



## Classificazione delle lavorazioni per asportazione di truciolo

### *Classificazione secondo i movimenti*

#### Moto di taglio

- rettilineo
- alternativo
- rotatorio

#### Moto di avanzamento

- continuo
- intermittente

#### Moto di registrazione

- per posizionare  
l'utensile in prossimità  
della zona di lavoro

} all'utensile  
o al pezzo



***Classificazione secondo il contatto utensile pezzo***

---

Continuo

Monotaglienti

- tornitura
- limatura
- piallatura
- stozzatura

Bitaglienti

- foratura

Pluritaglienti

- brocciatura
- 

Discontinuo

Pluritaglienti

- fresatura

Taglienti indefiniti

- rettifica



## ***Classificazione secondo il moto di taglio***

### ***Rotatorio***

Torni	(pezzo)
Trapani	(utensile)
Alesatrici	(utensile)
Fresatrici	(utensile)
Rettificatrici	(utensile)

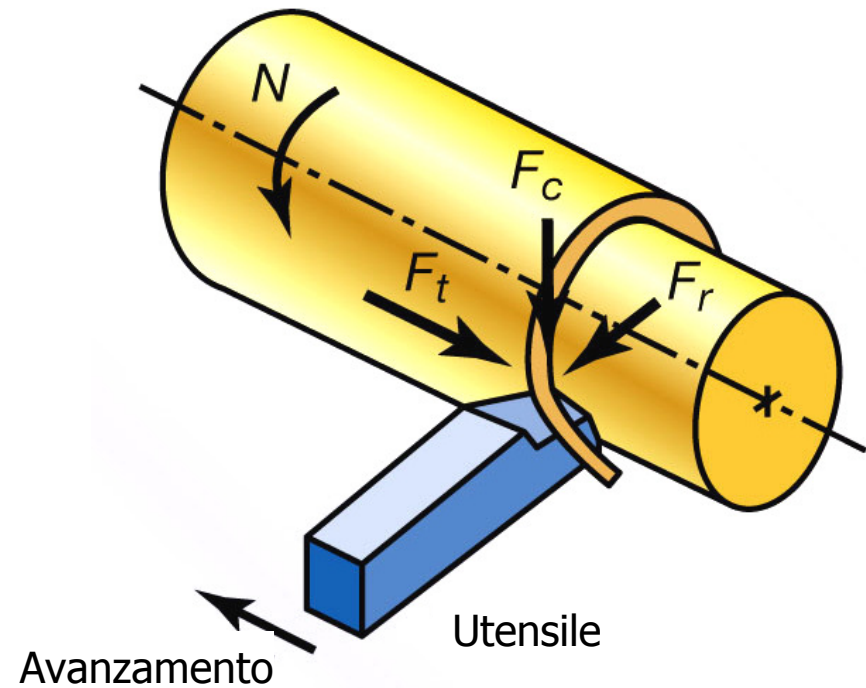
### ***Rettilineo***

Limatrici	(utensile)
Piallatrici	(utensile)
Stozzatrici	(utensile)
Brocciatrici	(utensile)

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

## Tornitura

Moto di taglio	pezzo	rotatorio
Moto di avanzamento	utensile	lineare rettilineo o meno
Moto di registrazione	utensile	lineare discontinuo
Moto di lavoro		elicoidale (tornitura longitudinale)

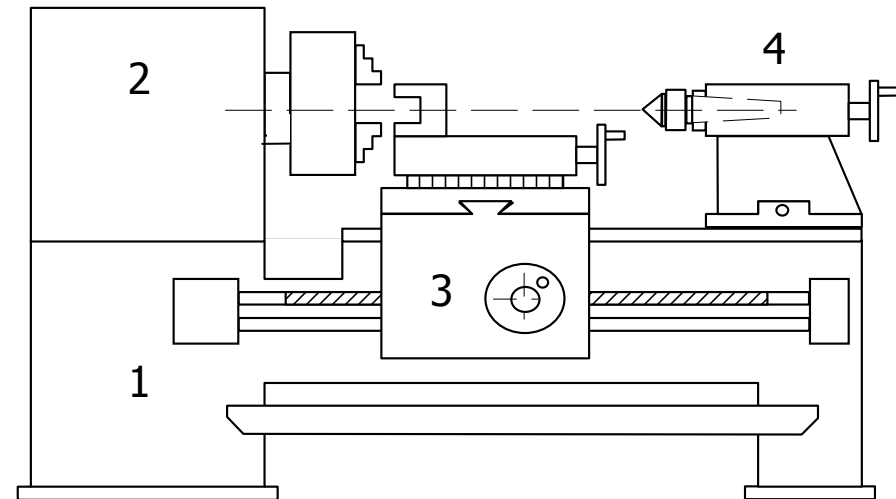




## Struttura tornio I

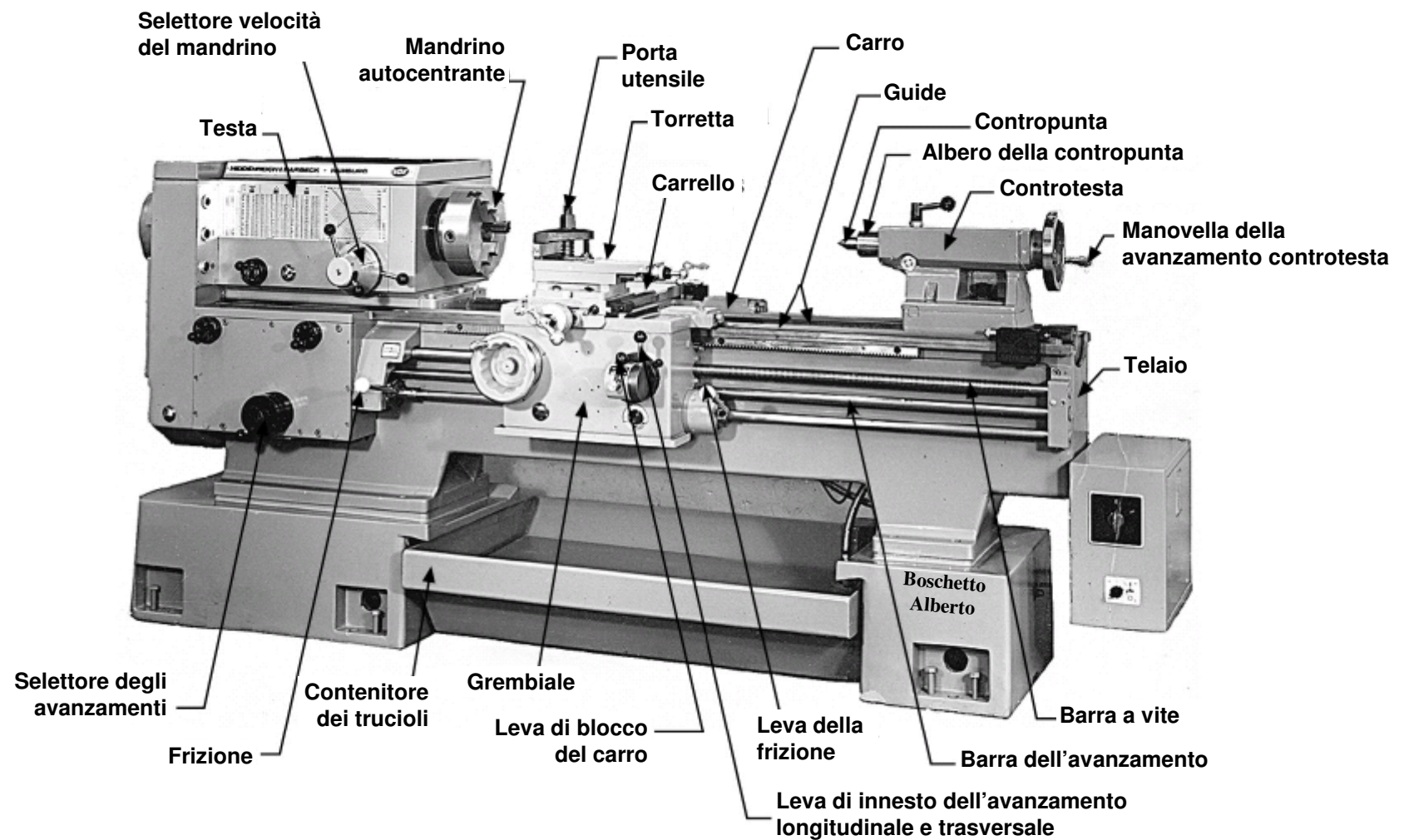
### ***Elementi caratteristici del tornio:***

1. bancale (guide)
2. testa (mandrino)
3. carro porta-utensile (torretta)
4. controtesta

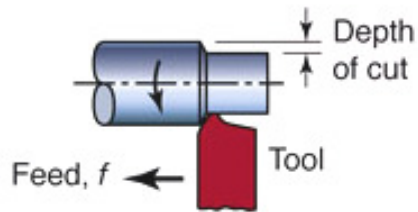




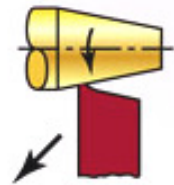
## Struttura tornio II



Lavorazioni possibili



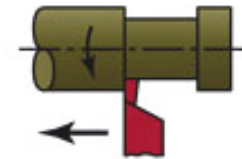
(a) Straight turning



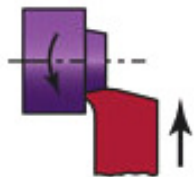
(b) Taper turning



(c) Profiling



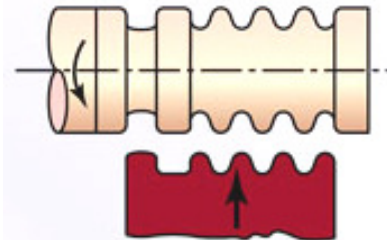
(d) Turning and external grooving



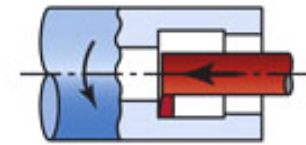
(e) Facing



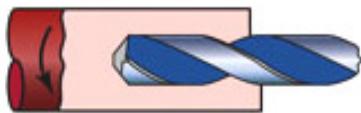
(f) Face grooving



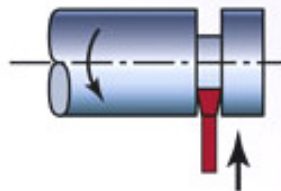
(g) Cutting with a form tool



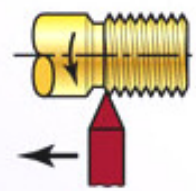
(h) Boring and internal grooving



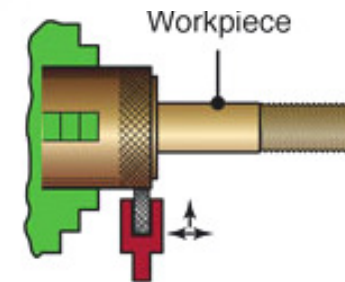
(i) Drilling



(j) Cutting off



(k) Threading

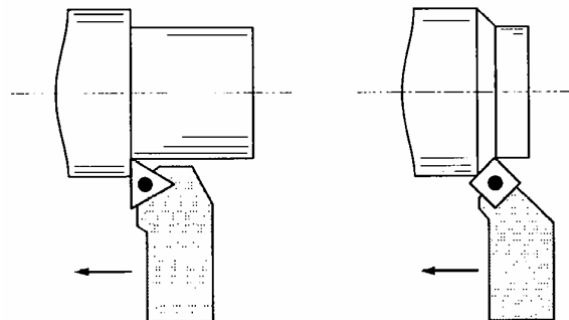


(l) Knurling

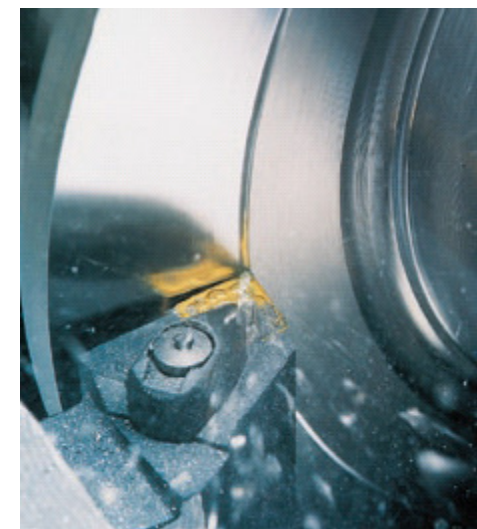
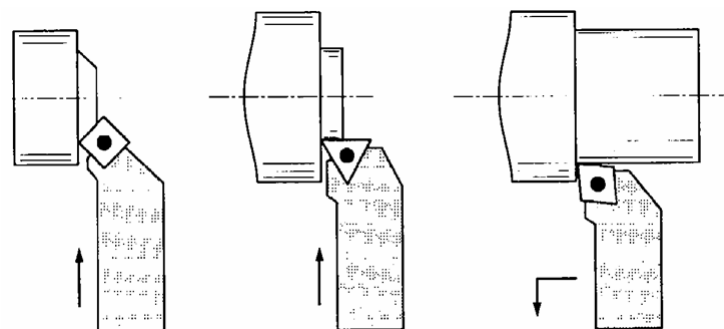




tornitura cilindrica  
esterna



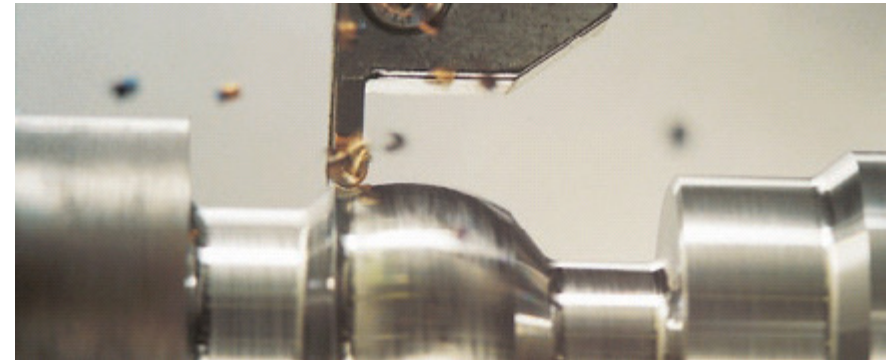
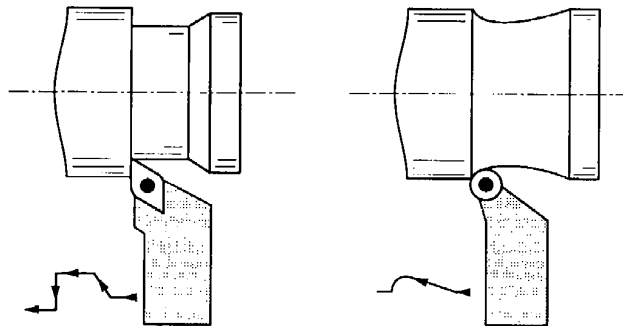
tornitura piana esterna  
sfacciatatura



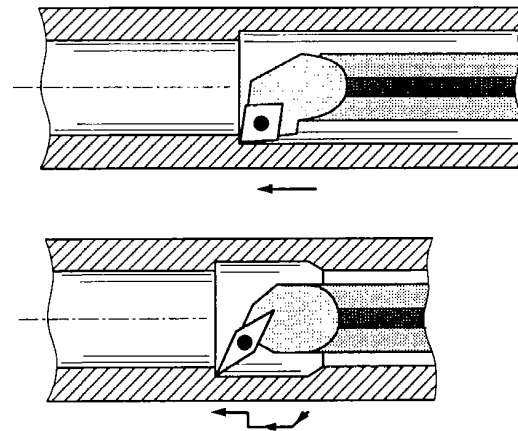




tornitura  
esterna di  
superfici  
complesse

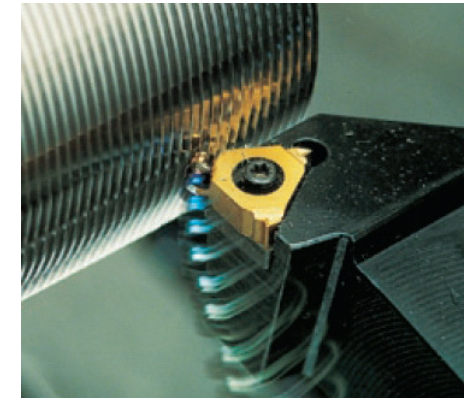
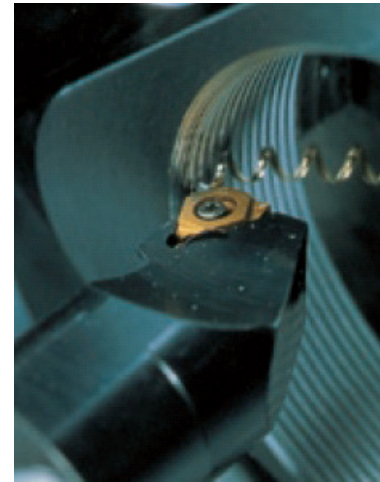
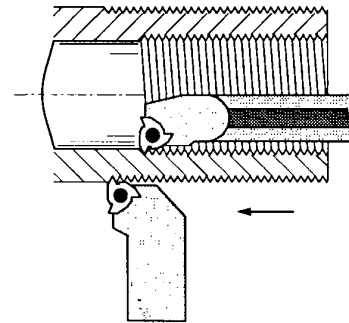


tornitura  
interna

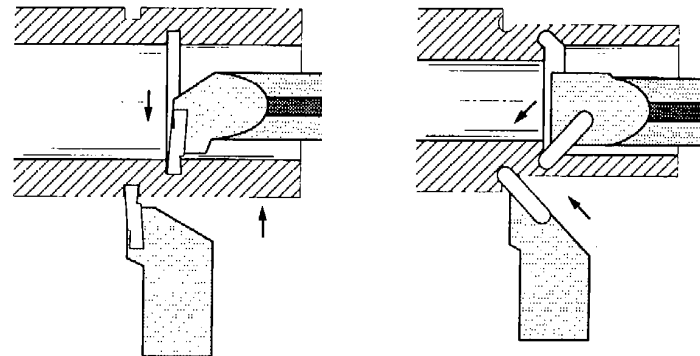




filettatura interna  
esterna

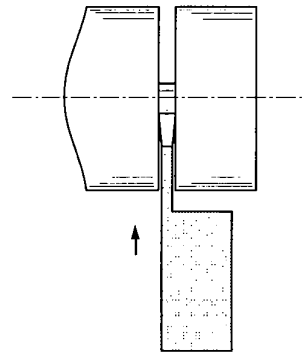


esecuzione di gole

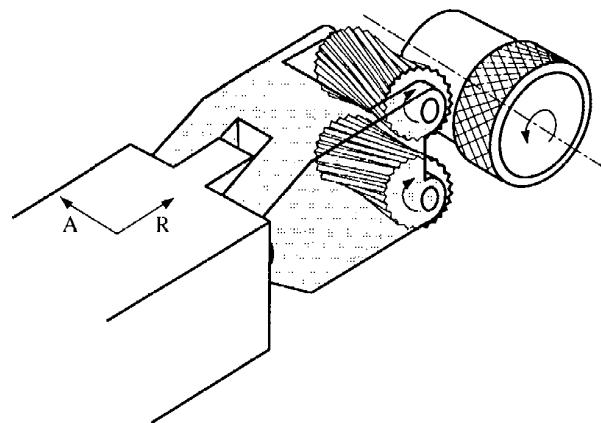




troncatura

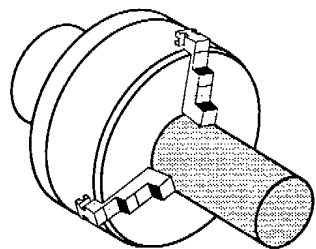


zigrinatura

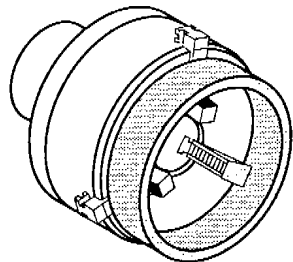




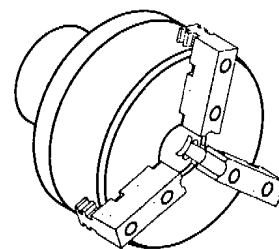
Attrezzature per torni



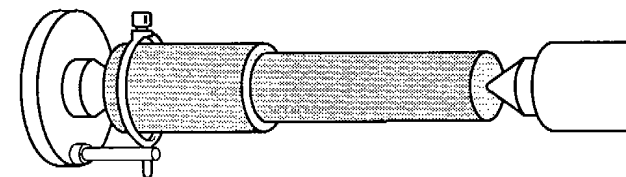
con autocentrante dall'esterno



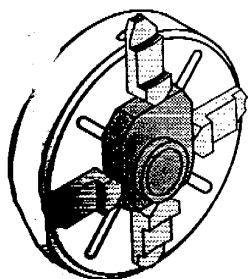
con autocentrante dall'interno



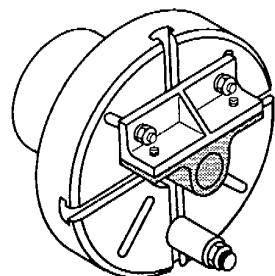
con autocentrante con griffe tornibili



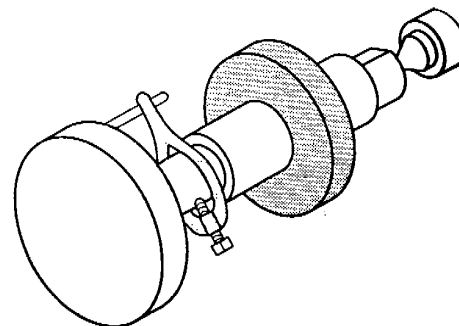
tra punta e contropunta con brida e disco menabrida



