

Corso di **Disegno Tecnico Industriale**
per il Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica e
in Ingegneria Meccatronica

Introduzione alla Specificazione Geometrica dei Prodotti
Accoppiamenti e tolleranze.
Sistema di tolleranze dimensionali.
Tolleranze dimensionali generali.

Docente: Gianmaria Concheri
E-mail: gianmaria.concheri@unipd.it
Tel. 049 8276739



Introduzione

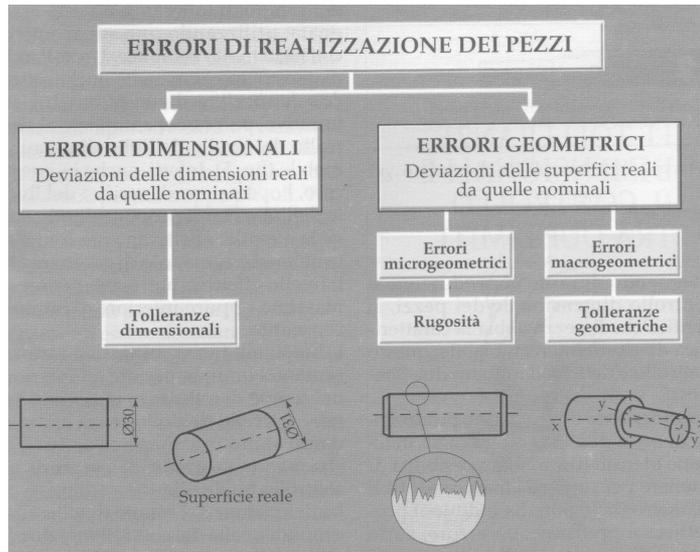
✍ **OBIETTIVO** del progettista non è la costruzione della macchina perfetta, ma la costruzione di una macchina che risponda ai requisiti di funzionalità, durata ed economicità previste dal progetto.



La differenza tra macchina ideale e quella reale non deve pregiudicare la funzione del pezzo

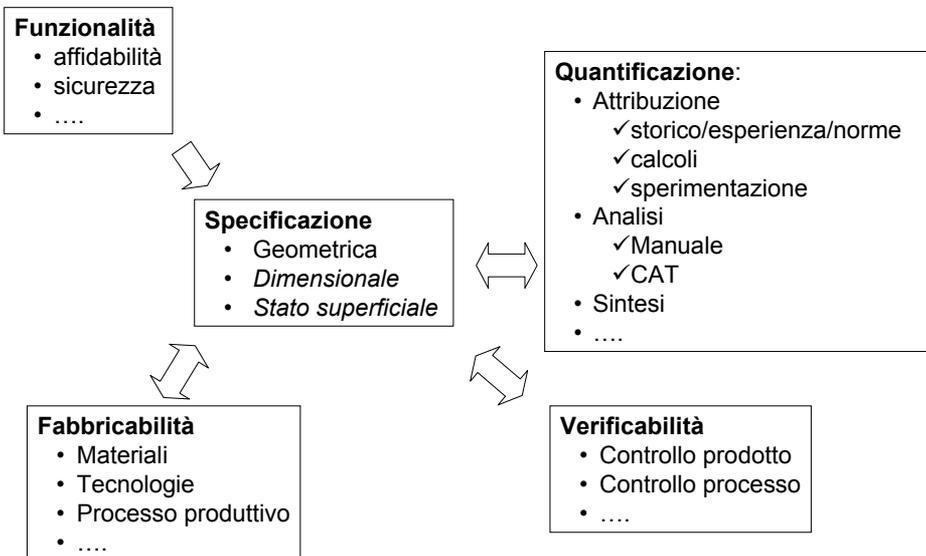


Classificazione dei difetti (errori) di fabbricazione



Specificazione Geometrica dei Prodotti

Come definisco lo schema di tolleranze di un pezzo o assieme?



Cos'è la **Specificazione Geometrica dei Prodotti**?

È un **linguaggio comune** per **esprimere e trasmettere i requisiti funzionali** dei prodotti, allo scopo di garantirne la piena **funzionalità, affidabilità e verificabilità**.

In ambito ISO: Geometric Product Specification (GPS)

In ambito ASME: Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T)



Specificazione Geometrica dei Prodotti

La corretta applicazione delle GPS assicura ai prodotti le seguenti proprietà:

funzionalità: ad esempio se tutte le parti di una macchina utensile sono realizzate conformemente alle specifiche, la macchina utensile funzionerà correttamente;

sicurezza: ad esempio se la superficie interna del cilindro di un motore è stata lavorata rispettando le tolleranze di forma, non vi è pericolo di rottura a fatica del cilindro con conseguente distruzione del motore;

affidabilità: è proprio stabilendo correttamente le tolleranze di forma del cilindro che si assicura lunga vita al motore;

intercambiabilità: è forse l'aspetto storico delle specifiche; l'intercambiabilità rappresenta un grosso vantaggio per l'assemblaggio di nuove macchine e per le parti di ricambio.

Le Organizzazioni internazionali per la normazione sono fortemente interessate allo sviluppo delle Specifiche Geometriche dei Prodotti vista la loro importanza nel mondo industriale.



Un po' di storia

- 1920: *prime proposte da parte degli Enti Nazionali di Unificazione di norme relative agli accoppiamenti.*
- 1935: *l'American Standards Association (ASA) pubblica le prime norme sul disegno: "American Drawing and Drafting Room Practices". Riviste nel 1946*
- 1940: *La ISA pubblica sul bollettino n. 25 una raccomandazione che riassume le proposte fino ad allora formulate.*
- 1940: Chevrolet pubblica il "Draftsman's Handbook", prima pubblicazione che tratta di tolleranze di posizione.
- 1944: In Gran Bretagna vengono pubblicati alcuni standard pionieristici basati sul lavoro di Stanley Parker (che ha introdotto le zone di tolleranze cilindriche invece che quadrate).
- 1945: l'U.S. Army introduce un manuale di ordinanza sulla quotatura e le tolleranze che introduce l'uso di simboli per specificare tolleranze di forma e posizione.
- 1949: l'U.S. Army pubblica la norma MIL-STD-8,, prima norma su quotatura e tolleranze. La versione del 1953 autorizza l'uso di 7 segni grafici fondamentali.
- ...
- 1966: Prima norma unificata ANSI Y14.5 su Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T). Rivista nel 1973, 1982 e 1994.
- 1969: l'ISO pubblica la prima versione della ISO/R 1101. Rivista nel 1974 e nel 1983.



Specificazione Geometrica dei Prodotti

Motivazioni:

- Introduzione dei Sistemi Qualità in azienda;
- Incremento della complessità geometrica dei componenti
- Esternalizzazione della produzione (anche all'estero)

Per contro:

- ritardo con il quale vengono recepite le norme a livello nazionale
- disinteresse ed allontanamento dall'utilizzo delle prescrizioni normative da parte delle figure tecniche aziendali
- carenza "culturale" degli operatori e la totale mancanza di programmi di formazione nell'ambito degli uffici tecnici
- complessità geometrica ottenibile con le nuove tecnologie
- maggiore difficoltà nella gestione dei requisiti funzionali in termini di prescrizioni dimensionali e tolleranze geometriche
- ricaduta negativa anche a livello di procedure metrologiche per il controllo di tali prescrizioni.

