

Cap. 6

Tolleranze dimensionali

Cap. 6

Tolleranze Dimensionali

- **Introduzione**
- **Le tolleranze dimensionali e il controllo tra due limiti**
- **Tipi di accoppiamento**
- **Sistemi di tolleranze e accoppiamenti**
- **Tolleranze generali**
- **Tolleranze ISO**
- **Indicazione delle quote con tolleranza**
- **Analisi delle tolleranze**
- **Accoppiamenti foro/albero nel sistema ISO**
- **Appendice: nota sulla derivazione delle tabelle**

Errori e tolleranze

Introduzione - Errori di realizzazione dei pezzi

Riprendendo quanto esposto nel Capitolo sulla quotatura, si amplia ora l'argomento sottolineando che le quote o *dimensioni nominali* assegnate dal progettista ad un generico pezzo meccanico e riportate sul disegno costruttivo dello stesso, sono riferite a *superfici geometriche ideali*, la cui realizzazione *esatta* non è mai possibile, neppure ricorrendo a lavorazioni di grande accuratezza e precisione. Infatti, **errori** originati dalle *condizioni di lavoro* delle usuali lavorazioni meccaniche (ad es. *l'usura degli utensili*, la presenza di *vibrazioni*, la *disomogeneità* del materiale in lavorazione, ecc.) portano ad ottenere pezzi con *dimensioni e forme reali che si discostano da quelle ideali*.

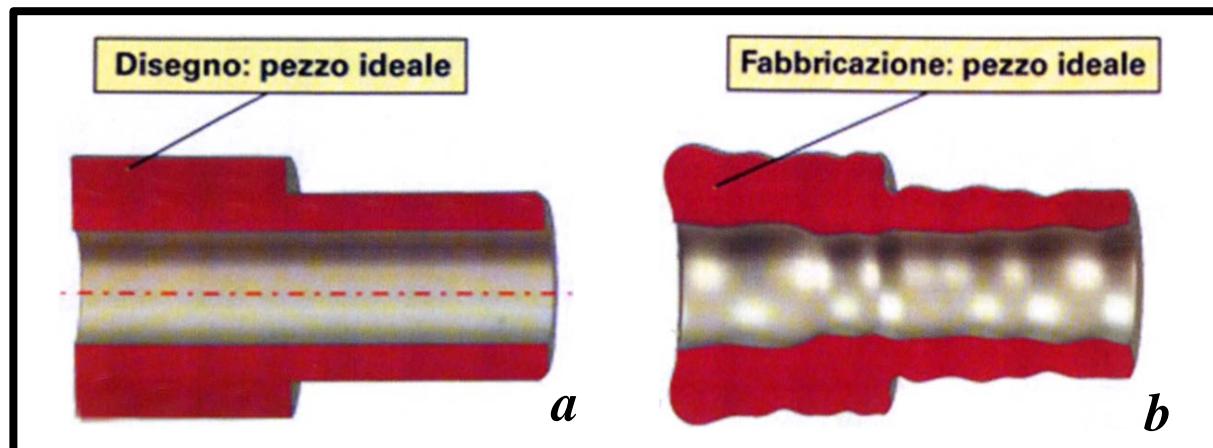
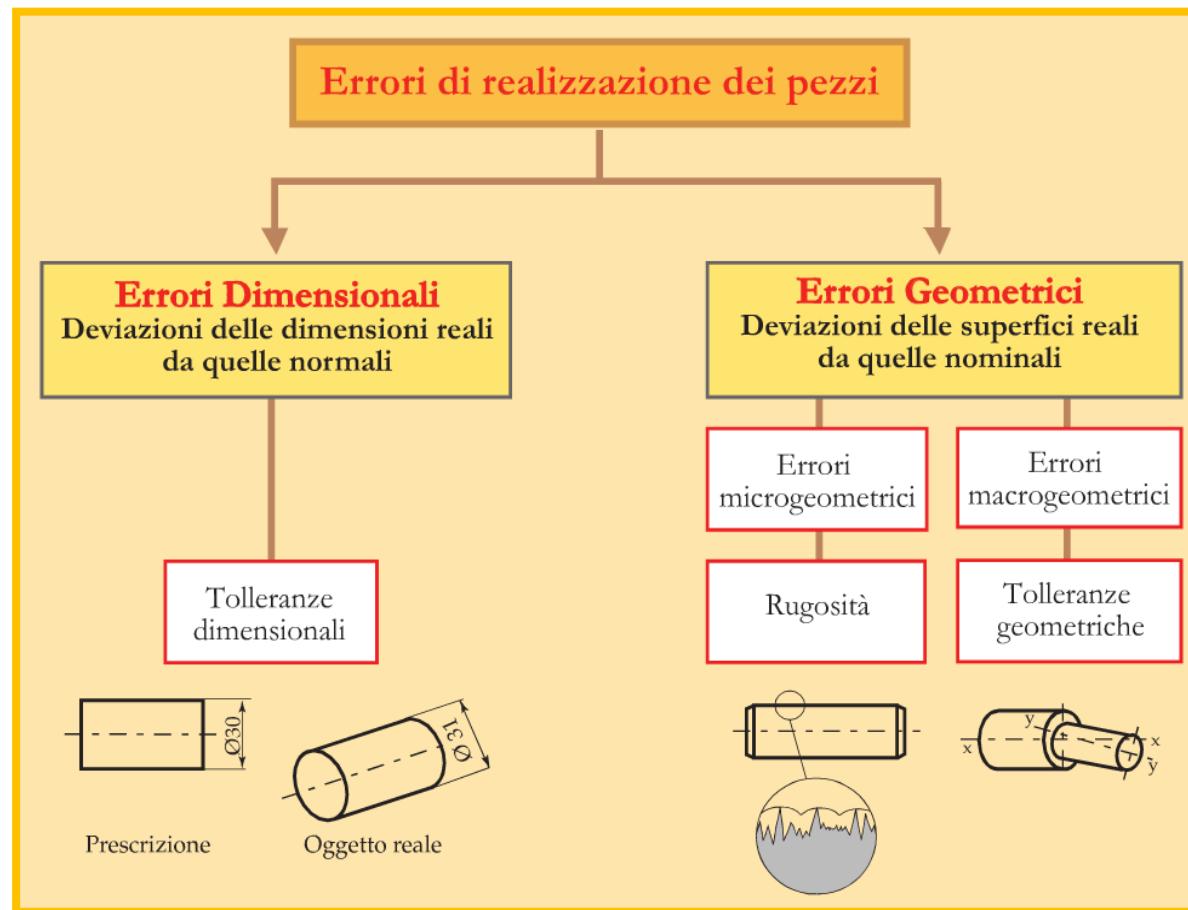


Fig. 1 – a) superfici ideali del disegno; b) superfici reali di fabbricazione

L'errore può verificarsi non solo sulle **dimensioni**, ma anche sulla **geometria** e sulle posizioni relative delle superfici degli organi meccanici.

E' allora opportuno classificare gli errori (tabella 1) in:

- **errori dimensionali**, cioè deviazioni delle dimensioni reali da quelle nominali;
- **errori geometrici**, cioè deviazioni delle superfici reali da quelle nominali.



Tab. 1

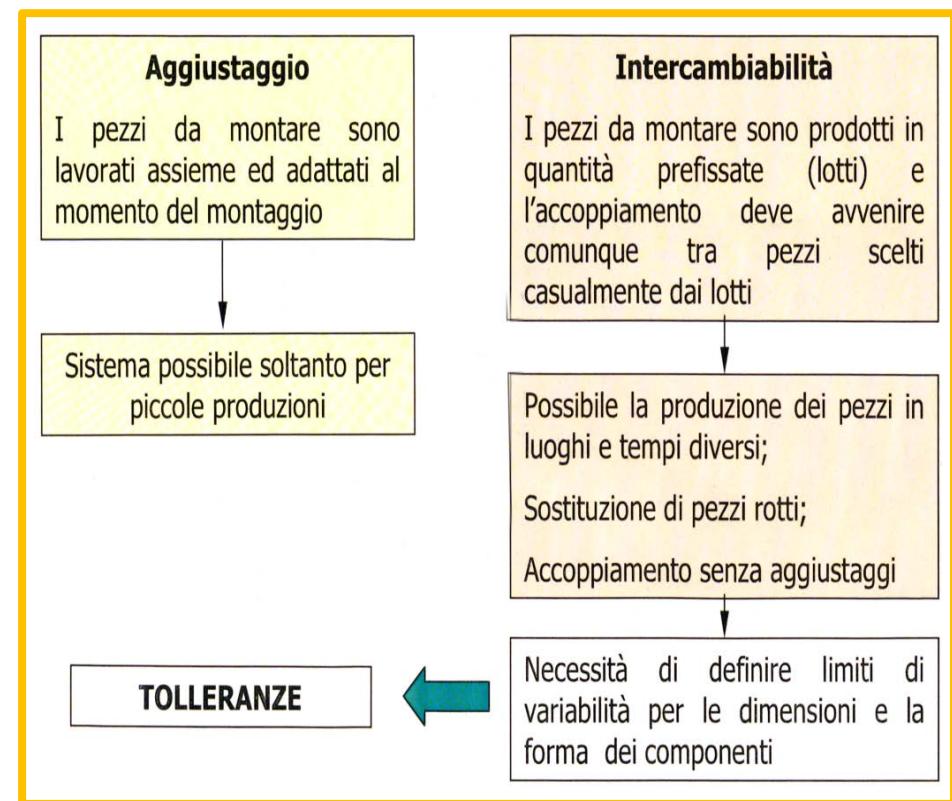
Introduzione – Utilizzo delle tolleranze

L'utilizzo delle tolleranze è finalizzato a garantire il corretto funzionamento dei componenti: ciascun pezzo deve soddisfare pienamente le condizioni necessarie per il corretto montaggio ed il regolare funzionamento, con il costo minore possibile. Questa garanzia si può avere essenzialmente in due modi (tabella 2):

a) mediante aggiustaggio;

b) garantendo l'intercambiabilità e applicando le **tolleranze** alle dimensioni che concorrono agli accoppiamenti.

L'attribuzione delle **tolleranze** rappresenta quindi un elemento fondamentale su cui si basa la produzione in massa o in serie, e permette: 1) la produzione dei singoli particolari *in luoghi e in tempi diversi*; 2) l'*accoppiamento* dei pezzi finiti *senza aggiustaggi*; 3) la *sostituzione* senza difficoltà di un pezzo, rotto o deteriorato dall'uso.



Tab. 2

Tolleranze dimensionali

In questa lezione saranno trattati gli **errori dimensionali**, che per la loro presenza ben radicata nella pratica delle officine sono riportate **sui disegni costruttivi**, mentre nel prossimo capitolo verranno ampiamente esemplificate le tolleranze geometriche.

Le dimensioni

Definizioni

Concetti di “albero” e di “foro”

I due termini albero e foro **vanno intesi in modo generico**, e possono corrispondere a un **pieno** ed a un **vuoto** in due pezzi che devono essere collegati. In altre parole, **con i termini generici di albero e foro si designano anche, rispettivamente, la dimensione esterna e quella interna dello spazio** (contenuto e contenente ovvero **convesso** e **concavo**) compreso tra due facce (o due piani tangenti) parallele di un pezzo qualunque. Per semplificare, si può dire che le dimensioni **misurabili esternamente** sono di **tipo albero**, quelle **misurabili internamente** sono di **tipo foro** (figura 5).

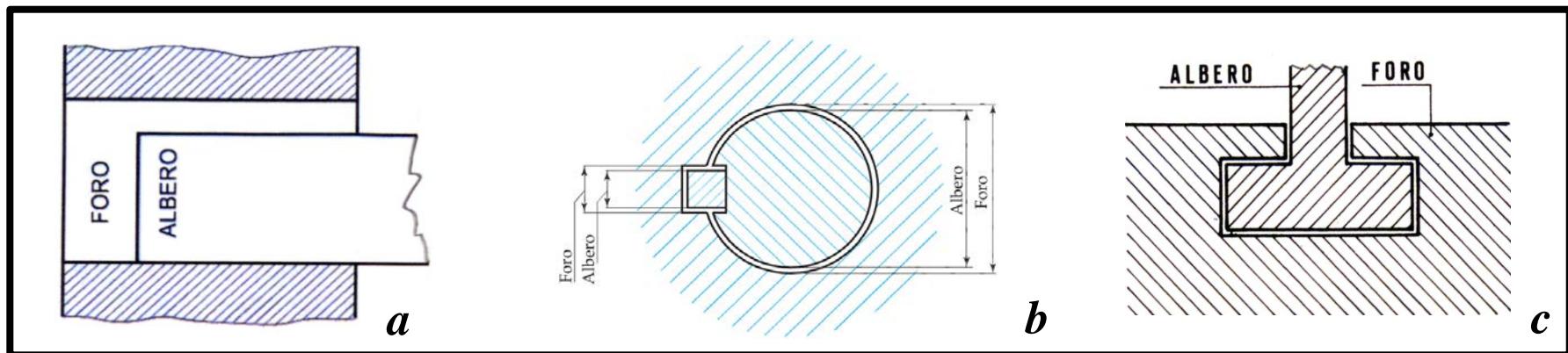


Fig. 5 – a) concetto di albero e foro; b) e c) i termini albero e foro possono essere anche riferiti a pezzi non cilindrici (es. cava per chiavetta e incastro a T).

Le dimensioni

- **Dimensione**: è il numero che esprime, nell'unità scelta, il **valore di una lunghezza**; quando è scritta su un disegno è chiamata **quota**.
- **Dimensione effettiva (d_{eff} e D_{eff})**: è la **dimensione realizzata nell'esecuzione di un pezzo** e rilevata dagli strumenti di misura.
- **Dimensione nominale o quota nominale (d_n o D_n)**: è la **quota riportata sul disegno** (figura 6).
- **Dimensione massima (d_{max} e D_{max})**: è la maggiore misura ammessa per quella quota dalla funzionalità del pezzo o dell'accoppiamento (figura 7).
- **Dimensione minima (d_{min} e D_{min})**: è la minore misura ammessa per quella quota dalla funzionalità del pezzo o dell'accoppiamento (figura 7).

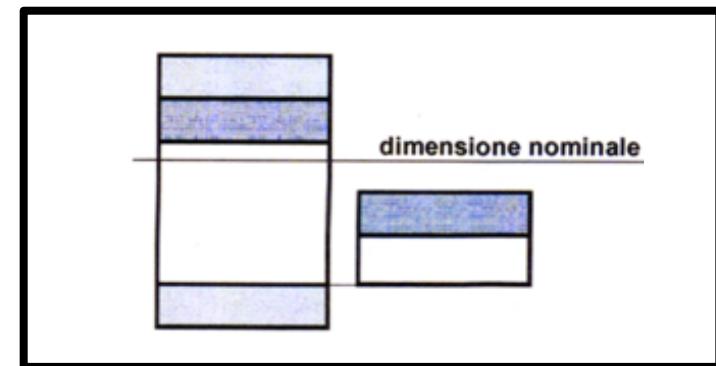


Fig. 6

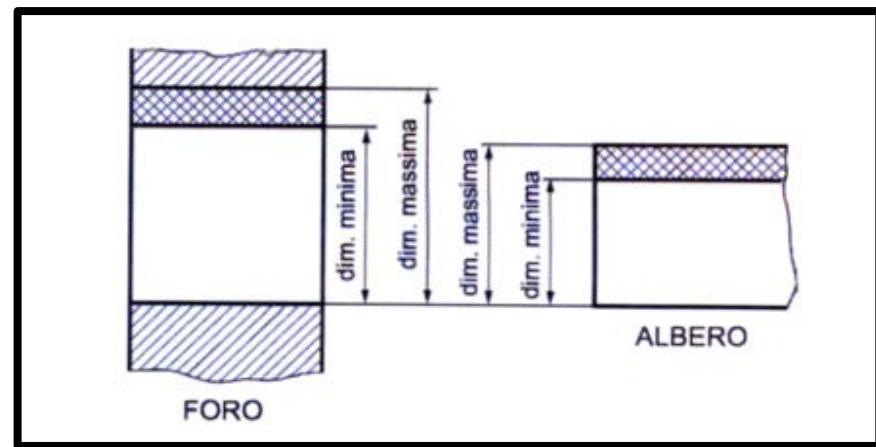


Fig. 7

La linea dello zero

- **Linea dello zero:** nella rappresentazione grafica delle tolleranze e degli accoppiamenti è la **linea retta rappresentante la dimensione nominale** (che ha, per definizione, scostamento zero) ed alla quale vengono riferiti gli scostamenti e le tolleranze. Per convenzione la linea dello zero è tracciata **orizzontalmente**, e quindi **gli scostamenti positivi sono posti al disopra di essa, mentre gli scostamenti negativi sono posti al disotto di essa** (figura 8).

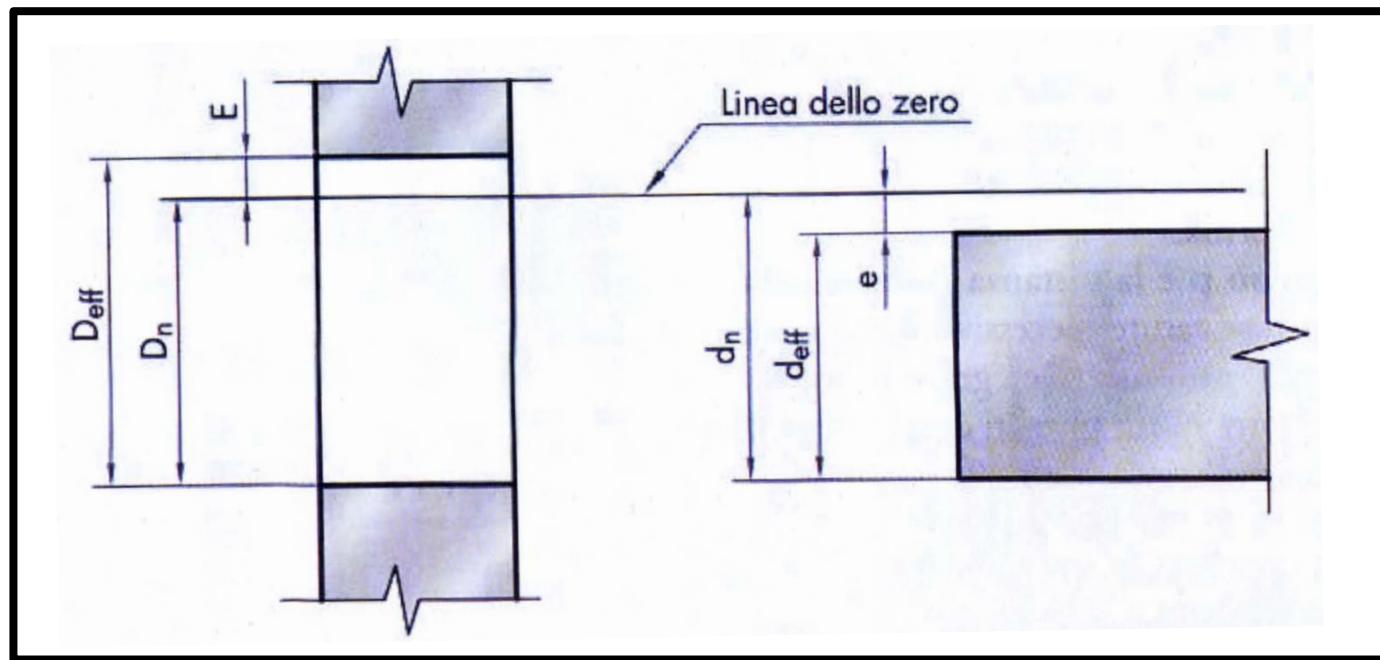


Fig. 8

Gli scostamenti

- **Scostamento:** è la differenza algebrica tra una dimensione (effettiva, limite massima, o limite minima che sia) e la dimensione nominale corrispondente.
- **Scostamento superiore (es, Es):** è la differenza algebrica tra la **dimensione massima** e la dimensione nominale o linea dello zero (può essere + o -).

$$Es = D_{max} - D_n \text{ per i fori}$$

$$es = d_{max} - dn \text{ per gli alberi}$$

- **Scostamento inferiore (ei, Ei):** è la differenza algebrica tra la **dimensione minima** e la dimensione nominale o linea dello zero (può essere + o -).

$$Ei = D_{min} - D_n \text{ per i fori}$$

$$ei = d_{min} - dn \text{ per gli alberi}$$

Dagli scostamenti si ricavano le dimensioni massime e minime in funzione dei diametri nominali:

$$D_{max} = D_n + Es \text{ per i fori}$$

$$d_{max} = dn + es \text{ per i fori}$$

$$D_{min} = D_n + Ei \text{ per i fori}$$

$$d_{min} = dn + ei \text{ per i fori}$$

La tolleranza

Si definisce **tolleranza**, indicata secondo le norme ISO con il **simbolo IT** (**International Tolerance**) la differenza tra la dimensione massima e quella minima ammissibile: rappresenta il massimo errore dimensionale permesso in un oggetto, affinché possa essere accettato.

