



DISEGNO DI MACCHINE
A.A. 2025/2026
CdL Ingegneria Industriale/Navale

Tecnologie di Fabbricazione e quotatura

Ph.D. Eng. Domenico Marzullo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Trieste

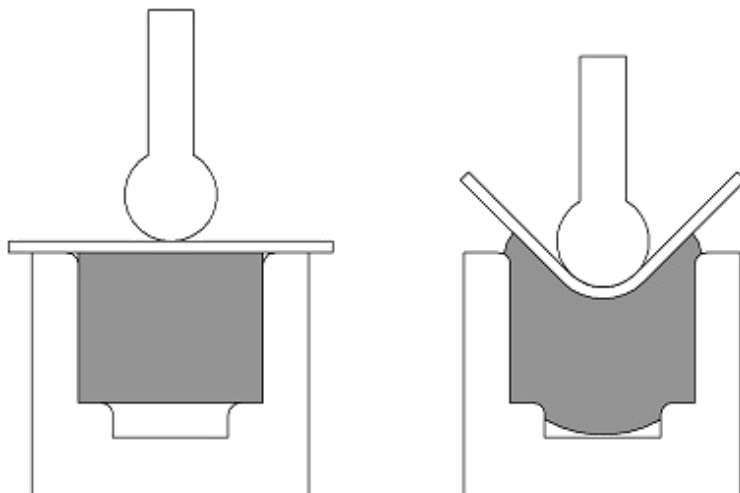


Per poter definire correttamente la *forma di un oggetto*, è indispensabile che il progettista abbia contezza, almeno in linea generale, delle *tecnologie di lavorazione* con le quali esso verrà realizzato



Esistono moltissime tecnologie di fabbricazione per pezzi singoli, ma possono essere quasi tutte ricondotte a sole quattro tipologie principali:

- **Fusione in stampi**
- **Asportazione di truciolo**
- **Deformazione plastica**
- **Produzione additiva (es. saldatura, sinterizzazione, stampa 3D, ecc.)**





Tecnologie di fabbricazione



Fusione in stampi
Colata in terra
Fusione in conchiglia
Microfusione
Pressofusione

Deformazione plastica
Fucinatura
Estrusione
Laminazione
Trafilatura
Stampaggio
Forgiatura
Piegatura
Imbutitura

Asportazione di truciolo
Taglio
Molatura
Tranciatura
Limatura
Piallatura
Foratura
Fresatura chimica
Elettroerosione
Fresatura
Brocciatura
Stozzatura
Alesatura
Barenatura
Tornitura
Godronatura
Asportazione elettrochimica
Barilatura

Taglio	Segatura
	Cesoiatura
	Ossitaglio
	Taglio a fascio elettronico
	Taglio laser
	Taglio ad acqua

Produzione additiva
Brasatura
Saldatura
Sinterizzazione
Modellazione a deposizione fusa
Stereolitografia
Formatura per deposizione in stampo
Infusione
Pultrusione



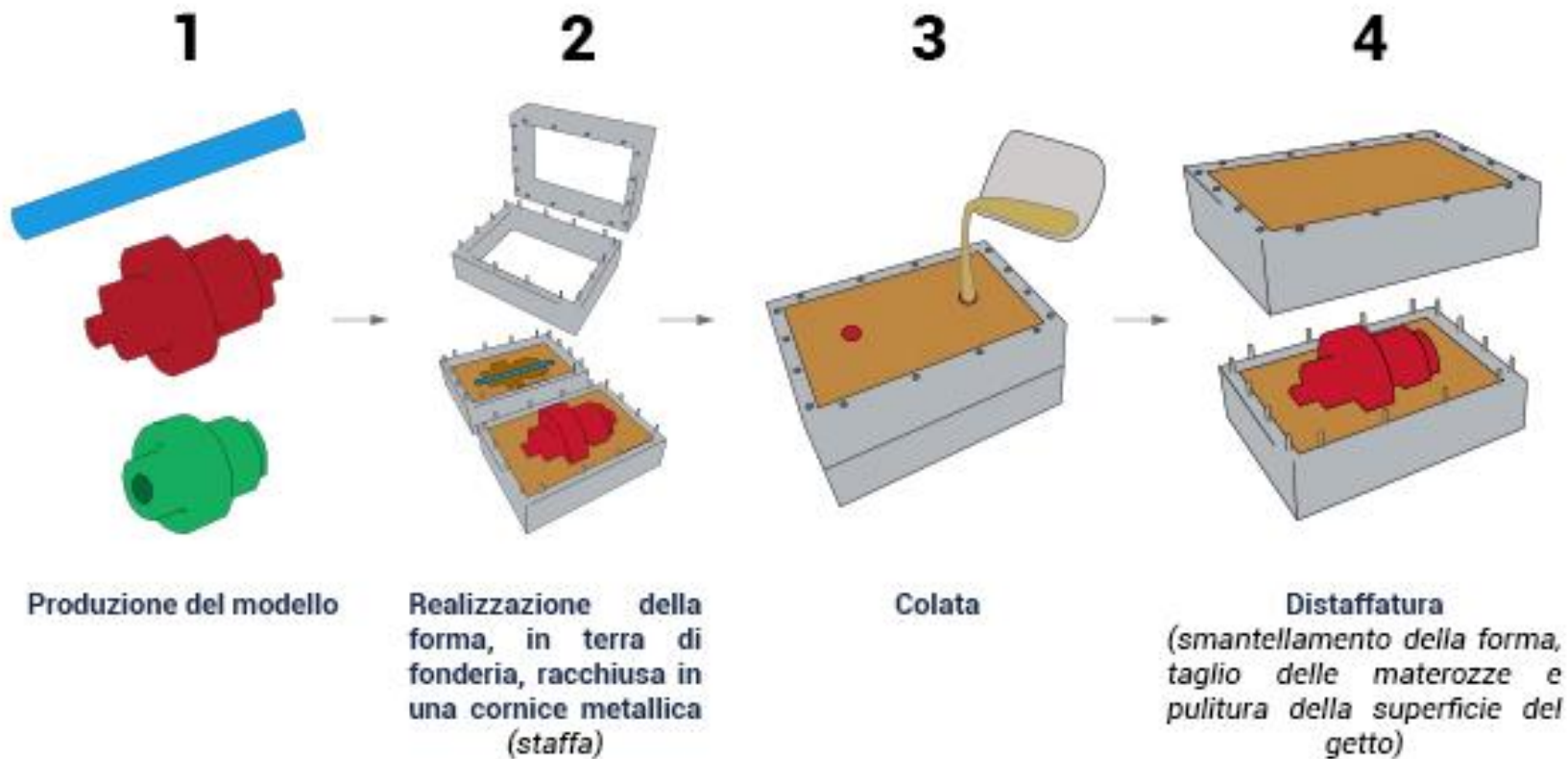
Fusione in stampi



Fusione in stampi
Colata in terra
Fusione in conchiglia
Microfusione
Pressofusione



È il metodo di fusione più diffuso ed economico ed è praticamente l'unico utilizzato ove si debbano realizzare pezzi di metallo di grandi dimensioni.



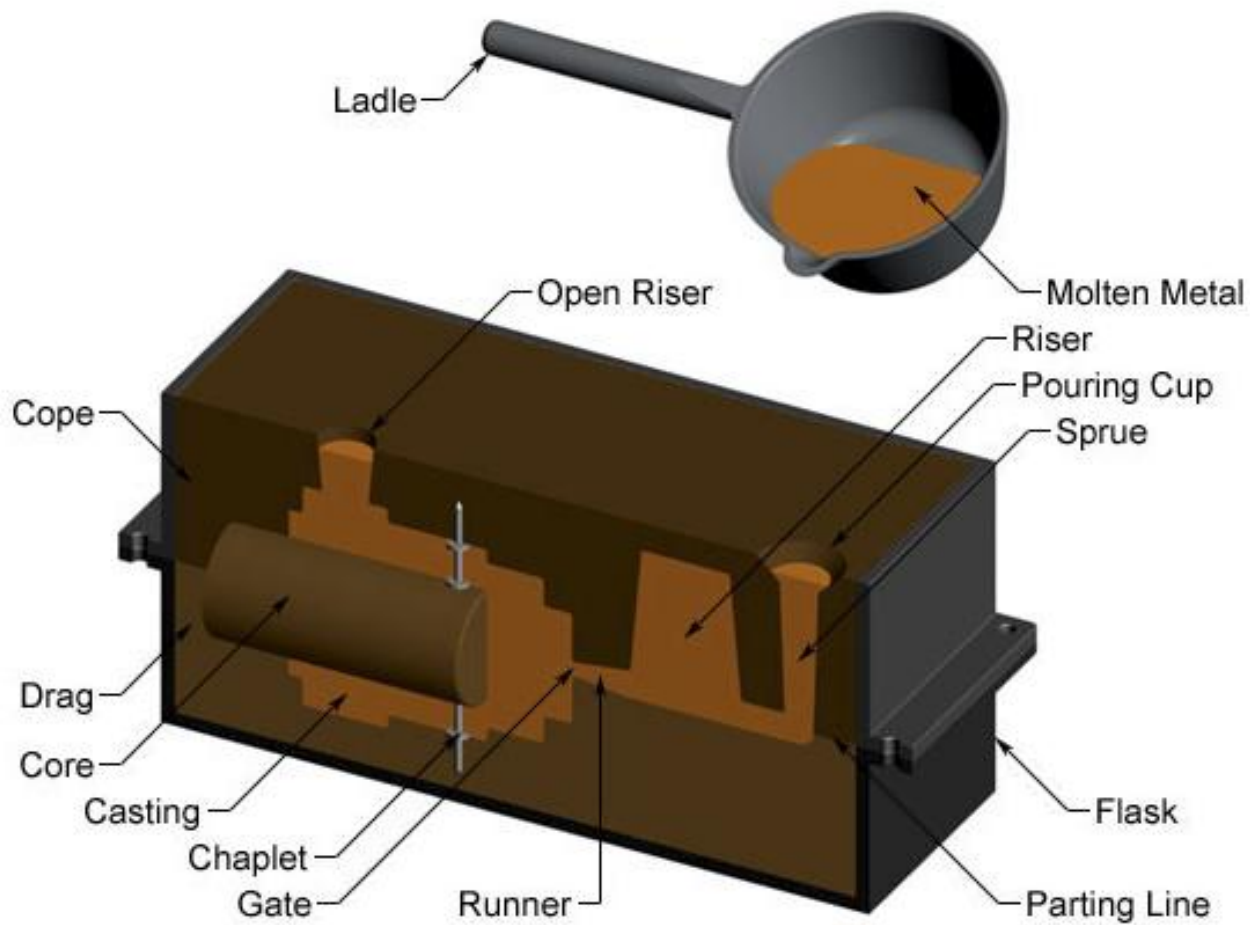


Colata in terra





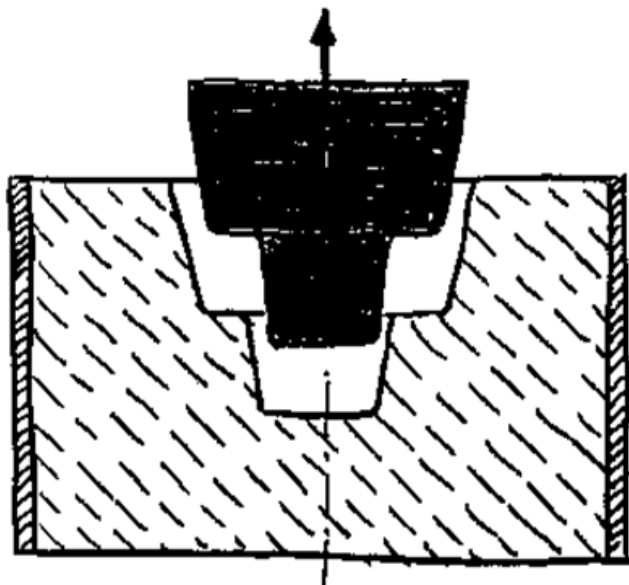
Fusione in terra



Copyright © 2008 CustomPartNet

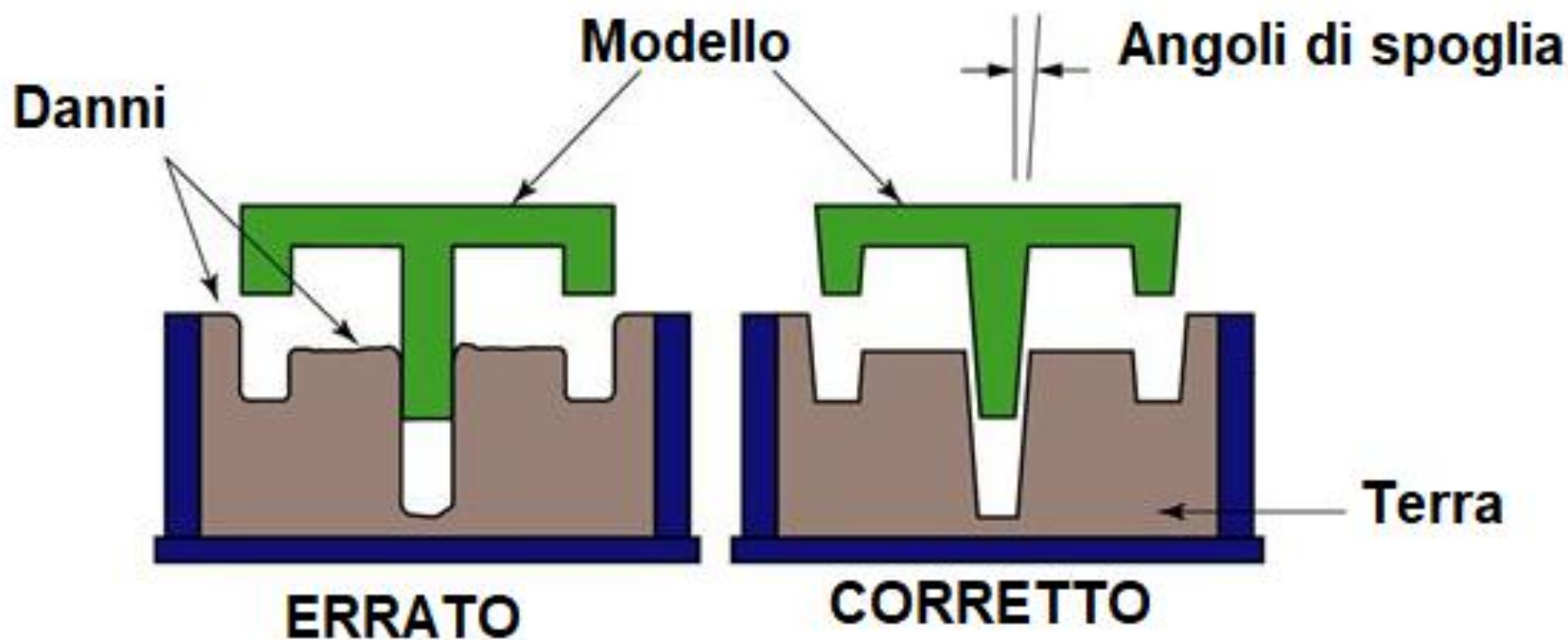
La quotatura dei pezzi ottenuti per fusione (getti) corrisponde alla quotatura del modello. Principali aspetti da tenere in considerazione:

- Estraibilità del modello dallo stampo (*angoli di spoglia*)
- Scorrimento metallo fuso e raffreddamento (*raccordi*)
- Fenomeni di ritiro (*eccessi*)
- Successive lavorazioni (*sovrametallo*)



Opportuni **angoli di spoglia** (o *sformo*) sono necessari affinché il modello possa essere estratto **senza rovinare lo stampo in terra** che servirà alla colata.

Angoli di spoglia insufficienti peggiorano la qualità dello stampo e **aumentano il costo del manufatto** a causa delle successive molature necessarie.



Quale valore per gli angoli di spoglia?

Lo sfumo è solitamente indicato in gradi, ma in realtà è la **relativa misura lineare minima S (portante) che conta**. Dunque minore è l'altezza a disegno, maggiore sarà l'angolo di spoglia necessario a raggiungere la portante minima.

	+ draft	- draft	± draft
exterior draft			
internal draft			
<p>H = pattern height or depth of a hole, B = pattern width (expected size of casting before draft), S = draft in mm. If nothing is agreed + draft will always be used</p>			



Fusione in terra



Quale valore per gli angoli di spoglia?

Calculation
for Draft

$$D = \frac{\sqrt{L}}{C}$$

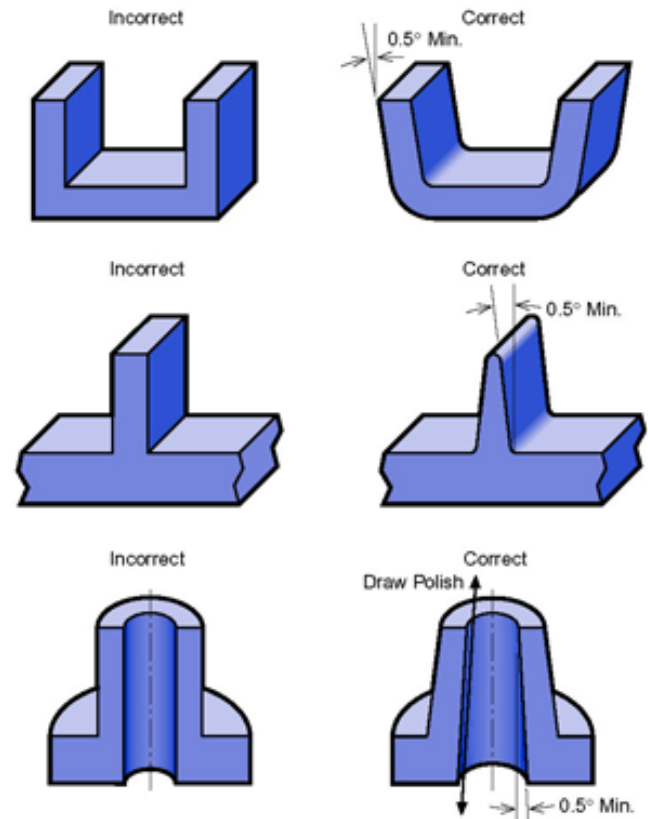
Calculation
for Draft Angle

$$A = \frac{\left(\frac{D}{L}\right)}{0.01746}$$

Where: D= Draft in inches
L= Depth or height of feature from the parting line
C= Constant, from table S-4A-7, is based on the type of feature and the die casting alloy
A= Draft angle in degrees Draft

Altezza rispetto al piano di separazione [mm]	Angolo di spoglia
<20	> 3°
50	1°30'
100	1°
200	45'
800	30'
2000	20'

Draft (Draft Angles)

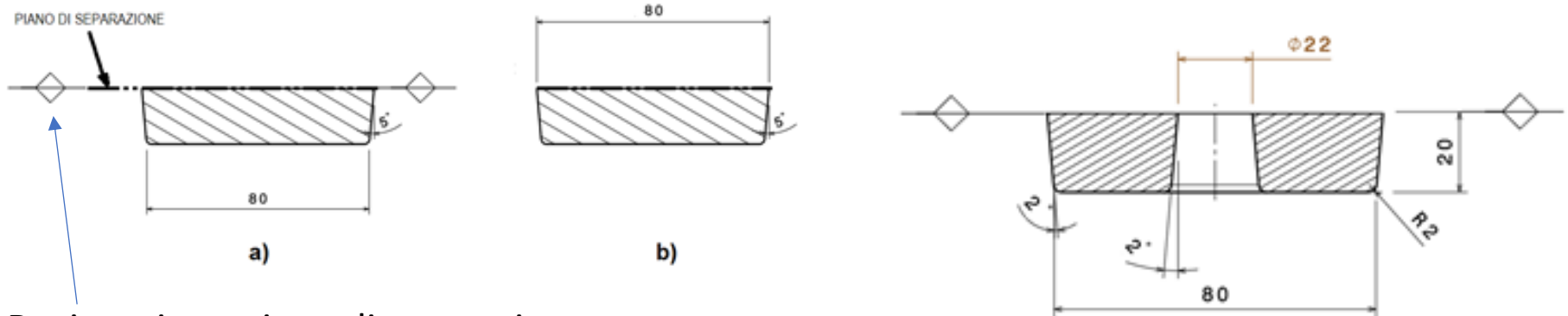


Draft guidelines.

Sforno positivo o negativo?

Di solito la quotatura viene indicata sugli spigoli più lontani dalla linea di separazione, in modo da garantire il **rispetto della dimensione minima di progetto** (aggiunta di materiale, ***sforno positivo***).