Attualmente:

- crescita costante del numero di informazioni riportate a disegno
- compaiono sempre più numerose le specificazioni inerenti tolleranze geometriche.



Specificazione Geometrica dei Prodotti

Risposte in ambito ISO:

Tempestiva emissione di norme quando se ne presentava il bisogno => corpus normativo fruibile ma privo di una visione complessiva => molteplicità di approcci, contraddizioni tra norme correlate e vere e proprie lacune: nei primi anni '90, il 50% circa delle norme necessarie non era disponibile o era in contraddizione con altre norme.

Nel 1995 nasce il Comitato Tecnico ISO/TC 213 (Dimensional and geometrical product specification).

Le priorità, identificate dall'ISO/TC 213, e che diventano la base per il coordinamento e l'armonizzazione delle norme future e delle esistenti, sono:

- l'eliminazione delle lacune normative: della mancanza di norme in taluni settori alla risoluzione delle contraddizioni,
- lo sviluppo di un sistema completo e dettagliato di definizioni e prescrizioni per la descrizione funzionale della geometria di un prodotto, in modo completo e univoco.

Nasce la ISO/TR 14638:1995 - Masterplan



Specificazione Geometrica dei Prodotti

ISO/TR 14638: 1995 Masterplan

Le Specifiche Geometriche dei Prodotti definiscono quelle caratteristiche della geometria, delle dimensioni e delle superfici di un componente che garantiscono il suo funzionamento ottimale.

Il processo produttivo di un componente prevede l'esistenza di:

- un "componente" immaginato dal progettista
- un "componente" risultato del processo di fabbricazione
- un "componente" risultato del processo di controllo geometrico

Le relazioni esistenti tra i tre "componenti" sono interamente definite nel sistema di norme denominato GPS.

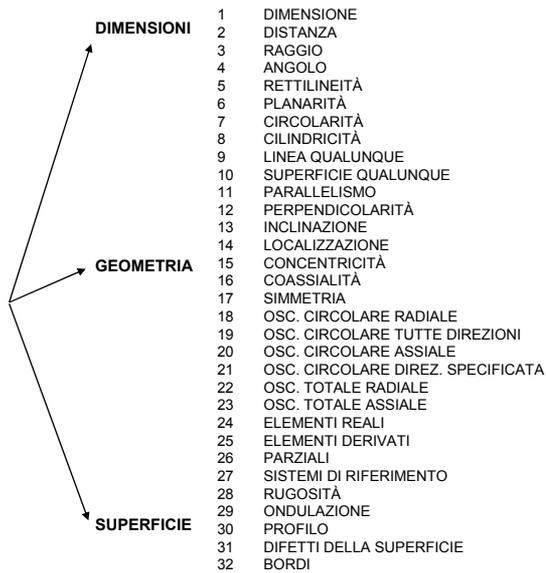


Modello della matrice delle norme GPS

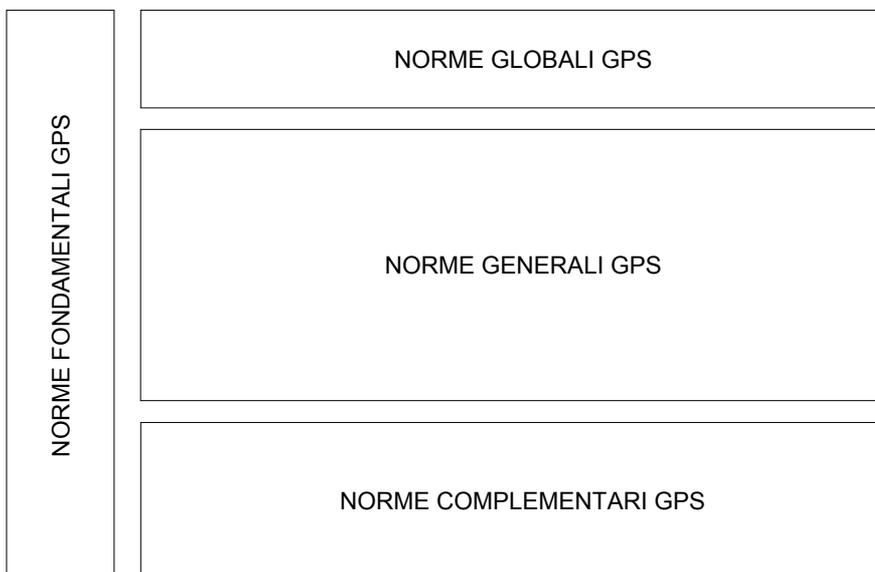
NORME GENERALI GPS

Catene di norme generali GPS: rappresentano la parte principale delle norme GPS.

Definiscono le regole per le indicazioni sui disegni, i principi di definizione e di verifica per diversi tipi di caratteristiche geometriche.



Modello della matrice delle norme GPS



Concetti di base delle GPS

1. Trattare **diversi tipi di norme**; le regole fondamentali delle specifiche dei prodotti (Norme Fondamentali GPS), i principi globali e le definizioni (Norme Globali GPS), le caratteristiche geometriche (Norme Generali e Complementari GPS).
2. Trattare **diversi tipi di caratteristiche geometriche** come dimensione, distanza, angolo, forma, localizzazione, orientazione, rugosità superficiale (Norme Generali).
3. Trattare sia le caratteristiche del pezzo (classificazione della tolleranza) come risultato di **diversi tipi di processi di fabbricazione** sia le caratteristiche di **particolari elementi di macchine** (Norme Complementari GPS).
4. Seguire i vari passi dello **sviluppo di un prodotto**: progetto, produzione, controllo (misurazione), garanzia della qualità ecc.



Specificazione Geometrica dei Prodotti

Norme Fondamentali GPS:

norme che stabiliscono le regole fondamentali e le procedure per il dimensionamento e per le indicazioni delle tolleranze nell'ambito delle GPS di manufatti e prodotti. Per il momento in questo gruppo ci sono solo due norme e cioè la ISO 8015:1985 "Disegni tecnici - Principi generali per le tolleranze" e la ISO/TR 14638 con il Masterplan

Norme Globali GPS:

norme che coprono o influenzano una serie o tutte le catene delle Norme Generali GPS e le Norme Complementari GPS. (ad es. la ISO 1 che stabilisce la temperatura di riferimento).

Norme Generali GPS:

parte principale delle norme GPS che definiscono le regole per le indicazioni sui disegni, le definizioni e i principi di verifica per diversi tipi di caratteristiche geometriche.

Norme Complementari GPS:

norme che definiscono le regole complementari per le indicazioni sui disegni, per le definizioni e per i principi di verifica di particolari categorie di caratteristiche o di particolari tipi di elementi. Queste regole dipendono dal tipo di processo produttivo e/o dal tipo di elemento di macchina.

