

Corso di **Disegno Tecnico Industriale**
per i Corsi di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica e
in Ingegneria dell'Energia

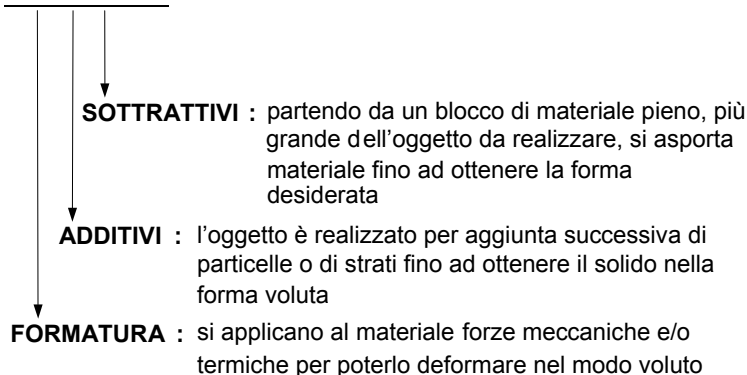
Elementi di tecnologia meccanica
Introduzione alla Specificazione Geometrica dei Prodotti
Accoppiamenti e tolleranze.
Sistema di tolleranze dimensionali.

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



Cenni sui procedimenti tecnologici

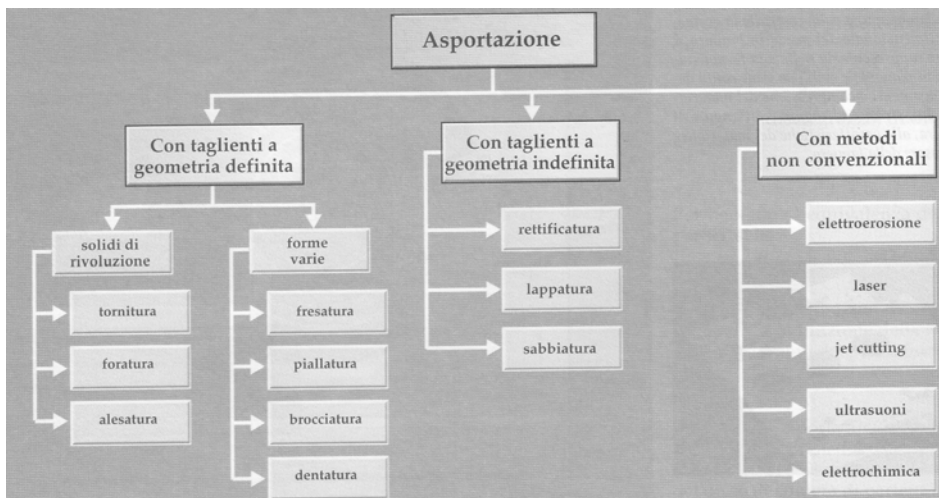
PROCEDIMENTI

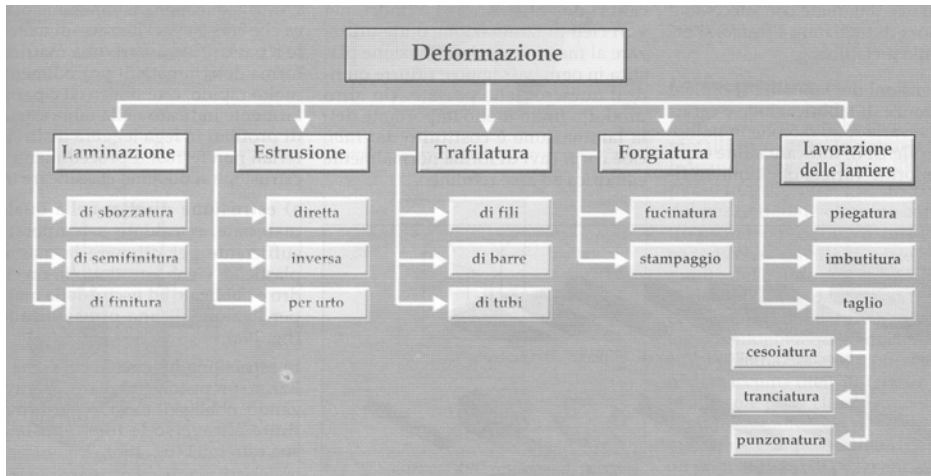


Cenni sui procedimenti tecnologici

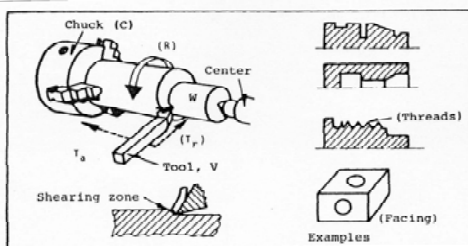


Cenni sui procedimenti tecnologici

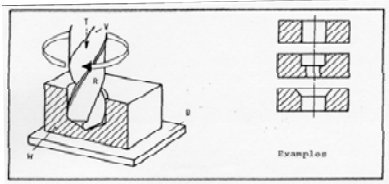




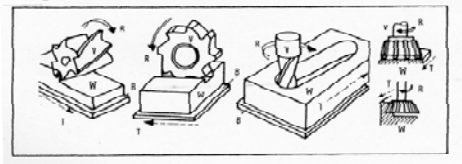
Asportazione



Tornitura (turning)






Foratura (drilling)



Fresatura (milling)



Classificazione secondo i movimenti

Moto di taglio	- rettilineo - alternativo - rotatorio		all'utensile o al pezzo
Moto di avanzamento	- continuo - intermittente		
Moto di registrazione	- per posizionare l'utensile in prossimità della zona di lavoro		



Classificazione secondo contatto utensile pezzo

Continuo	}	Monotaglienti	- tornitura - limatura - piallatura - stozzatura
		Bitaglienti	- foratura
		Pluritaglienti	- brocciatura
Discontinuo	}	Pluritaglienti	- fresatura
		Taglienti indefiniti	- rettifica



Moto di taglio

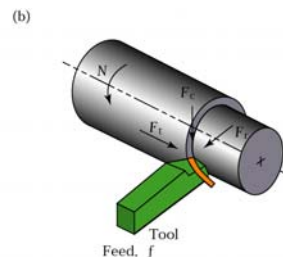
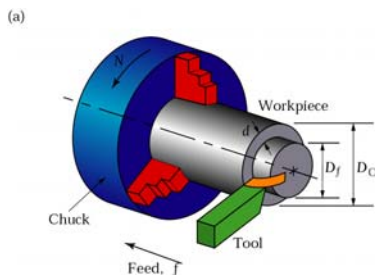
	Rotatorio		Rettilineo
Torni	(pezzo)	Limatrici	(utensile)
Trapani	(utensile)	Piallatrici	(utensile)
Alesatrici	(utensile)	Stozzatrici	(utensile)
Fresatrici	(utensile)	Brocciatrici	(utensile)
Rettificatrici	(utensile)		

In genere è più facile mettere in movimento ad elevata velocità l'utensile piuttosto che il pezzo

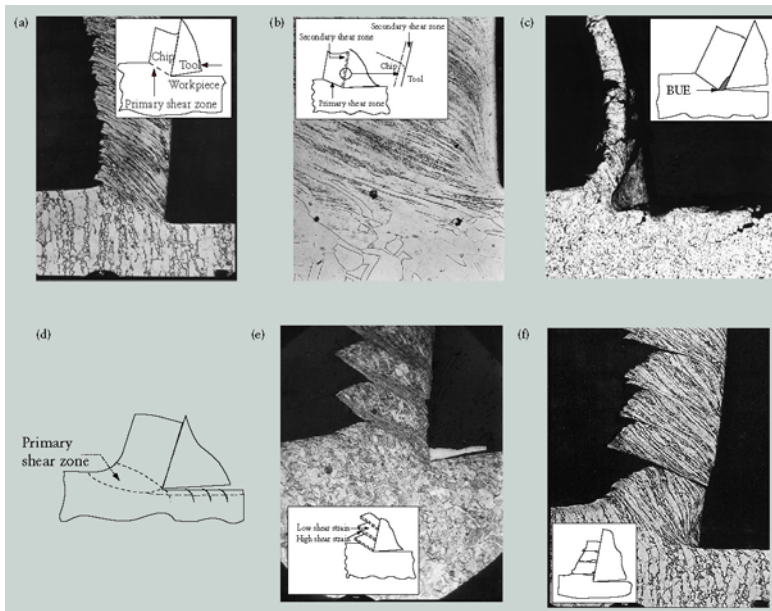


Generalità sulla tornitura

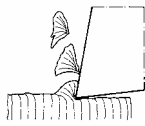
- Una parte della sezione cilindrica è bloccata dal mandrino; in tal modo il componente può ruotare attorno al proprio asse
- Il componente ruota a velocità costante
- L'utensile è portato a contatto del componente sulla superficie in movimento da rimuovere
- Il mandrino garantisce un movimento assialsimmetrico