con piattaforma a griffe indipendenti



con piattaforma e squadra

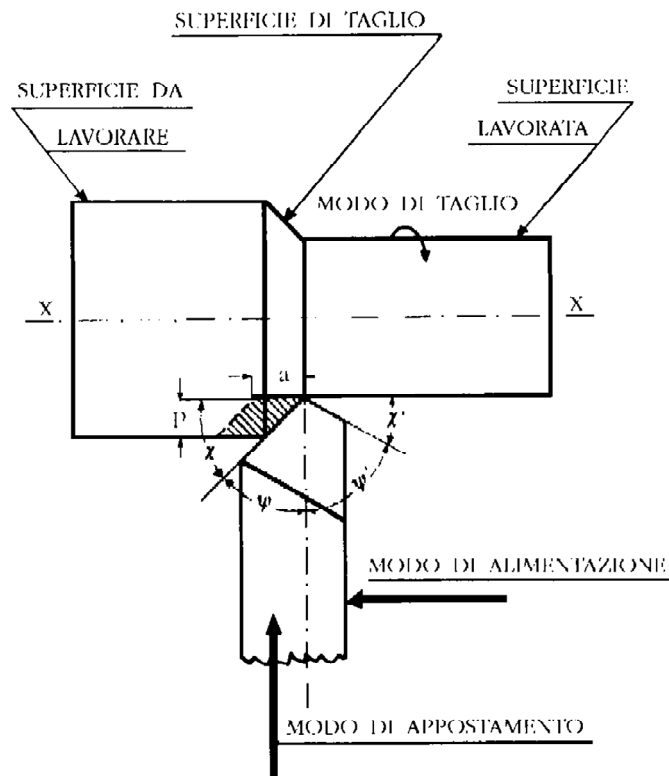


su spina, tra punta e contropunta

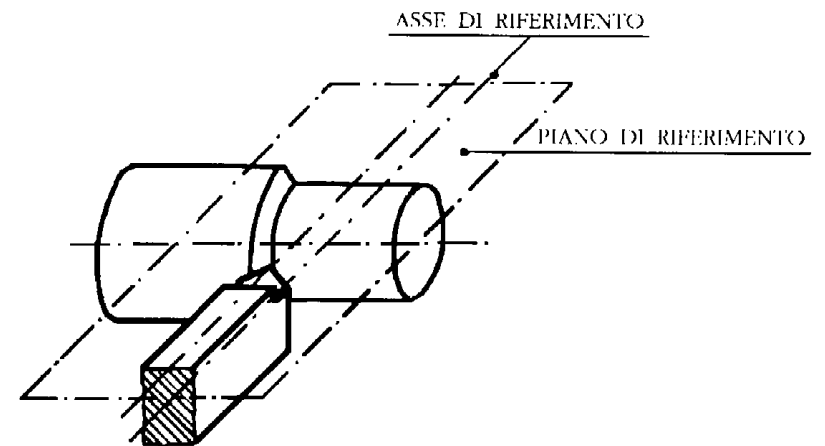


con trascinatore frontale, fra le punte

posizionamento relativo  
utensile / pezzo



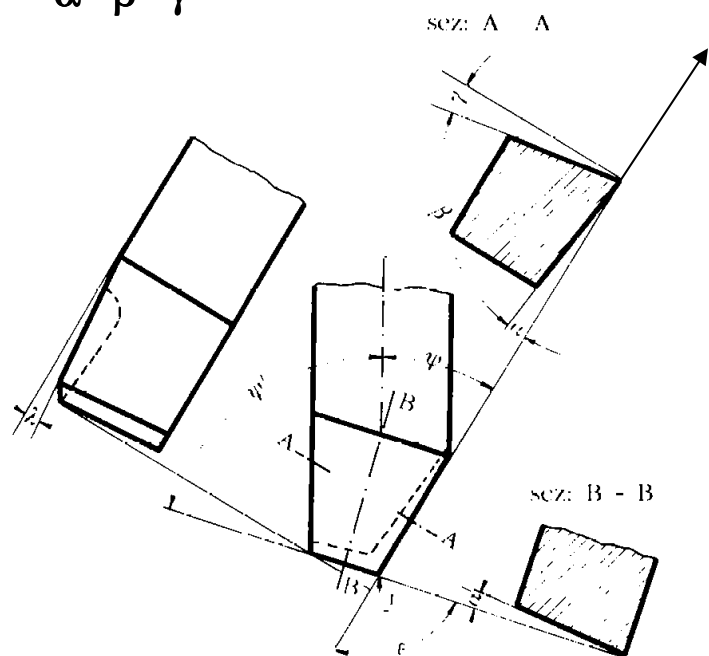
sistema di riferimento



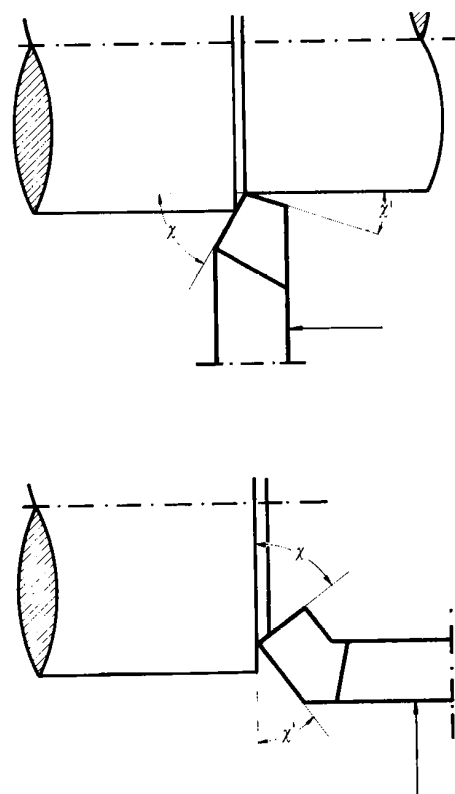


forma dell'utensile

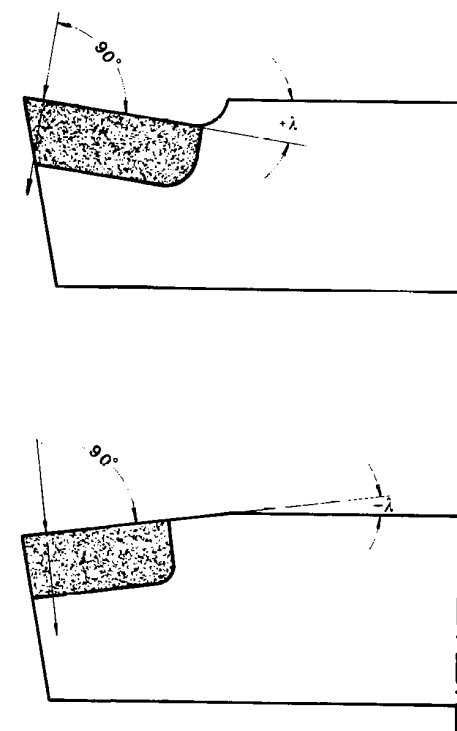
angoli della sezione normale  
angoli del profilo  
 $\alpha$   $\beta$   $\gamma$



angoli di registrazione  $\chi$



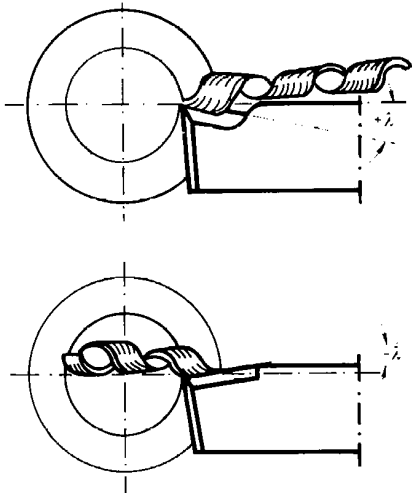
angolo di inclinazione  $\lambda$



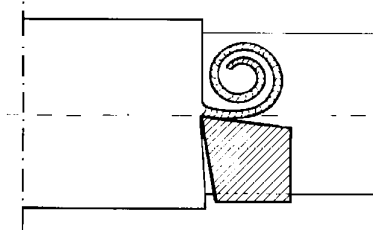


### Effetto di $\chi$ e $\lambda$ sulla formazione del truciolo

$$\chi = 0, \lambda > 0$$

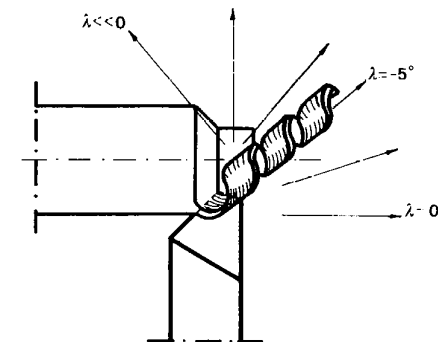
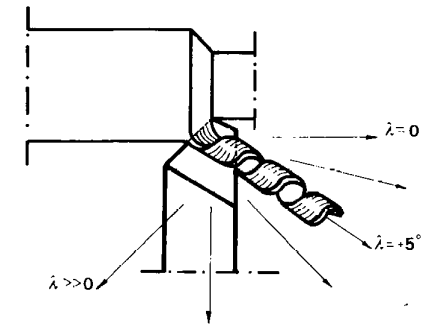


$$\chi = 0, \lambda < 0$$



$$\chi = 0, \lambda = 0$$

$$\chi = 45, \lambda > 0$$

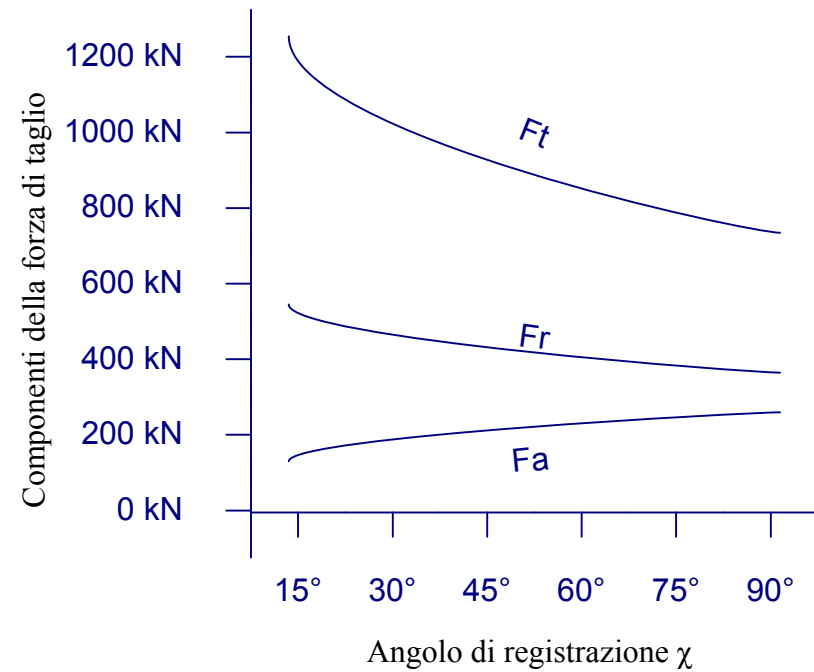
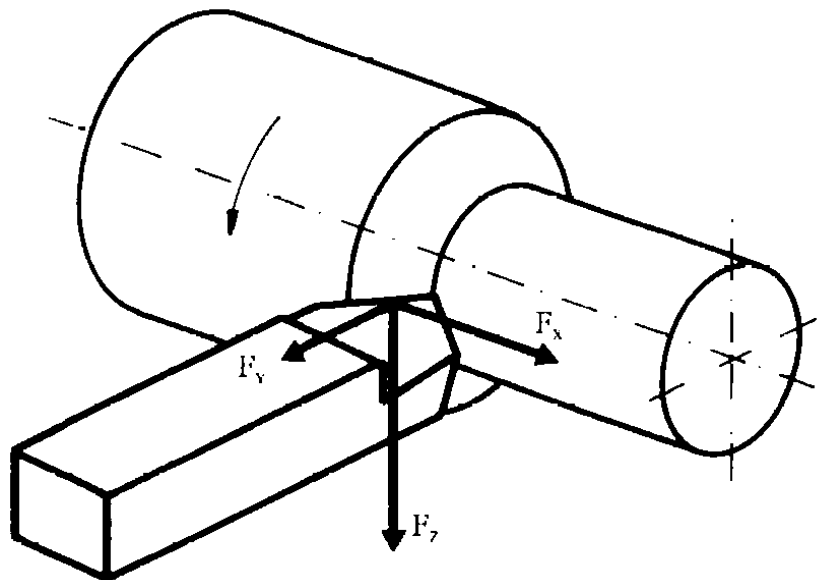


$$\chi = 45, \lambda < 0$$





### FORZE DI TAGLIO



$$\begin{aligned} F_t : & \quad F_r \quad : \quad F_f \\ 1 : & \quad 1/2 - 1/4 \quad : \quad 1/4 - 1/8 \end{aligned}$$

## Individuazione della sezione del truciolo

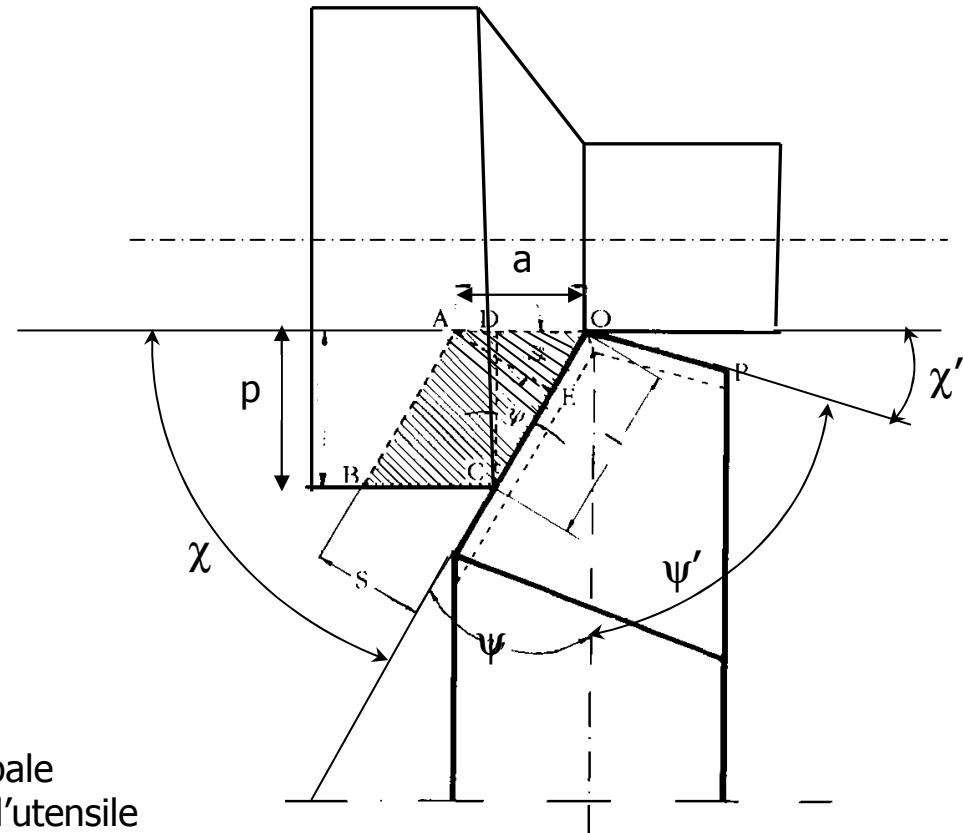
$$A = h \times b$$

$$h = a \times \sin \chi$$

$$b = p / \sin \chi$$

$$A = a \times p$$

- A = sezione del truciolo
- h = spessore del truciolo
- b = larghezza del truciolo
- a = avanzamento per giro
- p = profondità di passata
- $\chi$  = angolo di registrazione del tagliente principale
- $\psi + \psi' =$  angolo dell'utensile  $\rightarrow$  robustezza dell'utensile





## Forza di taglio e potenza di lavorazione

$$F_t = K_s A = K_s a p = K_{s0} h^{-z} a p$$

$$P = \sum F_i V_i = F_t V_t + F_a V_a + F_r V_r$$

$$V_t = r \omega = r 2 \pi n / 60 / 1000 = \pi d n / 60 / 1000$$

$$V_a = a n / 60 / 1000$$

$$V_r = 0$$

$K_s$  = pressione di taglio

$K_{s0}$  = pressione specifica di taglio

$\omega$  [rad / s]

$n$  [giri / minuto]

$r$  [mm]

$a$  [mm / giro]

$V_t, V_a, V_r$  [m / s]

60 s / min ; 1000 mm / m



$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= F_t \pi d n / 60 / 1000 + F_a a n / 60 / 1000 = \\ &= n F_t (\pi d + \alpha a) / 60 / 1000 \end{aligned}$$

essendo  $F_a = \alpha F_t$

con

$$\alpha \in [ 1/4 - 1/5 ]$$

$$\pi \approx 3$$

$d >$  alcuni mm

$a <$  1 mm

e quindi, essendo  $\pi > \alpha$  e  $d > a$

si ha che  $\pi d \gg \alpha a$

e quindi si può trascurare la  $P_a$

in conclusione

$$\mathbf{P} = F_t V_t = F_t p d n = K_s a p \pi d n / 60 / 1000$$



## Tempo di lavorazione

$$t = L / V_a = L / a / n * 60 * 1000$$

$$V_a = a n / 60 / 1000$$

Per ridurre il tempo di lavorazione si può:

aumentare a  
aumentare n

aumenta la rugosità

$$V_t = \pi d n / 60 / 1000$$

aumenta la potenza richiesta

## Verifica dell'autocentrante

$z$  = numero di griffe

$d$  = diametro del pezzo in corrispondenza all'utensile

$d^*$  = diametro del pezzo in corrispondenza alla presa delle griffe

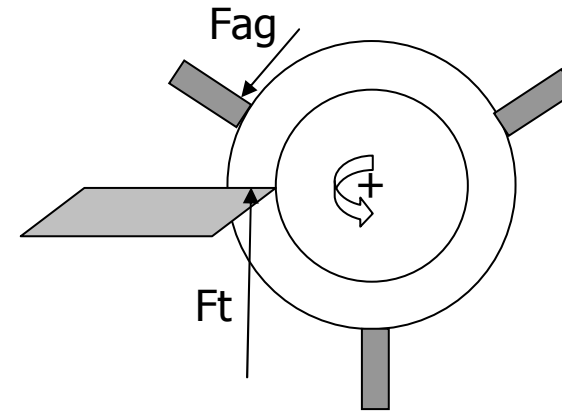
$P_c$  = pressione di contatto griffa / pezzo

$s$  = area di contatto griffa / pezzo

$\mu$  = coefficiente di attrito statico

$M_t$  = momento di taglio

$M_r$  = momento resistente



$$M_t = F_t d/2 = K_s a p d/2$$

$$M_r = F_{ag} d^*/2 = z P_c s \mu d^*/2$$

deve essere

$$M_r > M_t$$

cioè

$$z P_c s \mu d^*/2 > K_s a p d/2$$



## Rugosità nelle operazioni di tornitura

La rugosità teorica  
dipende da fattori geometrici

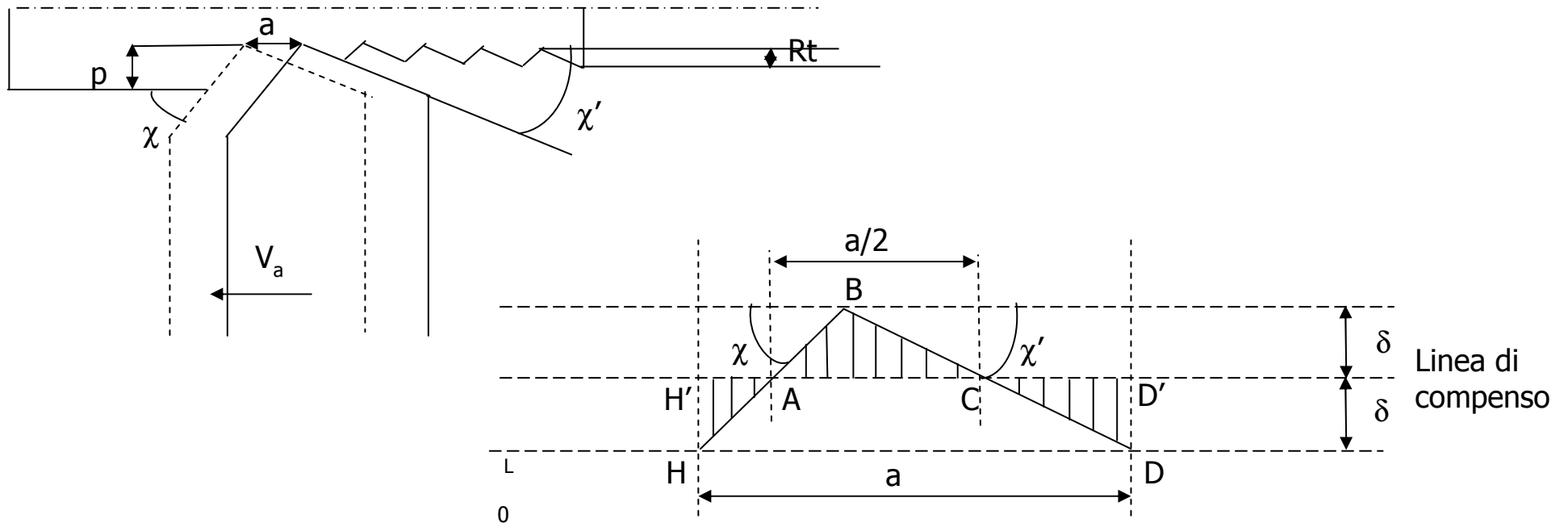
La rugosità reale  
dipende da:

- deformazioni plastiche
- vibrazioni
- dilatazioni termiche differenziali
- attrito
- struttura cristallina
- velocità di taglio  $(v_t \uparrow, Ra \downarrow)$
- angolo  $g$   $(g \uparrow, Ra \downarrow)$
- raggio di raccordo fra i taglienti  $(r \uparrow, Ra \downarrow)$
- profondità di passata  $(p \downarrow, Ra \downarrow)$
- avanzamento  $(f \downarrow, Ra \downarrow)$
- usura utensile



