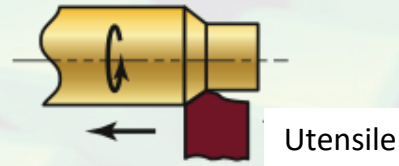
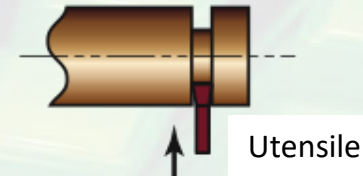


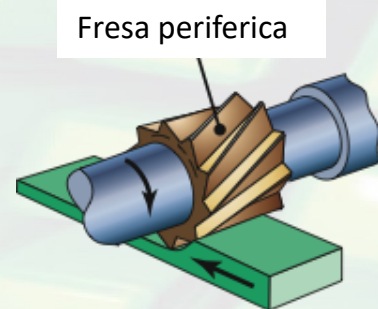
Comuni processi di Asportazione di Truciolo (*Machining*)



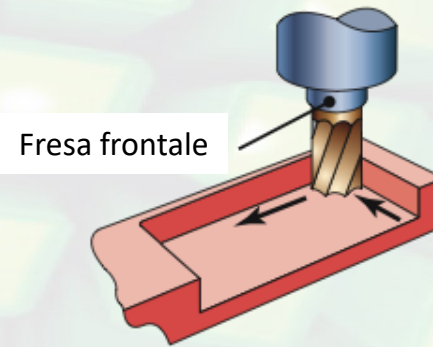
(a) Tornitura cilindrica



(b) Troncatura

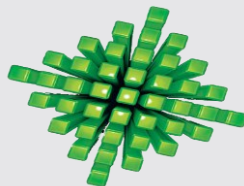


(c) Fresatura periferica

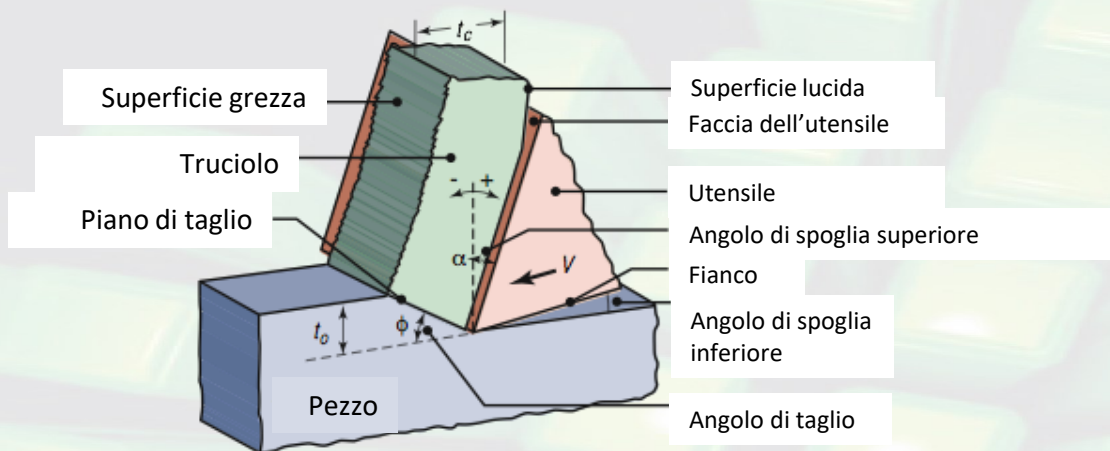


(d) Fresatura frontale

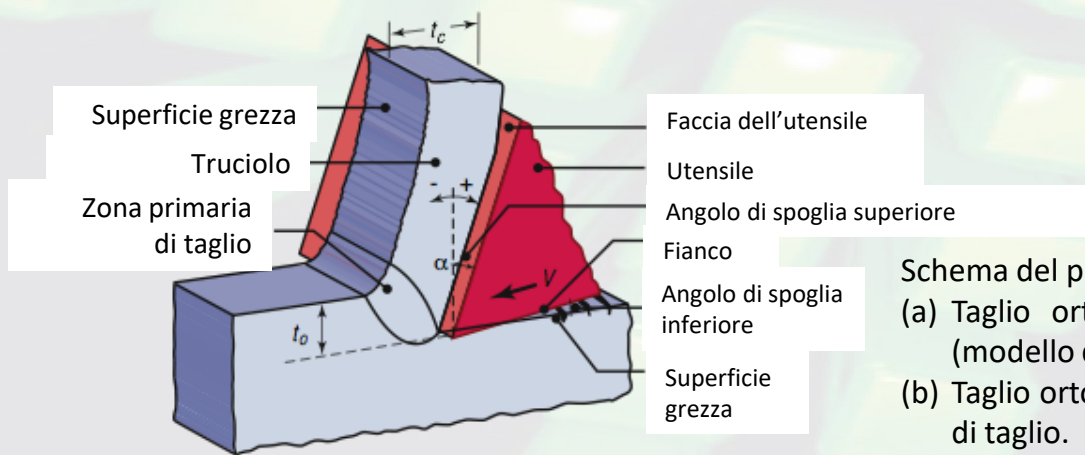
Alcuni esempi di processi di Asportazione di Truciolo



Taglio Ortogonale

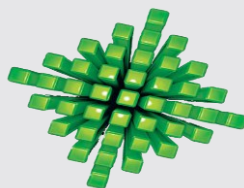


(a)