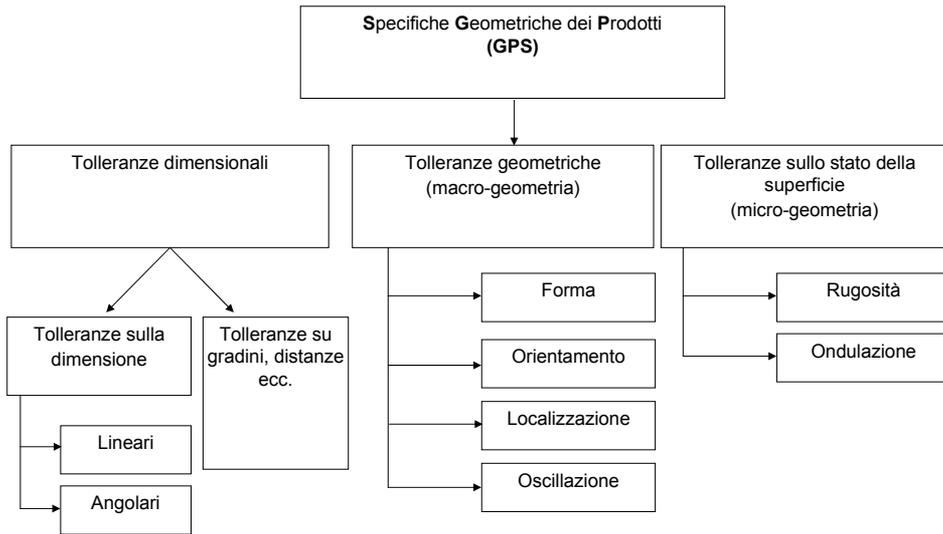
Le Norme Complementari GPS sono suddivise in categorie :

Norme per processi specifici (per esempio lavorazioni alle macchine utensili, getti, ecc.)

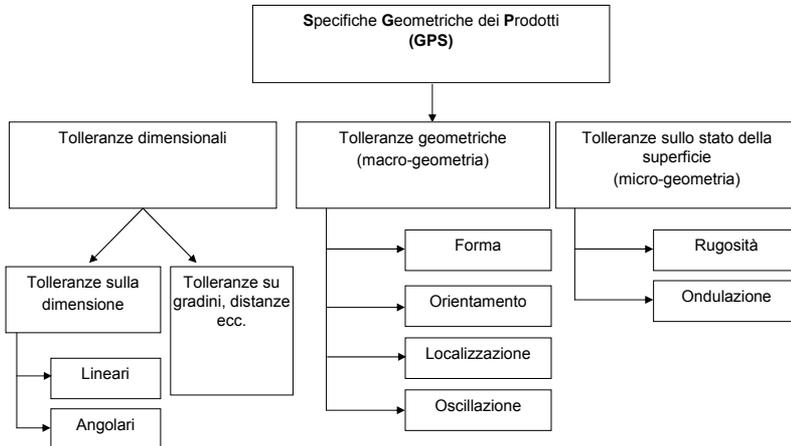
Norme per elementi di macchine (per esempio filettature di viti, ruote dentate, sedi di linguette e chiavette, scanalature , ecc.)



Specificazione Geometrica dei Prodotti



Specificazione Geometrica dei Prodotti



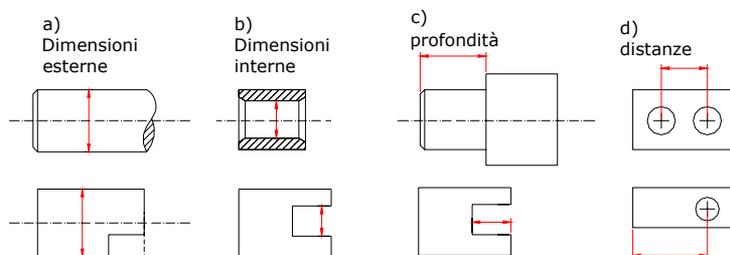
Principi fondamentali della filosofia GPS (ISO/TS 17450-2:2002):

- A) È possibile **controllare** in modo significativo **la funzione** di un componente mediante una o più specificazioni GPS nel disegno (TPD).
- B) Una specificazione GPS per una caratteristica GPS deve essere dichiarata a disegno (TPD). Il componente è accettato se soddisfa la specificazione. Solo ciò che è esplicitamente richiesto nel disegno (TPD) è preso in considerazione. La effettiva specificazione GPS a disegno (TPD) definisce il misurando.
- C) Il modo in cui una specificazione GPS è verificata è indipendente dalla specificazione stessa.
- D) Le regole e le definizioni GPS per la verifica definiscono dei mezzi teoricamente perfetti per provare la conformità o meno di un componente alla specificazione GPS (vedi ISO 14253-1). Tuttavia la verifica è sempre compiuta in modo imperfetto.



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

DIMENSIONI



Differenti gruppi di dimensioni:

- a) Dimensione esterna, b) Dimensione interna, c) Profondità, d) Distanza.

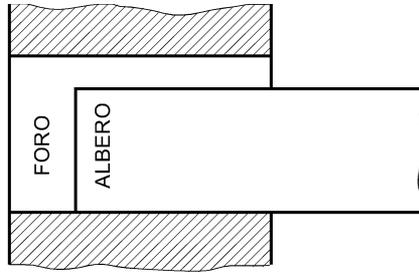
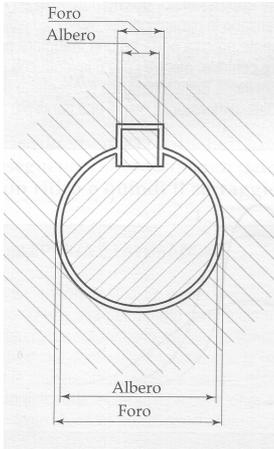


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

Definizioni fondamentali:

Foro: "termine usato convenzionalmente per designare tutti gli elementi interni di un pezzo, anche non cilindrici."

Albero: "termine usato convenzionalmente per designare tutti gli elementi esterni di un pezzo, anche non cilindrici."

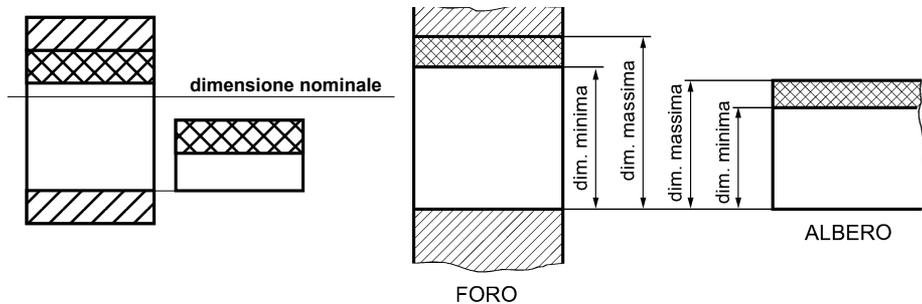


"Foro" e "albero" designano anche lo spazio, rispettivamente contenente e contenuto, compreso entro due facce (o piani tangenti) paralleli di un pezzo qualunque.



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

Dimensione nominale: dimensione assegnata dal progettista e riferita a superfici geometriche ideali.