Rugosità teorica

I° caso: taglienti non raccordati



$$R_a = 1 / L \int |y| dx = 1 / a (AHH' + ABC + CDD') = 1 / a (2 \cdot a/2 \cdot \delta/2) = \delta/2$$

e

$$R_t = 4 R_a \text{ (valida per profili simmetrici e lineari)}$$

Determinare:  $\delta = \delta ( a, \chi_1, \chi_2 )$

$$a / 2 = a_1 + a_2$$

$$\delta = a_1 \tan \chi = a_2 \tan \chi'$$

$$\begin{cases} a_1 = \delta / \tan \chi \\ a_2 = \delta / \tan \chi' \end{cases}$$

$$a / 2 = \delta ( 1/\tan \chi + 1/\tan \chi' )$$

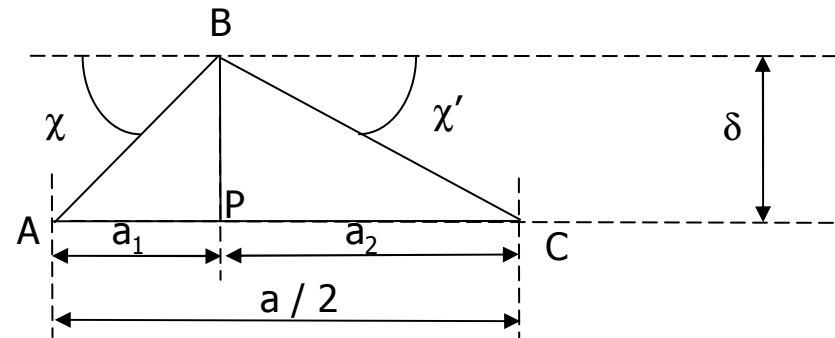
$$\delta = a/2 / ( 1/\tan \chi + 1/\tan \chi' )$$

$$R_a = \delta / 2 = a/4 / ( 1/\tan \chi + 1/\tan \chi' )$$



$\chi$   
 $\chi'$   
 $a$

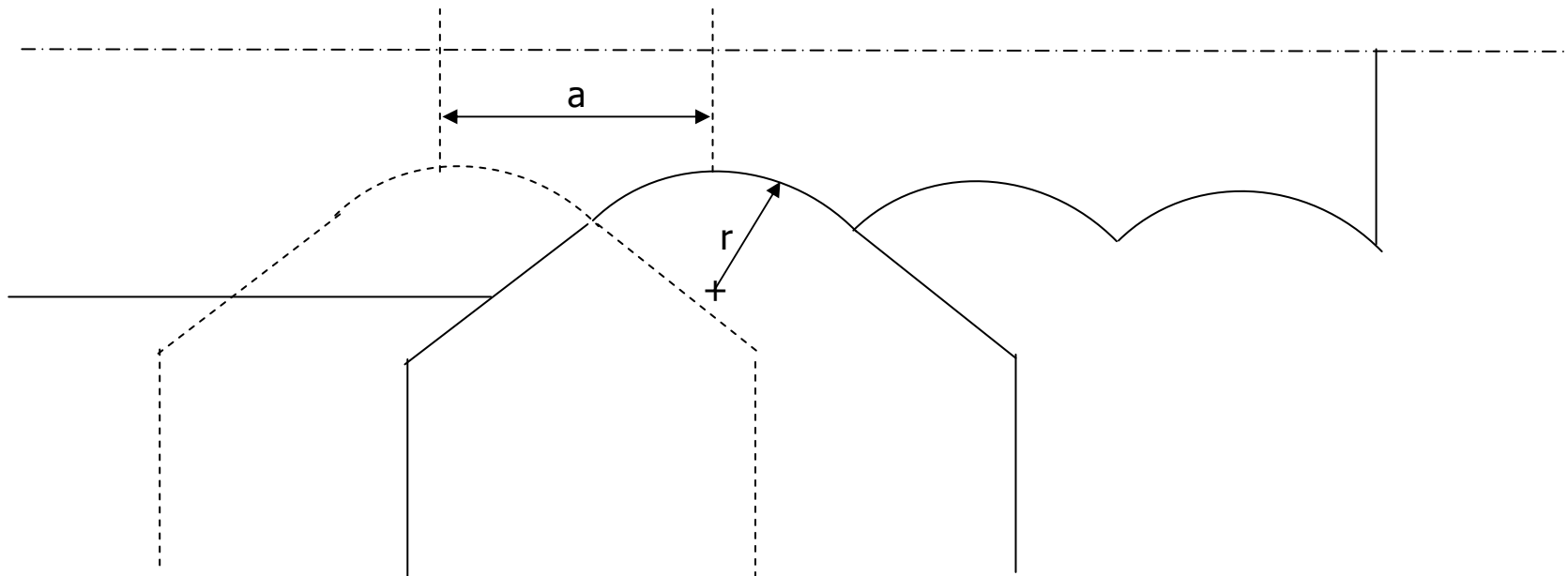
$R_a$  aumenta



( ruotare l'utensile vuol dire far variare in senso opposto  $\chi$  e  $\chi'$  e quindi le tangenti )



2° caso: taglienti raccordati:



Si dimostra.....

l'effetto dell'avanzamento è analogo (al quadrato)

l'effetto degli angoli di registrazione è sostituito dall'effetto del raggio di raccordo

Formula di Schmalz! ->  $R_a = 1000/32 a^2 / r$

(valida se lavora solo la parte raccordata)

$$\left\{ \begin{array}{l} a \quad [ \text{mm} ] \\ r \quad [ \text{mm} ] \\ R_a \quad [ \mu\text{m} ] \end{array} \right.$$



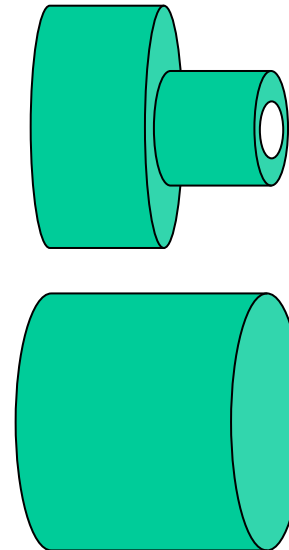
Sequenza delle operazioni  
e scelta dei parametri

grezzo → finito

grezzo da

-- fonderia

-- semilavorato da deformazione plastica





**Quanto deve essere asportato** : la differenza fra quota del grezzo e quota del finito

$H_{\text{tot}}$  è noto

In quante passate  $H_{\text{tot}} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$

?

Elementi di valutazione: tolleranze richieste  
finitura superficiale richiesta

tolleranze / finiture  
modeste → poche passate, grande profondità  
elevate → molte passate, le ultime con piccola profondità

sgrossatura → semifinitura → finitura



**Come deve essere asportato** :

- il più velocemente possibile
- il più economicamente possibile
- compatibilmente con i vincoli di
  - tolleranze
  - finiture
  - forze
  - potenze
  - .....

Il più velocemente possibile vuol dire

alla velocità di taglio ottima per il tempo con l'avanzamento più grande possibile

Il più economicamente possibile vuol dire

alla velocità di taglio ottima per il costo usurando gli utensili il meno possibile

?

Compatibilmente con i vincoli vuol dire

.....



Compatibilmente con i vincoli vuol dire che:

Parametri

le forze in gioco non devono essere troppo elevate per evitare che il pezzo si infletta troppo (scarse tolleranze) → piccoli  $p$  e  $a$

l'avanzamento deve essere adeguato per ottenere la rugosità richiesta → piccolo  $a$

La  $V_t$  deve essere piccola per non usurare troppo gli utensili

Utensili

l'utensile deve essere abbastanza robusto per non rompersi sotto l'azione delle forze di taglio → grande  $\beta$

deve essere fatto con un materiale 'povero' per non costare troppo

Macchine

la macchina deve essere abbastanza robusta per non deformarsi sotto l'azione delle forze di taglio

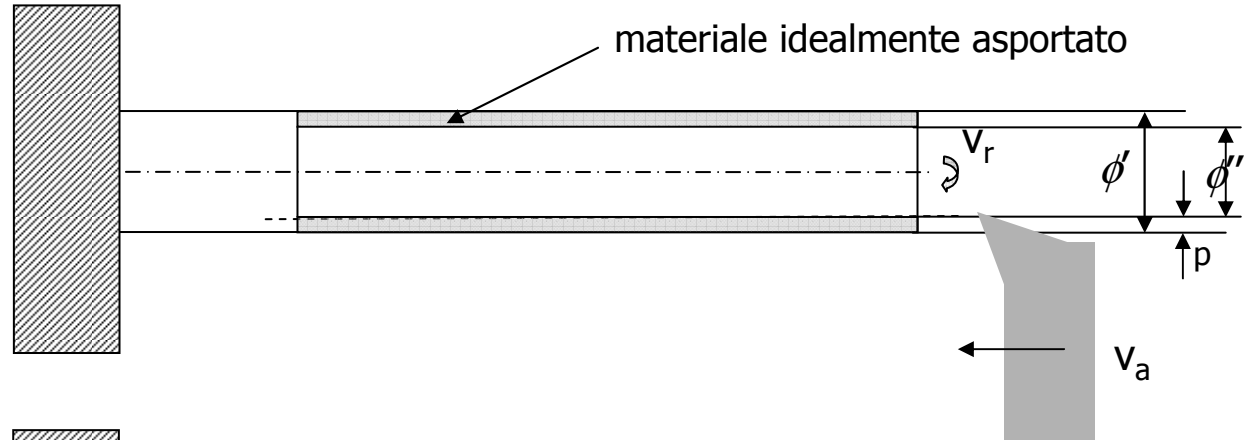
la macchina deve essere abbastanza potente per fornire adeguata  $V_t$  e  $F$



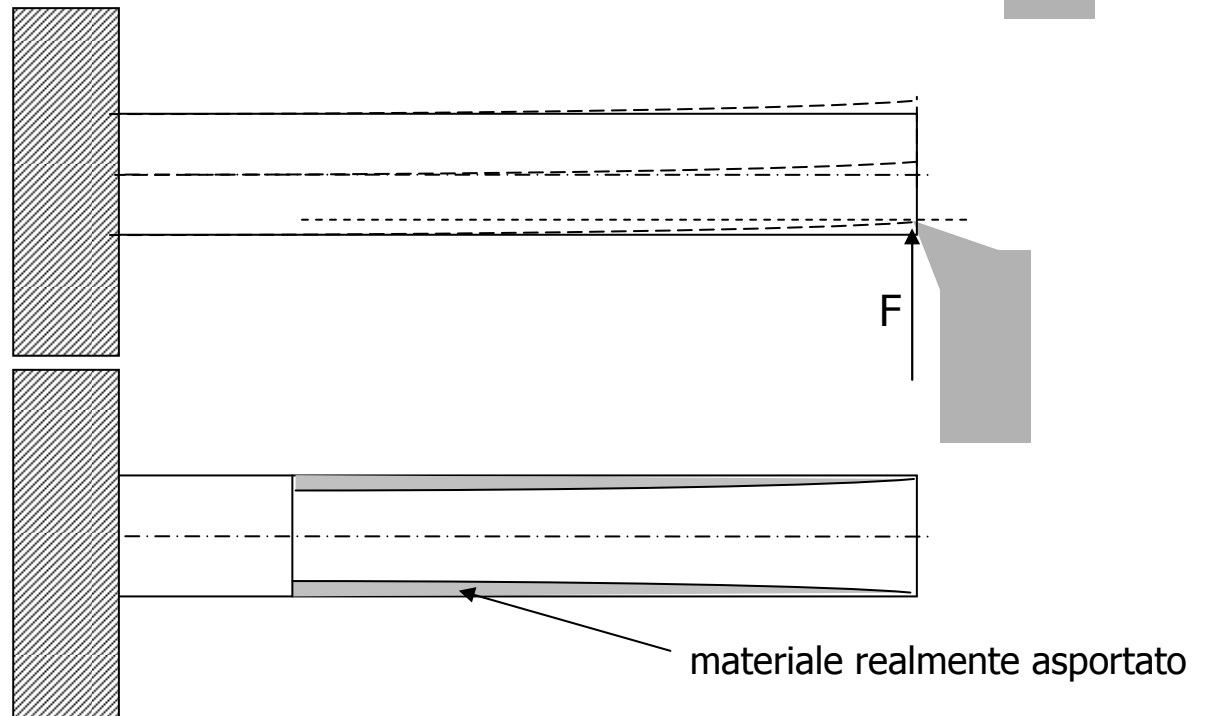


Tolleranze

Caso ideale: no forze  
no deformazioni  
rigidezza infinita

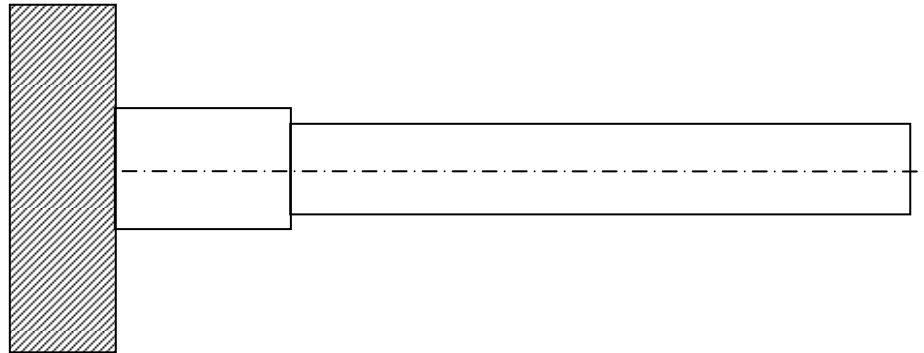


Caso reale: forze  
deformazioni  
elasticità

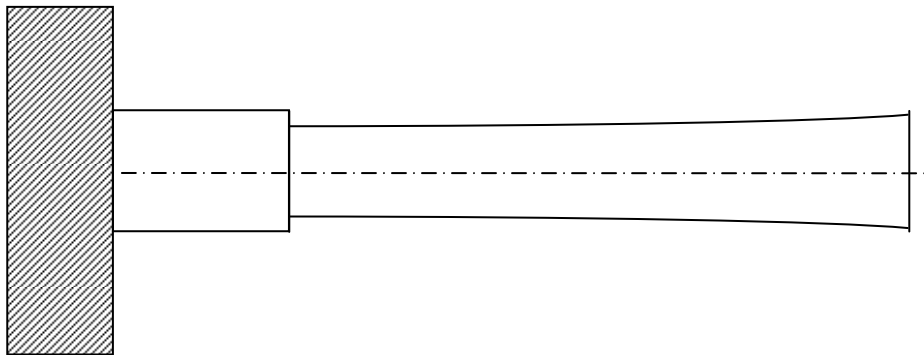




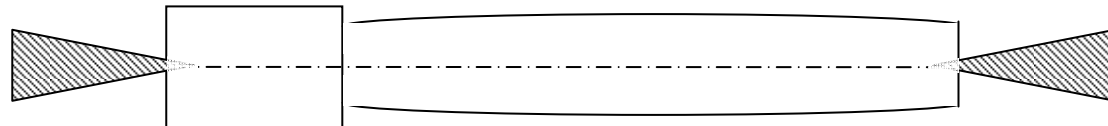
caso ideale



caso reale  
mandrino autocentrante



caso reale  
punta e contropunta





Soluzione: ridurre le forze → ridurre la sezione del truciolo → ridurre  $p$  e  $a$

Metodo del  $K_s$

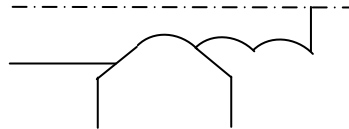
Riduzione di  $p$ : aumenta il numero di passate

Riduzione di  $a$ : aumenta il tempo della singola passata



Finiture

Relazione di Schmalzl



Aumentare raggio dell'utensile

aumenta ingombro dell'utensile

Diminuire l'avanzamento

aumenta il tempo della passata



Forze

Metodo del  $K_s$

sul pezzo

forze troppo grandi → basse tolleranze → vedi sopra

sull'utensile

forze troppo grandi → rischio rottura  
→ aumento (piccolo) usura

sulla macchina

forze troppo grandi → potenze elevate  
→ deformazioni  
→ danni e rischi vari



Potenze

$$P = F V_t = K_s A V_t = K_s a p V_t$$

Se la potenza disponibile è inferiore alla potenza richiesta è necessario: ridurre le forze (a o p)  
o  
ridurre la velocità

ridurre la potenza riducendo l'avanzamento porta a:

finiture superficiali migliori  
aumento dei tempi di lavorazione

ridurre la potenza riducendo la profondità di passata porta a:

tolleranze migliori  
aumento dei tempi di lavorazione

ridurre la potenza riducendo la velocità di taglio porta a:

minore usura utensili  
aumento dei tempi di lavorazione



Ottimizzazione non vincolata ad un parametro

esiste sicuramente almeno una soluzione

Ottimizzazione vincolata multi parametri

Ottimizzazione vincolata pochi parametri

potrebbero non esistere soluzioni

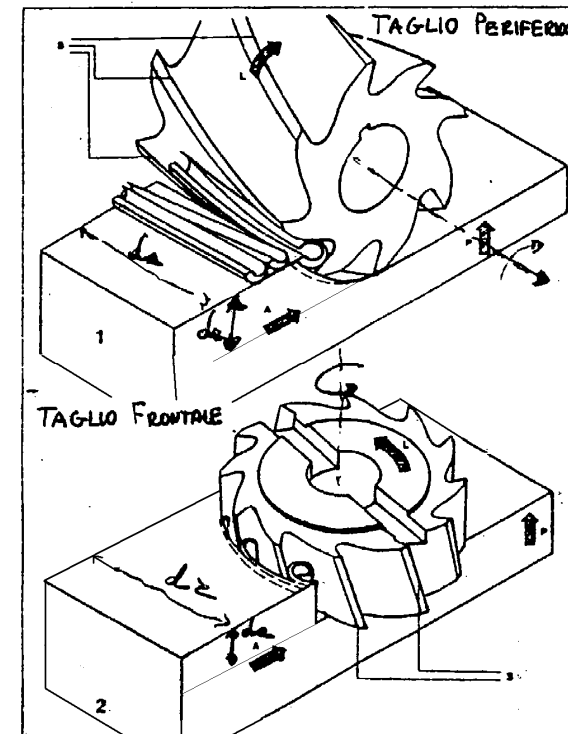
Ottimizzazione vincolata ad un parametro





# Fresatura

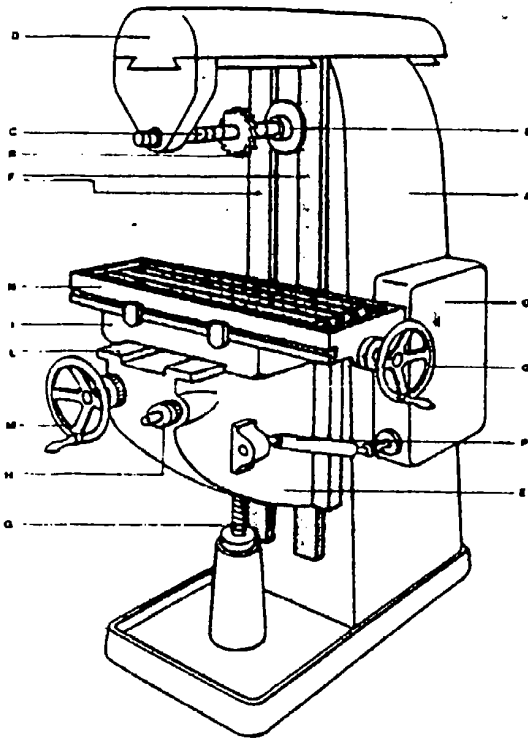
<u>Moto di taglio</u>	utensile	rotatorio
<u>Moto di avanzamento</u>	pezzo	lineare rettilineo o meno
<u>Moto di registrazione</u>	pezzo	lineare discontinuo
<u>Moto di lavoro</u>		cicloidale
<u>Periferica</u>	asse fresa	// superficie lavorata
<u>Frontale</u>	" "	∩ " "



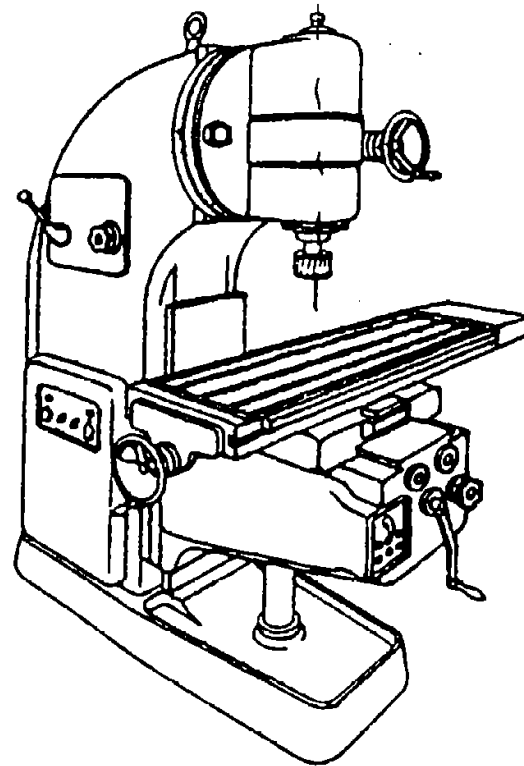


Struttura fresatrici

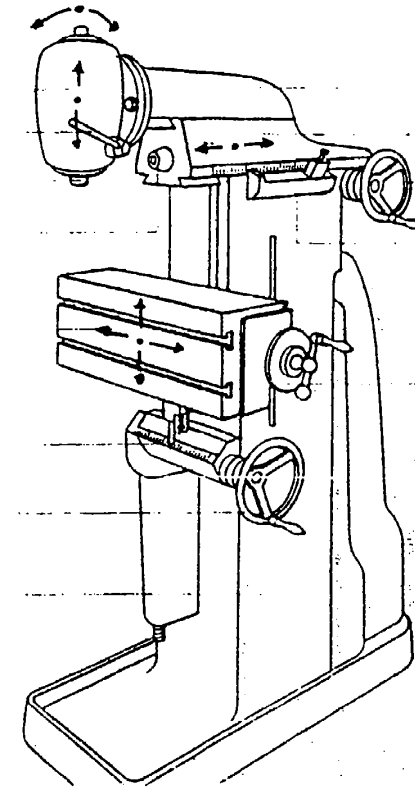
orizzontale



verticale



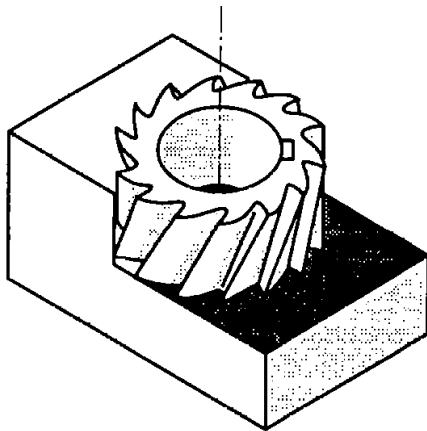
per attrezzisti



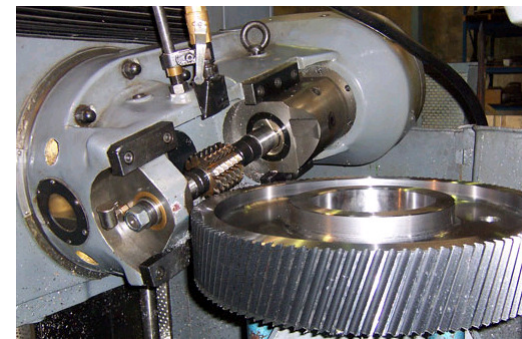
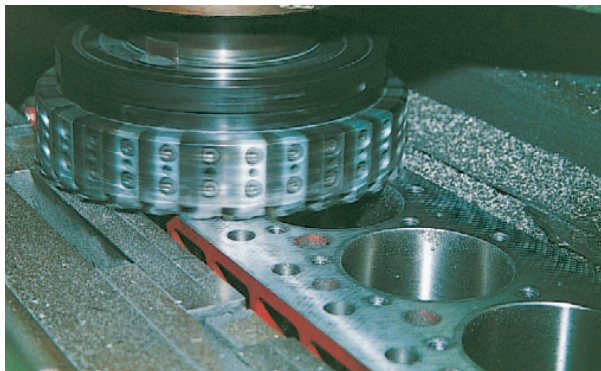
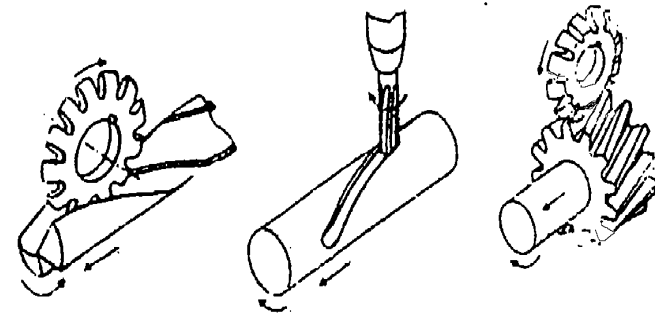