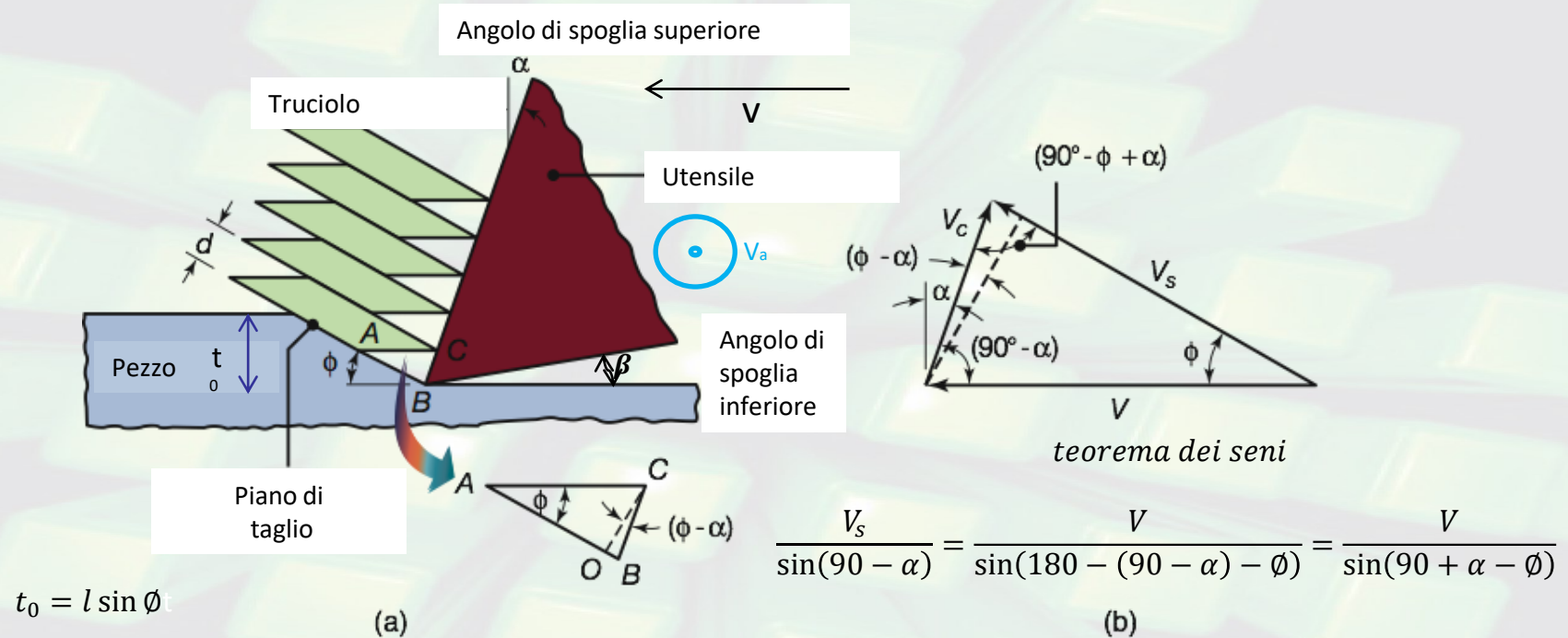
(b)

Schema del processo bidimensionale di taglio ortogonale:
 (a) Taglio ortogonale con un piano di taglio ben definito (modello di Merchant);
 (b) Taglio ortogonale ove non è presente un ben definito piano di taglio.



Formazione del truciolo

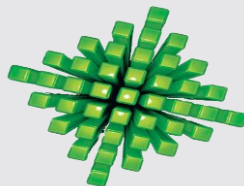
t_c = spessore truciolo è \perp alla superficie dell'utensile



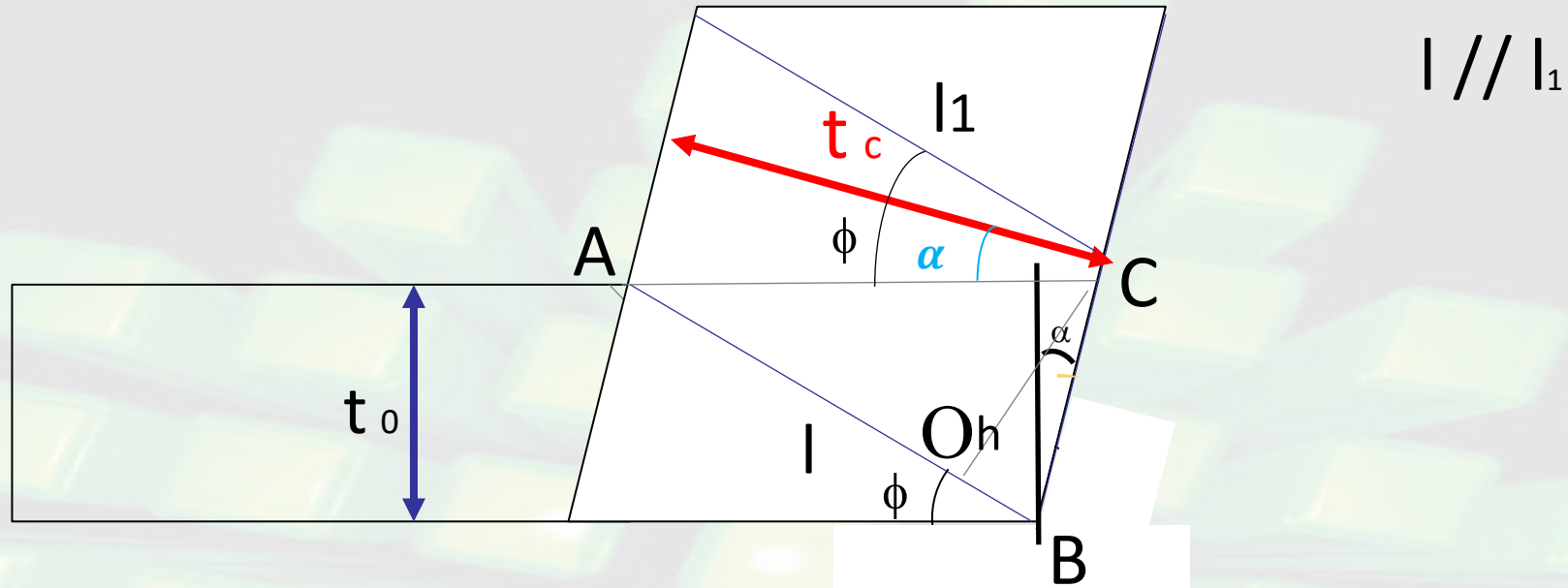
(a) Schema del meccanismo alla base della formazione del truciolo nella asportazione di truciolo.

