

PROCESSI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO:

TORNITURA

Famiglie di pezzi

È possibile raggruppare i pezzi tipici da sottoporre ad asportazione di truciolo in 2 grandi famiglie:

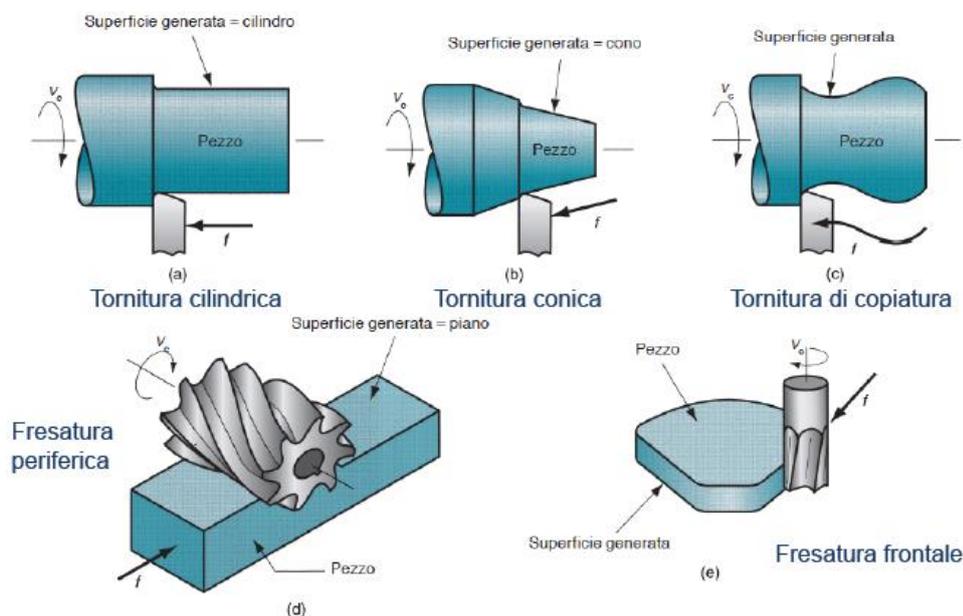
1. Pezzi rotazionali o assialsimmetrici = sfruttano la simmetria del pezzo e generalmente vengono lavorati per mezzo del tornio; la lavorazione al tornio prende il nome di tornitura: il pezzo viene afferrato dalla macchina mediante il mandrino che lo mette in rotazione mentre l'utensile, tramite un moto assiale rettilineo uniforme, procede con il taglio
2. Pezzi non rotazionali o prismatici = non sono simmetrici e generalmente vengono lavorati per mezzo della fresa; la lavorazione alla fresa prende il nome di fresatura.

Entrambe queste categorie di pezzi possono essere lavorati con foratura. Molto spesso però i pezzi da lavorare sono definiti misti: non sono simmetrici ma è possibile definire delle features rotazionali e quindi si procederà sia per mezzo della tornitura che per mezzo della fresatura.

Tipiche operazioni di asportazione di truciolo

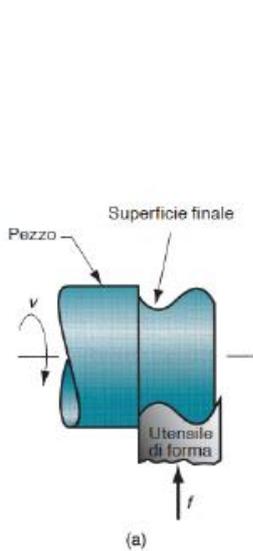
Analizziamo ora delle tipiche operazioni di asportazione di truciolo (le lavorazioni a, b, c, sono tipiche lavorazioni su pezzi rotazionali, mentre le lavorazioni d ed e sono tipiche lavorazioni su pezzi prismatici):

- a. Tornitura cilindrica = il pezzo è messo in rotazione mentre l'utensile trasla, la combinazione tra questi due moti comporta il taglio. Il moto di taglio è quello rotazionale mentre il moto di avanzamento è quello traslazionale. Il moto complessivo è di tipo elicoidale
- b. Tornitura conica = in questo caso il moto di traslazione non è parallelo all'asse di simmetria del pezzo ma forma un certo angolo con l'asse stesso. Cambia dunque il moto di avanzamento mentre il moto di taglio è sempre rotazionale come nel caso precedente
- c. Tornitura di copiatura = in questo caso il moto di avanzamento non è rettilineo ma segue una determinata curva mentre il moto di taglio è sempre rotazionale
- d. Fresatura periferica = in questo tipo di fresatura il moto di taglio non è rotazionale ma è traslazionale mentre il moto di avanzamento è rotazionale ed è dunque l'utensile ad essere in rotazione. Inoltre l'utensile è politagliante mentre nella tornitura abbiamo fino ad ora parlato di utensili monotalgianti. Si definisce periferica perché l'asse di rotazione della fresa è parallelo al piano della lavorazione
- e. Fresatura di contornatura o frontale = non si realizza una riduzione dello spessore del piano ma si riduce il bordo. La controtornitura viene realizzata mediante l'uso di una fresa. Il moto di taglio è dato dall'utensile così come il moto di avanzamento.

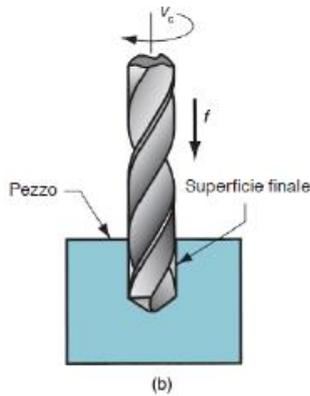


Analizziamo ora altre lavorazioni che comportano una formatura mediante utensili "di forma":

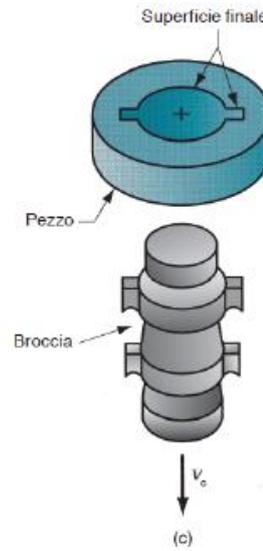
- a. Tornitura con utensile di forma = tornitura con utensile che ha già insito nella sua geometria il profilo che si vuole realizzare
- b. Foratura
- c. Brocciatura = tratta di allargare un foro, secondo una sagoma ben definita, facendo passare in esso una serie di taglienti con diametri e dimensioni via via crescenti. Non si hanno moti di rotazione, ma solamente un moto rettilineo, generalmente in direzione verticale
- d. Filettatura al tornio = permette di realizzare il filetto su una superficie esterna del cilindro. L'utensile è detto filettatore, è un utensile di forma.
- e. Realizzazione di cava mediante fresatura