Lavorazioni possibili

spianatura

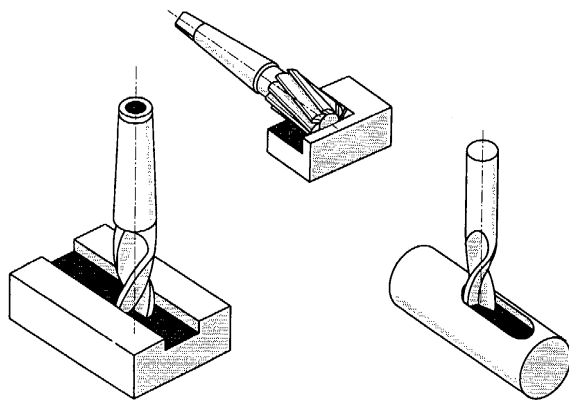


taglio ruote dentate

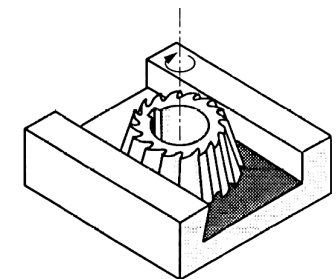
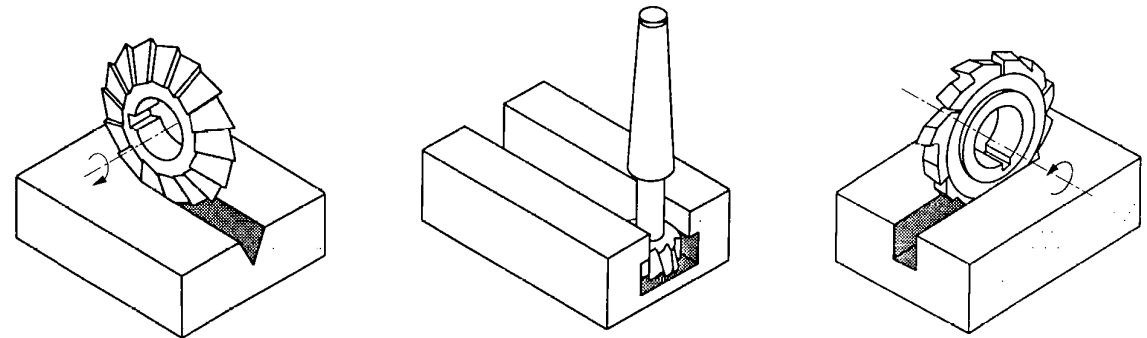




esecuzione scanalature



esecuzione cave

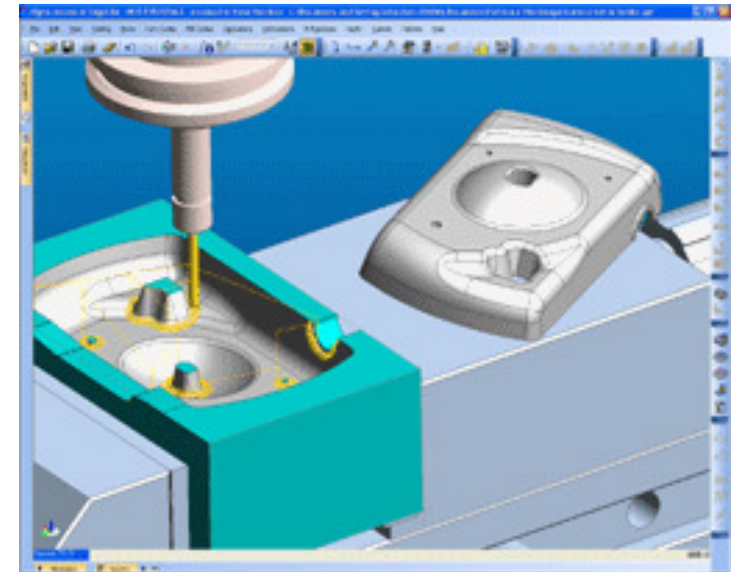




fresatura di superfici complesse

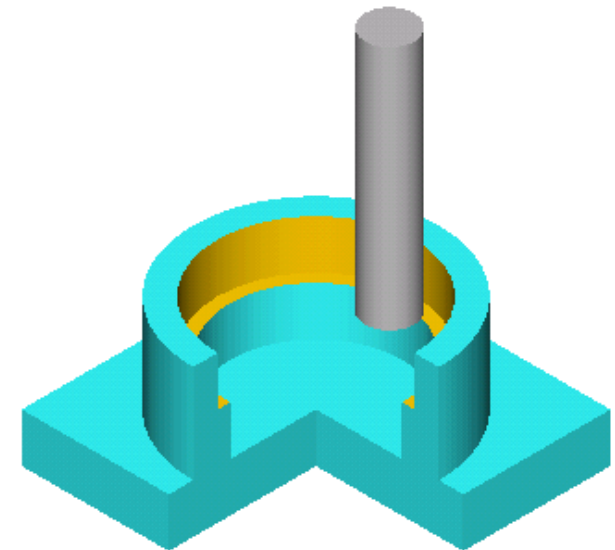


interna



contornatura

esterna





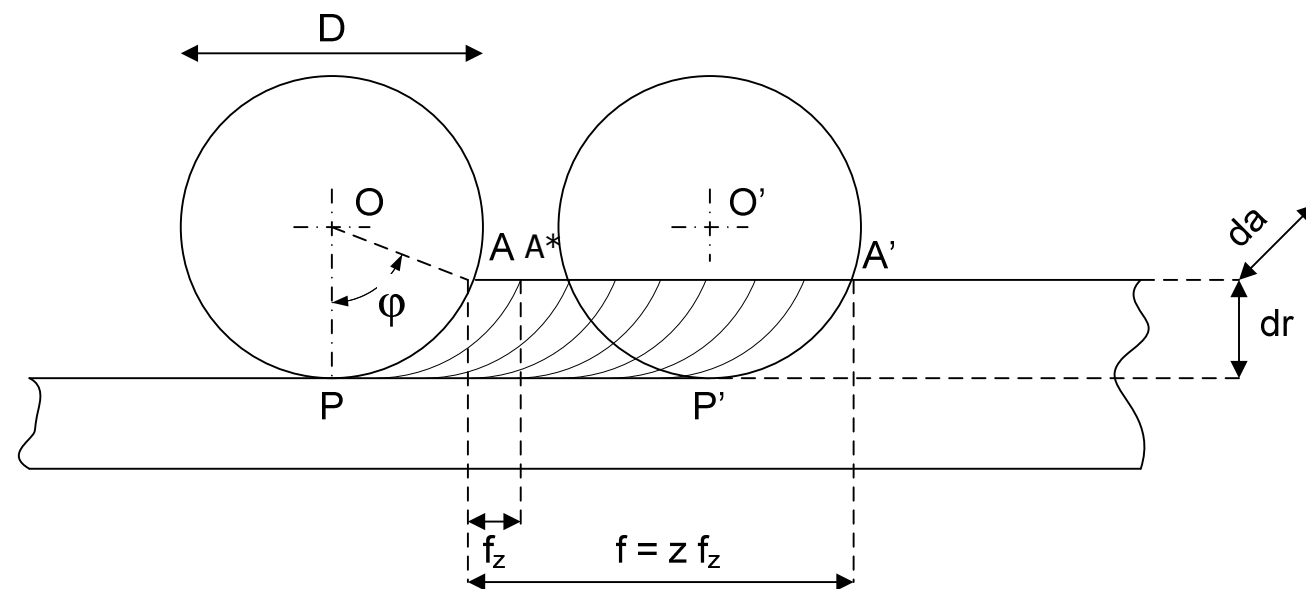


avanzamento della fresa:  $f$  [mm/giro]

Avanzamento per dente:  $f_z$  [mm/giro]

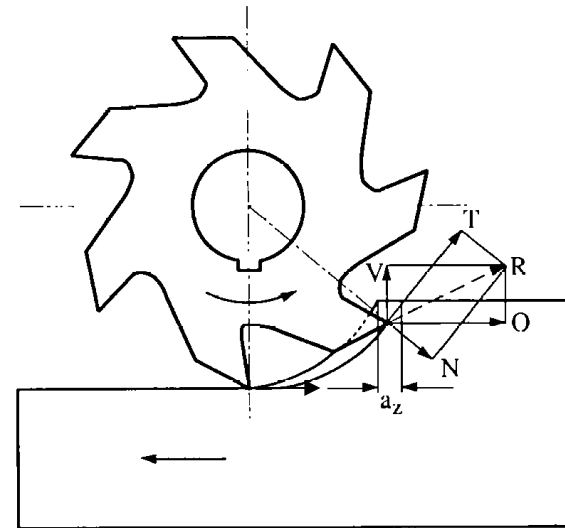
velocità di avanzamento:  $V_f = f n$  [mm/s]

Numero di denti:  $z$

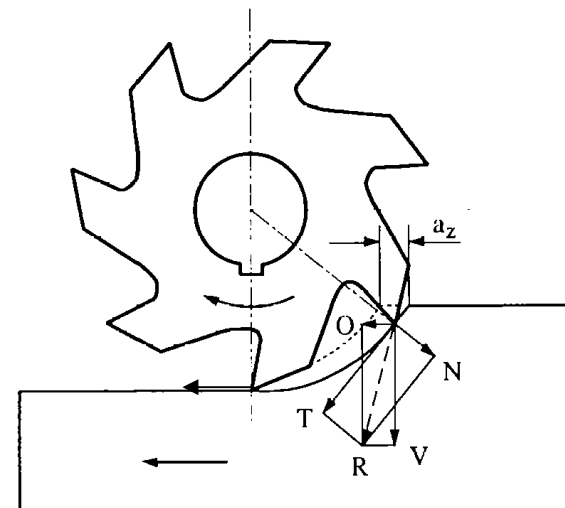




fresatura in discordanza  
up milling



fresatura in concordanza  
down milling





Confronto

up milling vs

down milling

usura

quindi

dorsale  
 $\alpha$  grande

frontale  
 $\gamma$  piccolo

il pezzo viene

quindi

sollevato  
basse tolleranze

schacciato  
migliori tolleranze

il pezzo viene

quindi

quindi

spinto contro l'utensile  
moto regolare  
sistema di recupero automatico dei giochi

allontanato dall'utensile  
moto irregolare

zona di lavoro

già lavorata

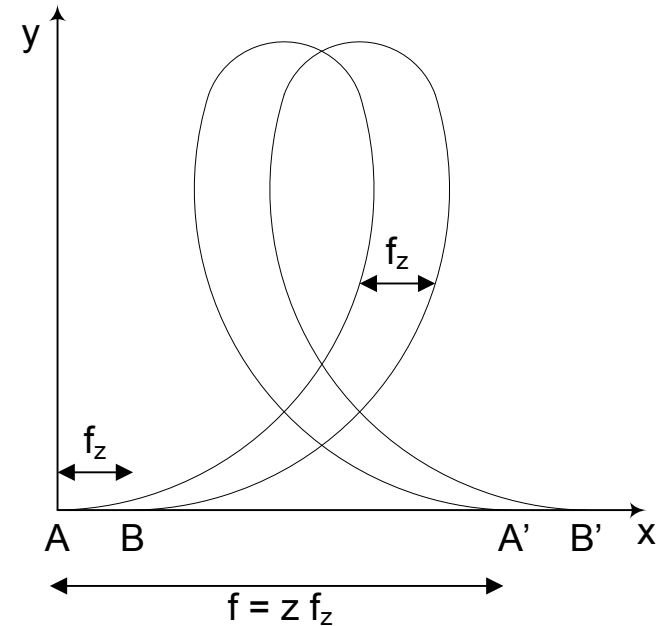
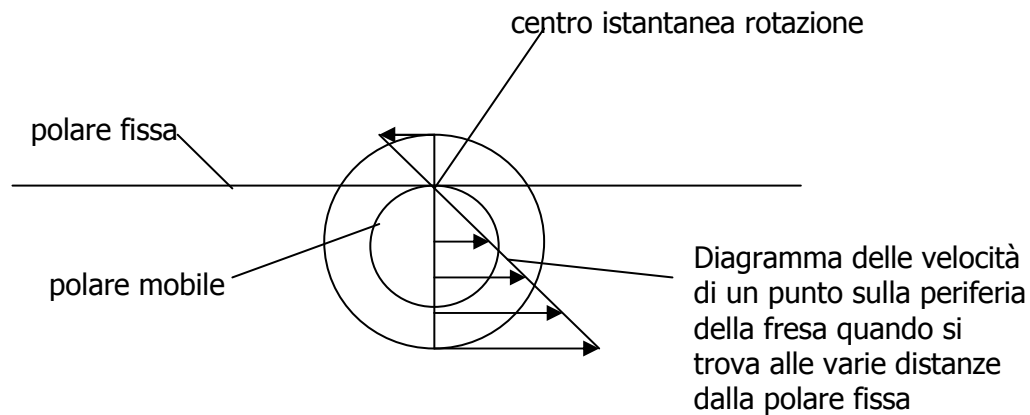
crosta superficiale  
non adatta su grezzi di fonderia



### Sezione del truciolo

è necessario individuare la  
traiettoria del dente:

il moto relativo, somma del moto di avanzamento  
con il moto di taglio è dato dal rotolamento senza  
strisciamento di una polare mobile su una polare fissa;  
la fresa è solidale con la polare mobile



Con alcune ipotesi semplificative:

- trascuriamo centro di istantanea rotazione
- un solo dente in presa
- denti dritti

lo spessore del truciolo vale:

$$h_{\theta} = \overline{AD} \approx \overline{AB} = \overline{AC} \sin \theta = f_z \sin \theta$$

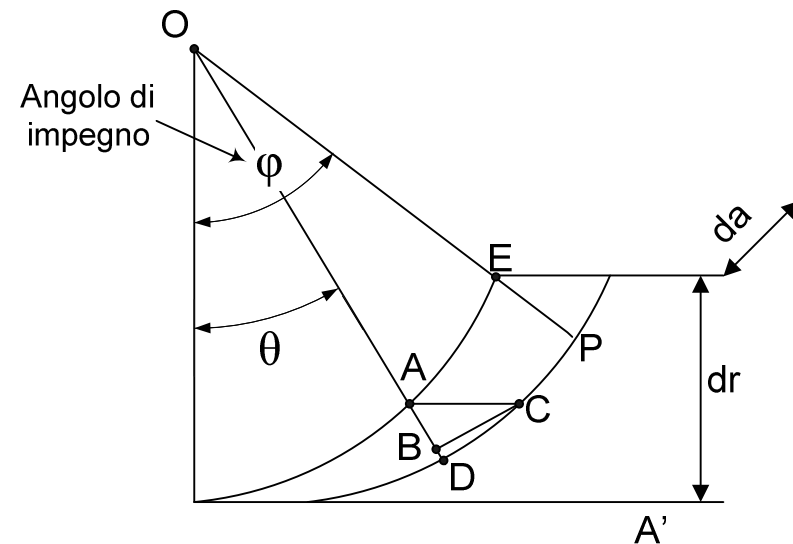
lo spessore medio:

$$h_{med} = \frac{1}{f} \int_0^{\varphi} h_{\theta} d\theta = 2 \frac{d_r f_z}{D \varphi}$$

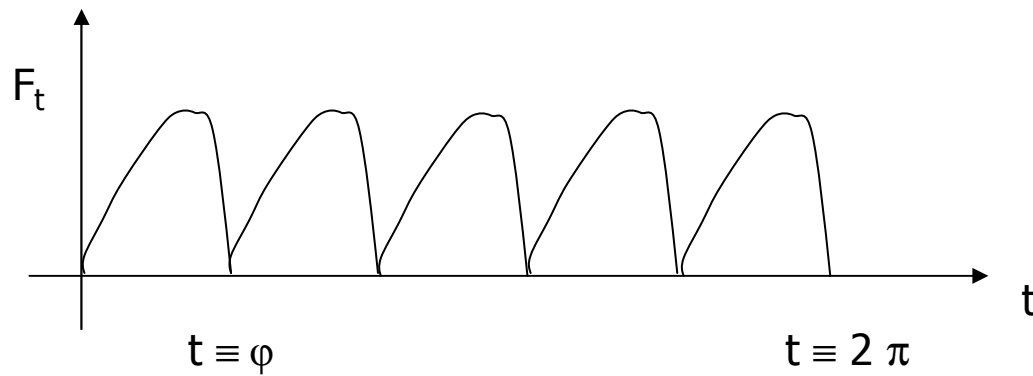
lo spessore massimo:

$$h_{max} = f_z \sin \varphi = f_z 2 \sqrt{\frac{dr}{D} \left( 1 - \frac{dr}{D} \right)}$$

( da semplificare se  $d_r \ll D$  )

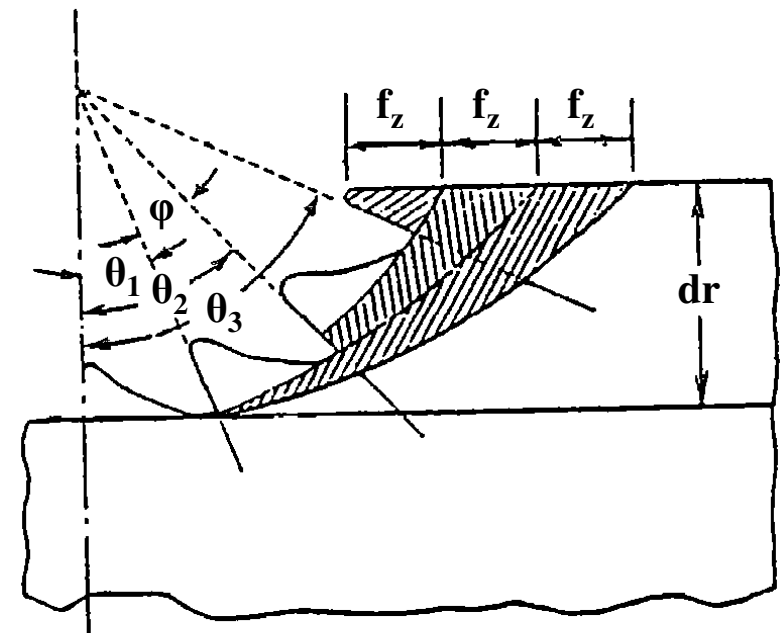


Le forze di taglio hanno quindi il seguente andamento:



vibrazioni  
urti  
usura utensile

avere almeno 3  
denti in presa





Potenza di lavorazione

$$F_{t,\theta} = K_s A_\theta$$

$$M_t = \sum_{\theta} K_s A_\theta \frac{D}{2} \cong K_s A_{medio} \frac{D}{2} = K_s z \cdot d_a \cdot h_{med} \frac{D}{2}$$

$$M_{t,\theta} = K_s A_\theta \frac{D}{2}$$

(per un dente in presa)

$$P = \frac{M_t \omega}{\eta} = \zeta \frac{K_s \cdot d_a \cdot h_{med} \cdot D \cdot \omega}{2\eta}$$

$$h_{med} = 2 \frac{d_r f_z}{D \phi}$$

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

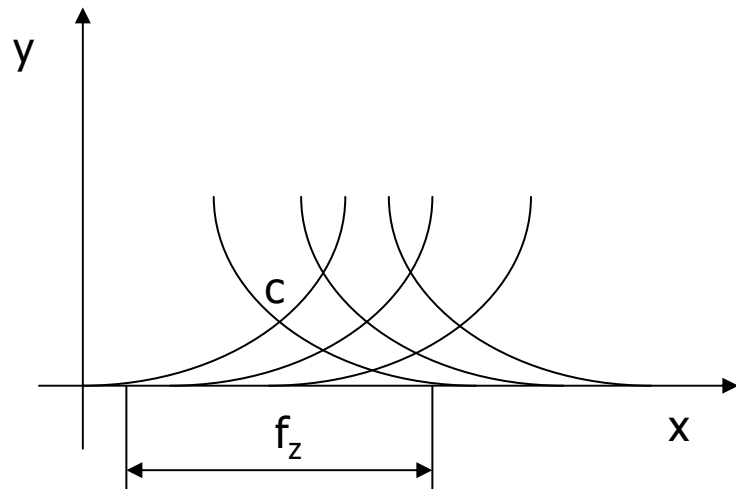
$$\zeta = \frac{\phi}{\phi_0} = \frac{\phi}{\frac{2\pi}{z}}$$

$$P_t = \frac{K_s \cdot d_a \cdot d_r \cdot z \cdot f_z \cdot n}{\eta} = \frac{K_s \cdot d_a \cdot d_r \cdot V_f}{\eta}$$

$P_a$  viene trascurata



Rugosità teorica



dobbiamo trovare l'ascissa  
e l'ordinata del punto c

per simmetria  $x_c = \frac{f_z}{2}$

viene soddisfatta per  $R \sin(\omega \cdot t_c) + V_f \cdot t_c = \frac{f_z}{2}$

ma per piccoli angoli  $\sin(\omega \cdot t_c) \cong \omega \cdot t_c$

allora:

$$t_c = \frac{\frac{f_z}{2}}{\omega \cdot R + V_f} = \frac{\frac{f_z}{2}}{V_t + V_f}$$

$$\omega \cdot t_c = \frac{\omega \cdot \frac{f_z}{2}}{\omega \cdot R + z \cdot f_z \cdot n} = \frac{\omega \cdot \frac{f_z}{2}}{\omega \cdot R + z \cdot f_z \cdot \frac{\omega}{2\pi}} = \frac{\frac{f_z}{2}}{R + z \cdot \frac{f_z}{2\pi}}$$



L'ordinata  $y$  è la rugosità massima (altezza picco valle)

$$Y = R[1 - \cos(\omega \cdot t_c)] = R[1 - \sqrt{1 - \sin^2(\omega \cdot t_c)}] \cong R[1 - \sqrt{1 - (\omega \cdot t_c)^2}] \cong$$

$$\cong R\left[1 - \left(1 - \frac{(\omega \cdot t_c)^2}{2}\right)\right] = \frac{R}{2}(\omega \cdot t_c)^2 = \frac{R}{2}\left(\frac{\frac{f_z}{2}}{R + z \cdot \frac{f_z}{2\pi}}\right)^2 = \frac{R}{2} \frac{\pi^2 f_z^2}{(2R \pm z \cdot f)^2}$$

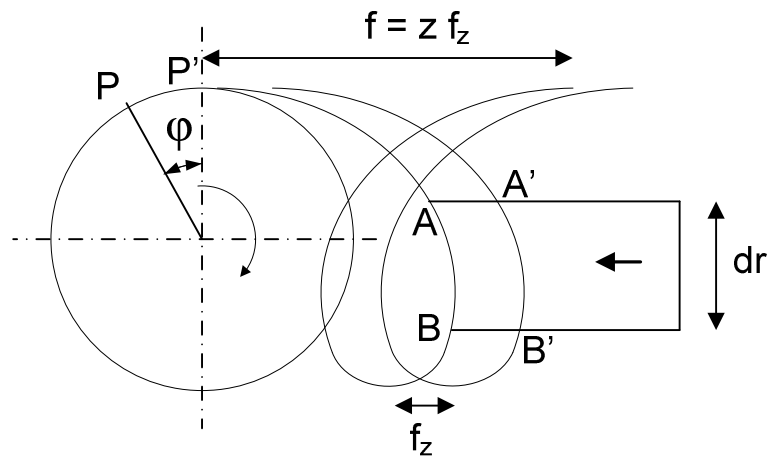
$$R_{\max} = \frac{R}{2} \frac{\pi^2 f_z^2}{(2R \pm z \cdot f)^2} \xrightarrow{\text{se } 2\pi R \gg z \cdot f_z} R_{\max} = \frac{f_z^2}{8R}$$