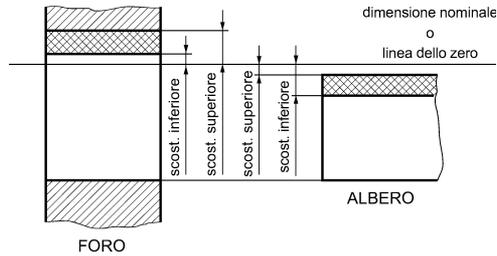
Dimensione effettiva: dimensione reale del pezzo (misurata).

Dimensioni limiti: valori massimo e minimo entro i quali è ammessa la variazione della dimensione effettiva.

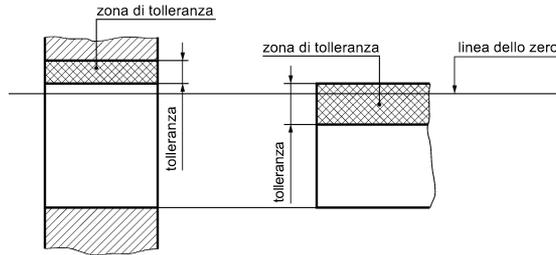


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

Scostamento = dimensione effettiva - dimensione nominale



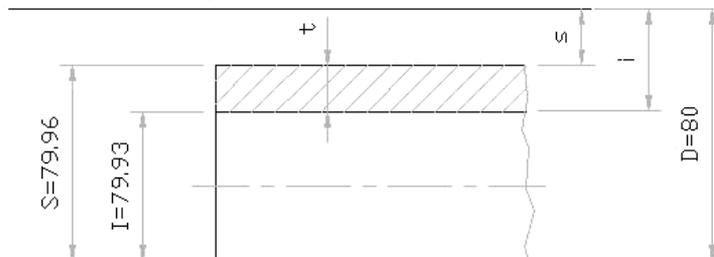
Tolleranza: differenza tra le due dimensioni limiti (ampiezza dell'intervallo di variazione ammissibile)



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

◀ **ESEMPIO: Calcolo degli scostamenti**

linea dello zero



$$t = S - I = 79.96 - 79.93 = 0.03 \text{ mm} = 30 \mu\text{m}$$

$$s = S - D = 79.96 - 80 = -0.04 \text{ mm} = -40 \mu\text{m}$$

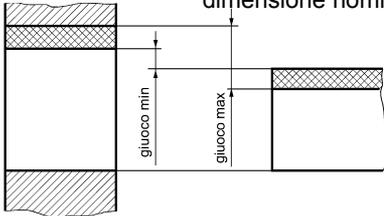
$$i = I - D = 79.93 - 80 = -0.07 \text{ mm} = -70 \mu\text{m}$$

Perchè il pezzo sia accettabile: $I < De < S$

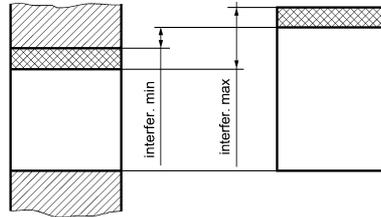


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

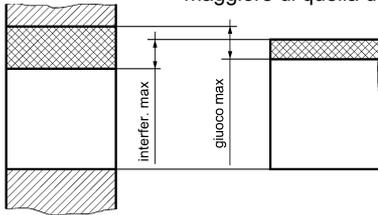
Accoppiamento: relazione risultante dalla differenza, prima del montaggio, tra le dimensioni di due contorni (foro e albero) destinati ad essere accoppiati. I due elementi dell'accoppiamento hanno la stessa dimensione nominale



a) con **gioco**: dimensione del foro sempre maggiore di quella dell'albero



b) con **interferenza**: dimensione dell'albero sempre maggiore di quella del foro



c) **incerto**: si possono avere contemporaneamente entrambi i casi



Tolleranze dimensionali

Essendo le tolleranze riferite ad una temperatura di riferimento di **20° C**, la temperatura di funzionamento può influenzare le caratteristiche dell'accoppiamento.

$$\Delta L = L_0(1 + \alpha(T - 20^\circ\text{C}))$$

Esempio: $L = 1000 \text{ mm}$ $T = 21^\circ$

Acciaio $\alpha = 12.0 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ => $\Delta L = 12 \text{ }\mu\text{m}$

Alluminio $\alpha = 24.0 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ => $\Delta L = 24 \text{ }\mu\text{m}$



Il sistema **ISO** di tolleranza (**UNI EN 20286/1-2**) ha unificato, per ogni dimensione nominale, una gamma di qualità di tolleranza (**ampiezza di tolleranza**) e una gamma di posizioni di tolleranza rispetto alla linea dello zero

Il sistema **ISO** prevede **20** diverse **qualità** di tolleranza che definiscono l'ampiezza della zona di tolleranza.

Tale ampiezza è funzione della dimensione nominale. A parità di grado di precisione, ad esempio a parità di tipo di lavorazione, si ottengono infatti variazioni crescenti all'aumentare della dimensione del pezzo.

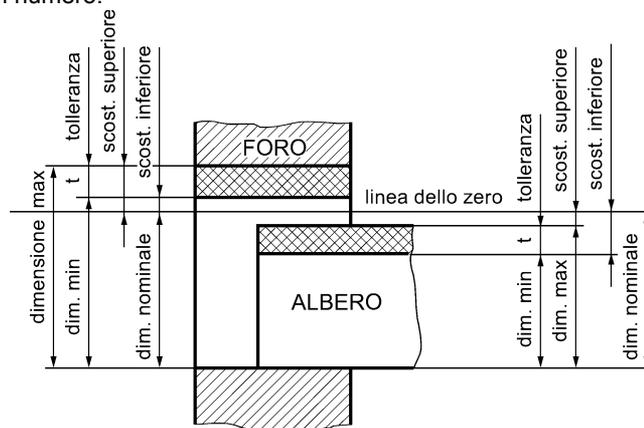
La qualità di tolleranza è indicata dalle sigle **IT 0, IT 01, IT 1, IT 2 ..IT 18**, con precisione decrescente.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

La zona di tolleranza ammissibile per un dato diametro è individuata in base a:

- **posizione del campo di tolleranza** rispetto la linea dello zero, designato mediante una o più lettere (maiuscole per i fori e minuscole per gli alberi)
- **grado (o qualità) di tolleranza normalizzato**, designato mediante la sigla IT seguita da un numero.