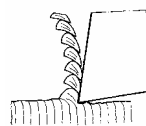
La formazione del truciolo



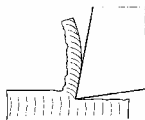
Tipi di truciolo



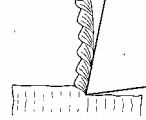
Ad elementi staccati
tipico di materiali duri
tipici di acciai basso carbonio,
alluminio, alcune leghe
eggere), la deformazione
in attrito nella zona di
deformazione secondaria
portano a notevole
produzione di calore



Segmentato tipico di materiali
duri ma tenaci (acciai alto
carbonio)
si ha modesta deformazione
nella zona secondaria



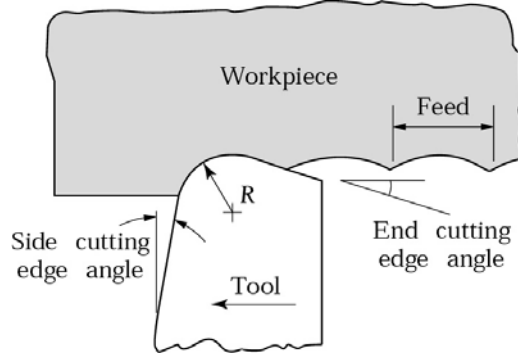
Fluente, continuo,
tipico di materiali duttili
acciai basso carbonio,
alluminio, alcune leghe
eggere), la deformazione
in attrito nella zona di
deformazione secondaria
portano a notevole
produzione di calore



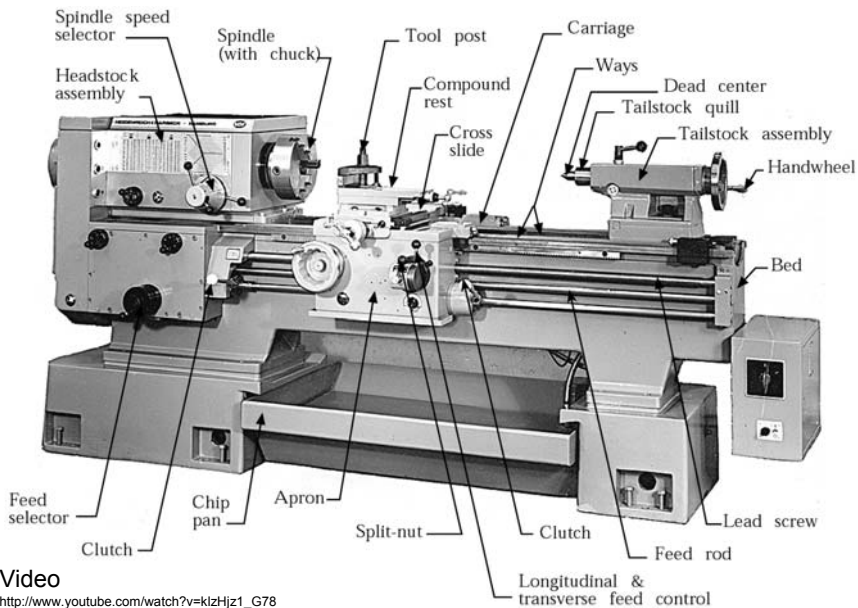
Fluente, continuo
frammentato, indica che
nella zona di deformazione
primaria si è avuta una
variazione della direzione
di deformazione
vibrazioni, irregolarità,
durata inferiore di utensile



- Creazione di solchi
- La profondità dipende dalla velocità di avanzamento, dalla velocità di taglio e dalla forma dell'utensile



La macchina utensile: il tornio



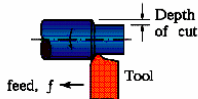
Video

http://www.youtube.com/watch?v=klzHjz1_G78



Lavorazioni di asportazione per componenti assialsimmetrici

(a) Straight turning



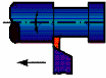
(b) Taper turning



(c) Profiling



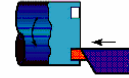
(d) Turning and external grooving



(e) Facing



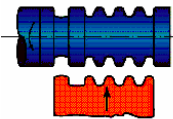
(f) Face grooving



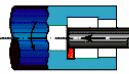
Video

<http://www.youtube.com/watch?v=00J2gCoqNnY&NR=1>

(g) Cutting with a form tool



(h) Boring and internal grooving



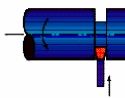
Video

<http://www.youtube.com/watch?v=oOdrPNT0G28&feature=related>

(i) Drilling



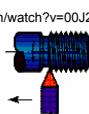
(j) Cutting off



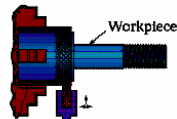
Video

<http://www.youtube.com/watch?v=00J2gCoqNnY&feature=related>

(k) Threading



(l) Knurling



Lavorazioni non assialsimmetriche – Fresatura in piano

- Fresatura

- Periferica

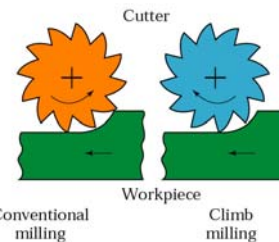
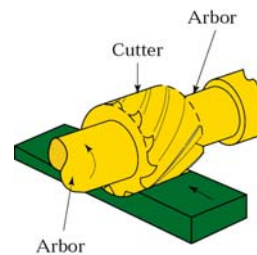
- L'asse della fresa è parallelo alla superficie lavorata

- Concorde

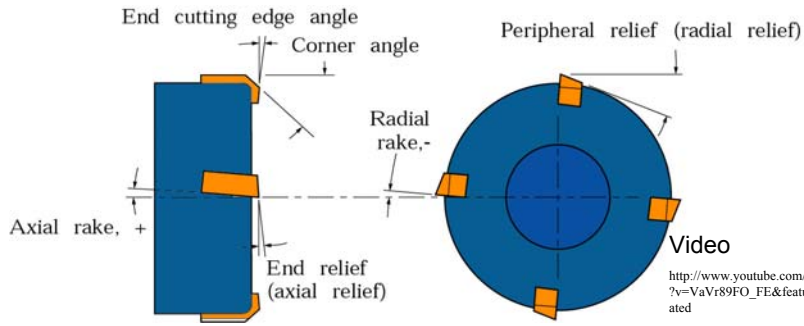
- Lo spessore di truciolo è massimo all'uscita del dente (fine taglio)
 - Attacco dolce dell'utensile sul materiale

- Discorde

- Lo spessore del truciolo è massimo all'ingresso del dente (inizio taglio)
 - Urto (impatto) dell'utensile sul materiale



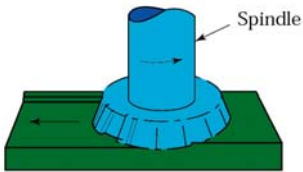
Lavorazioni non assialsimmetriche – Fresatura frontale



http://www.youtube.com/watch?v=VaVr89FO_FE&feature=related

Video

<http://www.youtube.com/watch?v=qLJxMUw51N8&feature=related>



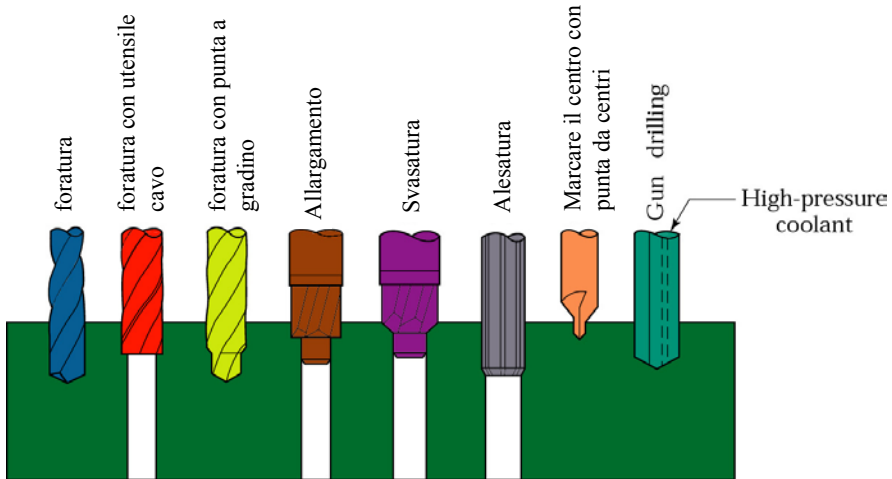
- Asse di rotazione perpendicolare alla superficie del pezzo
- Grandi utensili multitagliente



