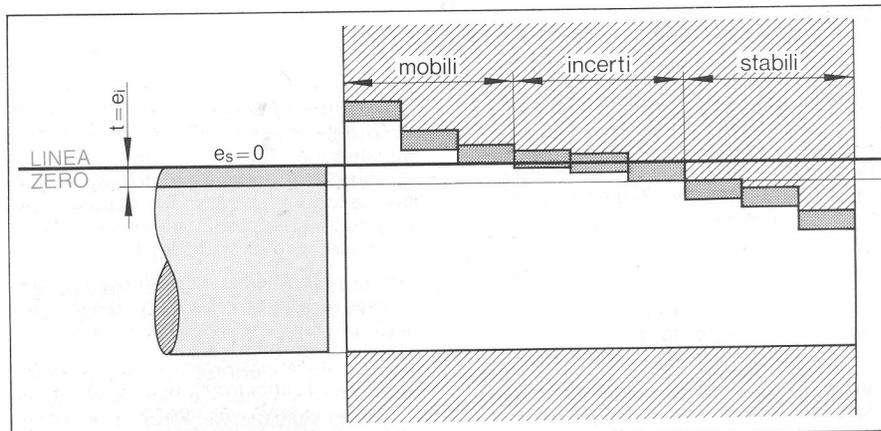
Accoppiamenti nel sistema foro base

Nel sistema foro base la tolleranza del foro rimane costante e i vari tipi di accoppiamento sono ottenuti variando la posizione della tolleranza dell'albero. Il foro viene cioè lavorato in modo che la sua dimensione minima non superi la linea dello zero e la tolleranza ne stia tutta al di sopra.

Lo scostamento inferiore è uguale a 0 e lo scostamento superiore è uguale al campo di tolleranza:

$$E_i = 0 \quad E_s = t$$

I giochi e le interferenze volute si ottengono variando soltanto la tolleranza e la posizione degli alberi.



Scelta del sistema albero base o foro base

Entrambi i sistemi sono impiegati secondo le necessità, le esigenze, le attrezzature e gli strumenti di controllo in dotazione all'officina di produzione. La scelta di un sistema o dell'altro dipende essenzialmente dalla convenienza economica della produzione.

Sistema foro base

Il sistema foro-base è comunemente usato nella costruzione delle macchine utensili, motori a combustione interna, compressori, nelle costruzioni automobilistiche, aeronautiche, ferroviarie.

- Il vantaggio del sistema foro base sta nel fatto che richiede la dotazione di un numero limitato di alesatori per la finitura dei fori. Inoltre risulta più semplice e più economico portare alla dimensione voluta il diametro degli alberi che non quello dei fori.
- Per queste ragioni l'adozione del sistema di lavorazione a foro base è più diffusa e consigliata.

Sistema albero base

Il sistema albero-base è usato, in prevalenza, nella costruzione degli alberi di trasmissione e loro organi, macchine operatrici varie, come le macchine agricole, per edilizia, tessili, di sollevamento ed in tutte le industrie in cui la finitura dei fori può essere eseguita con mole per interni.

- Adottando il sistema albero base il numero di calibri fissi in dotazione per il controllo dei fori (calibri a tampone) deve essere superiore a quello dei calibri fissi per il controllo degli alberi (calibri a forcina).
- Poiché i calibri a forcina sono più costosi dei calibri a tampone, per quanto riguarda il controllo il sistema ad albero base risulta economicamente vantaggioso rispetto a quello a foro base.

In pratica, pur adottando il sistema albero base o quello foro base, non è conveniente utilizzare tutti gli accoppiamenti che tali sistemi consentono. Il sistema ISO raccomanda l'adozione di un numero abbastanza ristretto di accoppiamenti di pratica applicazione, selezionati in base all'esperienza, per soddisfare le più comuni esigenze di una produzione meccanica.

Ad esempio, non sarebbe conveniente un accoppiamento foro base H5/b12 formato da un foro H5 lavorato con altissima precisione, e quindi con costi molto elevati, e da un albero b12, lavorato grossolanamente, con il risultato di avere un gioco effettivo fra i due organi molto variabile a causa della larga tolleranza assegnata all'albero. Per ottenere il gioco desiderato sarà invece più conveniente e razionale adottare, ad esempio, un accoppiamento H11/b11 che consente una lavorazione economica anche per il foro.