Ove, al contrario, si debba garantire una condizione di gioco (es. fori per bulloni), la dimensione da quotare è quella più vicina alla linea di separazione (sottrazione di materiale, ***sforno negativo***).



Designazione piano di separazione secondo UNI EN ISO 10135



Ritiri

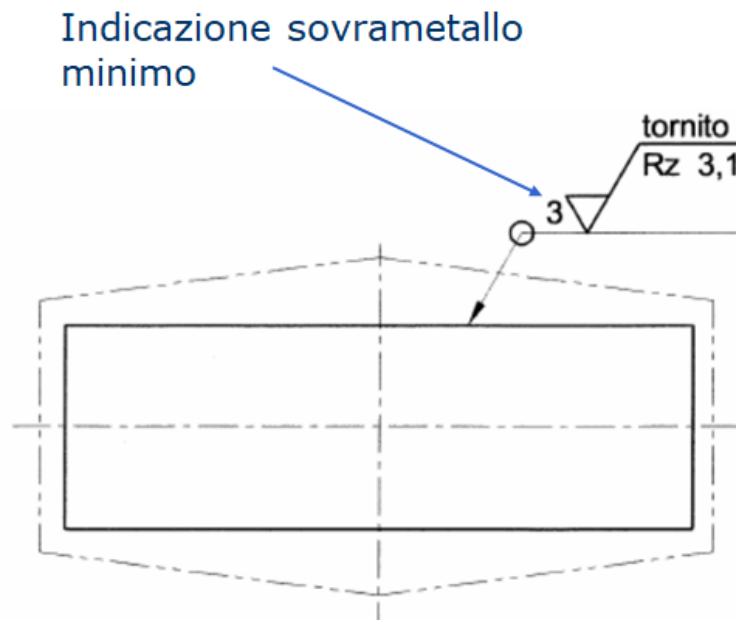
Il materiale versato nella cavità della forma, una volta raffreddato, presenterà un volume minore di quello dello stampo. Per compensare questa contrazione volumetrica si aumentano le dimensioni lineari del modello di una quantità pari al ritiro previsto. Inoltre, ove possibile, bisogna **evitare zone inutilmente massicce**, nelle quali possono prodursi *cavità da ritiro* o tensioni residue e cercare di mantenere lo spessore quanto più uniforme possibile.

MATERIALI	RITIRO %		
	Getti piccoli	Getti medi	Getti grandi
Ghise grigie	1	0,85	0,7
Ghise malleabili	1,4	1	0,75
Ghise legate	1,3	1,05	0,35
Acciaio	2	1,5	1,2
Alluminio e leghe	1,6	1,4	1,3
Bronzi	1,4	1,2	1,2
Ottoni	1,8	1,6	1,4
Leghe di magnesio	1,4	1,3	1,1

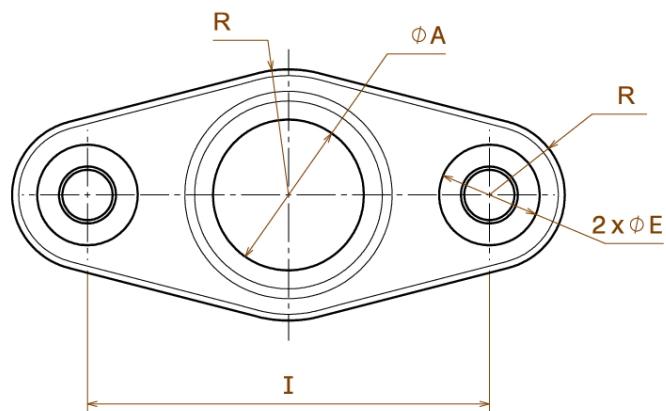
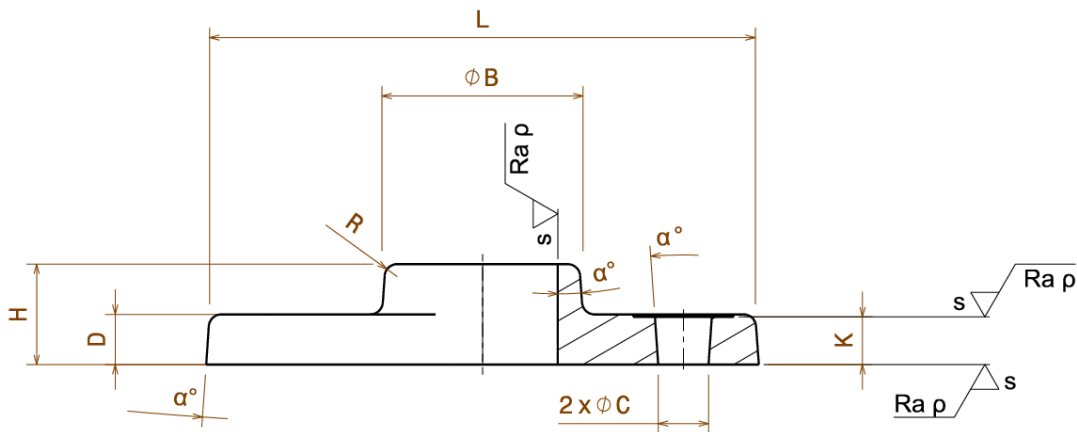
Sovrametallo

Generalmente un pezzo realizzato per fusione presenta un grado di **finitura superficiale piuttosto scarso**, nonché errori dimensionali e di forma.

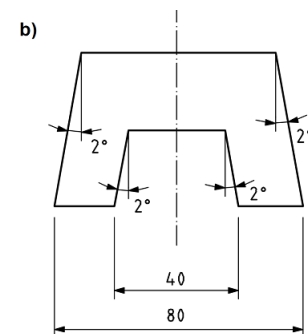
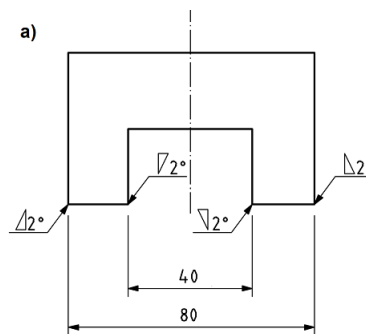
Risulta quindi necessario indicare sulle superfici da sottoporre a successive lavorazioni per asportazione di truciolo un opportuno **sovrametallo**.



Il modello per un getto dovrà essere privo di spigoli vivi, poiché questi provocherebbero erosioni dello stampo localizzate dovute alle difficoltà di scorrimento della colata, nonché differenti velocità di raffreddamento e tensioni residue.



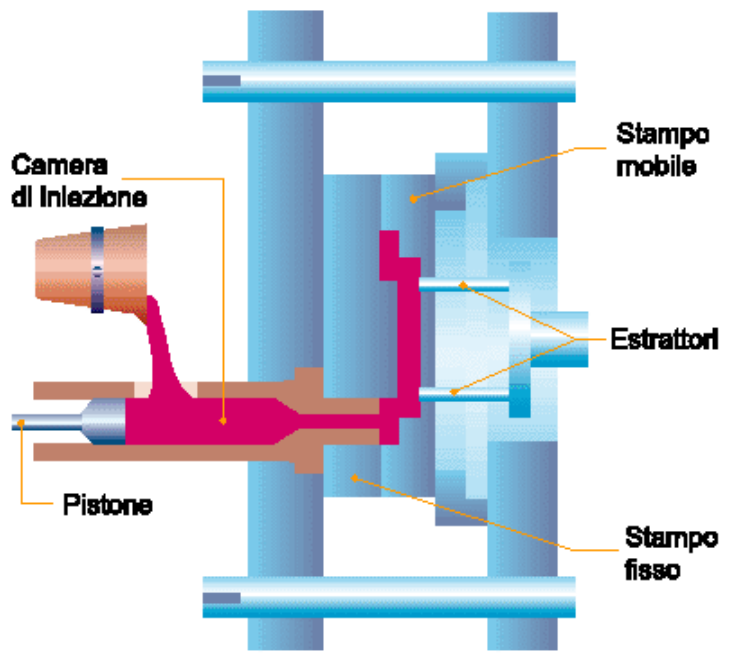
Gli angoli di spoglia possono essere anche quotati secondo UNI EN ISO 10135, omettendo la rappresentazione grafica degli sforni



Il metallo fuso viene iniettato a pressione all'interno di **stampi riutilizzabili** detti *conchiglie*, che sono raffreddati. Processo **altamente automatizzabile**.

Nella progettazione si deve tenere conto di:

- **Raccordi**
- **Angoli di spoglia** necessari affinché il modello possa essere estratto *dallo stampo*
- **Ritiri** conseguenti al raffreddamento del metallo





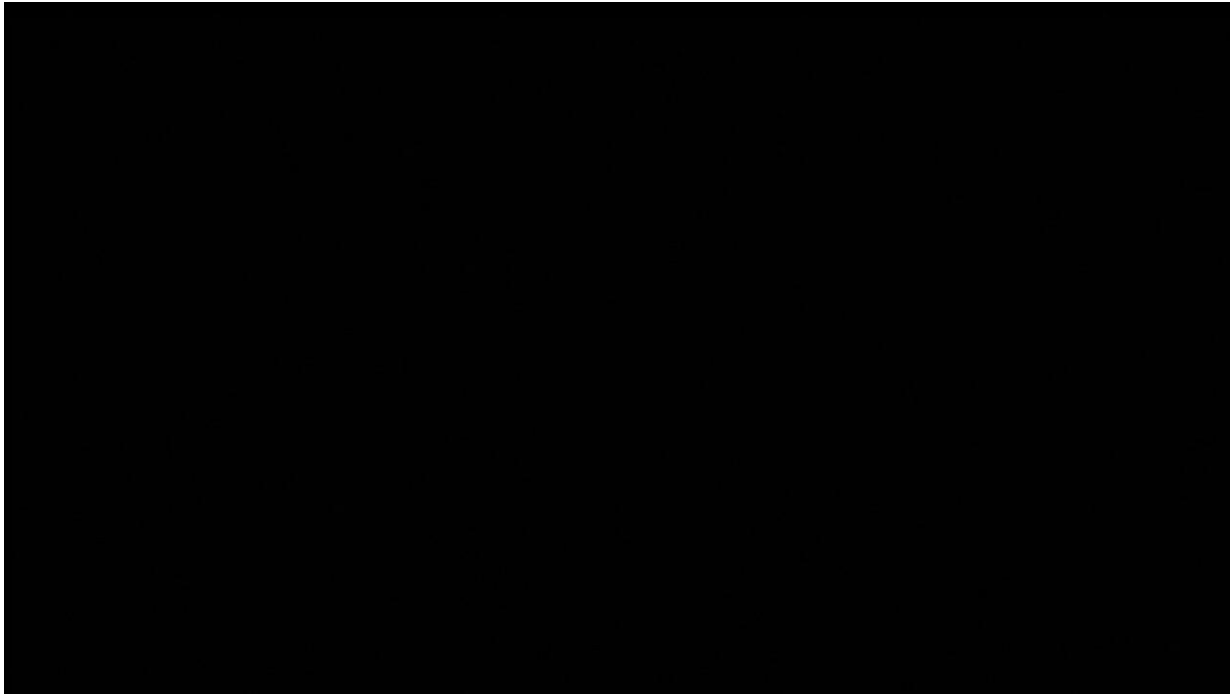
Fusione in conchiglia (Pressocolata)



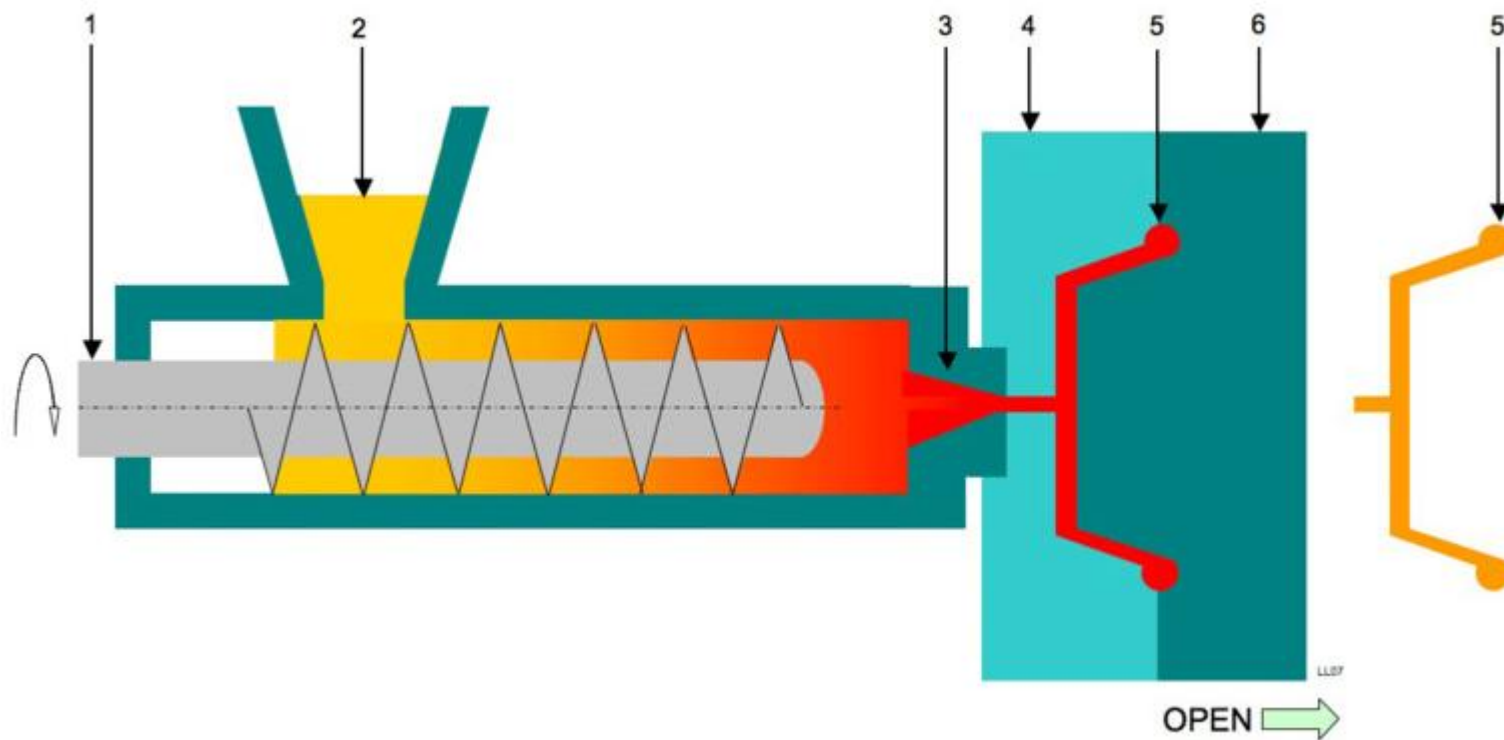
Il metallo fuso viene iniettato a pressione all'interno di stampi riutilizzabili detti *conchiglie*, che sono raffreddati. Processo **altamente automatizzabile**.

Nella progettazione si deve tenere conto di:

- **Raccordi**
- **Angoli di spoglia** necessari affinché il modello possa essere estratto *dallo stampo*
- **Ritiri** conseguenti al raffreddamento del metallo



Considerazioni analoghe valgono nel caso di manufatti in **materiali plastici** e **resine** ottenuti per **pressofusione**





Formatura per deposizione in stampo



Considerazioni analoghe valgono nel caso di manufatti in **materiali compositi** ottenuti per **deposizione in stampo**

Produzione additiva
Brasatura
Saldatura
Sinterizzazione
Modellazione a deposizione fusa
Stereolitografia
Formatura per deposizione in stampo
Infusione
Pultrusione





La progettazione ed il dimensionamento dei pezzi ottenuti da stampi (*forgiatura, stampaggio, ecc.*) segue regole simili a quelle viste per i getti di fonderia, con la differenza che le dimensioni si riferiranno allo stampo e non al modello

. I principali aspetti che il progettista deve considerare sono:

- **Estraibilità del semilavorato** dallo stampo (*angoli di spoglia*)
- Utilizzo di **spessori minimi**
- Posizione del piano di separazione fra gli stampi
- Riduzioni di stress localizzati (*raccordi*)
- Fenomeni di ritorno elastico e contrazione termica (*eccessi*)
- **Successive lavorazioni** (*sovrametallo*)

Deformazione plastica
Fucinatura
Estrusione
Laminazione
Trafilatura
Stampaggio
Forgiatura
Piegatura
Imbutitura

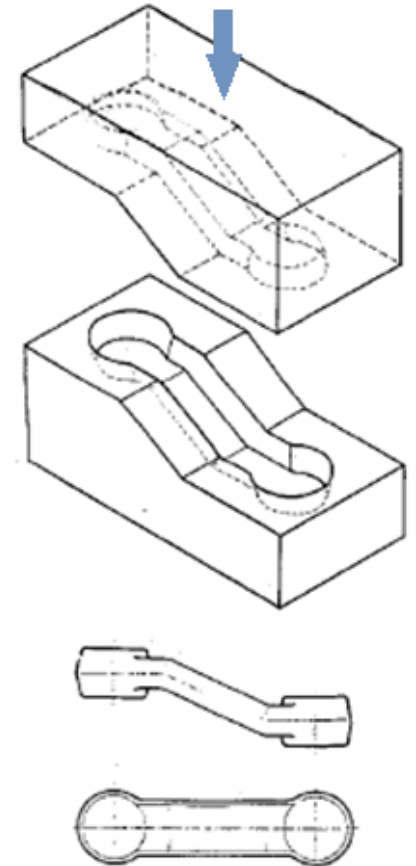
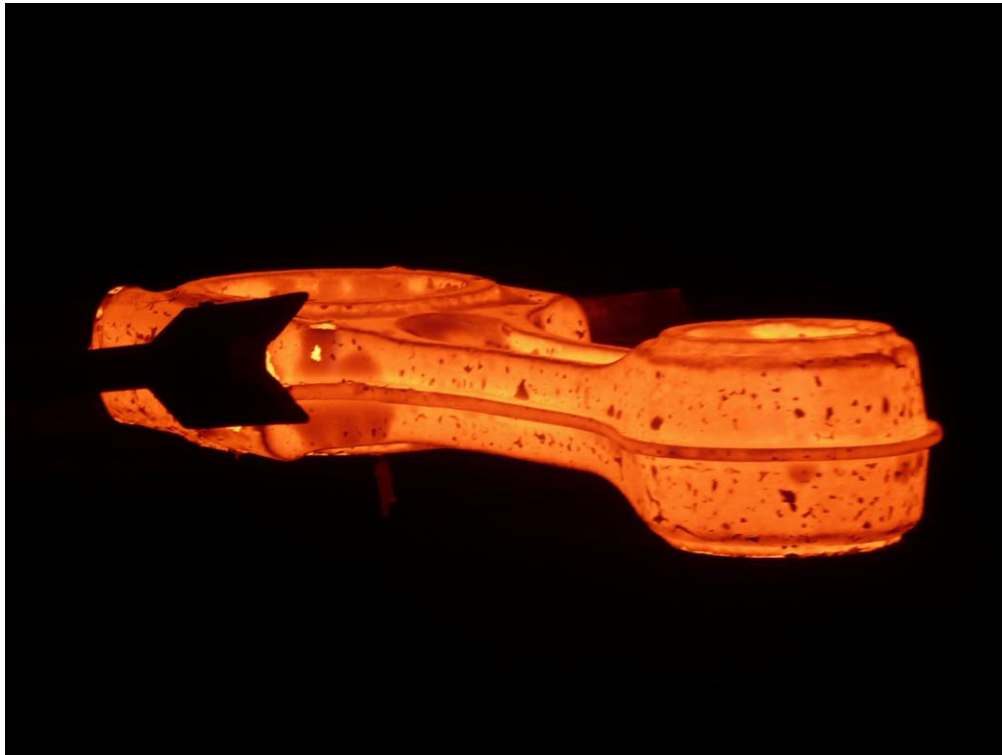