In altri termini è la differenza algebrica tra lo scostamento superiore e quello inferiore, ed è **sempre positiva** (cioè può essere considerata come un valore assoluto, senza segno).

$$IT = D_{max} - D_{min} \text{ per i fori}$$

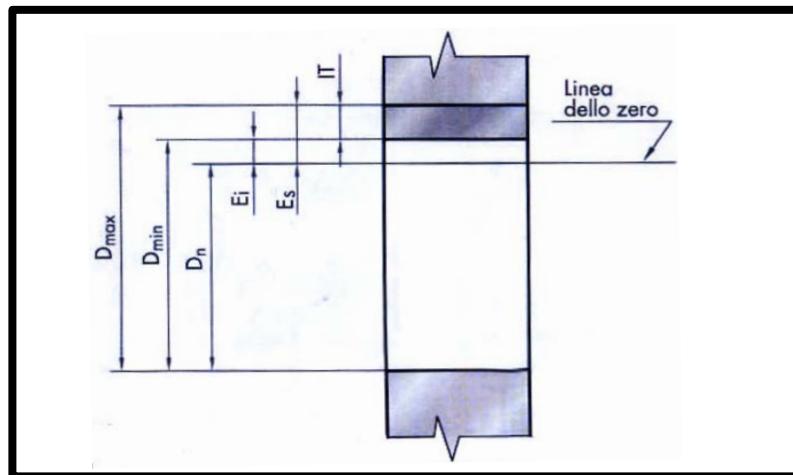


Fig. 9 - Parametri che caratterizzano le tolleranze dei fori

$$IT = d_{max} - d_{min} \text{ per gli alberi}$$

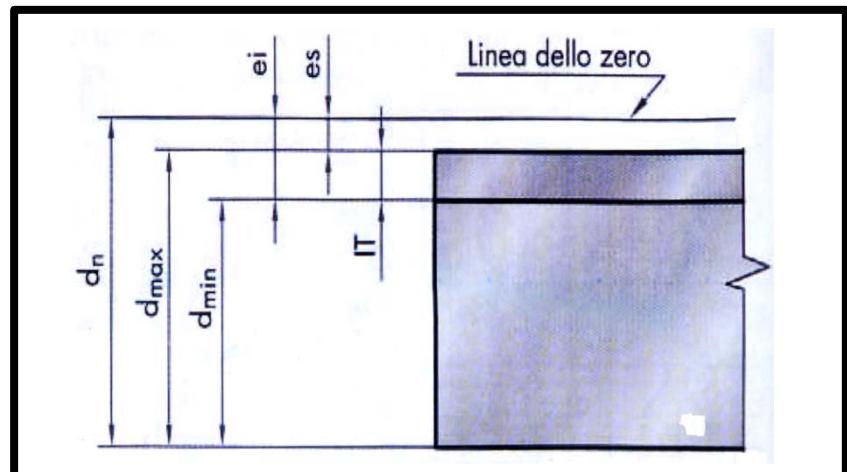


Fig. 10 - Parametri che caratterizzano le tolleranze degli alberi

E' utile rappresentare graficamente la zona di tolleranza con *un rettangolo* la cui *altezza* rappresenta il *valore della tolleranza espresso in micron*; le distanze dalla linea dello zero dei due lati orizzontali del rettangolo rappresentano gli scostamenti, positivi al di sopra e negativi al di sotto (figura 11).

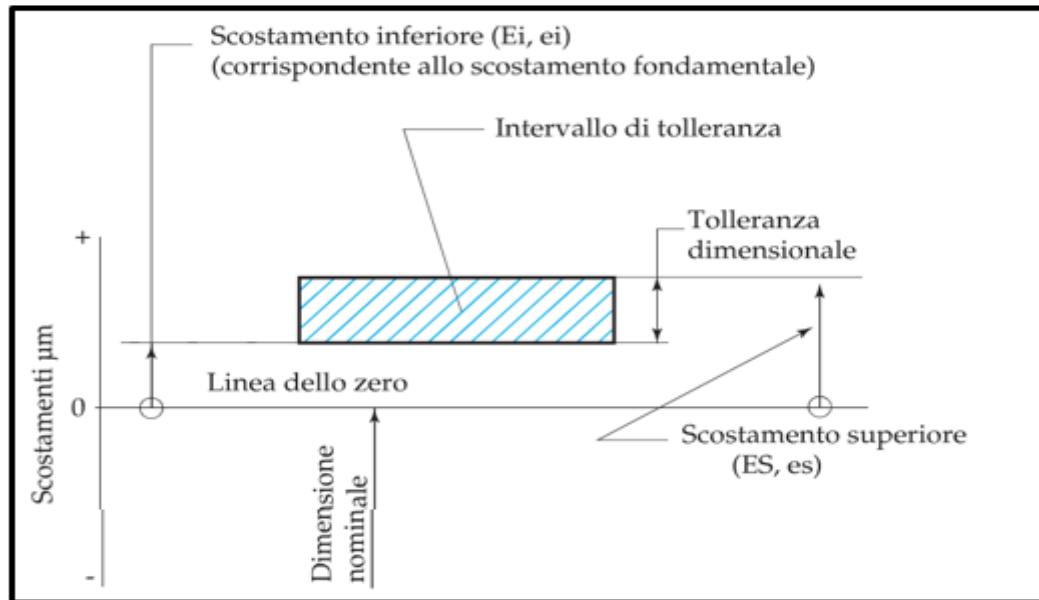


Fig.11

Tenendo presente le definizioni date, si può scrivere:

FORI: $IT = Es - Ei; Es = Ei + IT; Ei = Es - IT$

ALBERI: $IT = es - ei; es = ei + IT; ei = es - IT$

La figura 12 mostra il caso di un accoppiamento tra un foro, un albero indicato con A ed un secondo albero indicato con B: il diametro nominale è sempre lo stesso.

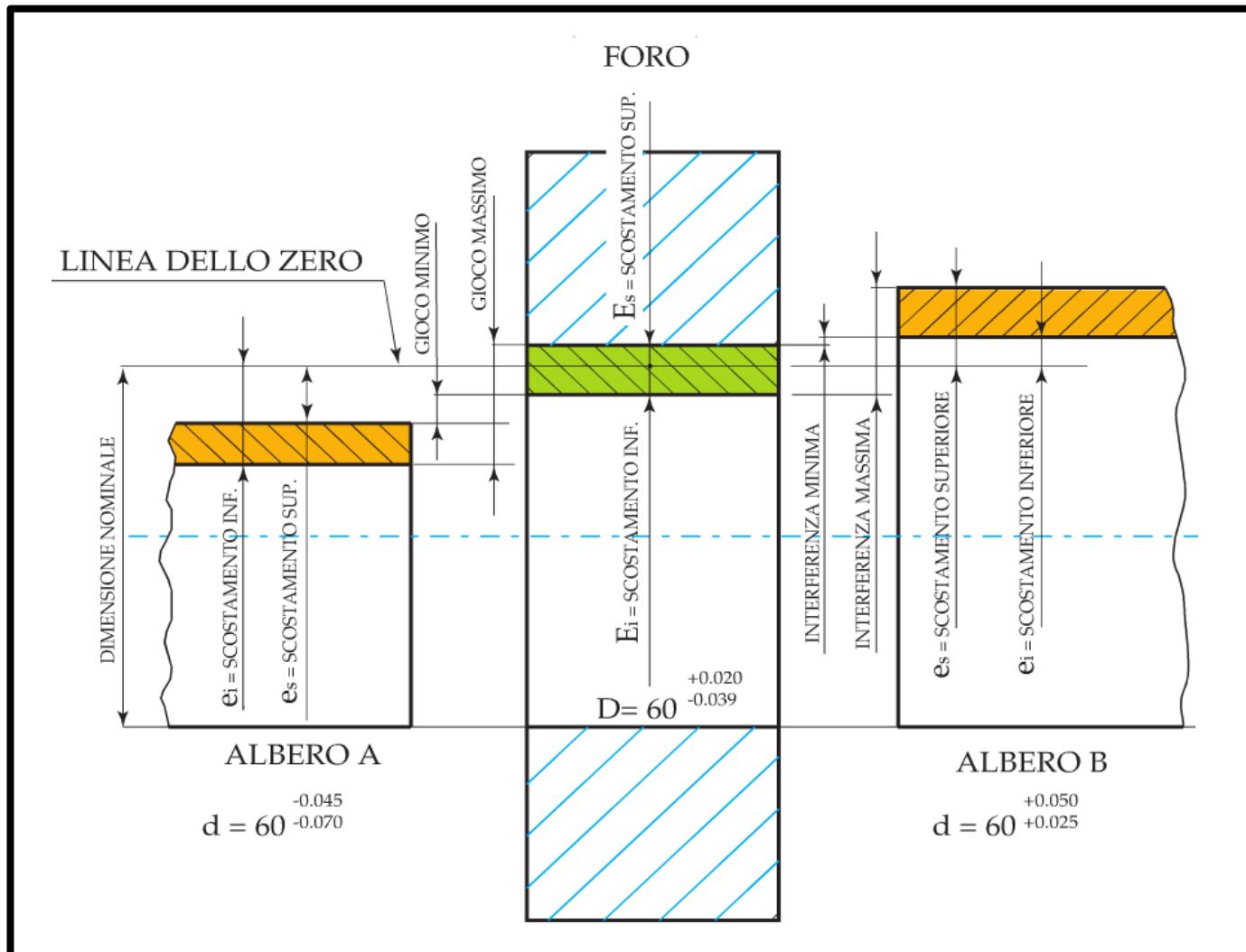


Fig. 12 – Esempio di accoppiamento

Gli scostamenti limite e le tolleranze determinano gli accoppiamenti con gioco o interferenza.

La tolleranza per l'albero A può essere calcolata come:

$$IT = es - ei = -0,045 - (-0,070) = 0,025$$

per l'albero B come:

$$IT = es - ei = +0,050 - 0,025 = 0,025$$

e per il foro come:

$$IT = Es - Ei = 0,020 - (-0,039) = 0,059$$

Attenzione!

- Si utilizzano le **lettere minuscole** (dn, dmin, dmax, es, ei, ecc...) tutte le volte che si fa riferimento ad un «**albero**».
- Si utilizzano le **lettere maiuscole** (Dn, Dmin, Dmax, Es, Ei, ecc...) tutte le volte che si fa riferimento ad un «**foro**»

Esempio di errori dimensionali (vedi tabella 1)

I pezzi che devono essere connessi tra loro a formare un meccanismo, per soddisfare le esigenze funzionali, avranno **dimensioni** comprese fra un **valore minimo** ed uno **massimo** accettabili. Si consideri il caso di una produzione di alberi eseguita su macchine utensili (figura 13). L'impossibilità di ottenere per tutti gli alberi prodotti il diametro di 30,0 mm, ha indotto il progettista a prevedere un errore accettabile di «più o meno un decimo di mm»: questa indicazione, riferita al valore numerico costituente la quota (**tolleranza**), permette di ritenere idonei, per l'uso cui sono destinati, tutti gli alberi con diametro effettivo non inferiore a 29,9 mm e non superiore a 30,1 mm. Tali quote rappresentano il **limite inferiore** e **superiore** del campo di **tolleranza** in cui si ammette possa variare il diametro degli alberi

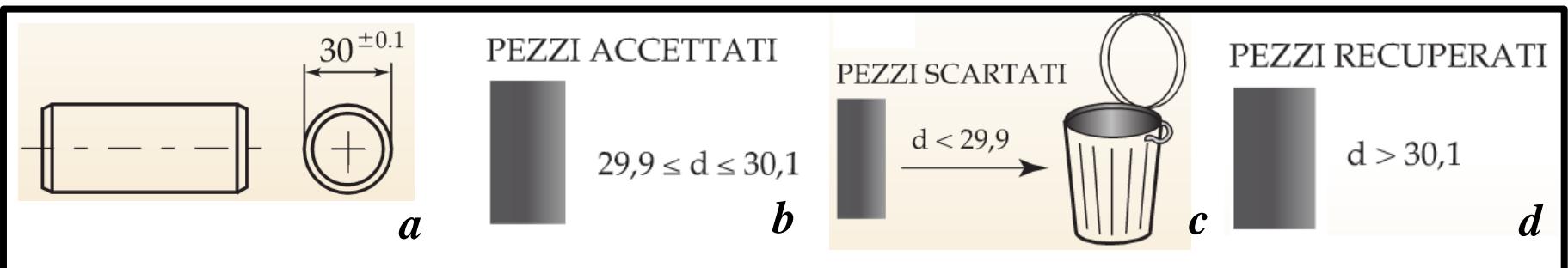
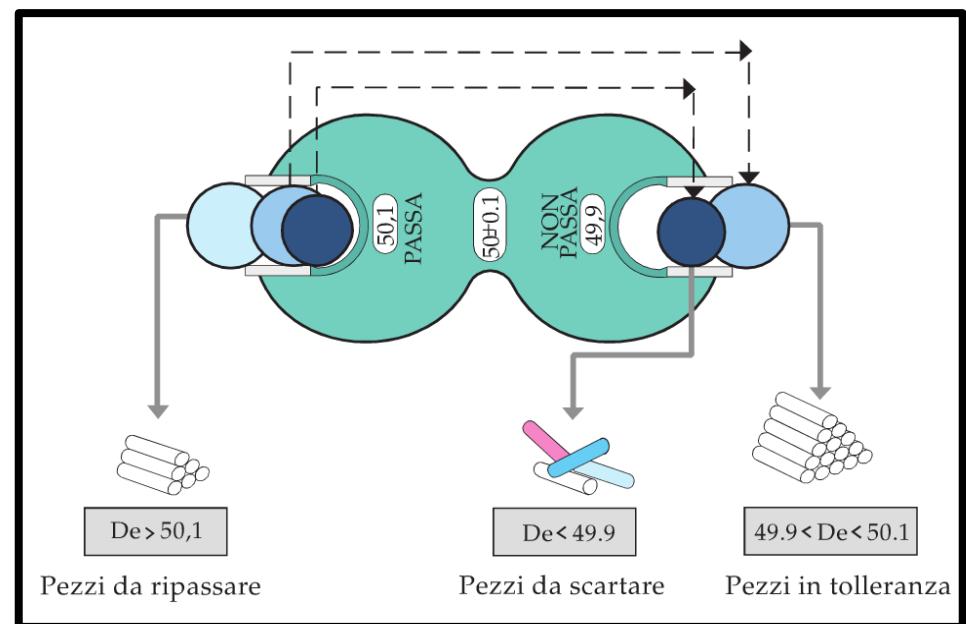


Fig. 13 – a) pezzo con tolleranza dimensionale; b) pezzi in tolleranza; c) pezzi fuori tolleranza minima; d) pezzi fuori tolleranza massima e quindi, trattandosi di un albero, recuperabile ma con un'ulteriore lavorazione meccanica.

La definizione di **campo di tolleranza** e di **controllo tra due limiti** rende più semplici e meno costosi i controlli durante la lavorazione, consentendo l'uso di strumenti di controllo detti **calibri fissi**. Ad esempio, con il calibro per esterni mostrato in figura 14 (**calibro differenziale a forcella**) è possibile controllare il diametro degli alberi compresi tra 49,9 e 50,1 mm.

Un lato del calibro, detto **lato passa**, ha apertura di 50,1mm, pari alla massima misura accettabile, mentre l'altro, detto **lato non passa** ha apertura uguale alla minima di 49,9 mm. La differenza tra le due aperture è pari alla tolleranza e tutti gli alberi che passano nel lato passa e non passano nel lato non passa sono accettati.

Fig. 14 – a) pezzo blu scuro: passa sia nel passa che nel non passa ed è fuori tolleranza; b) pezzo celeste scuro: passa nel passa e non passa nel non passa ed è in tolleranza; c) pezzo celeste chiaro: non passa nel passa ed è fuori tolleranza.



Le considerazioni fatte per il controllo degli alberi, valgono per il controllo dei fori, a condizione di usare un altro tipo di **calibro fisso differenziale**, detto **calibro a tampone**, costituito da due elementi cilindrici, realizzanti il lato passa e il lato non passa (figura 15), corrispondenti questa volta alle dimensioni accettabili rispettivamente minima e massima.

Si noti che i limiti delle condizioni accettabili non sono necessariamente simmetriche rispetto alla dimensione nominale (come nell'esempio di figura 3) ma possono, sempre mantenendo il riferimento alla dimensione nominale, assumere valori entrambi positivi che negativi e di diverso valore.

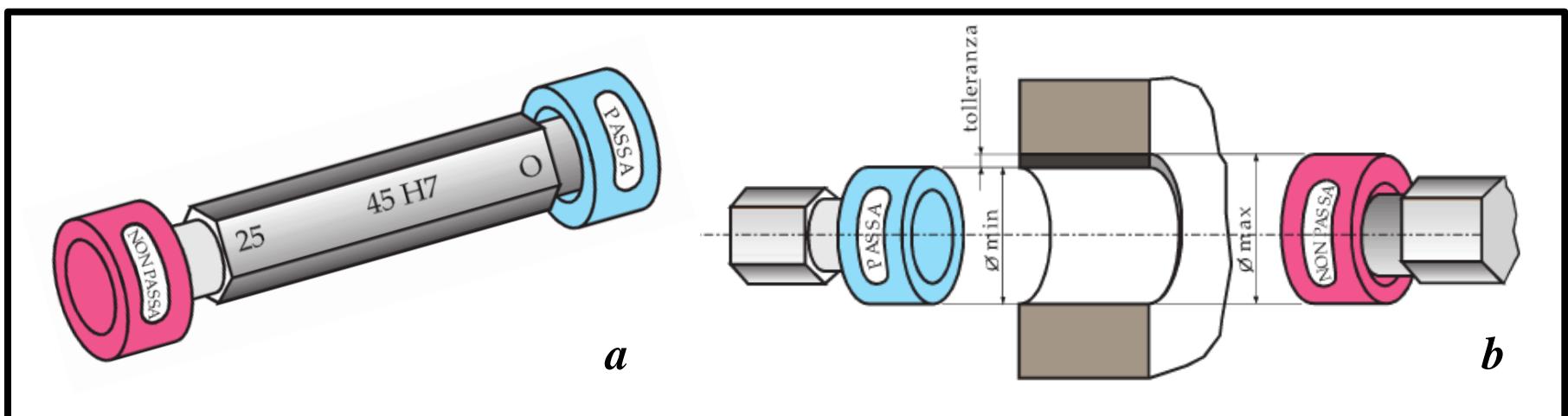


Fig. 15 – a) calibro fisso a tampone per interni passa – non passa; b) utilizzo del calibro stesso.