Il numero abbastanza ristretto di accoppiamenti raccomandati dall'ISO consente inoltre di ridurre la dotazione degli strumenti di controllo fissi (calibri e forcelle per gli alberi e calibri a tampone per i fori) utilizzati nel controllo di pezzi prodotti in serie.

Alberi base e fori base raccomandati

Per quanto riguarda gli elementi base (foro e albero) l'ISO raccomanda, a seconda del grado di precisione richiesto, l'adozione di un numero limitato di qualità IT. Per ognuna delle tolleranze raccomandate per un elemento base, a seconda del tipo di accoppiamento voluto e del grado di precisione richiesto, l'ISO raccomanda inoltre l'adozione di un numero limitato di tolleranze e posizioni per l'altro elemento dell'accoppiamento.

In generale, come risulta dalle tabelle sottostanti, negli accoppiamenti incerti o stabili, per l'albero si adotta una qualità di lavorazione immediatamente precedente a quella del foro, ad esempio albero di qualità 7 con foro di qualità 8. Ciò dipende dal fatto che, a parità di precisione dell'accoppiamento, è più conveniente lavorare con tolleranza più ristretta l'albero anziché il foro.

Dalle tabelle risulta anche che non sono previsti accoppiamenti incerti e stabili di qualità grossolana (IT 11), perché possono dare luogo a interferenze eccessive a causa delle quali i pezzi non sarebbero accoppiabili neppure con forti pressioni (ad esempio alla pressa).

Accoppiamenti raccomandati nel sistema albero base

Grado di precisione	Albero base	Fori Qualità e posizione															
		F7	G6	H6	H7	H8	H9	D10	H11	F7	G7	H7	H8	H9	D10	H11	
Extra-preciso	h5									E7							
Preciso	h6		B8	C8	D8	E8				F7	G7	H7					
	h7		B8	C8						A9	B9	C9					
Medio	h8		B8	C8						A9	B9	C9					
	h9				D10	E9							F8	H8			
Grossolano	h11	A11	B11	C11	D11												
Tipi di accoppiamento		mobili Gioco				incerti				stabili Interferenza							

Accoppiamenti raccomandati nel sistema foro base

Grado di precisione	Foro base	Alberi Qualità e posizione																						
		g5	h5	j5	k5	m5	n5	p5	r5	s5	t5	u5	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	
Extra-preciso	H6												e7											
Preciso	H7												f7											
			b8	c8	d8	e8							a9	b9	c9	d9								
Medio	H8																							
Grossolano	H11	a11	b11	c11	d11																			
Tipi di accoppiamento		mobili Gioco				incerti G o I				stabili Interferenza														

normalizzato

Spesso un accoppiamento albero-foro viene progettato in base alle esigenze funzionali senza tener conto iniziale delle norme e delle raccomandazioni ISO.

È buona regola però ricondursi alla unificazione ISO scegliendo, tra quelli raccomandati, l'accoppiamento con le caratteristiche più simili a quelle richieste dal progetto.

La scelta dell'accoppiamento più adatto deve essere fatta tenendo conto delle seguenti condizioni generali.

Problema

Si voglia realizzare un accoppiamento di dimensione nominale 100 mm, normalizzato secondo il sistema di tolleranze ISO, in modo che il gioco tra i due elementi sia compreso tra 0,030 mm e 0,130 mm.

Dati

D = d = 100 mm
 $0,030 \leq G_{\min} < G_{\max} \leq 0,130$ mm
 Sistema: foro base.

Soluzione

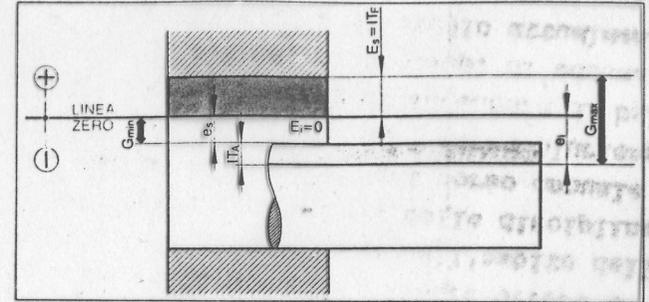
Si determinano innanzitutto le posizioni dell'albero e del foro e poi le qualità più convenienti.

Posizione del foro

I campi di tolleranza, sia dell'albero sia del foro, devono essere i più ampi possibile, compatibilmente con le esigenze funzionali dell'accoppiamento.

La qualità della tolleranza del foro deve essere uguale o superiore di 1 a quella dell'albero.