+ discordanza  
- concordanza

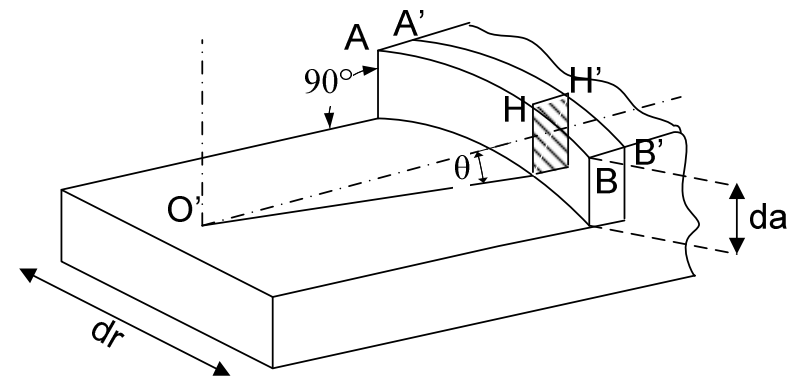
NB: la rugosità reale è maggiore

### Fresatura frontale

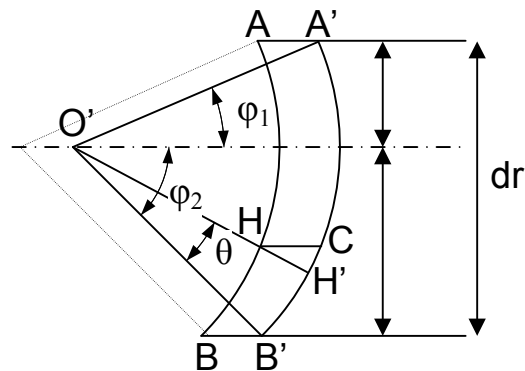
traiettoria dente



spessore del truciolo



arco di lavoro



$$h_{\theta} = \overline{HH'} \cong \overline{HC} \cos \theta = f_z \cos \theta$$

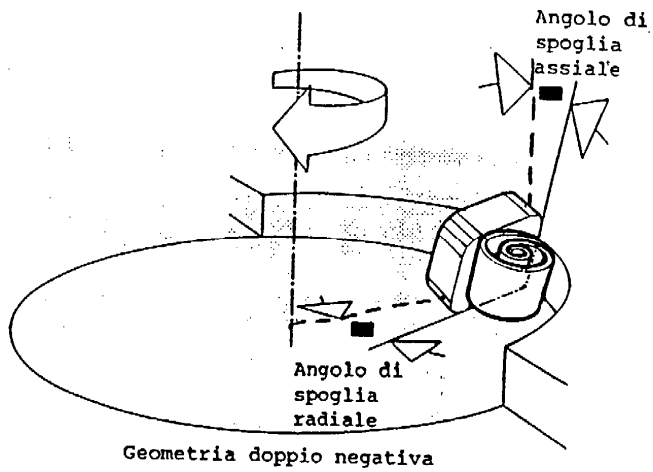
$$h_{med} = \frac{1}{\varphi} \int_{-\varphi_2}^{\varphi_1} h_{\theta} d\theta = \frac{f_z}{\varphi} \int_{-\varphi_2}^{\varphi_1} \cos \theta d\theta =$$

$$= \frac{f_z}{\varphi} [\sin \varphi_1 - \sin(-\varphi_2)] = \frac{f_z}{\varphi} [\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2]$$

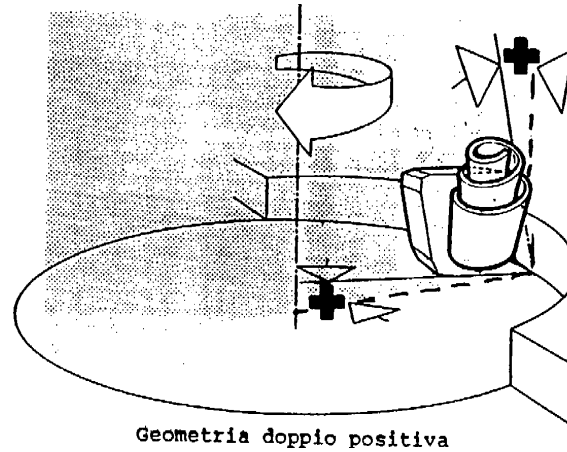
$$\text{se } \frac{D}{2} \sin \varphi_1 + \frac{D}{2} \sin \varphi_2 = dr \Rightarrow h_{med} = 2 \frac{d_r f_z}{D \varphi}$$



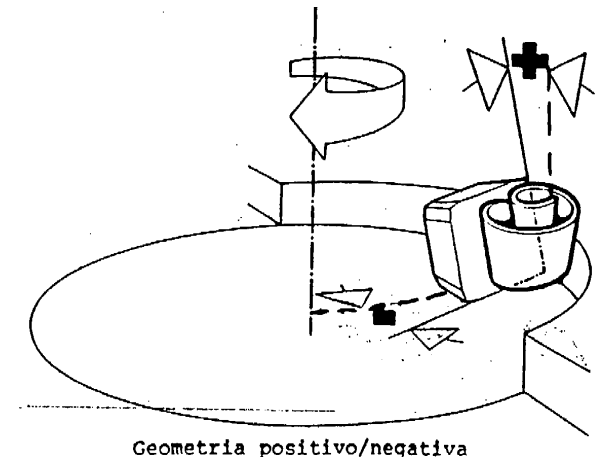
## Geometria delle frese frontali



materiali duri  
tagliente robusto  
peggiore evacuazione truciolo



materiali duttili



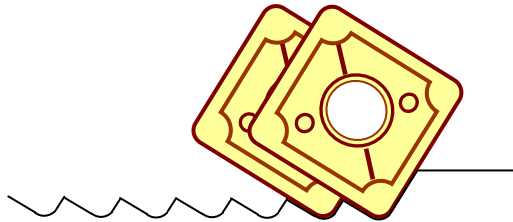
tagliente robusto  
evacuazione truciolo



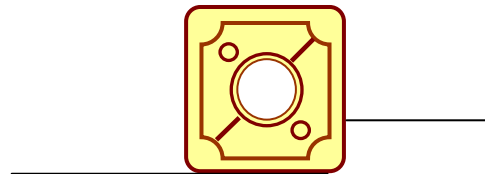


Finitura superficiale

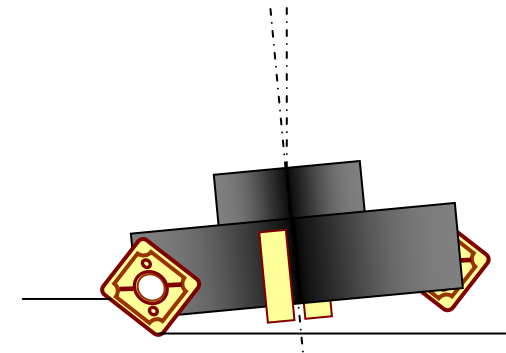
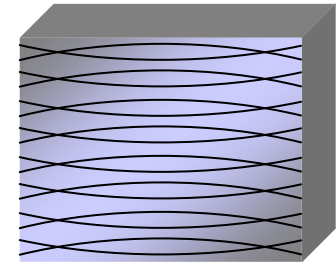
Segni di lavorazione



Angolo di registrazione



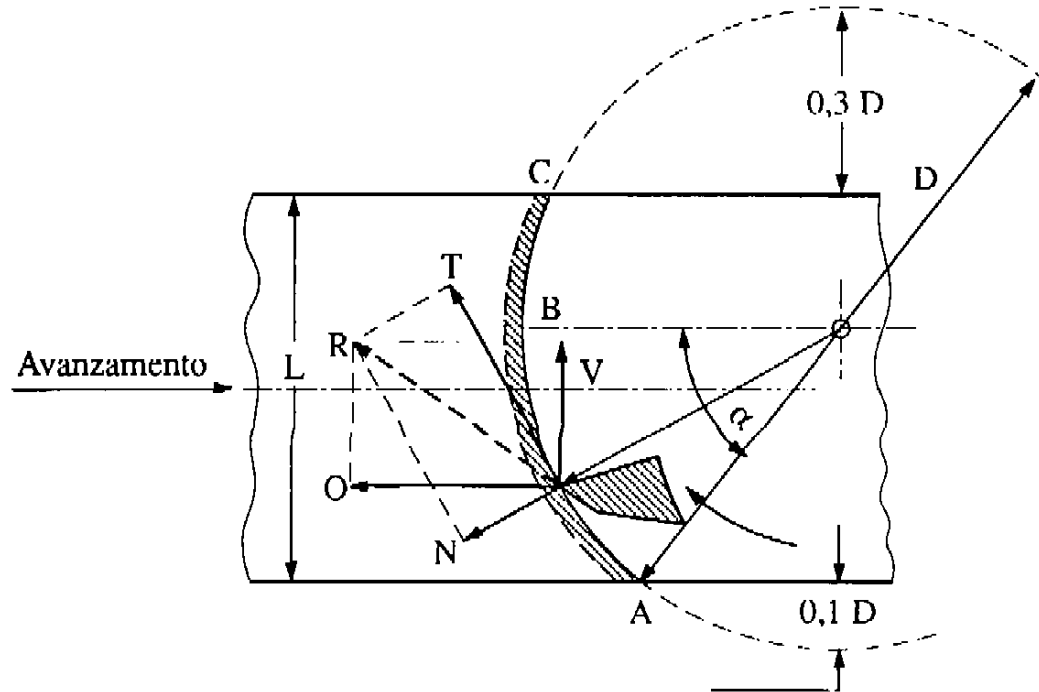
Inserto raschiante



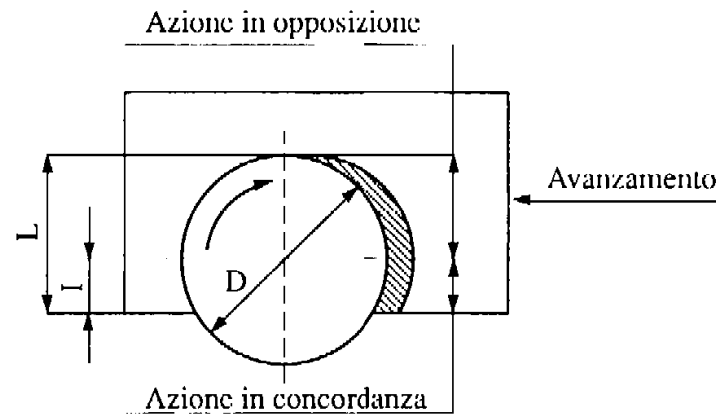
inclinazione asse fresa



eccentricità



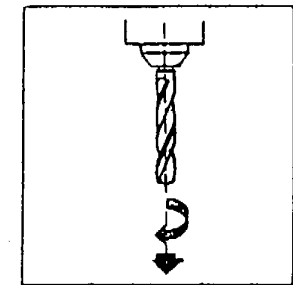
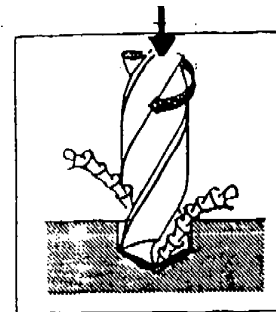
diametro troppo piccolo



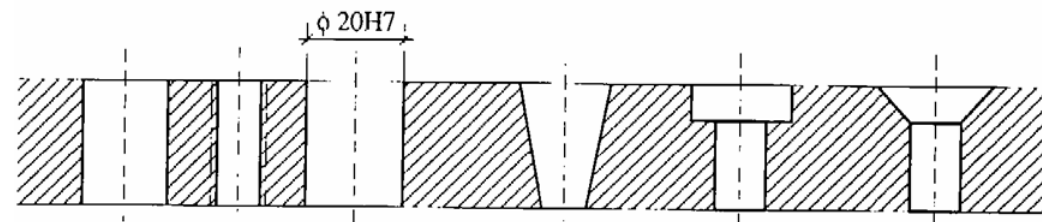


# Foratura

Moto di taglio	utensile	rotatorio
Moto di avanzamento	utensile	rettilineo
Moto di registrazione	utensile pezzo	
Moto di lavoro		elicoidale



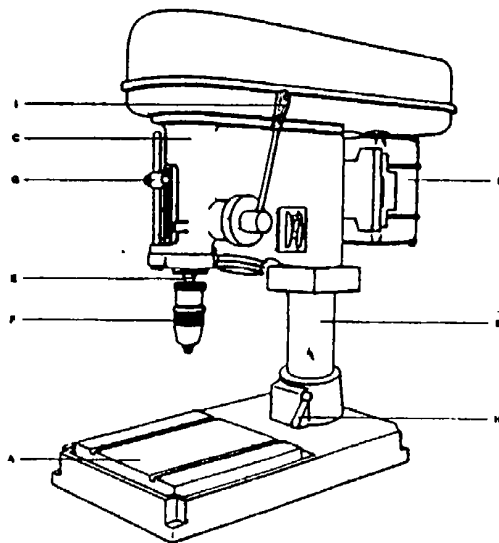
lavorazioni



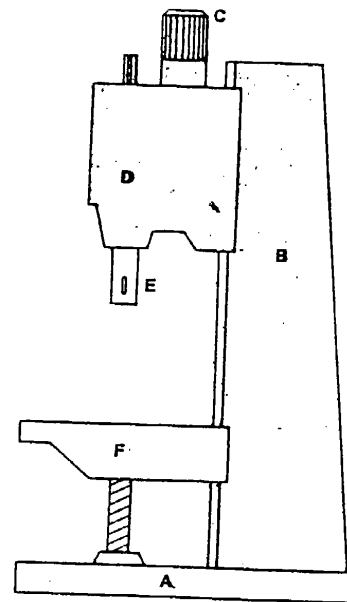


Struttura trapani

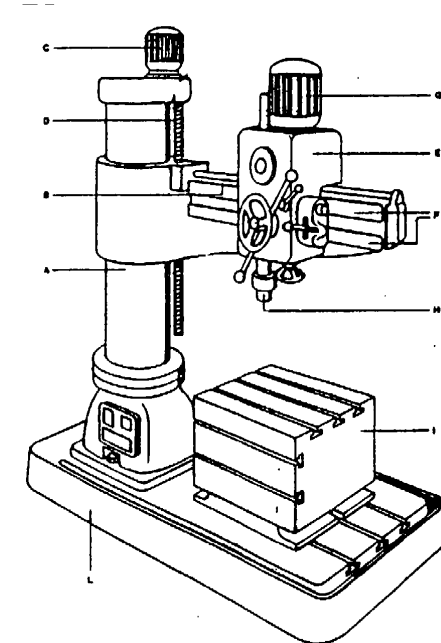
da banco, sensitivo



a colonna



radiale



## Punta elicoidale

### Struttura della punta:

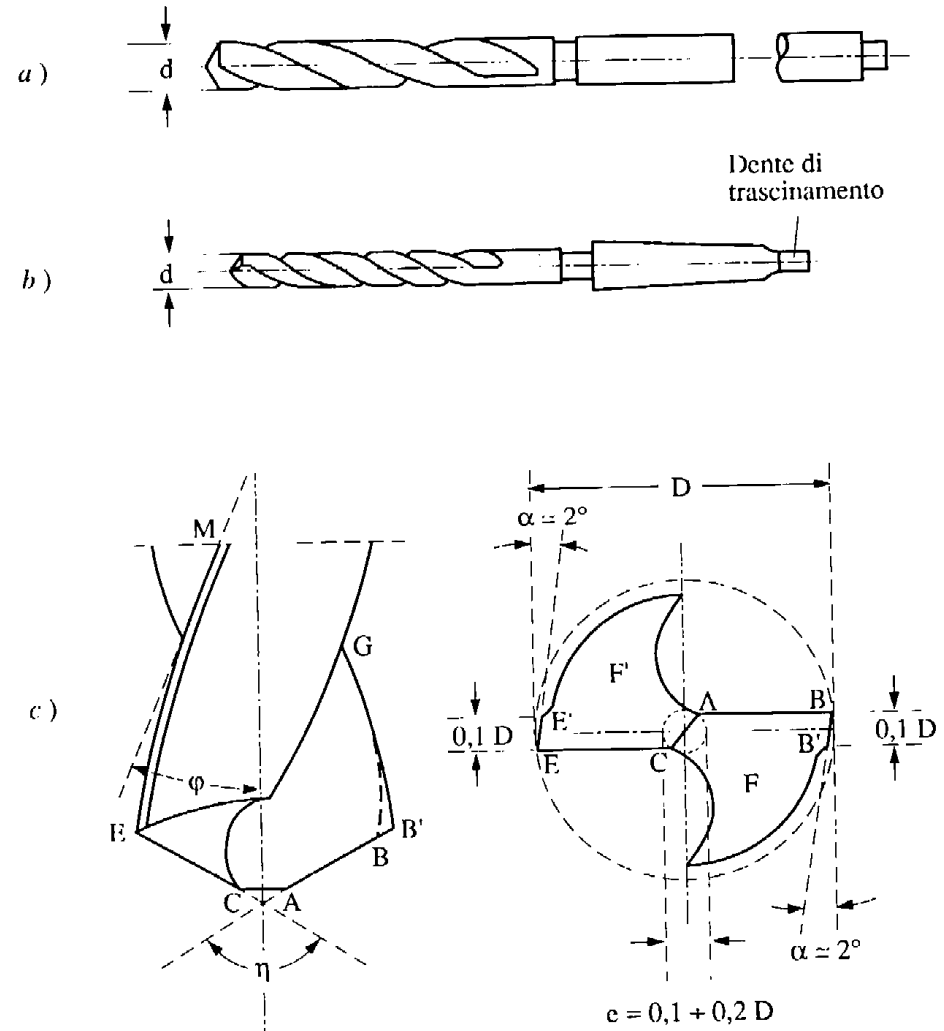
codolo, testa, corpo

### Grandezze caratteristiche:

angolo fra i taglienti

quadretto

faccette di affilatura



Altri utensili per foratura

Refrigerata

ad inserti

a gradini

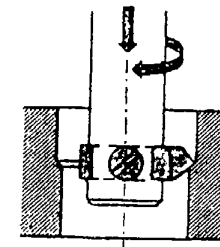
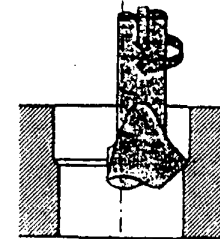
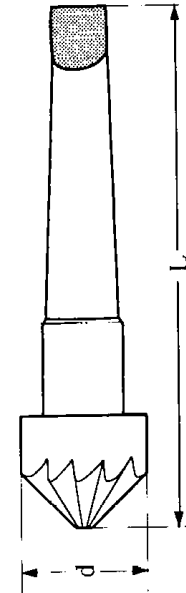
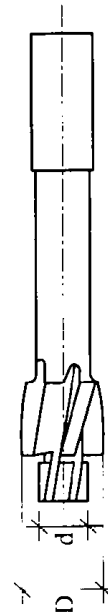
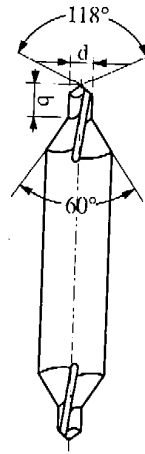
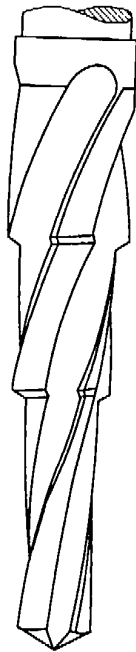
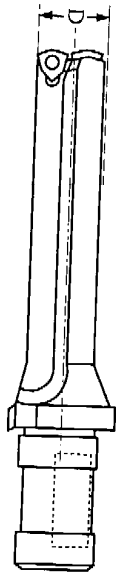
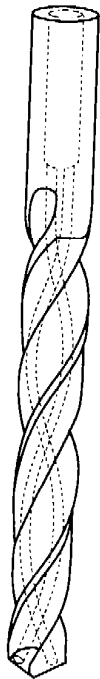
doppia

da centri

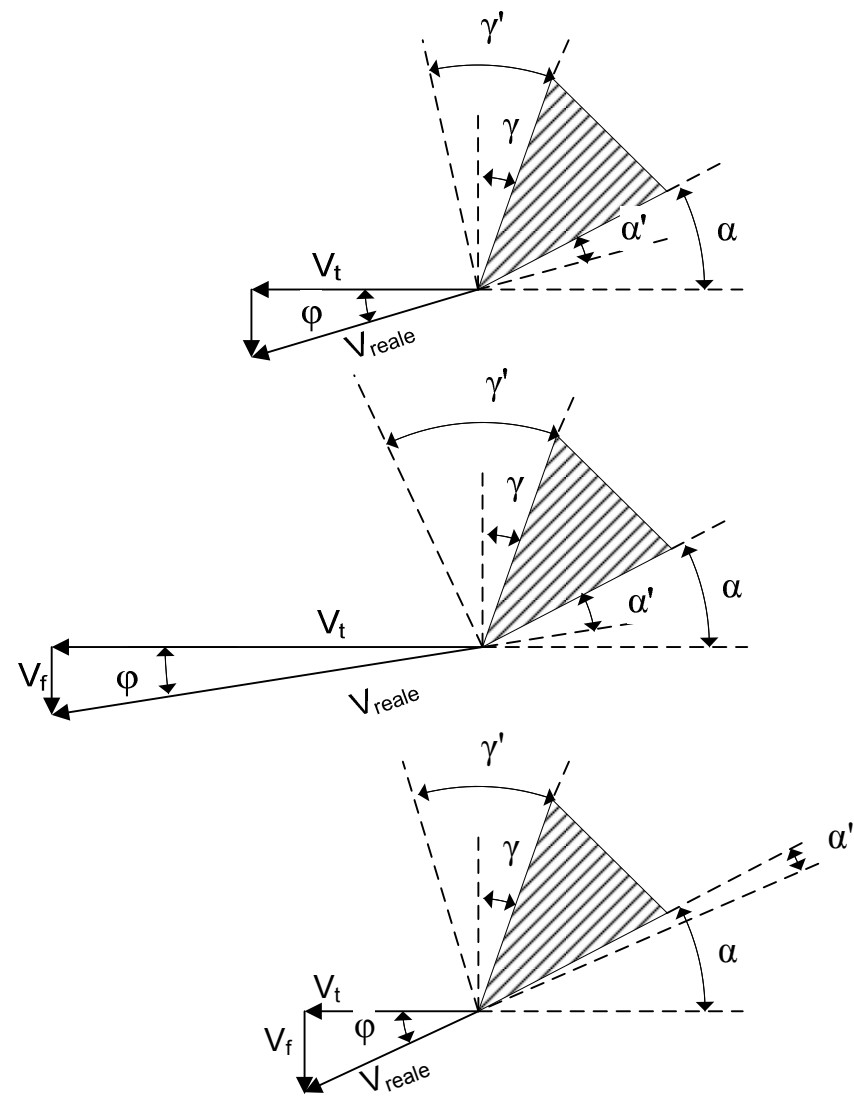
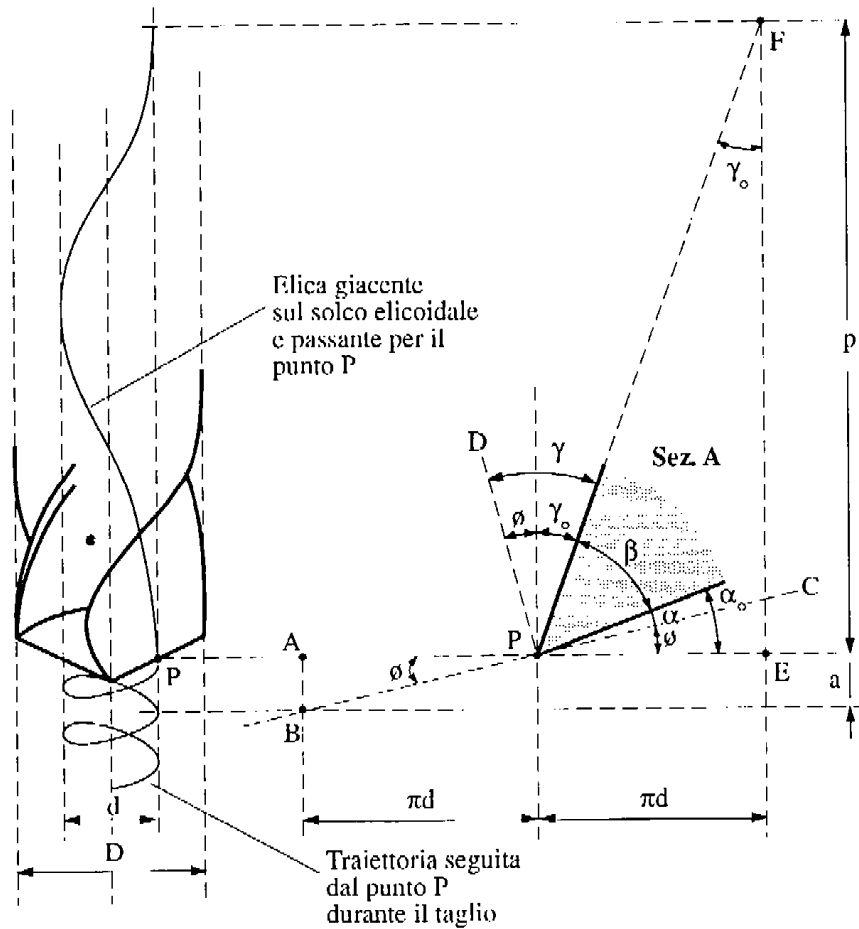
svasatore