Sistemi di tolleranze e Accoppiamenti

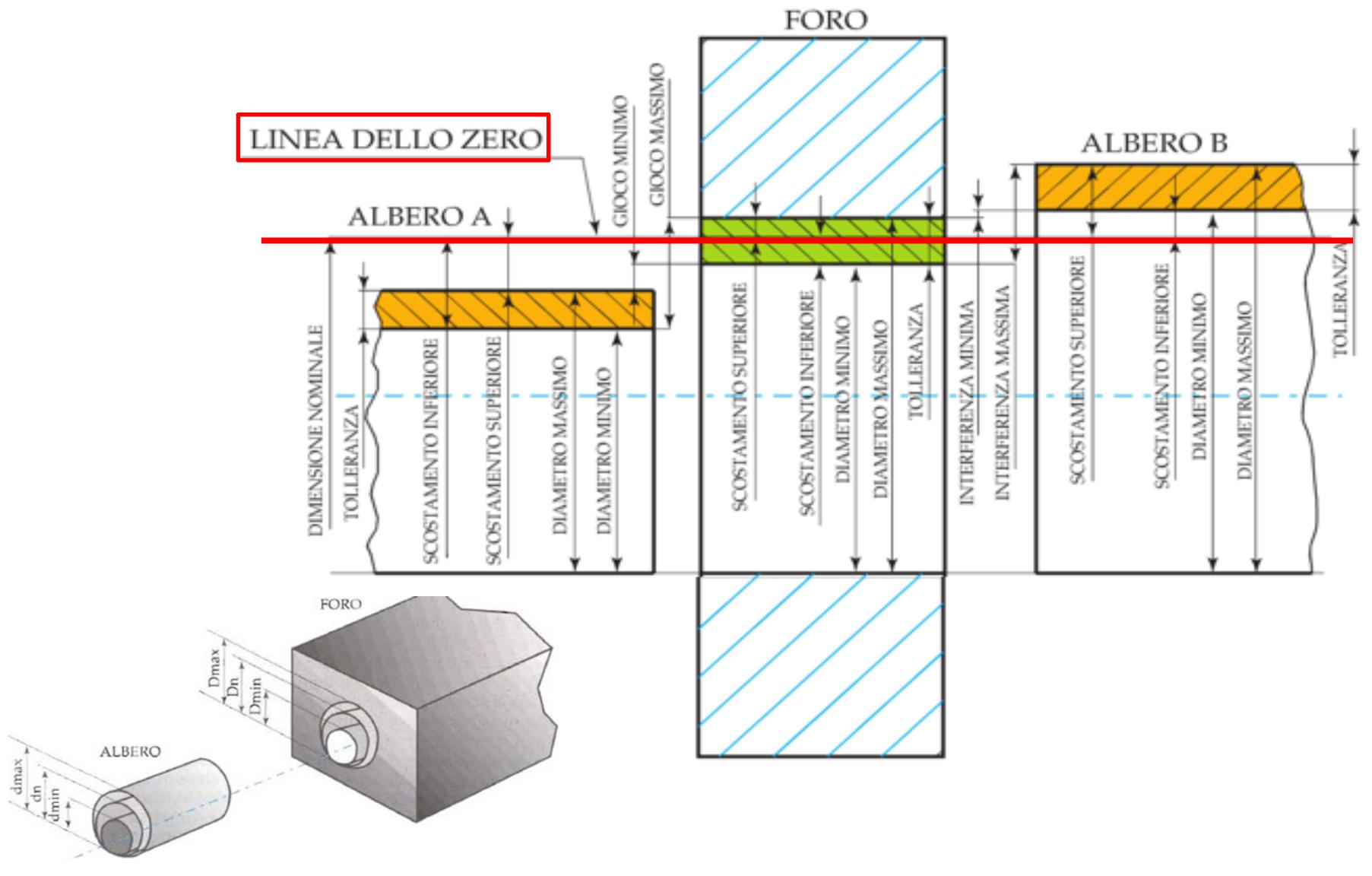


Fig. 16 – Riassunto dei termini utilizzati nel sistema di tolleranze

Tipi di accoppiamento

- Accoppiamento certo mobile (libero)
- Accoppiamento certo forzato (stabile)
- Accoppiamento incerto

Tipi di accoppiamento

1. Accoppiamento mobile

(libero o con gioco)

l'albero si muove sempre rispetto al foro.

2. Accoppiamento con interferenza

L'albero, fino ad una data coppia, è fisso rispetto al foro.

3. Accoppiamento incerto

A seconda delle rispettive dimensioni reali di albero e foro può essere mobile o con (leggera) interferenza.

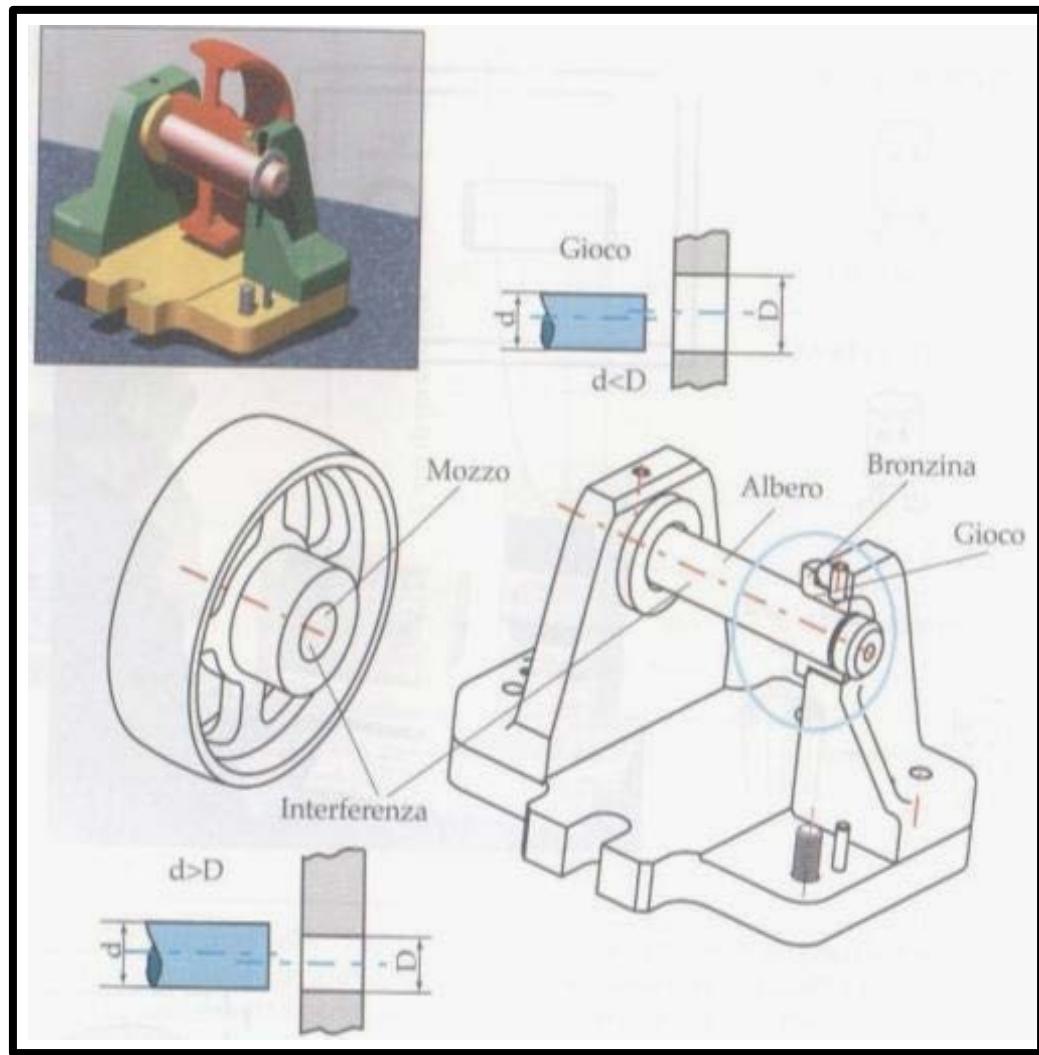
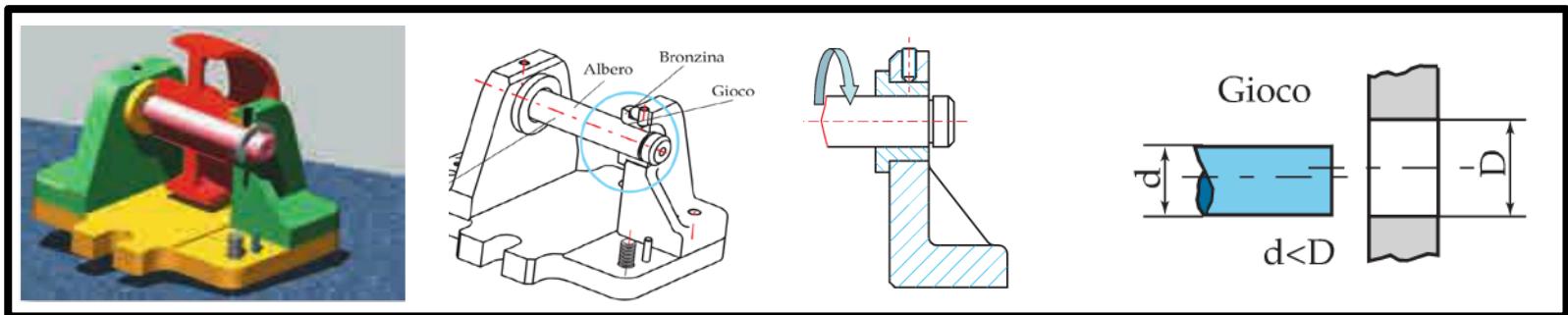


Fig. 17

Accoppiamento certo mobile (libero)

Si voglia montare un **albero** con una ruota su due supporti con bronzina (figura 18). L'albero in esame, dovrà essere *libero di ruotare nell'apposita sede*, cioè *il diametro effettivo dell'albero*, a montaggio eseguito, dovrà essere *sempre minore del corrispondente diametro del foro* fatto nel supporto laterale. Fra albero e foro si ha quindi **un gioco** e l'**accoppiamento** in questo caso si chiamerà **mobile**, o **libero**.



Quindi la condizione di funzionamento per ottenere un **accoppiamento mobile** è che il diametro del foro nel supporto sia *sempre* maggiore di quello dell'albero. Ciò si può ottenere: **a) prescrivendo diametri nominali diversi** (sempre tenendo conto dei valori massimi e minimi delle dimensioni reali derivanti dalle tolleranze di lavorazione); **b) prescrivendo uno stesso diametro nominale** ed assicurandosi che, assumendo opportuni valori per le dimensioni massime e minime ammissibili per albero e foro, sia *sempre verificata la condizione di foro più grande dell'albero*.

Esempio numerico di accoppiamento con gioco

Gioco massimo o di minimo materiale

Accoppiando l'albero di minimo diametro, cioè di 9,7 mm, con il foro di 10,3 mm, si ottiene il **massimo valore della differenza fra i due diametri**, cioè: $10,3 - 9,7 = 0,6$ mm

Questa condizione (albero al minimo diametro e foro al massimo diametro), rappresenta la condizione detta di **minimo materiale** (figura 19).

Gioco minimo o di massimo materiale

Assegnando all'albero il valore di 10,0 mm e al foro il valore di 10,1 mm, rispettivamente corrispondenti ai valori massimo e minimo consentiti dai rispettivi campi di tolleranza, si otterrà il **minimo valore della differenza tra i due diametri**, cioè: $10,1 - 10,0 = 0,1$ mm . In queste condizione, sia l'albero che il foro sono nella condizione di **massimo materiale** (figura 19).

L'accoppiamento tra un albero ed un foro risulta sempre di tipo mobile, se la dimensione minima del foro è sempre maggiore di quella massima dell'albero.

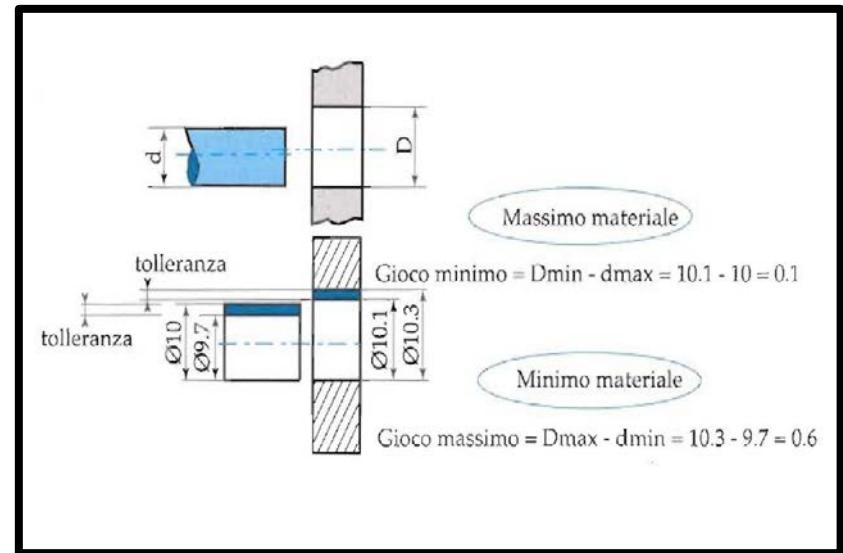
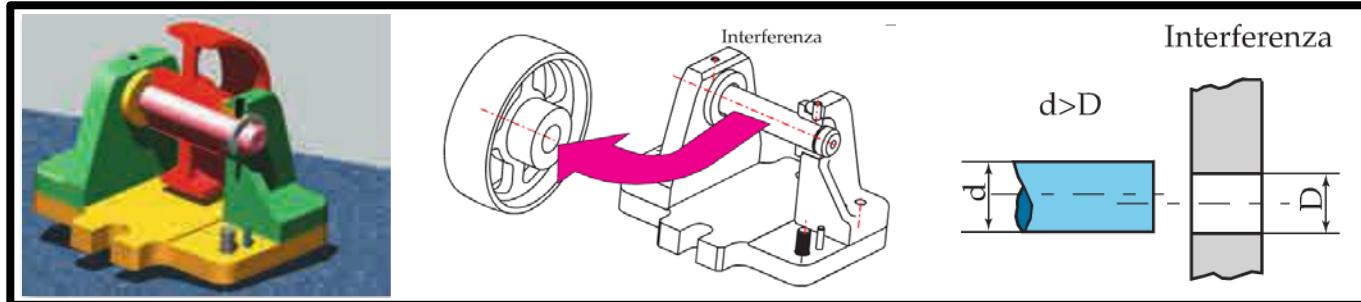


Fig. 19 – Albero con bronzina.

Accoppiamento certo forzato (stabile)

Si voglia invece montare una **ruota** su un **albero** (figura 20). La ruota è composta da una **sede cilindrica cava** a contatto con l'albero, chiamata **mozzo**, e da una **parte esterna** che possiamo chiamare **corona**. Per ottenere un corretto funzionamento, la ruota dovrà essere montata mediante **forzamento** sull'albero: in questo caso si dice che tra albero e foro esiste un'**interferenza**, nel senso che il *diametro dell'albero dovrà essere un po' maggiore di quello del foro (accoppiamento forzato o stabile)*.



Quindi la condizione di funzionamento per ottenere un **accoppiamento stabile** è che il diametro del foro nella ruota sia **sempre** minore di quello dell'albero. Ciò si può ottenere: **a) prescrivendo diametri nominali diversi** (sempre tenendo conto dei valori massimi e minimi delle dimensioni reali derivanti dalle tolleranze di lavorazione); **b) prescrivendo uno stesso diametro nominale** ed assicurandosi che, assumendo opportuni valori per le dimensioni massime e minime ammissibili per albero e foro, sia **sempre verificata la condizione di foro più piccolo dell'albero**.

Esempio numerico di accoppiamento forzato

Anche in questo caso è possibile individuare, tra tutti i possibili accoppiamenti con interferenza, le configurazioni limite:

Interferenza massima o di massimo materiale

Accoppiando l'albero di diametro 20,3 mm, con il foro di 19,7 mm, si ottiene il **massimo valore della differenza fra i due diametri**, e quindi la condizione di massima interferenza: $20,3 - 19,7 = 0,6$ mm. In questa configurazione, sia l'albero che il foro sono in condizione di **massimo materiale** (figura 21).

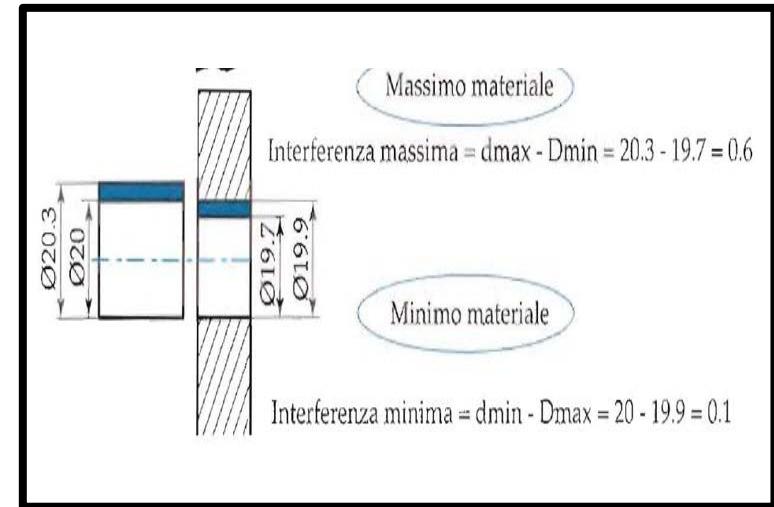


Fig. 21 - Albero con mozzo.

Interferenza minima o di minimo materiale

Assegnando invece all'albero il valore di 20,0 mm e al foro il valore di 19,9 mm, si ottiene il **minimo valore della differenza tra i due diametri**, cioè: $20,0 - 19,9 = 0,1$ mm. In questa configurazione, sia l'albero che il foro sono in condizione di **minimo materiale** (figura 21).

L'accoppiamento risulta sempre bloccato con interferenza, se la dimensione massima del foro è sempre minore di quella minima dell'albero.

Nota . Se il valore dell'interferenza *non è molto elevato*, per il montaggio si può ricorrere ad un forzamento mediante una *pressa*, che produce una deformazione elastica del foro. Se invece i valori dell'interferenza *sono elevati*, si deve operare con un *riscaldamento che dilata il foro*: il successivo raffreddamento determina un ritiro e quindi il serraggio del mozzo sull'albero.

Accoppiamento incerto

Si voglia ora montare la puleggia su un albero in cui può verificarsi che tra i due elementi si abbia sia gioco che interferenza (figura 22).

Questo terzo possibile accoppiamento è definito **accoppiamento incerto**.

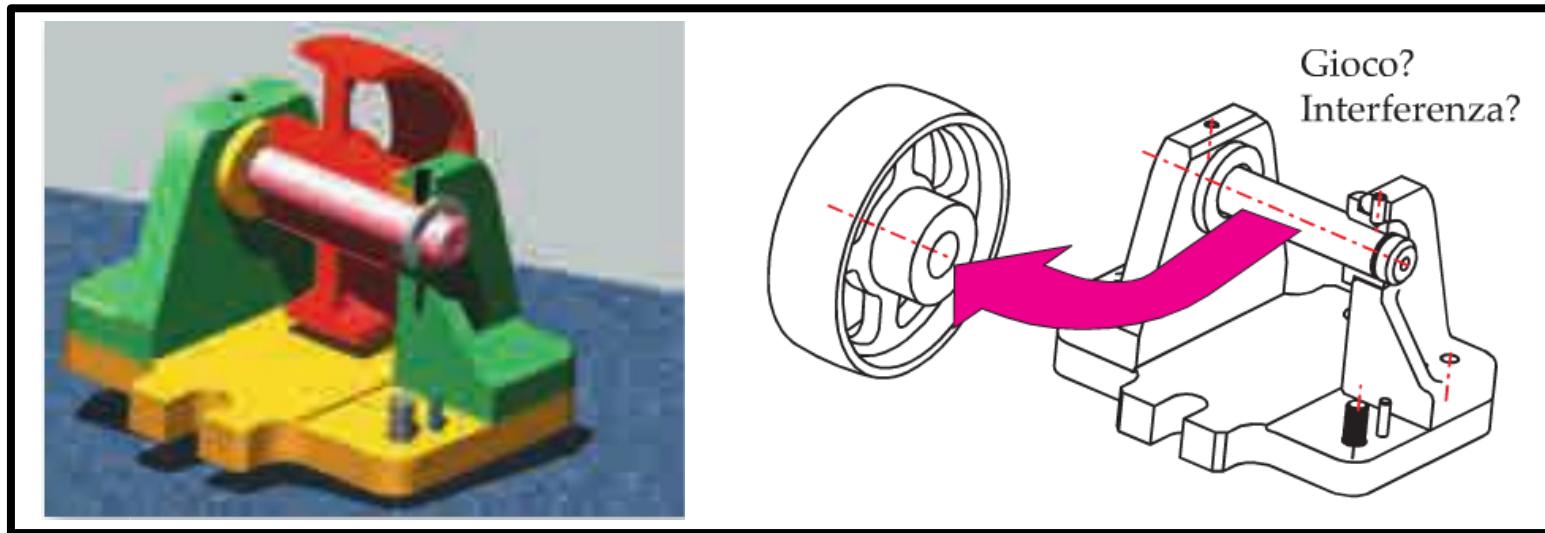


Fig.22

L'accoppiamento risulta incerto quando, a seconda delle dimensioni effettive assunte dai due elementi nell'esecuzione, può verificarsi sia gioco che interferenza tra albero e puleggia. Le zone di tolleranza sono parzialmente sovrapposte.