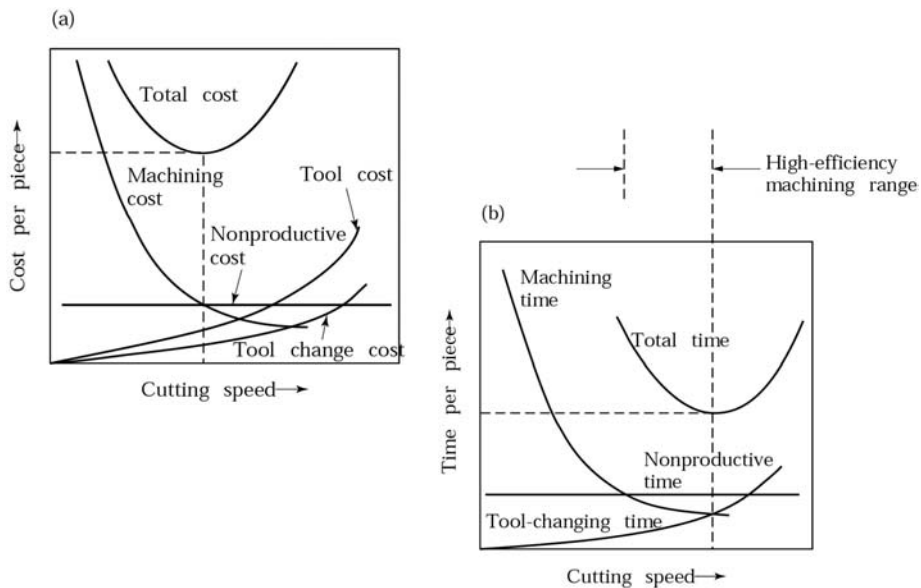
Vertical milling machine



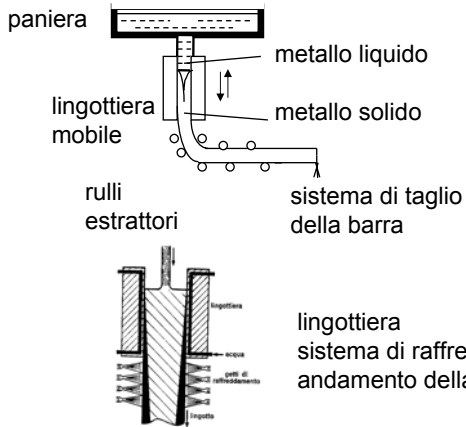
Operazioni e utensili di foratura



Criteri economici nel processo di asportazione di truciolo



Fonderia: colata continua



ottenimento di semilavorati destinati a successive lavorazioni per deformazione plastica

in alcuni casi anche prodotti finiti

+ produttività
qualità prodotti

- costi di impianto

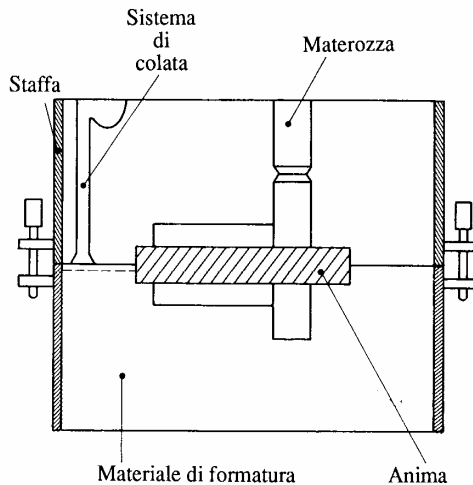
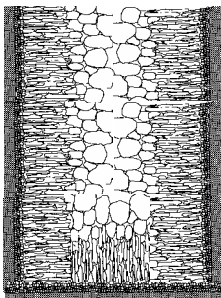
lingottiera
sistema di raffreddamento
andamento della solidificazione



Fonderia: colata in terra

getti finiti a meno di:
- trattamenti termici
- lavorazioni di finitura

Elementi costitutivi di una forma in terra



Tipica struttura finale di un lingotto



Generalità sulla deformazione

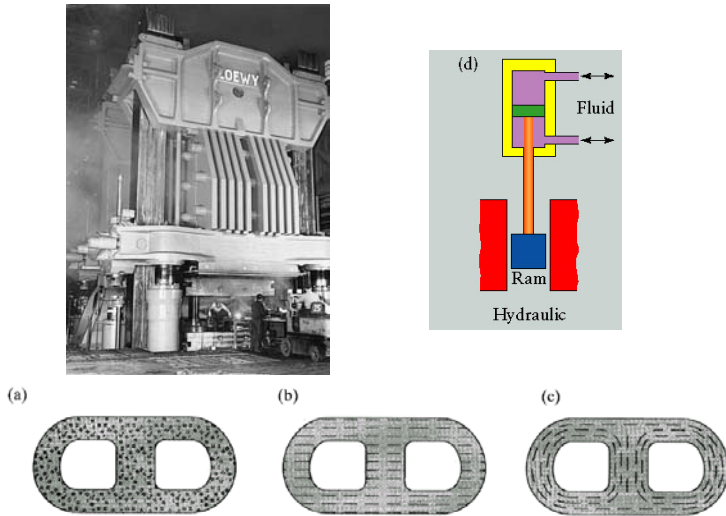
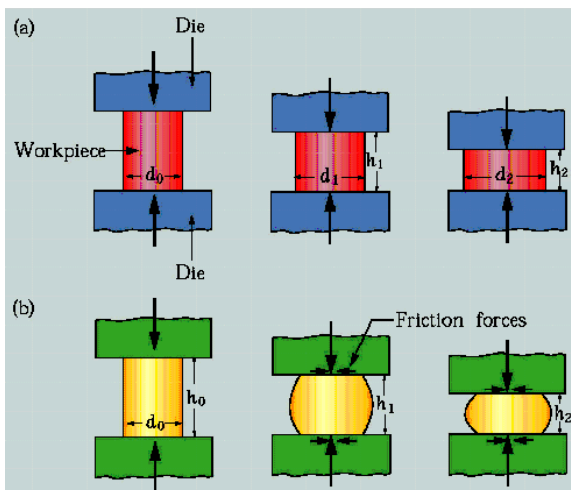


FIGURE 14.3 A part made by three different processes, showing grain flow. (a) casting, (b) machining, (c) forging. Source: Forging industry Association.



Generalità sulla deformazione

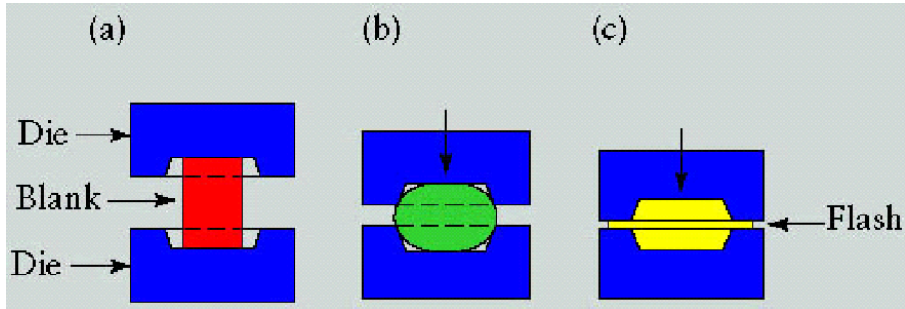
Deformazione ideale



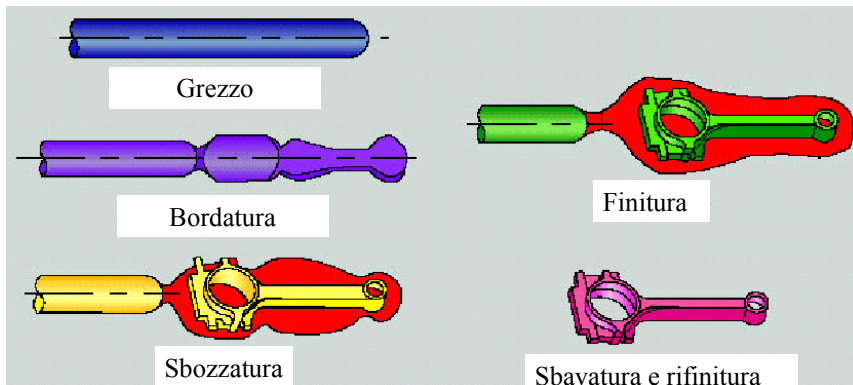
- (a) Deformazione ideale di un provino cilindrico compresso tra due stampi piani senza attrito. (Fucinatura)
- (b) Deformazione da fucinatura con attrito nell'interfaccia tra stampo e pezzo .