svasatore conico

bareno



Angoli di spoglia reali



Forze di taglio

componenti della forza di taglio

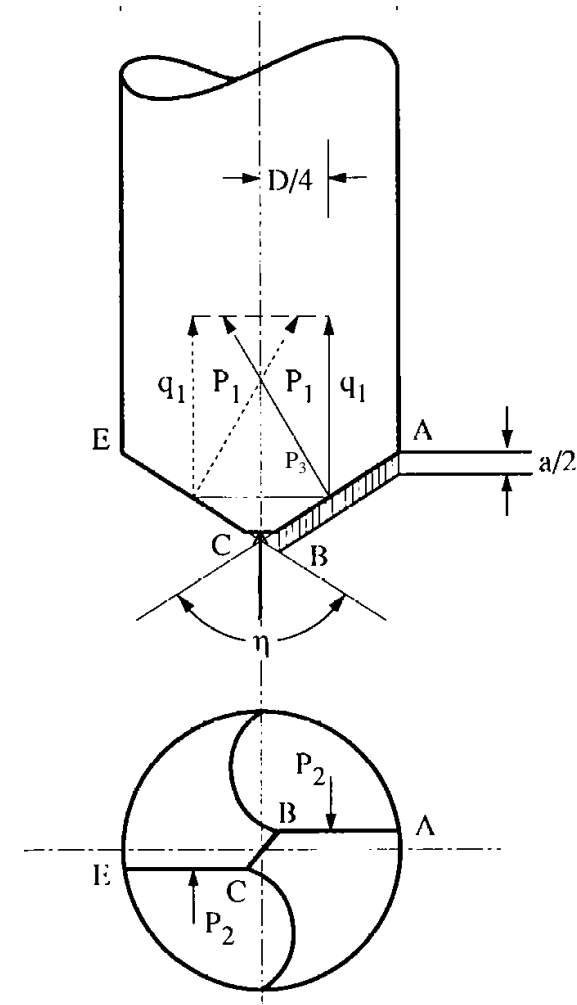
$P_1$  → resistenza all'avanzamento  
 $P_3$  →  
 $P_2$  → coppia di taglio

sezione del truciolo  $s = a/2 \quad D/2$

$$M_t = P_2 \cdot \frac{D}{2} = K_s \frac{a}{2} \frac{D}{2} \frac{D}{2} = a \cdot D^2 \frac{K_s}{8}$$

$$W = M_t \omega = a \cdot D^2 K_s n \frac{2\pi}{60} \frac{1}{8} \frac{1}{1000} \quad [W]$$

empiricamente  $P_2 = 2 P_1$

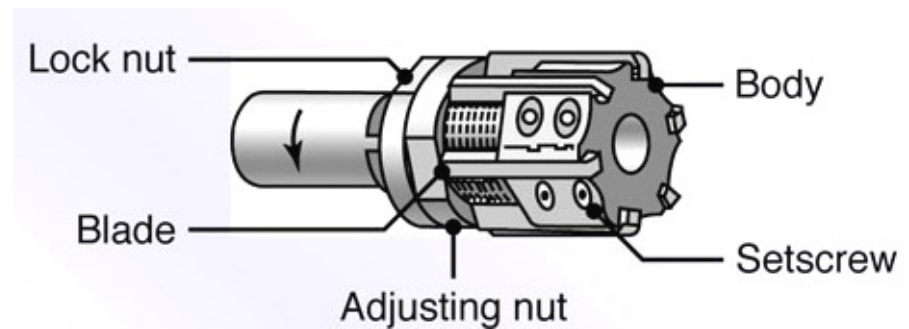
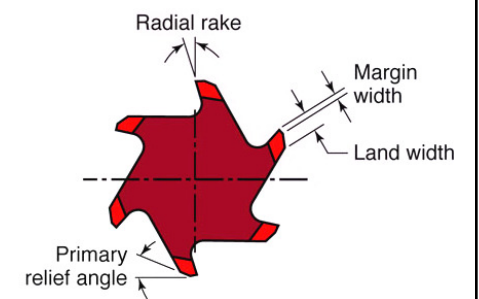
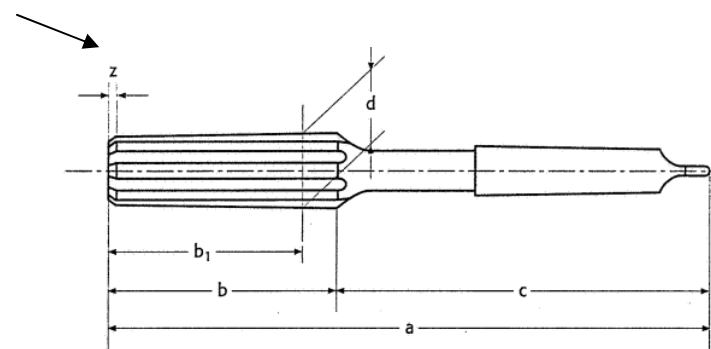
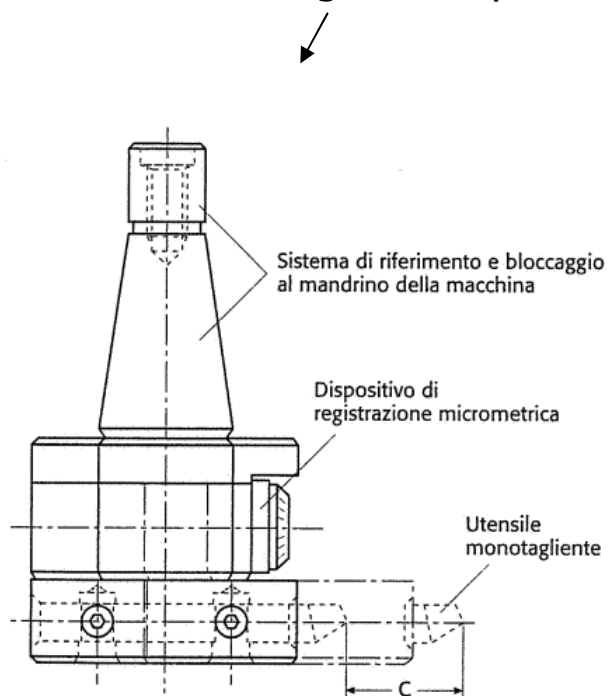




## Alesatura

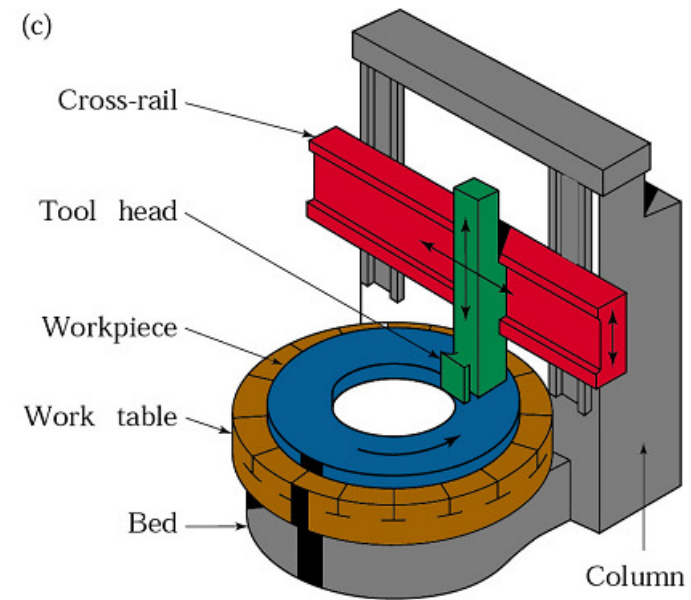
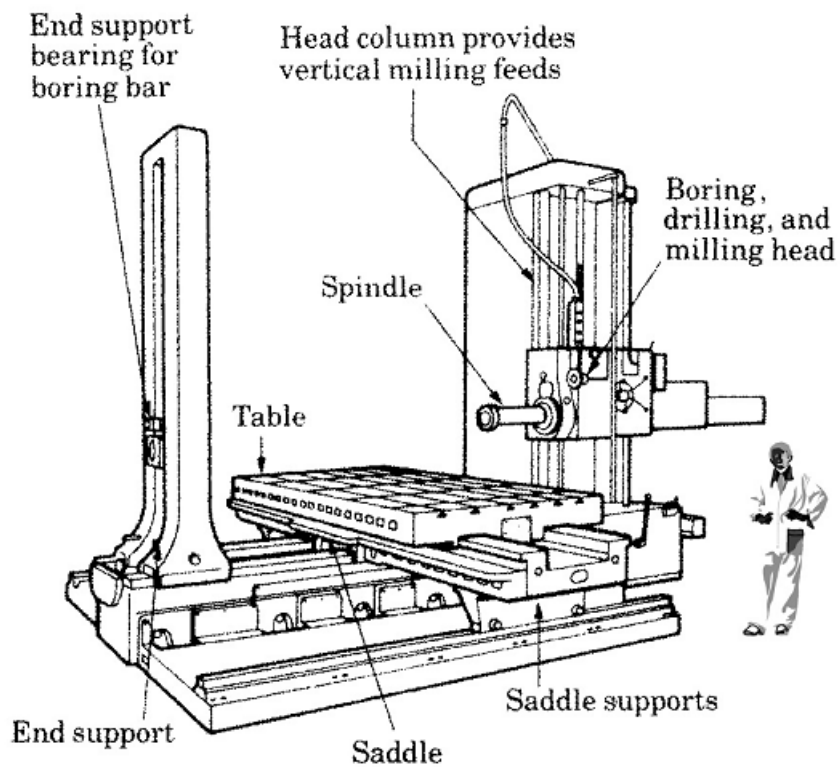
Calibratura di un foro precedentemente eseguito mediante foratura

Utensile monotagliante o pluritagliente





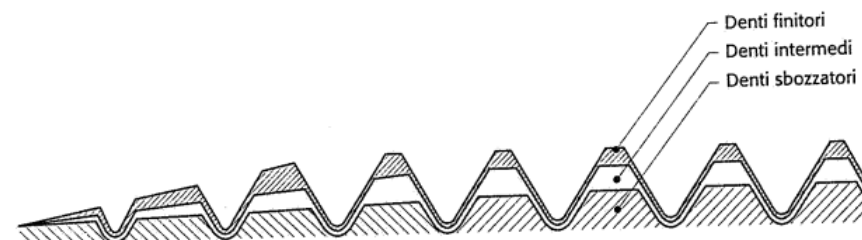
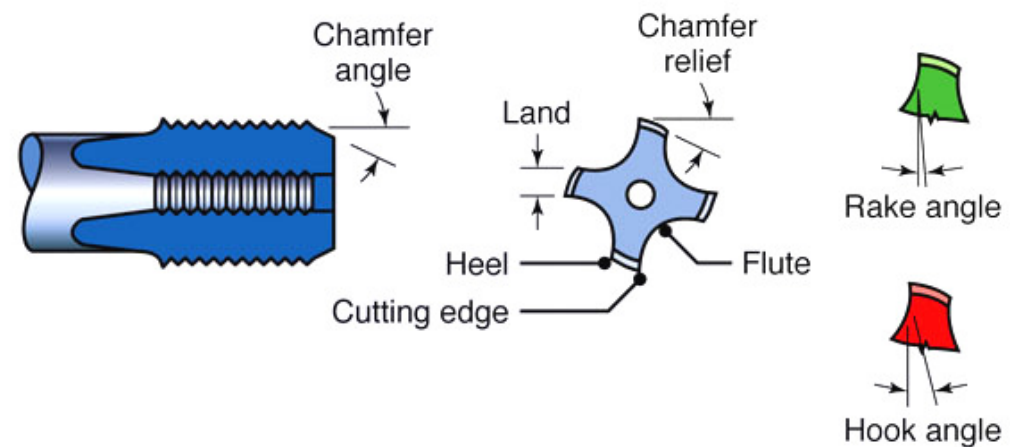
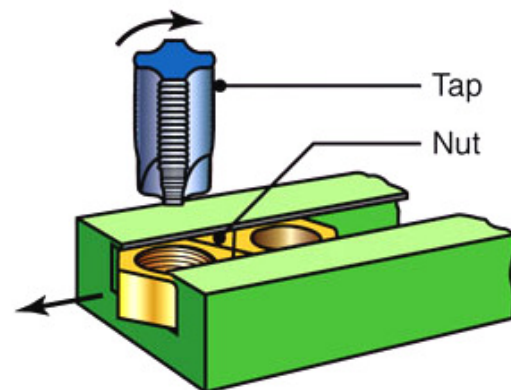
## Struttura delle macchine



## Maschiatura

Utensile pluritagliente

Tagliante interrotto da 3 o 4 canali di forma e sezioni tali da avere una adeguata spoglia frontale

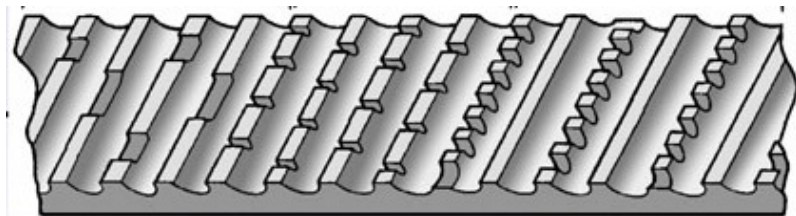
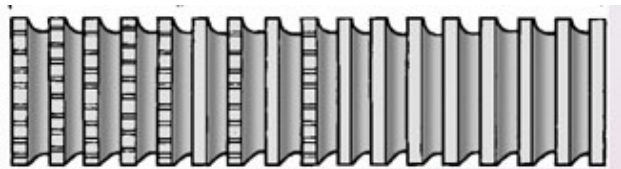




## Lavorazioni per moto di taglio rettilineo: brocciatura

Utensile multitagliente gradualmente diversificato per ottenere diverse lavorazioni con un'unica operazione

Utensile:

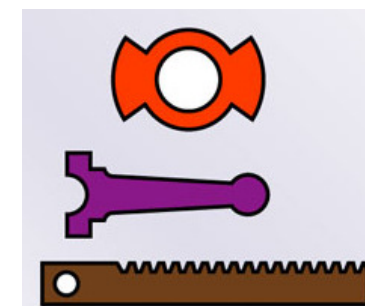


lavorazione:

Brocciatura interna

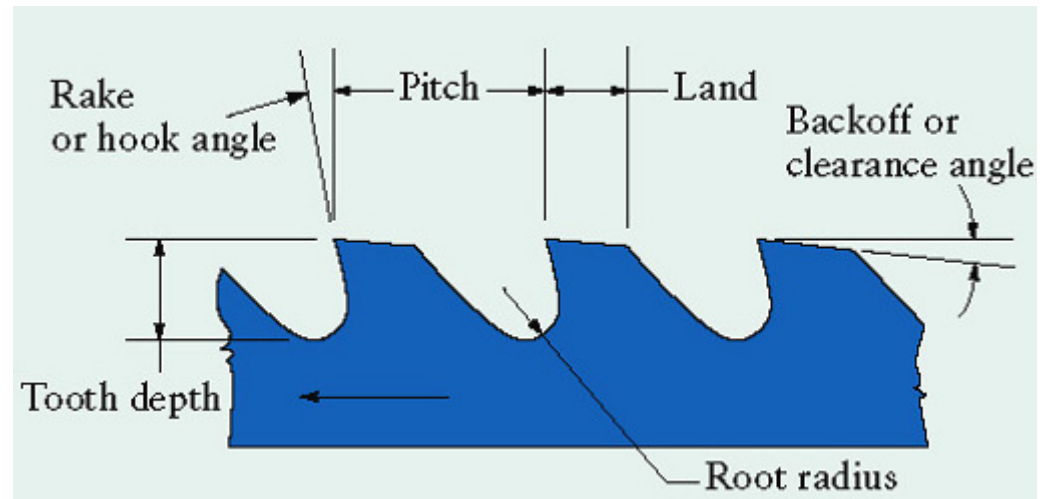


Brocciatura di superficie

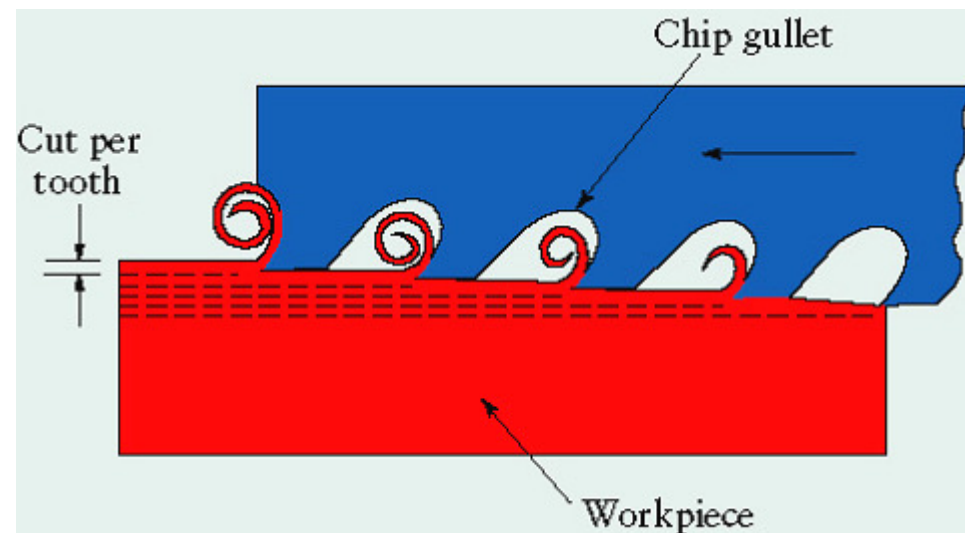




Geometria dei taglienti:



Meccanica di formazione del truciolo:

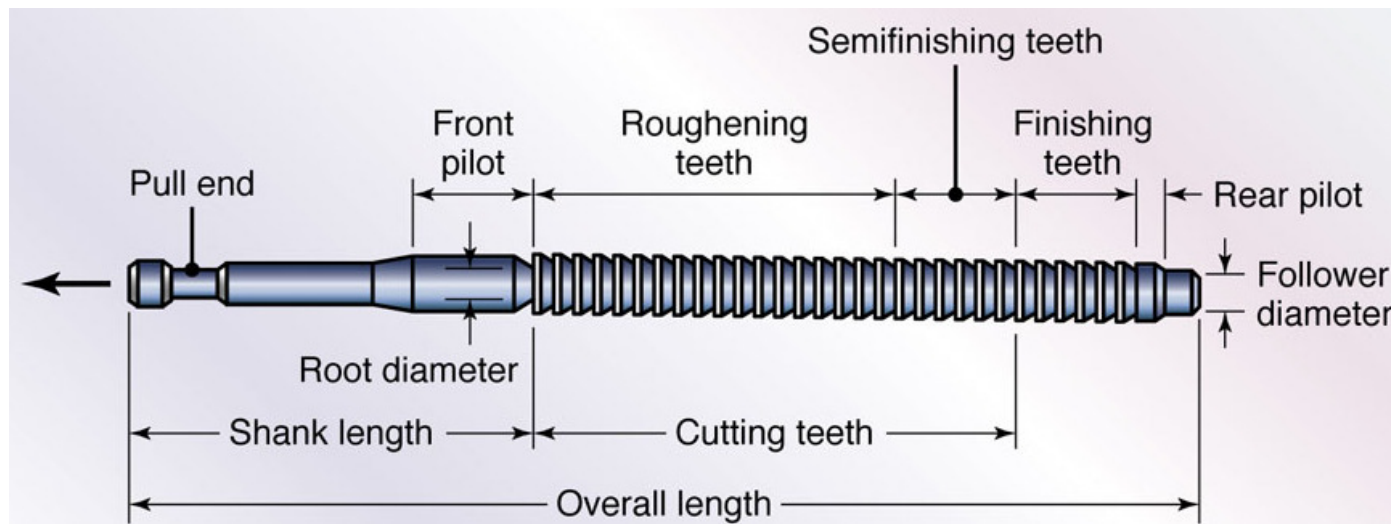




## Brocciatrice verticale



### Struttura degli utensili







## Stozzatura

Utensile monotagliante

Moto alternativo conferito all'utensile

Tipicamente utilizzata per l'esecuzione di:

Linguette

**anche interne**

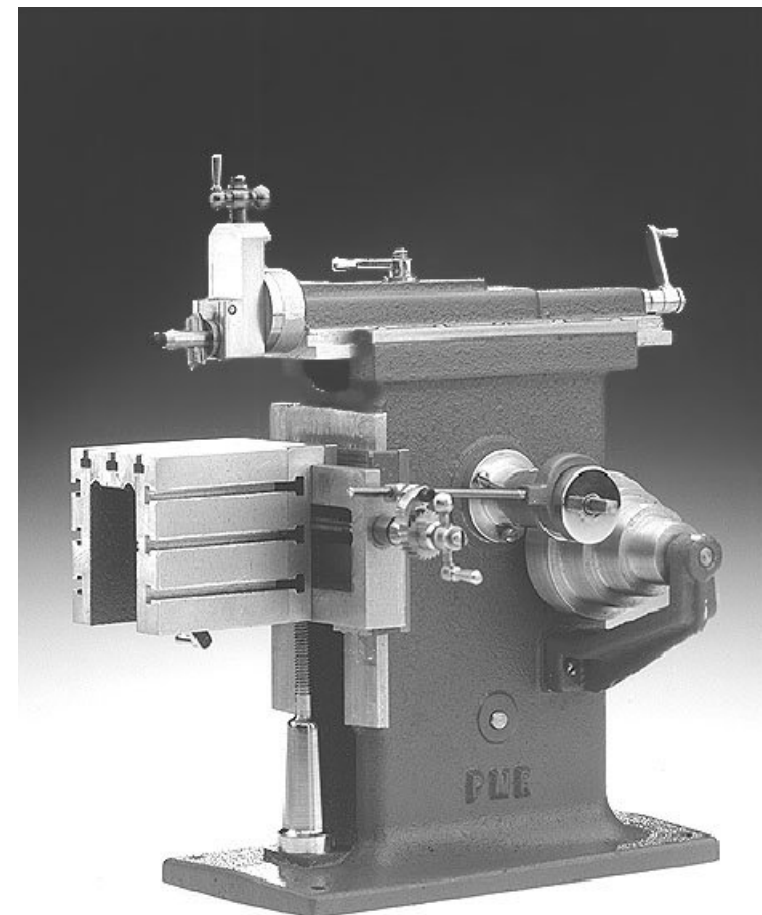
Chiavette

Cave

Utensile HSS

velocità di taglio  $\sim 10$  m/min

Stozzatrice



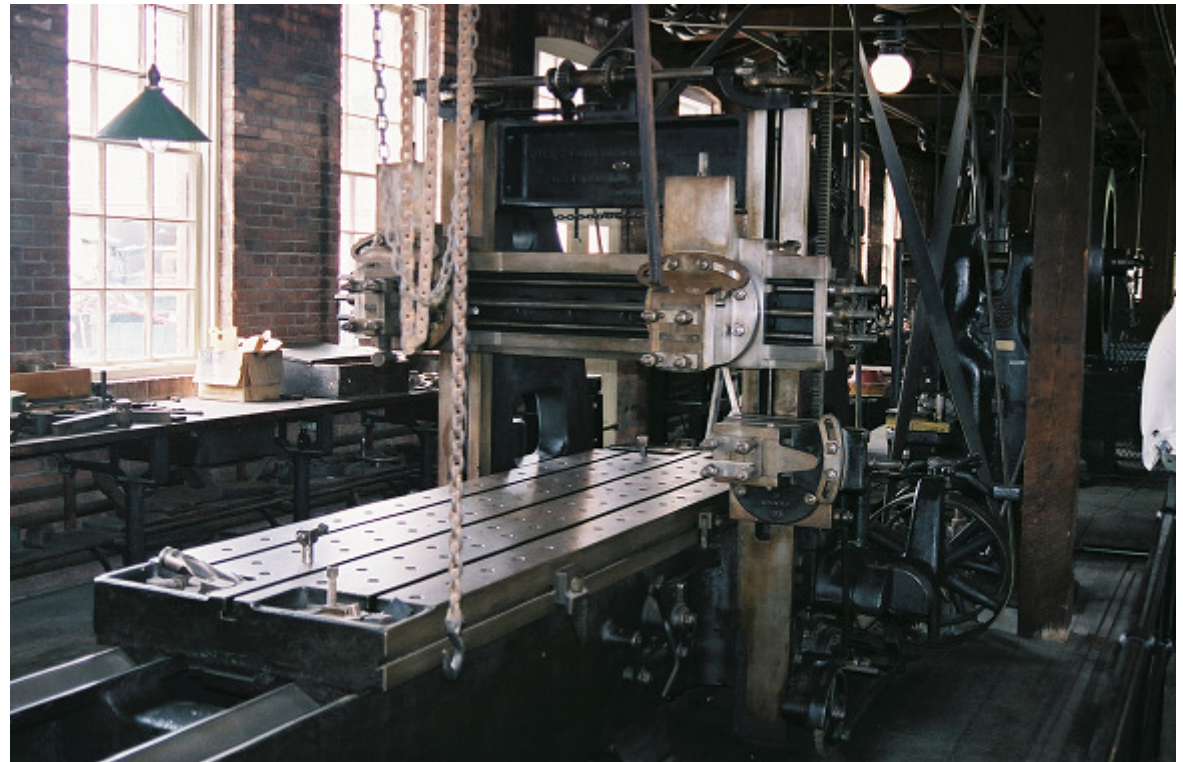


Operazioni obsolete:

Limatura

Piallatura

Vecchia piallatrice





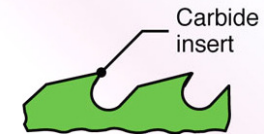
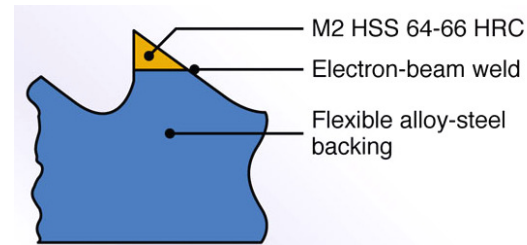
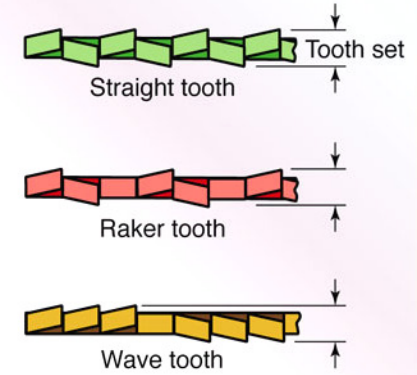
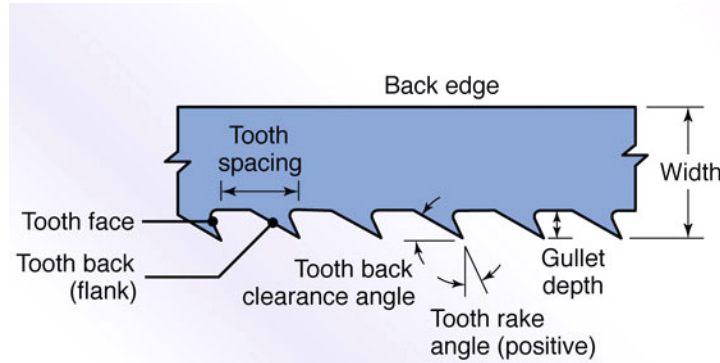


# Segagione

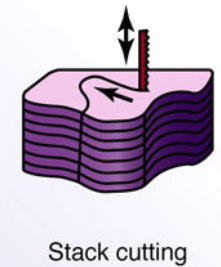
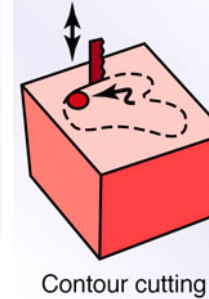
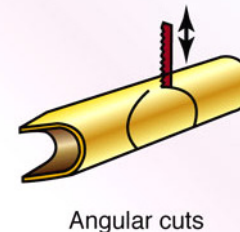
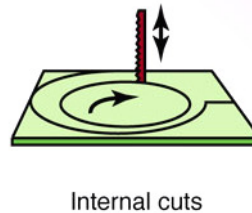
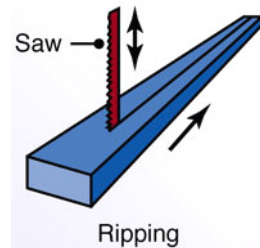
Utensile multitagliente

Moto di taglio continuo

Utensile flessibile

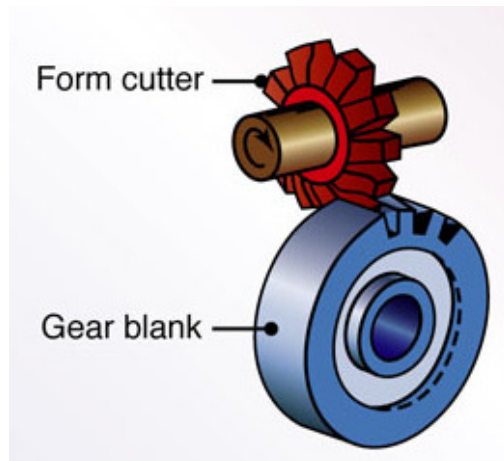


Operazioni tipiche:



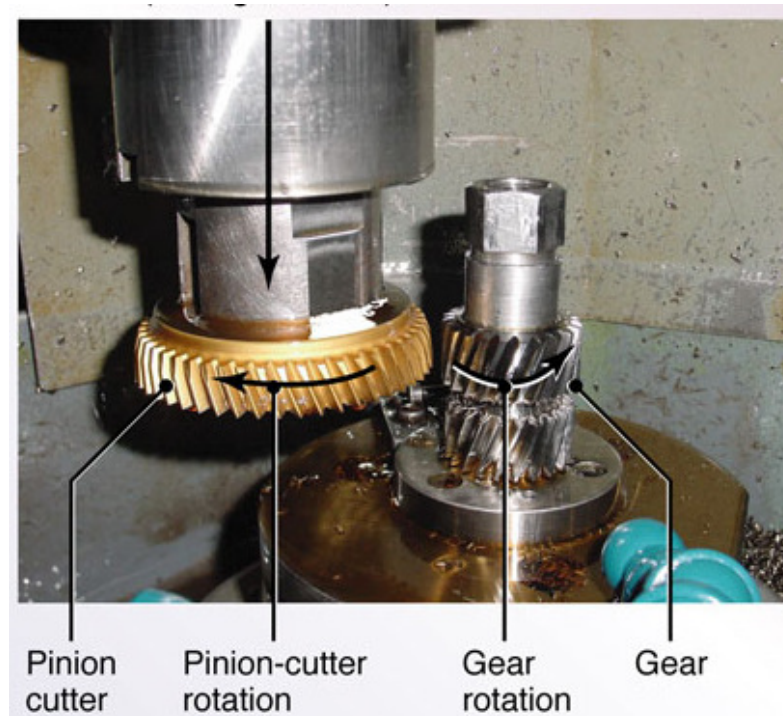
## Taglio delle ruote dentate

Con fresa di forma



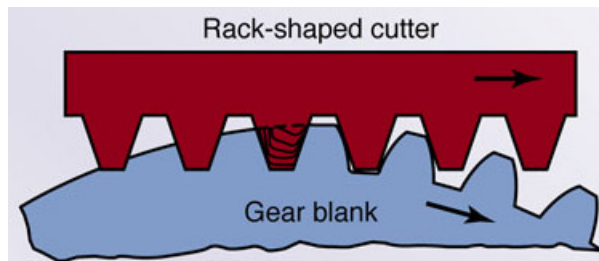
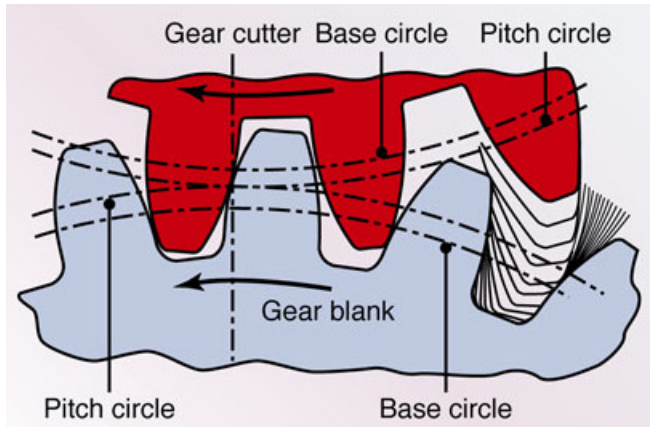
Diverse forme dell'utensile  
a seconda di:  
diametro  
numero di denti  
modulo

Con utensile a forma di ruota dentata



Diversi utensili  
solo in dipendenza  
del modulo

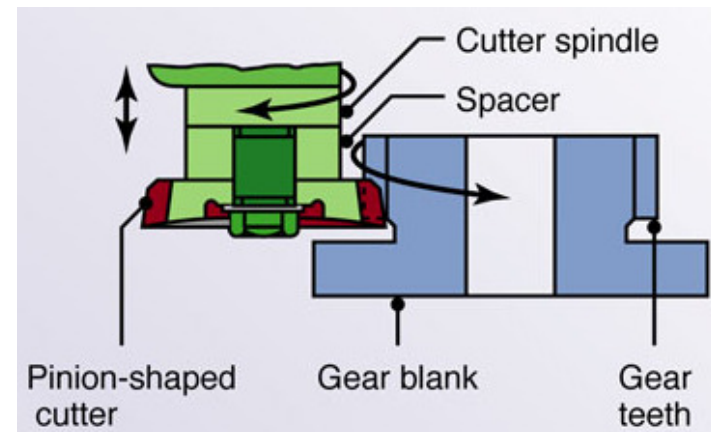
Riproduce la cinematica del moto di accoppiamento tra profili ad evolvente



Coltello dentiera

Moto di avanzamento: combinazione tra le rotazioni dell'utensile e della ruota in lavorazione con l'avvicinamento degli assi

Moto di taglio: alternativo dell'utensile



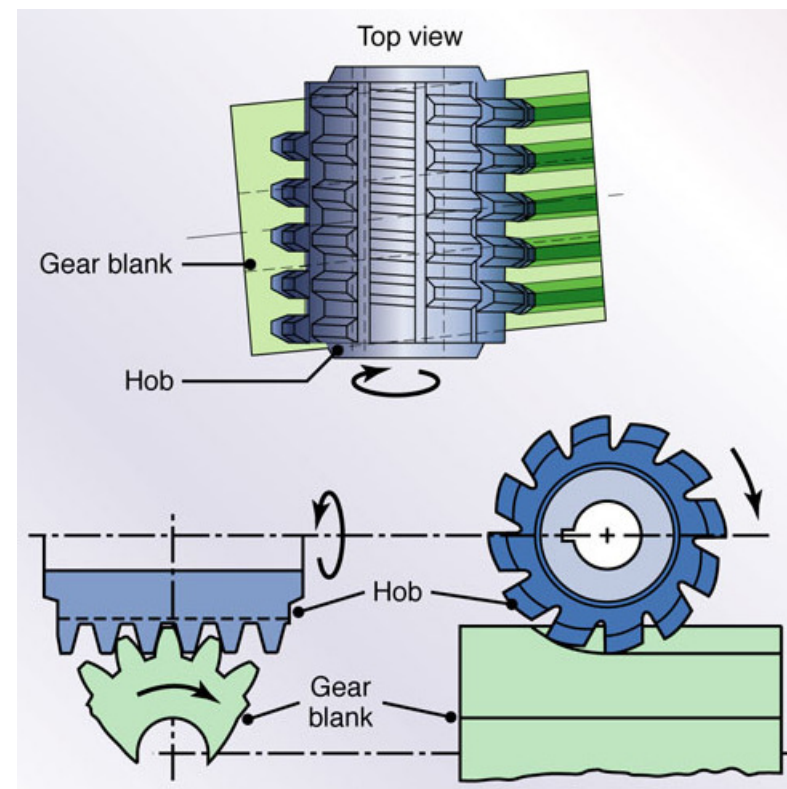
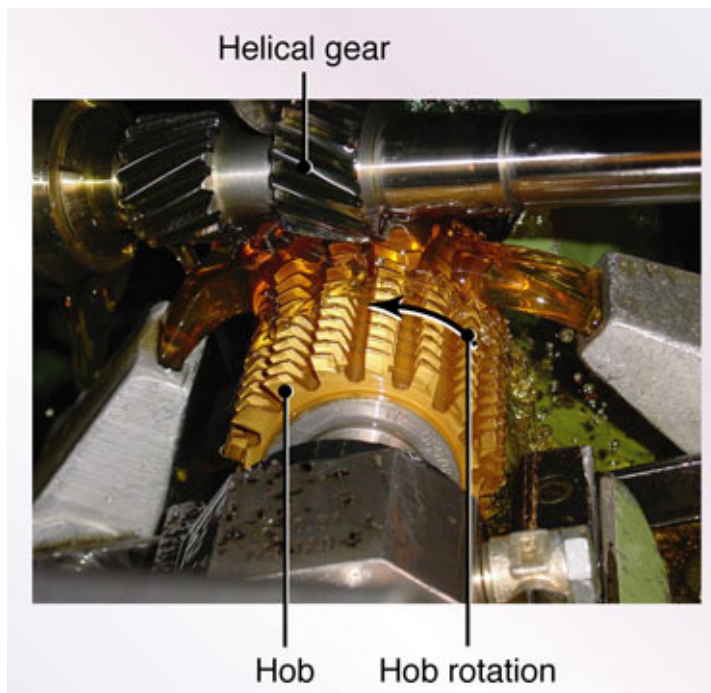
Creatore

Utensile pluritagliente

Taglio interrotto

Cinematica

Permette la costruzione di ruote dentate cilindriche a denti elicoidali con e senza inclinazione

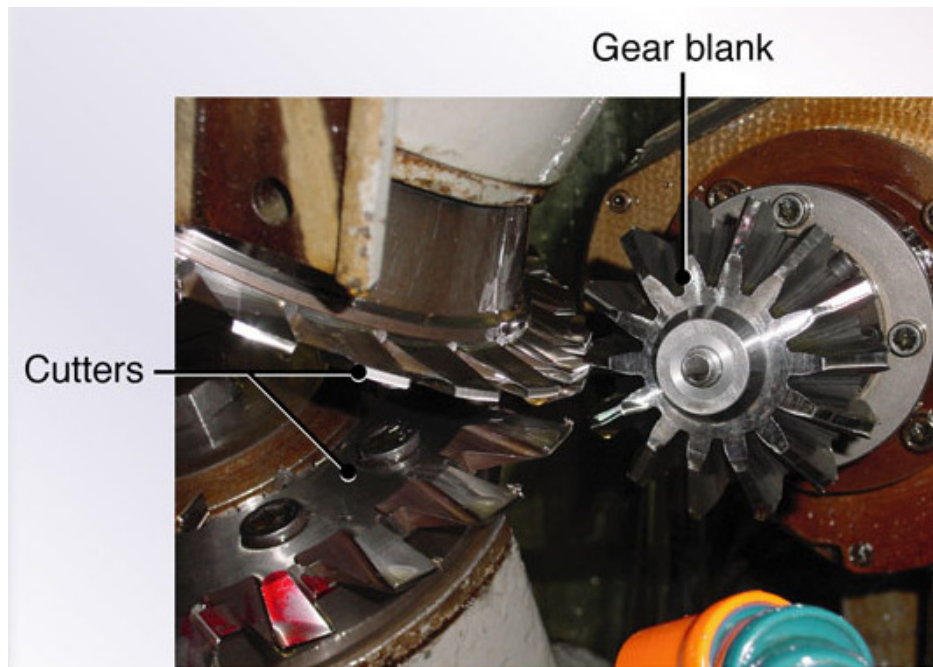




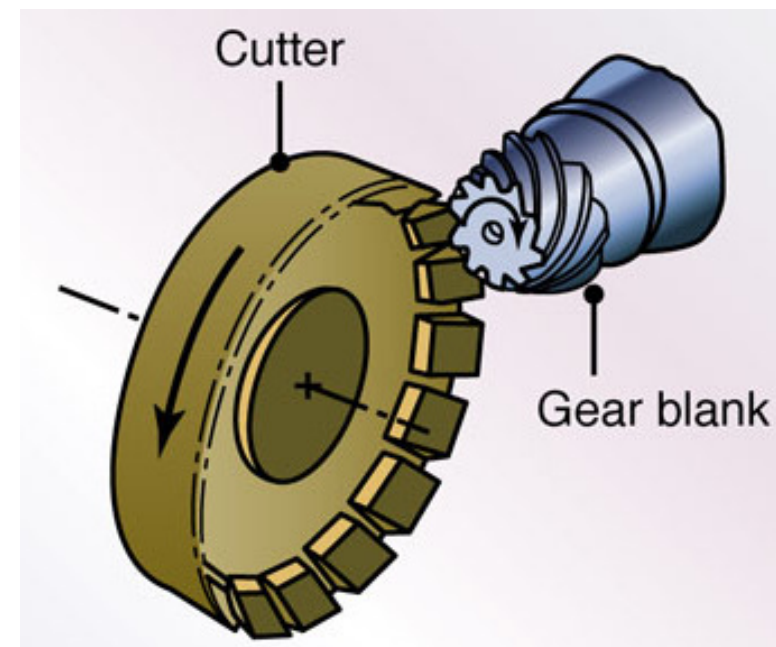
Ruote coniche

Utensile pluritagliente

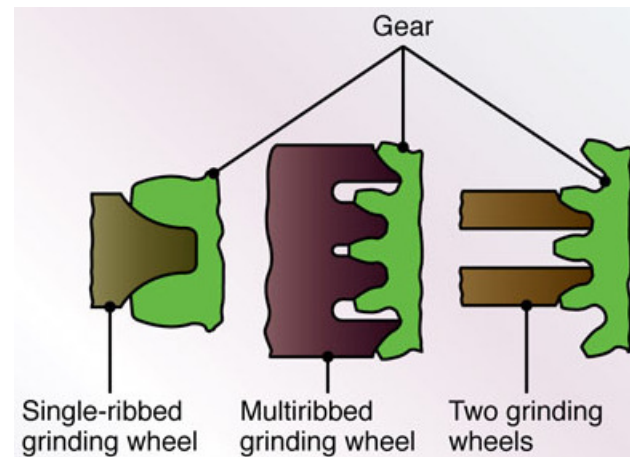
Mediante frese di forma con avanzamento discontinuo per denti dritti