Esempio numerico di accoppiamento incerto

Anche in questo caso è possibile individuare, tra tutti i possibili accoppiamenti derivanti dalle dimensioni dei due pezzi, le configurazioni limite:

Interferenza massima o di massimo materiale

Accoppiando l'albero di 20,3 mm ed il mozzo di 20,0 mm, si ottiene l'interferenza: $20,3 - 20,0 = 0,3$ mm. Albero e foro sono in condizioni di **massimo materiale** (figura 23).

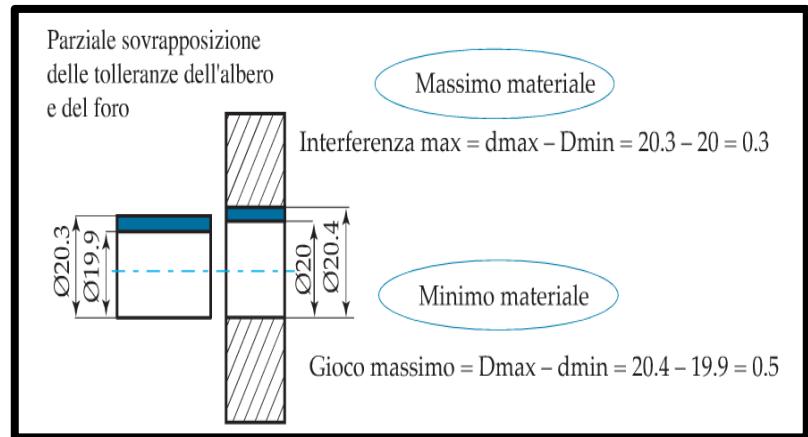


Fig. 23 - Albero con mozzo.

Gioco massimo o di minimo materiale

Accoppiando l'albero di 19,9 mm ed il foro di 20,4 mm, si ha il massimo gioco: $20,4 - 19,9 = 0,5$ mm. Albero e foro sono in condizioni di **minimo materiale** (figura 23).

Nella realtà si tende a produrre sempre nelle condizioni di massimo materiale, cioè si cerca di asportare dal pezzo solo lo stretto necessario di materiale eccedente fino ad entrare nel campo di tolleranza (**infatti ad asportare di più si fa sempre in tempo!**). Per questo motivo è possibile affermare che **un accoppiamento incerto è quasi sempre un accoppiamento con interferenza**.

Sistema ISO di tolleranze

Sistema ISO di tolleranze

Per i pezzi che presentano esigenze di elevata precisione negli accoppiamenti sono state fissate, a livello internazionale, **tolleranze di riferimento**, note nella pratica come **tolleranze ISO**, codificate in Italia nella norma UNI EN 20286.

Si può quindi definire il Sistema di tolleranze ISO come l'insieme delle tolleranze e scostamenti unificati e di accoppiamenti tra alberi e fori (figura 24).



Fig. 24 – *foro e albero*.

Una tolleranza del sistema ISO viene detta **tolleranza fondamentale** e viene indicata con **IT**.

Nel sistema ISO di tolleranze, per poter soddisfare tutte le necessità, sia per i pezzi isolati sia per gli accoppiamenti, è previsto, per ogni dimensione nominale, **un totale di 20 gradi di tolleranze normalizzate**, che definiscono **l'ampiezza della zona di tolleranza** e quindi **la qualità o la precisione della lavorazione**. Di questi 20 gradi, **18** (designati con le sigle da **IT1** fino ad **IT18**) sono di uso generale, e **2 gradi (IT0 ed IT01)** vengono utilizzati in **casi particolari**.

E' inoltre prevista tutta una **gamma di scostamenti** (chiamati **scostamenti fondamentali**), che definiscono la **posizione della zona di tolleranza rispetto alla linea dello zero**. La posizione della zona di tolleranza viene designata con una o più **lettere maiuscole per i fori** (da **A** fino a **ZC**) e con una o più **lettere minuscole per gli alberi** (da **a** fino a **zc**).

Tolleranze e scostamenti sono stati codificati *per le dimensioni fino a 3150 mm.*

Grado di tolleranza normalizzato

II grado di tolleranza normalizzato (indicato in passato col termine *qualità*) varia con la dimensione nominale in quanto esprime l'ampiezza dell'errore tollerato, che ovviamente è *più elevato su dimensioni maggiori e più piccolo su dimensioni minori*. Un determinato grado di tolleranza **ITn** è quindi un gruppo di tolleranze che individuano lo stesso livello di precisione, pur variando le dimensioni nominali. I *valori arrotondati* dei gradi di tolleranza normalizzati da IT1 a IT18 sono riportati in tabella 3.

Tab.3

Dimensione nominale mm		GRADI DI TOLLERANZA NORMALIZZATI																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
oltre fino a		Tolleranze																	
		μm															mm		
-	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,60	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Note

a) I gradi di tolleranza normalizzati da IT14 a IT18 non devono essere utilizzati per dimensioni minori od uguali a 1 mm;

b) I valori sono espressi in micron per i gradi da 1 a 12 ; dai gradi 13 ai 18 sono espressi in mm;

c) I valori numerici delle tolleranze fondamentali dei gradi di tolleranza IT01 e IT0 (usati per casi particolari), previsti fino alle dimensioni nominali di 500 mm, sono riportati in tabella 4;

DIMENSIONE NOMINALE		GRADI DI TOLLERANZE NORMALIZZATE	
mm		IT01	IT0
oltre	fino a	tolleranza µm	
-	3	0,3	0,5
3	6	0,4	0,6
6	10	0,4	0,6
10	18	0,5	0,8
18	30	0,6	1
30	50	0,6	1
50	80	0,8	1,2
80	120	1	1,5
120	180	1,2	2
180	250	2	3
250	315	2,5	4
315	400	3	5
400	500	4	6

Tab. 4

d) Esistono tavole che mettono in corrispondenza i vari gradi di tolleranza con le applicazioni relative e le corrispondenti lavorazioni meccaniche (tabella 5).

GRADO DI TOLLERANZA NORMALIZZATO	CLASSE DI TOLLERANZA		LAVORAZIONI MECCANICHE CORRISPONDENTI		APPLICAZIONI	
	Alberi	Fori	Alberi	Fori	Alberi	Fori
IT1 - IT4			Lavorazione con macchine speciali	Lavorazione con macchine speciali	Lavorazioni di precisione di strumenti di misura, calibri, blocchetti di riscontro	
IT5	extra preciso		rettifica	rettifica speciale	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT6	preciso	extra preciso	rettifica	rettifica	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT7	preciso - medio	preciso	tornitura	rettifica alesatura tornitura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT8	medio	medio	tornitura	alesatura tornitura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT9	medio - grossolano	medio - grossolano	tornitura trafilatura	alesatura tornitura trapanatura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT10	medio - grossolano	medio - grossolano	tornitura trafilatura	alesatura tornitura trapanatura	Lavorazioni di pezzi destinati ad essere accoppiati	
IT11	grossolano	grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT12	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT13	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	
IT14 - IT18	molto grossolano	molto grossolano	Lavorazioni grossolane di stampaggio o fusione		Pezzi non destinati ad accoppiamenti con altri pezzi	

Tab.5

e) I **gradi da 1 a 4** sono normalmente usati per *calibri o pezzi di altissima precisione* (figura 25); quelli **da 5 a 11** corrispondono a tolleranze di pezzi ottenuti con lavorazioni sempre più grossolane ; quelli **oltre 11** non sono adatti a pezzi da accoppiare con altri pezzi.

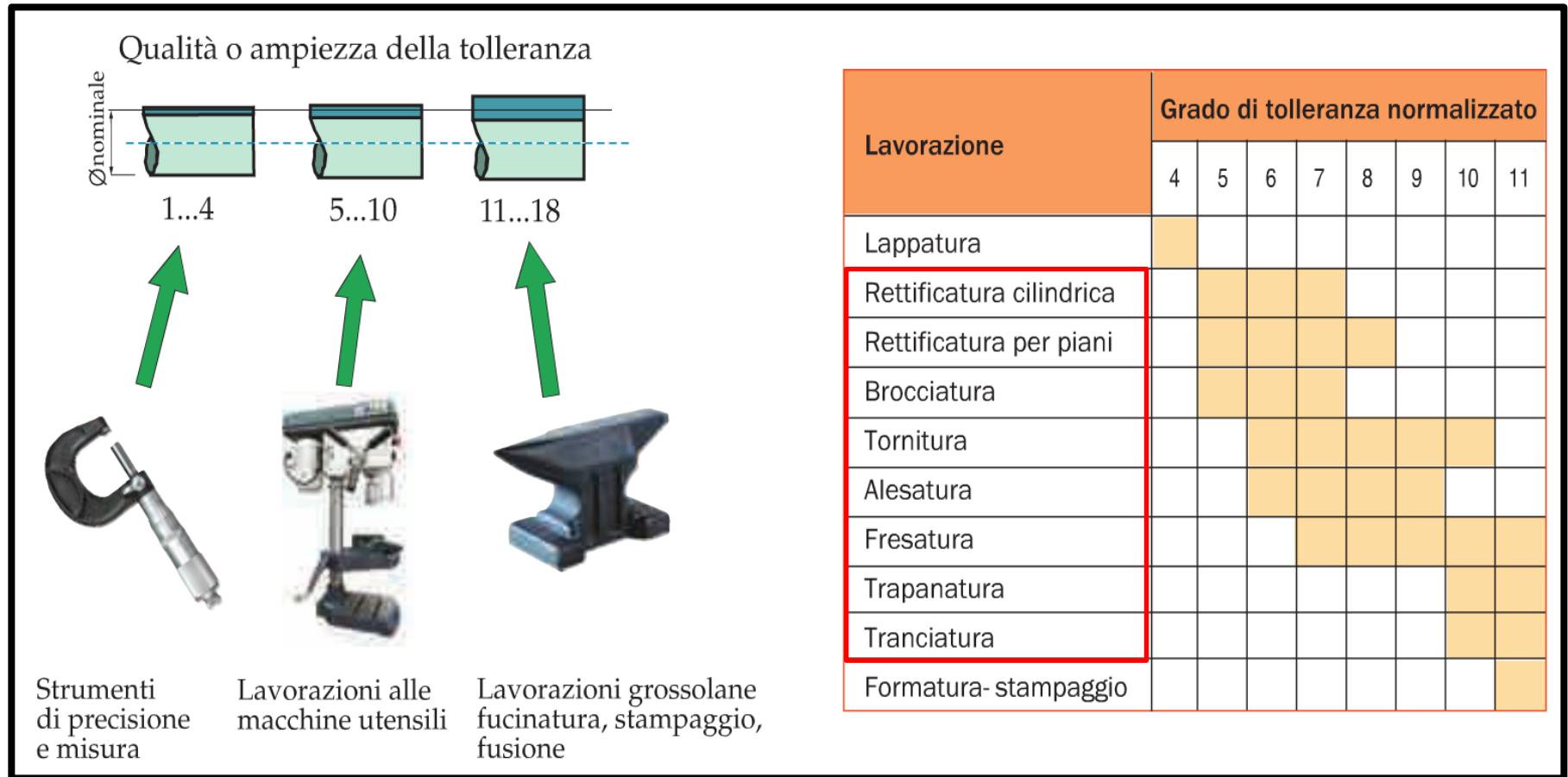


Fig. 25 – Gradi di tolleranza ottenibili con le lavorazioni meccaniche.

Scostamento fondamentale

Posizione delle tolleranze nel sistema ISO

La **posizione** del campo di tolleranza è individuata dallo **scostamento fondamentale** (quello più vicino alla linea dello zero): si indica con un simbolo letterale costituito da una o due **lettere, maiuscole per i fori e minuscole per gli alberi**.

Le diverse posizioni sono calcolate con formule date, in funzione della dimensione nominale del pezzo.

Il sistema ISO prevede 27 posizioni (figura 26).

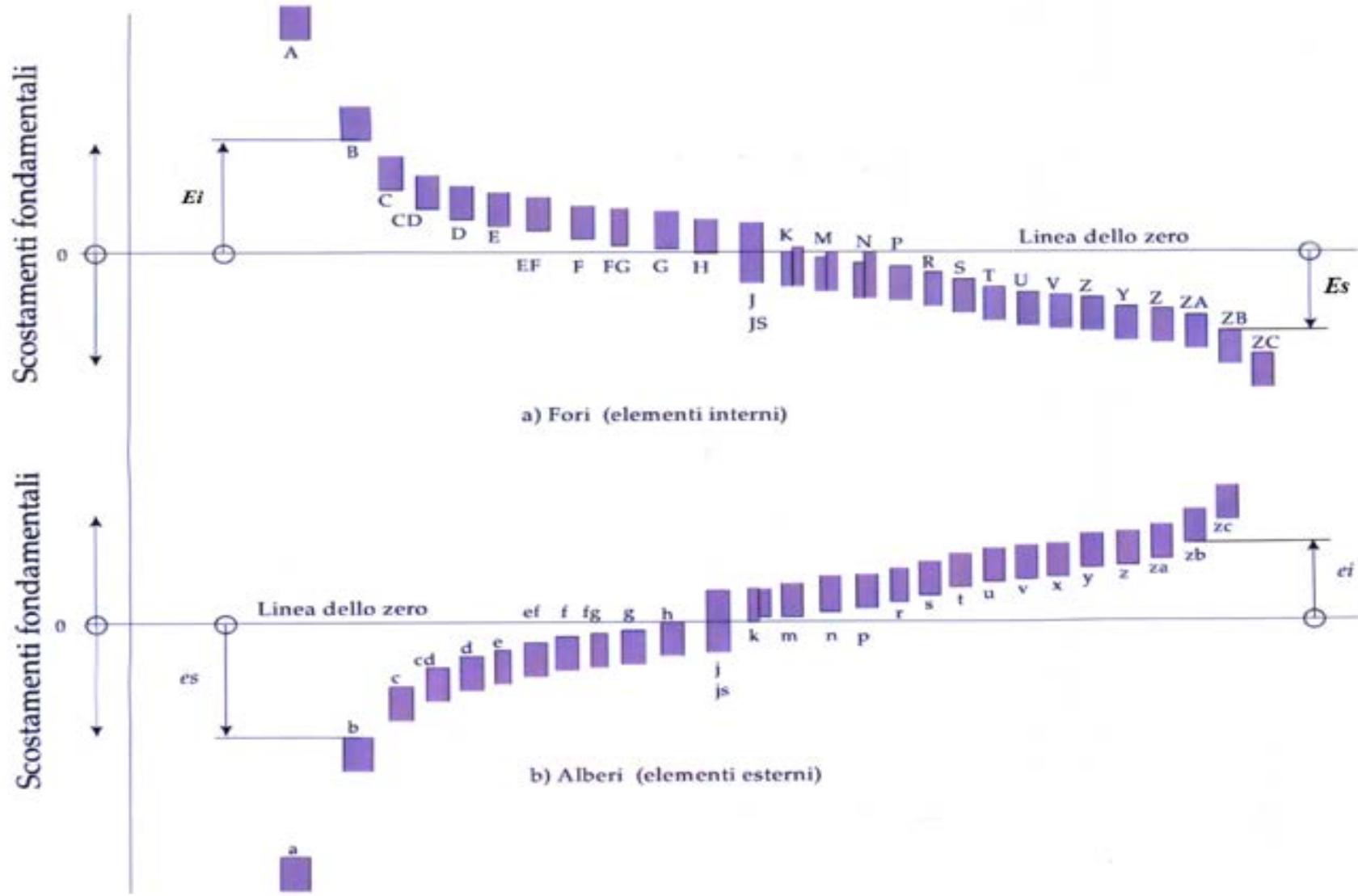


Fig. 26 – Rappresentazione schematica degli scostamenti fondamentali.

Per i fori:

- le posizioni da **A** ad **H** sono individuate dagli **scostamenti inferiori** Ei ;
- le posizioni da **K** a **ZC** sono individuate dagli scostamenti **scostamenti superiori** Es (figura 27).

La posizione **H** è quella in cui lo scostamento fondamentale inferiore è nullo.

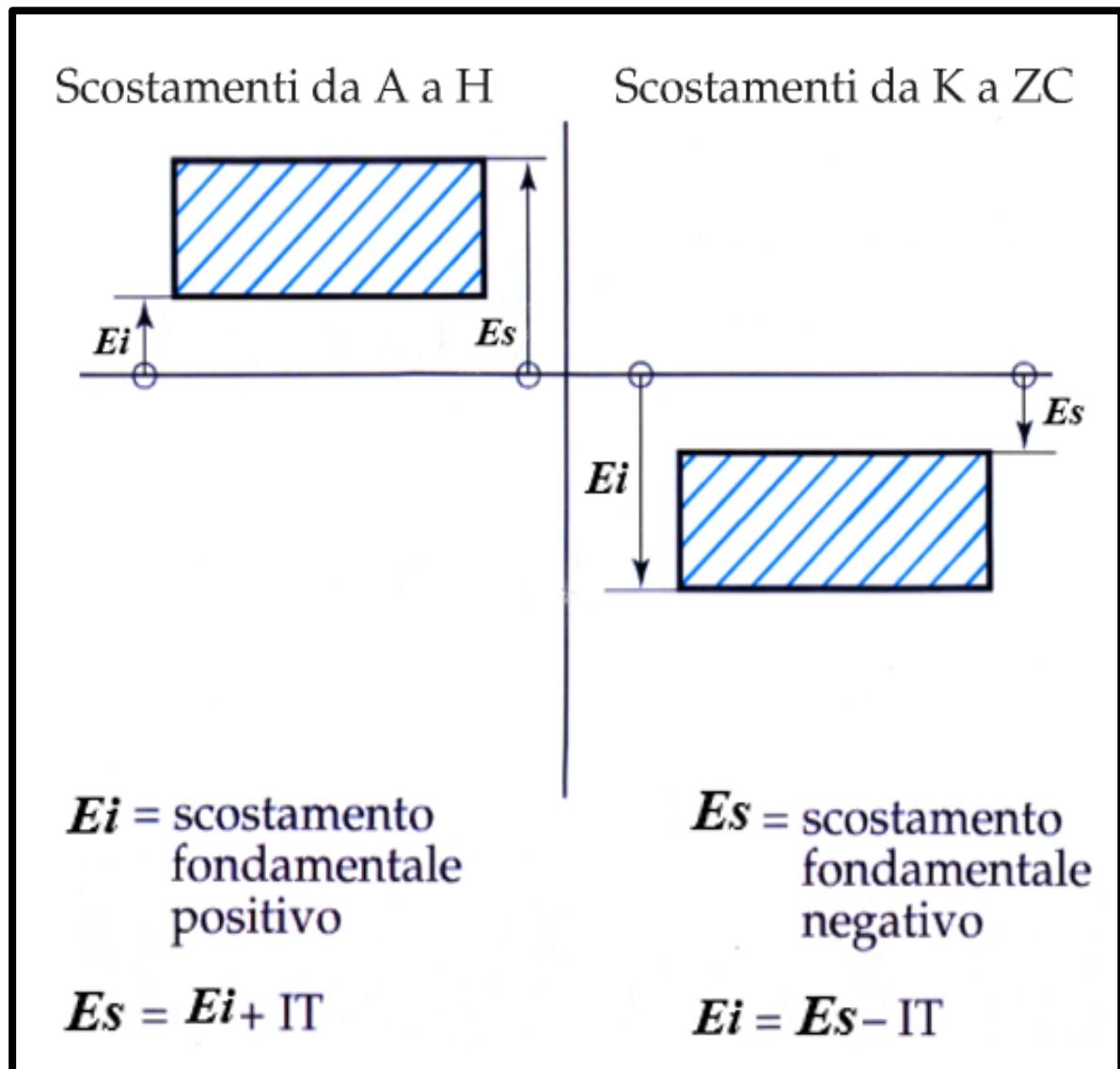


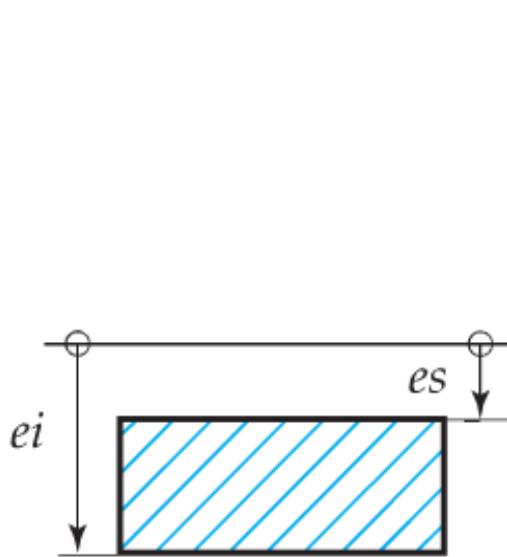
Fig. 27 – Scostamenti per fori.