Sistema di tolleranze UNI/ISO: Gradi di tolleranza normalizzati

Dimensione nominale mm		Gradi di tolleranza normalizzati																	
		IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³⁾	IT15 ³⁾	IT16 ³⁾	IT17 ³⁾	IT18 ³⁾
oltre	fino a	Tolleranze																	
		µm									mm								
3	6 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
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 ²⁾	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 ²⁾	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ²⁾	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 ²⁾	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 ²⁾	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 ²⁾	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ²⁾	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ²⁾	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

1) I valori dei gradi di tolleranza normalizzati IT01 e IT0 relativi alle dimensioni nominali ≤ 500 mm sono riportati nell'appendice A, prospetto V.
 2) Per le dimensioni nominali > 500 mm, i valori dei gradi di tolleranza normalizzati da IT1 a IT5 sono dati a titolo sperimentale.
 3) I gradi di tolleranza normalizzati da IT14 a IT18 non devono essere utilizzati per dimensioni nominali ≤ 1 mm.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Lavorazioni ed applicazioni tipiche corrispondenti ai gradi di tolleranza

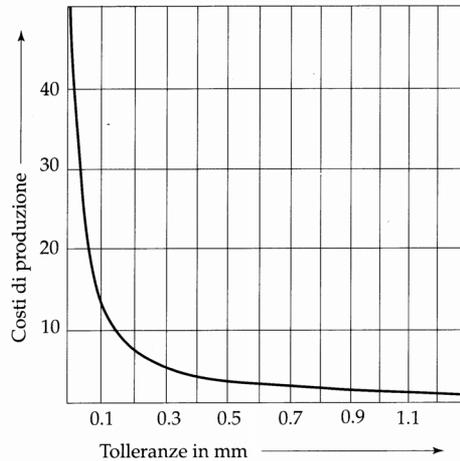
Grado di tolleranza normalizzato	Classe di tolleranza		Lavorazioni meccaniche corrispondenti		Applicazioni	
	Alberi	Fori	Alberi	Fori	Alberi	Fori
IT1 - IT4			Lavorazione con macchine speciali	Lavorazione con macchine speciali	Lavorazioni di precisione di strumenti di misura, calibri, blocchetti di riscontro	
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	



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Criteri per la scelta dell'ampiezza della zona di tolleranza (grado di tolleranza normalizzato):

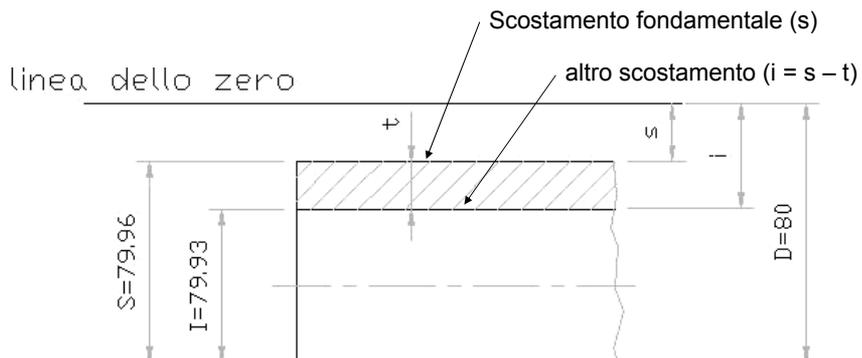
- precisione richiesta per garantire la funzionalità;
- costi di produzione.



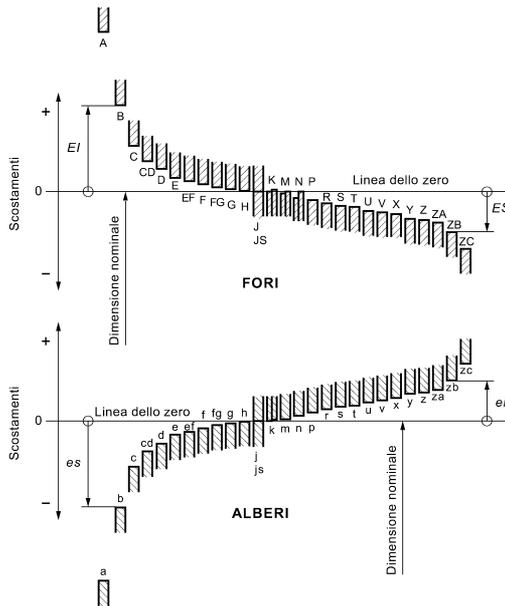
Sistema di tolleranze UNI/ISO: posizioni del campo di tolleranza

La posizione del campo di tolleranza rispetto alla linea dello zero è definita da uno dei due scostamenti (quello più vicino alla linea dello zero) detto **SCOSTAMENTO FONDAMENTALE**.

L'altro scostamento si ottiene sommando o sottraendo dallo scostamento fondamentale il valore del grado di tolleranza normalizzato.



Sistema di tolleranze UNI/ISO



La posizione è designata da una lettera **maiuscola** per i **fori** e **minuscola** per gli **alberi**.

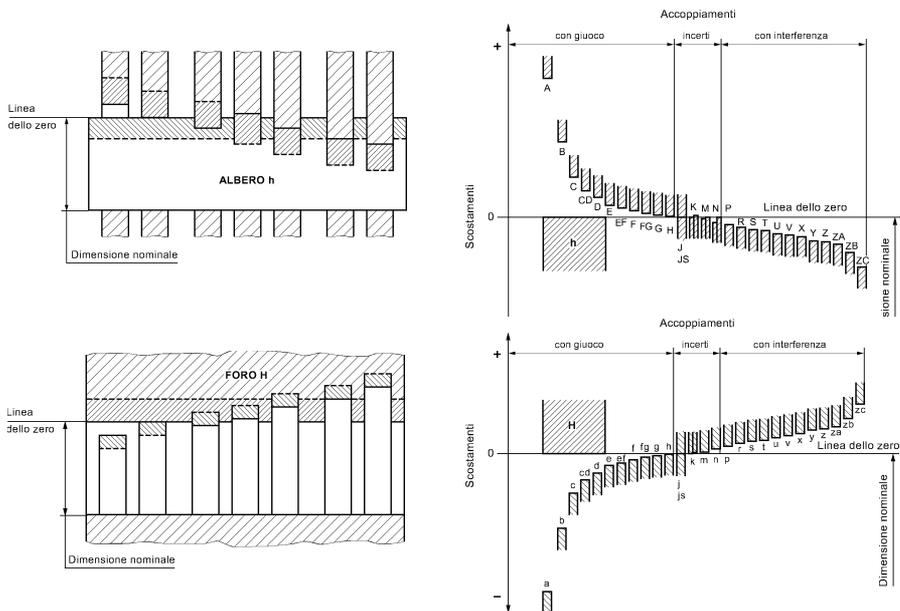
Le posizioni di tolleranza sono sempre riferite alla dimensione nominale (**linea dello zero**).

Le posizioni contraddistinte con la stessa lettera (**maiuscola** per i **fori** e **minuscola** per gli **alberi**) sono, di massima, disposte simmetricamente rispetto alla dimensione nominale (nelle lavorazioni si procede infatti allargando il foro o diminuendo l'albero).

La posizione di **tolleranza base**, contraddistinta dalla lettera **h** per gli **alberi** e **H** per i **fori**, è quella con **scostamento fondamentale nullo**.