Deformazione plastica: forgiatura

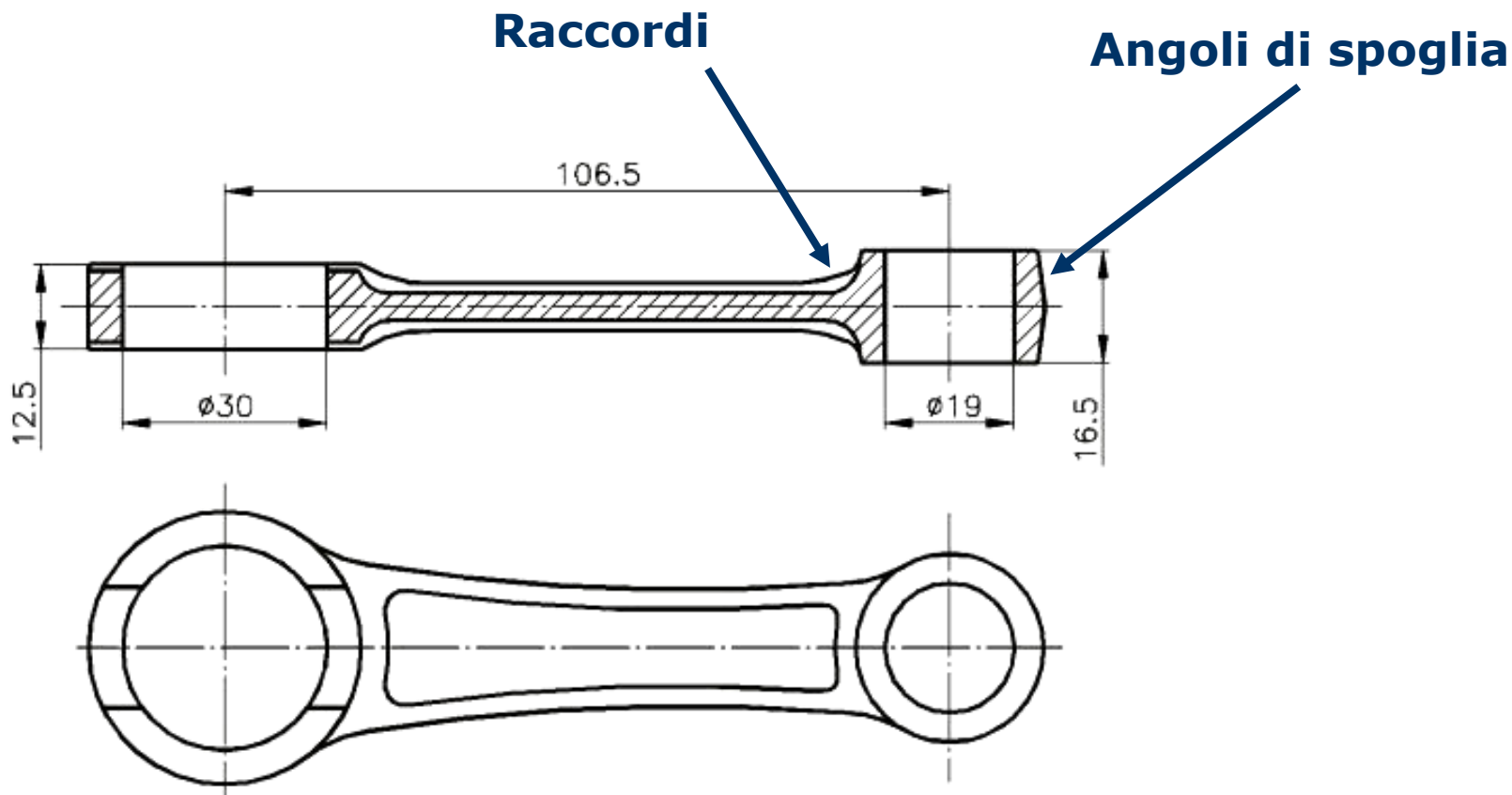


Lavorazione, solitamente **a caldo**, di semilavorati metallici mediante **pressione** in uno stampo

- Angoli di spoglia
- Raccordi
- Ritiri



Lavorazione, solitamente **a caldo**, di semilavorati metallici mediante **pressione** in uno stampo





Deformazione plastica: forgiatura



Lavorazione, solitamente **a caldo**, di semilavorati metallici mediante **pressione** in uno stampo





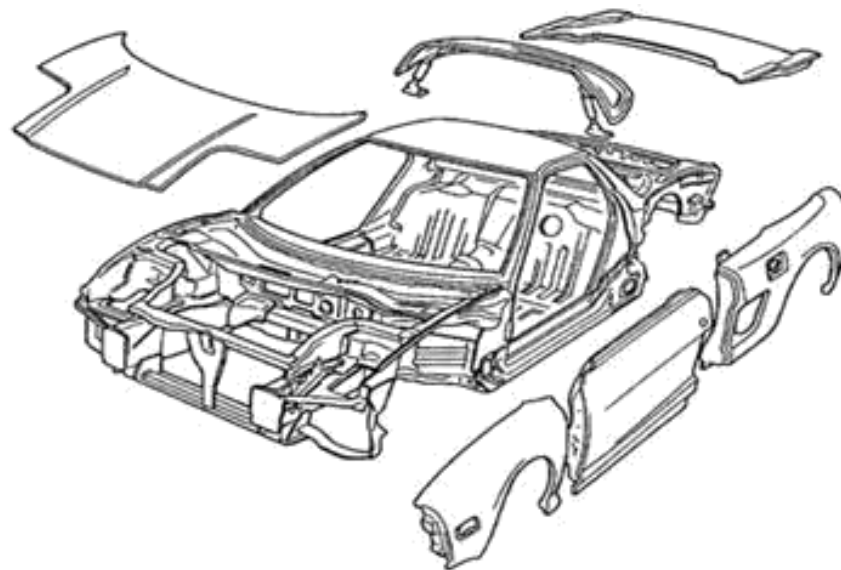
Deformazione plastica: stampaggio



Lavorazione, generalmente a freddo, di una lamiera mediante pressione in uno stampo

Nella progettazione si deve tenere conto di:

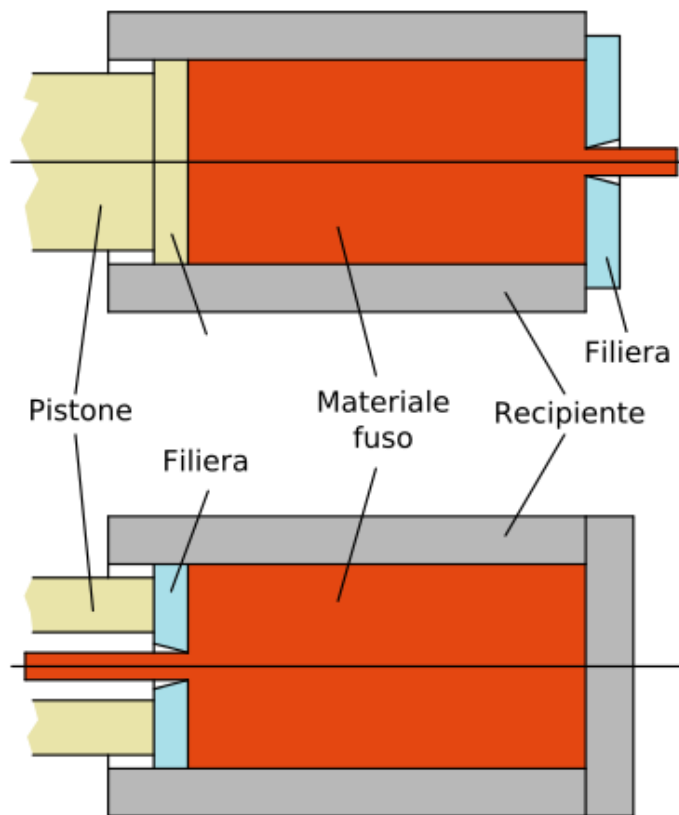
- *Ritorno elastico*
- Raccordi
- Angoli di spoglia



Produzione pezzi a sezione costante (es. tubi, barre, **profilati**, ecc.)
materiali metallici ad elevata plasticità (alluminio, rame, acciaio, ecc.)

Maggiore pressione

Estrusione diretta



Minore pressione

Estrusione inversa



Deformazione plastica: Estrusione



Produzione pezzi a sezione costante (es. tubi, barre, **profilati**, ecc.)
materiali metallici ad elevata plasticità (alluminio, rame, acciaio, ecc.)



- Spessori **relativamente sottili e uniformi**
- La quotatura corrisponde a quella della matrice
- **Raccordi**

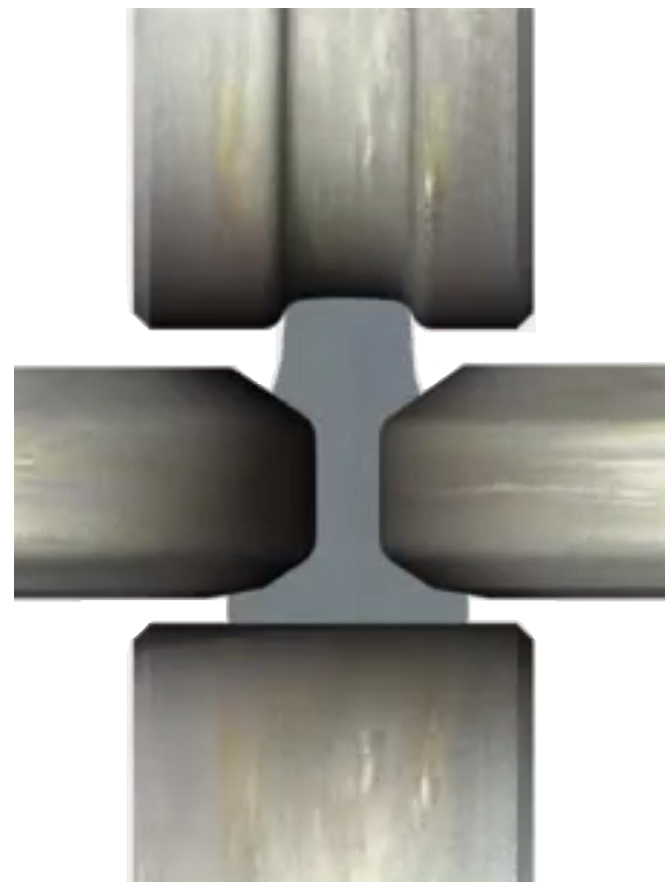
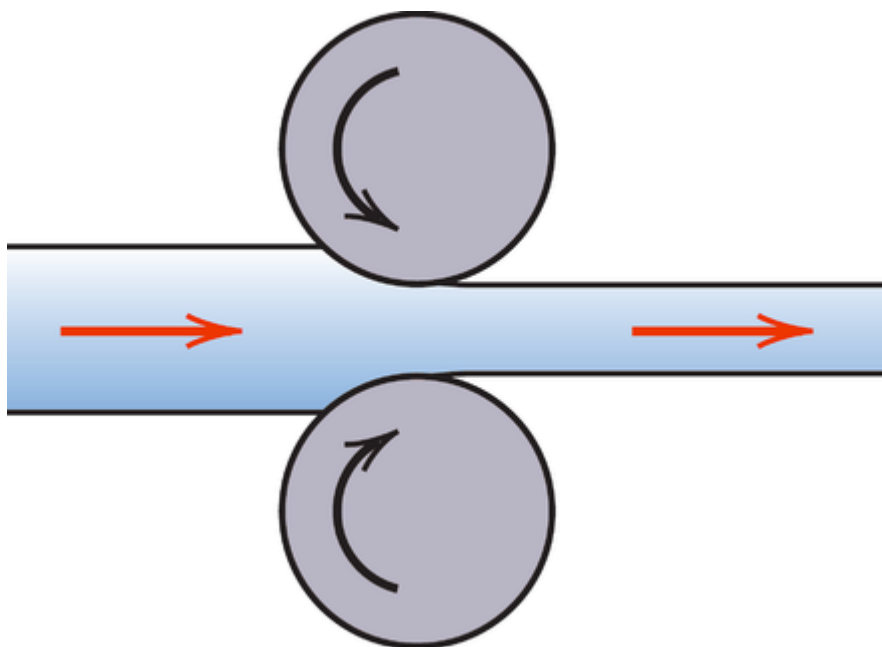




Deformazione plastica: Laminazione



Processo a più passaggi, durante il quale dei rulli, variamente disposti lungo un treno di laminazione, deformano progressivamente il materiale fino a raggiungere la forma desiderata. Può avvenire a freddo oppure a caldo





Deformazione plastica: Laminazione



Laminazione a caldo

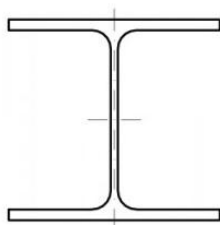




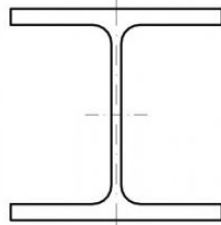
Deformazione plastica: Laminazione



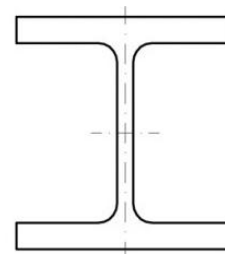
I **profilati** utilizzati nel **settore delle costruzioni** sono generalmente ottenuti per **laminazione a caldo**



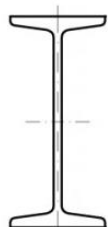
HEA 200



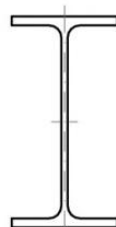
HEB 200



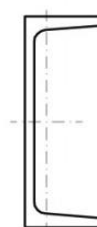
HEM 200



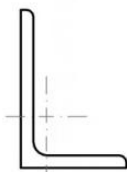
INP 200



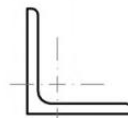
IPE 200



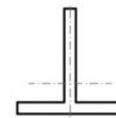
UPN 200



UNI 5784 100x150



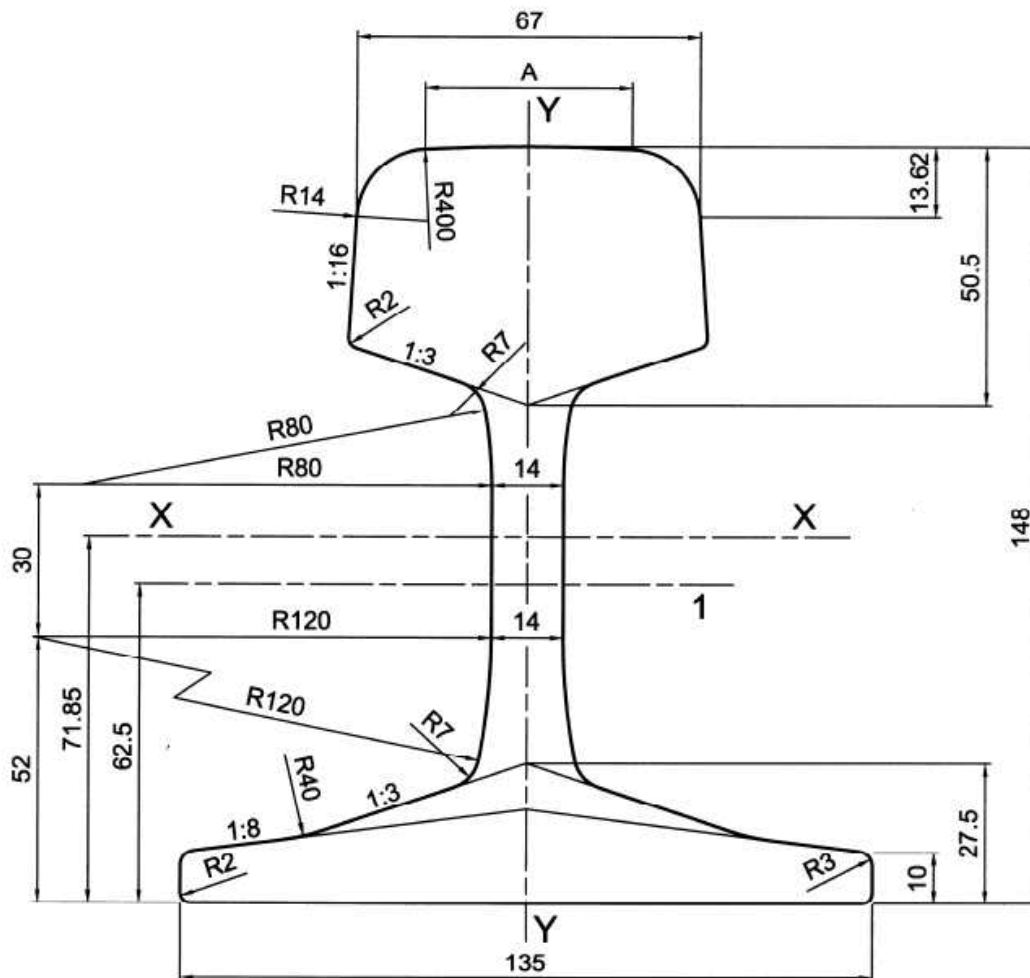
UNI 5783 100x10



T 100

La forma e la quotatura del profilo deve considerare in particolare:

- **Rastremazioni**
- **Raccordi**





La laminazione a freddo si usa per:

- Realizzare spessori sottili
- Tolleranze dimensionali più ristrette
- Accurata finitura superficiale
- Ottima stampabilità



Deformazione plastica: fucinatura

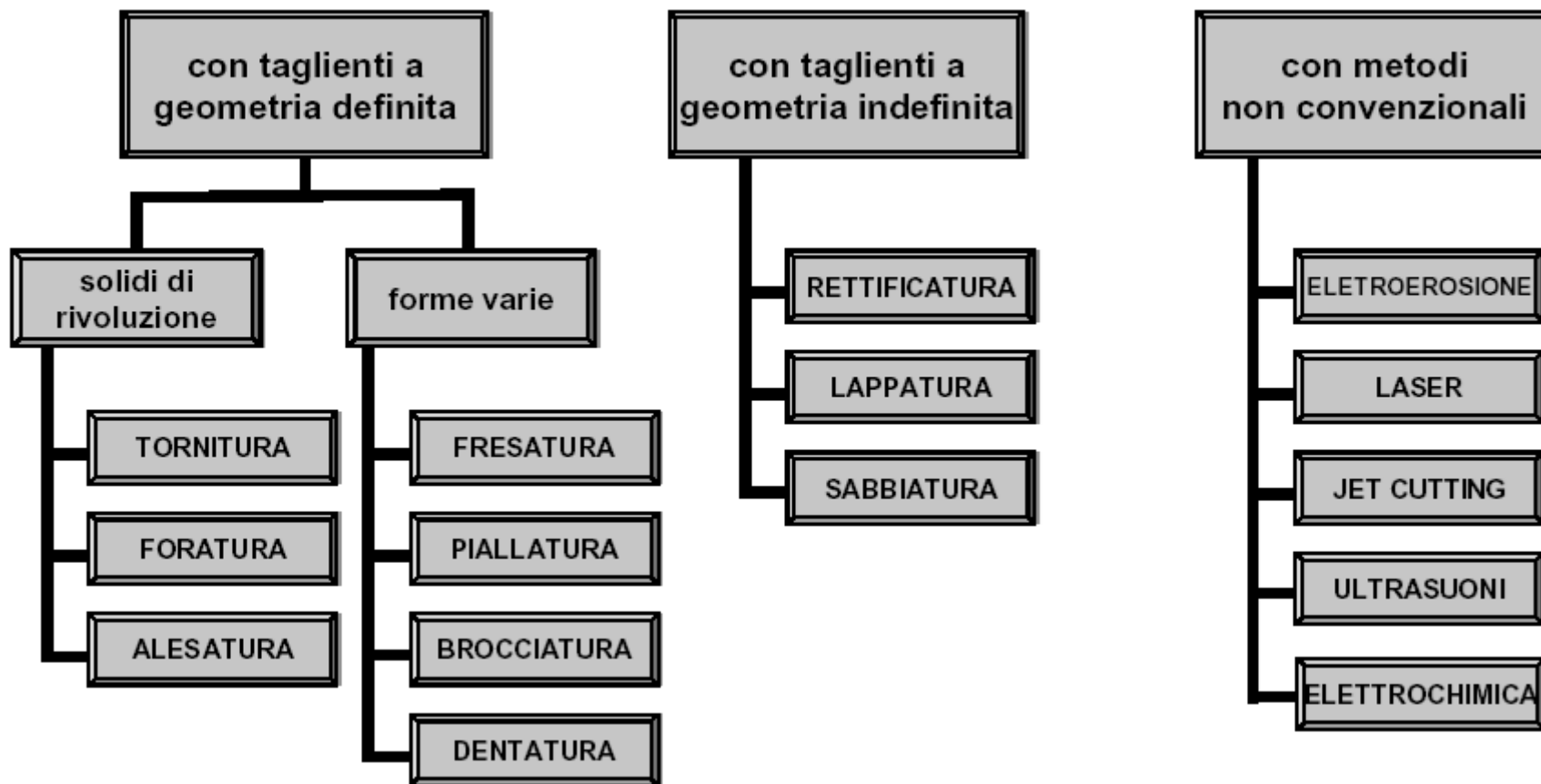


Lavorazione **a caldo** di semilavorati metallici mediante **pressione** al **maglio**