Per gli alberi:

- le posizioni da **a** ad **h** sono individuate dagli **scostamenti superiori** *ei*;
- le posizioni da **k** a **zc** sono individuate dagli **scostamenti inferiori** *es* (figura 28).

La posizione **h** è quella in cui lo scostamento fondamentale superiore è nullo.

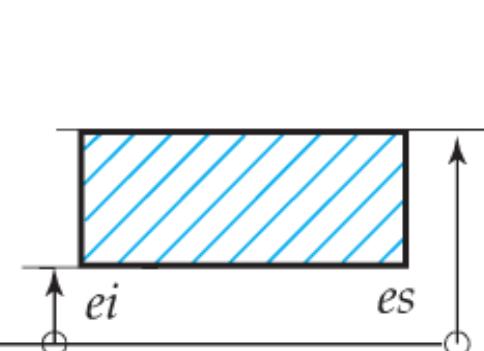
Scostamenti da **a** a **h**



$es = \text{scostamento fondamentale negativo}$

$$ei = es - IT$$

Scostamenti da **k** a **zc**



$ei = \text{scostamento fondamentale positivo}$

$$es = ei + IT$$

Fig. 28 – Scostamenti per alberi.

Gli scostamenti fondamentali **js** e **Js** prescrivono una *ripartizione simmetrica* del grado di tolleranza normalizzato rispetto alla linea dello zero (figura 29).

Di conseguenza per **js**:

$$es = ei = IT/2$$

e per **Js**:

$$Es = Ei = IT/2$$

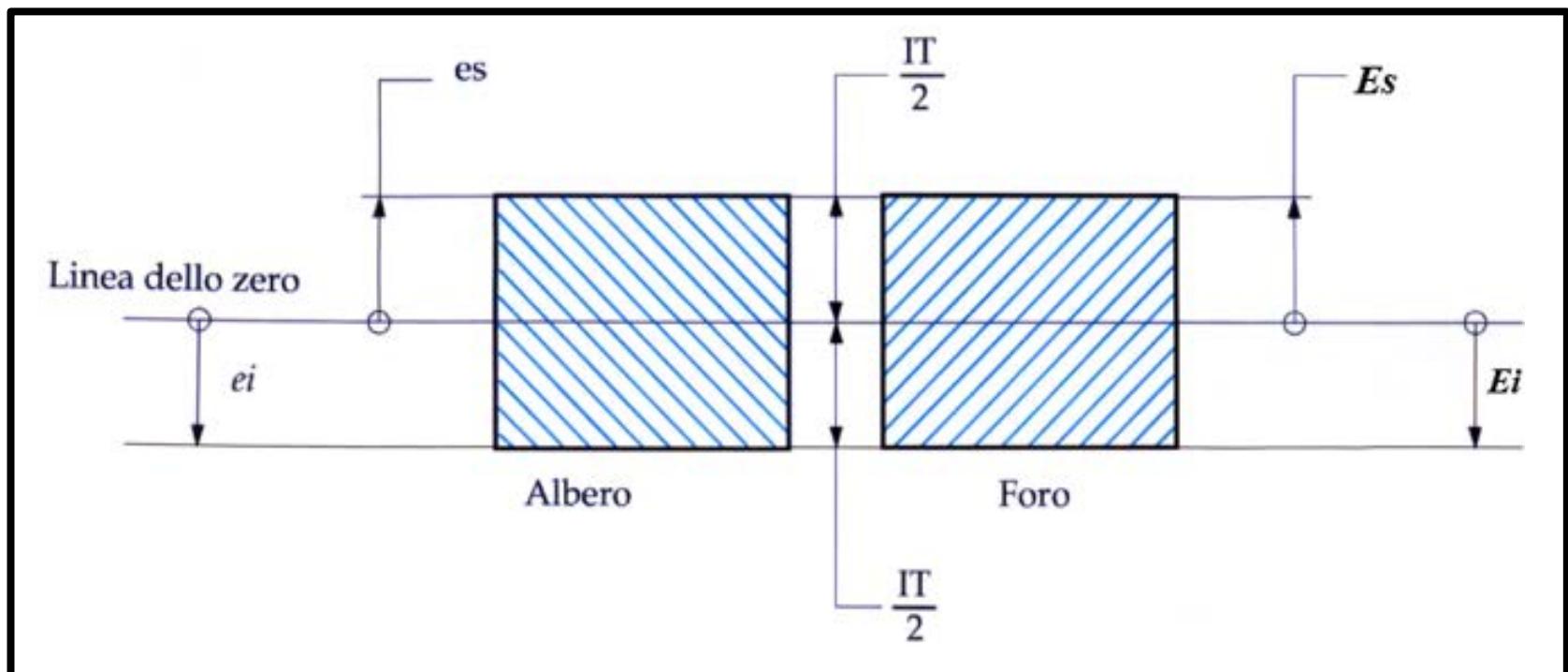


Fig. 29 – Gli scostamenti *js* e *JS*

DIMENSIONE NOMINALE mm		SCOSTAMENTI SUPERIORI ES										SCOSTAMENTI INFERIORI EI																	
		GRADI DI TOLLERANZA: TUTTI										IT5 e IT6	IT7	IT8	IT4 a IT3 e sopra a IT7	GRADI DI TOLLERANZA: TUTTI													
oltre	fino a	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js ²⁾	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
-	3 ¹⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2 -4 -6	0 0	+2 +4 +6 +10 +14		+18	+20		+26 +32 +40 +46								
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2 -4	+1 0	+4 +8 +12 +15 +19		+23	+28		+35 +42 +50 +80								
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2 -5	+1 0	+6 +10 +15 +19 +23		+28	+34		+42 +52 +67 +97								
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0									+40		+50 +64 +90 +130						
14	18																			+33	+39 +45		+60 +77 +108 +150						
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0			-3 -6	+1 0	+7 +12 +18 +23 +28			+41 +47 +54	+63	+73 +98 +136 +188							
24	30															-4 -8	+2 0	+8 +15 +22 +28 +35		+41	+48 +55 +64 +75 +88	+118 +160 +218							
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0			-5 -10	+2 0	+9 +17 +26 +34 +43		+48 +60 +68 +80 +94	+112 +148 +200 +274									
40	50	-320	-180	-130															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
50	65	-340	-190	-140															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
65	80	-360	-200	-150															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
80	100	-380	-220	-170															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
100	120	-410	-240	-180															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
120	140	-460	-260	-200															+54 +70 +81 +97 +114	+136 +180 +242 +325									
140	160	-520	-280	-210													-7 -12	+2 0	+11 +20 +32 +43 +59	+75	+102 +120 +146 +174 +210	+274 +360 +480							
160	180	-580	-310	-230													-9 -15	+3 0	+13 +23 +37 +54 +79	+104	+144 +172 +210 +254 +310	+400 +525 +690							
180	200	-660	-340	-240													-11 -18	+3 0	+15 +27 +43 +65 +100	+134	+190 +228 +280 +340 +415	+535 +700 +900							
200	225	-740	-380	-260													-13 -21	+4 0	+17 +31 +50 +80 +130	+180	+258 +335 +445 +585	+860 +1050 +1350							
225	250	-820	-420	-280													-16 -26	+4 0	+20 +34 +56 +94 +158	+218	+315 +385 +475 +580	+710 +920 +1200 +1150							
250	280	-920	-480	-300													-18 -29	+4 0	+21 +37 +62 +108 +190	+240	+350 +425 +525 +650	+790 +900 +1150 +1500							
280	315	-1050	-540	-330													-20 -32	+5 0	+23 +40 +68 +132 +252	+360	+540 +660 +820 +1000	+1300 +1700							
315	355	-1200	-600	-360															+150 +280 +400 +600										
355	400	-1350	-680	-400															+155 +310 +450 +660										
400	450	-1500	-760	-440															+175 +340 +500 +740										
450	500	-1650	-840	-480															+185 +380 +560 +840										
500	560																		+210 +430 +620 +960										
560	630																		+220 +470 +680 +1050										
630	710																		+250 +520 +780 +1150										
710	800																		+260 +580 +840 +1300										
800	900																		+300 +640 +960 +1450										
900	1000																		+330 +720 +1050 +1600										
1000	1120																		+370 +820 +1200 +1850										
1120	1250																		+400 +920 +1350 +2000										
1250	1400																		+440 +1000 +1500 +2300										
1400	1600																		+460 +1100 +1650 +2500										
1600	1800																		+550 +1250 +1900 +2900										
1800	2000																		+580 +1400 +2100 +3200										
2000	2240																												
2240	2500																												
2500	2800																												
2800	3150																												

Tab. 6 – Valori arrotondati degli scostamenti fondamentali per alberi (in μm)

DIMENS. NOMINALE mm		SCOSTAMENTI INFERIORI EI														SCOSTAMENTI SUPERIORI ES																			
		GRADI DI TOLLERANZA: tutti														GRADI DI TOLLERANZA SUPERIORI A IT7																			
oltre	fino a	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD.	D	E	EF	F	FG	G	H	Js ²⁾	-	J	K ³⁾	M ³⁾	N ³⁾	PaZC ³⁾	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC				
-	3	+ 270	+ 140	+ 60	+ 34	+ 20	+ 14	+ 10	+ 6	+ 4	+ 2	0		+ 2	+ 4	+ 6	0	0	-2	-2	-4	-4	-6	-10	-14	-18	-20	-26	-32	-40	-60				
3	6	+ 270	+ 140	+ 70	+ 46	+ 30	+ 20	+ 14	+ 10	+ 6	+ 4	0		+ 5	+ 6	+ 10	-1+Δ	-1+Δ	-4+Δ	-4	-8+Δ	0	-12	-15	-19	-23	-28	-35	-42	-50	-80				
6	10	+ 280	+ 150	+ 80	+ 56	+ 40	+ 25	+ 18	+ 13	+ 8	+ 5	0		+ 5	+ 8	+ 12	-1+Δ	-1+Δ	-6+Δ	-6	-10+Δ	0	-15	-19	-23	-28	-34	-42	-52	-67	-97				
10	14	+ 290	+ 150	+ 95		+ 50	+ 32		+ 16		+ 6	0		+ 6	+ 10	+ 15'	-1+Δ	-1+Δ	-7+Δ	-7	-12+Δ	0	-18	-23	-28	-33	-40	-50	-64	-90	-130				
14	18					+ 65	+ 40		+ 20		+ 7	0		+ 8	+ 12	+ 20	-2+Δ	-2+Δ	-8+Δ	-8	-15+Δ	0	-22	-28	-35	-41	-47	-60	-77	-108	-150				
18	24	+ 300	+ 160	+ 110					+ 25		+ 9	0		+ 10	+ 14	+ 24	-2+Δ	-2+Δ	-9+Δ	-9	-17+Δ	0	-26	-34	-43	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218		
24	30	+ 310	+ 170	+ 120		+ 80	+ 50		+ 30		+ 10	0		+ 13	+ 18	+ 28	-2+Δ	-2+Δ	-11+Δ	-11	-20+Δ	0	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	
30	40	+ 320	+ 180	+ 130					+ 36		+ 12	0		+ 16	+ 22	+ 34	-3+Δ	-3+Δ	-13+Δ	-13	-23+Δ	0	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	
40	50	+ 340	+ 190	+ 140					+ 43		+ 14	0		+ 18	+ 26	+ 41	-3+Δ	-3+Δ	-15+Δ	-15	-27+Δ	0	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	
50	65	+ 360	+ 200	+ 150					+ 50		+ 15	0		+ 22	+ 30	+ 47	-4+Δ	-4+Δ	-17+Δ	-17	-31+Δ	0	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-400	-525	-690				
65	80	+ 380	+ 220	+ 170					+ 56		+ 17	0		+ 25	+ 36	+ 55	-4+Δ	-4+Δ	-20+Δ	-20	-34+Δ	0	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	
80	100	+ 410	+ 240	+ 180					+ 62		+ 18	0		+ 29	+ 39	+ 60	-4+Δ	-4+Δ	-21+Δ	-21	-37+Δ	0	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	
100	120	+ 460	+ 260	+ 200					+ 68		+ 20	0		+ 33	+ 43	+ 66	-5+Δ	-5+Δ	-23+Δ	-23	-40+Δ	0	-68	-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	
120	140	+ 520	+ 280	+ 210					+ 76		+ 22	0					0		-26		-44		-78	-155	-310	-450	-660								
140	160	+ 580	+ 310	+ 230					+ 80		+ 24	0					0		-30		-50		-88	-175	-340	-500	-740								
160	200	+ 660	+ 340	+ 240					+ 86		+ 26	0					0		-34		-56		-100	-210	-430	-620	-940								
200	225	+ 740	+ 380	+ 260		+ 170	+ 100		+ 98		+ 28	0					0		-40		-66		-120	-220	-470	-680	-1050								
225	250	+ 820	+ 420	+ 280					+ 110		+ 30	0					0		-48		-78		-170	-282	-530	-740	-1100	-1450	-1850	-2400					
250	280	+ 920	+ 480	+ 300					+ 120		+ 32	0					0		-58		-92		-170	-210	-400	-600	-820	-1000	-1300	-1650	-2100				
280	315	+ 1050	+ 540	+ 330					+ 130		+ 34	0					0		-68		-110		-195	-460	-1100	-1650	-2500								
315	355	+ 1200	+ 600	+ 360					+ 145		+ 38	0					0		-76		-135		-240	-580	-1400	-2100	-3200								
355	400	+ 1350	+ 680	+ 400																															
400	450	+ 1500	+ 760	+ 440																															
450	500	+ 1650	+ 840	+ 480																															
500	560																																		
560	630																																		
630	710																																		
710	800																																		
800	900																																		
900	1000																																		
1000	1120																																		
1120	1250																																		
1250	1400																																		
1400	1600																																		
1600	1800																																		
1800	2000																																		
2000	2240																																		
2240	2500																																		
2500	2800																																		
2800	3150																																		

Valori come per i gradi di tolleranza normalizzati sopra IT7 incrementata di $\frac{IT}{2}$, dove n è il valore del grado di tolleranza

Tab. 7 - Valori arrotondati degli scostamenti fondamentali *per fori* (in μm)

IMPORTANTE

NOTE relative alle tabelle 6 e 7:

- 1) NON utilizzare gli scostamenti fondamentali **a, b, A, B** per dimensioni nominali ≤ 1 mm; NON utilizzare lo scostamento **N** quando **IT > 8**; nella fascia 250-315 mm per **M6** ES = -9 μm amzichè -11 μm ;
- 2) Per le classi **da js7 a js11** e **da JS7 a JS11**, se il valore di IT a tabella è dispari, si arrotonda al numero pari immediatamente inferiore affinchè lo scostamento risultante $\pm \frac{ITn}{2}$ sia espresso in un numero intero di μm ;
- 3) Per determinare i valori corrispondenti a **K, M, N** quando **IT ≤ 8** e **da P a ZC** quando **IT ≤ 7** occorre calcolare il valore di Δ come spiegato nel seguito.

Gli scostamenti dei fori, fatta eccezione per gli scostamenti fondamentali particolari già menzionati, sono simmetrici, cioè uguali ma di segno opposto, a quelli di ugual lettera degli alberi.

Il valore Δ che compare nella tabella 7 rappresenta la differenza $IT_n - IT_{(n-1)}$ tra la tolleranza fondamentale del gruppo delle dimensioni nominali nel grado stabilito e la tolleranza corrispondente nel grado più preciso immediatamente inferiore

Ad esempio, per il calcolo di Δ per P7 nel gruppo di dimensioni nominali da 18 a 30 mm, si ha (cfr. tab. 4):

$$\Delta = IT_7 - IT_6 = 21 - 13 = 8 \mu\text{m}$$

e di conseguenza:

$$Es = -22 + 8 = 14 \mu\text{m}$$

Gli scostamenti fondamentali riportati nelle tabelle 6 e 7 rispettivamente per gli alberi e per i fori sono calcolati con formule particolari, riportate nella norma UNI 286/1.

Per comodità d'uso esistono tabelle in cui sono indicati entrambi gli scostamenti per i vari gruppi dimensionali, posizioni e gradi di tolleranza.

Riassumendo, a parità di ampiezza del campo di tolleranza, si possono scegliere tre distinte posizioni rispetto alla quota nominale:

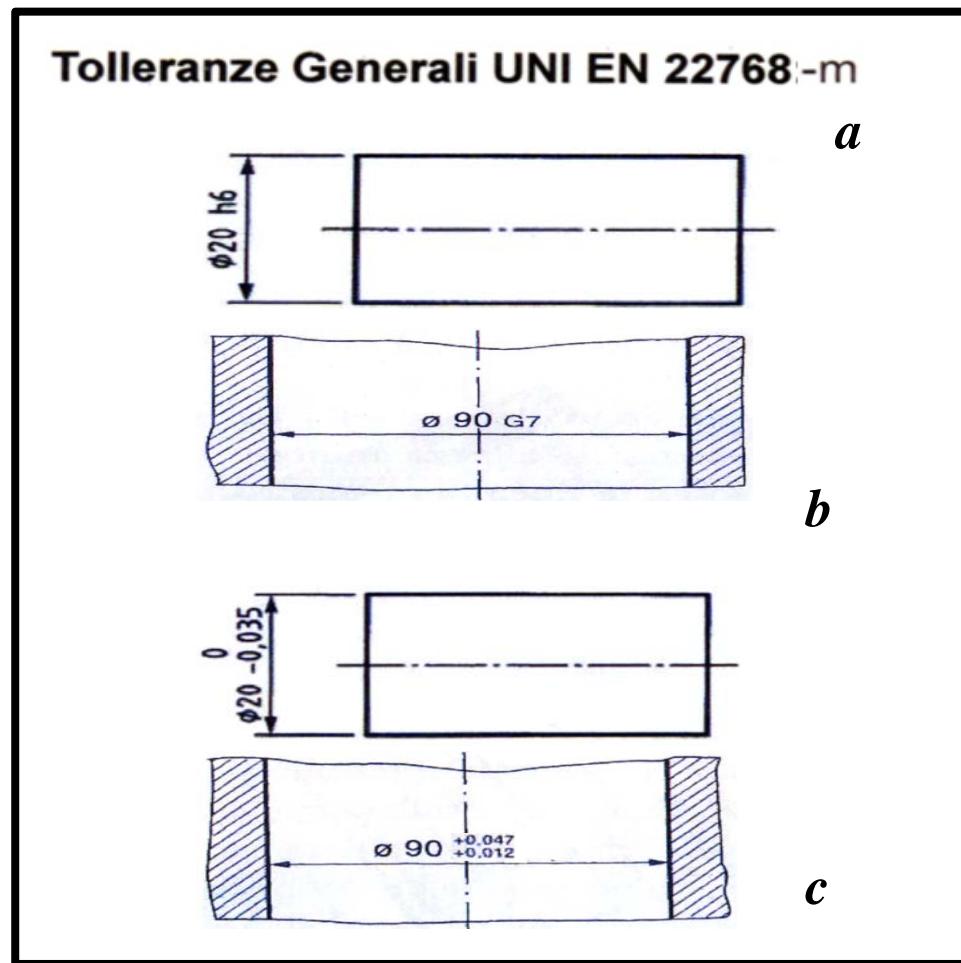
- 1)** una posizione del campo tale da dar luogo ad una dimensione effettiva sempre *minore o uguale di quella nominale* (posizioni da **a** fino ad **h** per gli alberi e posizioni da **N** fino a **ZC** per i fori);
- 2)** una posizione nella quale il pezzo può assumere una dimensione effettiva o *maggiore oppure minore di quella nominale*, in quanto il suo campo di tolleranza si estende sia al di sopra che al di sotto della quota nominale (posizioni **j** e **js** per gli alberi e posizioni da **J** fino a **M** per i fori);
- 3)** una posizione del campo tale da dar luogo ad una dimensione effettiva sempre *maggiore o uguale a quella nominale* (posizioni da **k** fino a **zc** per gli alberi e posizioni da **A** fino ad **H** per i fori).

Indicazione delle tolleranze dimensionali nei disegni

Le tolleranze nelle quote dei singoli pezzi possono essere indicate con diverse modalità:

- 1) **Tolleranze generali di lavorazione** (figura 30a): vanno **sempre indicate all'interno o nei pressi del cartiglio** (*vedi Appendice 2: Quote senza indicazione della tolleranza*);
- 2) **Dimensione nominale + codifica ISO della tolleranza** (figura 30b): vanno indicate per le **lavorazioni che richiedono particolare precisione** ed è il metodo da preferire;
- 3) **Dimensione nominale \pm scostamenti limite** (figura 30c): vanno indicate per le lavorazioni che richiedono particolare precisione.