TUTTO IL FORO...
 A...
 A...



Per il foro la posizione è H, perché si è adottato il sistema a foro base.

Si tiene così conto del fatto che più precise sono le lavorazioni, maggiori sono i costi per eseguirle. Si cerca cioè di evitare lavorazioni più precise del necessario.

Si tiene così conto del fatto che, in generale, la lavorazione di un foro è più difficile e onerosa di quella di un albero, a parità di grado di precisione.

Posizione dell'albero

Poiché per un accoppiamento mobile, come risulta dallo schema, si ha che $G_{\min} = e_s$, si tratta di trovare nella tabella degli scostamenti fondamentali, in corrispondenza della dimensione nominale 100 mm, il valore di e_s che più si avvicina al gioco minimo richiesto dall'accoppiamento ($G_{\min} = 0,030$ mm).

Il valore $e_s = -0,036$ è vicino a 0,030 mm senza essergli inferiore. A tale valore corrisponde la posizione f, che si assume come posizione dell'albero.

Albero f

Qualità degli elementi

Per trovare le qualità delle tolleranze da assegnare al foro H e all'albero f si può procedere come segue. Si nota dallo schema dell'accoppiamento che

$$IT_F + IT_A = G_{\max} - G_{\min}$$

e poiché l'accoppiamento in esame richiede che sia

$$G_{\max} - G_{\min} < 0,100 \quad (= 0,130 - 0,030)$$

deve essere anche

$$IT_F + IT_A < 0,100 \text{ mm}$$

cioè la somma delle tolleranze del foro e dell'albero deve essere inferiore a 0,100 mm.

Tenendo conto che, negli accoppiamenti raccomandati la qualità del foro deve essere uguale o immediatamente inferiore a quella dell'albero, consideriamo le seguenti possibilità valide per D = d = 100 mm.

Foro	Albero	$IT_F + IT_A = G_{\max} - G_{\min}$
H7	f7	0,054 + 0,054 = 0,108
H7	f6	0,054 + 0,035 = 0,089
H7	f5	0,035 + 0,035 = 0,070
H8	f7	0,035 + 0,022 = 0,057
H8	f6	0,022 + 0,022 = 0,044

La prima soluzione (albero f e foro H) è da scartare perché $IT_F + IT_A = 0,108 > 0,100$.

Le altre soluzioni sono tutte accettabili perché per tutte si ha $IT_F + IT_A < 0,100$ mm.

Tuttavia la scelta cade sulla seconda soluzione (albero 7 e foro 8) perché è quella che offre la possibilità di adottare le tolleranze più larghe e quindi rende più economica la lavorazione dell'albero e del foro.

In conclusione l'accoppiamento scelto secondo le norme ISO sarà 100 H8/f7.

Designazione completa

Foro 100 H8 (+0,054)
 Albero 100 f7 (-0,071)

Verifica
 $G_{\max} = E_s - e_i = 0,054 + 0,071 = 0,125$
 $G_{\min} = E_i - e_s = 0 + 0,036 = 0,036$

I giochi limite sono pertanto compresi all'interno dei limiti previsti per l'accoppiamento in esame.

Uso delle tabelle
ed esempi di applicazione

- ④ Determinare le dimensioni limite dell'albero 40 g6.

Nella tabella delle qualità di lavorazione per $d = 40$ mm e per IT6, si legge:
 $IT = 16 \mu\text{m} = 0,016$ mm

Nella tabella degli scostamenti fondamentali, per $d = 40$ mm e per la posizione g, si legge:
 $e_s = -9 \mu\text{m} = -0,009$ mm
(scostamento superiore negativo).

Si calcola lo scostamento inferiore negativo:
 $e_i = e_s - IT = -0,009 - 0,016 = -0,025$ mm.

Si calcolano infine le dimensioni limite:
 $d_{\text{max}} = d + e_s = 40,000 - 0,009 = 39,991$ mm
 $d_{\text{min}} = d + e_i = 40,000 - 0,025 = 39,975$ mm

Calcolate così le dimensioni limite, è sempre bene verificare che la loro differenza sia effettivamente uguale alla tolleranza assegnata.
Infatti:

$$d_{\text{max}} - d_{\text{min}} = 39,991 - 39,975 = 0,016 \text{ mm} = IT$$

Designazione completa dell'albero

40 g6 $\begin{pmatrix} -0,009 \\ -0,025 \end{pmatrix}$

Rappresentazione grafica dell'albero

Uno schizzo può spesso aiutare a impostare correttamente i calcoli e a consolidare i risultati anche graficamente. Si può procedere come segue.