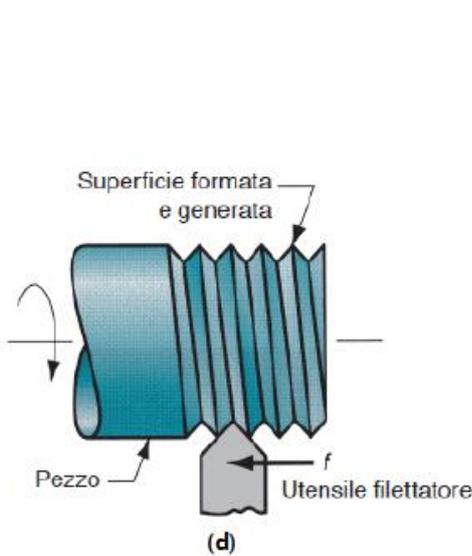
Tornitura con utensile di forma



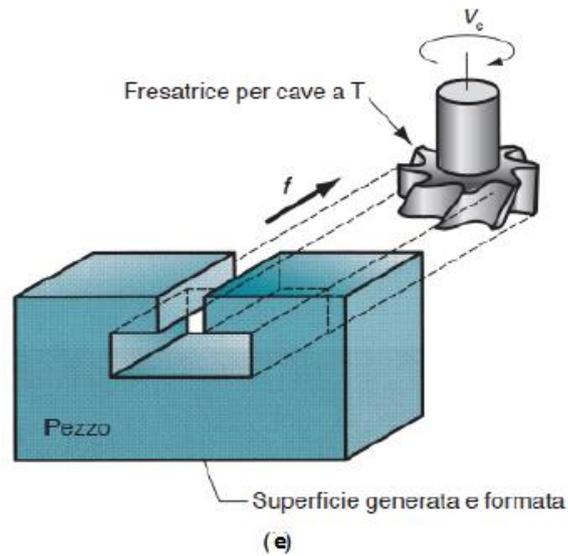
Foratura



Brocciatura



Filettatura al tornio



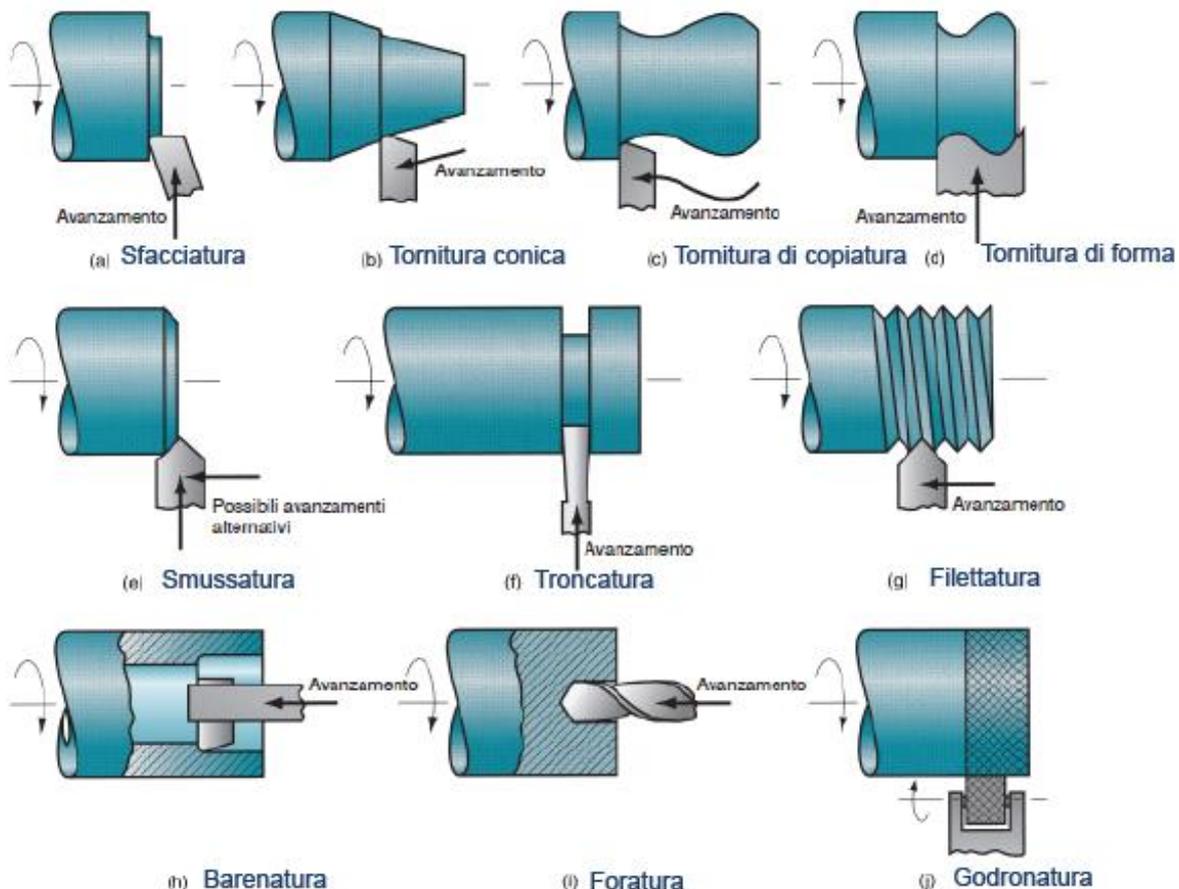
Realizzazione di cava di forma (scanalatura a T) mediante fresatura

Tornitura

Operazioni di tornitura

Elenchiamo ora più nello specifico le sole operazioni di tornitura:

- a. Sfacciatura = l'utensile avanza radialmente nel pezzo per creare una superficie piana alla sua estremità
- b. Tornitura conica = l'utensile non avanza parallelamente all'asse di rotazione del pezzo, ma avanza secondo una direzione angolata rispetto ad esso, creando così una forma conica
- c. Tornitura di copiatura o contornatura = l'utensile non avanza parallelamente all'asse di rotazione del pezzo come nella tornitura cilindrica, ma segue un contorno sagomato che dà la forma al pezzo finale
- d. Tornitura di forma = in questa operazione, chiamata anche formatura, viene usato un utensile che impartisce la propria forma al pezzo mediante un moto radiale di avanzamento
- e. Smussatura = si usa lo spigolo tagliente dell'utensile per eliminare l'angolo sul bordo del cilindro, creando il cosiddetto smusso
- f. Troncatura = l'utensile viene fatto avanzare radialmente a partire da una certa posizione lungo il pezzo allo scopo di tagliarne un'estremità. Questa operazione viene anche chiamata separazione
- g. Filettatura = un utensile a punta di forma avanza linearmente lungo la superficie esterna del pezzo lungo una direzione parallela all'asse di rotazione a una velocità di avanzamento molto alta, creando così la filettatura nel cilindro
- h. Barenatura = un utensile monotagliante avanza linearmente in direzione parallela all'asse di rotazione sul diametro interno di un foro preesistente nel pezzo
- i. Foratura = la foratura può essere eseguita su un tornio facendo avanzare una punta nel pezzo in rotazione attorno al suo asse
- j. Godronatura = non è un'operazione di lavorazione per asportazione di truciolo vera e propria perché non comporta l'asportazione di materiale ma è comunque un'operazione di formatura dei metalli usata per produrre una zigrinatura (pattern) sulla superficie del pezzo lavorato con lo scopo di aumentarne l'attrito (grip)

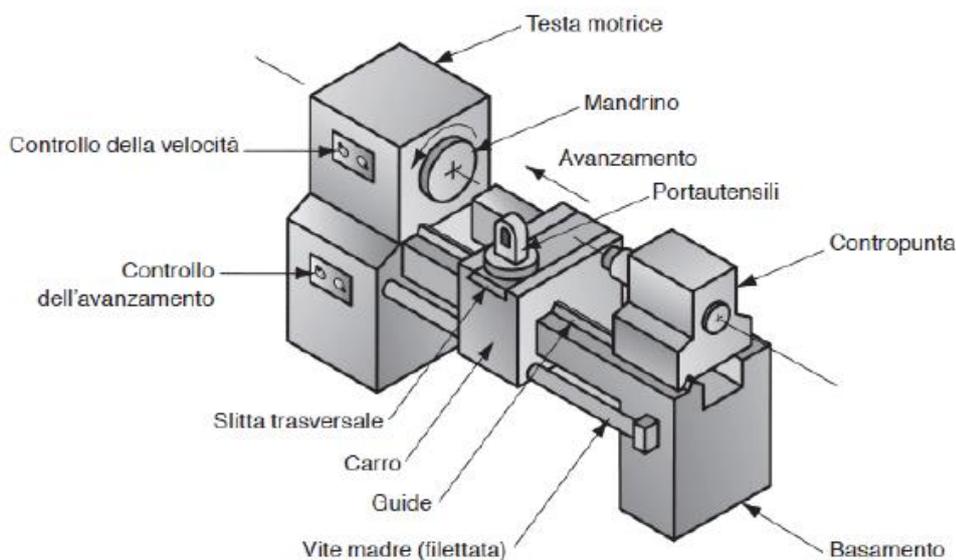


Tornio

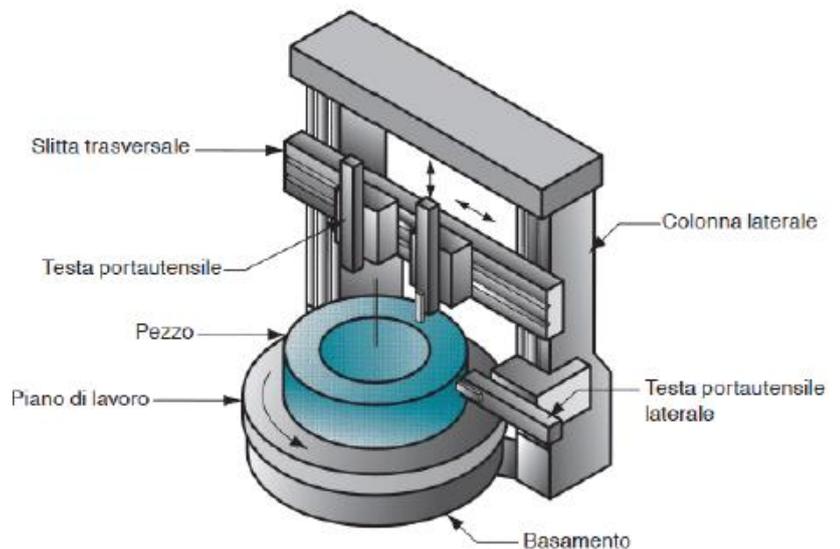
Il tornio parallelo è costituito da:

- Testa motrice = contiene l'unità che aziona il mandrino che a suo volta ruota il pezzo
- Contropunta = posta di fronte alla testa motrice serve a supportare l'altra estremità del pezzo
- Portautensile = zona in cui viene posizionato l'utensile. È fissato alla slitta trasversale a sua volta fissata al carro
- Guide = permettono al carro di scorrere, sono fissate al basamento del tornio, fornendo la struttura rigida per la macchina utensile

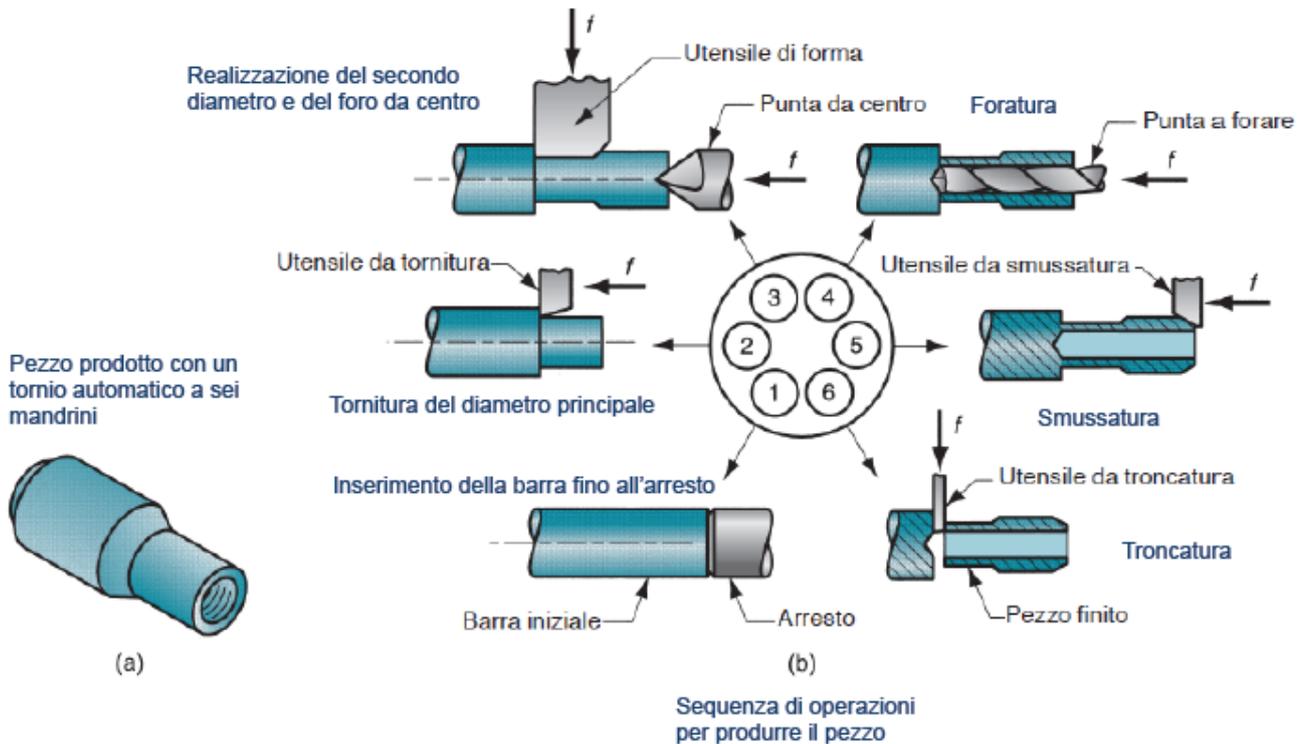
Generalmente il carro è azionato da una vite ce ruota alla velocità corretta per ottenere la velocità di avanzamento desiderata. La slitta trasversale è progettata per avanzare in direzione perpendicolare al movimento del carro. Muovendo il carro, l'utensile può essere fatto avanzare parallelamente all'asse del pezzo per seguire una tornitura cilindrica oppure, muovendo la slitta trasversale, l'utensile può essere fatto avanzare radialmente verso l'interno del pezzo per eseguire un'operazione di sfacciatura, di tornitura di forma o di troncatura. Se l'asse del mandrino. La dimensione di un tornio si indica usando due valori: il diametro di tornitura e la distanza tra le punte. Il massimo diametro di tornitura è il diametro massimo del pezzo che può essere fatto ruotare dal mandrino, determinato come il doppio della distanza tra l'asse del mandrino e le guide del tornio. La distanza tra le punte indica la lunghezza massima dei pezzi che si possono montare tra la testa motrice e la contropunta.



Un altro tipo di tornio è quello verticale; poiché talvolta è necessario lavorare o rettificare pezzi di grandi dimensioni e di relativo grande peso, non è conveniente che questi siano fissati come si farebbe su di un tornio parallelo. Il loro peso infatti creerebbe grossi problemi per la loro adeguata ritenzione sul mandrino. Si preferisce quindi far ruotare il pezzo attorno ad un asse verticale. Il mandrino giace quindi su di un piano orizzontale e l'utensile per la lavorazione si muove su di una guida verticale. Il tornio verticale funziona, insomma, come un tornio parallelo ruotato di novanta gradi. Generalmente, data la natura dei pezzi da lavorare, larghi e bassi, non è necessario l'uso della contropunta.



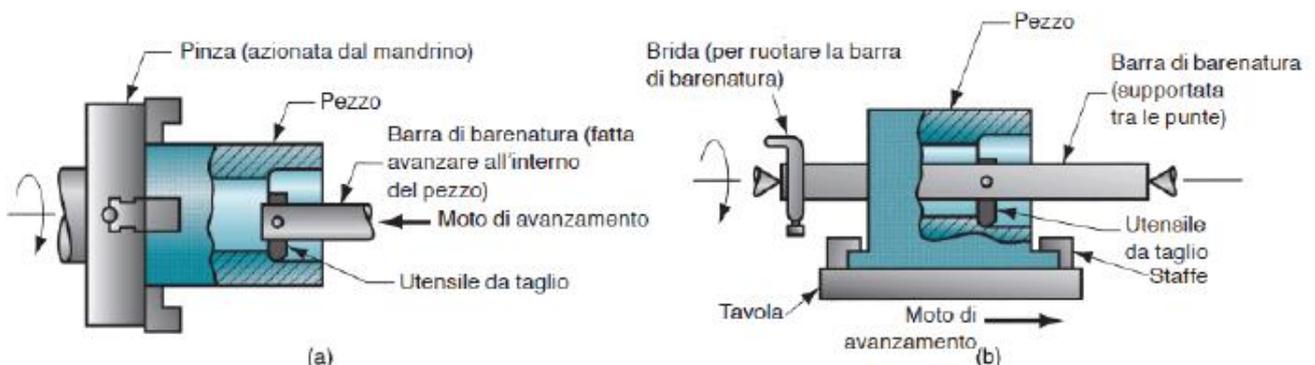
Oltre al tornio parallelo e a quello verticale esistono altri tipi di macchine da tornitura che sono state sviluppate per adempiere particolari funzioni o per automatizzare il processo di tornitura. Tra queste macchine citiamo il tornio multimandrino che è caratterizzato dalla presenza di più mandrini così che più pezzi possono essere lavorati contemporaneamente da utensili diversi.