Regola generale: Quotiamo ciò che si asporta secondo l'ordine delle lavorazioni



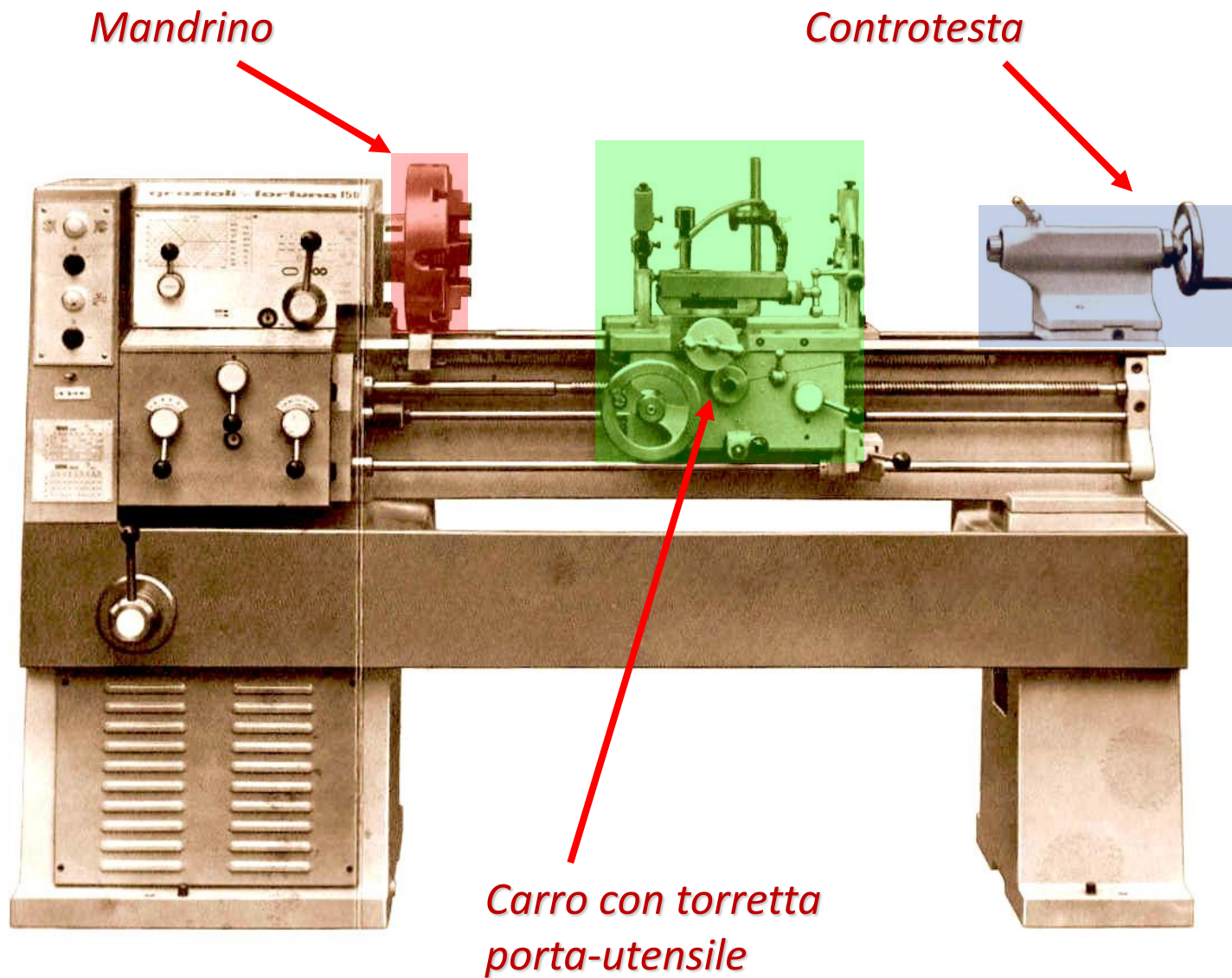


Il tornio manuale

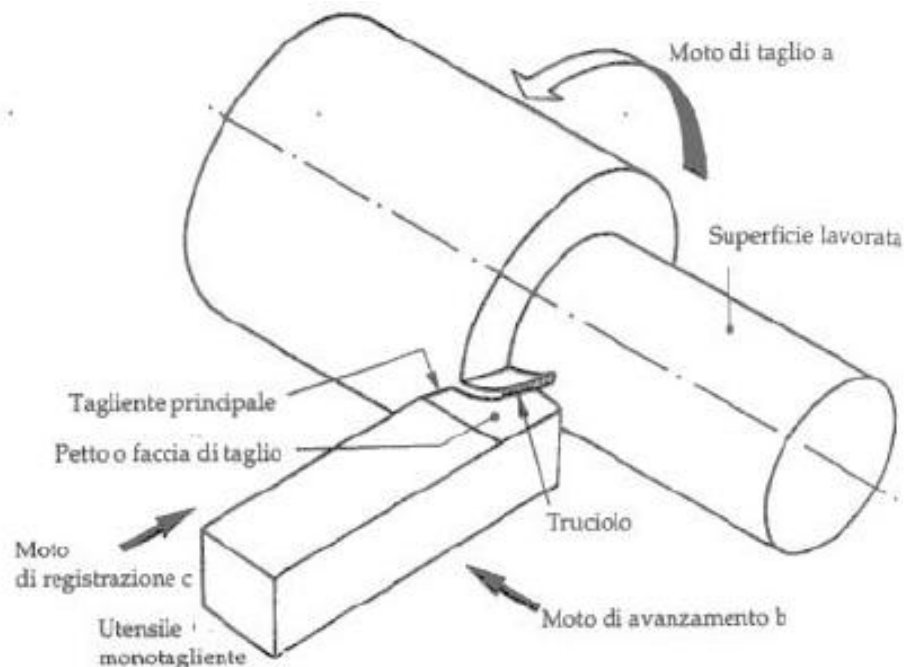
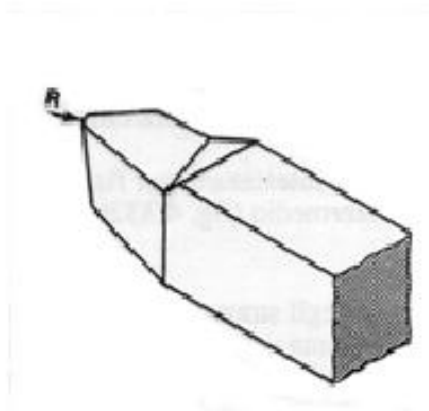
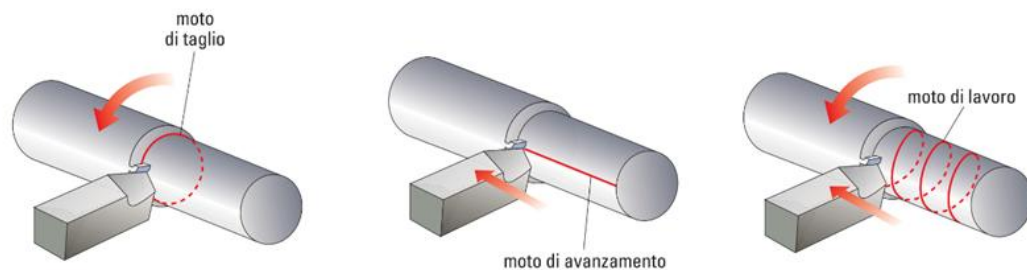




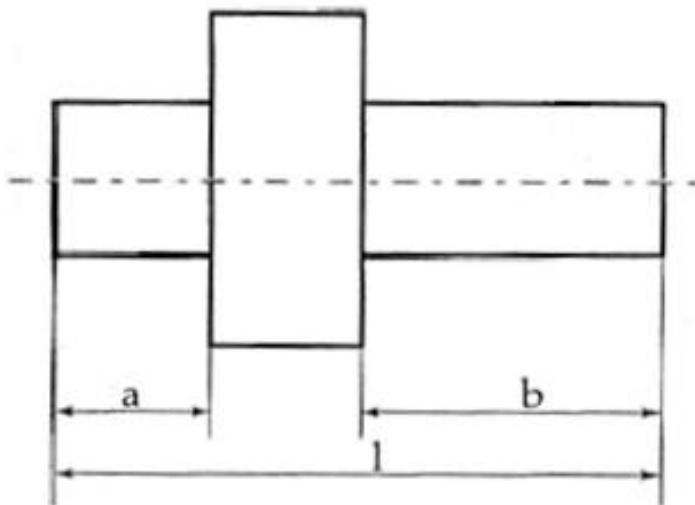
Il tornio manuale



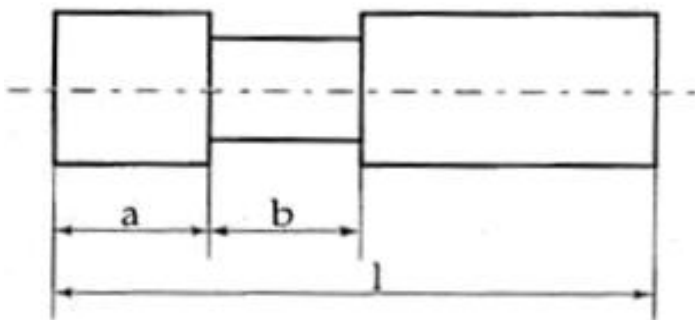
- Utensile monotagliante
- Moto di taglio assegnato al pezzo
- Moto di alimentazione all'utensile



Regola generale: Quotiamo ciò che si asporta secondo l'ordine delle lavorazioni



- a) Si parte da un tondo del diametro maggiore e si asportano le parti di **lunghezza a e b**



- b) La riduzione di diametro viene effettuata per una **lunghezza b** a partire da una distanza **a** dall'estremità



Il tornio manuale

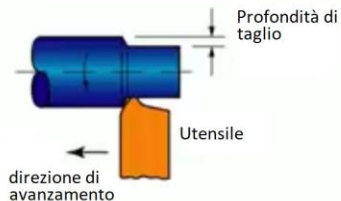




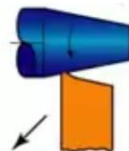
Lavorazioni al tornio



Tornitura longitudinale



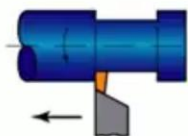
Tornitura conica



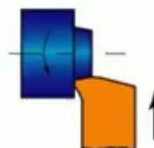
Tornitura di profilo



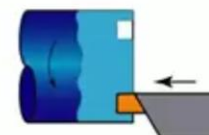
Tornitura di gola esterna



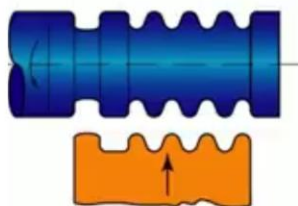
Intestatura



Scanalatura di testa



Realizzazione di profilo con utensile di forma



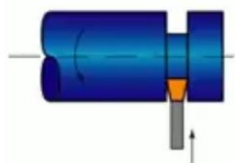
Barenatura e gola interna



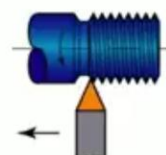
Foratura



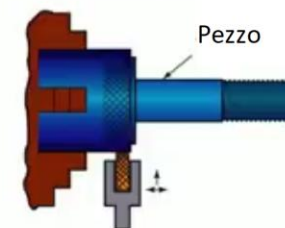
Troncatura

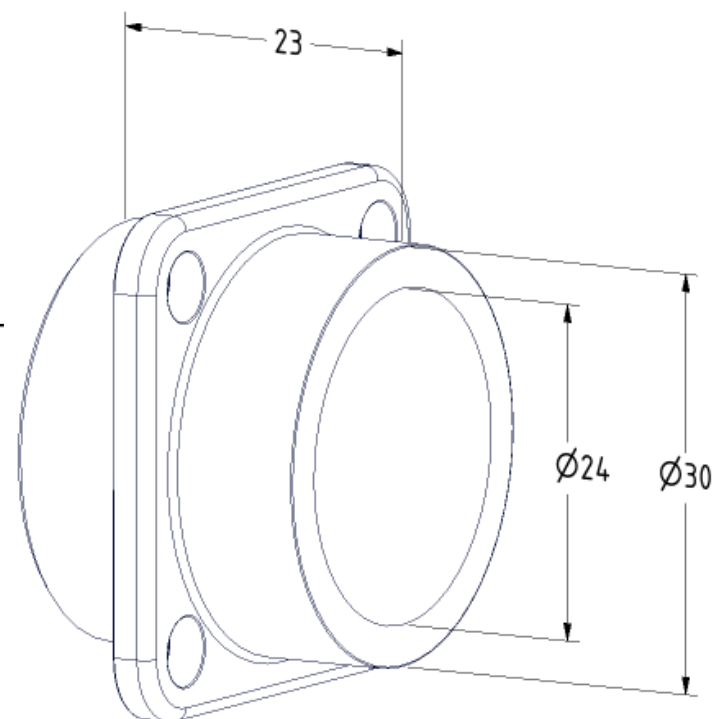
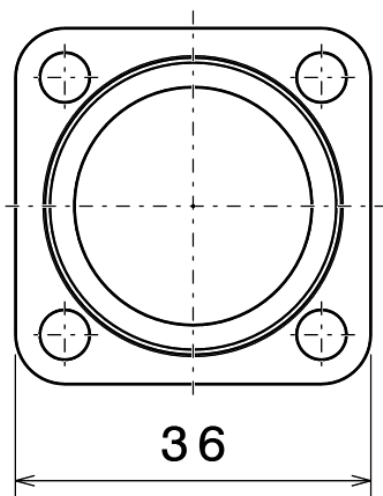


Filettatura



Godronatura

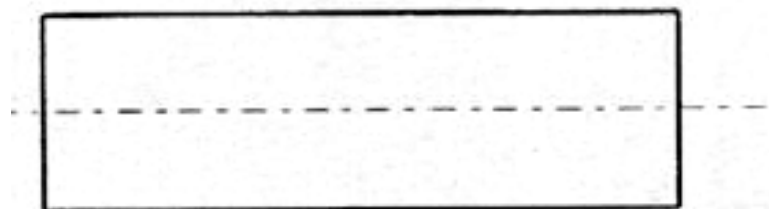
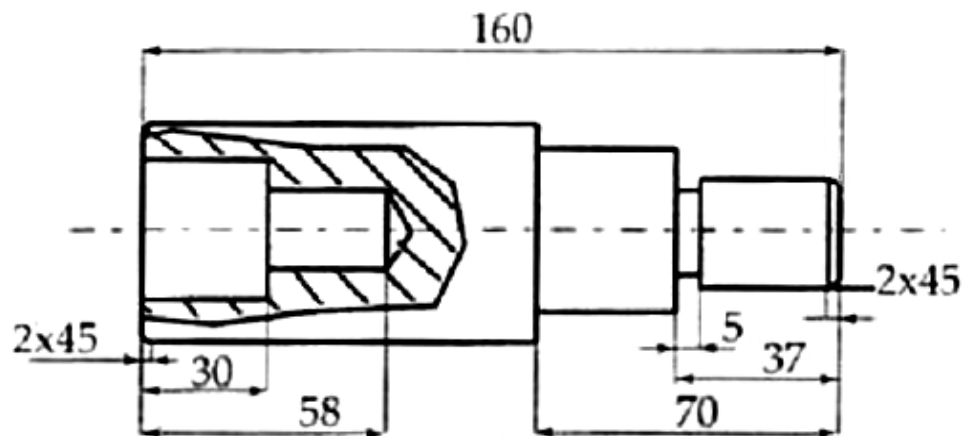




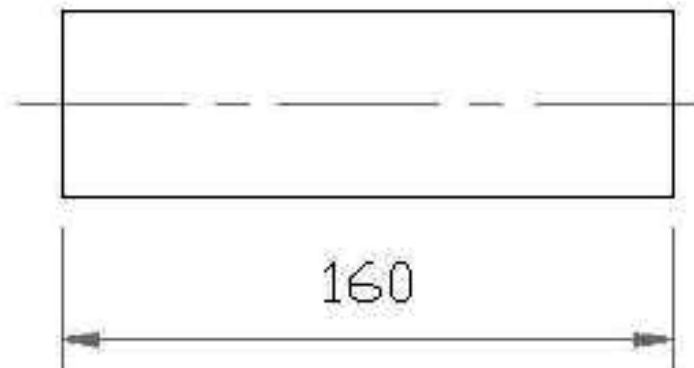


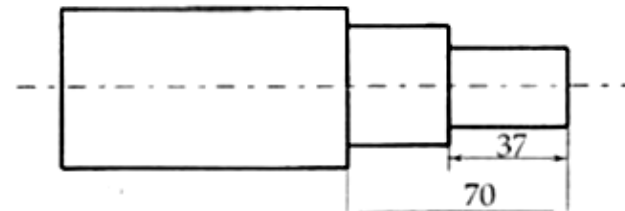
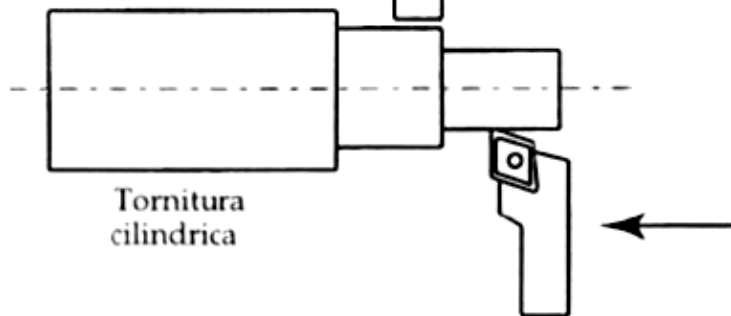
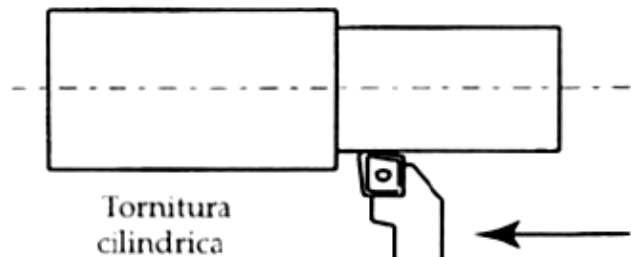
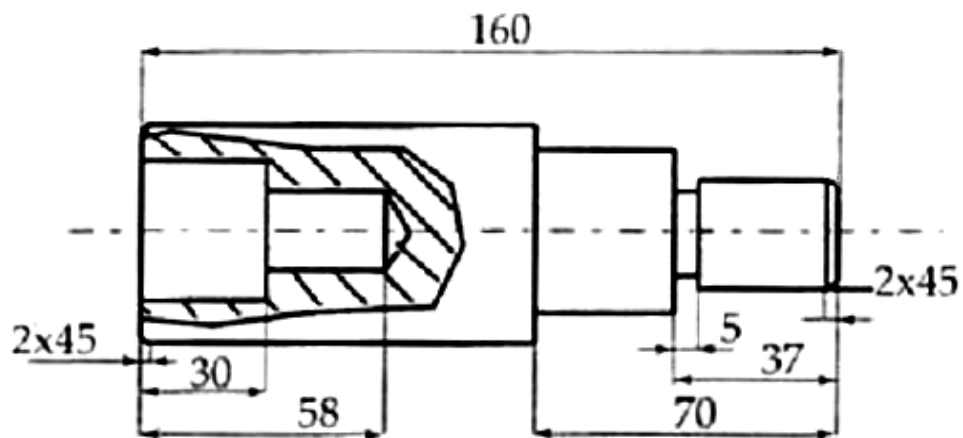
Il tornio a controllo numerico