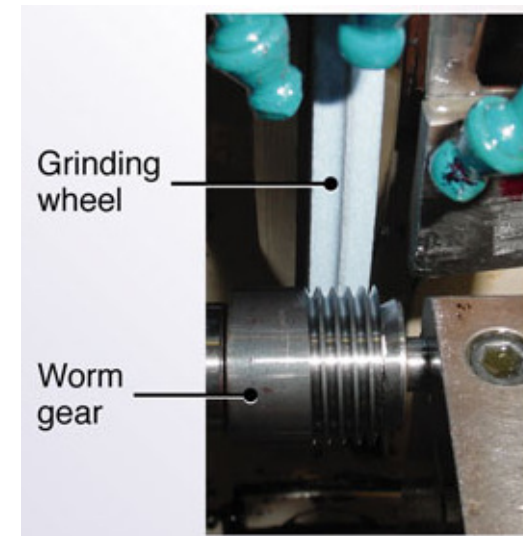
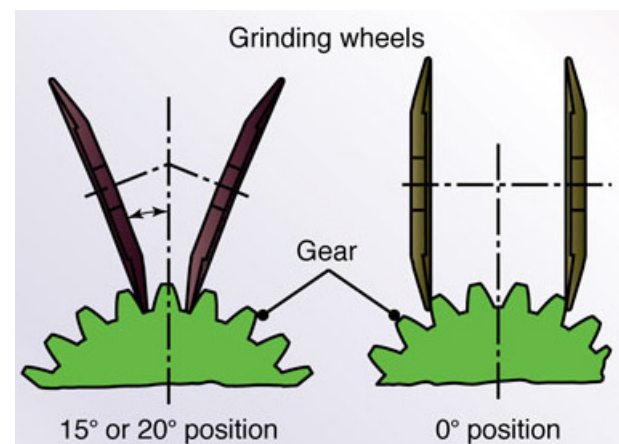
Mediante utensile e avanzamento continuo (ingranamento) per denti inclinati



Finitura delle ruote dentate

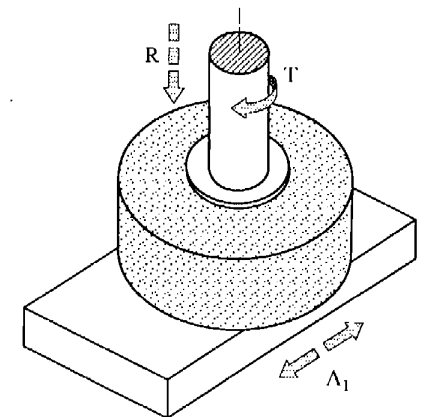
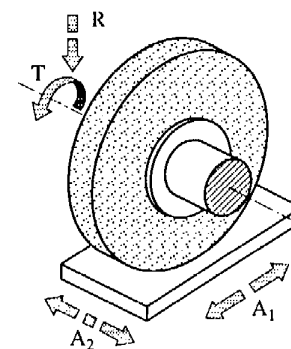
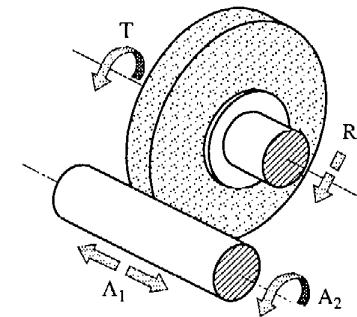


Mole di forma



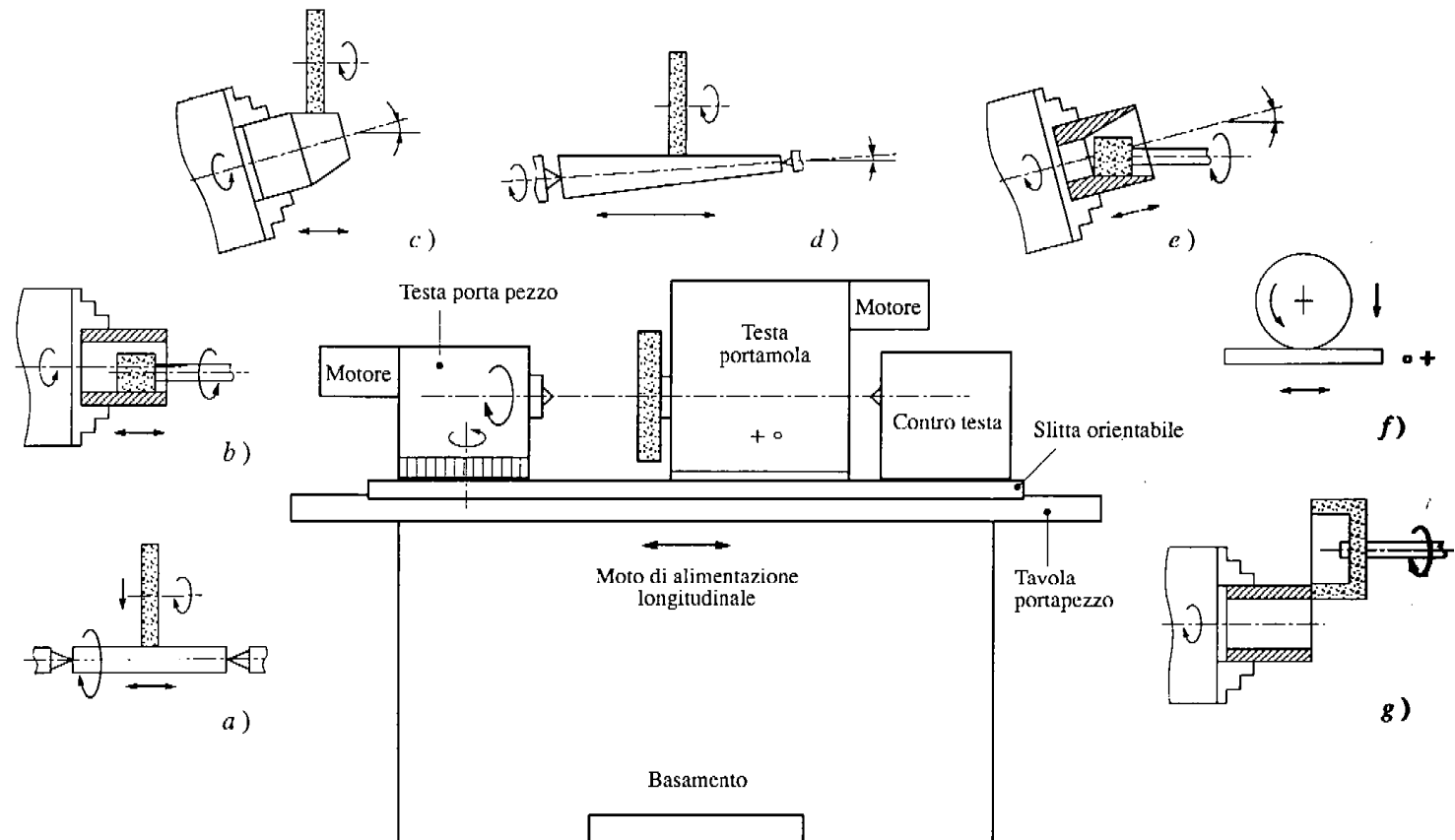
## Lavorazioni per abrasione (rettifica)

Moto di taglio	utensile	rotatorio
Moto di avanzamento	utensile / pezzo	rettilineo curvilineo
Moto di registrazione	utensile	
Moto di lavoro		(cicloidale) rettilineo





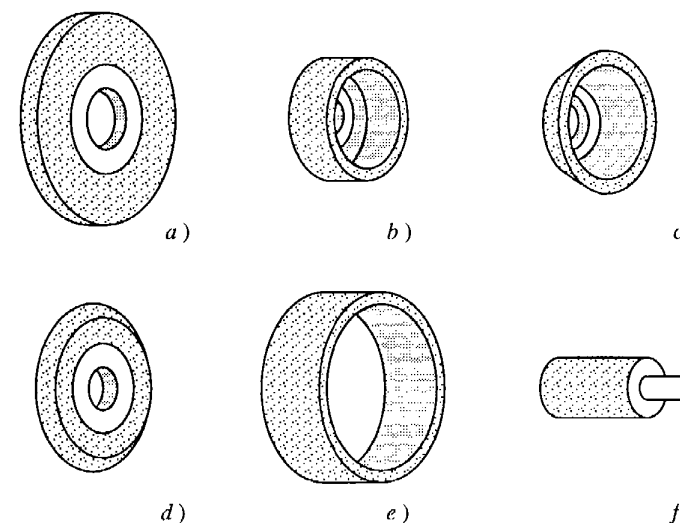
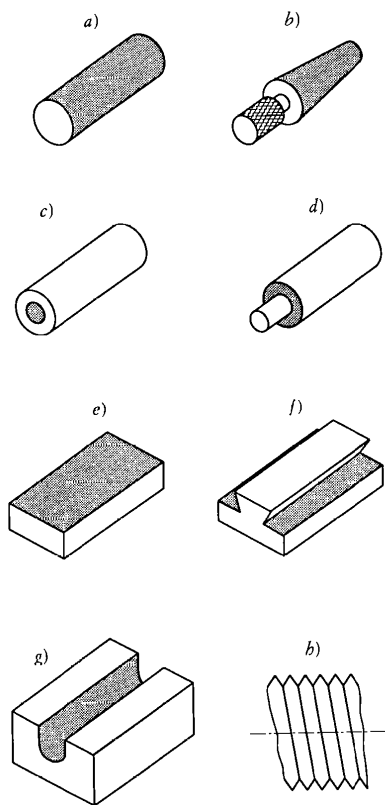
rettificatrice  
universale



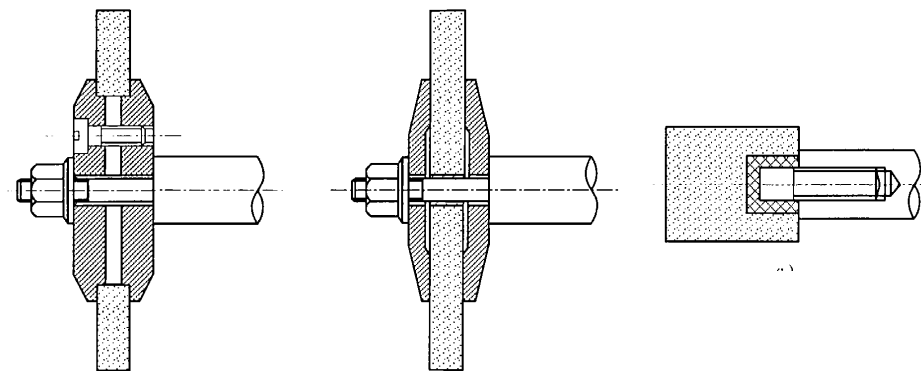




### Tipiche forme delle mole



### Montaggio mole





### Caratteristiche delle mole

- abrasivo**
- alundum  $Al_2O_3$
  - carborundum SiC
  - borazon NB nitruro di boro cubico
  - diamante
- legante**
- vetrosi (forti, rigidi buona finitura)
  - argille
  - silicati
  - feldspati
  - elastici (gomma)
  - alta velocità e finitura
  - resinosi (bachelite)
  - metallici per diamante

codifica Norton

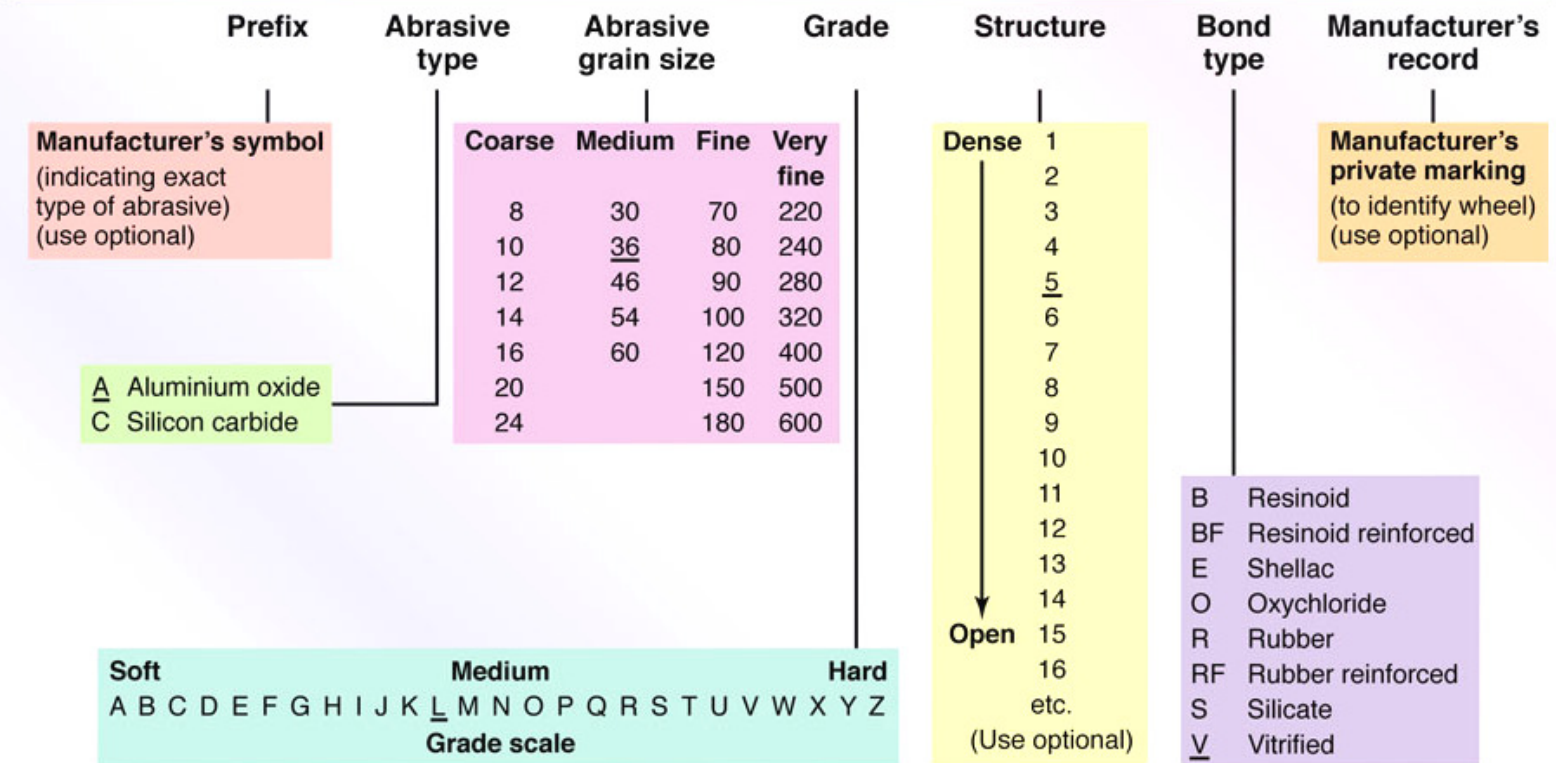
32A - 60 - M - 5 - VKP

	Abrasivo	Grana				Durezza				Struttura			Agglomerante					
		Grossa	Media	Fine	Fanissima	Tenerissima	Tenera	Media	Dura	Durissima	Chiusa	Media	Aperta	Vetrificato	Resinoido			
Alundum regol.	A	10	30	70	220	D	H	L	P	T	0	4	7	10	V	regolare	B	regolare
Alundum 19	19A	12	36	80	240	E	I	M	P	U	1	5	8	VA	tipo A	B 2	tipo B 2	
Alundum 32	32A	14	46	90	280	F	J	N	R	V	2	6	9	VBA	tipo BA	B 5	tipo B 5	
Alundum 38	38A	16	54	100	320	G	K	O	S	W	3	8	11	VBE	tipo BE	B 7	tipo B 7	
Alundum 44	44A	20	60	120	400	H	L	P	R	X	4	9	12	VC	tipo C	B 11	tipo B 11	
Alundum 37	37A	24	80	150	500	I	M	N	S	Y	5	10		VK	tipo K	B H	tipo B H	
Alundum 39	39A			180	600	J	N	O	T	Z	6	12		VP	superporoso			
														VREP	tipo BE			
														VKP	superporoso tipo K poroso			



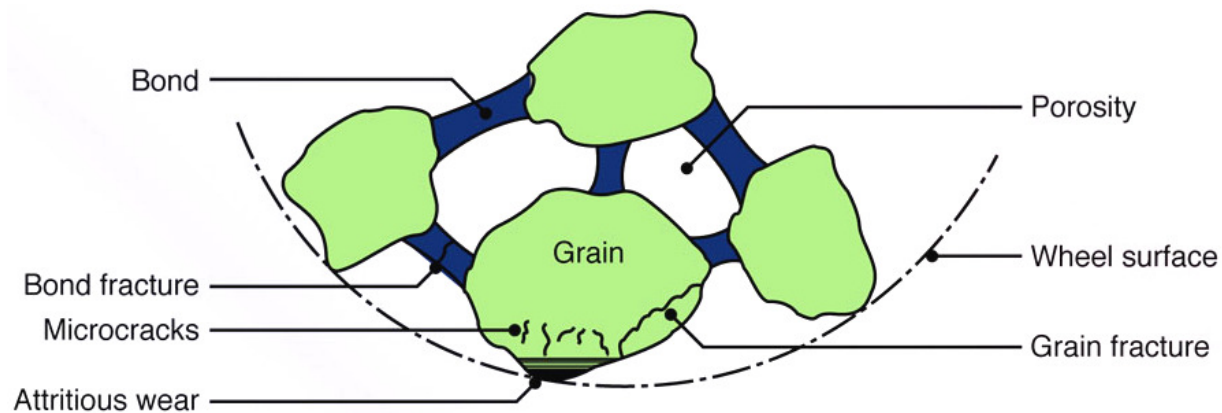
### Esempio di codifica Norton

Example: 51 – A – 36 – L – 5 – V – 23



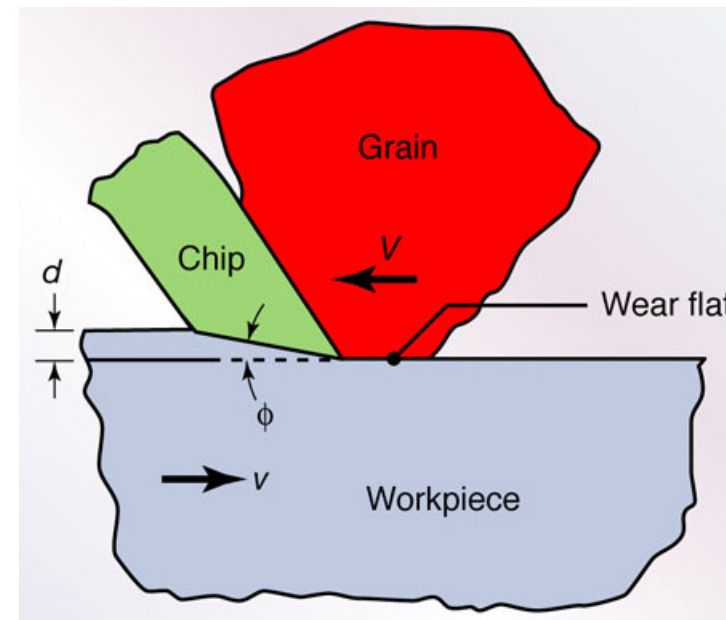
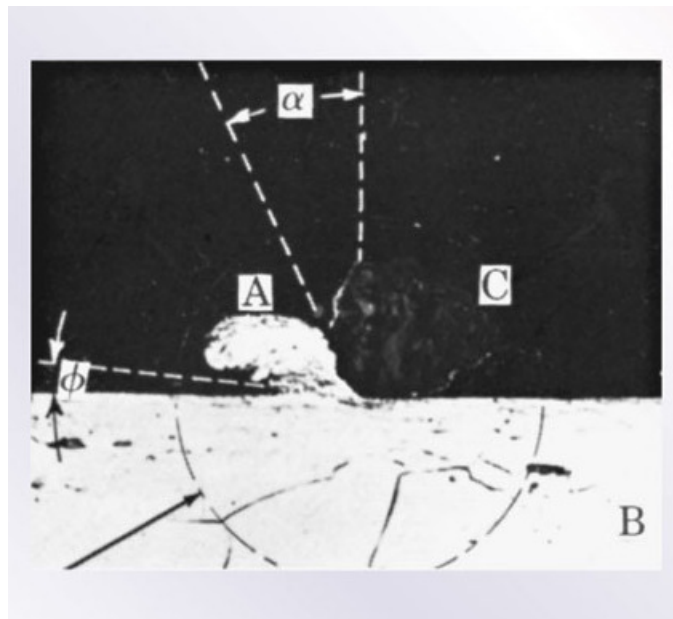


### Altre caratteristiche



- disposizione casuale dei grani attivi  
utensile elementare indefinito
- sezione del truciolo piccola e variabile
- $\gamma$  fortemente negativo
- elevato ricalcamento / strisciamento
- elevato  $K_s$
- generazione di elevate quantità di calore

Meccanica della rettifica



Formazione del truciolo

$$\text{Potenza} = F_t v_t$$

$$\text{MRR} \times K_s = \quad [\text{mm}^3/\text{s}] \quad [ \text{N}/\text{mm}^2 \text{ mm}/\text{mm} ]$$

$$= d_a d_r v_a K_s$$

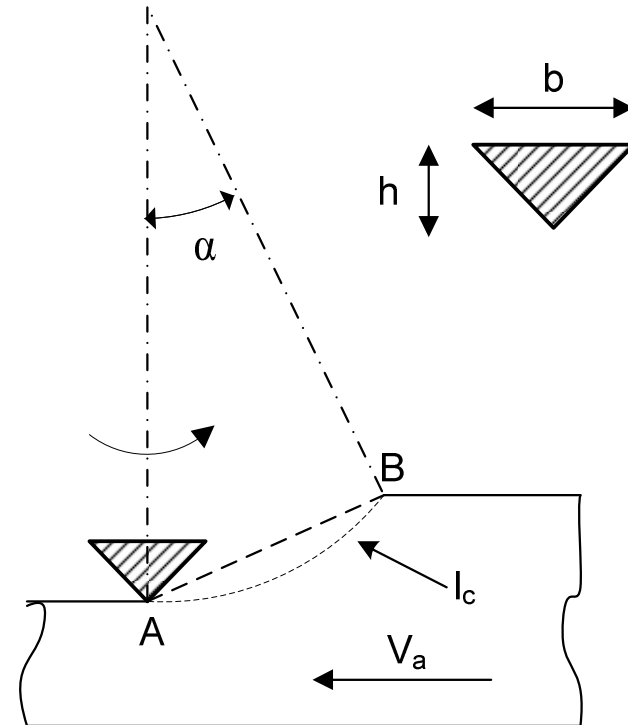
$$\rightarrow F_t = K_s A v_a / v_t$$

Sezione del truciolo

$$b = k_1 h$$

Volume del singolo truciolo

$$V_c = 1/3 \cdot 1/2 b h l_s$$





Lunghezza arco di contatto  $l_s = AB = \sqrt{d_r D}$

Numero di trucioli

$$N_c = k_2 \cdot V_t \cdot d_a \quad k_2 = \text{numero di grani attivi}$$

Volume totale asportato

$$V_c \cdot N_c = \frac{1}{6} k_1 \cdot s^2 \sqrt{d_r \cdot D} \cdot k_2 \cdot V_t \cdot d_a = MR = MRR \cdot 1 = d_a \cdot d_r \cdot V_a \cdot 1$$

$$s^2 = \frac{6 \cdot V_a \cdot d_r}{k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{d_r \cdot D} \cdot V_t} = \frac{6}{k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{D}} \frac{V_a \cdot \sqrt{d_r}}{V_t} = k_3 \frac{V_a}{V_t} \sqrt{d_r}$$

$v_a \uparrow$     $v_t \downarrow$     $d_r \uparrow$     $\longrightarrow$    comportamento tenero