- ④ Si tracciano la linea dello zero ① e la linea di base dell'albero ②.

Si indica la distanza $d = 40$ ③.

Poiché lo scostamento superiore è negativo si traccia sotto la linea dello zero una retta parallela ④ e si indica $e_s = -0,009$ ⑤.

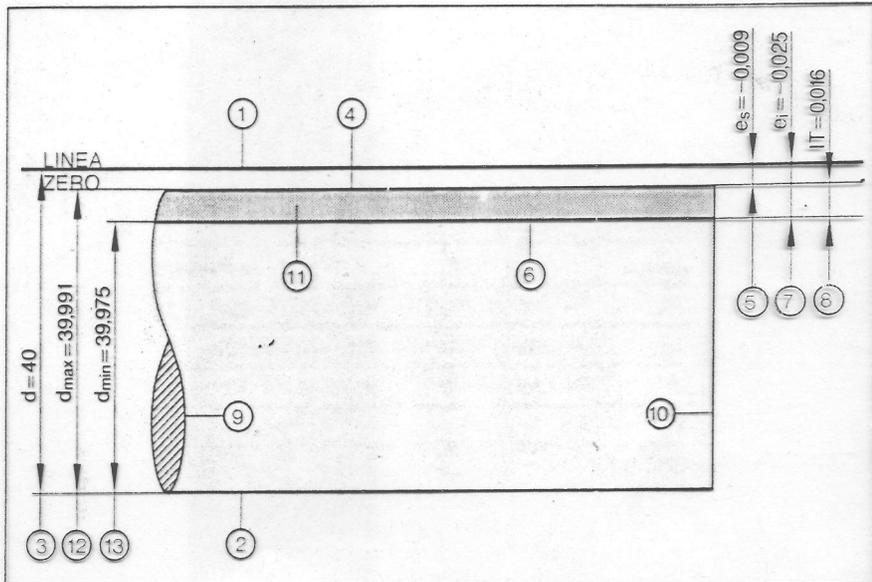
Calcolato lo scostamento inferiore e_i , si traccia una seconda retta parallela sotto la precedente ⑥, cercando di rispettare le proporzioni, e si indica la distanza dalla linea dello zero $e_i = -0,025$ ⑦.

La distanza tra le due rette tracciate sotto la linea dello zero è uguale alla tolleranza IT ⑧.

Si completa infine la rappresentazione grafica dell'albero ⑨ e ⑩ e si evidenzia la zona della tolleranza ⑪.

Si indicano infine le dimensioni limite d_{max} ⑫ e d_{min} ⑬.

È evidente che la procedura qui suggerita non è l'unica possibile, ma è solo un esempio.



- ④ Determinare la designazione ISO di un albero del quale sono assegnate le dimensioni limite:

$$d_{\text{max}} = 95,013 \quad d_{\text{min}} = 94,991$$

- ④ Questo tipo di esercizio può essere utile non solo per impraticarsi delle tabelle ISO e del calcolo delle tolleranze, ma anche per ricondurre alla normalizzazione ISO le quote di un progetto, ad esempio quando le dimensioni limite di un albero siano assegnate in modo approssimato e senza rispettare le norme.

La dimensione nominale dell'albero è $d = 95$ mm

Il valore del campo di tolleranza assegnato è
 $IT = d_{\text{max}} - d_{\text{min}} = 95,013 - 94,991 = 0,022$ mm = 22 μm

Nella tabella dei valori delle tolleranze fondamentali la qualità che corrisponde al valore $IT = 22 \mu\text{m}$ (per $d = 95$ mm) è IT6.

Si calcola quindi lo scostamento inferiore
 $e_i = d_{\text{min}} - d = 94,991 - 95,000 = -0,009$ mm = -9 μm

Nella tabella degli scostamenti fondamentali, per $d = 95$ mm e per IT6, lo scostamento di -9 μm corrisponde alla posizione j.

In conclusione la designazione ISO che corrisponde all'albero in esame è 95 j6.

La designazione completa è

95 j6 $\begin{pmatrix} +0,013 \\ -0,009 \end{pmatrix}$

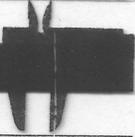
Esercizi

- ④ Nello schema qui a fianco sono proposti una serie di esercizi che il lettore può svolgere consultando le tabelle riportate all'interno del pieghevole e calcolando gli elementi incogniti.