Macchine da barenatura

La barenatura è simile alla tornitura poiché anch'essa utilizza un utensile monotagliante su un pezzo rotante. La differenza è che la barenatura viene eseguita sul diametro interno di un foro nel pezzo anziché sul diametro esterno di un pezzo cilindrico. La barenatura è dunque definita come un'operazione di tornitura interna. Le macchine utensile utilizzate per la barenatura sono chiamate barenatrici. Le barenatrici possono essere:

- Orizzontali = la barra di barenatura avanza all'interno di un pezzo rotante
- Verticali = il pezzo avanza verso la barra di barenatura rotante



Metodi di bloccaggio dei pezzi sul tornio

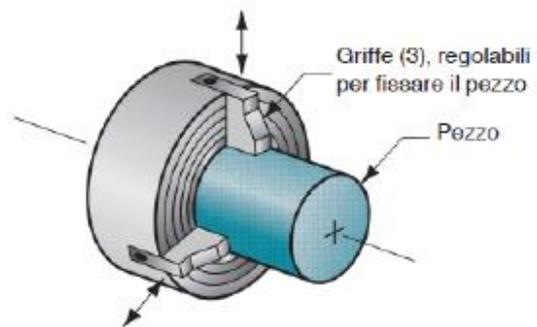
Nella tornitura ci sono quattro metodi possibili per fissare il pezzo al tornio:

- Montaggio del pezzo tra le punte = il pezzo è bloccato tra la punta della testa motrice e la contropunta. È un metodo adatto per pezzi caratterizzati da grandi rapporti lunghezza-diametro. Sul mandrino viene montato un dispositivo chiamato menabrida utilizzato per spingere un altro dispositivo chiamato brida fissato all'esterno del pezzo. In questo modo il pezzo viene fatto ruotare dal mandrino. La contropunta può essere:

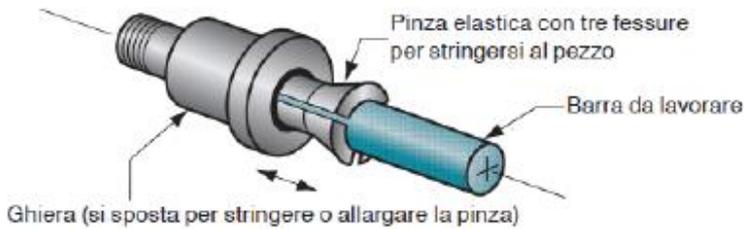
- Viva = ruota in un cuscinetto in modo che non vi sia alcuna rotazione relativa tra il pezzo e la punta viva e di conseguenza nessuno attrito tra la punta e il pezzo
 - Morta = è fissata alla contropunta e non ruota, mentre il pezzo ruota su di essa. A causa dell'attrito e dell'accumulo di calore che si forma, questa configurazione viene normalmente utilizzata per basse velocità di rotazione
- b. Utilizzo di una pinza a griffe autocentranti = ha un meccanismo per poter muovere le griffe, che afferrano il diametro esterno del pezzo cilindrico, verso l'interno o verso l'esterno contemporaneamente centrando il pezzo sull'asse del mandrino
 - c. Utilizzo di una pina elastica = è costituita da una boccola tubolare con fessure longitudinali lungo metà della sua lunghezza e uniformemente distribuite lungo la sua circonferenza. Grazie a queste fessure il diametro della pinza può essere ridotto per garantire un afferraggio sicuro del pezzo
 - d. Utilizzo di una piattaforma a griffe indipendenti = è un dispositivo di bloccaggio che si fissa al mandrino del tornio e viene utilizzato per afferra pezzi di forma irregolare su cui non si possono usare altri metodi di bloccaggio.



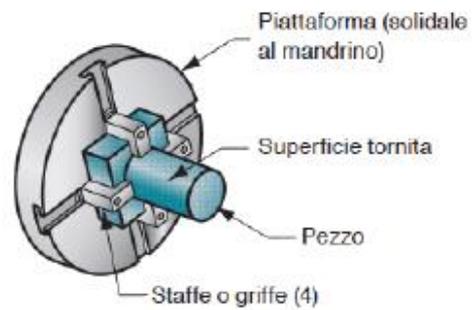
(a) Montaggio tra le punte con brida e menabrida



(b) Pinza a tre griffe autocentranti



(c) Pinza elastica



(d) Piattaforma a griffe indipendenti per pezzi non cilindrici

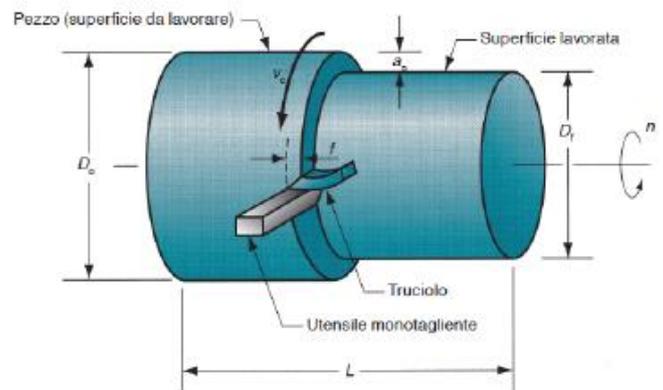
Parametri di taglio in tornitura

L'operazione di tornitura riduce il diametro del pezzo dal suo diametro iniziale D_0 a un diametro finale D_f come determinato dalla profondità a_p . Si definisce dunque a_p :

$$a_p = \frac{D_0 - D_f}{2}$$

Si definisce invece avanzamento f la grandezza che indica quanto velocemente avanza l'utensile di taglio. La sezione del truciolo può essere ricavata come:

$$A_D = f a_p$$



Si parla di velocità di rotazione n intendendo il numero di giri al minuto compiuti dall'utensile stesso. Combinando l'avanzamento e la velocità di rotazione si definisce la velocità di avanzamento:

$$v_f = nf$$

dove:

- f avanzamento $\left[\frac{mm}{giro}\right]$
- n velocità di rotazione / numero di giri da applicare al pezzo per ottenere la velocità di taglio desiderata $\left[\frac{giri}{min}\right]$
- v_f velocità di avanzamento $\left[\frac{mm}{min}\right]$

Fino ad ora abbiamo sempre definito la velocità di avanzamento come metri al minuto e non millimetri al minuto, in questo caso usiamo questa seconda unità di misura poiché risulterà essere estremamente bassa. Il tempo di lavorazione T si definisce come il rapporto tra la lunghezza e la velocità di avanzamento:

$$T = \frac{L}{v_f}$$

Per avere un tempo di lavorazione alto è possibile aumentare il numero di giri o aumentare l'avanzamento. Dal tempo dipende la produttività e quindi il costo del processo. La velocità di taglio è in direzione tangenziale rispetto alla circonferenza e si calcola come:

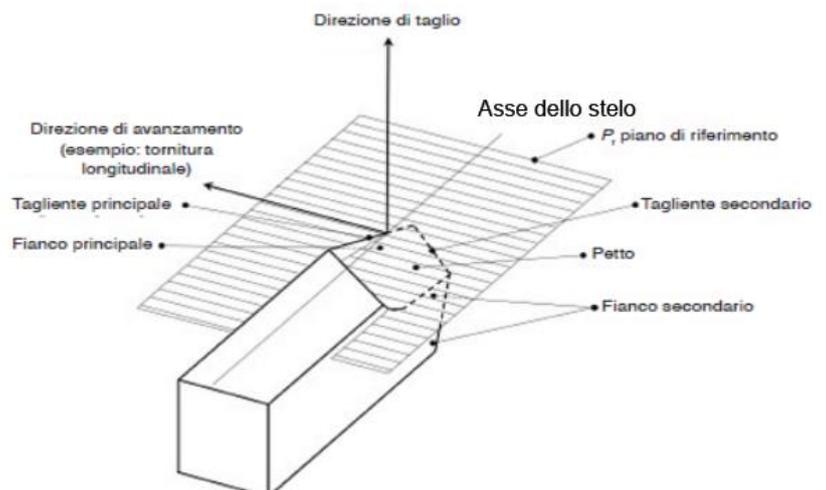
$$v_c = n\pi D_0$$

Valori ragionevoli di velocità di taglio possono essere tra 100 m/min fino a 500 , tipicamente il valore di riferimento è 350 m/min . La velocità di taglio è legata alla potenza quindi la velocità di rotazione n ha come limite proprio la potenza. Definiamo infine il tasso di asportazione del materiale, *material removal rate*, cioè una portata, che si calcola come:

$$Q = v_c f a_p$$

Geometria dell'utensile: definizioni

Occorre ora parlare della geometria dell'utensile perché è un aspetto fondamentale per la progettazione del processo di asportazione di truciolo. L'utensile di tornitura è generalmente a punta singola ed è costituito da due taglienti. Il tagliente principale è il tagliente su cui si concentra lo sforzo di taglio maggiore mentre il tagliente secondario è quello che si affaccia sulla superficie del pezzo già lavorata. I due taglienti, il principale e il secondario, convergono definendo la punta utensile caratterizzata da un determinato raggio di raccordo, detto raggio di punta r_ϵ . Generalmente dunque non c'è mai un spigolo vivo tra i due tagliente, ma c'è una zona a profilo circolare di raggio noto; tale profilo consente di avere maggior robustezza riducendo il rischio di rottura dell'utensile per fenomeni quali la scheggiatura. Il raggio di punta è anch'esso un parametro di scelta. Si chiama stelo la zona che permette di collegare e agganciare l'utensile alla macchina. Come già detto il petto è la superficie attiva su cui scorre il truciolo. Si definisce piano di riferimento il piano parallelo al piano di appoggio dello stelo e passante per il punto di interesse del tagliente. Si definisce invece asse dello stelo la linea parallela all'asse geometrico dello stelo passante per il punto di interesse del tagliente.