Fig. 30



L'indicazione delle tolleranze nelle quote degli **accoppiamenti tra alberi e fori**, nel disegno dei gruppi, avviene utilizzando le tolleranze secondo il sistema ISO indicando:

- la **dimensione nominale**, comune ai due pezzi;
- i **simboli che designano la tolleranza del foro e poi quelli relativi all'albero**, separando i due con una barretta obliqua o scrivendoli come una frazione.

Ad esempio:

$$45 H8/g7 \text{ oppure } 45 \frac{H8}{g7}$$

Si noti (figura 28) come l'indicazione relativa al **foro preceda** sempre quella relativa all'**albero**. L'indicazione riportata in figura 31a è la più usata.

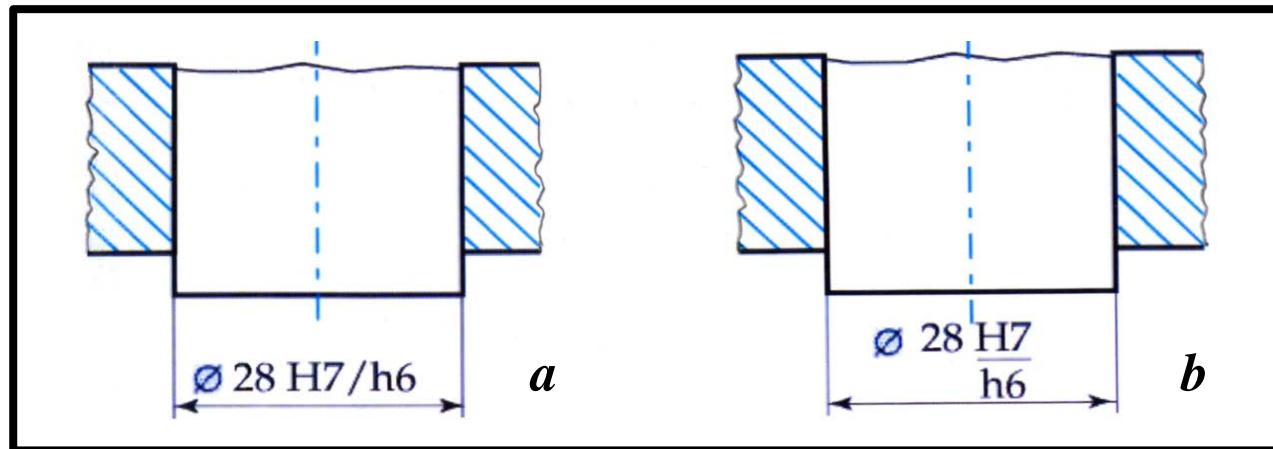


Fig. 31 – Indicazione delle tolleranze nei pezzi accoppiati con la designazione ISO.

Nota per le tolleranze degli accoppiamenti tra alberi e fori

Nella pratica generale si osserva che, lavorando con la stessa accuratezza, si realizzano più facilmente le dimensioni esterne che quelle interne, cioè gli alberi sono più precisi dei fori e la finitura dei fori è in genere più costosa e difficoltosa di quella degli alberi.

Per questi motivi di solito **si accoppia un albero di grado di tolleranza normalizzato IT_n con un foro di grado IT(_n + 1)** (ad esempio : H7/f6, E8/h7).

In linea di massima i gradi di tolleranza di due elementi accoppiati non dovrebbero differire **di più di due valori**.

Analisi delle tolleranze

Analisi delle tolleranze

La figura 32a mostra la rappresentazione grafica delle tolleranze e gli scostamenti per **un foro** con diametro nominale $D = 75$ mm e tolleranza G7.

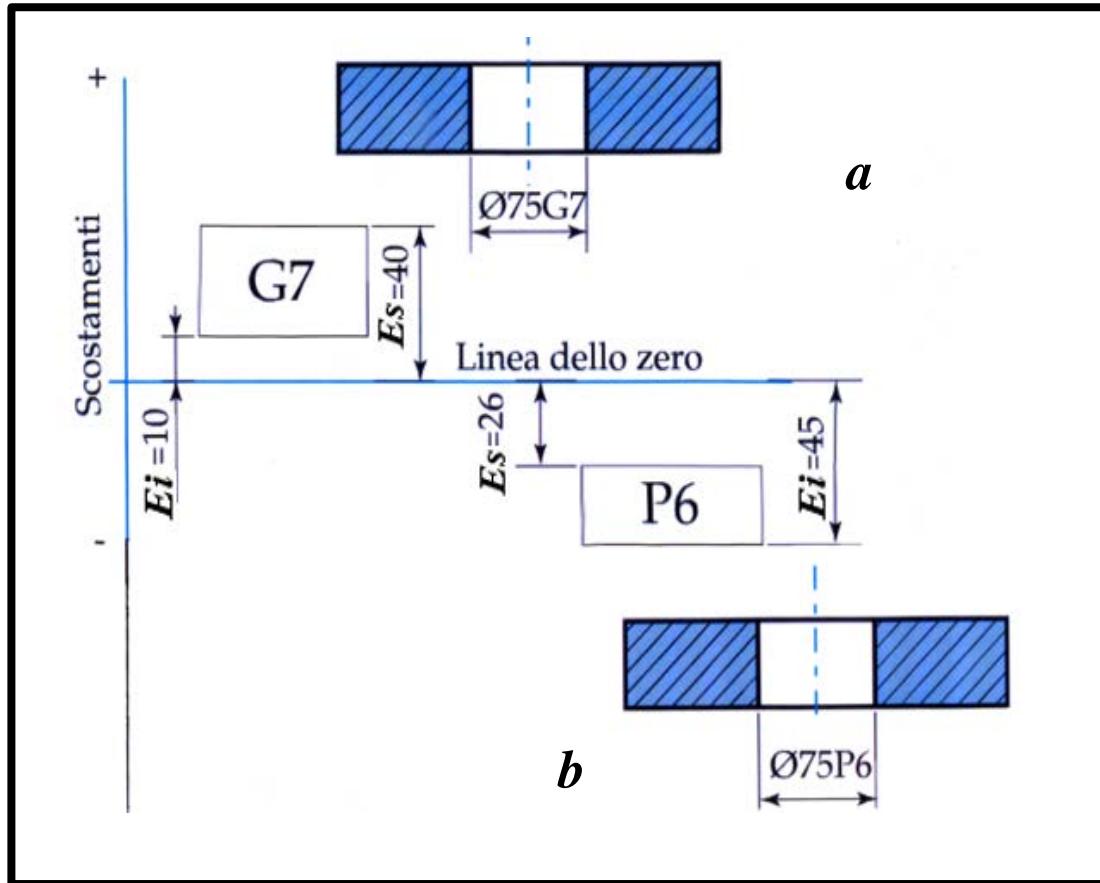


Fig. 32 – Tolleranze e scostamenti per un foro con $D=75$ mm e tolleranze G7 e P6.

Prima si deve cercare nella tabella 3 il valore della *tolleranza* corrispondente alla qualità **IT7**: per un foro con diametro nominale $D = 75$ mm compreso nel gruppo oltre 50 e fino a 80 mm, si trova $IT = 30 \mu\text{m}$.

Dimensione nominale mm	GRADI DI TOLLERANZA NORMALIZZATI													
	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
oltre	fino a	Tolleranze μm												
-	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14 0,25
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18 0,3
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22 0,36
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27 0,43
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33 0,52
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39 0,62
→ 50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46 0,74
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54 0,87

Tab. 3 ripetuta – per una dimensione da 50 a 80, $IT7 = 30 \mu\text{m}$.

Poi si cerca nella *tabella 7* il valore dello *scostamento fondamentale* per la **lettera G**: si trova + 10 µm e la tabella segnala che questo è lo *scostamento inferiore Ei*. Sommando *Ei* con *IT* si ottiene il valore dello *scostamento superiore Es*:

$$Es = Ei + IT = 10 + 30 = 40 \mu m$$

DIMENS. NOMINALE MM	SCOSTAMENTI INFERIORI EI											
	GRADI DI TOLLERANZA: TUTTI											
	oltre	fino a	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G
-	3	+ 270	+ 140	+ 60	+ 34	+ 20	+ 14	+ 10	+ 6	+ 4	+ 2	0
3	6	+ 270	+ 140	+ 70	+ 46	+ 30	+ 20	+ 14	+ 10	+ 6	+ 4	0
6	10	+ 280	+ 150	+ 80	+ 56	+ 40	+ 25	+ 18	+ 13	+ 8	+ 5	0
10	14					+ 50	+ 32		+ 16		+ 6	0
14	18	+ 290	+ 150	+ 95								
18	24				+ 65	+ 40		+ 20			+ 7	0
24	30	+ 300	+ 160	+ 110							+ 9	0
30	40	+ 310	+ 170	+ 120							+10	0
40	50	+ 320	+ 180	+ 130								
50	65	+ 340	+ 190	+ 140								
65	80	+ 360	+ 200	+ 150								
80	100	+ 380	+ 220	+ 170								
100	120	+ 410	+ 240	+ 180								

Tab. 7 (per i fori) ripetuta –
Per una dimensione da 65 a 80, $G = +10$.

Il diametro del foro sarà pertanto compreso fra i due seguenti valori massimo e minimo:

- diametro massimo $D_{max} = D + Es = 75,040 \text{ mm}$;
- diametro minimo $D_{min} = D + Ei = 75,010 \text{ mm}$.

Per il foro dimensionato 75 P6 (figura 32b), nella tabella 7 si nota che, essendo il grado normalizzato inferiore a IT8, esiste la colonna intestata **P a ZC**; nel caso nostro $IT = 6$ e quindi dobbiamo usare i valori di questa colonna. In essa è indicato di prendere il valore corrispondente a P con grado maggiore di IT7 (e quindi -32, scostamento superiore Es) e di aumentarlo di Δ .

DIMENS. NOMINALE MM		SCOSTAMENTI SUPERIORI ES									
oltre	fino a	fino a IT8	oltre IT8	fino a IT8	oltre IT8	fino a IT7	GRADI D				
M ³⁾	N ³⁾	P ^{aZC³⁾}	P	R	S	T					
-	3	-2	-2	-4	-4						
3	6	-4+Δ	-4	-8+Δ	0						
6	10	-6+Δ	-6	-10+Δ	0						
10	14	-7+Δ	-7	-12+Δ	0						
14	18										
18	24	-8+Δ	-8	-15+Δ	0						
24	30										
30	40	-9+Δ	-9	-17+Δ	0						
40	50										
50	65	-11+Δ	-11	-20+Δ	0						
65	80										
80	100	-13+Δ	-13	-23+Δ	0						
100	120										

valore da Δ



Tab. 7 (per i fori) ripetuta – Per una dimensione da 65 a 80, $P = -32$

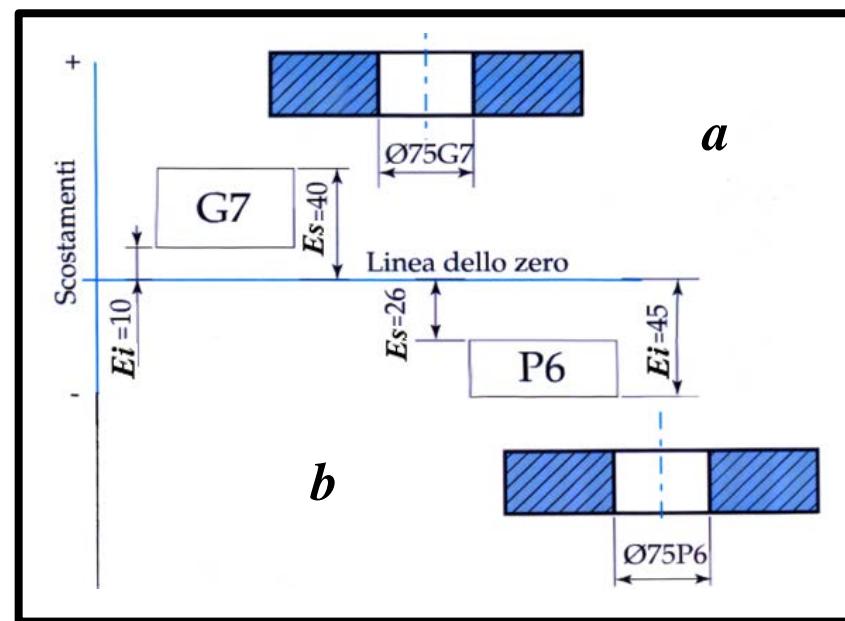


Fig. 32 ripetuta

Il valore Δ che compare nella tabella 7 rappresenta la differenza tra la tolleranza fondamentale del gruppo delle dimensioni nominali nel grado stabilito e la tolleranza corrispondente nel grado più preciso immediatamente inferiore:

$$\Delta = IT_n - IT(n-1)$$

Nel nostro caso sarà, $IT6 - IT5 = 19 - 13 = 6$.

Allora il valore dello scostamento fondamentale è:

$$Es = -32 + 6 = -26 \mu m$$

Si cerca poi il valore della tolleranza corrispondente al grado IT6 (vedi tabella 3) e si trova 19 μm . Applicando le formule note si determina lo scostamento inferiore:

$$Ei = Es - IT = -26 - 19 = -45 \mu m$$

Si verifica infine l'ampiezza della tolleranza:

$$IT6 = Es - Ei = -26 - (-45) = 19 \mu m$$

La figura 33 mostra invece la rappresentazione grafica delle tolleranze per un **accoppiamento** su un diametro nominale $D = 30$ mm, avendo il foro la tolleranza H7 e *due diversi alberi* con tolleranze g6 e p6, rispettivamente.

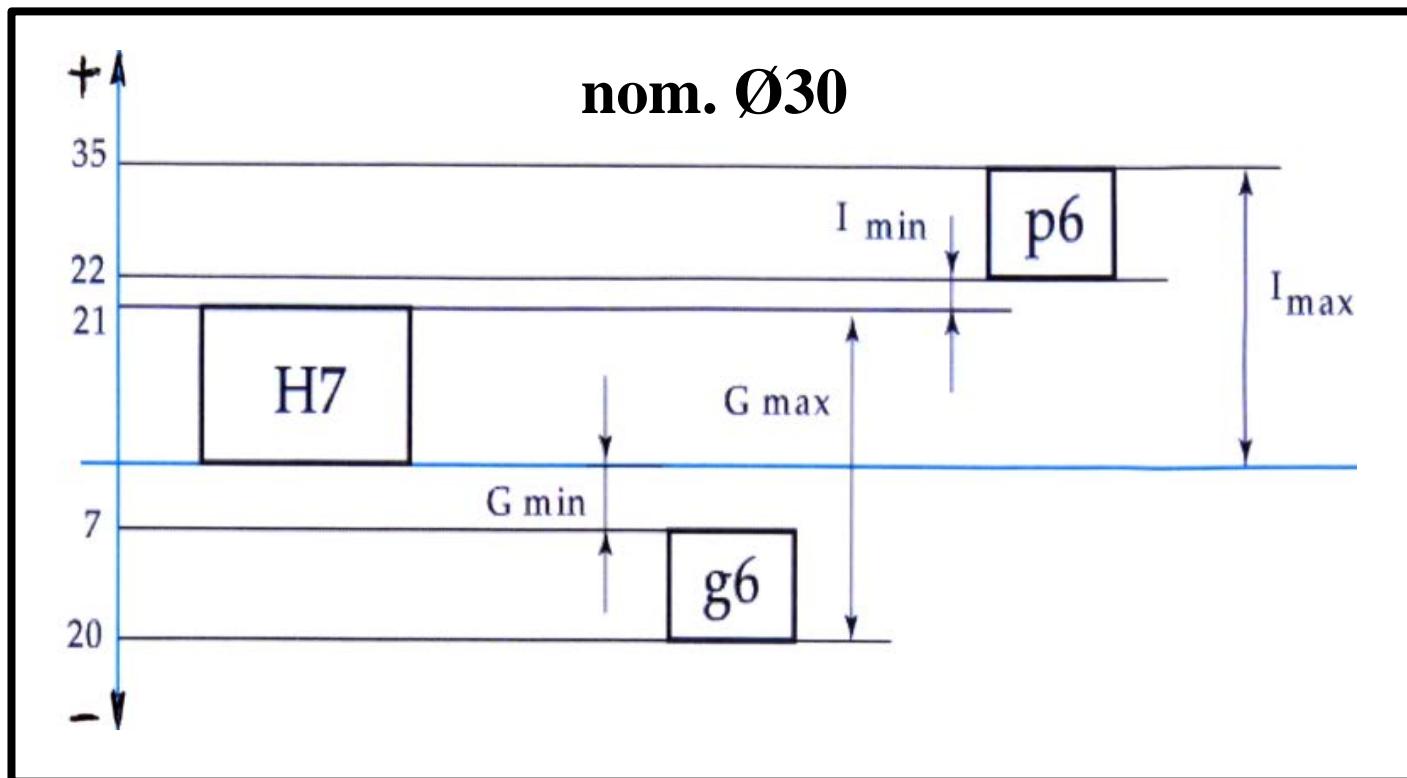


Fig. 33

Procedendo come è stato spiegato nell'esempio precedente si cerca:

- a) nella Tabella 3 i valori di **IT 7** per il foro di diametro che varia da **18 a 30** e si ha **IT = 21** e il valore di **IT6** per gli alberi da **18 a 30** e si ha **IT = 13**;
- b) nella Tabella 7 il valore di **H** per D variabile da 24 a 30, che è **0**: ne consegue che **H7** varia da **0 a + 21**;
- c) nella Tabella 7, per D variabile da 24 a 30, si ha **g = -7**: ne consegue che **g6** varia da **-7 a -20**. Sempre dalla stessa tabella **p = + 22**: ne consegue che **p6** varia da **+ 22 a + 35**.

QUINDI:

accoppiamento **H7 - g6 (con gioco)**:

gioco massimo $G_{\max} = ES - ei = D_{\max f} - D_{\min a} = 21 + (7+13) = 41 \mu\text{m}$;

gioco minimo $G_{\min} = EI - es = D_{\min f} - D_{\max a} = 0 + 7 = 7 \mu\text{m}$;

accoppiamento **H7 - p6 (con interferenza)**:

interferenza massima $I_{\max} = es - Ei = D_{\max a} - D_{\min f} = + 35 - 0 = 35 \mu\text{m}$;

Interferenza minima $I_{\min} = ei - Es = D_{\min a} - D_{\max f} = + 22 - (+21) = 1 \mu\text{m}$.

Dimensione nominale mm		GRADI DI TOLLERANZA							
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
oltre	fino a						μm		
-	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39

Tab. 3 ripetuta

DIMENS. NOMINALE MM		SCOSTAMENTI INFERIORI EI										
		GRADI DI TOLLERANZA: TUTTI										
oltre	fino a	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H
-	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0
10	14	+290	+150	+95		+50	+32			+16		
14	18					+65	+40			+20		
18	24	+300	+160	+110		+65	+40			+7	0	
24	30					+80	+50			+25		
30	40	+310	+170	+120						+9	0	
40	50	+320	+180	+130								

Tab. 7 (per i *fori*) ripetuta

DIMENSIONE NOMINALE mm		SCOSTAMENTI SUPERIORI ES										SCOSTAMENTI INFERIORI EI										
		GRADI DI TOLLERANZA: TUTTI										IT5 e IT6	IT7	IT8	IT4 a IT7	fino a IT3 e sopra a IT7						
oltre	fino a	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js ²⁾	j	k	m	n	p	r	s		
-	3 ¹⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	+2	+4	+6	+10	+14
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23
10	14													-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35
18	24													-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-5	-10	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0										
40	50	-320	-180	-130																		

Tab. 6 (per gli *alberi*) ripetuta

Sistema di accoppiamento

Foro Base

Sistema di accoppiamento

Albero Base

Combinando a due a due gli alberi ed i fori previsti nel sistema di tolleranze ISO, ne risulterebbe una serie molto elevata di accoppiamenti.

Per ridurli sono usati **due sistemi di accoppiamenti**:

- a) **Albero base**: è un insieme sistematico di accoppiamenti nel quale i diversi giochi ed interferenze sono ottenuti **combinando fori aventi diverse zone di tolleranza con un albero base avente la posizione h** (cioè la dimensione limite massima dell'albero è uguale a quella nominale, lo scostamento superiore nullo). Esempi: **40H6/h5, 28G7/h6**.
- b) **Foro base**: è un insieme sistematico di accoppiamenti ottenuti **combinando alberi aventi diverse zone di tolleranza con un foro base avente la posizione H** (cioè la dimensione limite minima del foro è uguale a quella nominale, lo scostamento inferiore è nullo). Esempi: **18H6/g5, 32H7/j6**.