I primi quattro esercizi, dei quali il primo è risolto, consistono nel ricavare tutti gli elementi di un albero di cui si conosce la designazione ISO.

Gli ultimi tre esercizi, dei quali il primo è risolto, consistono nel ricavare la designazione ISO di un albero di cui si conoscono le dimensioni limite.

Designaz. simbolica ISO	Scostamento fondamentale e_s o e_i	Campo di tolleranza IT	Scostamento opposto e_i o e_s	Dimensioni limite	
				d_{max}	d_{min}
30 f7	$e_s = -0,020$	IT = 0,021	$e_i = -0,041$	29,980	29,959
82 a11					
48 j7					
340 h8					
70 s7	$e_i = +0,059$	IT = 0,030	$e_s = +0,089$	70,089	70,059
				18,008	17,997
				379,790	379,650



Uso delle tabelle
ed esempi di applicazione

- 1 Determinare le dimensioni limite del foro 35 F7.

Nella tabella delle qualità di lavorazione per $D = 35$ mm e per IT7 si legge:
 $IT = 25 \mu\text{m} = 0,025$ mm

Nella tabella degli scostamenti fondamentali per $D = 35$ mm e per la posizione F si legge:
 $E_i = + 25 \mu\text{m} = + 0,025$ mm
(scostamento inferiore positivo).

Si calcola lo scostamento superiore positivo
 $E_s = E_i + IT = 0,025 + 0,025 = 0,050$ mm

Si calcolano infine le dimensioni limite

$$D_{max} = D + E_s = 35,000 + 0,050 = 35,050 \text{ mm}$$

$$D_{min} = D + E_i = 35,000 + 0,025 = 35,025 \text{ mm}$$

Calcolate così le dimensioni limite, è sempre bene verificare che la loro differenza sia effettivamente uguale alla tolleranza assegnata.

Infatti:

$$D_{max} - D_{min} = 35,050 - 35,025 = 0,025 \text{ mm} = IT$$

Designazione completa del foro

$$\varnothing 35 \text{ F7 } \left(\begin{matrix} + 0,050 \\ + 0,025 \end{matrix} \right)$$

Rappresentazione grafica del foro

Uno schizzo può spesso aiutare a impostare correttamente i calcoli e a consolidare i risultati anche graficamente. Si può procedere come segue.

- 1 Si tracciano la linea dello zero ① e la linea di base del foro ②.

Si indica la distanza $D = 35$ mm ③.

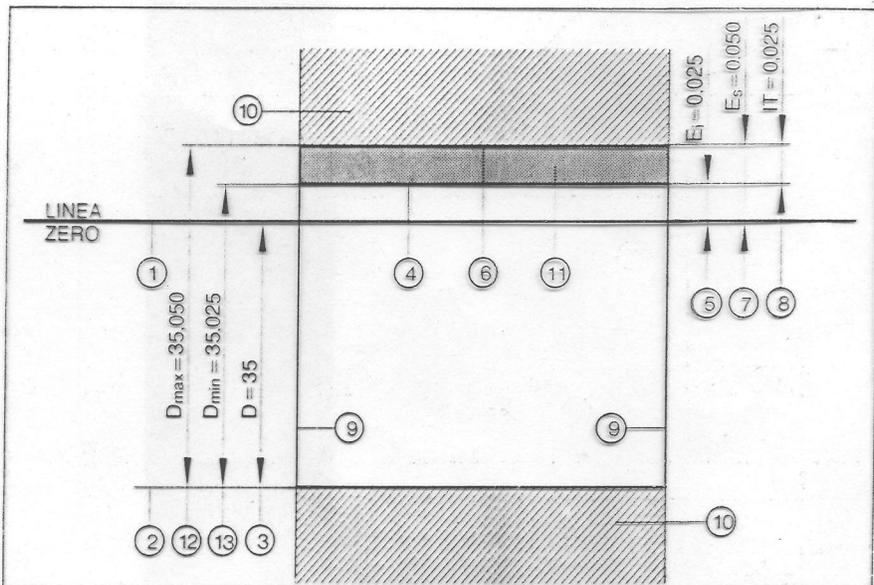
Poiché lo scostamento inferiore è positivo si traccia sopra la linea dello zero una retta parallela ④ e si indica la distanza $E_i = 0,025$ ⑤. Calcolato lo scostamento superiore si traccia una seconda retta parallela sopra la precedente ⑥, cercando di rispettare le proporzioni, e si indica la distanza dalla linea dello zero: $E_s = 0,050$ ⑦.