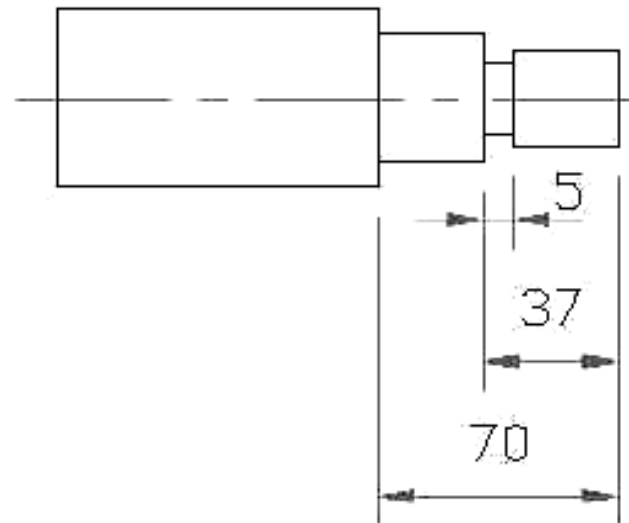
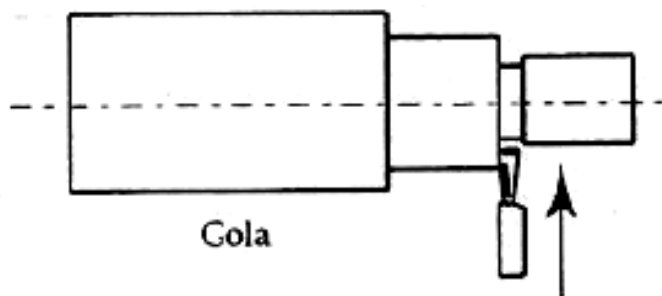
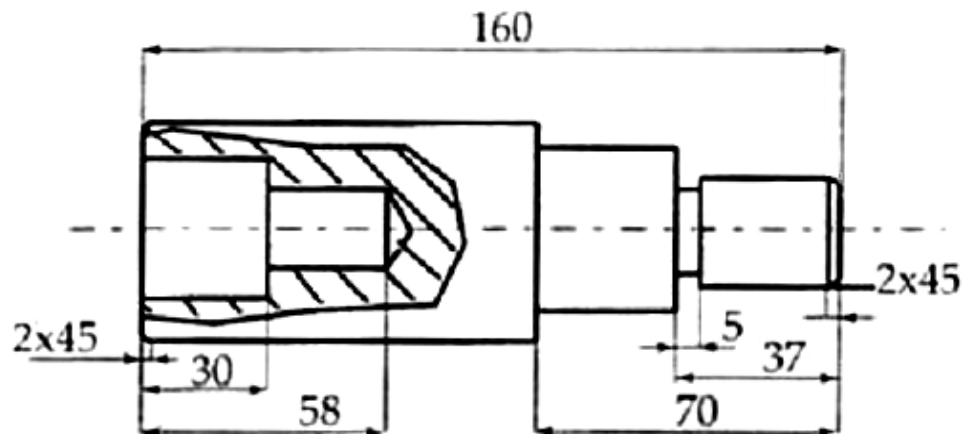


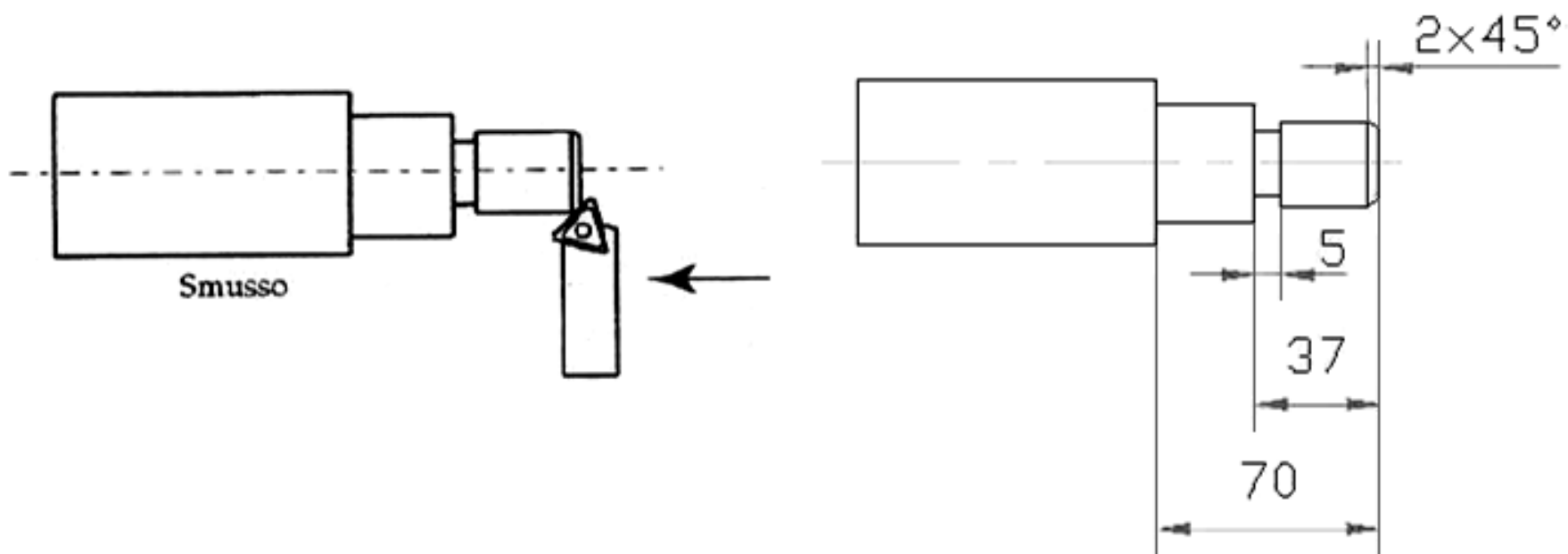
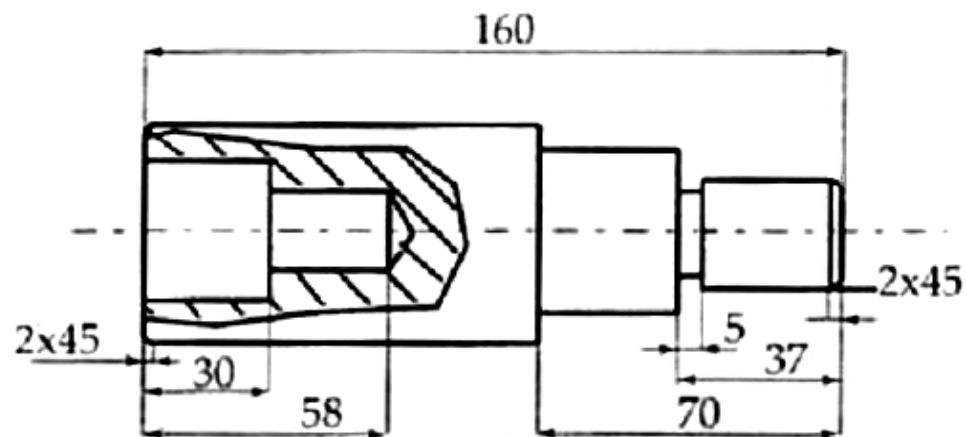


Pezzo grezzo



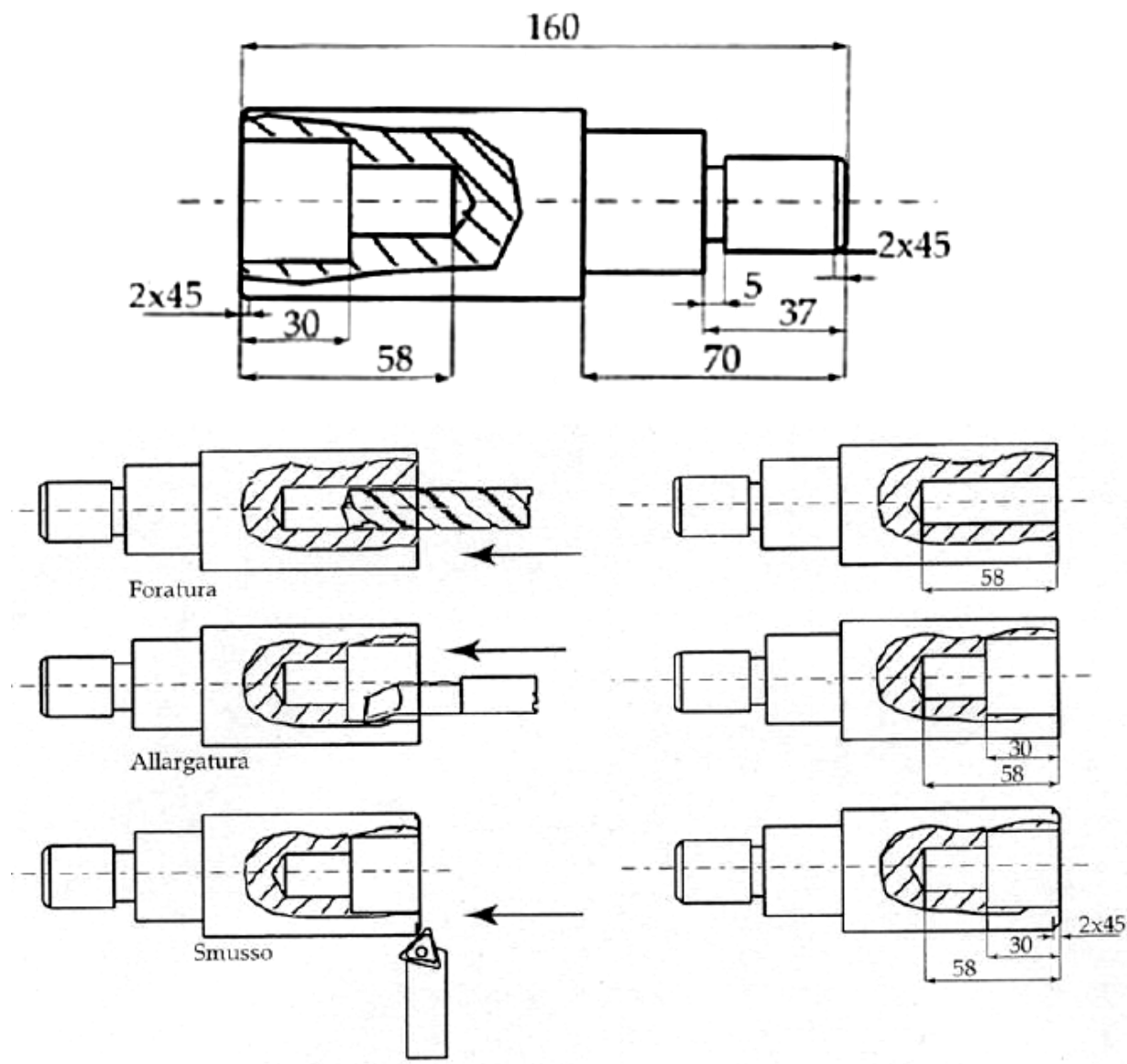




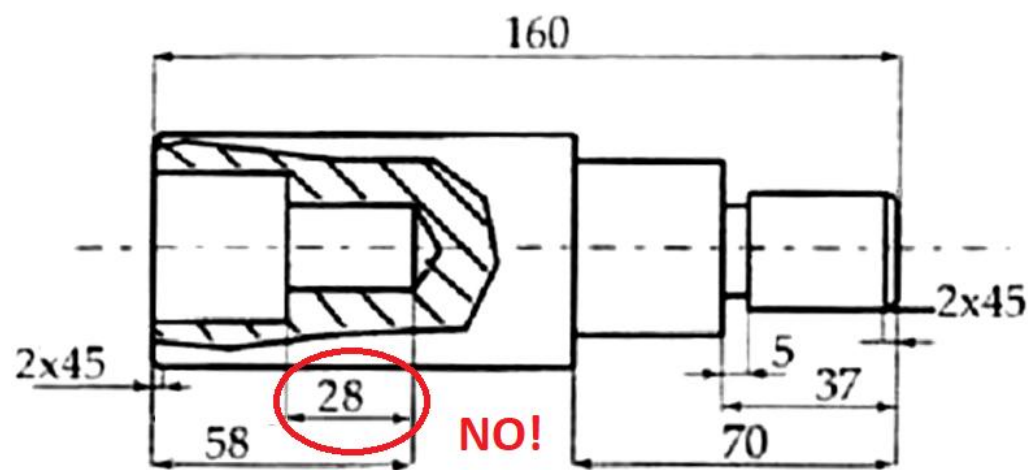
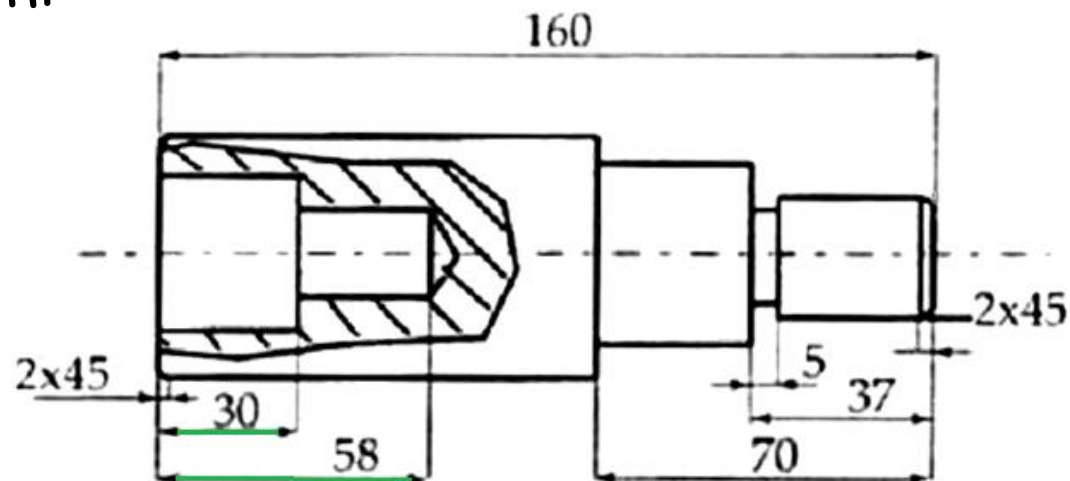




Lavorazione al tornio



Regola generale: Quotiamo ciò che si asporta secondo l'ordine delle lavorazioni

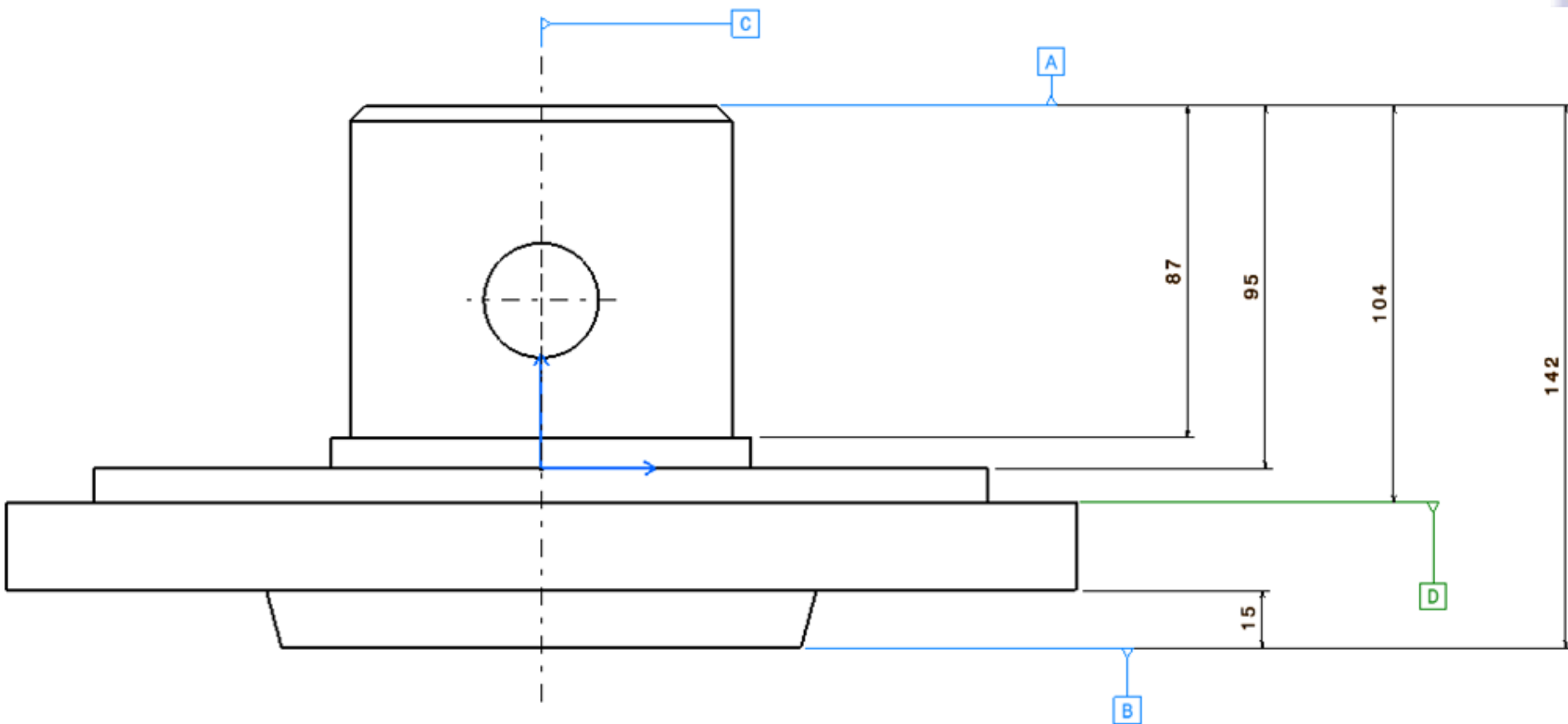


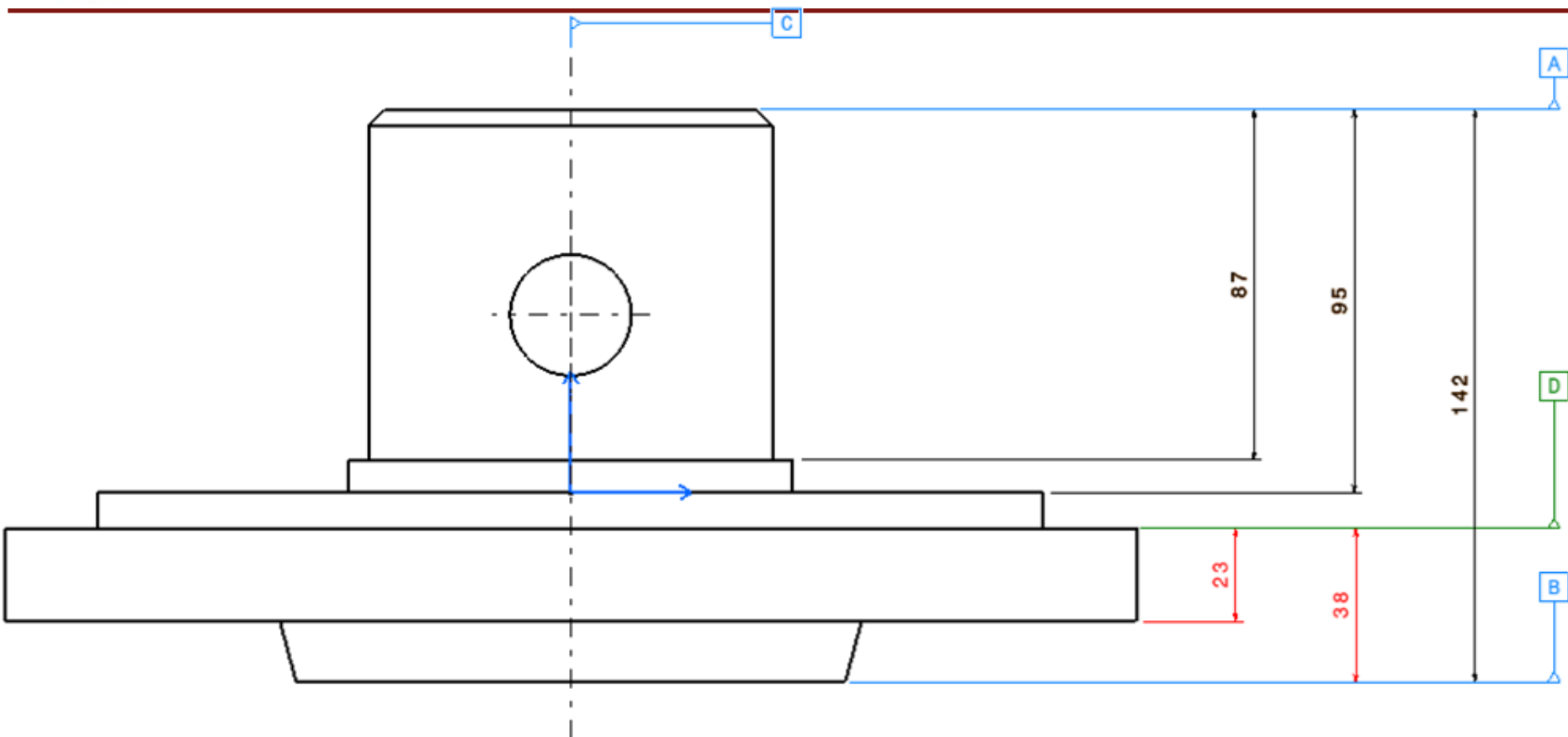


Lavorazione al tornio



Regola generale: Quotiamo ciò che si asporta secondo l'ordine delle lavorazioni





DA EVITARE!

La superficie B non può essere usata come riferimento di posizione della superficie D perché non esiste/non è accessibile durante la lavorazione di D



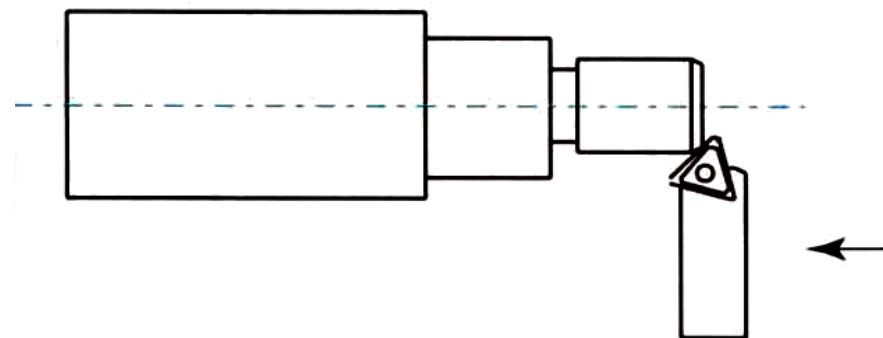
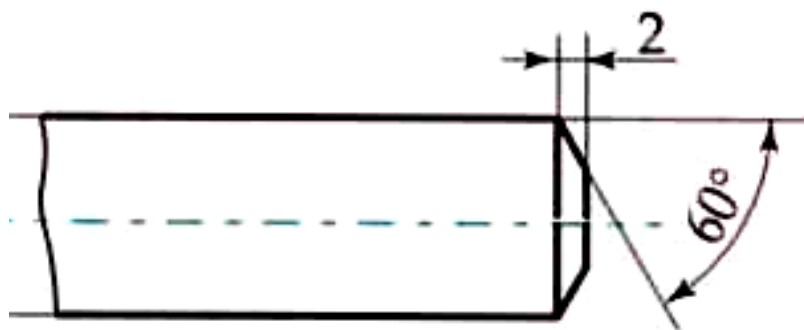
Esempio: Smusso in testa d'albero



Esempio: Smusso in testa d'albero

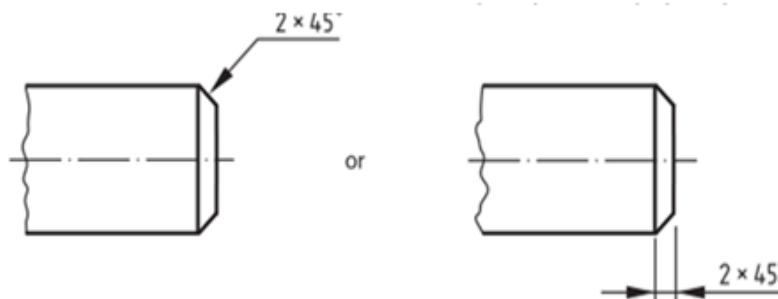
Va quotato in direzione assiale, poiché per tale operazione si utilizza un *tornio* e generalmente l'operatore ha il controllo di:

- Movimento in direzione assiale del carrello
- Angolo di incidenza dell'utensile

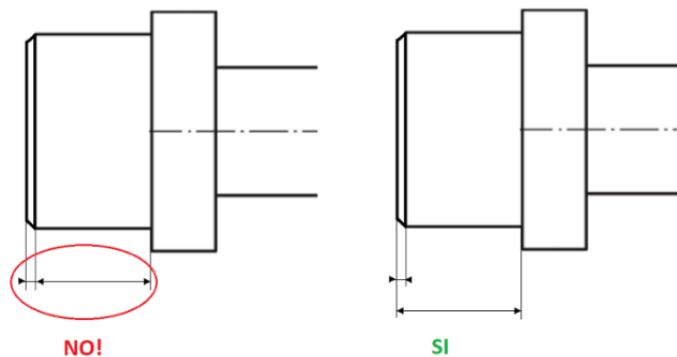


Esempio: Smusso in testa d'albero

Nel caso di smussi e svasature a 45° è ammissibile una rappresentazione semplificata



Essendo realizzati al termine delle lavorazioni, **nessuna altra quota di posizione può essere posta in serie a quella relativa agli smussi di estremità.**



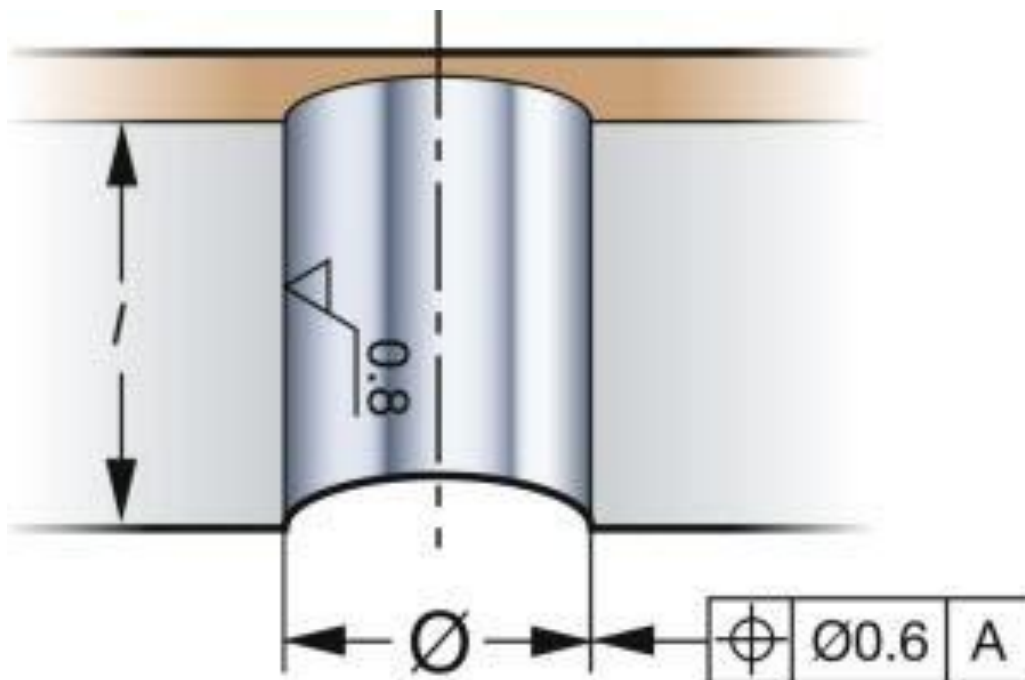


Foratura

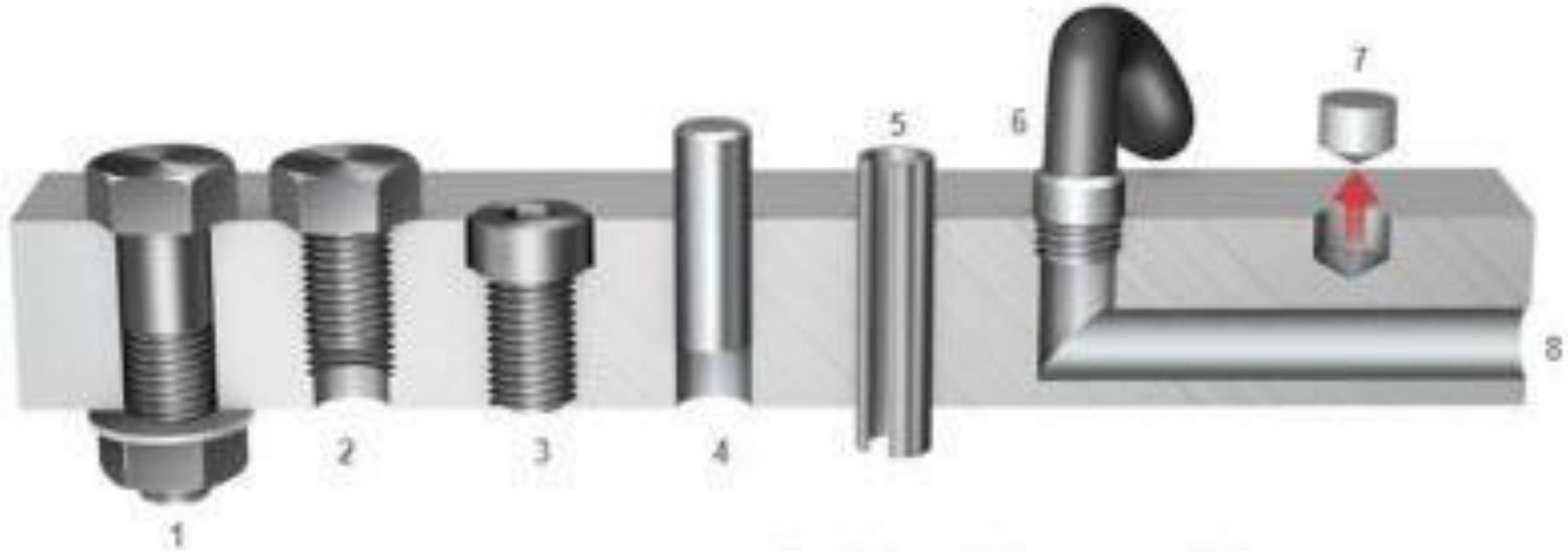


Parametri di interesse:

- Diametro punta (**diametro foro**)
- Avanzamento verticale trapano (**profondità foro**)
- Avanzamento orizzontale pezzo (**interasse fori**)
- Tipo e qualità del foro



Trapano a colonna



1. Fori **passanti** per bulloni
2. Fori **filettati**
3. Fori **allargati** o **svasati**
4. Fori di **posizionamento**

5. Fori per tubi (scambiatori di calore)
6. Fori per la formazione di canali
7. Fori di alleggerimento e bilanciamento
8. Fori profondi

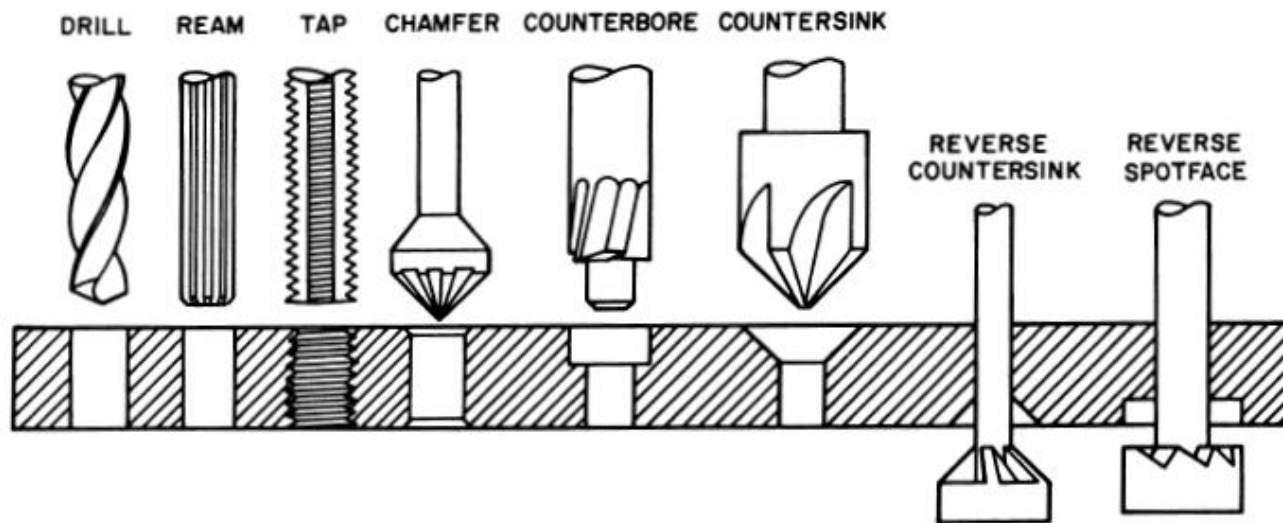
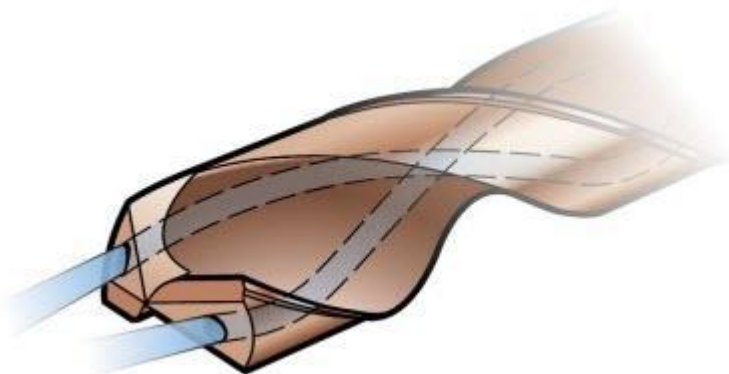


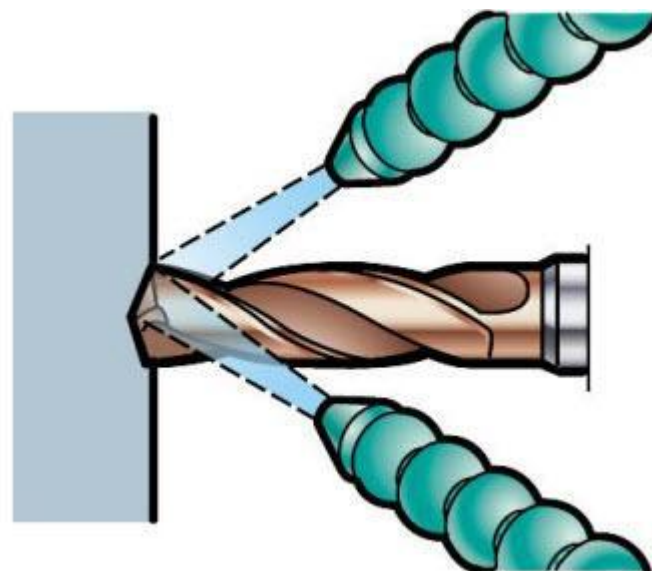
Figure 2-3 Operations common to a drill jig.

1. Fori passanti per bulloni
2. Fori filettati
3. Fori allargati o svasati
4. Fori di posizionamento
5. Fori per tubi (scambiatori di calore)
6. Fori per la formazione di canali
7. Fori di alleggerimento e bilanciamento
8. Fori profondi

Refrigerante interno



Refrigerante esterno



La foratura senza refrigerante in generale è sconsigliata (solo materiali a trucioli corti e MAI per acciai inox)!



Barenatura

- Utensile monotagliante (*bareno*)
- Necessita di più sovrametallo rispetto all'alesatura
- Lo stesso utensile può essere usato per finire fori di diametro diverso.
- Il centraggio del preforo non è critico, poiché la barenatura corregge eventuali disallineamenti

Ra 0.2 – 3.2



Alesatura

- Utensile di forma (*alesatoio*)
- Poco sovrametallo
- La testa segue eventuali disallineamenti del foro
- Ottima finitura
- Utensile più durevole



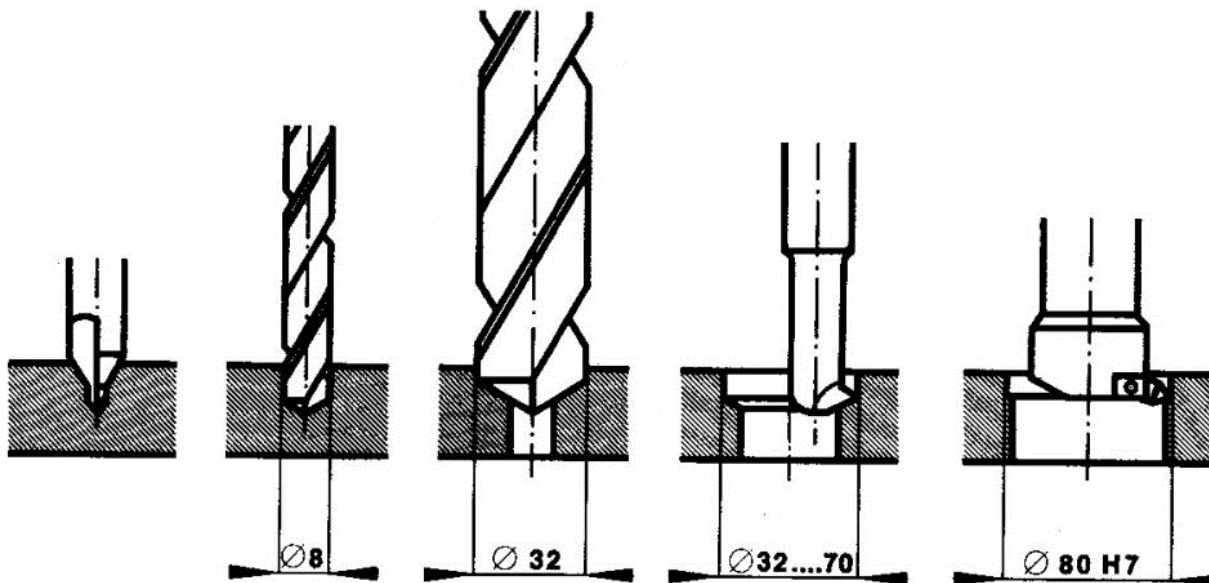
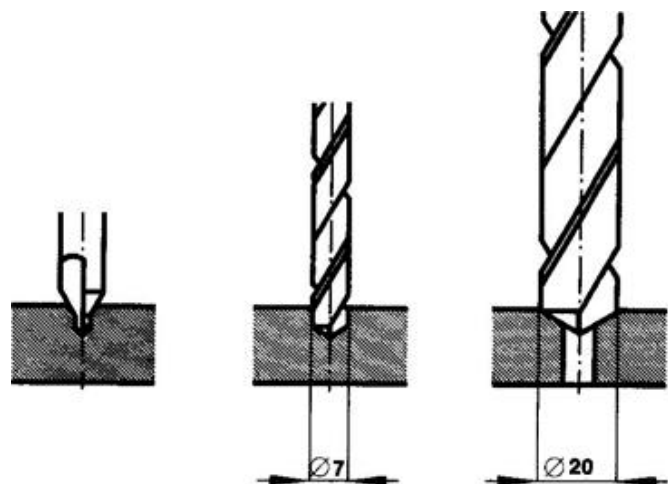