Geometria dell'utensile: angoli

Definiamo ora gli angoli dell'utensile. Ci sono due tipi di angoli:

1. Angoli statici = angoli che vengono definiti indipendentemente dalla lavorazione (angoli della sezione normale e del profilo)
2. Angoli dinamici = dipendono dall'accoppiamento tra utensile e pezzo in lavorazione (angoli di registrazione)

Definiamo ora nello specifico tutti gli angoli:

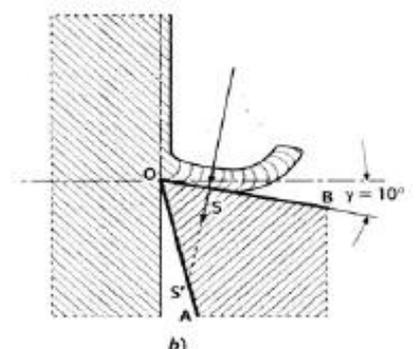
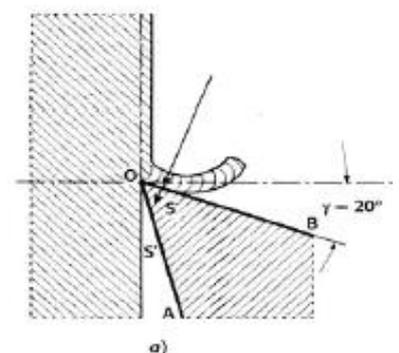
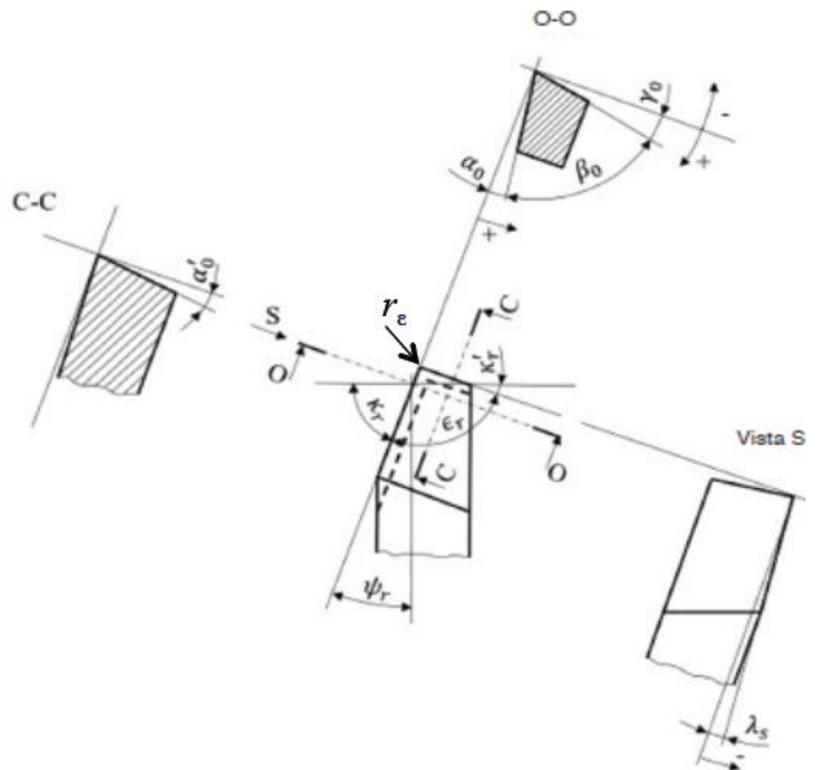
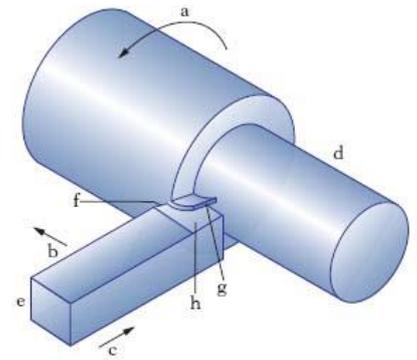
- Angolo di spoglia superiore ortogonale γ_0 = si ottiene immaginando di tagliare il tagliente principale con un piano ad esso perpendicolare.
- Angolo di spoglia inferiore ortogonale α_0 = si ottiene immaginando di tagliare il tagliente secondario con un piano ad esso perpendicolare.
- Angolo di spoglia inferiore secondario α_0' = insieme ad α_0 determina la distanza tra il fianco dell'utensile e la superficie appena tagliata
- Angolo di taglio β_0 = angolo di penetrazione del cuneo normale. Determina la robustezza dell'utensile
- Angolo di direzione complementare del tagliente ψ_r = può essere scelto positivo per ridurre la forza d'urto a cui viene sottoposto l'utensile quando entra a contatto con il pezzo
- Angolo della punta dell'utensile ϵ_r = l'angolo tra i due taglienti. Maggiore è questo angolo maggiore è la robustezza dell'utensile.
- Angolo di inclinazione tagliente principale λ_s = non è un angolo di spoglia quindi non si ottiene attraverso una sezione bensì attraverso una vista (è positivo quando si alza rispetto al piano e negativo quando va sotto il piano).
- Angolo di direzione del tagliente principale κ_r = cioè l'angolo tra la linea che definisce il profilo del pezzo in lavorazione e il tagliente principale
- Angolo di direzione del tagliente secondario κ_r' = l'angolo tra la linea che definisce il profilo del pezzo in lavorazione e il tagliente secondario. Possono non essere costanti

Influenza degli angoli sul taglio

Analizziamo ora cosa influenzano gli angoli:

- Angolo di spoglia superiore ortogonale γ_0 = influisce sul meccanismo di formazione del truciolo. γ_0 maggiori determinano (si sceglie quando le forze non sono altissime):
 - Minori deformazioni
 - Minori pressioni di taglio
 - Minori forze
 - Minore potenza assorbita
 - Minore attrito di scorrimento
 - Minori temperature di esercizio
 - Minore resistenza dello spigolo tagliente (unico aspetto negativo)

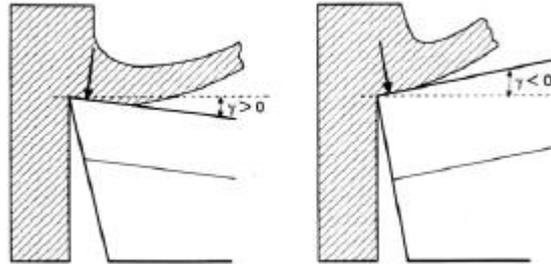
Tali angoli maggiori γ_0 sono consentita ai materiali in lavorazione meno resistenti; materiali dell'utensile duri e fragili non resistono bene ad azioni



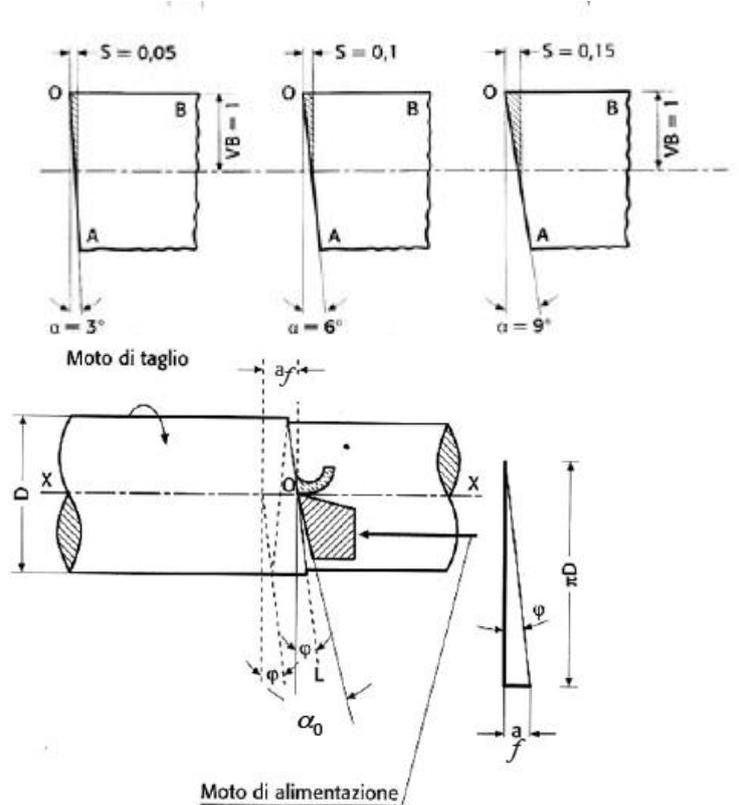
interne di taglio e flessione, mentre resistono bene ad azioni di compressione quindi richiedono γ_0 piccolo o negativi. Questi tipi di materiali usano angoli negativi perché tali angoli implicano:

- Aumento delle forze
- Aumento delle temperature
- Aumento della potenza assorbita

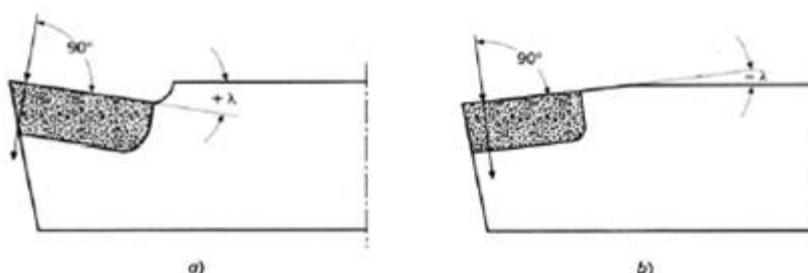
Ricordiamo che con il termine negativi si indica un'inclinazione dell'utensile che supera il piano orizzontale e positivi invece un'inclinazione inferiore a questo stesso piano orizzontale, come in figura. Generalmente si prediligono angoli positivi.



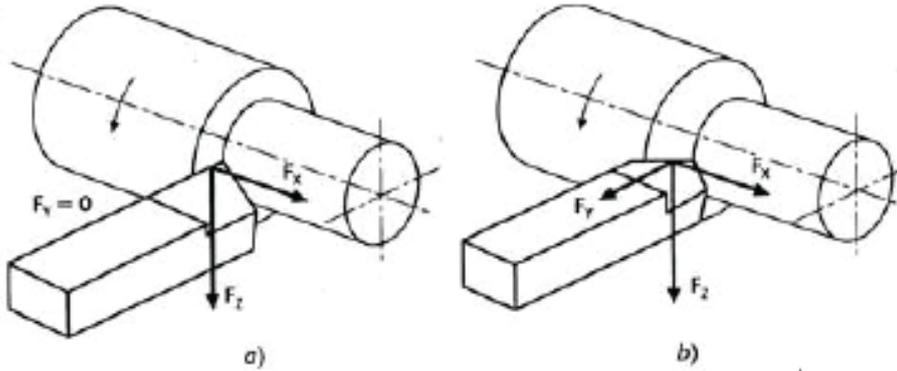
- Angolo di spoglia inferiore α_0 = tale angolo permette di evitare lo strisciamento tra la superficie del dorso dell'utensile e la superficie del pezzo appena lavorato. Deve quindi essere un valore sufficientemente elevato per evitare lo strisciamento; d'altra parte non deve essere troppo alto perché altrimenti l'utensile diventa fragile. Angoli troppo bassi oltre a creare possibilità di strisciamento determinano una più veloce usura dorsale. Generalmente è un valore compreso tra i 2° e 15° . Di solito per comprendere il livello di usura dell'utensile si utilizza il parametro VB. A parità del livello di usura massimo accettabile, angoli α_0 inferiori garantiscono un'usura maggiore. Sottolineiamo inoltre che l'utensile durante l'azione sul pezzo si trova in condizioni diverse da quelle statiche. Dunque durante la lavorazione l'utensile descrive un'elica di passo f e diametro D . La traccia OL risulta inclinata di un angolo φ che riduce l'ampiezza di α_0 . Per poter stimare tale angolo φ è possibile analizzare il triangolino rappresentato in figura.



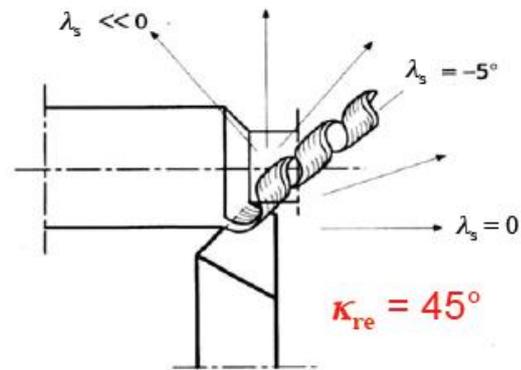
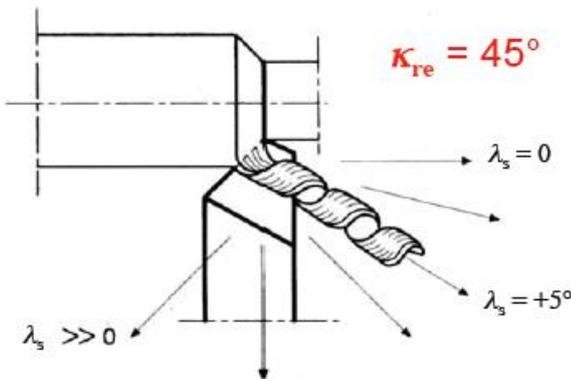
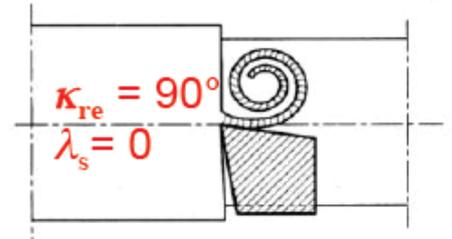
- Angolo della punta dell'utensile ϵ_r = influenza la robustezza della punta
- Angolo di inclinazione del tagliente principale λ_s = determina il flusso del truciolo. Angoli negativi consentono di ottenere utensili più robusti e di passare a sollecitazioni di taglio a sollecitazioni di compressione. In questo caso agiscono forze più elevate, problema delle vibrazioni. Influenza insieme a κ_r la direzione dell'allentamento del truciolo



- Angolo di direzione del tagliente principale κ_r = influenza le componenti della forza di taglio. κ_r ridotti consentono maggiori durate del tagliente, ma determinano un aumento della forza di taglio e della forza di repulsione, che introdurremo nel prossimo paragrafo. Generalmente si consigliano:
 - $\kappa_r = 90^\circ$ per la realizzazione di spallamenti
 - $\kappa_r < 90^\circ$ in condizioni di lavoro normali e con sistemi macchina-pezzo-utensile rigidi



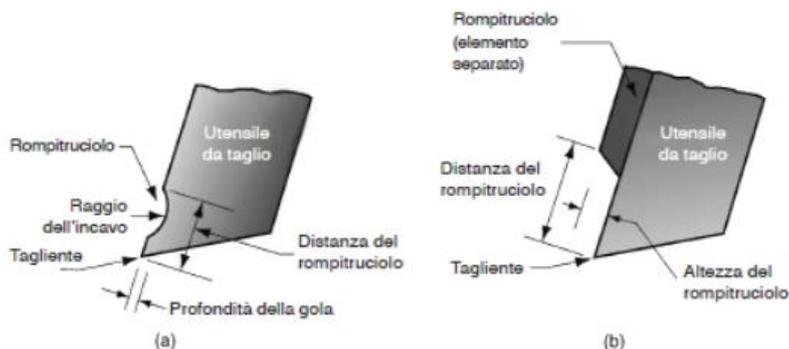
La combinazione tra l'angolo di inclinazione del tagliente principale λ_s e l'angolo di direzione del tagliente principale κ_r fornisce un'idea della direzione di allontanamento del truciolo.