La distanza tra le due rette degli scostamenti è uguale alla tolleranza. Si indica $IT = 0,025$ ⑧.

Si completa la rappresentazione grafica del foro ⑨ ⑩ e si evidenzia la zona della tolleranza ⑪.

Si indicano infine le dimensioni limite D_{max} ⑫ e D_{min} ⑬.

È evidente che la procedura qui suggerita non è l'unica possibile, ma è solo un esempio.



- 2 Determinare la designazione ISO di un foro del quale sono assegnate le dimensioni limite:

$$D_{max} = 82,949 \text{ mm} \quad D_{min} = 82,895 \text{ mm}$$

- 3 Questo tipo di esercizio può essere utile non solo per impraticarsi delle tabelle ISO e del calcolo delle tolleranze, ma anche per ricondurre alla normalizzazione ISO le quote di un progetto, ad esempio quando le dimensioni limite di un foro siano assegnate in modo approssimato e senza rispettare le norme.

Esercizi

- 4 Nello schema qui a fianco sono proposti una serie di esercizi che il lettore può svolgere consultando le tabelle riportate all'interno del pieghevole e calcolando gli elementi incogniti.

I primi quattro esercizi, dei quali il primo è risolto, consistono nel ricavare tutti gli elementi di un foro di cui si conosce la designazione ISO.

Gli ultimi tre esercizi, dei quali il primo è risolto, consistono nel ricavare la designazione ISO di un foro di cui si conoscono le dimensioni limite.

La dimensione nominale del foro è $D = 83$ mm. Il valore del campo di tolleranza assegnato è
 $IT = D_{max} - D_{min} = 82,949 - 82,895 = 0,054 \text{ mm} = 54 \mu\text{m}$.

Nella tabella dei valori delle tolleranze fondamentali la qualità che corrisponde al valore $IT = 54 \mu\text{m}$, per $D = 83$ mm, è IT8.

Si calcola quindi lo scostamento superiore
 $E_s = D_{max} - D = 82,949 - 83,00 = - 0,051 = - 51 \mu\text{m}$

Nella tabella degli scostamenti fondamentali dei fori ISO, per $D = 83$ mm e per IT8, lo scostamento di $- 51 \mu\text{m}$ corrisponde alla posizione R.

In conclusione la designazione ISO che corrisponde al foro in esame è 83 R8.

La designazione completa è

$$83 \text{ R8 } \left(\begin{matrix} - 0,051 \\ - 0,105 \end{matrix} \right)$$

Designaz. simbolica ISO	Scostamento fondamentale E_s o E_i	Campo di tolleranza IT	Scostamento opposto E_i o E_s	Dimensioni limite	
				D_{max}	D_{min}
120 D10	$E_i = + 0,120$	0,140	$E_s = + 0,260$	120,260	120,120
75 H7					
300 M8					
42 R6					
220 K8	$E_s = + 0,022$	0,072	$E_i = - 0,050$	220,022	219,950
				48,019	47,981
				110,140	110,000

Valori degli scostamenti fondamentali per gli alberi

Nella tabella sottostante sono riportati i valori numerici degli scostamenti per gli alberi a seconda del gruppo di dimensioni, della posizione e della qualità della tolleranza.

A fianco è pure riprodotta la tabella dei valori corrispondenti alle diverse qualità di lavorazione IT.

Utilizzando le due tabelle è possibile ricavare o calcolare tutti i dati dimensionali relativi agli alberi (scostamenti e dimensioni limite) applicando le formule che qui ripetiamo.

Per ricavare uno scostamento noto l'altro:

$$e_s = e_i + IT \quad e_i = e_s - IT$$

Per ricavare le dimensioni limite, noti gli scostamenti:

$$d_{max} = d + e_s = d + e_i + IT$$

$$d_{min} = d + e_i = d + e_s - IT$$

Gruppo di dimensioni in mm	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
da 1 fino a 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	—
oltre 3 fino a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	—
oltre 6 fino a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1.500
oltre 10 fino a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1.100	1.800
oltre 18 fino a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1.300	2.100
oltre 30 fino a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1.000	1.600	2.500
oltre 50 fino a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1.200	1.900	3.000
oltre 80 fino a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1.400	2.200	3.500
oltre 120 fino a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1.000	1.600	2.500	4.000
oltre 180 fino a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1.150	1.850	2.900	4.600
oltre 250 fino a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1.300	2.100	3.200	5.200
oltre 315 fino a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1.400	2.300	3.600	5.700
oltre 400 fino a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1.550	2.500	4.000	6.300

Note per la consultazione delle tabelle

Il valore degli scostamenti per le posizioni da a fino ad j, e da m fino a zc è uguale per tutte le qualità IT.