Sistema di accoppiamento FORO BASE:

Il sistema di accoppiamento foro-base è l'insieme di accoppiamenti nel quale la **dimensione minima del foro coincide sempre con la dimensione nominale** (posizione H, EI = 0). I diversi accoppiamenti si ottengono variando la posizione e il grado di tolleranza dell'albero come si deduce dalla figura 34. 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.

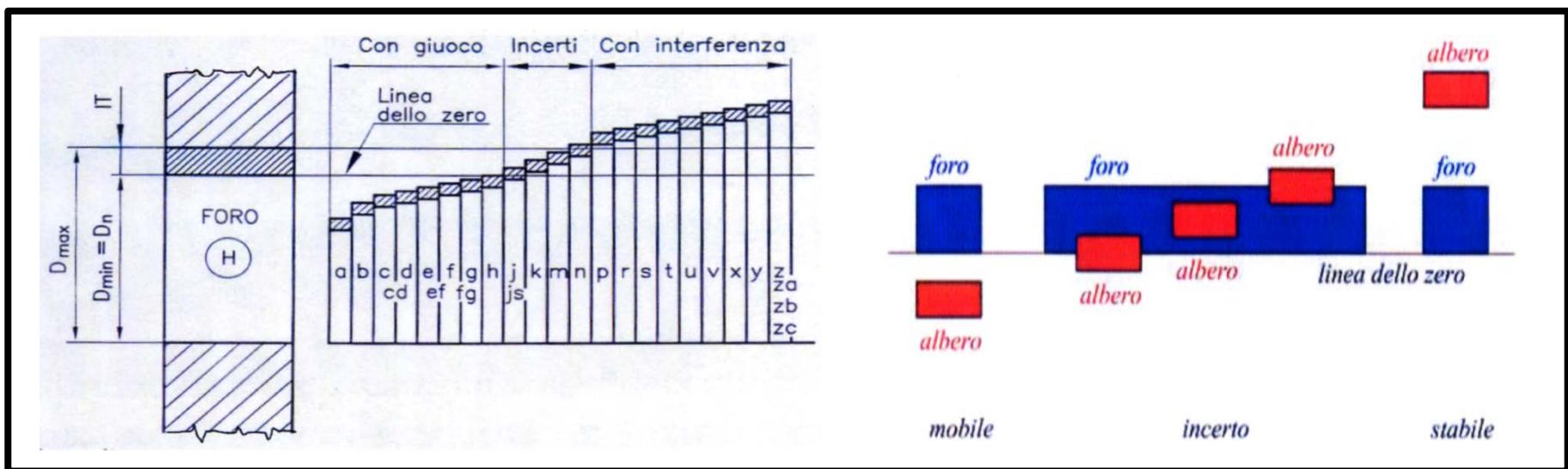


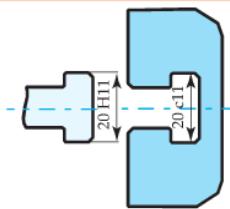
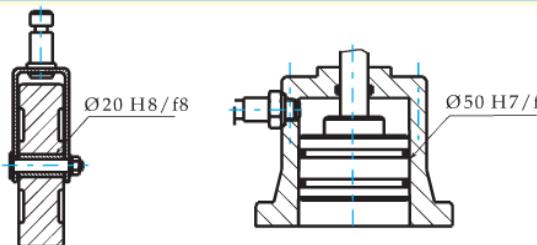
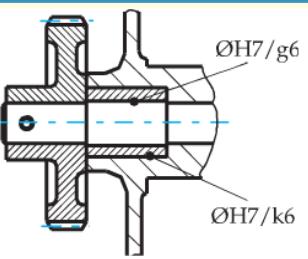
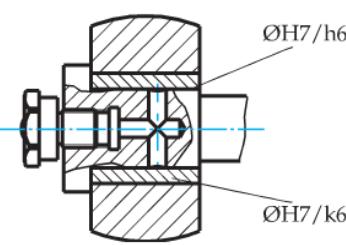
Fig. 34 – sistemi di accoppiamento *FORO BASE* con la zona di tolleranza del foro integralmente sopra la linea dello zero. Rispetto a questa configurazione lo scostamento della tolleranza dell'albero può disporsi liberamente.

In tabella 8 sono riportati alcuni accoppiamenti **foro base** di uso comune, con le caratteristiche di applicazione, di montaggio e le definizioni principali.

EXTRA PRECISI								PRECISI										MEDIO PRECISI								GROSSOLANI					
Foro	Albero							Foro	Albero							Foro	Albero							Foro							
H6	p5	n5	k6	js6	h6	g5	f6	H7	u7	s6	r6	p7	n6	m6	k7	h6	g6	f7	H8	n8	k7	js7	h7	h8	f7	f8	e8	d8	H11	h11	c11
Tipo di accoppiamento	Bloccato alla pressa	Bloccato serrato	Bloccato leggero	Bloccato a spinta	Con scorrimento	Libero stretto	Libero normale	Tipo di accoppiamento	Bloccato a caldo	Bloccato a caldo	Bloccato a caldo	Bloccato alla pressa	Bloccato serrato	Bloccato normale	Bloccato leggero	Con scorrimento	Libero stretto	Libero normale	Tipo di accoppiamento	Bloccato serrato	Bloccato leggero	Bloccato a spinta	Con scorrimento	Con scorrimento	Libero normale	Libero largo	Libero ampio	Tipo di accoppiamento	Con scorrimento	Libero ampissimo	
Rettificatura, alta precisione Montaggio cuscinetti, tenute idrauliche								Rettificatura, media precisione Rettificatura alberi, alesatura								Lavorazioni alle macchine utensili Tornitura, fresatura, alesatura								Qualsiasi tipo di macchina							
Bloccato a spinta: montaggio a mano forzando leggermente Bloccato leggero: montaggio a pressione con mazzuolo Bloccato normale: montaggio a pressione con torchietto Bloccato serrato: montaggio a pressione eventualmente con differenza di temperatura Bloccato alla presa: montaggio a pressione eventualmente con differenza di temperatura								Bloccato a caldo: con differenza di temperatura tra i due pezzi Con scorrimento: parti rotanti o scorrevoli con buona lubrificazione Libero stretto: accoppiamenti mobili a bassa velocità Libero normale: pezzi rotanti ad alta velocità Libero largo e ampio: pezzi che richiedono molto gioco								Lavorazioni alle macchine utensili Tornitura, fresatura, alesatura								Qualsiasi tipo di macchina							

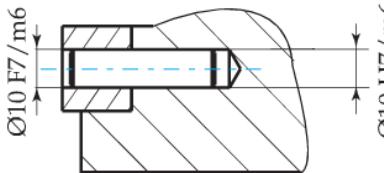
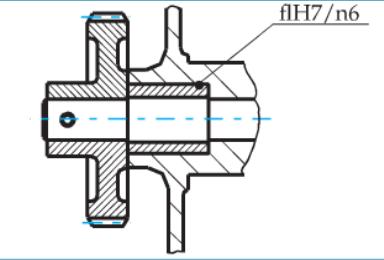
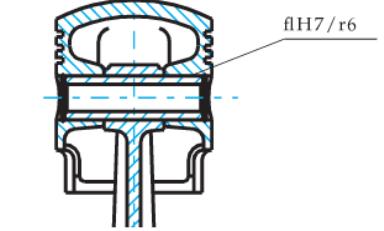
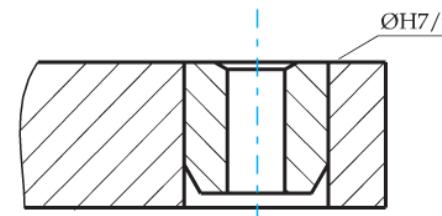
Tab. 8 – Accoppiamenti raccomandati foro base.

ACCOPIAMENTI MOBILI

ACCOPIAMENTO	APPLICAZIONE	ESEMPI
Precisione ↑ Libero largo H8/e8 H8/d8 H11/c11	Montaggio con gioco abbondante; perni per leve e articolazioni in macchine agricole, senza esigenze di precisione.	 Guida
Precisione ↑ Libero normale H7/f6 H7/f7 H8/f7 H8/f8	Accoppiamenti rotanti molto veloci, con centratura anche imperfetta e bassi carichi, accoppiamenti pistone cilindro nei comandi oleodinamici.	 Accoppiamento albero-bronzina pistone-cilindro
Precisione ↑ Libero stretto H6/g5 H7/g6	Accoppiamenti rotanti a bassa velocità, con buona centratura e precisione di guida; accoppiamento albero-bronzina.	 Accoppiamenti rotanti con buona centratura
Precisione ↑ Di scorrimento H6/h5 H6/h6 H7/h6 h11/h11	Montaggi e centrature ad alta precisione, scorrevoli assialmente e dotati di moto rotatorio lento o a carattere oscillante con buona lubrificazione; accoppiamento biella-manovella, anelli interni di cuscinetti a sfera	 Accoppiamento albero-bronzina con buona lubrificazione

Tab. 9 – Esempi di accoppiamenti mobili con FORO BASE

ACCOPIAMENTI STABILI

	ACCOPIAMENTO	APPLICAZIONE	ESEMPI
Precisione ↑	H6/js5 H6/js6 H7/m6 Bloccato a spinta	Accoppiamenti di precisione di parti reciprocamente fisse; accoppiamenti stretti scorrevoli assialmente; montaggio a mano con mazzuolo.	 <p>Guida</p>
Precisione ↑	H6/n5 H7/n6 H8/n8 Bloccato serrato	Accoppiamenti bloccati, non smontabili a mano; parti che non necessitano di essere bloccate assialmente ma solo assicurate contro la reciproca rotazione; bronzina nella loro sede esterna, boccole di guida, ingranaggi collegati con linguetta.	 <p>Accoppiamento albero-bronzina pistone-cilindro</p>
Precisione ↑	H6/p5 H7/p7 H7/n6 Bloccato alla pressa	Accoppiamenti bloccati non scomponibili, adatti a trasmettere forti carichi assiali e momenti torcenti; trasmissioni senza linguette o scanalati, bronzine nella loro sede da non smontarsi mai.	 <p>Accoppiamenti rotanti con buona centratura</p>
Precisione ↑	H7/s6 H7/u7 Bloccato a caldo	Organi fissi a bloccaggio fortissimo, non scomponibili senza danneggiare irreparabilmente i pezzi, accoppiamenti per trasmettere forti carichi, senza chiavette, giranti per pompe nella loro sede.	 <p>Accoppiamento albero-bronzina con buona lubrificazione</p>

Tab. 10 – Esempi di accoppiamenti stabili con FORO BASE

Sistema di accoppiamento ALBERO BASE

Il sistema di accoppiamento albero-base è l'insieme di accoppiamenti nel quale **la dimensione massima dell'albero coincide sempre con la dimensione nominale** (posizione h , es = 0). I diversi accoppiamenti si ottengono variando la posizione e il grado di tolleranza del foro come si deduce dalla figura 35. 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 trafiletti, calibrati o rettificati, messi in commercio già lavorati con la posizione della tolleranza « h ».

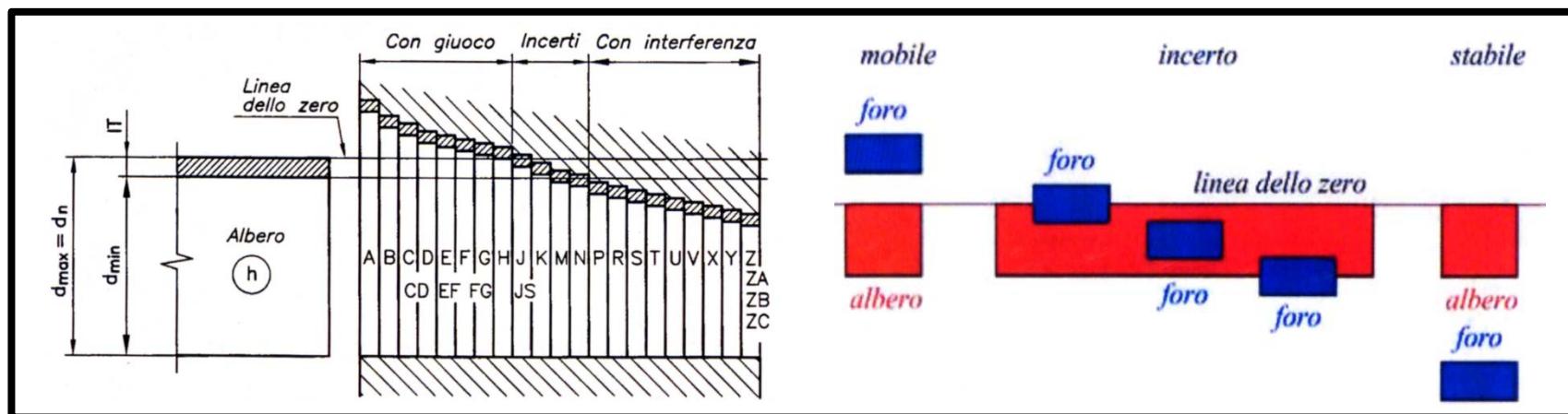


Fig. 35 – sistemi di accoppiamento ALBERO BASE con la zona di tolleranza dell'albero integralmente sotto la linea dello zero. Rispetto a questa configurazione lo scostamento della tolleranza del foro può disporsi liberamente

In tabella 10 sono riportati alcuni accoppiamenti **albero base** di uso comune, con le caratteristiche di applicazione, di montaggio e le definizioni principali.

ACCOPPIAMENTI RACCOMANDATI "ALBERO BASE" DI IMPIEGO COMUNE					
PRECISIONE	ACCOPPIAMENTO				
	LIBERO	MOBILE DI SCORRIMENTO	INCERTO SMONTABILE	BLOCCATO LEGGERO non smontabile a mano	BLOCCATO 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 gioco abbondante	F8/h7 – Movimento relativo con gioco sensibile			
GROSSOLANA	D10/h8 – Parti scorrevoli, gioco abbondante senza esigenze di precisione				

Tab. 11 – sistemi di accoppiamento ALBERO BASE

Appendice 1: nota sulla derivazione delle tabelle di tolleranza

Facoltativo



Nota sui numeri normali

Si definisce **ragione** di una **progressione geometrica** il rapporto tra l'elemento $(i+1)$ -esimo e l'elemento i -esimo. La ragione della progressione rappresenta un incremento relativo costante tra i termini della serie.

Serie di Renard (o dei numeri normali)

Le serie di Renard sono serie geometriche per le quali il valore della costante K (ragione della serie) è dato dalla relazione:

$$K = \frac{\Phi(i+1)}{\Phi(i)} = 10^{\frac{1}{n}} \text{ con } n = (5; 10; 20; 40)$$



$$\Phi(0) = 1; \quad \Phi(i+1) = \Phi(i)10^{1/n}$$

Definizione ricorsiva



$$\Phi(i) = 10^{i/n}$$

Definizione sintetica

Le dimensioni degli organi meccanici sono scelte tra i numeri normali, successioni in progressione geometrica di ragione:

$$\sqrt[5]{10}, \sqrt[10]{10}, \sqrt[20]{10}, \sqrt[40]{10}$$

Che danno luogo alle serie R5, R10, R20 e R40.

Facoltativo

Numeri normali

Per la serie R5 ($\sqrt[5]{10}$) la ragione è: 1.584, da cui discendono i valori dimensionali (arrotondati): 1.6 - 2.5 - 4 - 6 - 10 - 16 - ecc.

Si noti come un elemento i -esimo della serie R5 abbia dimensione 10 volte più grande rispetto all'elemento $(i-5)$ -esimo.

La serie R40
(ragione 1.0593)
contiene la serie R20.

La serie R20
(ragione 1.122)
contiene la R10.

La serie R10
(ragione 1.259)
contiene la R5
(ragione 1.584)

R5	R10	R20
1	1	1
		1.12
	1.25	1.25
		1.4
1.6	1.6	1.6
		1.8
	2	2
		2.25
	2.5	2.5
		2.5
		2.8
	3.15	3.15
		3.5
4	4	4

Facoltativo

Unità di tolleranza per dimensioni < 500 mm

L'ampiezza della tolleranza è individuata dalla **dimensione nominale D** e dalla **qualità di lavorazione**.

Per semplicità, i valori riportati dalle norme non sono stati calcolati separatamente per ciascuna dimensione nominale, ma per gruppi di dimensioni nominali e sono riferiti alla media geometrica (D) delle dimensioni estreme (D_1 e D_2) del gruppo considerato, cioè:

$$D = \sqrt{D_1 + D_2}$$

Per definire i valori delle qualità di tolleranza si fa riferimento all'**unità di tolleranza i**, che vale:

$$\begin{cases} \text{IT 5} \div 18 \\ 1 < D \leq 500 \end{cases} \rightarrow i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001 D$$

Incertezze di misura
termine significativo per $D > 80$ mm

Legge di crescita meno veloce della linearità

NOTA: i è da intendersi in um, sebbene il valore utilizzato per D nella formula sia in mm.

Unità di tolleranza per dimensioni fino a 3150 mm

Per dimensioni nominali comprese tra 500 e 3150 mm, il sistema ISO definisce 18 qualità di tolleranze (da 1 a 18)

l'unità di tolleranza è calcolata (sempre per qualità di tolleranza compresa tra 5 e 18) con la formula:

$$i=0.004 D+2.1$$

NOTA: i è da intendersi espresso in μm , sebbene il valore utilizzato per D nella formula sia in mm .

I valori della tolleranza, infine, sono ottenuti moltiplicando il valore di i così trovato per un fattore che dipende dalla qualità della lavorazione; per esempio, per IT da 5 a 18 tali fattori sono gli elementi della serie R5 compresi tra 7 e 2500.

IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i

Facoltativo

Calcolo del grado di tolleranza

Per semplicità, sono previsti vari gruppi di dimensioni nominali, a loro volta divisi in due categorie: fino a 500 mm e da oltre 500 mm a 3150 mm; i risultati dei calcoli, effettuati sulla base della media geometrica D delle dimensioni estreme di ciascun gruppo, si applicano a tutte le dimensioni del gruppo considerato.

Ad esempio: si vuole calcolare il grado di tolleranza normalizzato IT7 per il gruppo dimensionale da 18 a 30 mm

$$D = \sqrt{18 * 30} = 23.238$$

$$i = 0.45 * \sqrt[3]{23.238} + 0.001 * 23.238 = 1.307$$

$$IT7 = 16i = 1.307 * 16 = 20.92 \approx 21 \mu\text{m}$$

La precisione della realizzazione aumenta al diminuire del numero IT: ovviamente nel prescrivere la qualità di lavorazione va tenuto conto dei costi e delle effettive possibilità realizzative.