Sistema di tolleranze UNI/ISO



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Prospetto II - Valori numerici degli scostamenti fondamentali degli alberi

Valori degli scostamenti fondamentali in μm

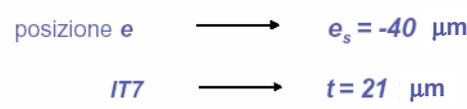
Dimensione nominale mm	Scostamento superiore e_s													Valori degli scostamenti fondamentali													Scostamenti inferiori e_i												
	Gradi di tolleranza													Gradi di tolleranza													Gradi di tolleranza												
	oltre	fino a	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	IT5 a IT6	IT7	IT8	IT9 a IT7	fino a IT3 e sopra a IT7	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	zs	zS	zH					
-	3	3 ¹⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-8	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14	18	23	28	34	40	46	50	56	63	71	80					
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-8	-4	0	-2	-4	-1	0	4	8	12	15	19	23	28	34	40	46	50	56	63	71	80	90							
6	10	-260	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-1	0	6	10	15	19	23	28	34	40	46	50	56	63	71	80	90	100							
10	14	-260	-150	-95	-65	-50	-32	-22	-16	-10	-6	0	-3	-6	-1	0	7	12	18	23	28	34	40	46	50	56	63	71	80	90	100	110							
14	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4	-8	-2	0	8	15	22	28	35	41	47	54	63	73	84	96	108	120	130							
18	24	-300	-180	-110	-75	-60	-40	-25	-18	-12	-7	0	-5	-10	-2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	160	180	202	224	246							
24	30	-310	-170	-120	-80	-60	-40	-25	-18	-12	-7	0	-7	-12	-2	0	11	22	32	41	53	66	87	102	122	144	172	206	246	290	340	390							
30	40	-320	-160	-130	-90	-70	-50	-30	-20	-14	-10	0	-9	-15	-3	0	13	23	37	47	61	77	94	114	140	174	210	250	290	340	390	450							
40	50	-330	-150	-140	-100	-80	-60	-40	-25	-18	-12	0	-11	-18	-3	0	15	27	43	55	71	89	109	136	174	210	250	290	340	390	450	510							
50	65	-340	-140	-150	-110	-90	-70	-50	-30	-20	-14	0	-13	-21	-4	0	17	31	50	64	81	100	121	144	174	210	250	290	340	390	450	510							
65	80	-350	-130	-160	-120	-100	-80	-60	-40	-25	-18	0	-16	-26	-4	0	20	34	56	72	90	110	132	156	190	230	270	320	370	430	490	560							
80	100	-360	-120	-170	-130	-110	-90	-70	-50	-30	-20	0	-18	-28	-4	0	21	37	62	79	99	120	144	174	210	250	290	340	390	450	510	580							
100	120	-410	-180	-180	-120	-100	-80	-60	-40	-25	-18	0	-20	-32	-5	0	22	40	68	86	106	128	156	190	230	270	320	370	430	490	560	640							
120	140	-460	-200	-200	-140	-120	-100	-80	-60	-40	-25	0	-24	-38	-6	0	26	44	78	98	120	144	174	210	250	290	340	390	450	510	580	660							
140	160	-520	-220	-210	-150	-130	-110	-90	-70	-50	-30	0	-28	-44	-7	0	30	50	88	110	132	156	190	230	270	320	370	430	490	560	640	720							
160	180	-580	-240	-220	-160	-140	-120	-100	-80	-60	-40	0	-34	-52	-8	0	34	56	100	122	144	174	210	250	290	340	390	450	510	580	660	740							
180	200	-660	-260	-240	-170	-150	-130	-110	-90	-70	-50	0	-40	-60	-9	0	40	64	110	132	156	190	230	270	320	370	430	490	560	640	720	800							
200	225	-740	-280	-260	-180	-160	-140	-120	-100	-80	-60	0	-48	-70	-10	0	48	76	120	144	174	210	250	290	340	390	450	510	580	660	740	820							
225	250	-820	-300	-280	-200	-180	-160	-140	-120	-100	-80	0	-58	-82	-11	0	58	90	130	156	190	230	270	320	370	430	490	560	640	720	800	880							
250	280	-920	-320	-300	-210	-190	-170	-150	-130	-110	-90	0	-70	-96	-12	0	70	106	150	180	220	260	310	360	420	480	540	600	660	720	800	880							
280	315	-1050	-340	-330	-230	-210	-190	-170	-150	-130	-110	0	-84	-114	-13	0	84	124	170	200	240	280	330	390	450	510	560	620	680	740	800	880	960						
315	355	-1200	-360	-360	-250	-230	-210	-190	-170	-150	-130	0	-100	-136	-14	0	100	144	190	220	260	310	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960						
355	400	-1350	-380	-400	-270	-250	-230	-210	-190	-170	-150	0	-120	-162	-15	0	120	170	220	250	290	340	390	450	510	560	620	680	740	800	860	920	980						
400	450	-1500	-400	-440	-290	-270	-250	-230	-210	-190	-170	0	-144	-192	-16	0	144	200	250	280	320	370	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020						
450	500	-1650	-420	-480	-310	-290	-270	-250	-230	-210	-190	0	-170	-222	-17	0	170	230	280	310	350	400	450	510	560	620	680	740	800	860	920	980	1040						
500	560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-210	-270	-18	0	210	270	320	350	390	440	490	540	600	660	720	780	840	900	960	1020						
560	630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-250	-310	-19	0	250	310	360	390	430	480	530	580	640	700	760	820	880	940	1000	1060						
630	710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-300	-360	-20	0	300	360	410	440	480	530	580	640	700	760	820	880	940	1000	1060	1120						
710	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-360	-420	-21	0	360	420	470	500	540	590	640	700	760	820	880	940	1000	1060	1120	1180						
800	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-420	-480	-22	0	420	480	530	560	600	650	700	760	820	880	940	1000	1060	1120	1180	1240						
900	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-500	-560	-23	0	500	560	610	640	680	730	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260							
1000	1120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-600	-660	-24	0	600	660	710	740	780	830	880	940	1000	1060	1120	1180	1240	1300	1360							
1120	1250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-720	-780	-25	0	720	780	830	860	900	950	1000	1060	1120	1180	1240	1300	1360	1420	1480							
1250	1400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-840	-900	-26	0	840	900	950	980	1020	1070	1120	1180	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600							
1400	1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1000	-1060	-27	0	1000	1060	1110	1140	1180	1230	1280	1340	1400	1460	1520	1580	1640	1700	1760							
1600	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1200	-1260	-28	0	1200	1260	1310	1340	1380	1430	1480	1540	1600	1660	1720	1780	1840	1900	1960							
1800	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1440	-1500	-29	0	1440	1500	1550	1580	1620	1670	1720	1780	1840	1900	1960	2020	2080	2140	2200							
2000	2240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1700	-1760	-30	0	1700	1760	1810	1840	1880	1930	1980	2040	2100	2160	2220	2280	2340	2400	2460							
2240	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2100	-2160	-31	0	2100	2160	2210	2240	2280	2330	2380	2440	2500	2560	2620	2680	2740	2800	2860							
2500	2800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2500	-2560	-32	0	2500	2560	2610	2640	2680	2730	2780	2840	2900	2960	3020	3080	3140	3200	3260							
2800	3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3000	-3060	-33	0	3000	3060	3110	3140	3180	3230	3280	3340	3400	3460	3520	3580	3640	3700	3760							

Scostamenti fondamentali per alberi (μm)

1) Gli scostamenti fondamentali a e b non devono essere utilizzati per dimensioni nominali ≤ 1 mm.
 2) Per le classi di tolleranza da js a p11, se il valore di IT è un numero dispari, l'arrotondamento è effettuato al numero pari immediatamente inferiore in modo che lo scostamento risultante, cioè $\frac{IT_n}{2}$, possa essere espresso in un numero intero di micrometri.