Barenatura e alesatura



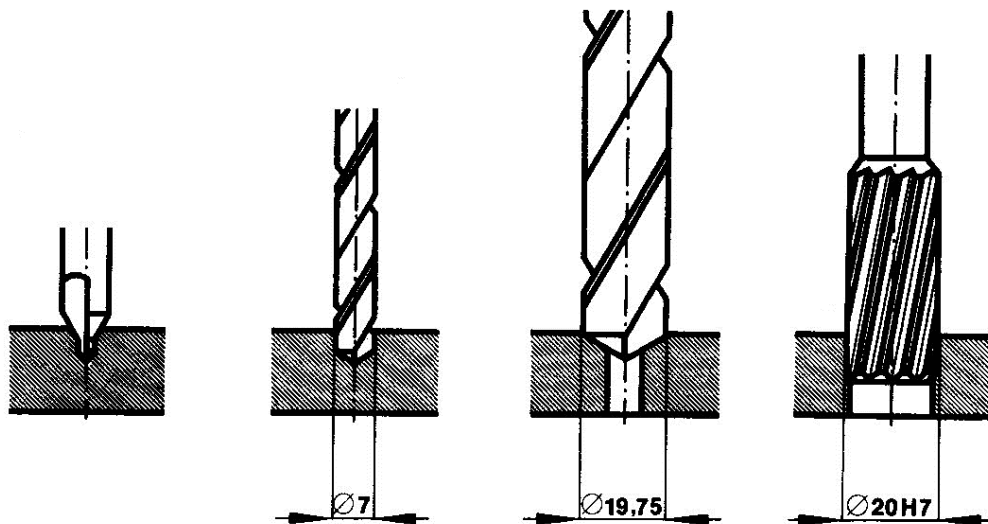
Ra 0.2 – 3.2

Foro in tolleranza generale



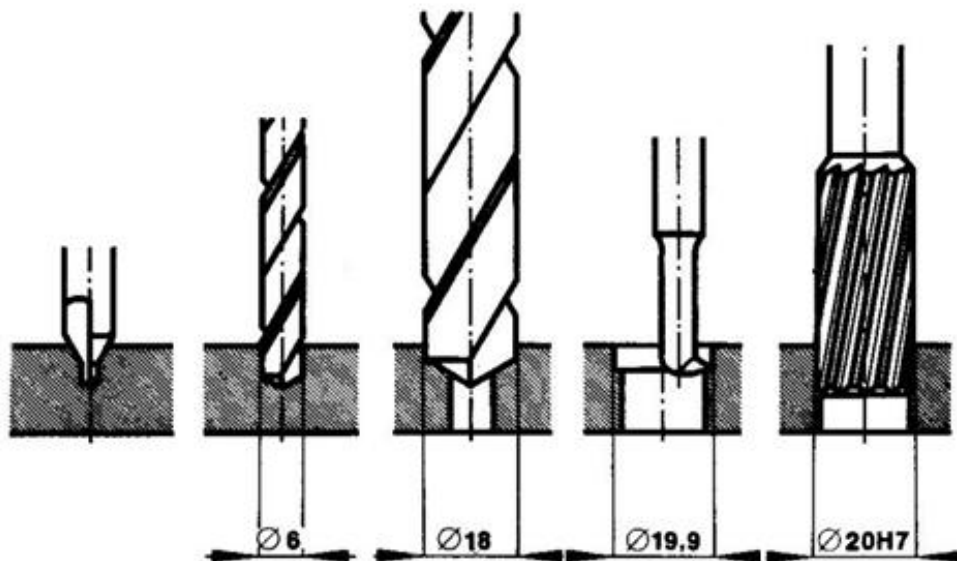
Barenatura
• Fori grandi

Ra 0.2 - 3.2



Alesatura semplice

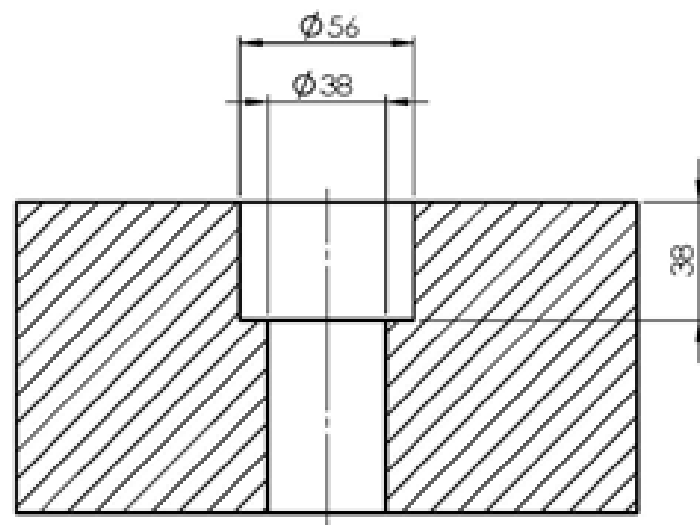
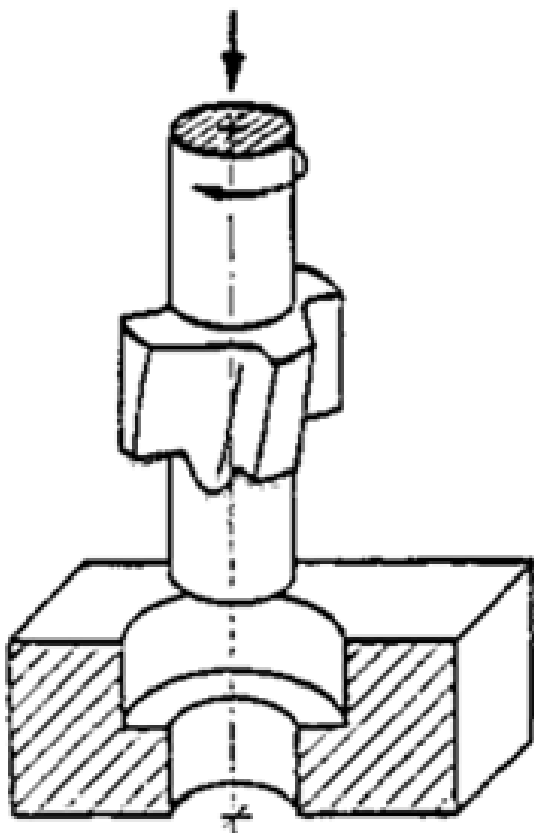
- Centraggio non assicurato



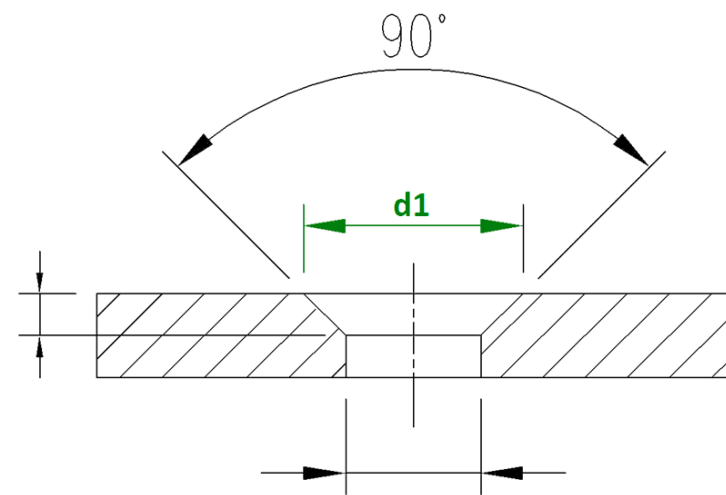
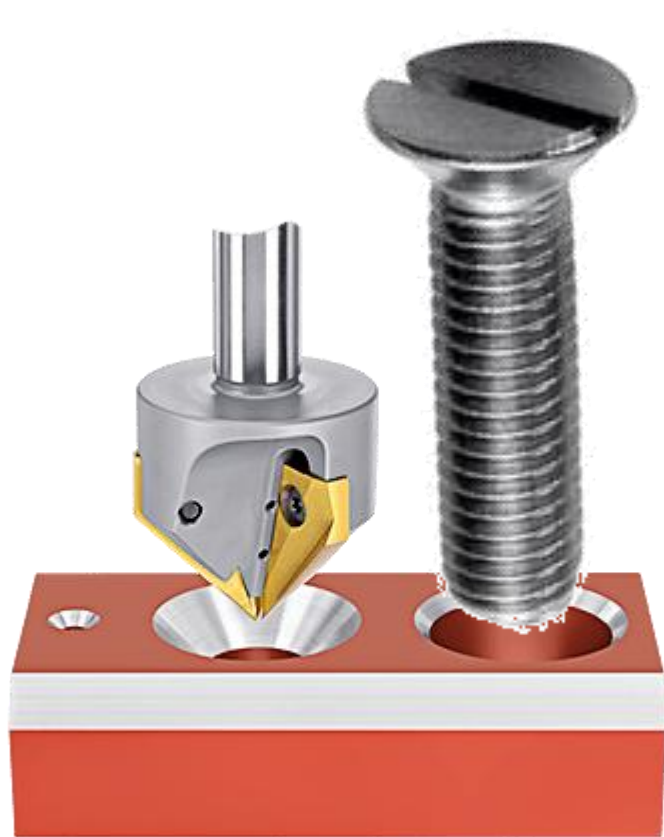
Alesatura dopo barenatura

- Centraggio assicurato

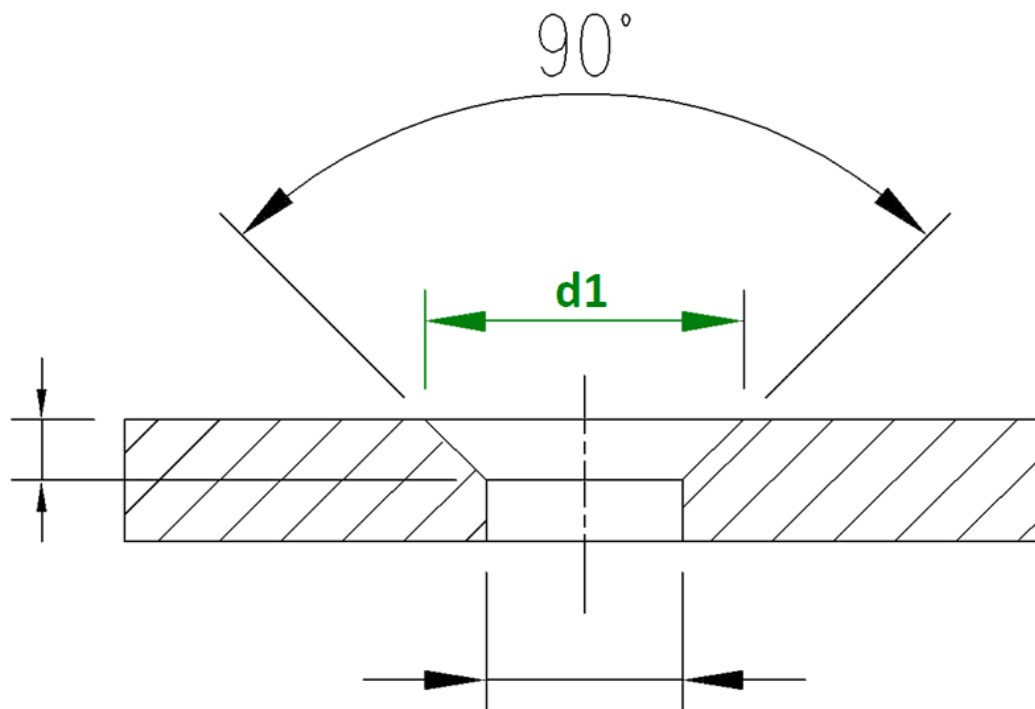
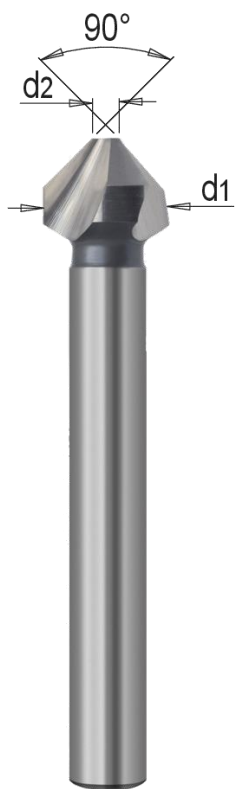
Allargatura di parte di un foro preesistente. Un foro lamato viene quotato come mostrato in figura perché l'utensile è normalizzato rispetto a diametro del foro e di quello di allargatura.



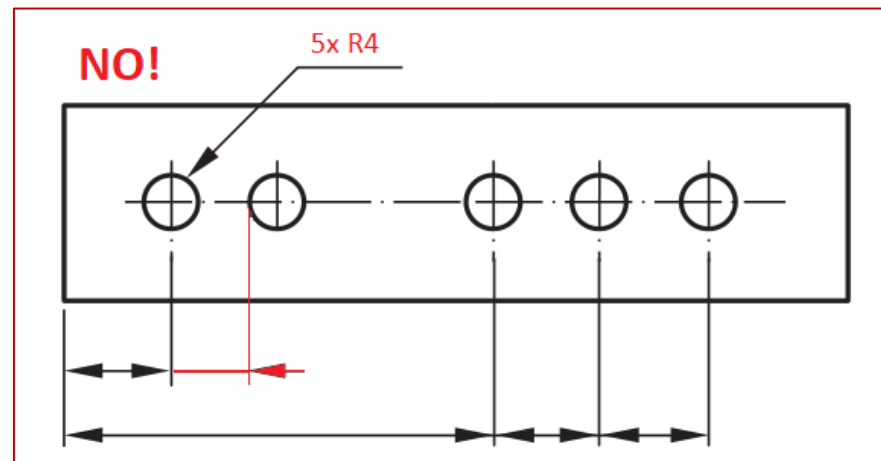
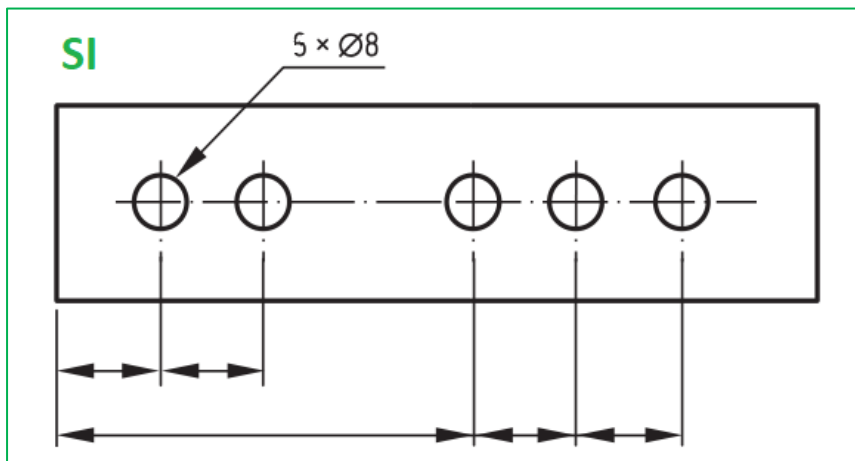
Operazione di svasare, ovvero di *aprire in forma di cono* un foro.
Spesso utilizzata per realizzare le sedi per sottotesta di viti a testa svasata.



Di una svasatura va quotato **angolo di apertura** e **diametro esterno** perché l'utensile di forma utilizzato per realizzare le svasature è normalizzato rispetto a questi parametri.



La **grandezza** di un foro è sempre indicata con il **diametro nominale** designato dal simbolo \emptyset , mai con il raggio, poiché tale caratteristica è realizzata a partire da un utensile di forma cilindrica normalizzato in funzione del diametro nominale (punta da trapano). La **posizione del foro** è individuata dal suo asse rispetto a dei riferimenti esistenti al momento della sua realizzazione (es. superficie di estremità, assi di altri fori, ecc.).

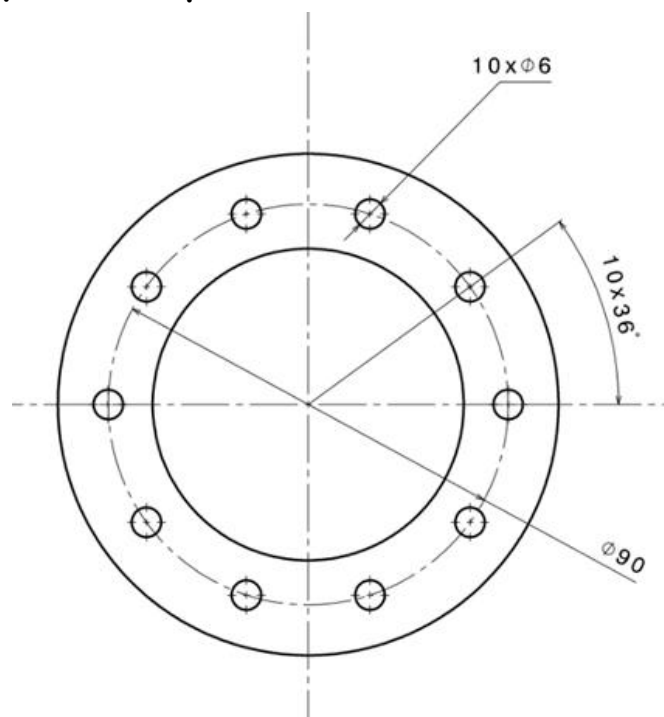




Quotatura di fori

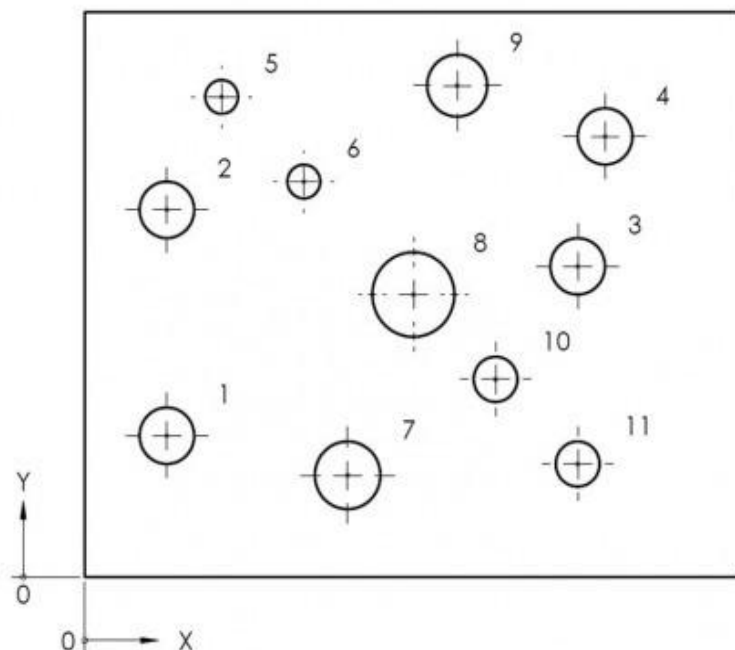


I fori realizzati lungo una circonferenza possono essere localizzati con quotatura polare: la circonferenza che contiene i centri dei fori sarà indicata con **linea sottile tratto lungo-punto**, la quota angolare dei fori rispetto ad un riferimento completerà le quote di posizione.



Qualora i fori si trovino in corrispondenza di assi di simmetria le quote angolari possono essere omesse.

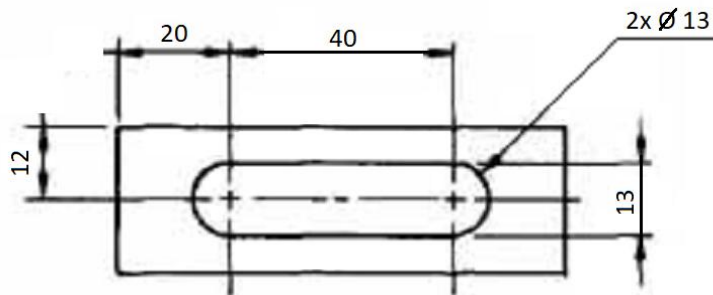
Fori variamente disposti sono generalmente quotati in coordinate attraverso un'opportuna tabella fori, specialmente se realizzati con macchine a controllo numerico.



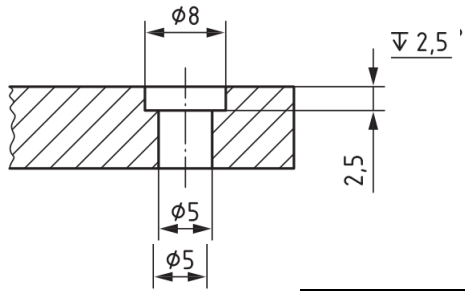
TAG	X	Y	SIZE
1	15	25	Ø 10
2	15	65	Ø 10
3	90	55	Ø 10
4	95	78	Ø 10
5	25	85	Ø 6
6	40	70	Ø 6
7	48	18	Ø 12
8	60	50	Ø 15
9	68	87	Ø 11
10	75	35	Ø 8
11	90	20	Ø 8

Spesso i fori passanti presentano una forma oblunga con diversi scopi: ad es. conferire il necessario margine di regolazione per il fissaggio di un pezzo nella sua sede tramite viti

La quotatura del foro asolato segue il ciclo tecnologico con il quale viene realizzato (fresa verticale). Verranno quindi indicati: dimensione della fresa, posizione del primo foro e l'avanzamento del pezzo



Quotatura di fori



Quotatura	Interpretazione



Fresatura



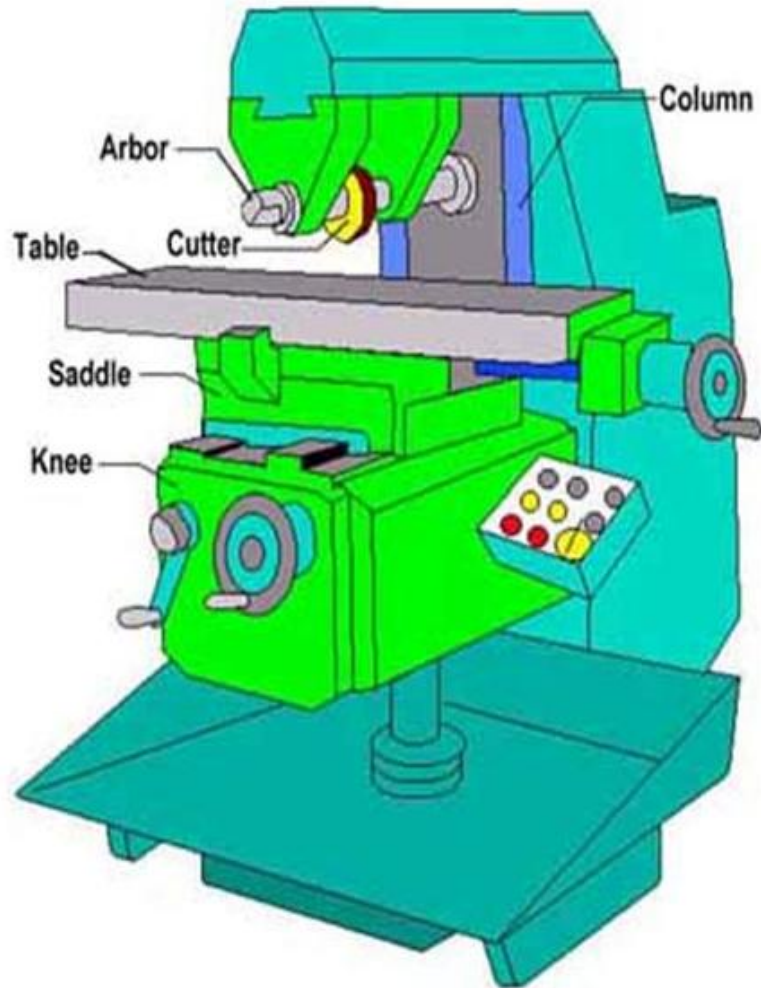
Fresa ad asse orizzontale



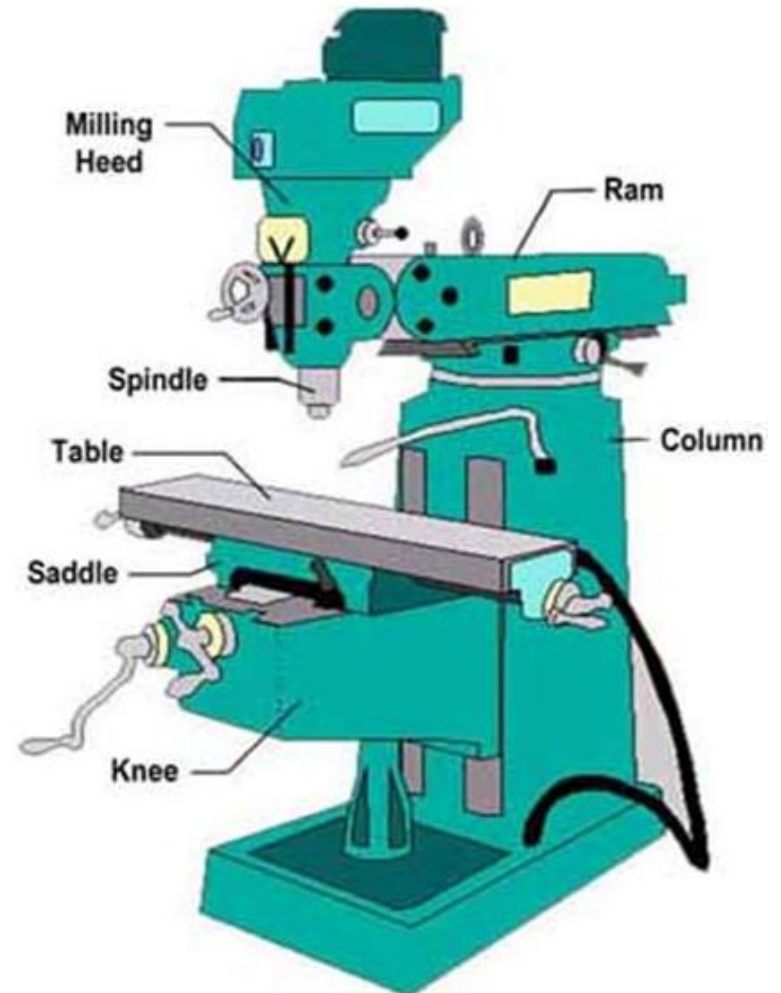
Fresa ad asse verticale



Fresatura

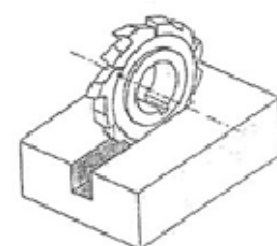
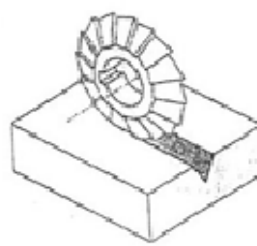
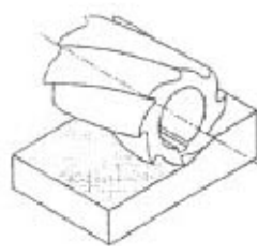
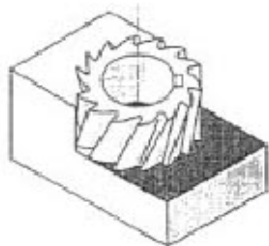


Fresa ad asse orizzontale

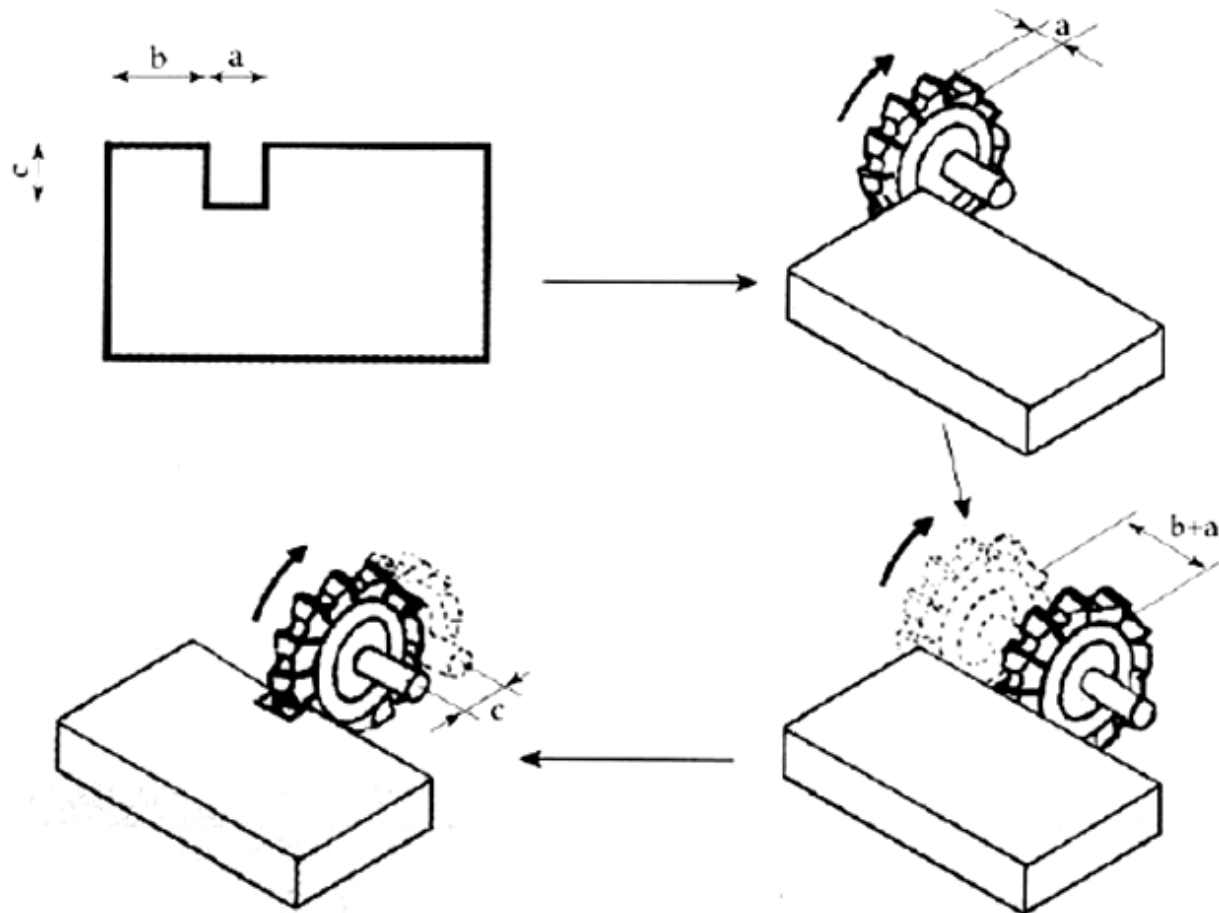
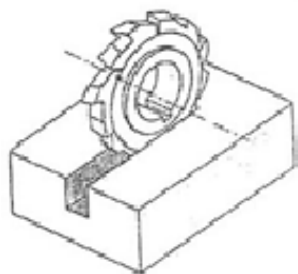


Fresa ad asse verticale

- **Utensile politaglante: fresa**
- **Moto di taglio assegnato all'utensile**
 - asse di rotazione orizzontale o verticale
- **Moto di avanzamento al pezzo fissato ad una tavola**
- **Operazioni possibile**
 - superfici piane o spianatura
 - spianatura di più facce contemporaneamente
 - scanature e cave ad assi rettilinei e curvi



Asse di rotazione fresa orizzontale



Parametri dimensionali:

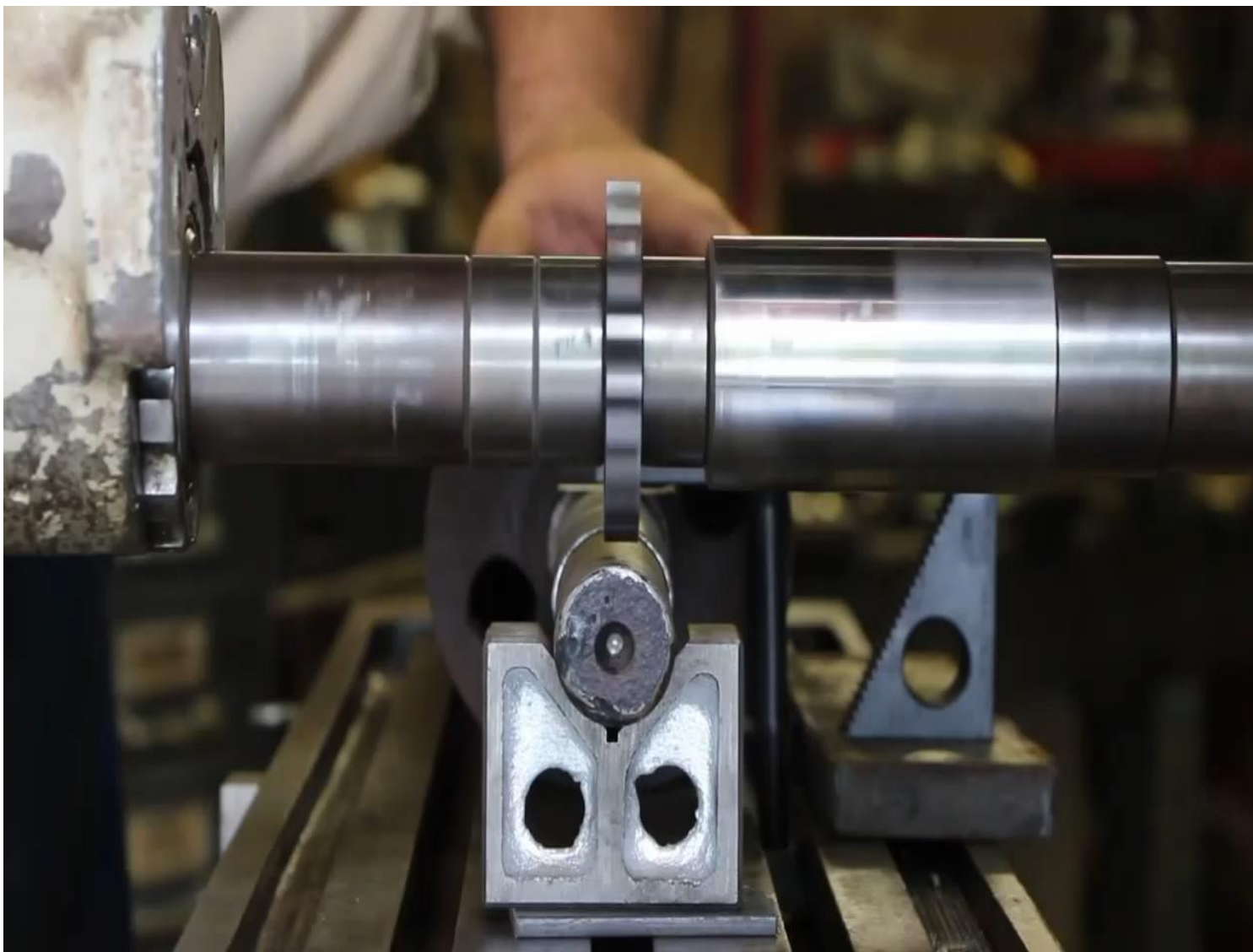
a: larghezza della fresa

b: spostamento
longitudinale del pezzo

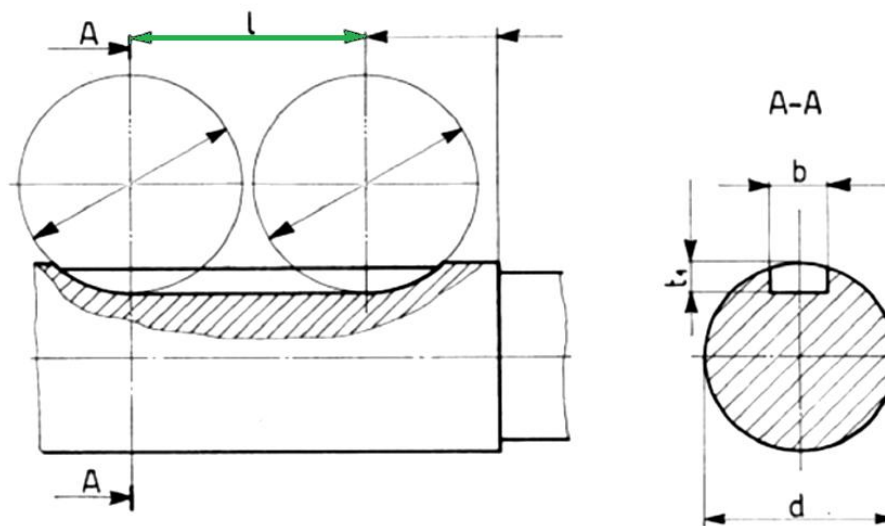
c: corsa della fresa



Fresatura orizzontale e quotatura



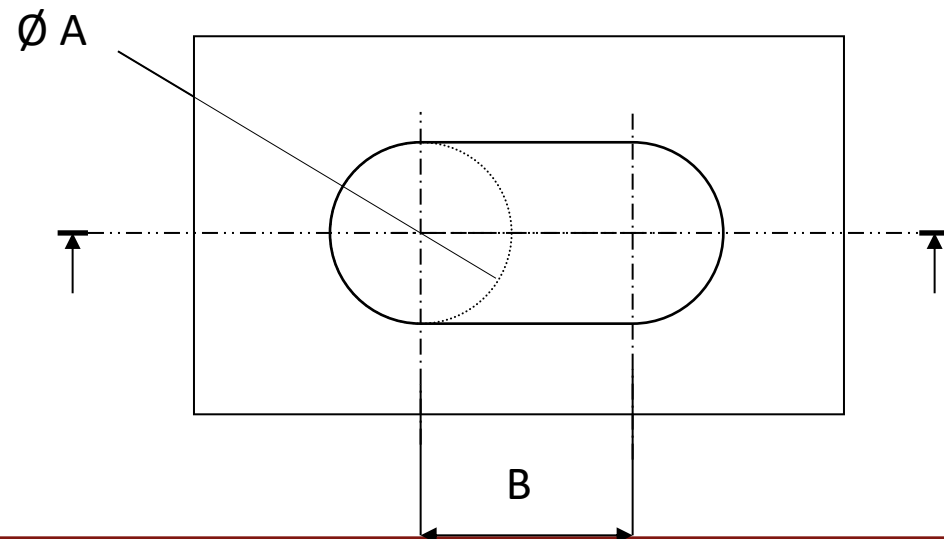
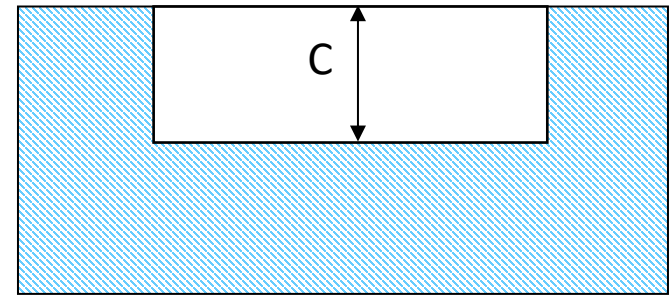
Per motivi realizzativi e per facilitare l'inserimento dell'elemento, le sedi per chiavette e linguette dritte sull'albero sono realizzate e quotate come in figura



Asse di rotazione fresa verticale



Asola



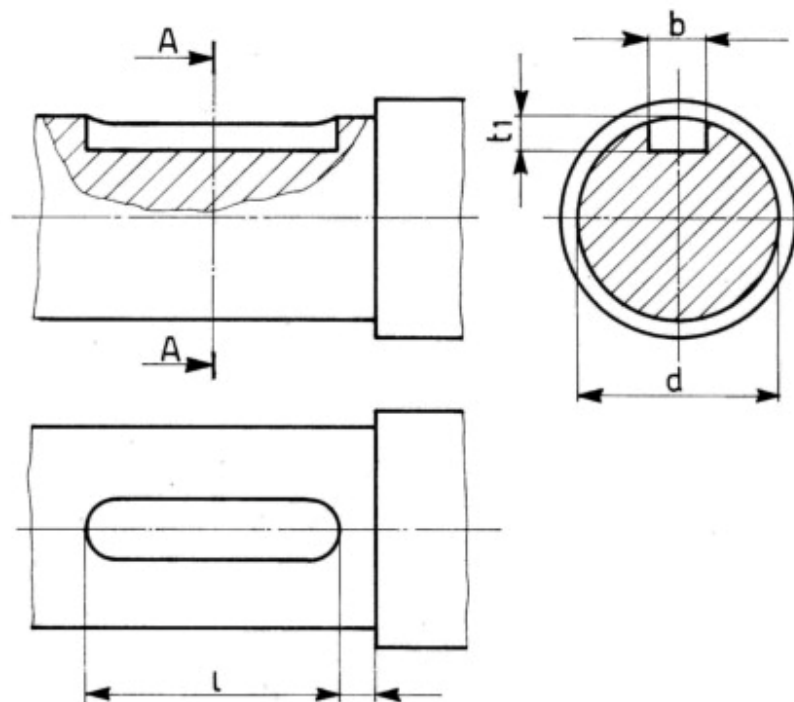
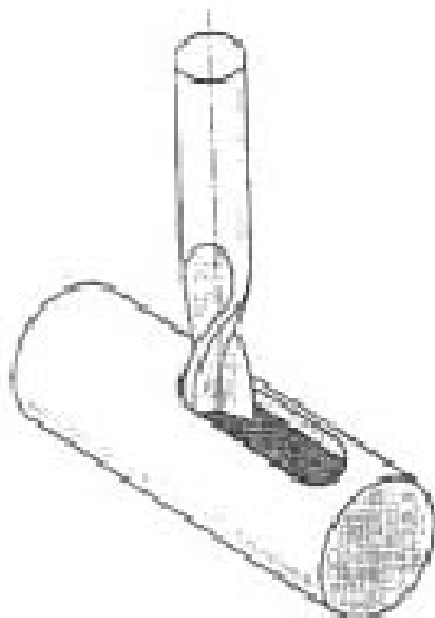
Parametri dimensionali:

A: Diametro della fresa

B: spostamento longitudinale del pezzo

C: corsa della fresa

Eccezione: cava per linguetta/chiavetta su albero di trasmissione. Questa volta la quotatura è governata dalla lunghezza della linguetta/chiavetta. Di conseguenza **la cava sull'albero può essere quotata per l'intera lunghezza**



Quotatura di una sede per linguetta/chiavetta di tipo A su albero