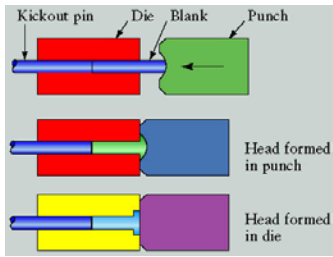
Fucinatura a stampo



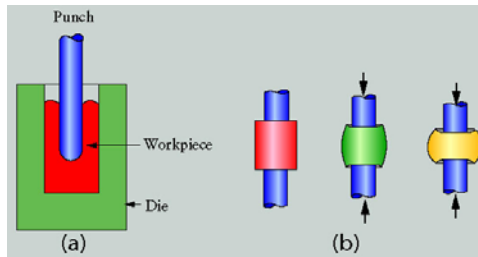
Esempio: fabbricazione di una biella



Ricalcatura



Operazioni di foratura

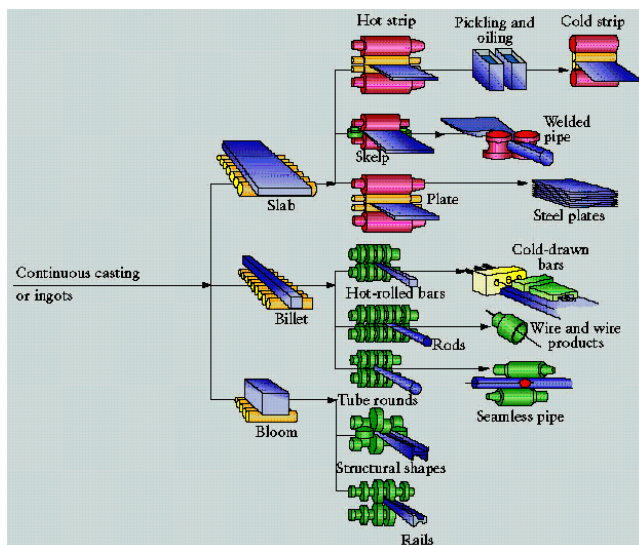


- Fucinatura della testa di elementi di collegamento come viti o rivetti (Ricalcatura).

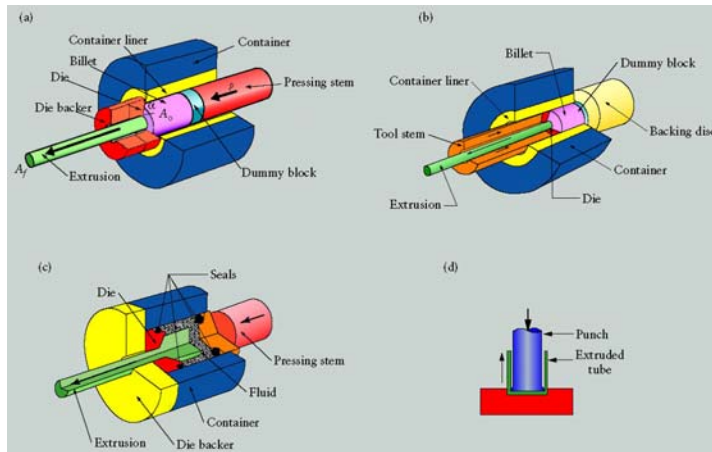
- Esempi di operazioni di foratura.



Processi di laminazione piana e sagomata



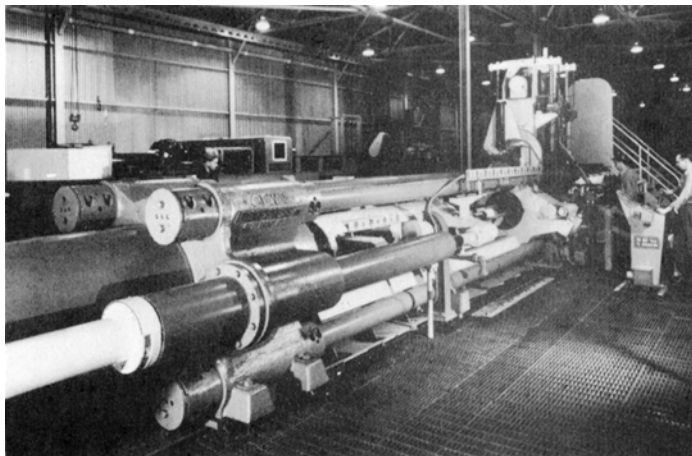
Estrusione



Tipi di estrusione: (a) diretta; (b) indiretta; (c) idrostatica; (d) ad impatto.

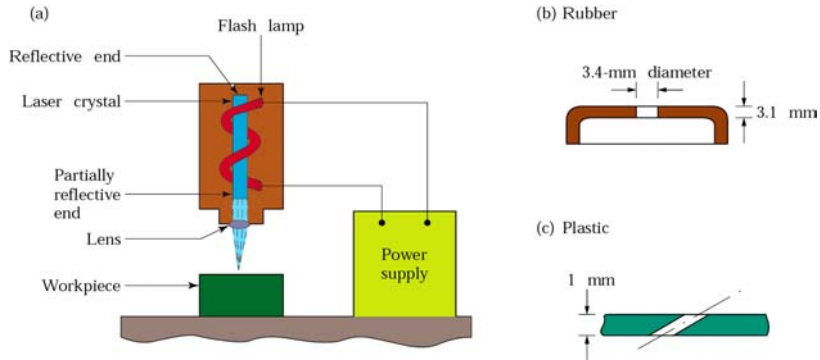


Attrezzatura per estrusione

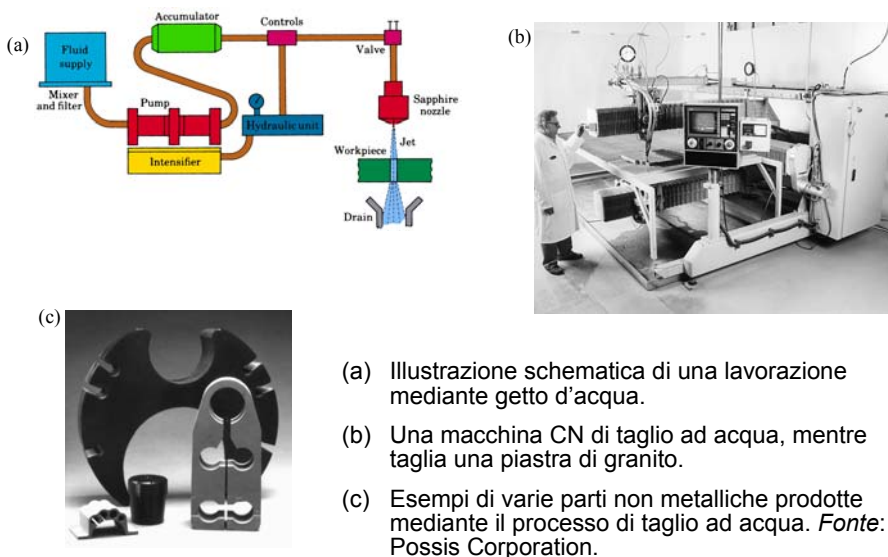


Macchine a fascio laser

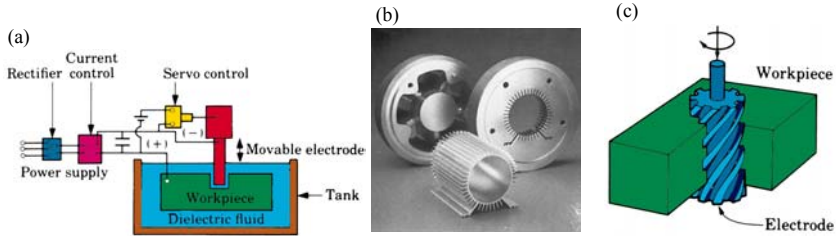
- (a) Illustrazione schematica del processo di fabbricazione a fascio laser.
(b) e (c) Esempi di fori prodotti mediante macchine a fascio laser in componenti non metallici.