(b) Diagramma della velocità nella zona di asportazione di truciolo:

- V = velocità di taglio (*cutting speed*)
- V_a =velocità di avanzamento (*feeding*)

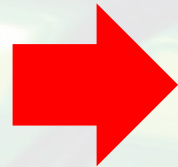


Formazione truciolo



$$t_0 = l \sin(\phi)$$

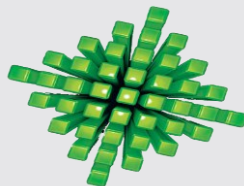
$$t_c = l \cos(\phi - \alpha)$$



$$r = \frac{t_0}{t_c} = \frac{l \sin(\phi)}{l \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \alpha)}$$

$$\gamma = \text{deformazione tangenziale} = \frac{AB}{OC} = \frac{AO + OB}{OC} = \frac{AO}{OC} + \frac{OB}{OC}$$

$$\text{Ma } \frac{CO}{OA} = \tan(\phi) \quad \frac{OB}{OC} = \tan(\phi - \alpha)$$



Formazione truciolo

$$\gamma = \frac{1}{\tan(\emptyset)} + \tan(\emptyset - \alpha) = \cot(\emptyset) + \tan(\emptyset - \alpha)$$

V_c =velocità del truciolo che scorre sulla superficie dell'utensile

V =velocità di taglio

Per **conservazione volume**

$$V_c \cdot t_c = V \cdot t_0$$

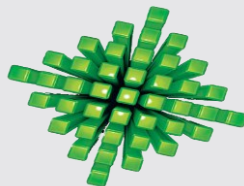
$$V_c = V \frac{t_0}{t_c} = V \cdot r = V \frac{\sin(\emptyset)}{\cos(\emptyset - \alpha)}$$

Per **Teorema dei seni**

$$\frac{V_s}{\sin(90 - \alpha)} = \frac{V}{\sin(180 - (90 - \alpha) - \emptyset)} = \frac{V}{\sin(90 + \alpha - \emptyset)}$$

Ma $\sin(90 - \alpha) = \cos(\alpha)$ e $\sin(90 - \emptyset + \alpha) = \cos(\emptyset - \alpha)$

$$\rightarrow \frac{V_s}{\cos(\alpha)} = \frac{V}{\cos(\emptyset - \alpha)} = \frac{V_c}{\sin(\emptyset)}$$



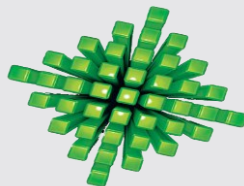
Formazione truciolo

- *Velocità di deformazione tangenziale* = $\dot{\gamma} = \frac{V_s}{d}$
- *Fattore di ricalcamento del truciolo* = $r = \frac{t_0}{t_c} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{1}{\lambda}$
- *Indice di compressione del truciolo* = $\lambda = \frac{1}{r} = \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\sin(\phi)} =$

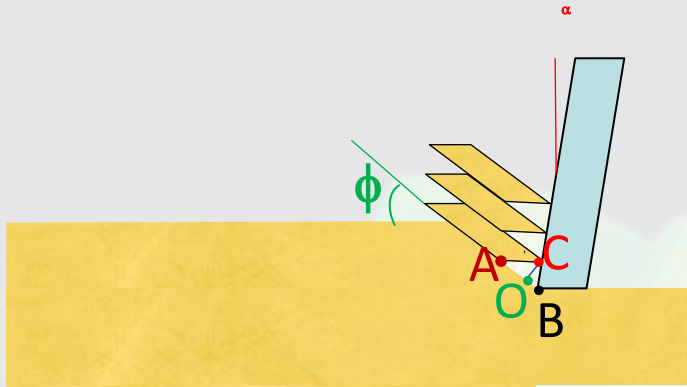
$$\begin{aligned} &= \frac{\cos \phi \cos \alpha + \sin \phi \sin \alpha}{\sin \phi} \\ &= \cot \phi \cos \alpha + \sin \alpha \quad \rightarrow \quad \cot \phi = (\lambda - \sin \alpha) \frac{1}{\cos \alpha} = \\ &= \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha \end{aligned}$$

- *Costanza volumetrica*

$$V_c = V \frac{t_0}{t_c} = V \cdot r = V \frac{1}{\lambda}$$



Formazione truciolo



$$\gamma = \text{deformazione a taglio nel piano di scorrimento} = \frac{AB}{CO} = \frac{AO}{CO} + \frac{OB}{CO} =$$

$$= \cot \phi + \tan(\phi - \alpha) = \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha + \tan(\phi - \alpha)$$

$$\bullet \cot \phi = \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha$$

Poi $\lambda \sin \phi = \cos(\phi - \alpha)$ e dividendo per $\sin(\phi - \alpha)$ diventa

$$\frac{\lambda \sin \phi}{\sin(\phi - \alpha)} = \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\sin(\phi - \alpha)} = \frac{1}{\tan(\phi - \alpha)}$$