Per la posizione j gli scostamenti sono previsti solo per le qualità IT5, IT6, IT7. Per la qualità IT8 è previsto solo lo scostamento relativo al gruppo di dimensioni da 1 a 3 mm.

Per la posizione j_s (tolleranza bilaterale simmetrica) il valore dello scostamento superiore (positivo) è uguale a quello dello scostamento inferiore (negativo):

$$e_s = + IT/2 \quad e_i = - IT/2$$

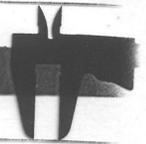
Per la posizione k sono previsti scostamenti positivi per le qualità da IT4 a IT7, mentre per tutte le altre qualità il valore dello scostamento è uguale a 0 (come per la posizione h).

Le posizioni cd, ef, fg, non sono utilizzate per d > 10 mm.

Solo per le posizioni a, b, c, e per quelle da r a zc sono prescritti scostamenti diversi per i gruppi di dimensioni intermedi.

Per tutte le altre posizioni, da d a p, gli scostamenti si riferiscono ai gruppi di dimensioni principali.

Gruppo di dimensioni in mm	Posizione	Scostamento superiore e _s										e _s = -e _i	Scostamento inferiore e _i																				
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	-j _s	j			k			m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
		Tutte le qualità										5 e 6	7	8	4 a 7	Tutte le qualità			Tutte le qualità														
da 1 fino a 3	—	270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	±1/2 IT	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60	
oltre 3 fino a 6	—	270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	±1/2 IT	-2	-4	—	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80	
oltre 6 fino a 10	—	280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	±1/2 IT	-2	-5	—	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97	
oltre 10 fino a 14	—	290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0	±1/2 IT	-3	-6	—	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130	
oltre 14 fino a 18																																	+39
oltre 18 fino a 24	—	300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0	±1/2 IT	-4	-8	—	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
oltre 24 fino a 30																																	+41
oltre 30 fino a 40	—	310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0	±1/2 IT	-5	-10	—	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274	
oltre 40 fino a 50																																	+54
oltre 50 fino a 65	—	340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0	±1/2 IT	-7	-12	—	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
oltre 65 fino a 80																																	+43
oltre 80 fino a 100	—	380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0	±1/2 IT	-9	-15	—	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585	
oltre 100 fino a 120																																	+54
oltre 120 fino a 140	—	460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0	±1/2 IT	-11	-18	—	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800	
oltre 140 fino a 160																																	+65
oltre 160 fino a 180	—	580	-310	-230	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0	±1/2 IT	-13	-21	—	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150	
oltre 180 fino a 200																																	+80
oltre 200 fino a 225	—	740	-380	-260	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0	±1/2 IT	-13	-21	—	+4	0	+17	+31	+50	+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350	
oltre 225 fino a 250																																	+94
oltre 250 fino a 280	—	920	-480	-300	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0	±1/2 IT	-16	-26	—	+4	0	+20	+34	+56	+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700	
oltre 280 fino a 315																																	+108
oltre 315 fino a 355	—	1200	-600	-360	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0	±1/2 IT	-18	-28	—	+4	0	+21	+37	+62	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100	
oltre 355 fino a 400																																	+126
oltre 400 fino a 450	—	1500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0	±1/2 IT	-20	-32	—	+5	0	+23	+40	+68	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600	
oltre 450 fino a 500																																	+132



Esercizi e applicazioni

Determinare gli elementi dell'accoppiamento bloccato **50 H8/s7**.

Per la soluzione di questi esercizi è necessario servirsi della tabella ISO relativa alle tolleranze fondamentali e di quelle degli scostamenti fondamentali per gli alberi e per i fori, riportate nei pieghevoli.