Taglio ad acqua



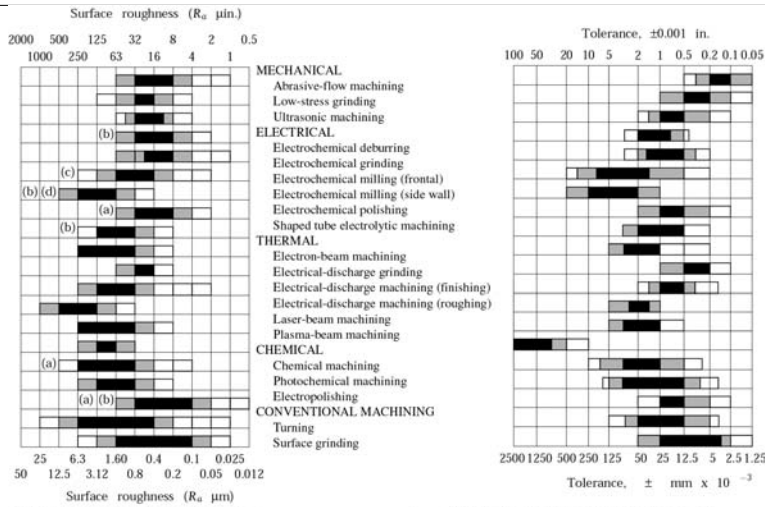
Macchine per elettroerosione (EDM)



- (a) Schematic illustration of the electrical-discharge machining process. This is one of the most widely used machining processes, particularly for die-sinking operations.
- (b) Examples of cavities produced by the electrical-discharge machining process, using shaped electrodes. Two round parts (rear) are the set of dies for extruding the aluminum piece shown in front. *Fonte: AGIE USA Ltd.*
- (c) A spiral cavity produced by EDM using a slowly rotating electrode, similar to a screw thread. *Fonte : American Machinist.*



Rugosità superficiale e campi di tolleranza



Surface roughness and tolerances obtained in various machining processes. Note the wide range within each process. (*Fonte: Machining Data Handbook, 3rd ed. Used by permission of Metcut Research Associates, Inc.*)

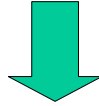


Specificazione Geometrica dei Prodotti: premessa

Obiettivo del processo di sviluppo prodotto non è la realizzazione della macchina "perfetta", ma la realizzazione di una macchina che risponda ai requisiti di:

- funzionalità
- durata
- economicità
- ...

per cui il cliente è disposto a pagare e/o previsti da norme/leggi.



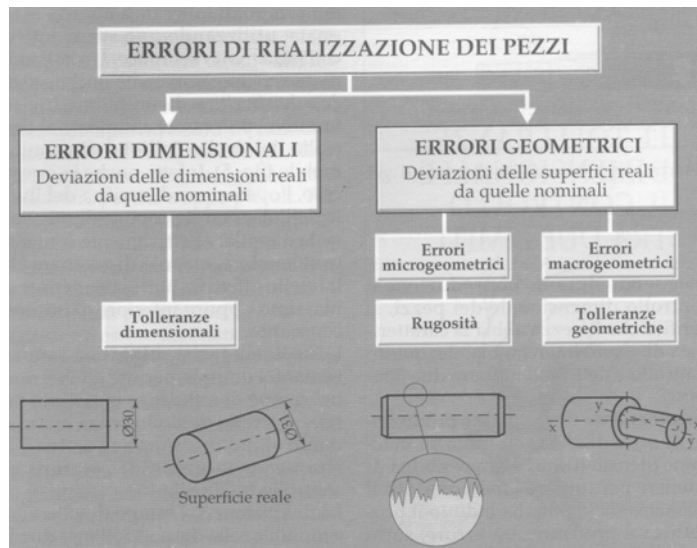
La differenza tra macchina ideale e macchina reale non deve comprometterne funzionalità, durata, economicità, ...

Compito del progettista è definire le differenze ("scostamenti") ammissibili (= tolleranze) tra dimensioni/geometria ideali e dimensioni/geometria reali che garantiscano il corretto funzionamento.



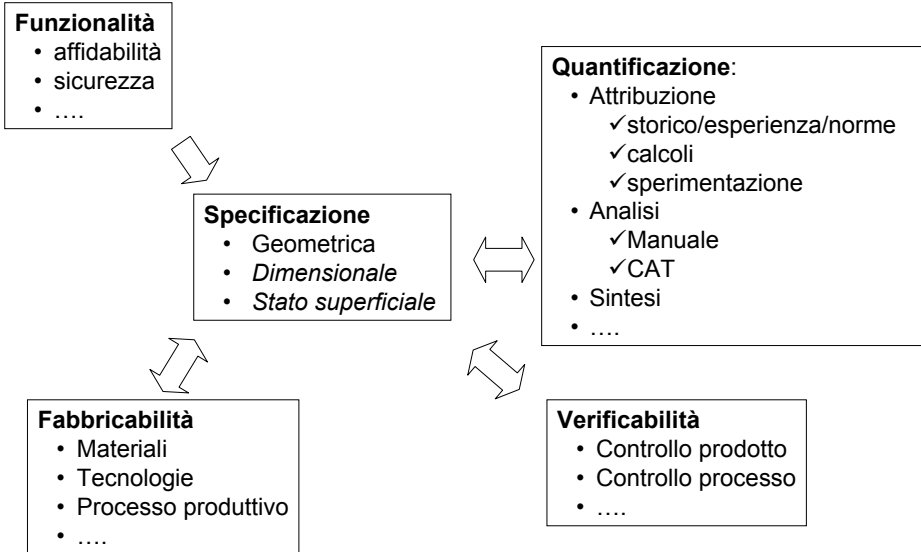
Specificazione Geometrica dei Prodotti: premessa

Classificazione dei difetti (errori) di fabbricazione



Specificazione Geometrica dei Prodotti

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



Specificazione Geometrica dei Prodotti

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)



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



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.

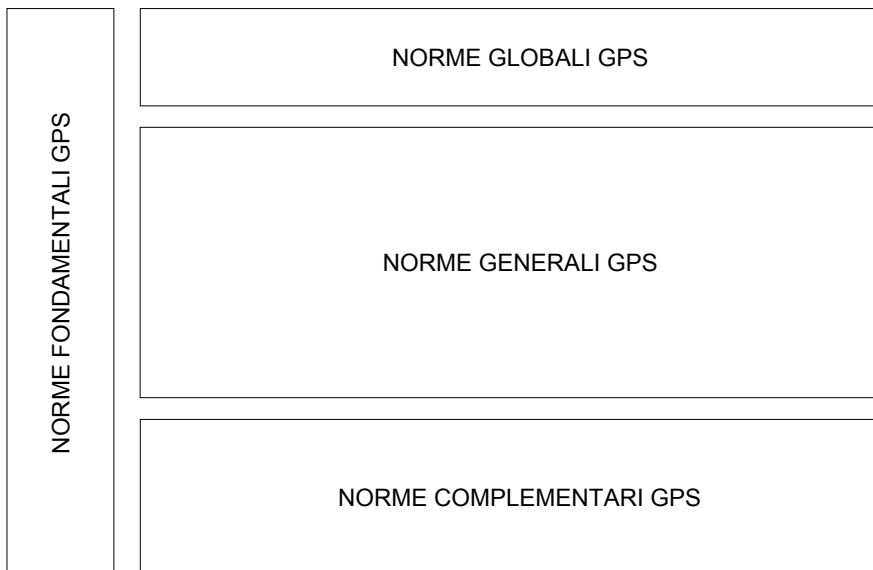
Il processo produttivo di un componente prevede l'esistenza di:

- 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



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.)

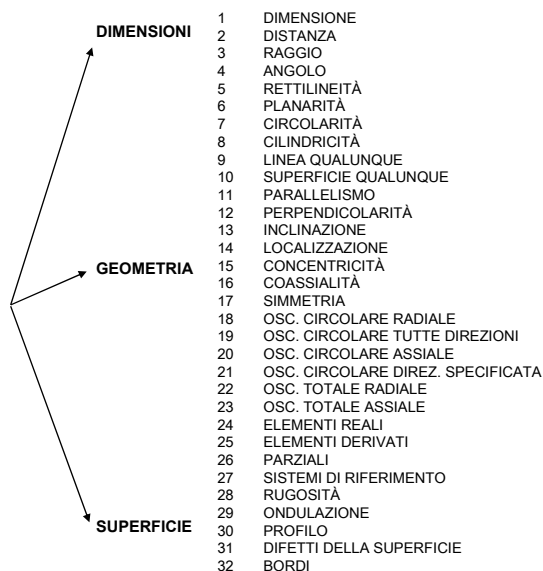


Modello della matrice delle norme GPS

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.



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.



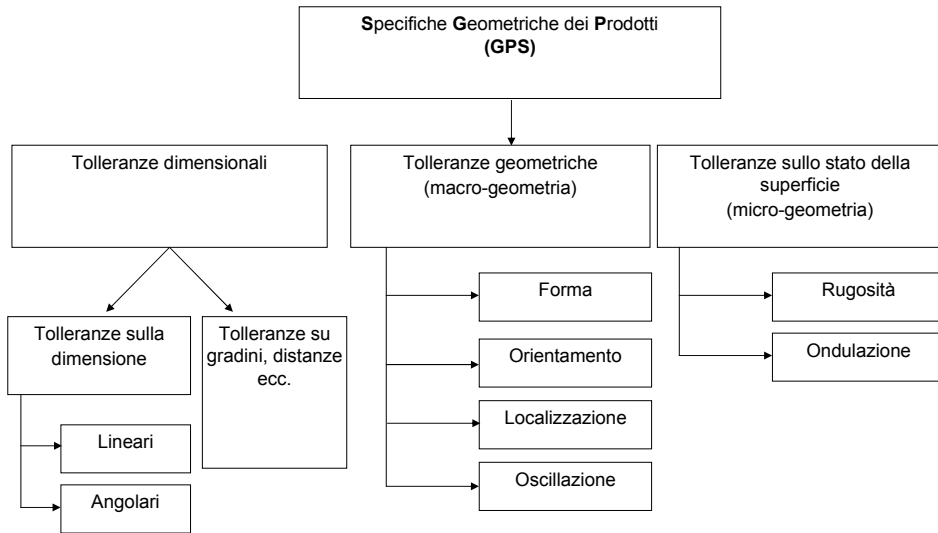
Specificazione Geometrica dei Prodotti

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.