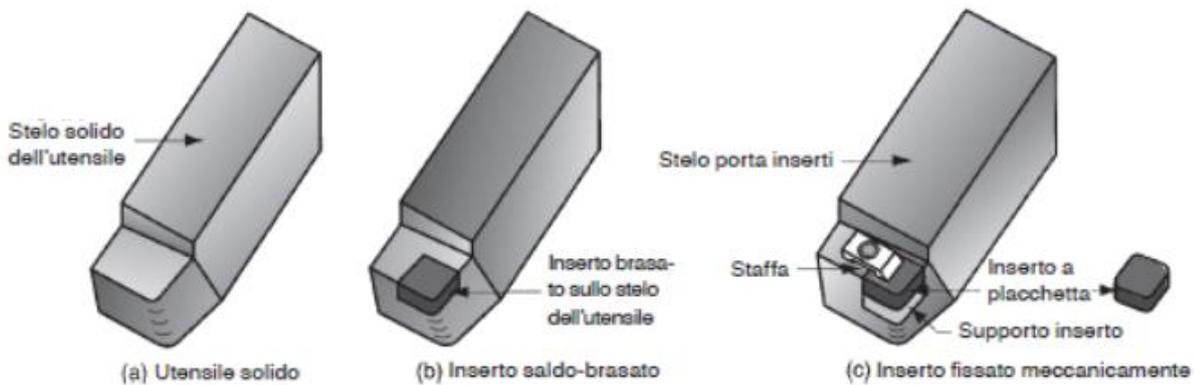
Tipi di utensile

Affinché il truciolo possa essere evacuato facilmente gli utensili possono essere caratterizzati da:

- Una zona cava detta sagoma rompitruciolo ricavata direttamente dall'utensile così da creare una brusca variazione del flusso del truciolo che favorisca il flusso del truciolo stesso.
- Una piastrina rompitruciolo sul petto dell'utensile che favorisce l'eliminazione del truciolo.



Gli utensili possono essere fatti da un unico componente di materiale duro (o in acciaio) così da avere un utensile integrale, quando usurato va completamente cambiato. È un problema perché il costo di cambio utensile non è irrilevante. Altri utensili invece sono costituiti da un inserto di un materiale diverso dallo stelo. Hanno un doppio vantaggio: meno costoso perché si usa meno materiale pregiato, inoltre se si usura l'inserto può essere sostituito. Infine esistono degli utensili costituiti da uno stelo e un inserto realizzato con materiali duri e rivestito con materiali che ne migliorano le proprietà meccaniche.

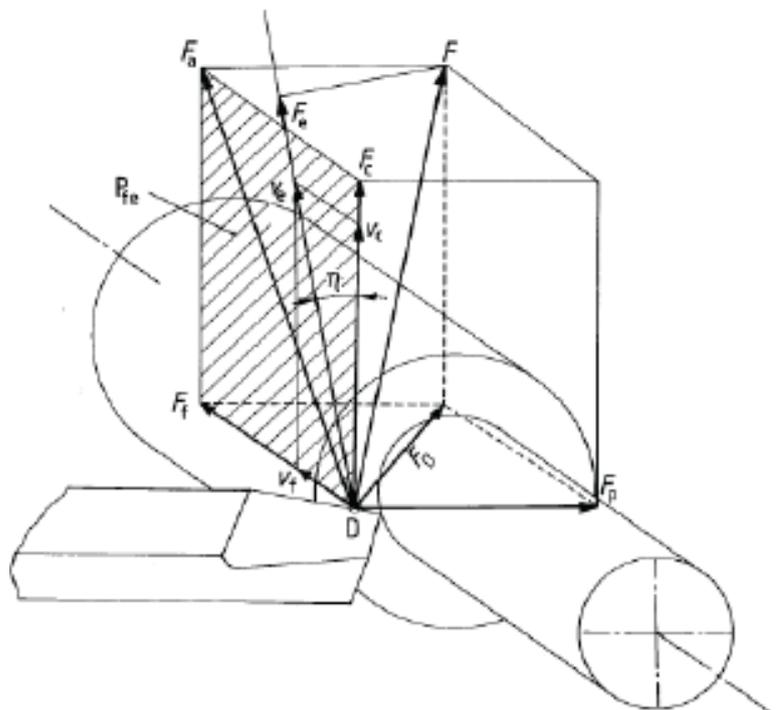


Analisi delle forze

Come già accennato precedentemente nella tornitura si introduce una nuova forza nota come forza di repulsione. In totale dunque le forze saranno tre:

- Forza di taglio F_z
- Forza di avanzamento F_x
- Forza di repulsione F_y = è quella che l'utensile deve vincere per rimanere a contatto con il pezzo in lavorazione. È diretta come la direzione dell'asse dello stelo. Le forze di repulsione risultano essere generalmente basse e quindi possono essere trascurate; devono invece necessariamente essere considerate quando si presenta il problema di chattering: rischio di saltellamenti e deflessione del pezzo. Tale problema implica una traccia non regolare sul pezzo.

La somma tra la forza di avanzamento e quella di repulsione prende il nome thrust force. A parità di profondità di passaggio e di avanzamento e a parità di tagliente si ha una forza più piccola. Se si è in fase di sgrossatura sarà più utile andare a lavorare con un'utensile avente angolo di 45 (b) gradi perché si ha una forza per unità di lunghezza minore. Nella finitura si preferirà invece lavorare con il primo caso (a) così da avere rugosità migliore. È importante sottolineare che ciò che varia nei due casi sopra disegnati non è la forza ma la forza per unità di lunghezza del tagliente ecco perché nella sgrossatura è preferibile lavorare con un angolo di 45 gradi.



Forza di taglio

Analizzando microscopicamente il truciolo indeformato si può osservare che la sua altezza sarà pari all'altezza del parallelogramma. Analizzando la stessa immagine si definisce l la lunghezza del tagliente in presa cioè la quota parte del tagliente che sta effettivamente lavorando. Definendo questa nuova lunghezza si può scrivere l'area del parallelogramma come:

$$A_D = lh_D = a_p f$$

$$h_D = f \sin \chi$$

$$k_c = \frac{k_{cs}}{h_D^x}$$

Determiniamo ora la forza di taglio sapendo che per definizione essa è uguale a una pressione fratto una superficie:

$$F_c = k_c A_D = \frac{k_{cs}}{h_D^x} A_D = \frac{k_{cs}}{h_D^x} a_p f = \frac{k_{cs}}{(f \sin \chi)^x} a_p f = \frac{k_{cs}}{\sin^x \chi} a_p f^{1-x}$$

Se l'angolo di registrazione è retto al denominatore si avrà 1, se invece è minore di 90° si avrà un valore inferiore del denominatore e un aumento della forza. Avere angoli minore di 90° va ad aumentare la forza necessaria alla lavorazione. Generalmente sui cataloghi non si trova però il k_{cs} , ma il $k_{c0,4}$. Questa grandezza indica il valore di k_c per determinate situazioni di taglio e noto questo valore si ricava il valore del k_{cs} come:

$$k_{cs} = k_{c0,4} 0,4^x$$

Potenza in tornitura

Per scegliere la macchina occorre stimare la potenza necessaria alla lavorazione, diversa dalla potenza necessaria alla macchina, che è calcolabile come:

$$P_c = F_c v_c + F_f v_f + F_p v_p$$

Dal momento però che $v_p \cong 0$ e $v_f \ll v_c$ e quindi $F_f \ll F_c$ si possono trascurare i contributi della forza di repulsione e quella di avanzamento quindi la potenza in tornitura può essere riscritta come:

$$P_c = F_c v_c$$

Ma dal può anche essere riscritta nella seguente forma:

$$F_c = k_c A_D = k_c a_p f$$

$$Q = a_p f v_c$$

$$P_c = F_c v_c = k_c a_p f v_c = k_c Q$$

Per determinare la potenza necessaria alla macchina per compiere tale lavorazione occorre definire il rendimento questo perché la potenza prodotta dalla macchina verrà in parte dissipata e dunque la potenza della macchina risulterà maggiore di quella della lavorazione così da tener presente questo aspetto:

$$P_{macch} = \frac{P_c}{\eta}$$

Se la potenza necessaria alla macchina non è sufficiente occorre variare una serie di parametri, è possibile, ad esempio o ridurre la velocità o ridurre la forza riducendo il k_c (difficile perché è un parametro legato al materiale da lavorare) o agendo su A_D .