Sistema di tolleranze UNI/ISO

ESEMPIO: 20 e7



Dimensione nominale mm	oltre	fino a	IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7
			μm						
-		3 ³⁾	0,8	1,2	2	3	4	6	10
3	6		1	1,5	2,5	4	5	8	12
6	10		1	1,5	2,5	4	6	9	15
10	18		1,2	2	3	5	8	11	18
18	30		1,5	2,5	4	6	9	13	21

$e_f = e_s - t = -40 - 21 = -61 \mu\text{m}$



DIMENSIONE NOMINALE mm	SCOSTAMENTO SUPERIORE							
	oltre	fino a	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e
-	3	3 ¹						

Sistema di tolleranze UNI/ISO

☞ *Qualità di lavorazione* consigliate per ogni posizione di tolleranza

Qualità	Posizione																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	j	j _s	k	m	n	p	r	s	t	u	z	
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				

☞ **ALBERI**

Qualità	Posizione																					
	A	B	C	CD	D	E	F	G	H	J	J _s	K	M	N	P	R	S	T	Z	ZB	ZC	
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						

☞ **FORI**



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Il sistema ISO prevede per gli accoppiamenti la seguente designazione



Sistema di tolleranze UNI/ISO

☞ Cambiando gli alberi ed i fori previsti dal sistema di tolleranza ISO si otterrebbe un numero enorme di possibili accoppiamenti. La ISO prescrive allora **due sistemi di accoppiamento**:

☞ **albero base**: combinando **fori** con **diverse posizioni** di tolleranza con un **albero** in **posizione base h**

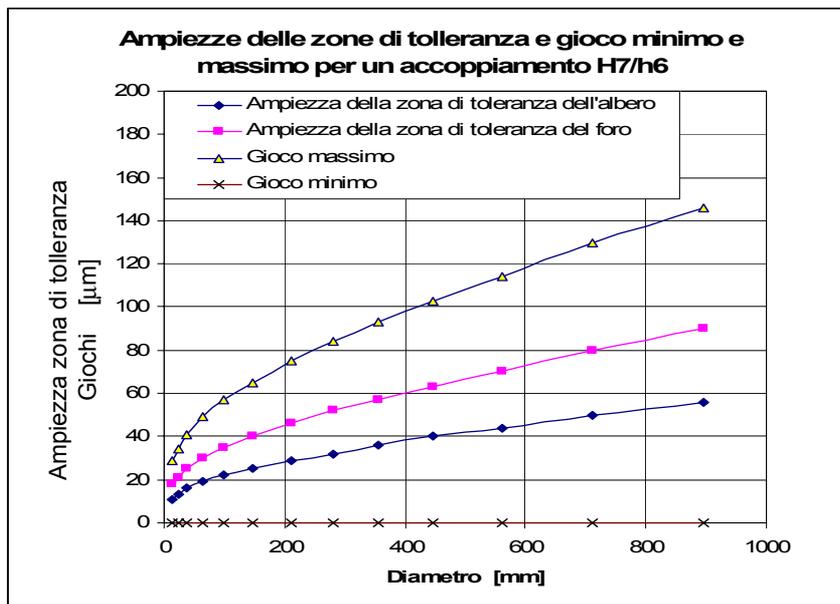
es: **G7/h6** **P6/h5**

☞ **foro base**: combinando **alberi** con **diverse posizioni** di tolleranza con un **foro** in **posizione base h**

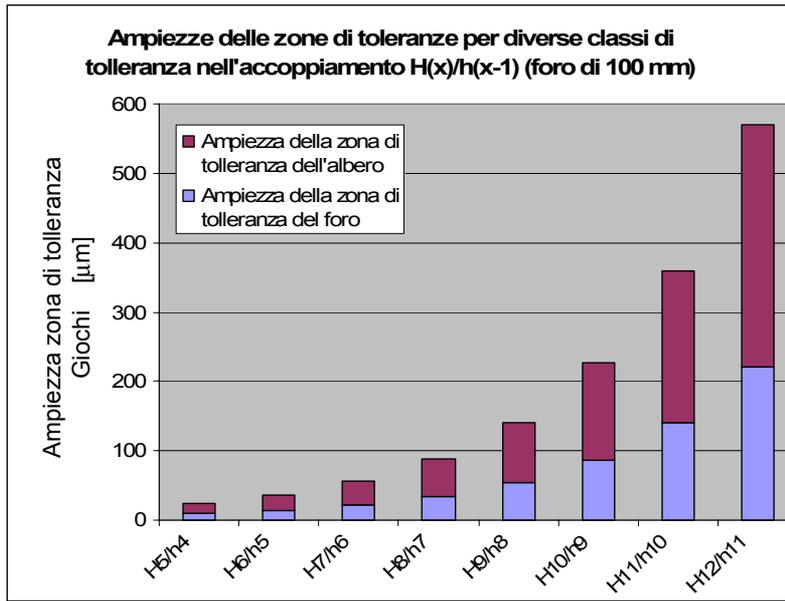
es: **H7/g6** **H7/r6**



Sistema di tolleranze UNI/ISO



Sistema di tolleranze UNI/ISO



Sistema di tolleranze UNI/ISO

☞ Indicazioni per la scelta degli accoppiamenti:

☞ preferire il sistema **foro base**. Adottare il sistema **albero base** solo nel caso che questo comporti sicuri vantaggi economici nella produzione e/o nel controllo dei pezzi.

☞ scegliere la tolleranza dell'albero e del foro in modo che giochi ed interferenze corrispondono alle condizioni di impiego richieste. A tale scopo consultare le tabelle con gli accoppiamenti di uso comune.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Indicazioni per la scelta degli accoppiamenti:

tenere presente che un accoppiamento incerto diviene in pratica, quasi sempre, un accoppiamento con leggera interferenza. Nelle lavorazioni, infatti, gli alberi tendono ad essere prodotti con dimensione più vicine alla massima che alla minima. Il contrario avviene per i fori.

negli accoppiamenti con gioco accertarsi che il gioco minimo sia tale da garantire la scorrevolezza anche al variare della temperatura. Il gioco massimo deve inoltre garantire la guida a seguito di eventuali usure.

per gli accoppiamenti forzati l'interferenza minima deve prevenire il distacco dei pezzi, quella massima non deve causare danneggiamento dei pezzi.

si devono scegliere le zone di tolleranze più larghe compatibili con le condizioni di impiego.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