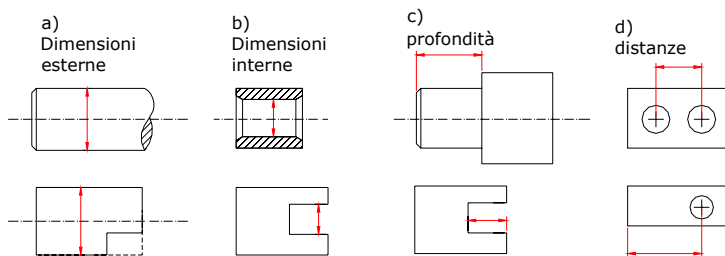


Specificazione Geometrica dei Prodotti



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

DIMENSIONI



Differenti gruppi di dimensioni:

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

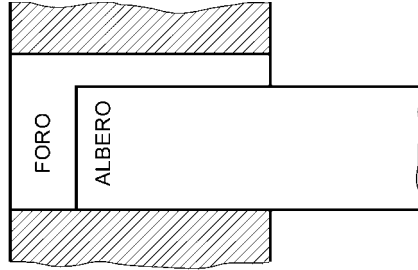
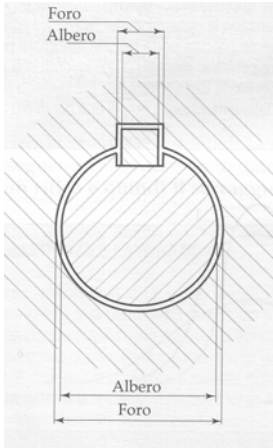


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

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."

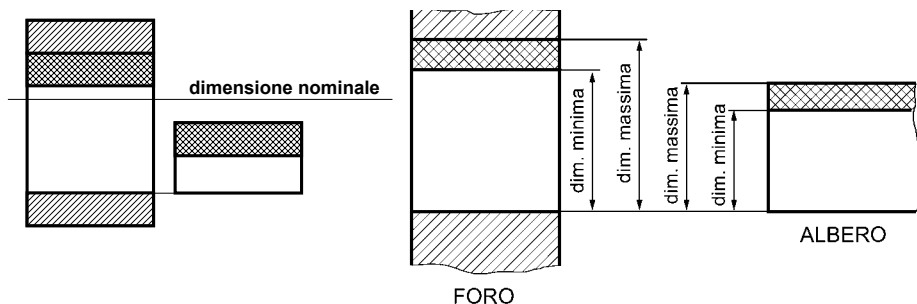


"Foro" e "albero" designano anche lo spazio, rispettivamente contenente e contenuto, compreso entro due facce (o piani tangenti) paralleli di un pezzo qualunque.



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

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



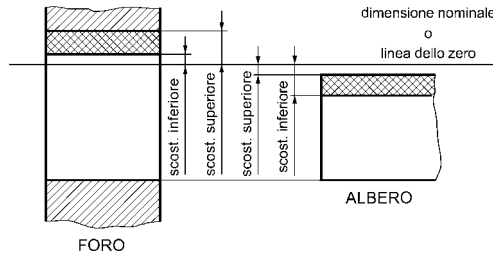
Dimensione effettiva: dimensione reale del pezzo (misurata).

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

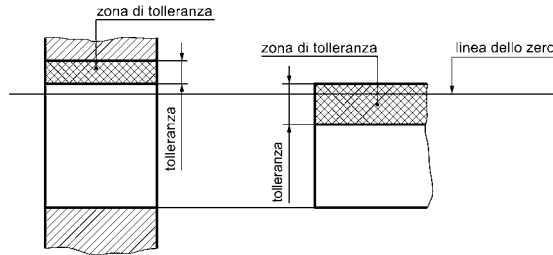


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

Scostamento = dimensione effettiva - dimensione nominale



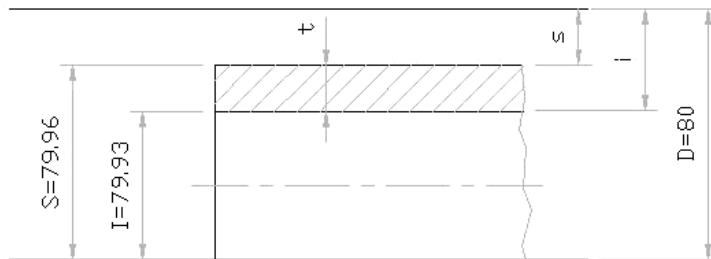
Tolleranza: differenza tra le due dimensioni limiti (ampiezza dell'intervallo di variazione ammissibile)



Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

✓ **ESEMPIO: Calcolo degli scostamenti**

linea dello zero



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

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

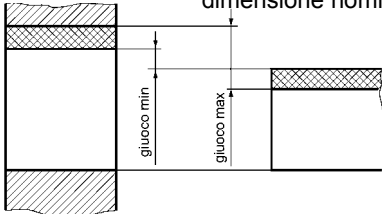
$$i = I - D = 79.93 - 80 = -0.07 \text{ mm} = -70 \mu\text{m}$$

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

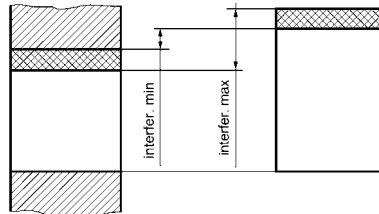


Accoppiamenti e tolleranze dimensionali

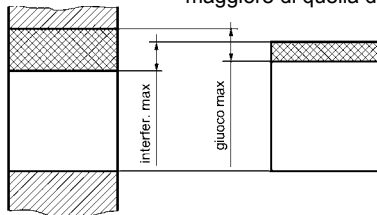
Accoppiamento: relazione risultante dalla differenza, prima del montaggio, tra le dimensioni di due contorni (foro e albero) destinati ad essere accoppiati. I due elementi dell'accoppiamento hanno la stessa dimensione nominale



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



Tolleranze dimensionali: sistema di tolleranze UNI/ISO

Obiettivo:

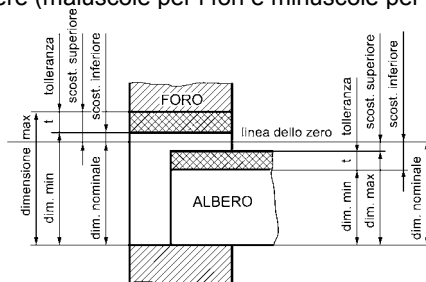
definire un metodo per **specificare i requisiti di accoppiamento albero/foro** in modo indipendente dalle diverse dimensioni nominali.



Sistema UNI/ISO di tolleranze ed accoppiamenti (UNI EN 20286-1,2:1995)

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

- **grado (o qualità) di tolleranza normalizzato**, che *definisce l'ampiezza della zona di tolleranza* ed è designato mediante la sigla IT seguita da un numero;
- **posizione della zona di tolleranza** rispetto la linea dello zero, designato mediante una o più lettere (maiuscole per i fori e minuscole per gli alberi).



Tolleranze dimensionali: sistema di tolleranze UNI/ISO

Grado (o qualità) di tolleranza normalizzato:

- Il sistema UNI/ISO prevede **20 diversi gradi di tolleranza normalizzati**, ovvero che descrivono in modo adimensionalizzato il requisito di precisione della lavorazione.
- I diversi gradi di tolleranza sono indicati con le sigle **IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT18**, con precisione decrescente.
- Le dimensioni fino a 3150 mm sono state suddivise in **21 intervalli** (ad esempio, oltre 18 e fino a 30 mm)
- L'ampiezza effettiva della zona di tolleranza dipende pertanto dal grado di tolleranza normalizzato (es. IT7) e dalla dimensione media (*geometrica*) dell'intervallo dimensionale considerato.