Verifiche in tornitura

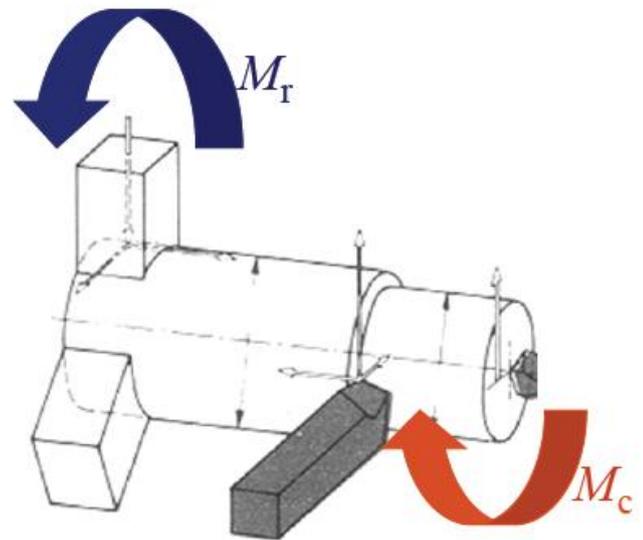
Affinché una lavorazione di tornitura sia realizzabile è necessario verificare che:

- La profondità di passata considerata sia compatibile con l'utensile selezionato
- L'avanzamento selezionato sia ammissibile per il tornio
- La velocità di taglio e quindi il numero di giri selezionato sia compatibile con le caratteristiche del tornio
- La potenza necessaria alla lavorazione sia effettivamente erogabile dal tornio considerato
- I parametri di taglio siano compatibili con la finitura superficiale richiesta
- L'attrezzatura selezionata sia in grado di afferrare saldamente il pezzo in lavorazione
- Verifica dell'autocentrante = il momento di taglio M_c , cioè il momento applicato dall'utensile, sia inferiore al momento resistente M_r , cioè quello applicato dagli afferraggi:

$$M_c = \frac{F_c D}{2} < M_r = \frac{z \mu p A D^*}{2}$$

Dove:

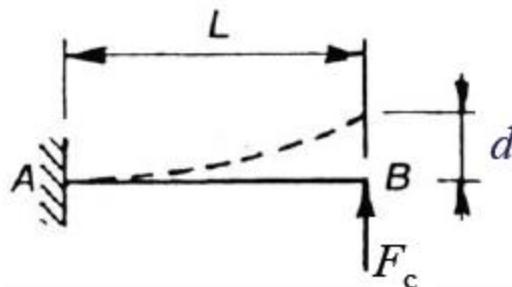
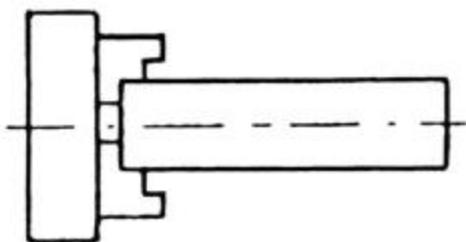
- F_c forza di taglio
- D diametro del pezzo in corrispondenza dell'utensile
- z numero di griffe dell'autocentrante
- μ coefficiente di attrito statico
- p pressione di contatto griffa-pezzo
- A area di contatto griffa-pezzo
- D^* diametro del pezzo in corrispondenza delle griffe



Se i dispositivi dell'autocentrante sono di tipo meccanico, la pressione di contatto p varia con la velocità di rotazione n , se n aumenta, p diminuisce. Attenzione alla pressione di contatto in quanto potrebbe indentare il pezzo.

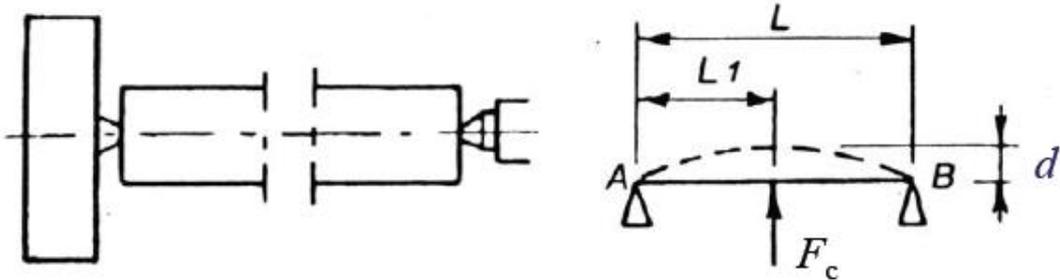
- Rugosità
- Inflessione del pezzo = Se il rapporto lunghezza/diametro è elevato il pezzo può inflettersi a causa della forza di taglio. Occorre scegliere correttamente il sistema di bloccaggio in modo tale da evitare inflessioni del pezzo durante la lavorazione:
 - a. A sbalzo = il pezzo montato a sbalzo si può modellare come una trave vincolata da incastro. L'inflessione è massima quando la forza è applicata all'estremità libera e si calcola come:

$$d = \frac{1 F_c L^3}{3 E J}$$



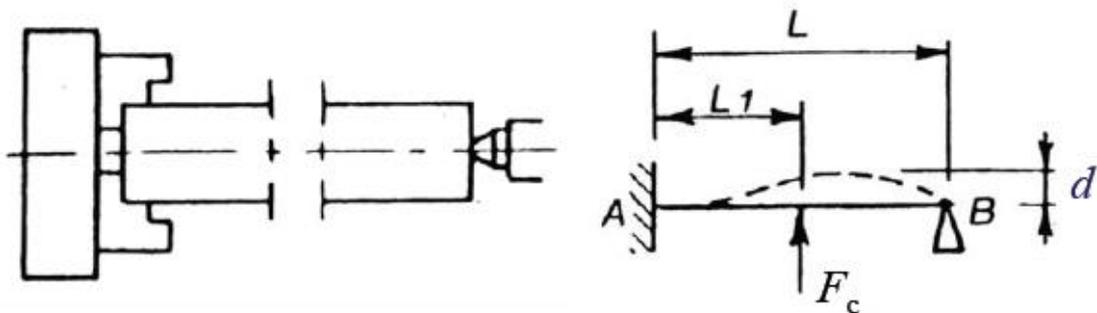
- b. Tra le punte = il pezzo montato tra punta e contropunta si può modellare come una trave vincolata da cerniere. L'inflessione è massima quando la forza è applicata alla metà della trave ed è calcolabile come:

$$d = \frac{1}{48} \frac{F_c L^3}{EJ}$$



- c. Tra Autocentrante e contropunta = il pezzo montato su autocentrante e contropunta si può modellare come una trave vincolata da incastro e cerniera. L'inflessione è massima quando la forza è applicata a circa 0,6 della lunghezza della trave ed è calcolabile come:

$$d \approx \frac{1}{107} \frac{F_c L^3}{EJ}$$



Rugosità superficiale

La rugosità di una superficie può essere verificata mediante l'ausilio di un rugosimetro che darà in output un profilo che lega y a x . Si introducono due parametri:

- Rugosità massima, R_{max} o R_t : distanza tra massimo e minimo (distanza tra cresta e valle) nel tratto di osservazione L
- Rugosità media R_a : $R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$

È possibile distinguere due macro casi che dipendono dal raggio di punta dell'utensile; in ambo le situazioni sarà presente rugosità; non verrà dunque asportato tutto il materiale desiderato sulla superficie del pezzo da lavorare a causa della combinazione tra il moto di avanzamento e quello di rotazione. Distinguiamo ora questi due casi:

1. Se $r_\epsilon = 0$: il profilo generato sul pezzo è causato da un utensile con raggio di punta zero.

$$f = \overline{AO} + \overline{OB}$$

$$\overline{AO} = \overline{AC} \cos \chi'$$

$$\overline{OC} = \overline{AC} \sin \chi'$$

$$\frac{\overline{AO}}{\overline{OC}} = \frac{\overline{AC} \cos \chi'}{\overline{AC} \sin \chi'} = \cot \chi' \rightarrow \overline{AO} = \overline{OC} \cot \chi'$$

$$\overline{OB} = \overline{BC} \cos \chi$$

$$\overline{OC} = \overline{BC} \sin \chi$$

$$\frac{\overline{OB}}{\overline{OC}} = \frac{\overline{BC} \cos \chi}{\overline{BC} \sin \chi} = \cot \chi \rightarrow \overline{OB} = \overline{OC} \cot \chi$$

$$f = \overline{AO} + \overline{OB} = \overline{OC} \cot \chi' + \overline{OC} \cot \chi = \overline{OC} (\cot \chi' + \cot \chi)$$

$$\overline{OC} = \frac{f}{\cot \chi' + \cot \chi} = R_t$$

2. Se $r_\epsilon \neq 0$: il profilo generato sul pezzo non è causato da un utensile con raggio di punta zero

$$\overline{AO} = r_\epsilon$$

$$\overline{HO} = \sqrt{r_\epsilon^2 - \frac{f^2}{4}}$$

$$R_t = \overline{AO} + \overline{HO} = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \frac{f^2}{4}}$$

Tramite la formula approssimata di Schmltz si può scrivere che:

$$R_t = \overline{AO} + \overline{HO} = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \frac{f^2}{4} + \frac{f^2}{8r_\epsilon}} = r_\epsilon - \left(r_\epsilon - \frac{f^2}{8r_\epsilon} \right)$$