Foro	Tolleranza	$IT_F = 0,039 \text{ mm}$
	Scostamenti	$E_i = 0$ $E_s = + IT_F = + 0,039 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$D_{max} = D + E_s = 50,000 + 0,039 = 50,039 \text{ mm}$ $D_{min} = 50,000 \text{ mm}$
	Designazione completa	50 H8 $\left(\begin{smallmatrix} + 0,039 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$
Albero	Tolleranza	$IT_A = 0,025 \text{ mm}$
	Scostamenti	$e_i = + 0,043 \text{ mm}$ $e_s = e_i + IT_A = 0,043 + 0,025 = + 0,068 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$d_{max} = d + e_s = 50,000 + 0,068 = 50,068 \text{ mm}$ $d_{min} = d + e_i = 50,000 + 0,043 = 50,043 \text{ mm}$
	Designazione completa	50 s7 $\left(\begin{smallmatrix} + 0,068 \\ + 0,043 \end{smallmatrix} \right)$
Interferenze dell'accoppiamento		$I_{max} = d_{max} - D_{min} = 50,068 - 50,000 = 0,068 \text{ mm}$ $I_{min} = d_{min} - D_{max} = 50,043 - 50,039 = 0,004 \text{ mm}$

Determinare gli elementi dell'accoppiamento mobile **100 F7/h6**.

Foro	Tolleranza	$IT_F = 0,035 \text{ mm}$
	Scostamenti	$E_i = + 0,036 \text{ mm}$ $E_s = E_i + IT_F = 0,035 + 0,036 = + 0,071 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$D_{max} = D + E_s = 100 + 0,071 = 100,071 \text{ mm}$ $D_{min} = D + E_i = 100 + 0,036 = 100,036 \text{ mm}$
	Designazione completa	100 F7 $\left(\begin{smallmatrix} + 0,071 \\ + 0,036 \end{smallmatrix} \right)$
Albero	Tolleranza	$IT_A = 0,022 \text{ mm}$
	Scostamenti	$e_s = 0$ $e_i = - IT_A = - 0,022 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$d_{max} = 100,000 \text{ mm}$ $d_{min} = d + e_i = 100 - 0,022 = 99,978 \text{ mm}$
	Designazione completa	100 h6 $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ - 0,022 \end{smallmatrix} \right)$
Giochi dell'accoppiamento		$G_{max} = D_{max} - d_{min} = 100,071 - 99,978 = 0,093 \text{ mm}$ $G_{min} = D_{min} - d_{max} = 100,036 - 100,000 = 0,036 \text{ mm}$

Determinare gli elementi dell'accoppiamento incerto **18 H6/j5**.

Foro	Tolleranza	$IT_F = 0,011 \text{ mm}$
	Scostamenti	$E_i = 0$ $E_s = + IT_F = + 0,011 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$D_{max} = D + E_s = 18,000 + 0,011 = 18,011 \text{ mm}$ $D_{min} = 18,000 \text{ mm}$
	Designazione completa	18 H6 $\left(\begin{smallmatrix} + 0,011 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$
Albero	Tolleranza	$IT_A = 0,008 \text{ mm}$
	Scostamenti	$e_i = - 0,003 \text{ mm}$ $e_s = e_i + IT_A = - 0,003 + 0,008 = + 0,005 \text{ mm}$
	Dimensioni limite	$d_{max} = d + e_s = 18,000 + 0,005 = 18,005 \text{ mm}$ $d_{min} = d + e_i = 18,000 - 0,003 = 17,997 \text{ mm}$
	Designazione completa	18 j5 $\left(\begin{smallmatrix} + 0,005 \\ - 0,003 \end{smallmatrix} \right)$
Interferenza e gioco massimi		$I_{max} = d_{max} - D_{min} = 18,005 - 18,000 = 0,005 \text{ mm}$ $G_{max} = D_{max} - d_{min} = 18,011 - 17,997 = 0,014 \text{ mm}$

Si completi per esercizio questo schema utilizzando le tabelle ISO

Accoppiamenti	20 H6/f6		32 D9/h8		45 H6/p5		90 H7/j6		18 K6/h5	
	Foro	Albero	Foro	Albero	Foro	Albero	Foro	Albero	Foro	Albero
Tolleranza IT	0,013	0,013								
Scostamento fond.	$E_i = 0$	$e_s = - 0,020$								
Scostamento opp.	$E_s = + 0,013$	$e_i = - 0,033$								
Dimensione max	$D_{max} = 20,013$	$d_{max} = 19,980$								
Dimensione min	$D_{min} = 20,000$	$d_{min} = 19,967$								
Giochi o interferenze	max	$G_{max} = 20,013 - 19,967 = 0,046$								
	min	$G_{min} = 20,000 - 19,980 = 0,020$								