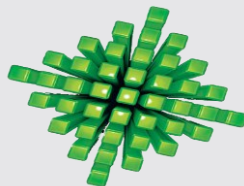
$$\bullet \tan(\phi - \alpha) = \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\lambda \sin \phi} = \frac{\sin \phi \cos \alpha - \cos \phi \sin \alpha}{\lambda \sin \phi} = \frac{\cos \alpha}{\lambda} - \frac{\sin \alpha}{\lambda \tan \phi} =$$

$$= \frac{\cos \alpha}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \cot \phi \sin \alpha = \frac{\cos \alpha}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha \right) \sin \alpha =$$

$$= \frac{\cos \alpha}{\lambda} - \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{1}{\lambda} \tan \alpha \sin \alpha =$$

$$= \frac{1}{\lambda} (\cos \alpha + \tan \alpha \sin \alpha) - \tan \alpha = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\cos \alpha^2 + \sin \alpha^2}{\cos \alpha} \right) - \tan \alpha =$$

$$= \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - \tan \alpha$$



Formazione truciolo

$$\begin{aligned}\gamma = \text{deformazione tangenziale} &= \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha + \tan(\phi - \alpha) = \\ &= \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha + \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - \tan \alpha = \frac{\lambda}{\cos \alpha} + \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - 2 \tan \alpha\end{aligned}$$

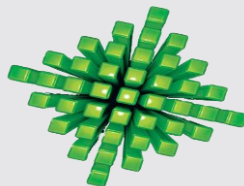
Cerchiamo adesso il minimo di γ in funzione di λ

$$\text{Quindi } \frac{d\gamma}{d\lambda} = 0 = \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{1}{\cos \alpha} \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\cos \alpha} \left(1 - \frac{1}{\lambda^2}\right) = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2} \frac{1}{\cos \alpha}$$

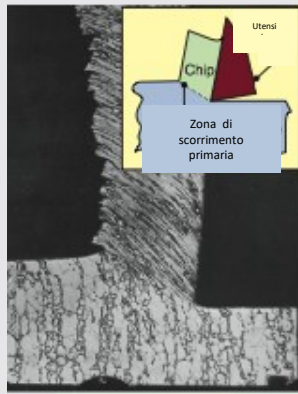
Per $\lambda = 1$  $\frac{d\gamma}{d\lambda} = 0$ *per qualsiasi α*

$$\text{Quindi } \gamma_{\min \lambda=1} = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{\cos \alpha} - 2 \tan \alpha = 2 \left(\frac{1}{\cos \alpha} - \tan \alpha \right) = 2 \left(\frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha} \right)$$

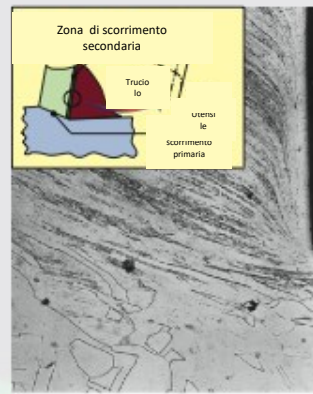
***γ è più facile calcolarlo in funzione di α e λ piuttosto che ϕ ed α
e presenta il minimo indipendentemente da α per $\lambda=1$***



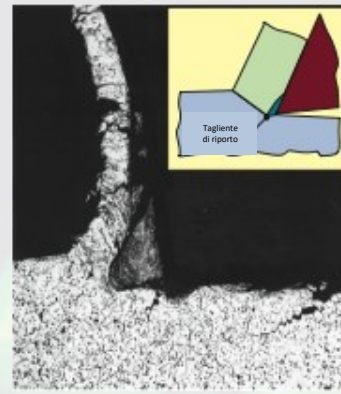
Tipi di truciolo



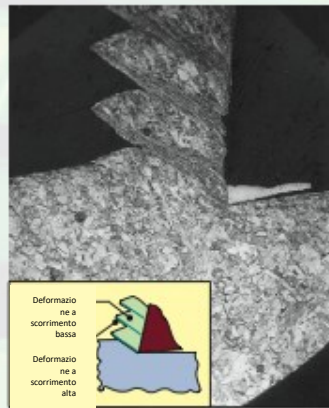
(a)



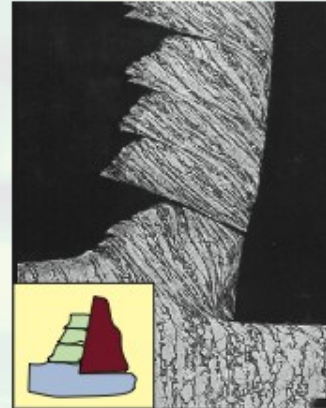
(b)



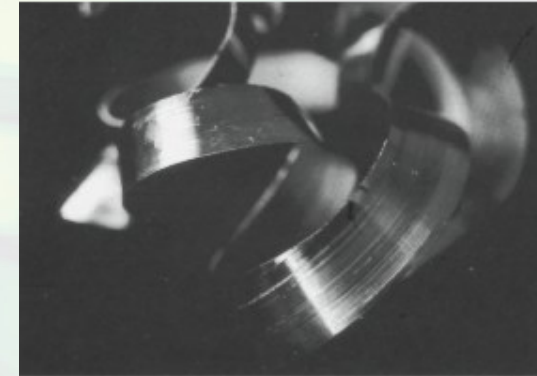
(c)



(d)



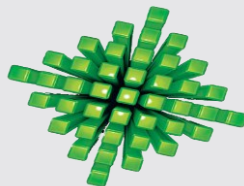
(e)



Tipologie di truciolo prodotte nell'asportazione di truciolo e le corrispondenti micrografie:

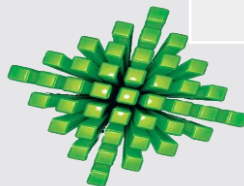
- (a) Truciolo continuo con zona primaria di scorrimento stretta e rettilinea;
- (b) Zona di scorrimento secondaria all'interfaccia tra utensile e truciolo;
- (c) Truciolo continuo con tagliante di riporto (BUE);
- (d) Truciolo segmentato o non omogeneo;
- (e) Truciolo discontinuo.

Superficie lucida (brunita) sulla parte del truciolo a contatto con l'utensile durante un'operazione di tornitura.

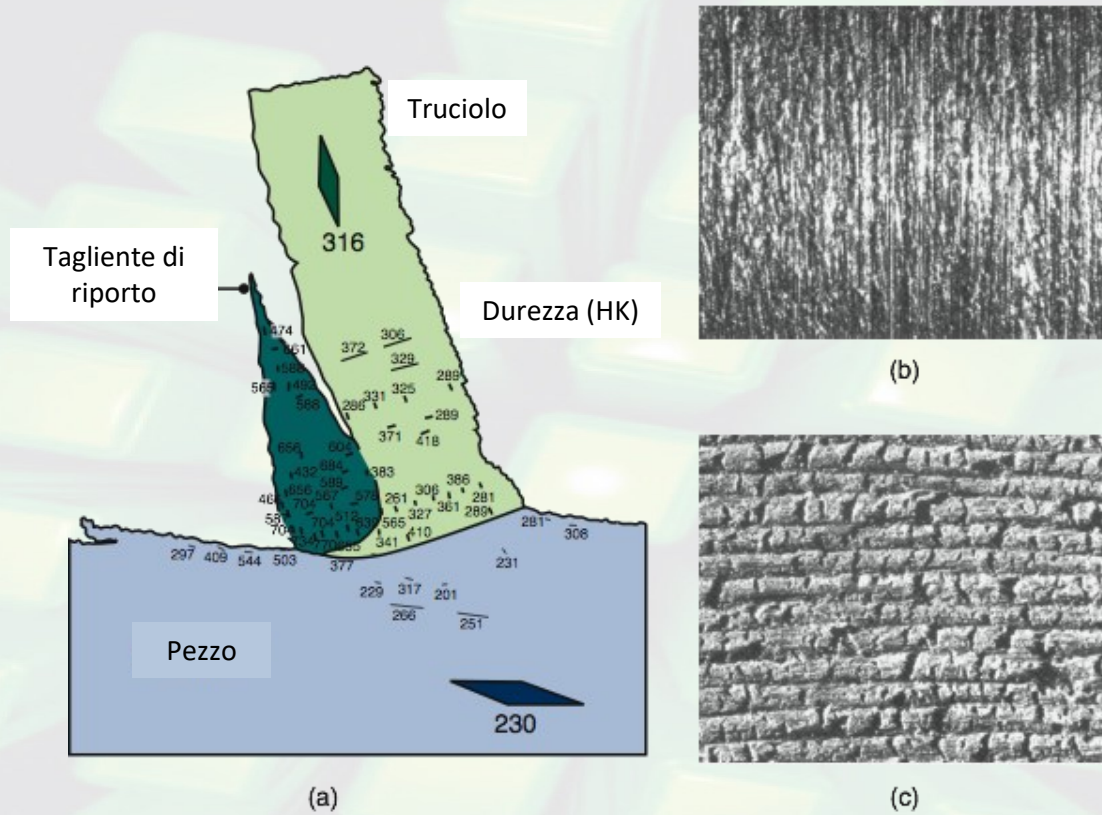


Tipi di truciolo

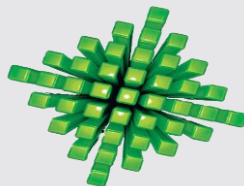
Tipo	Caratteristiche	Pro	Contro	Rimedi
<i>Continuo</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Materiale facilmente lavorabile; • Processo stabile 	Il truciolo si aggroviglia: <ul style="list-style-type: none"> • Rovina la superficie lavorata; • Impedisce la lubrorefrigerazione; • Può danneggiare l'utensile 	<ul style="list-style-type: none"> • Rompitruciolo; • Materiali modificati: <ul style="list-style-type: none"> • Acciaio al bismuto • Ottoni automatici
<i>Segmentato</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Materiale cattivo conduttore termico; • Materiale con tensione (σ) sensibile alla temperatura 			
<i>Discontinuo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Materiali più fragili; • Materiali con strutture discontinue o contenenti inclusioni e impurità 		<ul style="list-style-type: none"> • Velocità di taglio troppo bassa o troppo alta; • Profondità di passata troppo elevata o α troppo piccolo; • Scarsa rigidità della macchina; • Scarsa lubrorefrigerazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variare la velocità di taglio; • Ridurre la profondità di passata o aumentare α; • Migliorare la rigidità e capacità di smorzamento della macchina; • Migliorare la lubrorefrigerazione.
<i>Tagliente di riporto (B.U.E.)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Materiale fortemente incrudente • Attrito elevato 	Il tagliente non si usura	<ul style="list-style-type: none"> • Scarsa finitura superficiale; • Incorretta geometria di taglio; • Insorgere di vibrazioni 	Scompare se: <ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la velocità di taglio v; • Diminuisce la profondità di passata t_0; • Aumenta l'angolo di spoglia superiore α; • Il lubrorefrigerante è efficace.



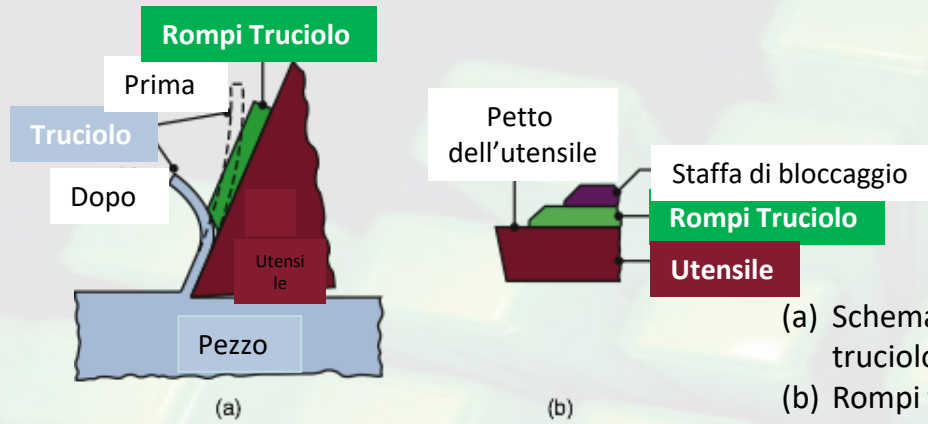
Durezza nella zona di taglio



- (a) Distribuzione della durezza nella zona di taglio per un acciaio 3115. notare che alcune zone nel tagliante di riporto presentano valori anche tre volte maggiori di quelle del pezzo nel suo cuore,
- (b) Finitura superficiale nella tornitura di un acciaio 5130 in presenza di tagliante di riporto.
- (c) Finitura superficiale nella fresatura frontale di un acciaio 1018.



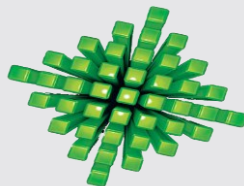
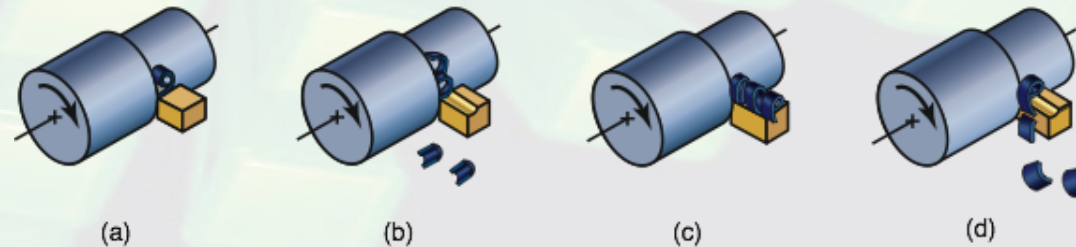
Rompi truciolo



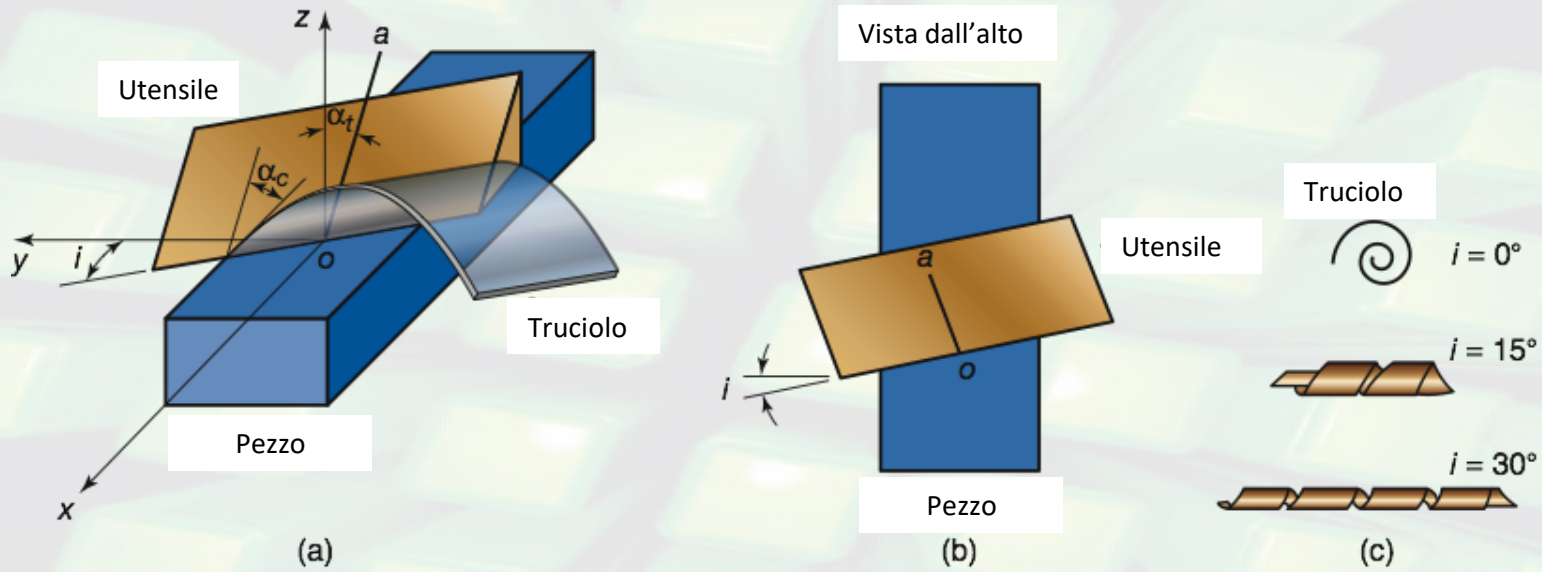
- (a) Schema dell'azione del rompi truciolo. Notare che il rompi truciolo diminuisce il raggio di curvature del truciolo.
- (b) Rompi truciolo fissato sul petto dell'utensile.
- (c) Scanalature sul petto dell'utensile agenti come rompi truciolo. Gran parte degli utensili sono inseriti con caratteristiche di rompi truciolo incluse.

Vari trucioli prodotti nella tornitura:

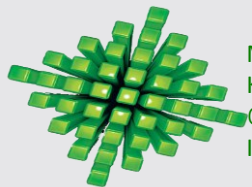
- (a) Truciolo fortemente arricciato;
- (b) Truciolo che urta il pezzo e si rompe;
- (c) Continuo che si allontana dal pezzo con moto radiale;
- (d) Truciolo che urta lo stelo e si rompe.



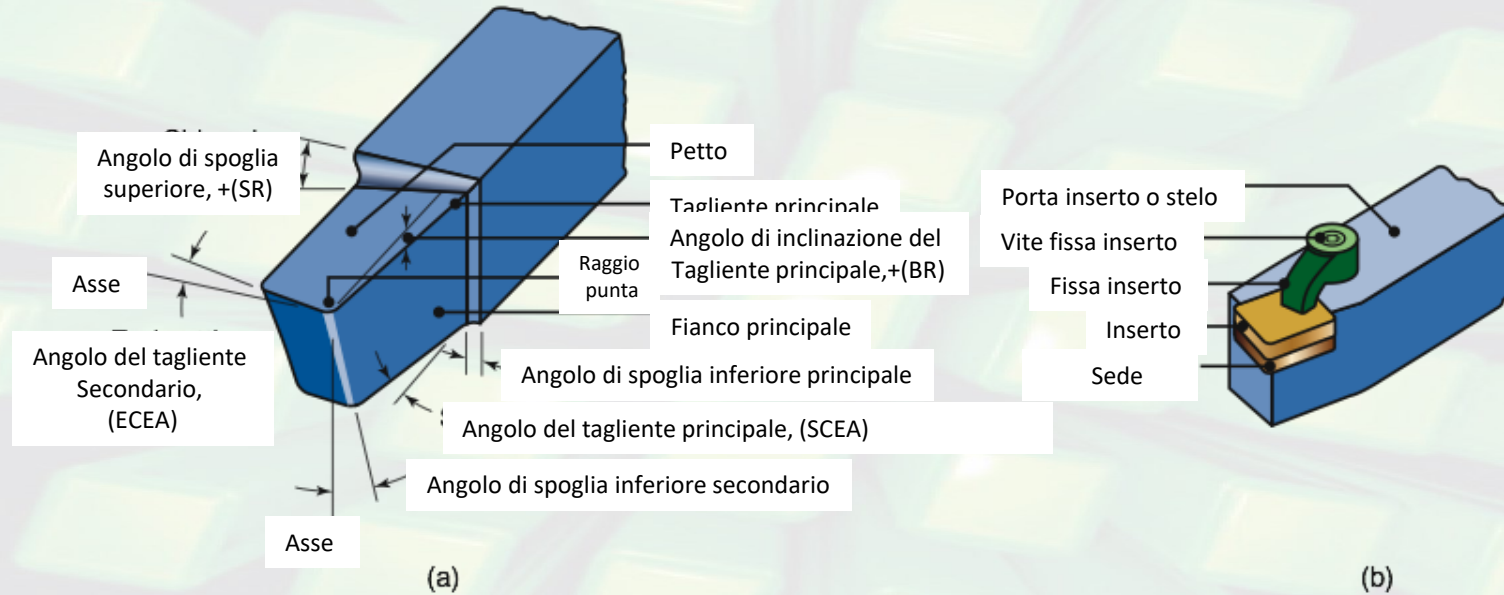
Taglio obliquo



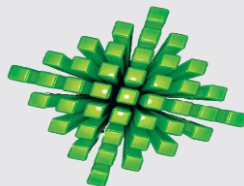
- (a) Schema del taglio obliquo
(b) Vista dall'alto, nella quale si vede l'angolo di inclinazione, i
(c) Tipi di truciolo ottenuti con differenti angoli di inclinazione.