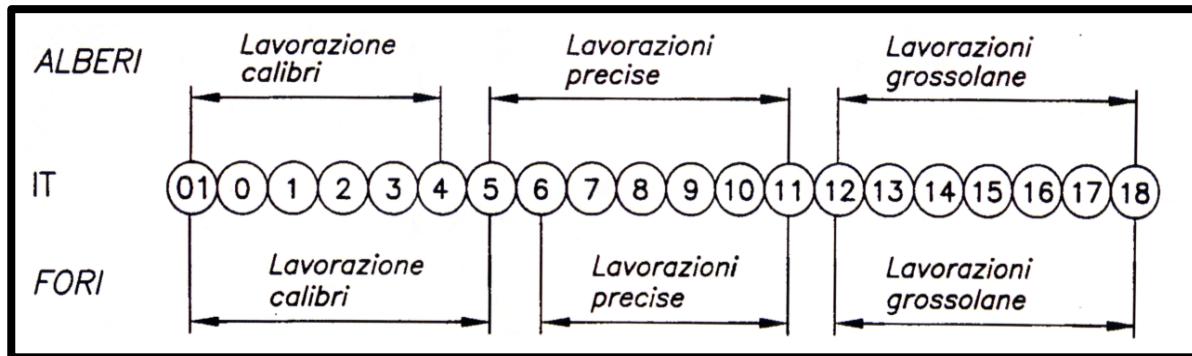


Fig. 36 –
corrispondenza tra
gradi di tolleranze
e lavorazioni

Facoltativo

Note aggiuntive

- 1) Nella prima fascia d i dimensioni nominali (inferiori od uguali a 3 mm) la media geometrica è calcolata per convenzione tra 1 e 3 mm, cioè $D = 1,732 \text{ mm}$.

$$\mathbf{IT01 = 0,3 + 0,008D}$$

$$\mathbf{IT0 = 0,5 + 0,012D}$$

$$\mathbf{IT1 = 0,8 + 0,020D}$$

- 2) Non ci sono formule per i gradi IT2, IT3 ed IT4 poiché i valori delle tolleranze corrispondenti a questi gradi sono stati ripartiti approssimativamente in progressione geometrica tra i valori di IT1 ed IT5.
- 3) Occorre notare che, a partire dalla qualità 6 i valori delle tolleranze sono in progressione geometrica con ragione 1.584 (Serie di Renard R5) vale a dire la tolleranza è moltiplicata per 10 ogni volta che si passa da una qualità a quella di 5 gradi superiore. Tale regola è utile per estrapolare i valori di gradi IT al di sopra di IT18. Ad esempio:

$$\mathbf{IT20 = IT15 * 10 = 640i * 10 = 6400 * i}$$

Facoltativo



Appendice 2: Quote senza indicazione della tolleranza

Come è stato visto nelle slides precedenti nei disegni tecnici è opportuno indicare la **tolleranza** solo per quelle quote le cui dimensioni sono interessate da particolari **condizioni di funzionalità**. Per le altre dimensioni è spesso sufficiente la precisione ottenibile con i normali processi produttivi. La norma UNI EN 22768-1 stabilisce le «**tolleranze generali**» per le dimensioni lineari ed angolari prive di indicazione di tolleranza specifiche e, a tal fine, suddivide le dimensioni in gruppi e prevede quattro **classi di tolleranza** o gradi di precisione di lavorazione (tabella 12). Le tolleranze generali non si applicano alle dimensioni ausiliarie, indicate sui disegni tra parentesi).

CLASSE DI TOLLERANZA		SCOSTAMENTI LIMITE PER CAMPI DI DIMENSIONI NOMINALI							
Designazione	Denominazione	da 0,5 ¹⁾ fino a 3	oltre 3 fino a 6	oltre 6 fino a 30	oltre 30 fino a 120	oltre 120 fino a 400	oltre 400 fino a 1.000	oltre 1.000 fino a 2.000	oltre 2.000 fino a 4.000
f	FINE	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	MEDIA	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	GROSSOLANA	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	MOLTO GROSSOLANA	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Tab.12 - Scostamenti limiti (in mm) ammessi per dimensioni lineari

Esistono anche tabelle per gli scostamenti limiti ammessi (in mm) per le dimensioni lineari di **smussi e raccordi** (tabella 13) e per gli scostamenti limiti ammessi per **dimensioni angolari** (tabella 14).

Classe di tolleranza		Scostamenti limite per campi di dimensioni nominali		
Designazione	Denominazione	da 0,5 ¹⁾ fino a 3	oltre 3 fino a 6	oltre 6
f	fine	± 0,2	± 0,5	± 1
m	media			
c	grossolana	± 0,4	± 1	± 2
v	molto grossolana			

Tab. 13

Classe di tolleranza		Scostamenti limite in funzione dei campi di lunghezza, in millimetri, del lato più corto dell'angolo considerato				
Designazione	Denominazione	fino a 10	oltre 10 fino a 50	oltre 50 fino a 120	oltre 120 fino a 400	oltre 400
f	fine	± 1°	± 0°30'	± 0°20'	± 0°10'	± 0° 5'
m	media					
c	grossolana	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'
v	molto grossolana	± 3°	± 2°	± 1°	± 0°30'	± 0°20'

Tab. 14

Se si usano le tolleranze secondo questa tabella, si devono riportare all'interno o nei pressi del riquadro delle iscrizioni l'indicazione **UNI EN 22768** e la classe di tolleranza (ad esempio: UNI EN 22768 – m), come in figura 37.

Tolleranze generali UNI EN 22768-m			
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA - INGEGNERIA GESTIONALE			
DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE		Materiale	Data xx/xx/20xx
Nome Cognome	Diego Torazza	N.ro Matricola 123456	Scala 1 : 1
Denominazione	>>> scrivere qui descrizione <<<		Disegno Ax/Dx

Fig. 37

Esercizi risolti sull'analisi delle tolleranze

Esempi pratici di risoluzione di un problema relativo alle tolleranze

1) Accoppiamento mobile

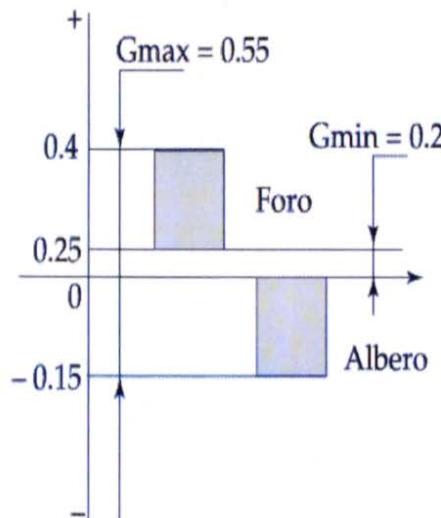
DATI	D max, D min, Es, Ei	SCHEMA	G max, G min, I max, I min
D nom = 65 D max = 65,4 D min = 65,25 d max = 65,00 d min = 64,85	Es = 65,4 - 65 = 0,4 Ei = 65,25 - 65 = 0,25 es = 65,00 - 65 = 0 ei = 64,85 - 65 = - 0,15	 <p>The graph illustrates the clearance (G) as a function of the shaft diameter (d). The vertical axis represents clearance G from -0.15 to +0.55 mm. The horizontal axis represents the shaft diameter d. Two tolerance zones are shown: 'Foro' (Hole) centered at 0.4 mm with a width of 0.25 mm, and 'Albero' (Shaft) centered at 0 mm with a width of 0.25 mm. The intersection of these zones is at 0.4 mm, which is labeled $G_{\max} = 0,55$. The lower limit of the shaft zone is at -0.15 mm, which is labeled $G_{\min} = 0,25$.</p>	G max = 65,4 - 64,85 = 0,55 G min = 65,25 - 65 = 0,25

Fig. 38 - Si noti la chiarezza della rappresentazione grafica (schema) con la quale si individuano facilmente il gioco minimo ed il gioco massimo (i valori sono espressi in mm).

2) Accoppiamento stabile

Accoppiamento stabile: Perno di centraggio (vedi figura)

foro:

$\phi 12\text{ H7}$

$D_n = 12$

$ES = +0,018$

$EI = 0$

albero:

$\phi 12\text{ r6}$

$dn = 12$

$es = - +0,034$

$ei = +0,023$

Accoppiamento: $I_{max} = 0,0334$ $I_{min} = 0,005$

Perno di centraggio

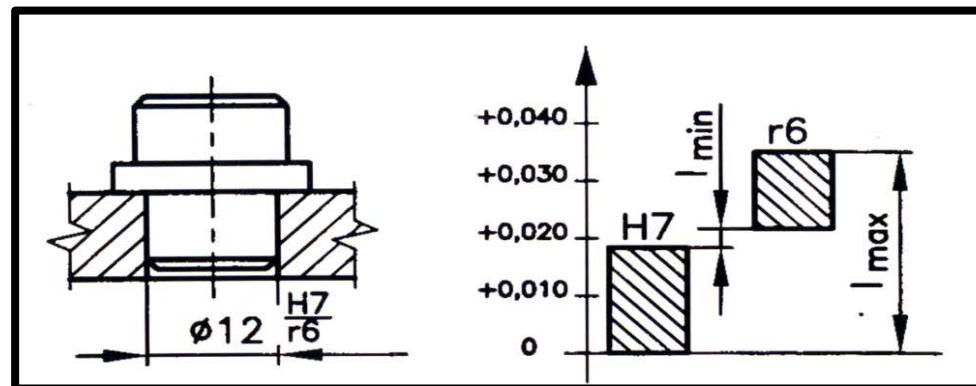


Fig. 39 - Si noti la chiarezza della rappresentazione grafica (schema) con la quale si individuano facilmente l'interferenza minima e massima (i valori sono espressi in mm).

3) Accoppiamento incerto

Accoppiamento incerto: Spina cilindrica (vedi figura)

foro:

$\phi 6 \text{ H7}$

$D_n = 6$

$ES = +0,012$

$EI = 0$

albero:

$\phi 6 \text{ m6}$

$dn = 6$

$es = +0,012$

$ei = +0,004$

Accoppiamento: $G_{\max} = 0,008$ $I_{\max} = 0,012$

Spina cilindrica

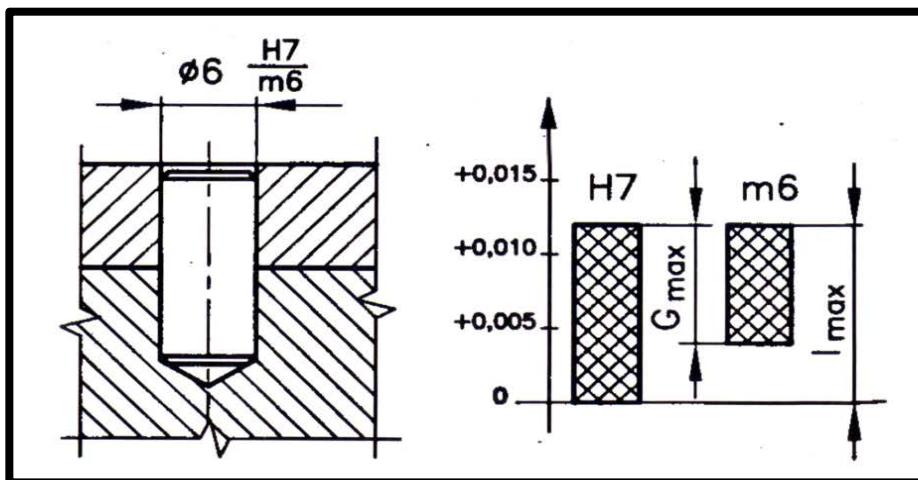


Fig. 40 - Si noti la chiarezza della rappresentazione grafica (schema) con la quale si individuano facilmente il gioco massimo e l'interferenza massima (i valori sono espressi in mm).

4) Doppio accoppiamento (uno con gioco ed uno incerto)

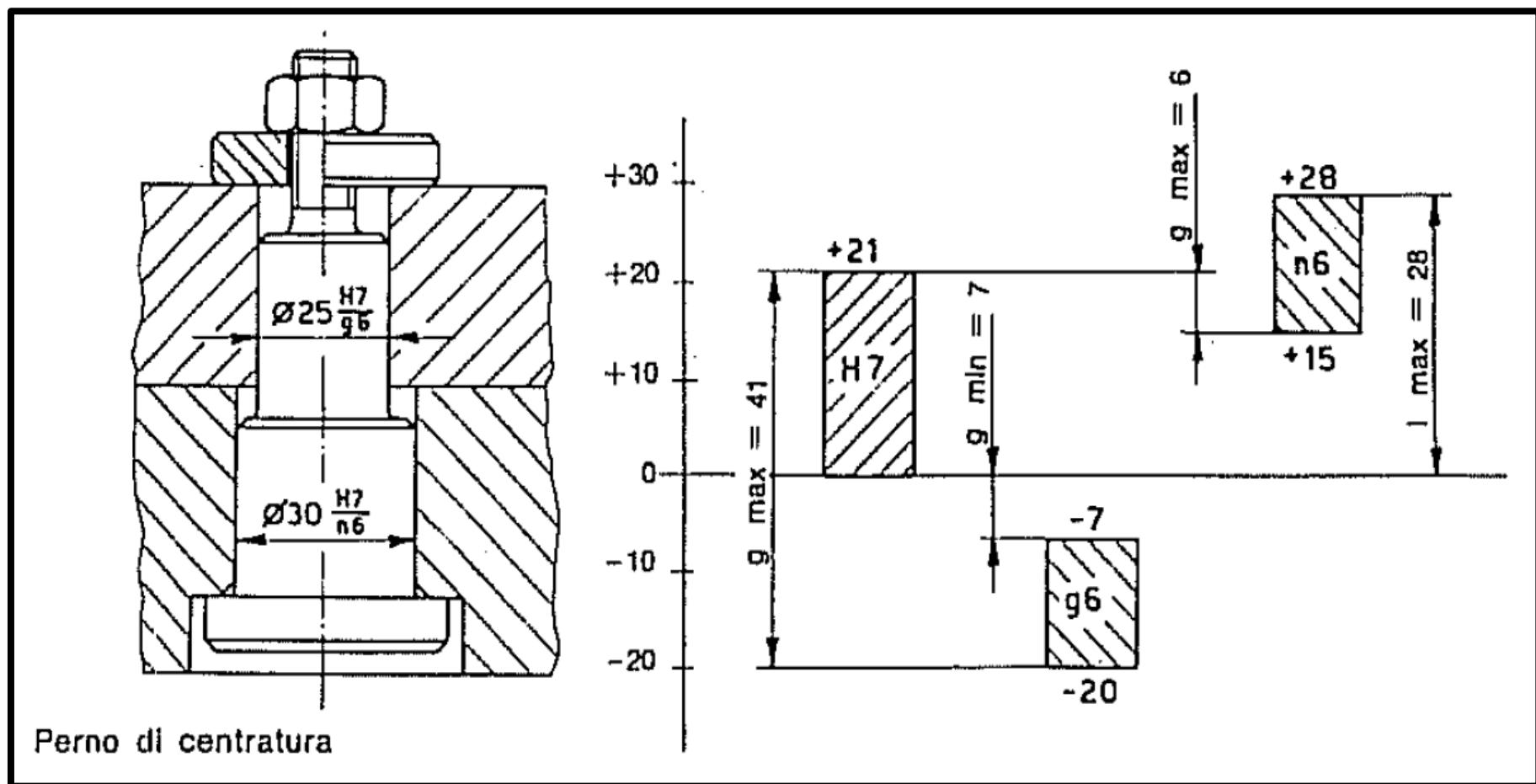


Fig. 41 - Si noti la chiarezza della rappresentazione grafica (schema) con la quale si individuano facilmente il gioco minimo ed il gioco massimo (i valori sono espressi in micron).

5) Accoppiamento con foro base

Accoppiamento: 45 H 8 / g 7

Dimensione nominale: 45 mm

Tolleranza fondamentale foro IT 8 = 39 μm = 0,039 mm

Scostamento fondamentale foro H: $E_i = 0$

Scostamento superiore foro: $E_s = E_i + IT 8 = 0 + 39 = 39 \mu m = 0,039 \text{ mm}$

Tolleranza fondamentale albero IT 7: 25 μm = 0,025 mm

Scostamento fondamentale albero g: $e_s = -9 \mu m = -0,009 \text{ mm}$

Scostamento inf. albero: $e_i = e_s - IT = -9 - (+25) = -34 \mu m = -0,034 \text{ mm}$

Gioco minimo: g min = 9 μm = 0,009 mm

Gioco massimo: g max = 73 μm = 0,073 mm

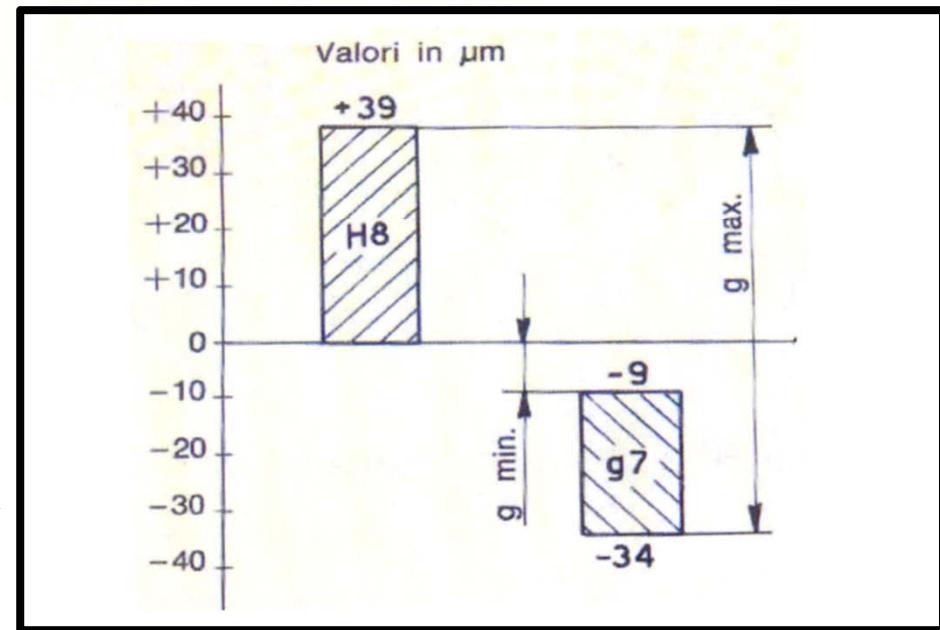


Fig. 42 - Rappresentazione grafica accoppiamento 45 H8/g7

6) Accoppiamento incerto

Accoppiamento: 30 G 7 / k 6

Dimensione nominale: 30 mm

Tolleranza fondamentale foro IT 7: 21 μ m = 0,021 mm

Scostamento fondamentale foro G: $E_i = + 7 \mu m = + 0,007$ mm

Scostamento sup. foro: $E_s = E_i + IT 7 = 21 + 7 = 28 \mu m = 0,028$ mm

Tolleranza fondamentale albero IT 6: 13 μ m = 0,013 mm

Scostamento fondamentale albero k: $e_i = + 2 \mu m = + 0,002$ mm

Scostamento super. albero: $e_s = e_i + IT 6 = 2 + 13 = 15 \mu m = 0,015$ mm

Gioco massimo: 26 μ m = 0,026 mm

Interferenza massima: 8 μ m = 0,008 mm

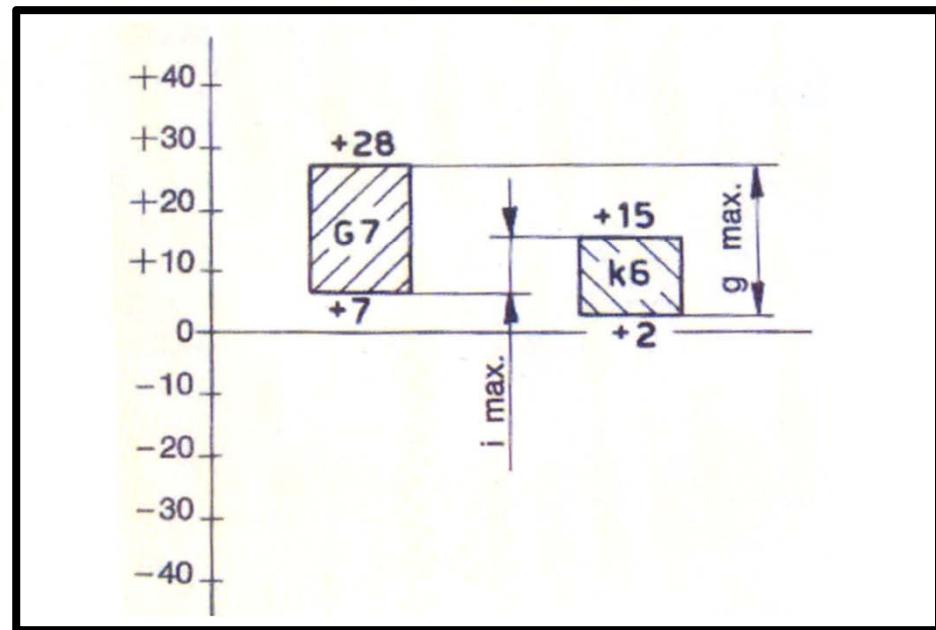


Fig. 43 - Rappresentazione grafica accoppiamento 30 G7/k6

Norme di riferimento per il Cap. 6

UNI 3976:1989	Disegni tecnici. Indicazioni delle tolleranze lineari ed angolari.
UNI 7218:1973	Sistema ISO di tolleranze ed accoppiamenti. Zone di tolleranza per accoppiamenti raccomandati.
UNI EN 20286-1:1995	Sistema ISO di tolleranze ed accoppiamenti. Principi fondamentali per tolleranze, scostamenti ed accoppiamenti.
UNI EN 20286-2:1995	Sistema ISO di tolleranze ed accoppiamenti. Prospetti dei gradi di tolleranze normalizzati e degli scostamenti limite dei fori e degli alberi.
UNI EN 22768-1:1996	Tolleranze generali. Tolleranze per dimensioni lineari ed angolari prive di indicazione di tolleranze specifiche.

Fine Cap. 6