Es:

$$D_{medio} = \sqrt{D_{min} \times D_{max}} = \sqrt{18 \times 30} = 23,238 \text{ mm}$$

- A parità di grado di tolleranza normalizzato, l'ampiezza cresce al crescere dell'intervallo considerato. Nell'ambito dello stesso intervallo, la tolleranza è la stessa.
- Le ampiezze sono utilizzate sempre e solo in forma tabulata



Sistema di tolleranze UNI/ISO: Gradi di tolleranza normalizzati

Dimensione nominale mm		Gradi di tolleranza normalizzati																	
oltre	fino a	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⁾
		Tolleranze µm											mm						
—	3 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	26	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	350	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

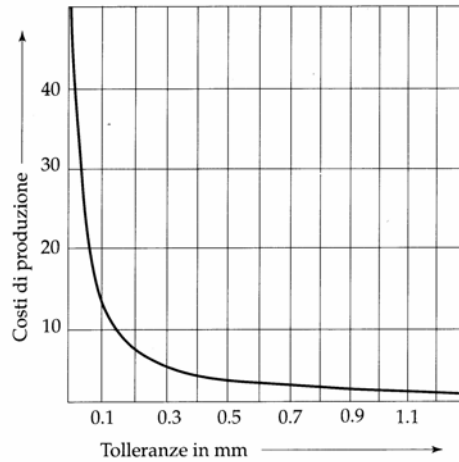
Grado di tolleranza normalizzato	Classe di tolleranza		Lavorazioni meccaniche corrispondenti		Applicazioni	
	Alberi	Fori	Alberi	Fori	Alberi	Fori
IT1 - IT4			Lavorazione con macchine speciali	Lavorazione con macchine speciali	Lavorazioni di precisione di strumenti di misura, calibri, blocchetti di riscontro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

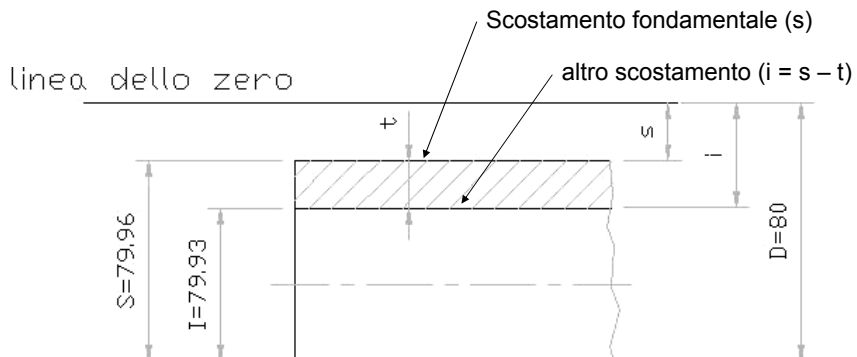
- precisione richiesta per garantire la funzionalità;
- costi di produzione.



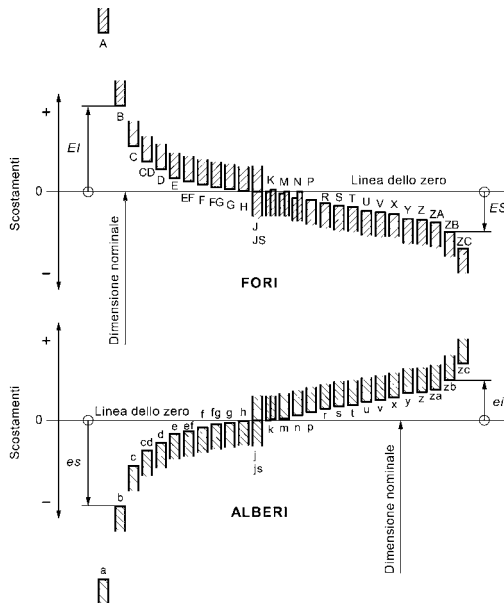
Sistema di tolleranze UNI/ISO: posizioni del campo di tolleranza

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 **minuscolo** 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

Prospetto II - Valori numerici degli scostamenti fondamentali degli alberi

Valori degli scostamenti fondamentali in µm

Dimensione nominale dmm	dmm	Scostamento superiore es																	Valori degli scostamenti fondamentali																	Scostamenti inferiori ei																
		Gradi di tolleranza																	Linee di scostamento a e es/esi e f/ff																	Gradi di tolleranza																
		js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt	js	kt																									
0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																									
0.005	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.010	0.010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.020	0.020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.050	0.050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.100	0.100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.150	0.150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.200	0.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.300	0.300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.500	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
0.700	0.700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
1.000	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
1.500	1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
2.000	2.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
3.000	3.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
5.000	5.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
7.000	7.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
10.000	10.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
15.000	15.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
20.000	20.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
30.000	30.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
50.000	50.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
70.000	70.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
100.000	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								

1) Gli scostamenti fondamentali a e b non devono essere utilizzati per dimensioni nominali < 1 mm.
2) Per le classi di tolleranza da js4 a pt11, se il valore in IT è un numero dispari l'arrotondamento si ottiene il numero pari immediatamente inferiore in modo che lo scostamento risultante, esposto in modo che possa essere espresso in un numero intero di micron.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

≅ ESEMPIO: 20 e7

posizione e → $e_s = -40 \mu\text{m}$

IT7 → $t = 21 \mu\text{m}$

Dimensione nominale mm		IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7
oltre	fino a	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

DIMENSIONE NOMINALE mm		SCOSTAMENTO SUPERIORE									
		GRADI DI TOLLERANZA									
oltre	fino a	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	g	h
-	3 ³⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-7	-5	-4
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-7	-5
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-16	-11	-8	-6
10	14	-290	-150	-95	-65	-50	-32	-20	-14	-10	-8
14	18	-290	-150	-95	-65	-50	-32	-20	-14	-10	-8
18	24	-300	-160	-110	-80	-60	-40	-25	-16	-11	-8
24	30	-300	-160	-110	-80	-60	-40	-25	-16	-11	-8
30	40	-310	-170	-120	-90	-70	-45	-28	-18	-13	-10
40	50	-320	-180	-130	-100	-80	-50	-30	-20	-14	-10

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

↓
20
-0.040
-0.061



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



Il sistema ISO prevede per gli accoppiamenti la seguente designazione



Sistema di tolleranze UNI/ISO

- Combinando tra loro tutte le diverse posizioni per fori ed alberi previste dal sistema UNI/ISO si potrebbe ottenere un numero elevatissimo di possibili accoppiamenti.
- Tale molteplicità è **inutile e dannosa**.
- Il sistema UNI/ISO prescrive infatti di utilizzare solo i seguenti sistemi di accoppiamento:
 - **foro base**: si ottengono le diverse condizioni di accoppiamento combinando alberi con diverse posizioni (a – zc) con un **foro in posizione H**.

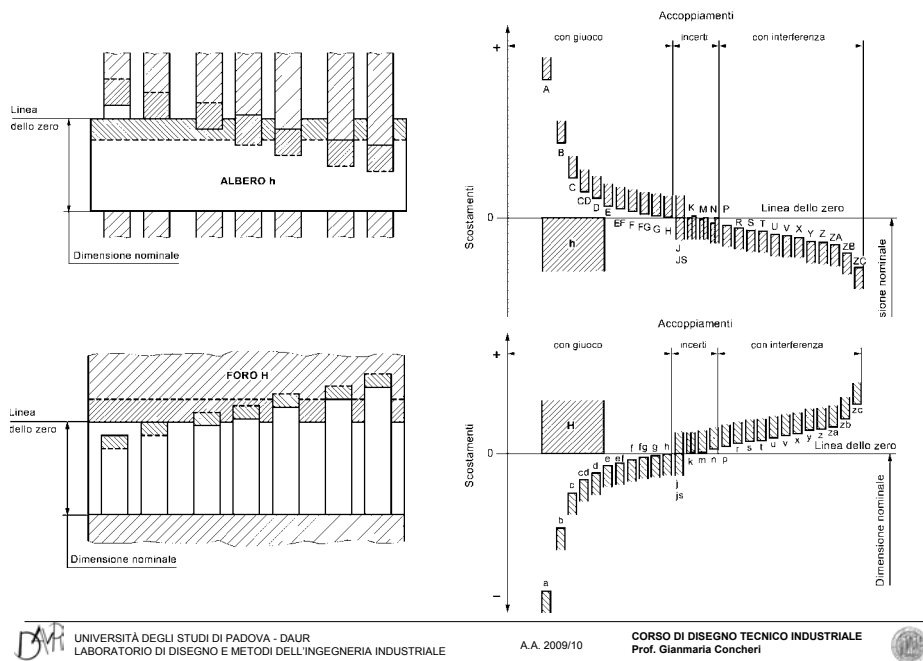
es.: **H7/g6** **H6/p5**

- **albero base**: si ottengono le diverse condizioni di accoppiamento combinando fori con diverse posizioni (A – ZC) con un **albero in posizione h**.