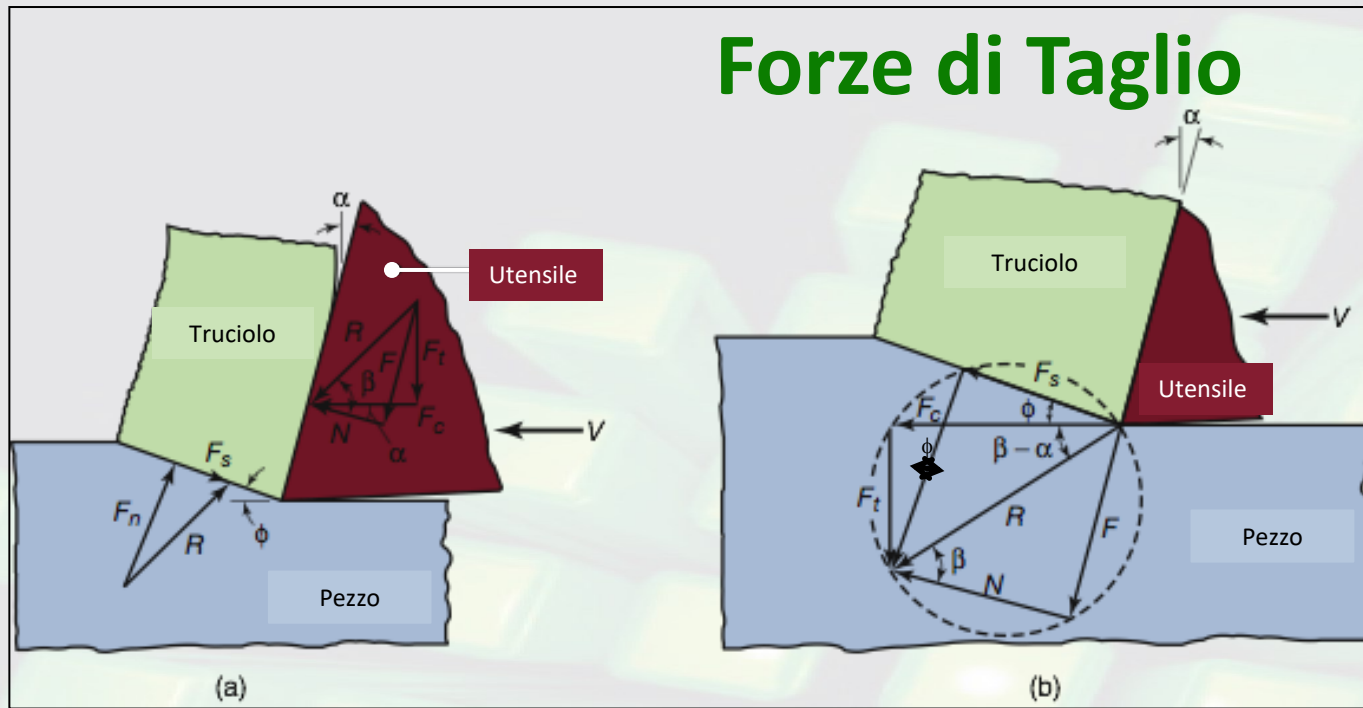
Utensile destro



(a) Schema dell'utensile destro per tornitura. Sebbene questi utensili siano stati prodotti partendo da barre piene di acciaio per utensili, oggi sono sostituiti da barre con inserti di carburo o altro materiale da utensile come mostrato in (b).



Forze di Taglio



$$F_c = R \cos(\beta - \alpha)$$

$$F_t = R \sin(\beta - \alpha)$$

$$F_c \sin(\beta - \alpha) = \cos(\beta - \alpha)$$

$$\tan(\beta - \alpha) = \frac{F_t}{F_c}$$

- (a) Forze attive sull'utensile nel taglio bidimensionale. Notare che la risultante R sull'utensile deve essere allineata alla risultante agente sul truciolo.
- (b) Circolo delle forze per determinare le diverse forze agenti nella zona di taglio.

$$R = \frac{F_c}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{F_t}{\sin(\beta - \alpha)}$$

$$= \sqrt{F_c^2 + F_t^2} =$$

$$F_s = R \cos(\phi + (\beta - \alpha))$$

$$= \frac{F_c}{\cos(\beta - \alpha)} \cos(\phi + (\beta - \alpha)) \quad \mu = \tan \beta = \frac{F}{N} = \frac{F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha}{F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha} = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \tan \alpha}$$

$$F = R \sin \beta = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha$$

$$N = R \cos \beta = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha$$

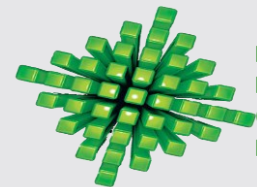
$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi$$

Coefficiente di attrito apparente

Forza di taglio

$$F_c = R \cos(\beta - \alpha) = \frac{wt_0 \tau \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$



Forze di Taglio

Poiché la forza F_s agisce sull'area A_s data da

$$A_s = bl = b \frac{t_0}{\sin \phi}$$

Avremo che

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_c}{\cos(\beta - \alpha)} \cos(\phi + \beta - \alpha) \frac{\sin \phi}{bt_0}$$

Ed assumendo β indipendente da ϕ potremo calcolare

$$\frac{d\tau}{d\phi} = \frac{F_c}{bt_0 \cos(\beta - \alpha)} [\cos \phi \cos(\phi + \beta - \alpha) - \sin \phi \sin(\phi + \beta - \alpha)] = 0$$

$$[\cos \phi \cos(\phi + \beta - \alpha) - \sin \phi \sin(\phi + \beta - \alpha)] = 0$$

$$\frac{1}{\tan \phi} = \tan(\phi + \beta - \alpha) = \cot \phi = \tan(90^\circ - \phi)$$

$$(\phi + \beta - \alpha) = (90^\circ - \phi)$$

$$2\phi = 90^\circ + \alpha - \beta$$

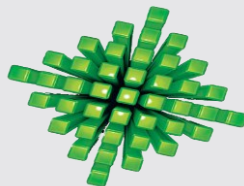
$$\phi = 45^\circ + \frac{\alpha - \beta}{2}$$

Cioè ϕ decesce

- al decescere di α
- al crescere di β (cioè dell'attrito)



Aumenta lo spessore t del truciolo



Forze di Taglio

$$\tan(\beta - \alpha) = \frac{F_t}{F_c}$$

$$F_t = F_c \tan(\beta - \alpha)$$

F_c è sempre >0 quindi

- Se $\beta - \alpha > 0$ $F_t > 0$ (orientata verso il basso) avvicina l'utensile
- Se $\beta - \alpha < 0$ $F_t < 0$ (orientata verso l'alto) allontana l'utensile

Problemi:

- β è difficile da determinare perché non si riescono a misurare facilmente le forze;
- anche ϕ è difficile da calcolare.