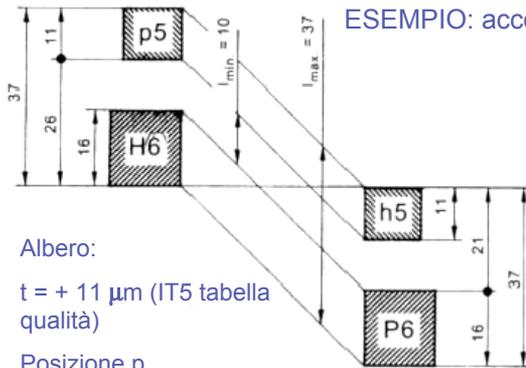
PREFERRED FITS FOR SHAFTS AND HOLES*

Hole Basis	Shaft Basis	Description
H11/c11	C11/h11	Loose running fits are for wide commercial tolerances or allowances on external members
H9/d9	D9/h9	Free running fits are good for large temperature variations, high running speeds, or heavy journal pressure, but not where accuracy is essential.
H8/f7	F8/h7	Close running fits are for running on accurate machines and for accurate locations at moderate speeds.
H7/g6	G7/h6	Sliding fits are not intended to run freely, but to move and turn freely and locate accurately.
H7/h6	H7/h6	Location clearance provides snug fits for locating stationary parts, but can be freely assembled and disassembled.
H7/k6	K7/h6	Location transition fits are for accurate locations, a compromise between clearance and interference.
H7/n6	N7/h6	Location transition fits are for more accurate locations where greater interference is permissible.
H7/p6	P7/h6	Location interference fits are for parts requiring rigidity and alignment with prime accuracy of location but without special bore-pressure requirements.
H7/s6	S7/h6	Medium drive fits are for ordinary steel parts or shrink fits on light sections. these provide the tightest usable fit with cast iron.
H7/u6	U7/h6	Force fits are suitable for parts which can be highly stressed or for shrink fits where the heavy pressing forces required are impractical.

* Reprinted from Kverneland, K.O., "How ISO Standards Cut Manufacturing Costs," *Machine Design*, pp 126-130, November 5, 1998.



Sistema di tolleranze UNI/ISO



ESEMPIO: accoppiamento foro base 40 H6/p5

Foro:

$t = + 16 \mu\text{m}$ (IT6 tabella qualità)

Posizione H

$E_i = 0$

$E_s = E_i + t = + 16 \mu\text{m}$

Albero:

$t = + 11 \mu\text{m}$ (IT5 tabella qualità)

Posizione p

$e_i = + 26 \mu\text{m}$

$e_s = e_i + t = + 37 \mu\text{m}$

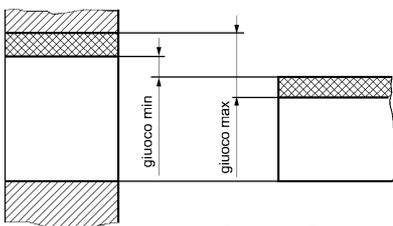
Accoppiamento:

$$I_{\max} = (D + e_s) - (D + E_i) = + 37 \mu\text{m}$$

$$I_{\min} = (D + e_i) - (D + E_s) = + 10 \mu\text{m}$$



Sistema di tolleranze UNI/ISO



ESEMPIO: Fissati i giochi G_{\min} ($50 \mu\text{m}$) e G_{\max} ($120 \mu\text{m}$) si vogliono determinare le tolleranze t_a e t_f incognite dell'albero e del foro.

$$\bullet G_{\max} - G_{\min} = t_a + t_f$$

$$t_a + t_f = 120 - 50 = 70 \mu\text{m} \quad (1)$$

$$\bullet IT_{n+1} = 1.6 IT_n \text{ (dalla qualità 6 in poi)}$$

$$t_f = 1.6 t_a \quad (2)$$

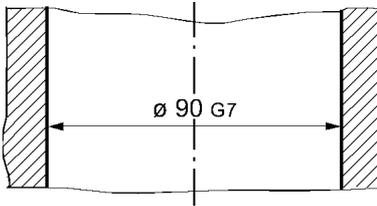
• Unendo le equazioni (1) e (2):

$$\begin{cases} t_a + t_f = 70 \mu\text{m} \\ t_f = 1.6 t_a \end{cases} \quad \begin{cases} t_a = 26.92 \mu\text{m} \\ t_f = 43.08 \mu\text{m} \end{cases}$$

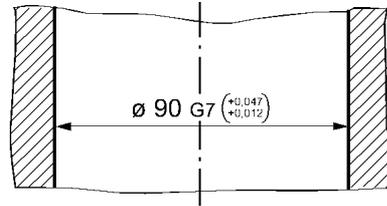


Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze nei pezzi singoli



mediante il simbolo della zona di tolleranza ISO

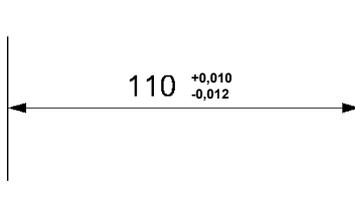


mediante simbolo e scostamenti limite: lo scostamento superiore sempre sopra quello inferiore

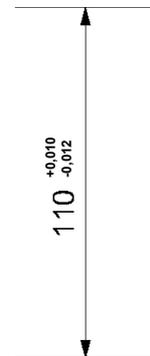


Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze nei pezzi singoli

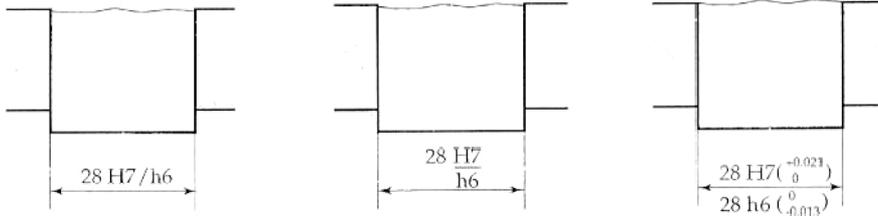


mediante gli scostamenti limite:
lo scostamento superiore
sempre sopra quello inferiore



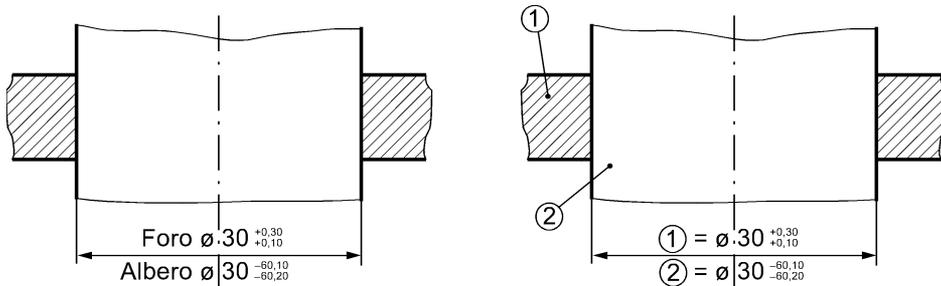
Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze negli accoppiamenti



Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze negli accoppiamenti



Tolleranze Dimensionali Generali

☞ Per non appesantire la quotatura, senza lasciare indefinite alcune tolleranze, la norma **UNI 22768/1** stabilisce le tolleranze generali per le dimensioni prive di indicazioni specifiche

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

1) per le dimensioni nominali minori di 0,5 mm, lo scostamento deve essere indicato dopo la dimensione nominale

L'utilizzo di questa tabella deve essere indicato nei pressi o all'interno del riquadro delle iscrizioni, precisando la classe di tolleranza scelta: **ISO 2768 - m**

La norma prescrive tabelle apposite per smussi, raccordi e dimensioni angolari