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



Sistema di tolleranze UNI/ISO



Sistema di tolleranze UNI/ISO

Indicazioni per la scelta degli accoppiamenti:

- Dal momento che lavorare e verificare i fori è più difficile e costoso, **preferire il sistema foro base** (standardizza maggiormente la lavorazione più critica)
- Adottare il sistema **albero base** solo nel caso che questo comporti sicuri vantaggi economici nella produzione e/o nel controllo (ad es. acquisto di componenti a catalogo prodotti in posizione h)
- Scegliere le tolleranze dell'albero e del foro più ampie compatibilmente con le condizioni di impiego richieste. Assegnare un grado di tolleranza più ampio al foro. Consultare le tabelle con gli accoppiamenti di uso comune.
- Tenere presente che un **accoppiamento incerto** in pratica si comporta come un **accoppiamento con lieve interferenza**, per effetto dell'errore di forma sempre presente e del fatto che in genere gli alberi tendono ad essere prodotti con dimensioni più vicine alla massima, mentre i fori alla minima
- Negli accoppiamenti con gioco, valutare il comportamento funzionale al variare della temperatura e in presenza di usura
- Negli accoppiamenti con interferenza (forzati) l'interferenza minima deve assicurare comunque il collegamento dei componenti, quella massima non deve causare danneggiamento dei componenti.



Sistema di tolleranze UNI/ISO

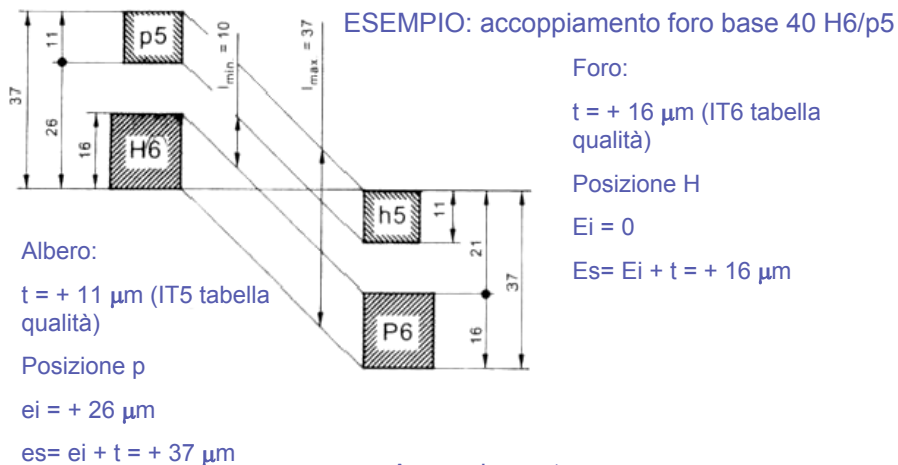
PREFERRED FITS FOR SHAFTS AND HOLES*

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.

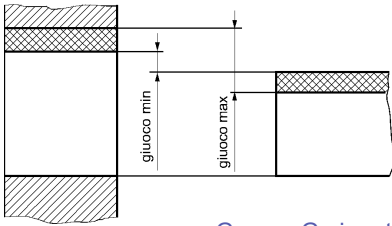
* Reprinted from Kverneland, K.O., "How ISO Standards Cut Manufacturing Costs," *Machine Design*, pp 126-130, November 5, 1998.



Sistema di tolleranze UNI/ISO



Sistema di tolleranze UNI/ISO



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

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

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

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

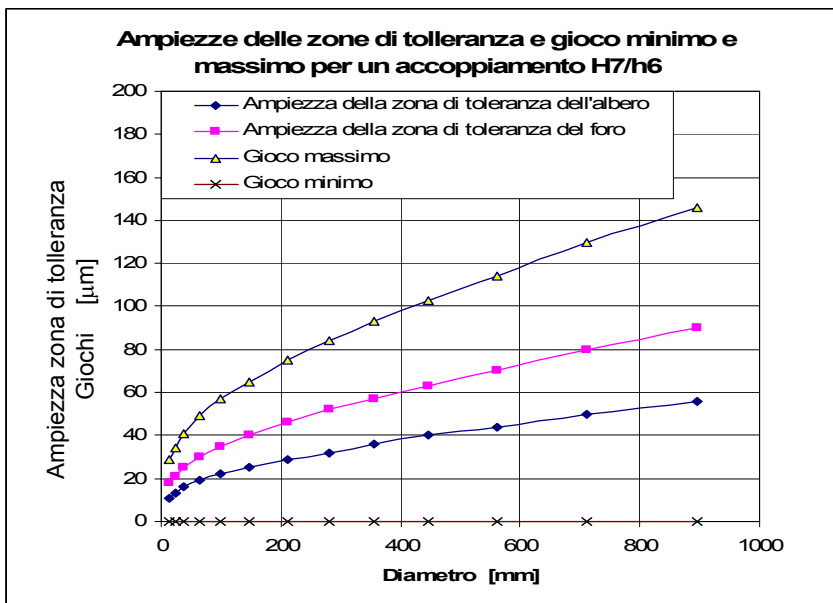
$$t_f = 1.6 t_a \quad (2)$$

• Unendo le equazioni (1) e (2):

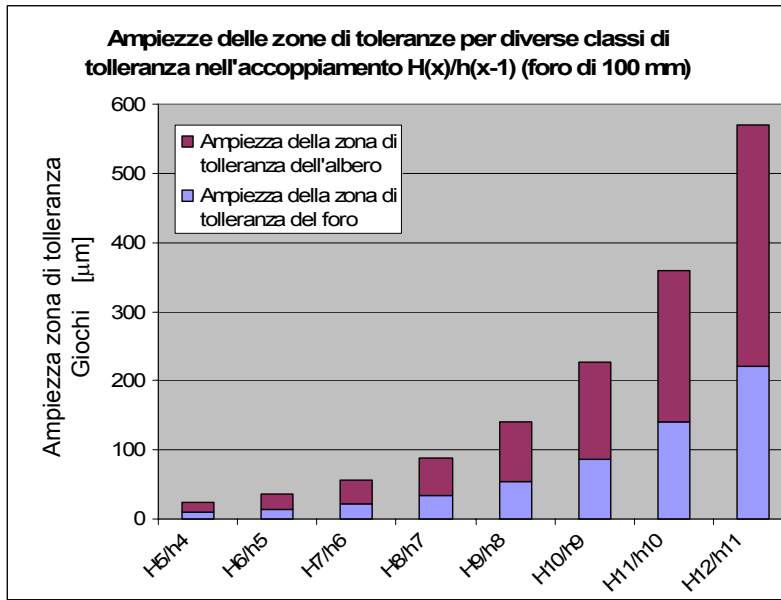
$$\begin{cases} t_a + t_f = 70 \mu m \\ t_f = 1.6 t_a \end{cases} \quad \begin{cases} t_a = 26.92 \mu m \\ t_f = 43.08 \mu m \end{cases}$$



Sistema di tolleranze UNI/ISO

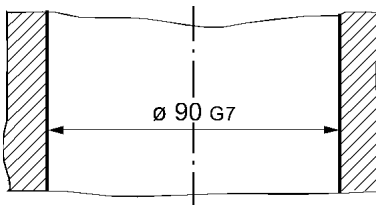


Sistema di tolleranze UNI/ISO

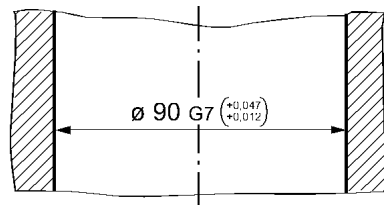


Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze nei pezzi singoli



mediante il simbolo della zona di tolleranza ISO

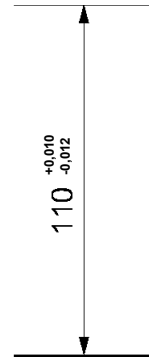
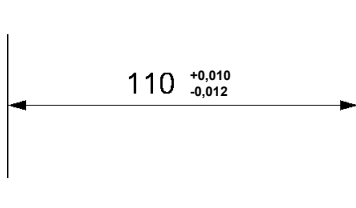


mediante simbolo e scostamenti limite: lo scostamento superiore sempre sopra quello inferiore



Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze nei pezzi singoli



mediante gli scostamenti limite:

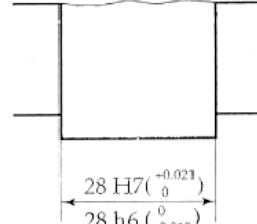
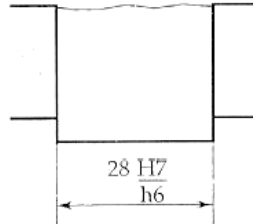
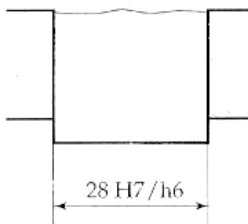
lo scostamento superiore sempre sopra quello inferiore



Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle tolleranze negli accoppiamenti:

Secondo il sistema UNI/ISO:



Indicazione delle tolleranze

Indicazione delle **tolleranze** negli accoppiamenti:

Indicando esplicitamente gli scostamenti:

