



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



PAS _ A020 _ UNIPD _ 2015

*Didattica delle tecnologie meccaniche di
processo e di prodotto.*

Professore Domenico Fernando Antonucci



PAS _ A020 _ UNIPD _ 2015



*Didattica delle tecnologie meccaniche di
processo e di prodotto.*

Analisi, Riflessioni, Esercitazioni

Professore Domenico Fernando Antonucci



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Formazione del truciolo

Utensile : geometria ed angoli caratteristici.

Rappresentazioni grafiche di utensili monotaglianti.

Caratteristiche dei trucioli.

Meccanismo di distacco del truciolo e modelli di studio.

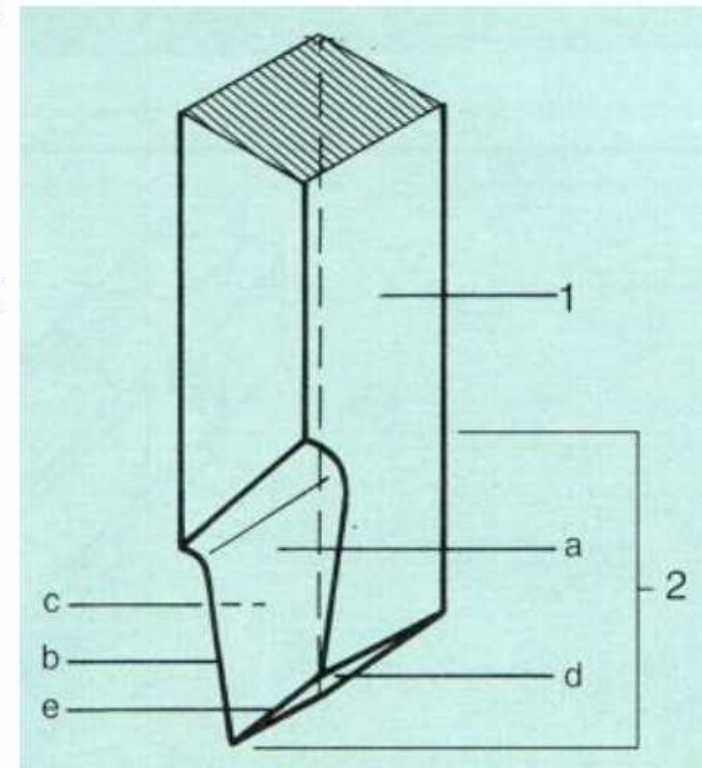


Gli utensili: nozioni generali

In figura è mostrato un utensile molto comune, impiegato sul tornio.

Le sue parti principali sono:

1 stelo, che collega l'utensile agli organi di fissaggio della macchina;

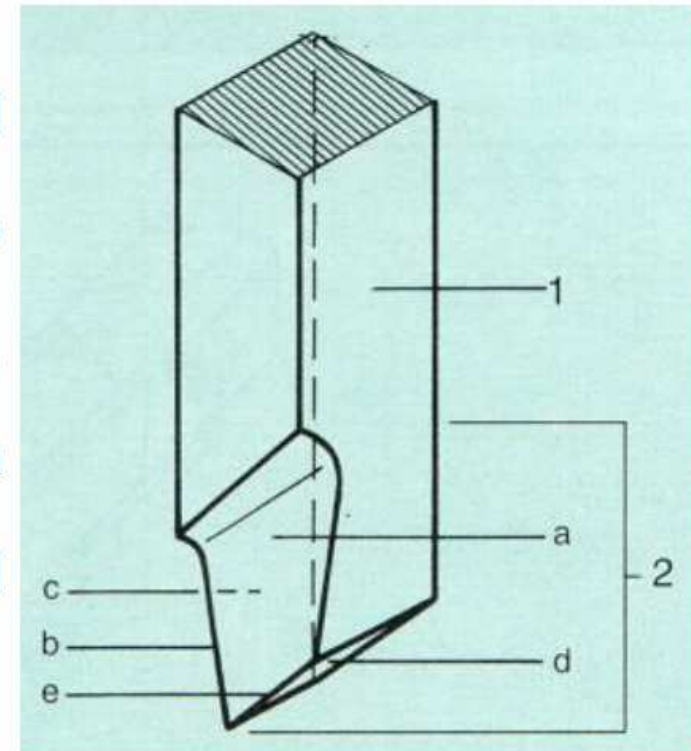




Gli utensili: nozioni generali

2 testa o nasello, che comprende:

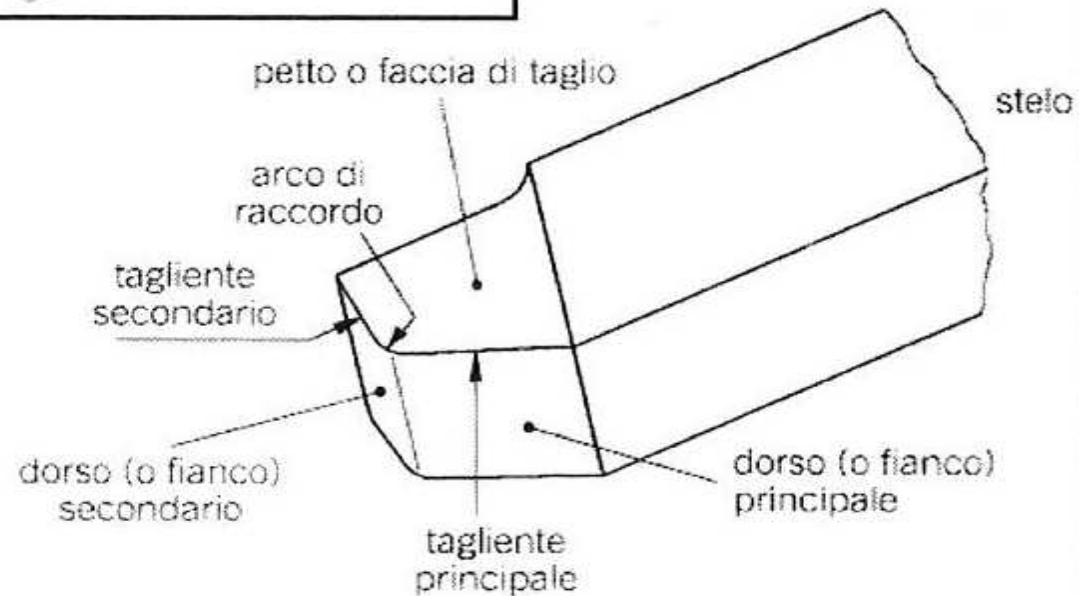
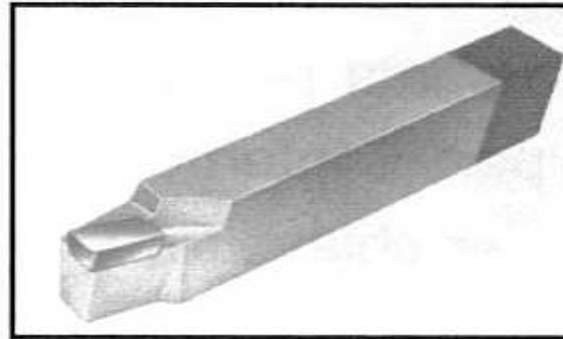
- a. petto o faccia superiore, su cui scorre il truciolo;
- b. tagliente principale, che si incunea tra il pezzo e il truciolo;
- c. fianco principale, o parte adiacente al petto, rivolta verso la superficie da lavorare;
- d. fianco secondario, la parte rivolta verso la superficie già lavorata;
- e. tagliente secondario, formato dal petto e dal fianco secondario.





Caratteristiche geometriche e di forma di utensili monotaglienti

- stelo
- testa
- petto o faccia di taglio
- dorso o fianco principale
- dorso o fianco secondario
- tagliente principale
- tagliente secondario
- arco di raccordo





Caratteristiche geometriche e di forma di utensili monotaglienti

Stelo: parte dell'utensile che ne consente l'afferraggio alla torretta

Testa: parte dell'utensile che stabilisce il contatto diretto con il pezzo e sulla quale si trovano superfici attive e taglienti

Petto o faccia: superficie attiva sulla quale si forma e scorre il truciolo

Dorso o fianco: superficie attiva adiacente al petto

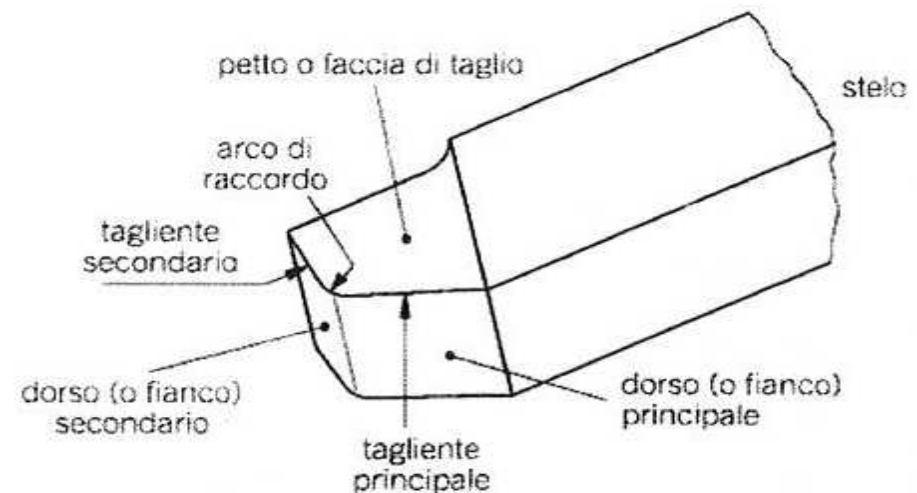
Dorso principale: superficie laterale contigua al petto

Dorso secondario: superficie laterale prospiciente la superficie lavorata

Tagliente principale: spigolo di intersezione petto-dorso principale

Tagliente secondario: spigolo di intersezione petto-dorso secondario

Arco di raccordo: arco di cerchio che raccorda i taglienti



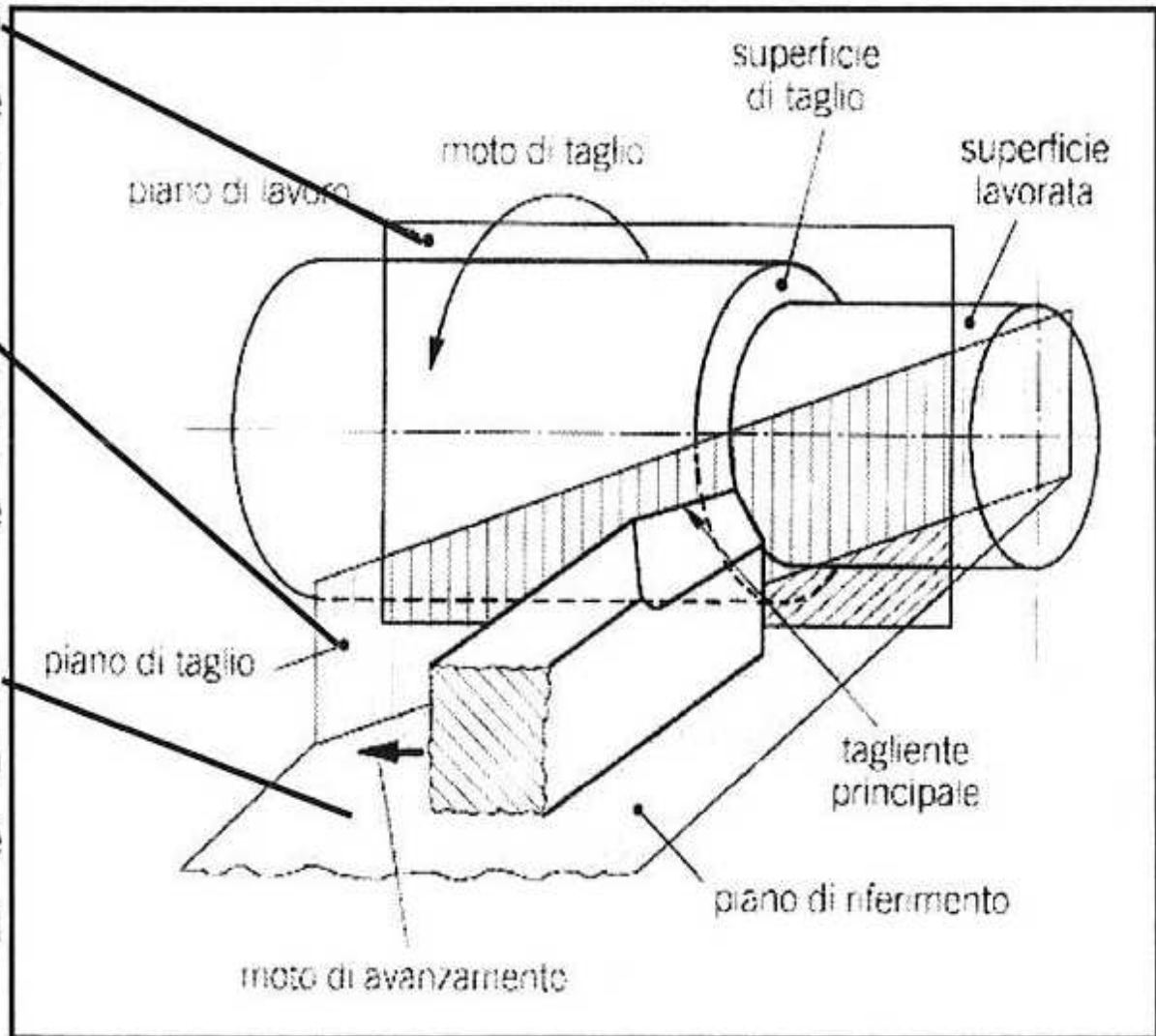
Riferimenti spaziali

Servono per definire le caratteristiche geometriche dell'utensile e le condizioni di taglio.

Piano di lavoro: piano contenente la direzione dei moti di taglio e di avanzamento

Piano di taglio: piano, \perp a quello di riferimento, su cui giace il tagliente principale

Piano di riferimento: piano di appoggio dello stelo sulla superficie orizzontale della torretta portautensili

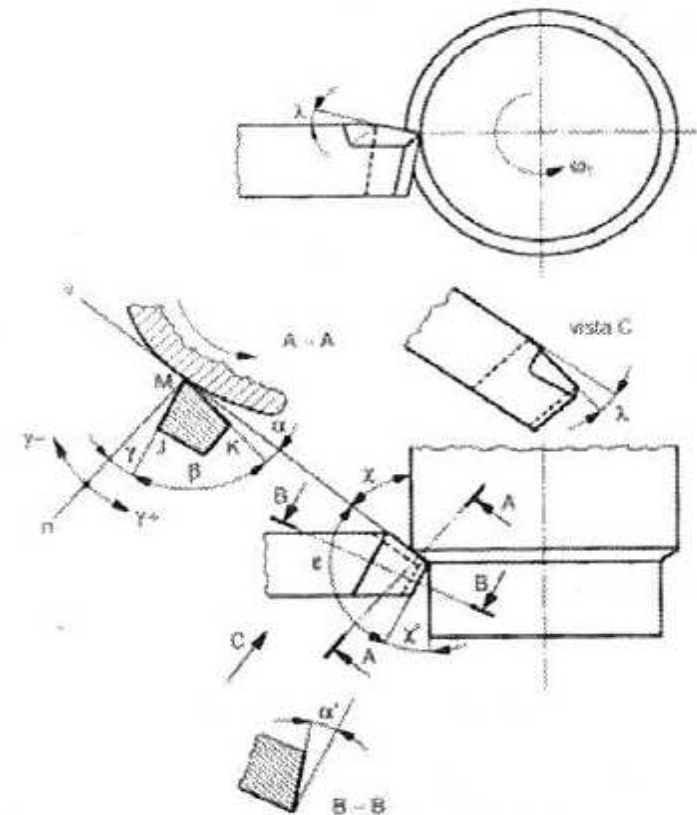




Angoli di taglio

Caratterizzano la parte dell'utensile direttamente impegnata nell'operazione di taglio (testa)

- **Sezione A-A:** sezione, la cui traccia A-A è \perp al tagliente principale, eseguita con un piano \perp a quello di riferimento.
- **Sezione B-B:** sezione, la cui traccia B-B è \perp al tagliente secondario, eseguita con un piano \perp a quello di riferimento.





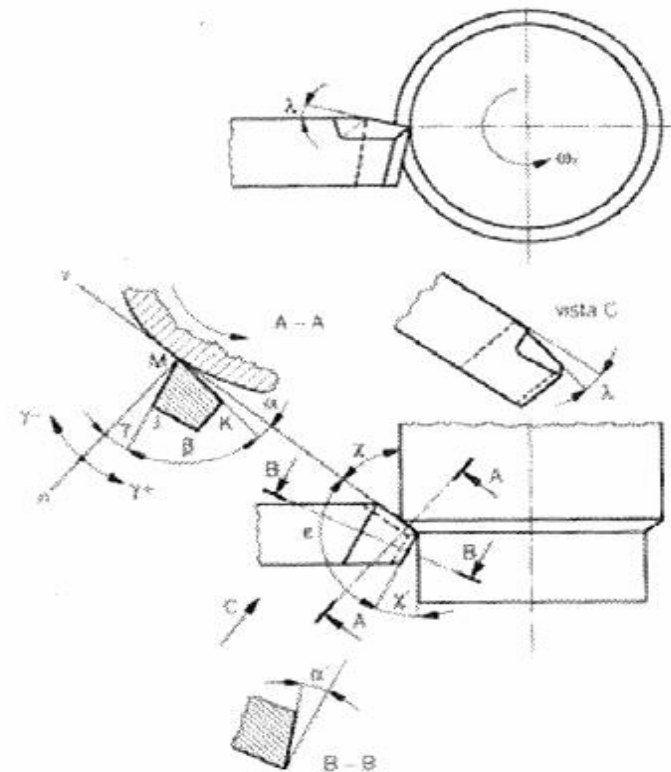
Angoli di taglio

• **Angolo di spoglia frontale γ** : angolo tra petto e piano di riferimento. Nella sez. A-A è formato dalla traccia del petto con la \perp alla direzione del moto di taglio

• **Angolo di spoglia dorsale α** : angolo tra dorso principale e piano di taglio. Nella sez. A-A è formato dalla traccia del dorso principale con la direzione del moto del taglio

• **Angolo di taglio β** : angolo tra petto e dorso principale. Nella sez. A-A è compreso tra le tracce del petto e del dorso principale ($\alpha + \beta + \gamma = \pi/2$)

• **Angolo di spoglia dorsale secondario α'** : angolo tra dorso secondario e un piano contenente il tagliente secondario e \perp al piano di riferimento. Nella sez. B-B è formato dalla traccia del dorso secondario con la direzione del moto del taglio

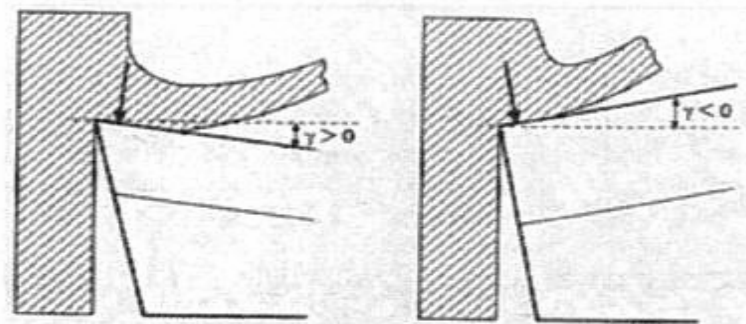




Angoli di taglio

Angolo di spoglia frontale γ

- Determina, con l'angolo λ , la posizione del petto rispetto al piano di riferimento e quindi influenza il meccanismo di formazione del truciolo
- E' considerato positivo se il petto forma con la direzione di taglio un angolo $> 90^\circ$, negativo in caso contrario
- Scelto in funzione del materiale dell'utensile, del materiale in lavorazione e dei parametri di taglio





Angoli di taglio

Angolo di spoglia frontale γ

$\gamma > 0$

- minori deformazioni e forze per produrla
- riduzione dell'attrito sul petto grazie alla diminuzione della pressione di taglio



- riduzione della potenza assorbita e della temperatura di taglio
- possibilità di scelta dei parametri di taglio in modo meno conservativo con evidenti vantaggi produttivi
- riduzione della resistenza meccanica dell'utensile

$\gamma \leq 0$

- aumento della sezione resistente
- sollecitazione prevalente a compressione anziché a taglio necessaria con materiali per utensili poco tenaci (es. ceramici)
- aumento di forze, potenze assorbite e temperature di taglio



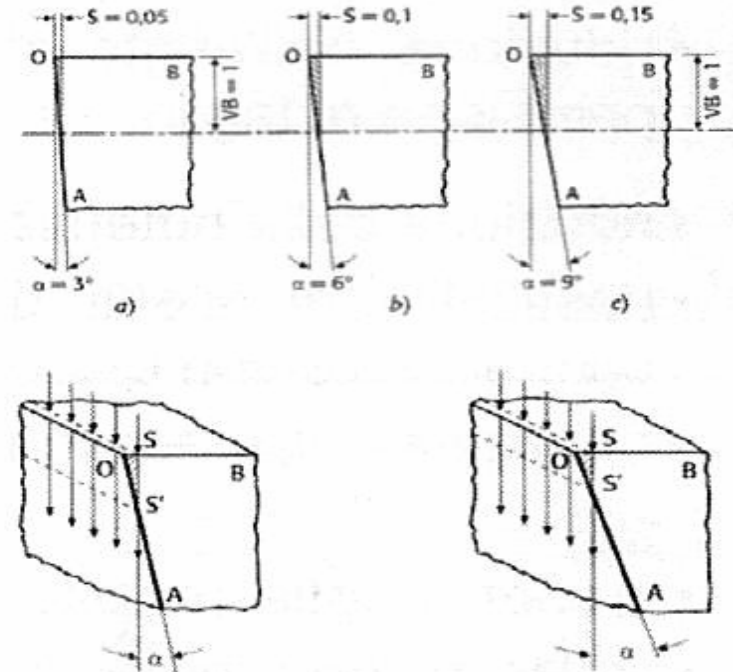
Valori caratteristici dell'angolo γ

Materiale da lavorare	Materiale dell'utensile				
	Acciai	Carburi sinterizzati	Ceramici	Diamanti sintetici	Diamanti naturali
Acciaio UNI-C20 TD	15°-25°	8°-18°	-4°- -6°	—	—
Acciaio UNI-C20 TD	12°-20°	8°-14°	-4°- -6°	—	—
Acciaio UNI-C20 TD	10°-16°	6°-10°	-4°- -6°	—	—
Acciai debolmente legati	9°-16°	6°-12°	-4°- -6°	—	—
Acciaio al manganese (12% Mn)	-2°- +3°	-6°- +3°	-4°- -6°	—	—
Acciai inox (ferritici e martensitici)	12°-18°	6°-12°	-4°- -6°	—	—
Acciai inox (austenitici)	8°-25°	4°-20°	-4°- -6°	—	—
Ghise grigie (UNI-G10/G20)	8°-15°	4°-10°	-4°- -6°	—	—
Ghise grigie (UNI-G25/G35)	3°-10°	0°-8°	-4°- -6°	—	—
Ghisa malleabile a truciolo corto	6°-10°	4°-8°	-4°- -6°	—	—
Ghisa malleabile a truciolo lungo	6°-12°	4°-8°	-4°- -6°	—	—
Ghisa sferoidale	6°-12°	4°-8°	-4°- -6°	—	—
Alluminio e leghe allo stato ricotto	15°-35°	10°-25°	-4°- -6°	-4°- -6°	0°-3°
Leghe fuse di alluminio	8°-20°	4°-12°	-4°- -6°	-4°- -6°	0°-3°
Rame	20°-30°	15°-20°	-4°- -6°	-4°- -6°	-10°-0°
Bronzo fuso	0°-8°	0°-5°	-4°- -6°	-4°- -6°	-10°-0°
Bronzo di alluminio	10°-15°	4°-10°	-4°- -6°	-4°- -6°	-10°-0°
Ottone	8°-16°	4°-12°	-4°- -6°	-4°- -6°	-10°-0°
Materie plastiche	8°-18°	15°-26°	-4°- -6°	-4°- -6°	-10°-0°

Angoli di taglio

Angolo di spoglia dorsale principale α

- Ha la funzione di impedire lo strisciamento del dorso dell'utensile sulla superficie lavorata $\Rightarrow \alpha > 0$ L'aumento di α causa:
- il raggiungimento, in un tempo maggiore, del valore ammissibile di usura
- la diminuzione della sezione resistente
- Dipende del materiale in lavorazione:
 - diminuisce al crescere della pressione di taglio poiché deve aumentare la sezione resistente
 - deve essere maggiore per materiali che subiscono un consistente recupero elastico dopo la lavorazione
- Dipende dal materiale dell'utensile:
 - deve essere piccolo nel caso di materiali poco tenaci (ad es. i ceramici) poiché questi necessitano di sezioni resistenti maggiori





Valori caratteristici dell'angolo α

Materiale da lavorare	Acciai	Materiale dell'utensile			
		Carburi sinterizzati	Ceramici	Diamanti sintetici	Diamanti naturali
Acciaio UNI-C20 TD	3°-11°	6°-8°	4°-6°	—	—
Acciaio UNI-C20 TD	8°-10°	6°-8°	4°-6°	—	—
Acciaio UNI-C20 TD	8°-10°	6°-8°	4°-6°	—	—
Acciai debolmente legati	7°-9°	5°-7°	4°-6°	—	—
Acciaio al manganese (12% Mn)	6°-8°	4°-6°	4°-6°	—	—
Acciai inox (ferritici e martensitici)	8°-10°	5°-8°	4°-6°	—	—
Acciai inox (austenitici)	8°-12°	5°-10°	4°-6°	—	—
Ghise grigie (UNI-G10/G20)	8°-10°	5°-8°	4°-6°	—	—
Ghise grigie (UNI-G25/G35)	6°-9°	4°-6°	4°-6°	—	—
Ghisa malleabile a truciolo corto	6°-9°	5°-7°	4°-6°	—	—
Ghisa malleabile a truciolo lungo	7°-9°	5°-8°	4°-6°	—	—
Ghisa sferoidale	7°-9°	6°-7°	4°-6°	—	—
Alluminio e leghe allo stato ricotto	10°-12°	6°-10°	4°-6°	4°-6°	5°-8°
Leghe fuse di alluminio	8°-10°	5°-7°	4°-6°	4°-6°	5°-8°
Rame	10°-12°	6°-8°	4°-6°	4°-6°	5°-8°
Bronzo di alluminio	8°-11°	5°-8°	4°-6°	4°-6°	5°-8°
Ottone	8°-10°	5°-8°	4°-6°	4°-6°	5°-8°
Materie plastiche	8°-10°	6°-8°	4°-6°	4°-6°	5°-8°



Angoli di taglio

Angolo di spoglia dorsale secondario α'

- Assolve la stessa funzione di α anche se il tagliente secondario partecipa marginalmente al taglio ($\alpha \cong \alpha'$)

Angolo di taglio β

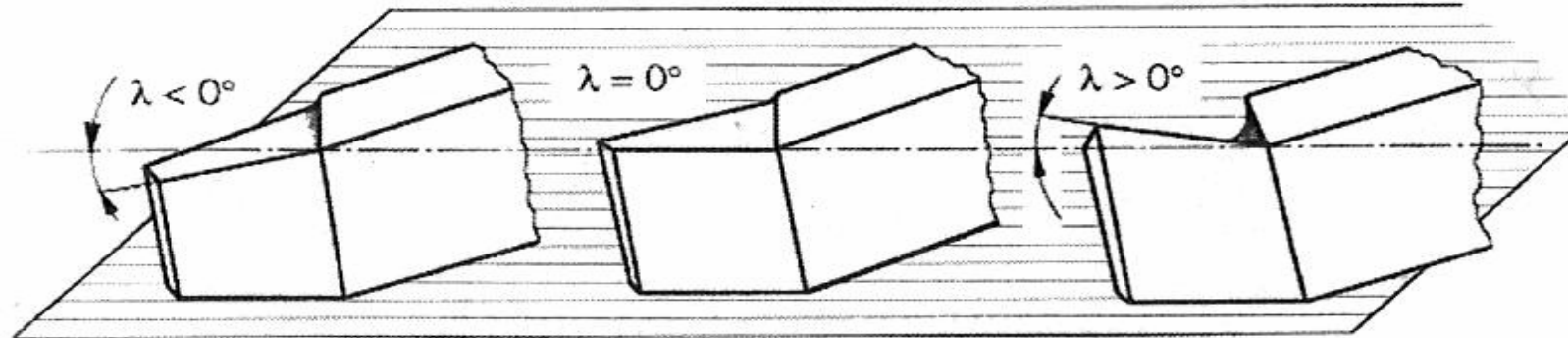
- Definisce l'angolo solido dell'utensile ed è legato alla robustezza dello stesso



Angolo di inclinazione del tagliente principale (λ)

Angolo formato tra tagliente principale e piano di riferimento

- È assunto negativo se il tagliente si eleva dalla punta verso lo stelo



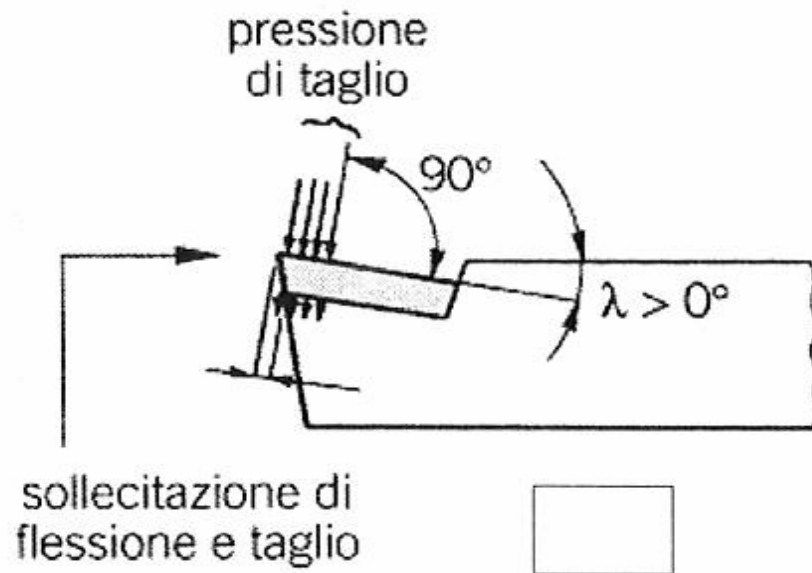
- Esercita una notevole influenza sulla robustezza dell'utensile:
 - $\lambda < 0$ per utensili in materiali poco tenaci (ad es. i ceramici) poiché questi necessitano di sollecitazioni di compressione



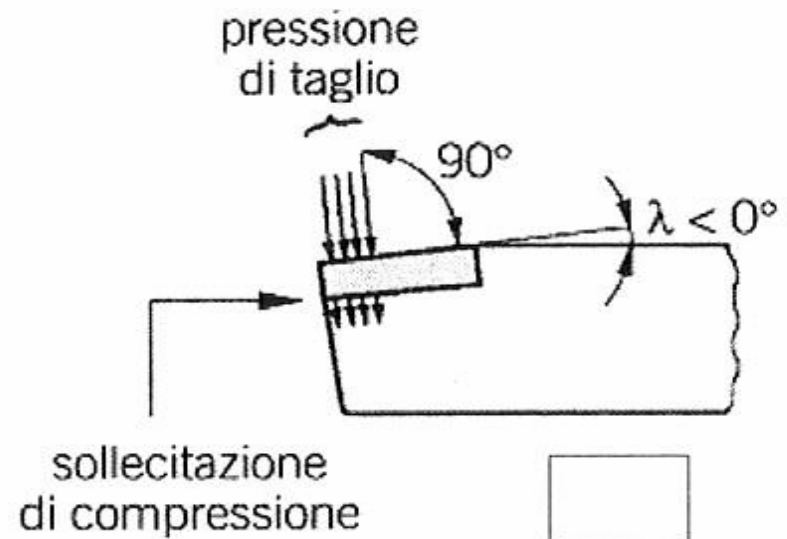
- Influenza la direzione di deflusso del truciolo



Effetto di γ e λ sullo stato di sollecitazione



λ e γ positivi

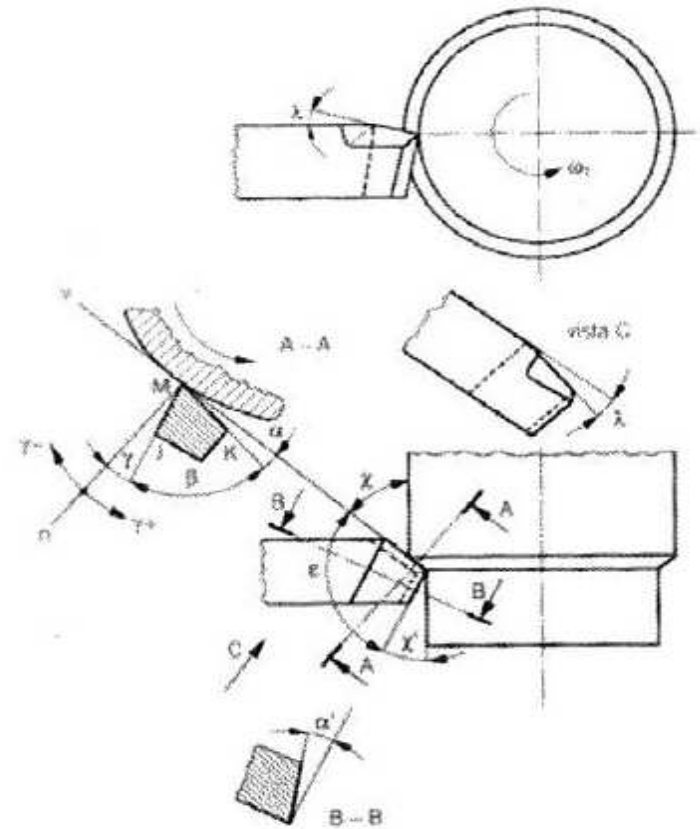


λ e γ negativi



Angoli di attacco (o di appostamento)

- **Angolo di attacco del tagliente principale χ** : formato, sul piano di riferimento, tra la proiezione del tagliente principale e la generatrice della superficie da lavorare
- **Angolo di attacco del tagliente secondario χ'** : formato, sul piano di riferimento, tra la proiezione del tagliente secondario e la generatrice della superficie lavorata
- **Angolo dei taglienti ε** : formato, sul piano di riferimento, tra le proiezioni ortogonali del tagliente principale e di quello secondario ($\chi + \chi' + \varepsilon = \pi$)
- χ e χ' determinano, con a e r , in condizioni ideali, la rugosità teorica



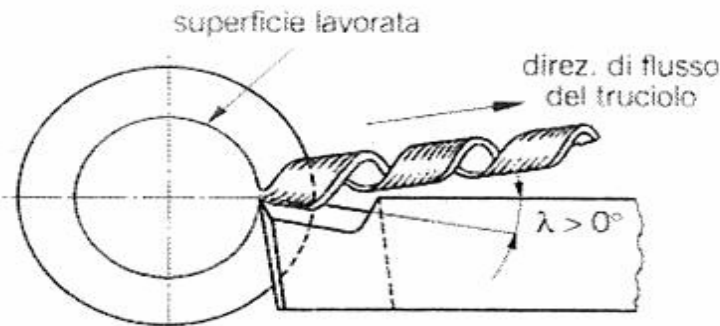


Controllo della direzione di flusso del truciolo in tornitura

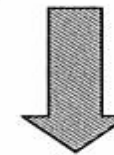
χ e λ influenzano forma e direzione di flusso del truciolo

Caso di truciolo continuo:

- λ determina il verso secondo cui fluisce il truciolo nel suo moto di allontanamento da utensile e pezzo
- χ permette di controllare l'angolo formato tra la direzione di flusso del truciolo e quella dell'asse del pezzo



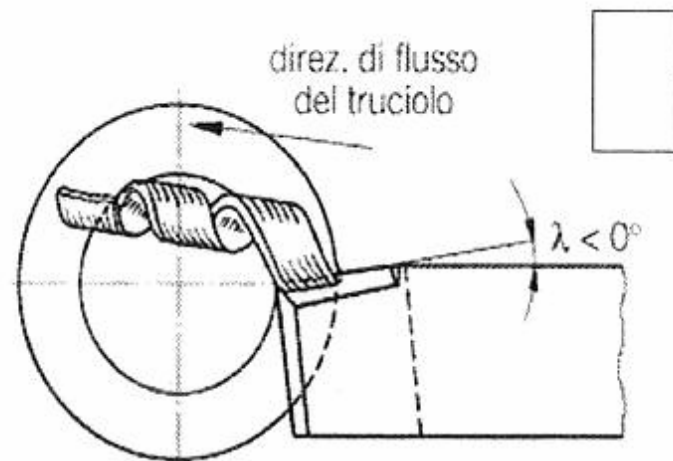
Direzione di flusso e forma del truciolo nella tornitura di materiali duttili nel caso di utensile con $\chi = 90^\circ$ e $\lambda > 0$



Il truciolo tende ad avvolgersi intorno allo stelo e al portautensile



Controllo della direzione di flusso del truciolo in tornitura



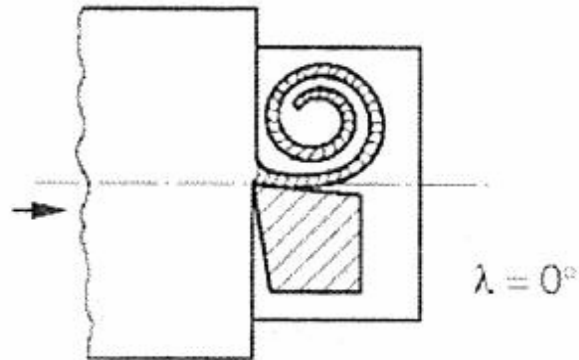
Direzione di flusso e forma del truciolo nella tornitura di materiali duttili nel caso di utensile con $\chi = 90^\circ$ e $\lambda < 0$



Il truciolo tende ad avvolgersi attorno al pezzo con peggioramento della finitura superficiale



Controllo della direzione di flusso del truciolo in tornitura



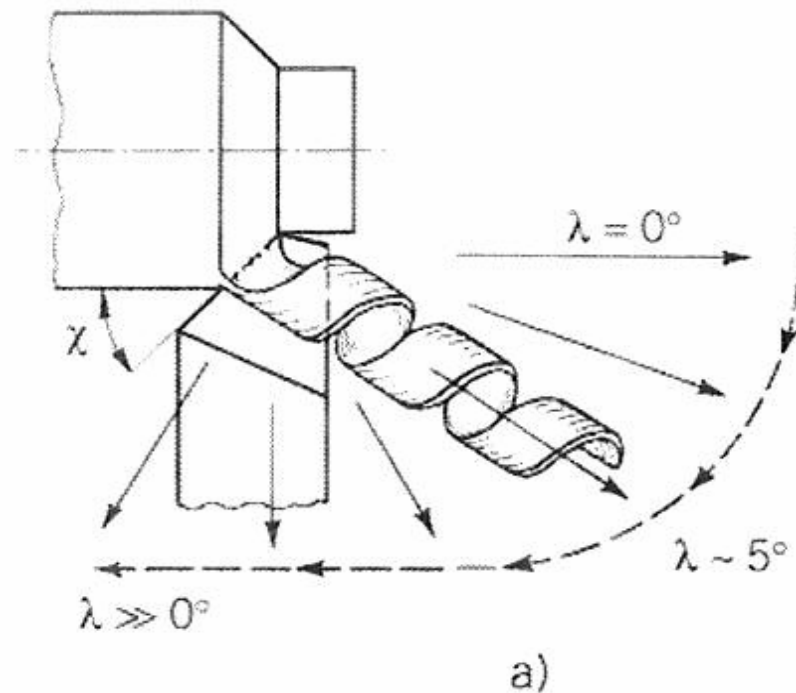
Direzione di flusso e forma del truciolo nella tornitura di materiali duttili nel caso di utensile con $\chi = 90^\circ$ e $\lambda = 0$



Il truciolo fluisce in direzione parallela alla generatrice della superficie lavorata e si avvolge a spirale su se stesso



Controllo della direzione di flusso del truciolo in tornitura



$$\chi \cong 45^\circ \quad \lambda > 0$$

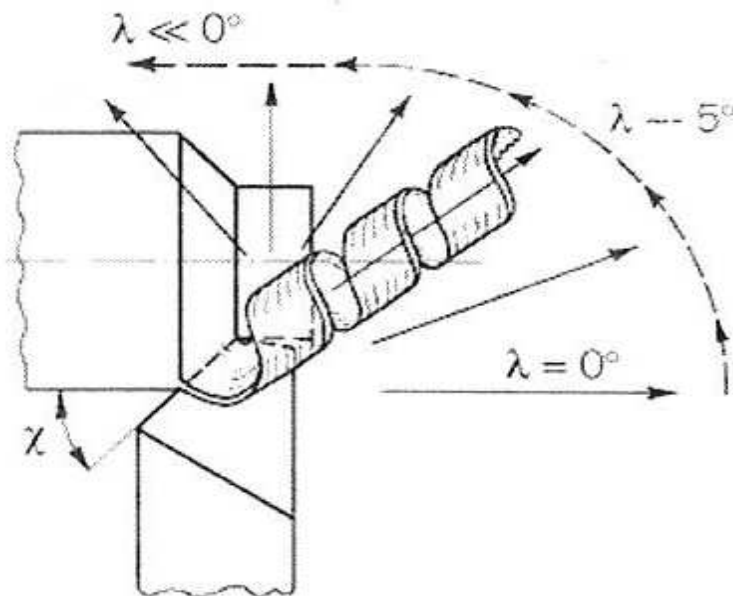
Flusso del truciolo verso lo stelo

Al crescere di λ :

- rotazione in senso orario della direzione di flusso
- aumento dell'angolo formato tra direzione di flusso e generatrice della superficie lavorata



Controllo della direzione di flusso del truciolo in tornitura



$$\chi \cong 45^\circ \quad \lambda < 0$$

Flusso del truciolo verso la
superficie lavorata

Al diminuire di λ :

- rotazione in senso antiorario della direzione di flusso
- aumento dell'angolo formato tra direzione di flusso e generatrice della superficie lavorata

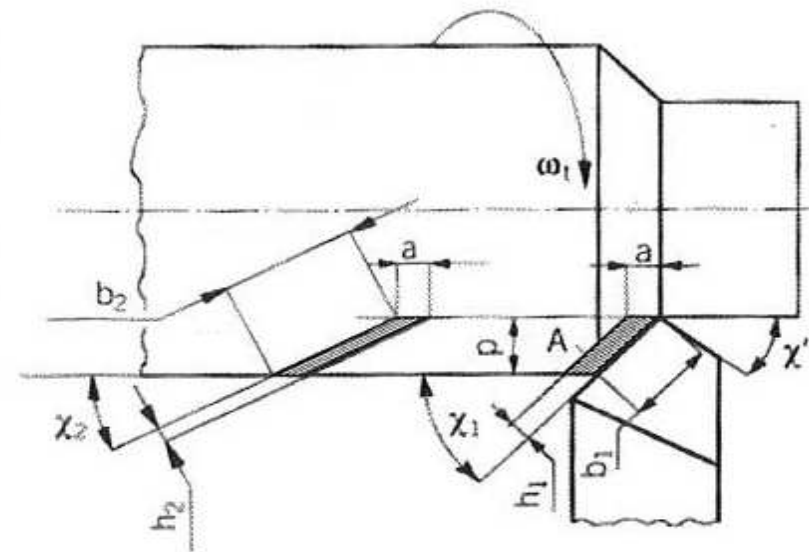


Angolo di attacco del tagliente principale

Influenza le dimensioni della sezione del truciolo da asportare

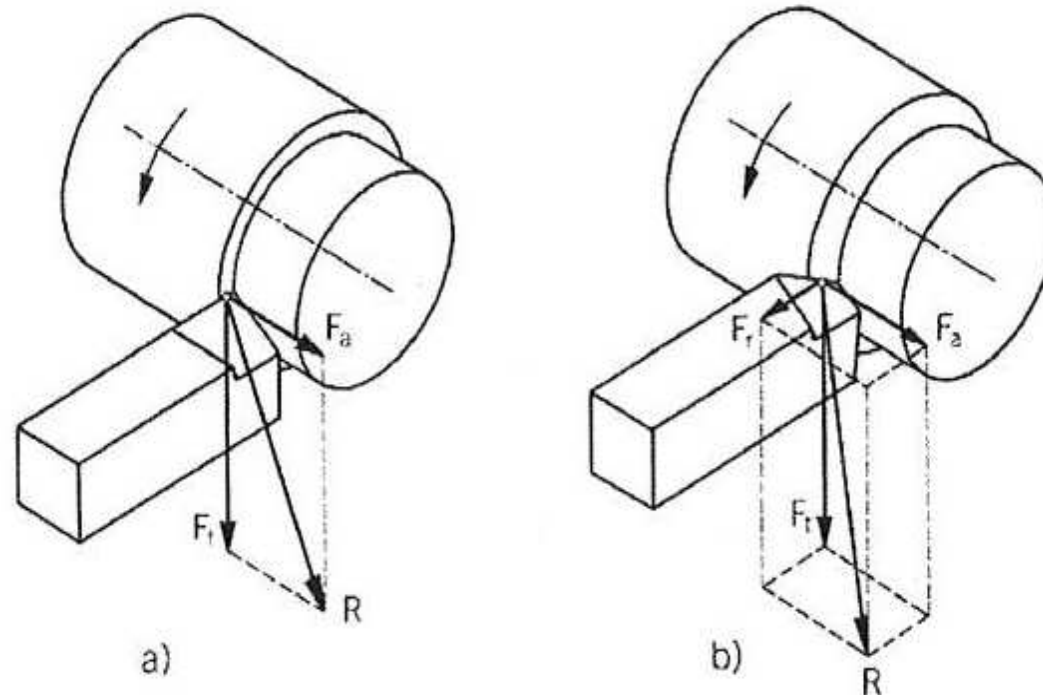
La diminuzione di χ , a parità di p e di a , comporta:

- un aumento della lunghezza del tagliente in presa e quindi una minore sollecitazione meccanica e termica per unità di lunghezza con aumento della durata dell'utensile
- una riduzione dello spessore del truciolo indeformato con aumento di pressione specifica di taglio, energia assorbita nel taglio e forza di repulsione



Condizioni di taglio

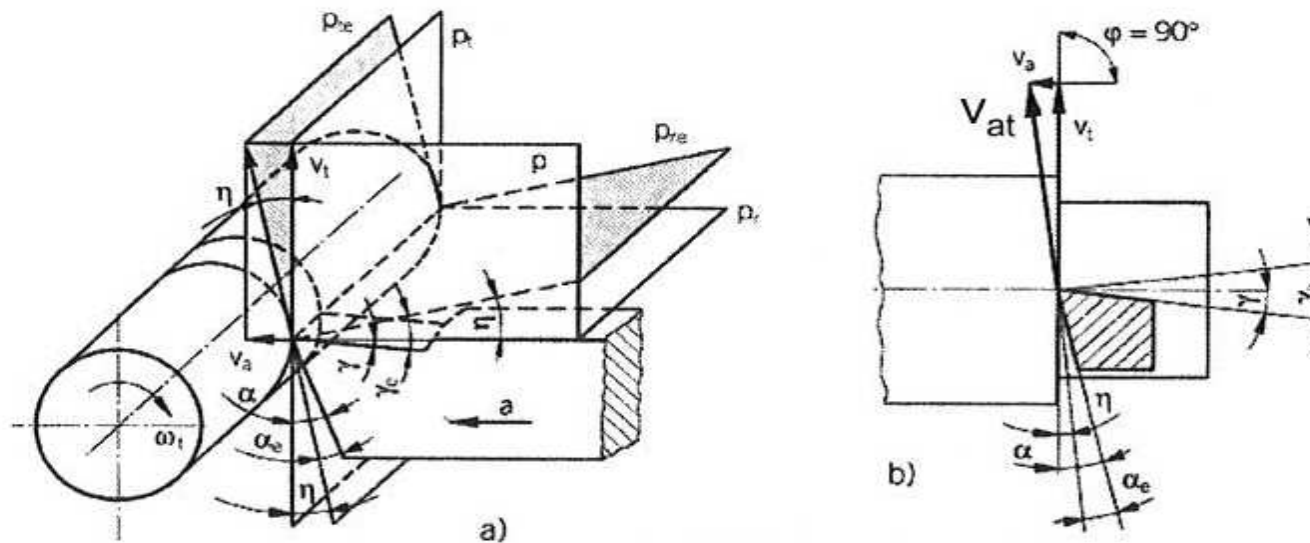
- Se $\chi = 90^\circ \Rightarrow$ il piano di taglio è \perp sia al piano di lavoro, sia all'asse del pezzo \Rightarrow utensile "a coltello". Se anche $\lambda = 0^\circ$, la forza risultante giace su un piano \perp a quello di riferimento e \parallel all'asse del pezzo ed ha due sole componenti (forza di taglio e forza di avanzamento) \Rightarrow condizione di **taglio bidimensionale (o ortogonale)**
- Se $\chi \neq 90^\circ \Rightarrow$ la forza di taglio ha tre componenti (le due precedenti e la forza di repulsione) \Rightarrow condizione di **taglio tridimensionale**





Angoli di taglio in condizioni dinamiche (definizioni)

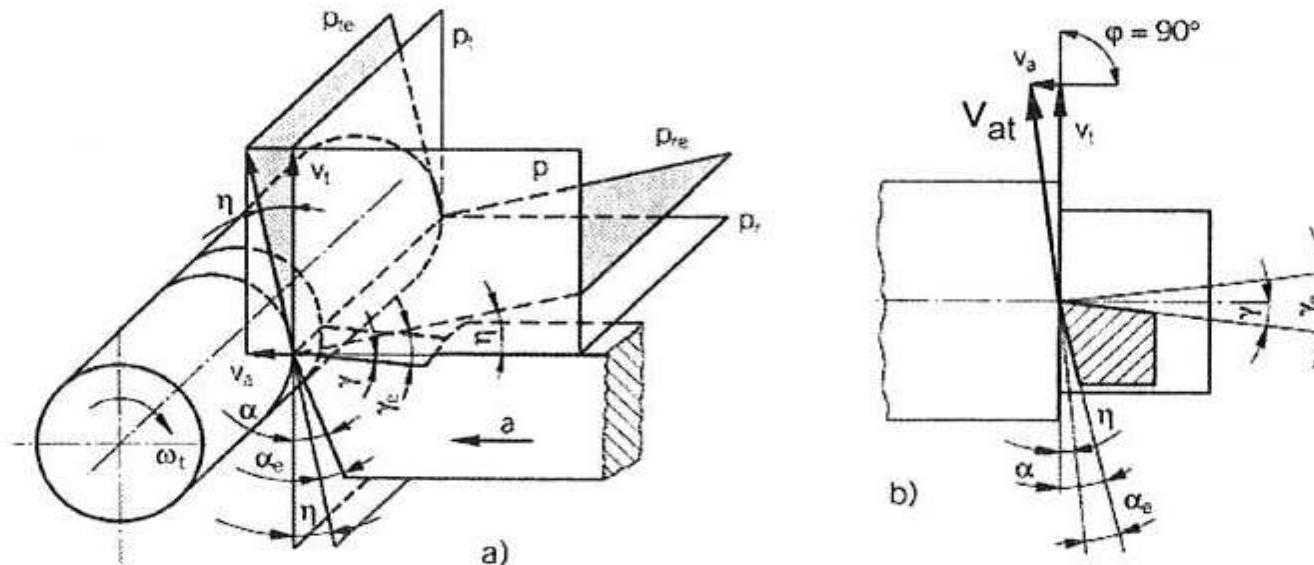
Sono riferiti alla direzione del moto relativo tra utensile e pezzo



- **Moto attivo**: risultante dei moti di taglio e di avanzamento
- **Direzione attiva**: direzione istantanea del moto attivo
- **Velocità attiva v_{at}** : velocità relativa istantanea utensile-pezzo nella direzione del moto attivo (composizione vettoriale di v_t e v_a)

Angoli di taglio in condizioni dinamiche (definizioni)

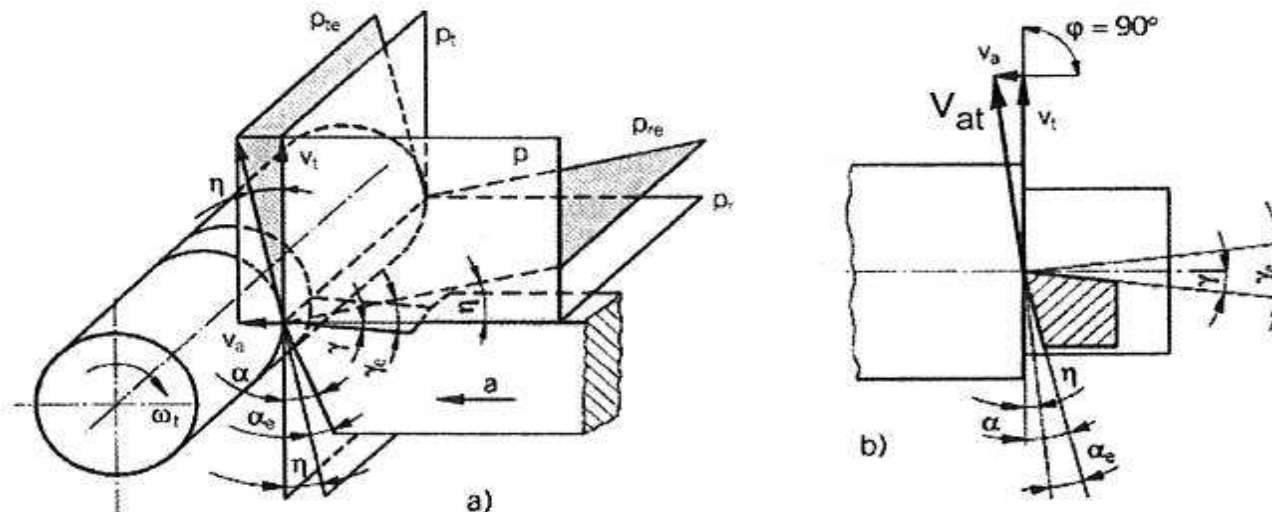
- **Angolo della direzione attiva** η : angolo compreso tra la direzione attiva e quella di taglio
- **Angolo della direzione di avanzamento** φ : angolo compreso tra la direzione di avanzamento e quella di taglio





Angoli di taglio in condizioni dinamiche (definizioni)

- **Piano di riferimento effettivo p_{re}** : piano \perp alla direzione attiva contenente il tagliante principale. E' inclinato dell'angolo η rispetto al piano di riferimento p_r
- **Piano di taglio effettivo p_{te}** : piano contenente il tagliante principale e la direzione attiva. E' inclinato dell'angolo η rispetto al piano di taglio p_t



Angoli di taglio in condizioni dinamiche

Relazione tra gli angoli φ e η :

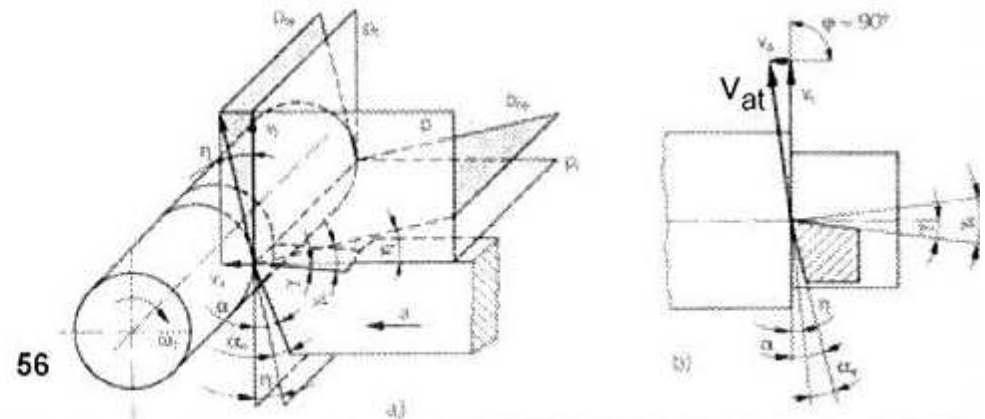
$$\tan \eta = \frac{\text{sen } \varphi}{\frac{v_t}{v_a} + \cos \varphi}$$

Se $\varphi = 90^\circ$:

Relazione tra γ_e e γ : $\gamma_e = \gamma + \eta$

Relazione tra α_e e α :

$$\alpha_e = \alpha - \eta$$





Tipologia di truciolo

Dipende da:

- caratteristiche meccaniche e metallurgiche del materiale lavorato
- tipo di operazione
- angoli di taglio
- parametri di taglio
- condizioni di lubrificazione all'interfaccia petto-truciolo

TRUCIOLO CONTINUO

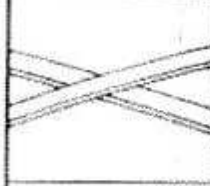
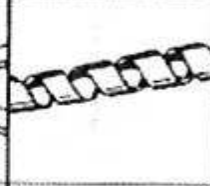

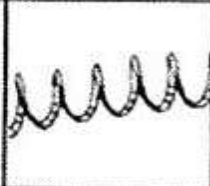
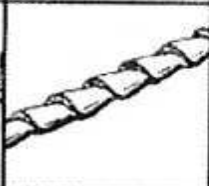

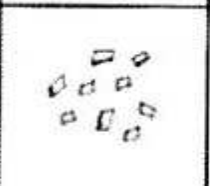


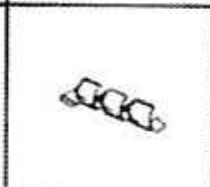

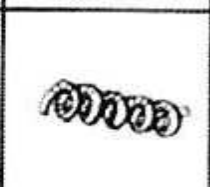
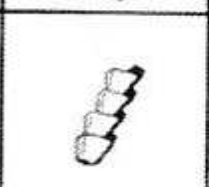

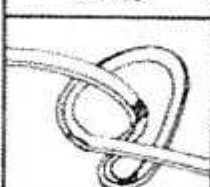
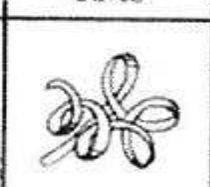
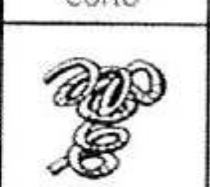
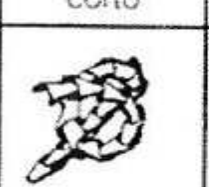
Ottenuto in operazioni di taglio stazionario (ad es. tornitura) su materiali duttili (ad es. acciai dolci e debolmente legati) con v_t comprese tra qualche decina e qualche centinaio di m/min

TRUCIOLO FRAMMENTATO

Ottenuto in operazioni di taglio interrotto (ad es. fresatura) o in operazioni di taglio continuo su materiali fragili (ad es. ghisa)



Tipologia di truciolo

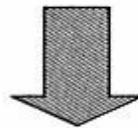
a nastro	tubolare	a spirale	elicoidale	elica conica	ad arco	spezzettato	aghiforme
							
lungo	lungo	piatto	lungo	lungo	collegato		
							
corto	corto	conico	corto	corto	sciolto		
							
aggrovigliato	aggrovigliato		aggrovigliato	aggrovigliato			

Classificazione delle forme di truciolo ottenibili in operazioni di tornitura (ISO/TC 29/WG 22)

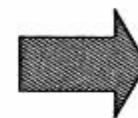
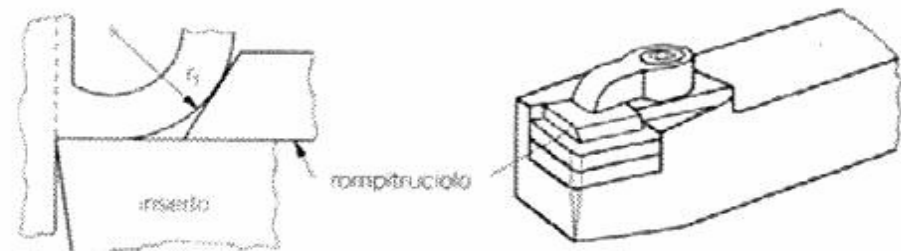
Dispositivi rompitruciolo

Favoriscono la formazione di truciolo spezzettato nella lavorazione di materiali duttili in condizioni di taglio stazionarie

Utensili con inserti riportati meccanicamente sullo stelo



Interposizione tra inserto e staffa di serraggio una **piastrina con spigolo cuneiforme** che costringe il truciolo a subire un marcato incurvamento che ne favorisce la rottura



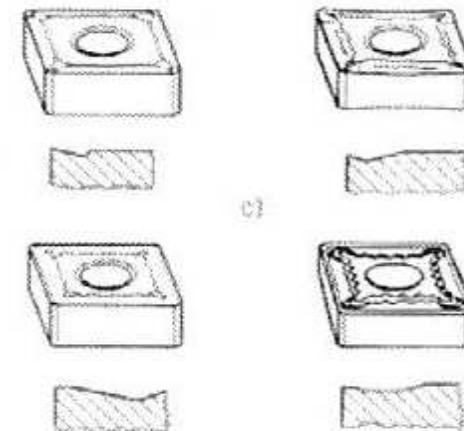
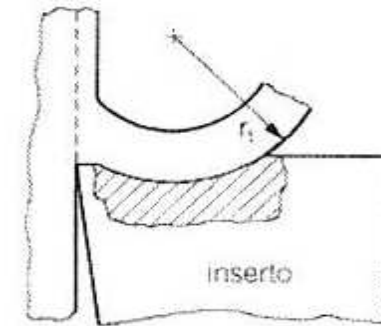
- Danneggiamento di piastrina e staffa
- Sostituzione più lenta dell'inserto



Dispositivi rompitruciolo

Si preferisce usare *inserti con scanalature sul petto* che svolgono la funzione di rompitruciolo

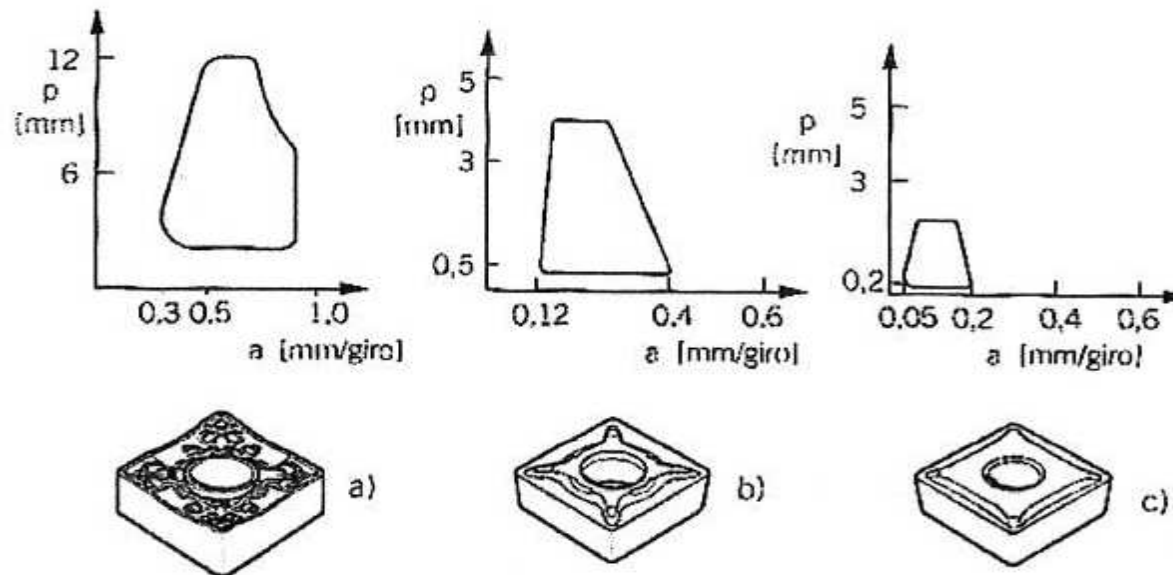
Esempi di inserti quadrangolari con petto variamente sagomato per favorire la frammentazione del truciolo





Campo di impiego economico [p-a] di inserti per utensili

Efficacia dell'azione di rottura del truciolo garantita nelle zone indicate nel piano p – a entro un dato intervallo di v_t



Inserti in metallo duro rivestito impiegati nelle lavorazioni di acciai per: (a) sgrossatura, (b) lavorazioni intermedie e (c) finitura

v_t molto elevate \Rightarrow frammentazione spontanea del truciolo anche con materiali duttili per instabilità adiabatica \Rightarrow non sono necessari dispositivi rompitruciolo



Dimensioni del truciolo indeformato in tornitura

Condizioni di taglio
tridimensionale ($\chi \neq 90^\circ$)

Sezione del truciolo indeformato
(quadrilatero ACDG):

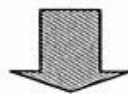
$$A = b \cdot h$$

b: larghezza di asportazione

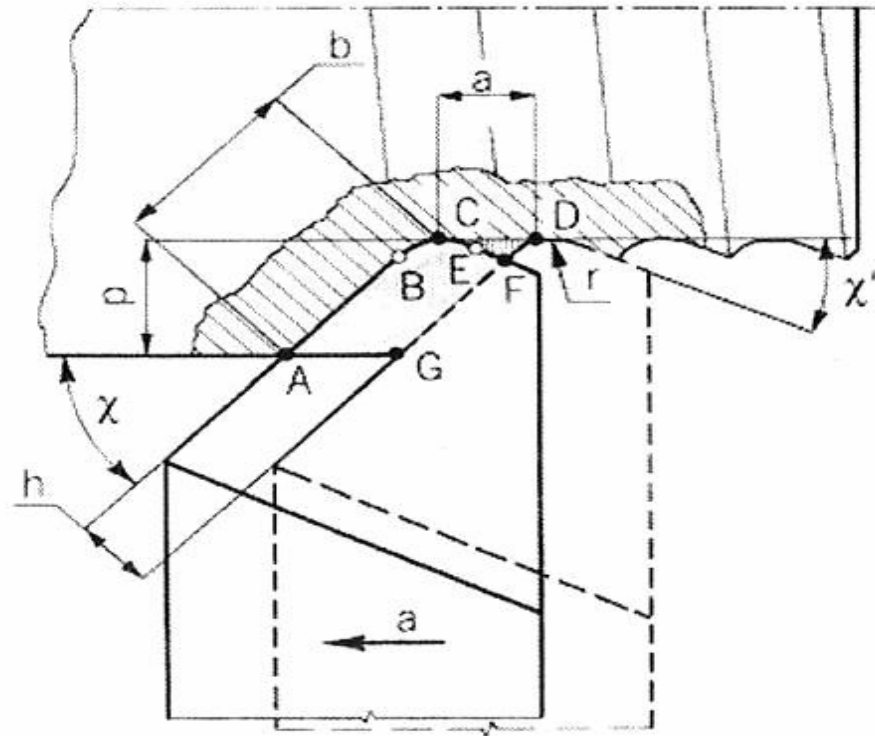
$$b = p / \sin \chi$$

h: spessore di asportazione

$$h = a \cdot \sin \chi$$



$$A = b \cdot h = p \cdot a$$



Area effettiva del truciolo asportato (ACFG) < dell'area teorica (ACDG). Differenza (CDFE) piccola rispetto all'area nominale e trascurabile



Meccanismo di distacco del truciolo e modelli di studio.

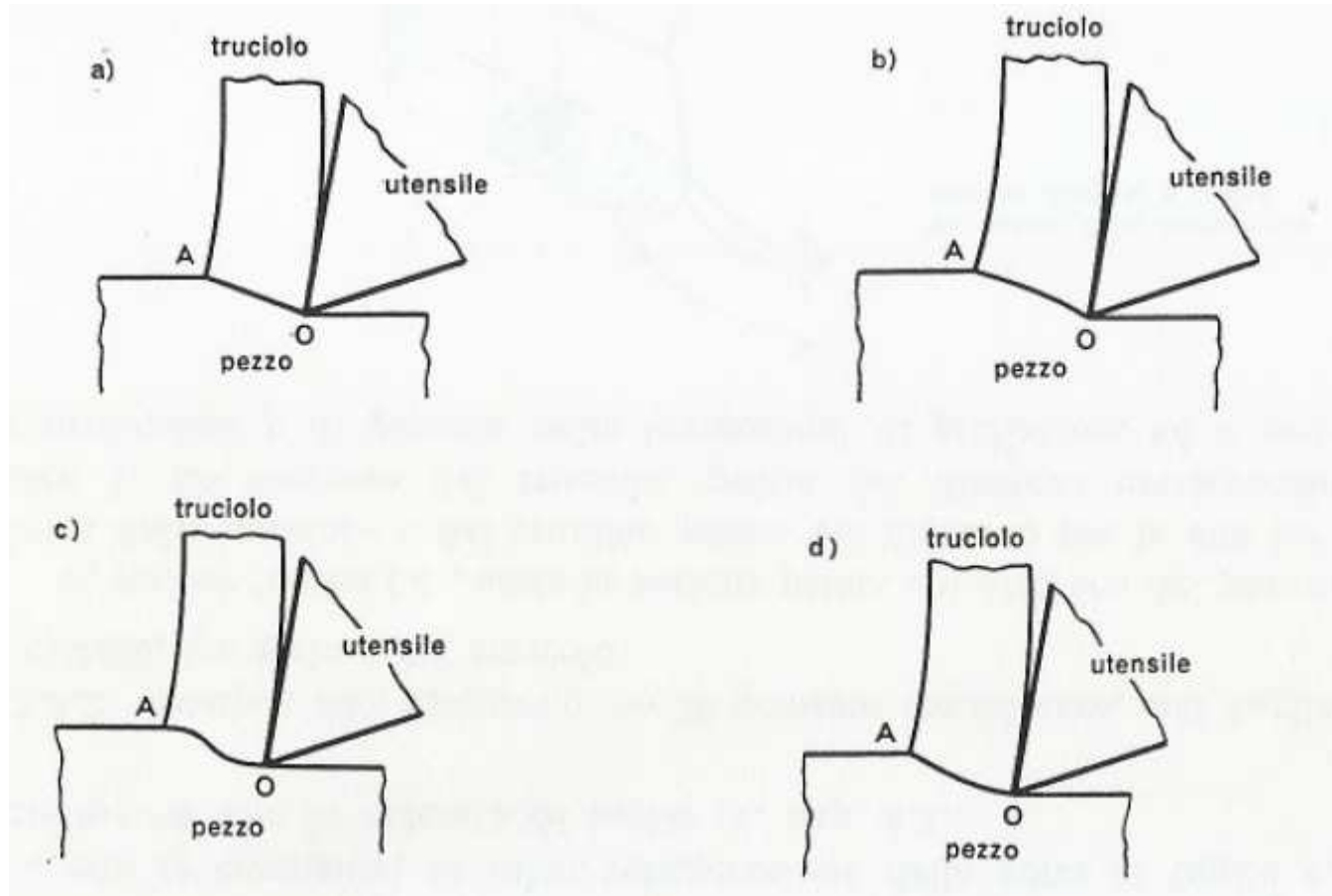
MODELLO A PIANO DI SCORRIMENTO.- Per sviluppare uno studio sulla formazione del truciolo impostato su basi teoriche, verificabili sperimentalmente, è necessario introdurre alcune semplificazioni, allo scopo di ridurre il numero dei parametri di taglio per facilitare l'impostazione del problema.

Una delle prime semplificazioni consiste nel considerare il caso del taglio ortogonale, eseguito su un pezzo di materiale malleabile: ossia, plasticamente deformabile per mezzo di un utensile *rigido in condizioni di regime (flusso continuo del truciolo, staccato dal pezzo in regime stazionario)*

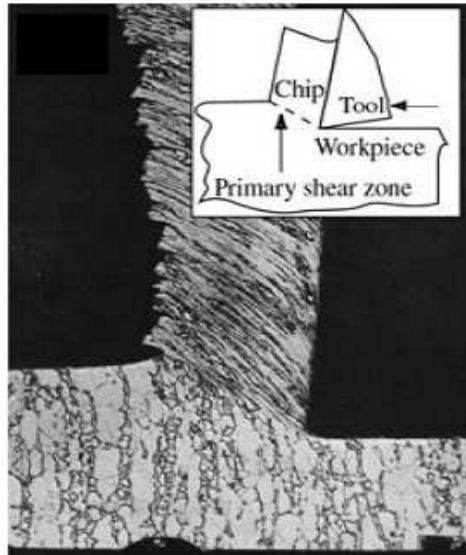


Siccome le condizioni reali di formazione del truciolo non possono sempre essere di questo tipo, sarà necessario, dopo avere studiato questo caso, considerarne altri più complessi ed esaminare le eventuali possibilità di estensione dei risultati, apportando appropriate correzioni.

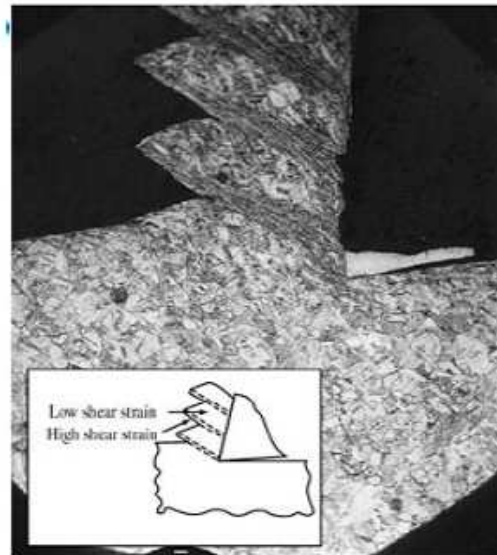
I primi studi sulla formazione del truciolo si basarono su modelli semplificati, quale il modello del *piano di scorrimento* (*fig. seguente*) proposto da V. PIJSPANEN che consentì sulle successive elaborazioni di raggiungere buoni risultati, anche se criticabili per alcune conseguenze.



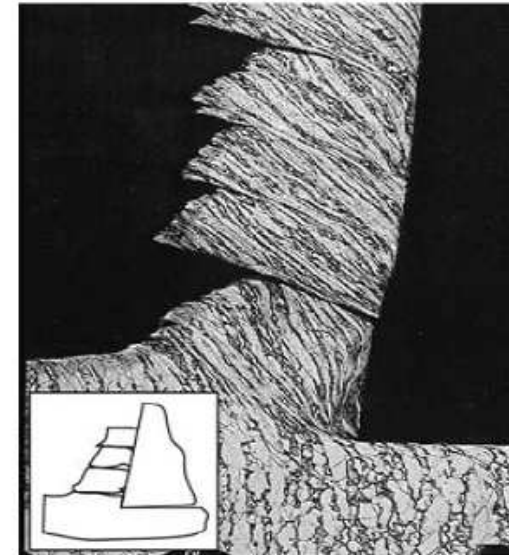
Modelli di formazione del truciolo con superfici di scorrimento.



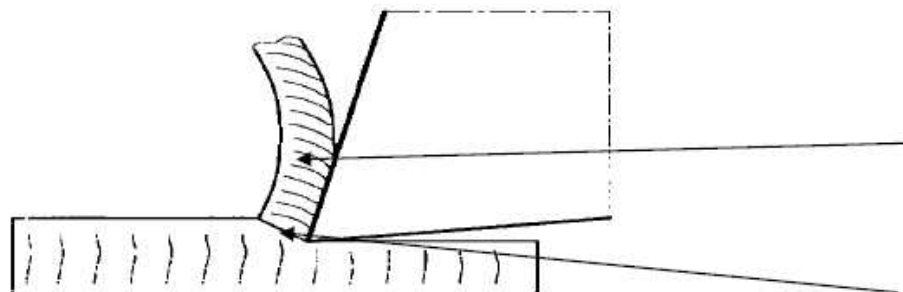
Truciolo continuo



Truciolo segmentato



Truciolo discontinuo



zona di deformazione plastica secondaria

zona di deformazione plastica primaria



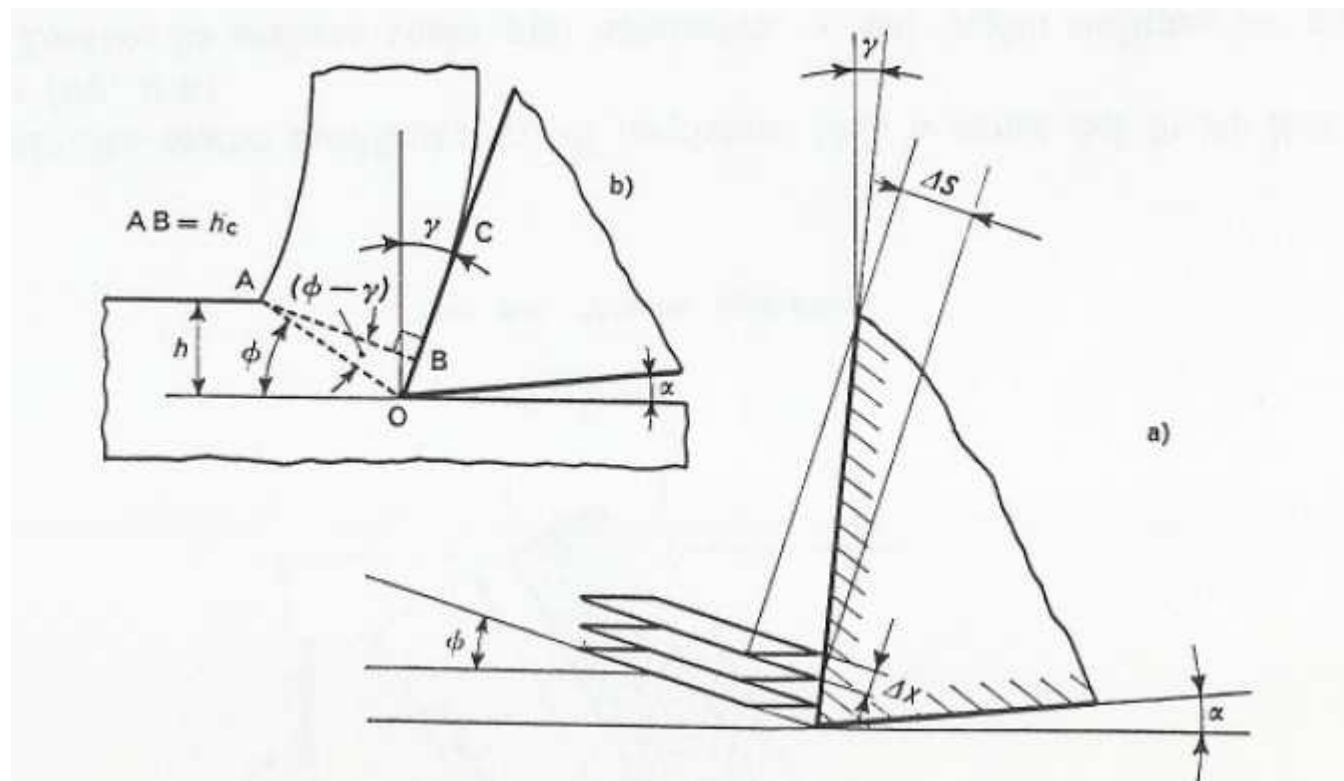
Esso è stato applicato al taglio ortogonale in condizioni di regime, supponendo l'utensile perfettamente affilato (assenza di contatti dorsali con il pezzo) e truciolo senza flusso laterale.

Sono stati studiati anche altri modelli con superficie di scorrimento a forme varie (figg. precedente b, c, d), basati su analoga ipotesi: la curvatura della superficie è conseguenza di una particolare distribuzione di tensioni lungo l'area di contatto utensile-pezzo, od anche può essere dovuta alla geometria dell'utensile.



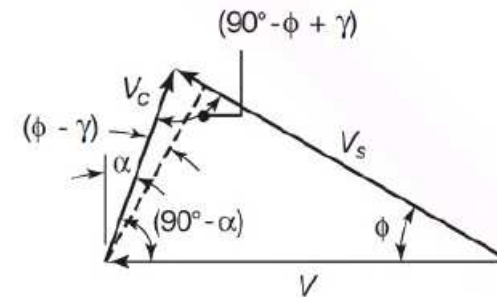
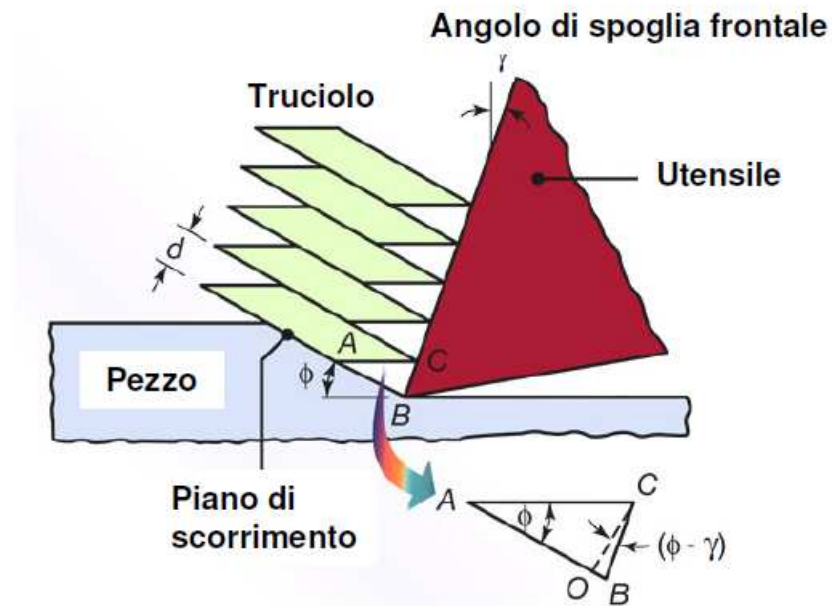
Nel modello di PIJSPANEN il sovrametallo (fig. seguente) è immaginato diviso in tanti piccoli elementi, di spessore infinitesimale, che scorrono l'uno sull'altro per effetto dell'azione dell'utensile, secondo una direzione comune, individuata dal piano di scorrimento inclinato dell'angolo ϕ *sulla superficie piana del pezzo in lavorazione (o sul piano tangente a questa, nel punto di contatto tagliente-pezzo).*

Già osservando la figura, è rilevabile come il truciolo si distacchi dal pezzo con una deformazione plastica, corrispondente allo spostamento relativo Δs *degli elementi di spessore Δx considerati; ed ancora, poiché il truciolo (dopo essere stato staccato) striscia sulla faccia di taglio, si manifesta anche un'azione di attrito fra truciolo e utensile.*



Modello di Pijspanen sulla formazione del truciolo.

Modello di Pijspanen per la formazione del truciolo



$$\gamma_s = AB/CO = (AO + OB)/CO$$

permette di ottenere la deformazione:

$$\gamma_s = \cot \phi + \tan (\phi - \gamma)$$

e poi (minimizzando γ_s)

$$\phi = 45 + \gamma / 2$$



Il valore della deformazione γ_s subita dal materiale è:

$$\gamma_s = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta x}$$

Per il calcolo del valore di γ_s si osservi la fig. seguente, nella quale

$$OA = \Delta s \text{ e } OB = \Delta x.$$

Risulta:

$$\begin{aligned} \gamma_s &= \frac{\Delta s}{\Delta x} = \frac{OA}{OB} = \frac{AD}{BD} + \frac{OD}{BD} = \cot \phi + \tan(\phi - \gamma) = \\ &= \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cos(\phi - \gamma)} = \frac{\zeta^2 - 2\zeta \sin \gamma + 1}{\zeta \cos \gamma} \end{aligned}$$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

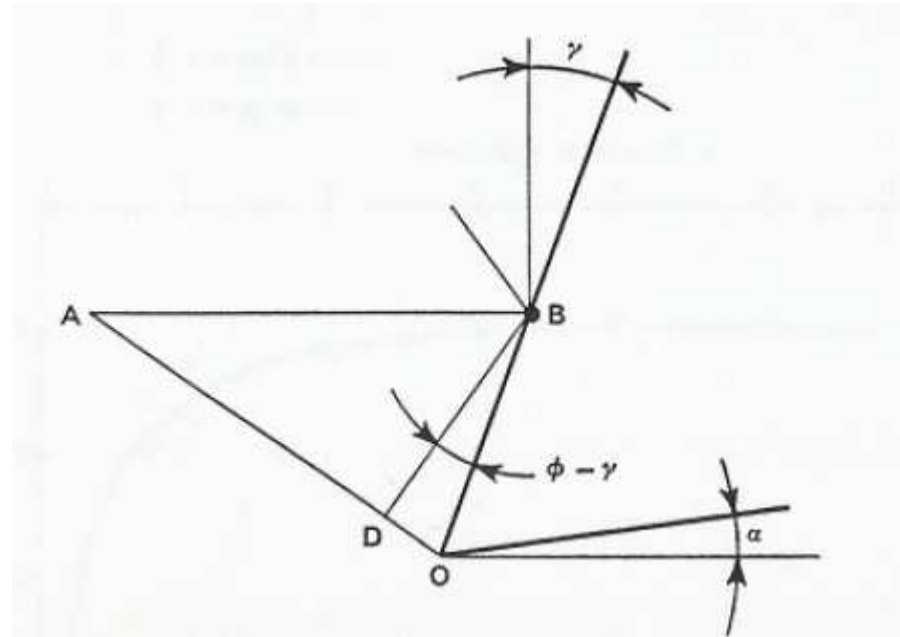


Grafico indicante il valore della deformazione γ_s .



Ne consegue che la deformazione γ_s è *legata all'angolo di spoglia* frontale dell'utensile ed al fattore di ricalcamento.

I valori della deformazione variano fra 2 ...5 in lavorazioni di tornitura e aumentano nella rettificazione.

Il valore di ϕ , che rende minima la deformazione per un dato valore dell'angolo di spoglia frontale, è ottenibile derivando γ_s , rispetto a ϕ , ed uguagliando a zero:



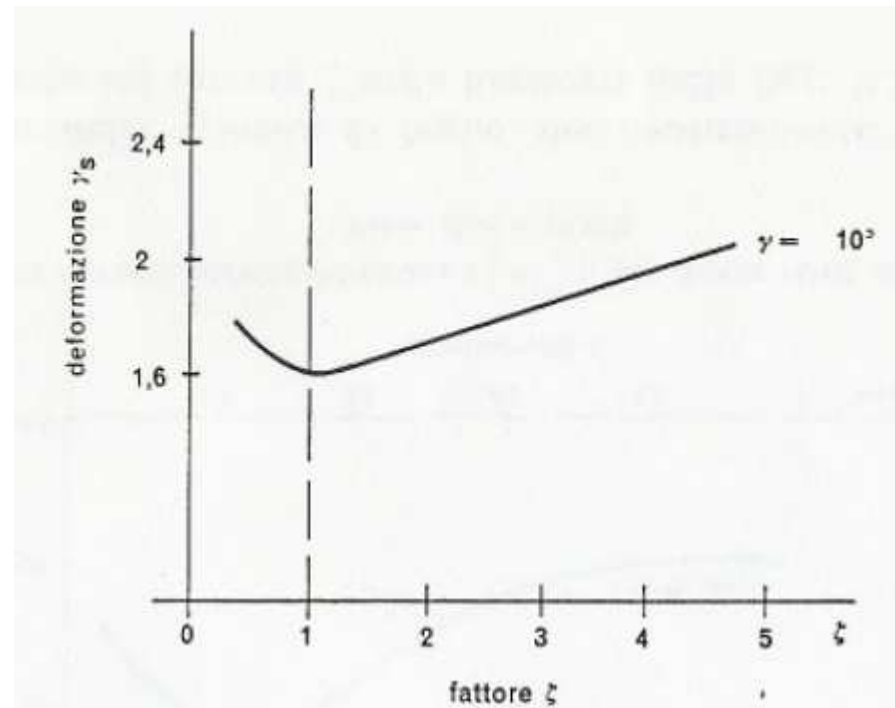
$$\frac{\partial \gamma_s}{\partial \phi} = -\operatorname{cosec}^2 \phi + \sec^2(\phi - \gamma) = 0$$

$$\phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2}$$

Sostituendo questo valore di ϕ nella equazione successiva che fornisce c risulta che, per conseguire un valore minimo della deformazione, deve valere la condizione $\zeta = 1$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Deformazione γ_s in funzione di ζ .



Un altro parametro importante per lo studio della formazione del truciolo è costituito dal *fattore di ricalcamento* (c) (o dal suo inverso ζ)

$$c = \frac{h}{h_c}$$

che può anche essere espresso nell'ipotesi della costanza di volume

del truciolo ($h \cdot b \cdot l = h_c b_c l_c$) e di assenza di flusso laterale ($b = b_c$)

in funzione delle lunghezze del truciolo prima e dopo il taglio (l_c):



$$c = \frac{l_c}{l}$$

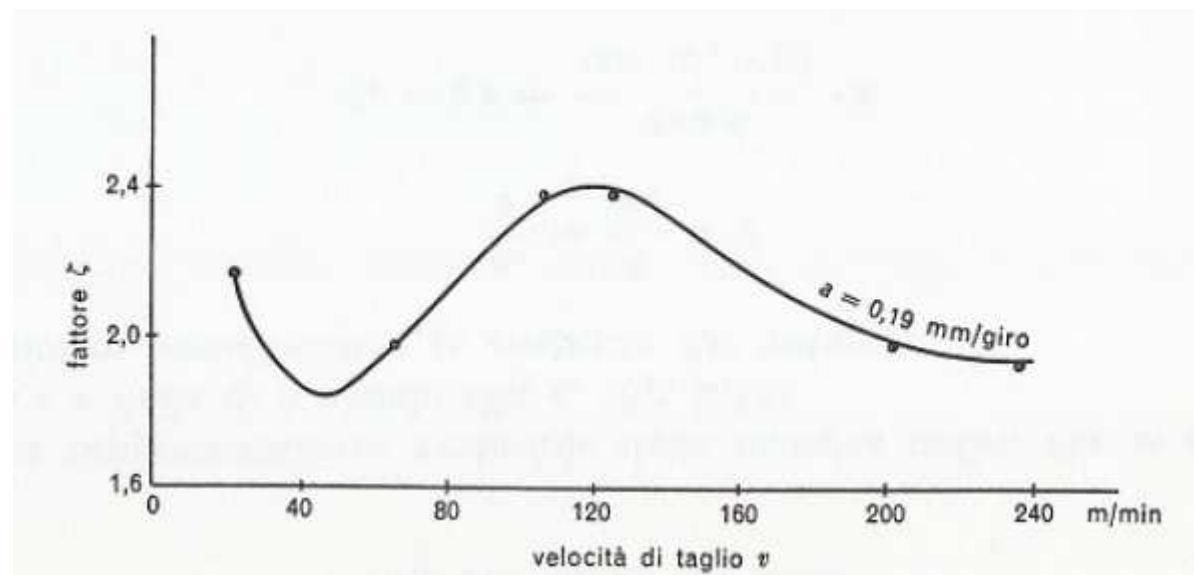
ed ancora:

$$c = \frac{OA \operatorname{sen} \phi}{OA \cos (\phi - \gamma)} = \frac{\operatorname{sen} \phi}{\cos (\phi - \gamma)}$$

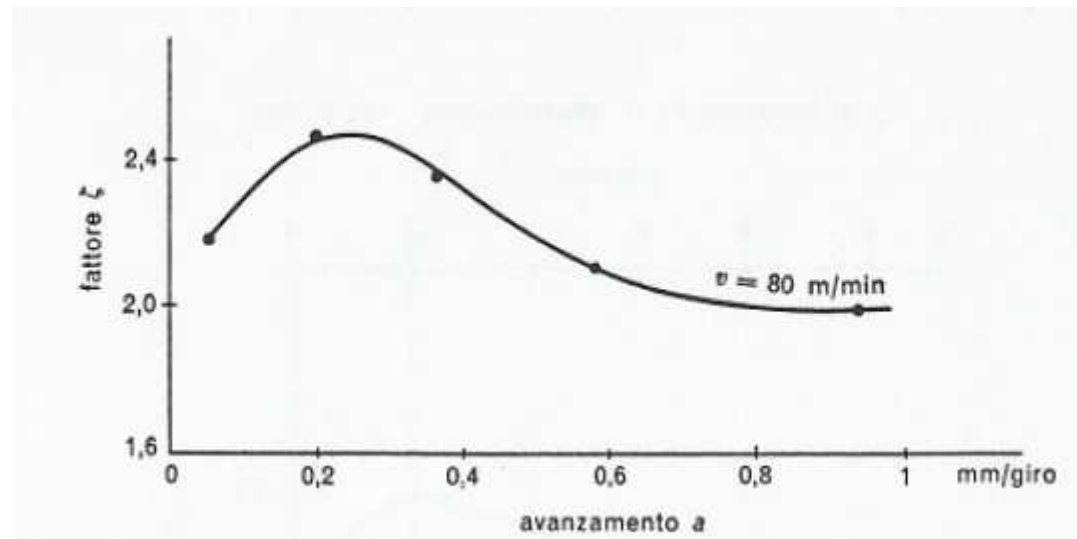


I fattori c o ζ , sono condizionati dal materiale dell'utensile e del pezzo, dalla geometria dell'utensile, dal coefficiente μ di attrito fra truciolo ed utensile e dal fluido di taglio.

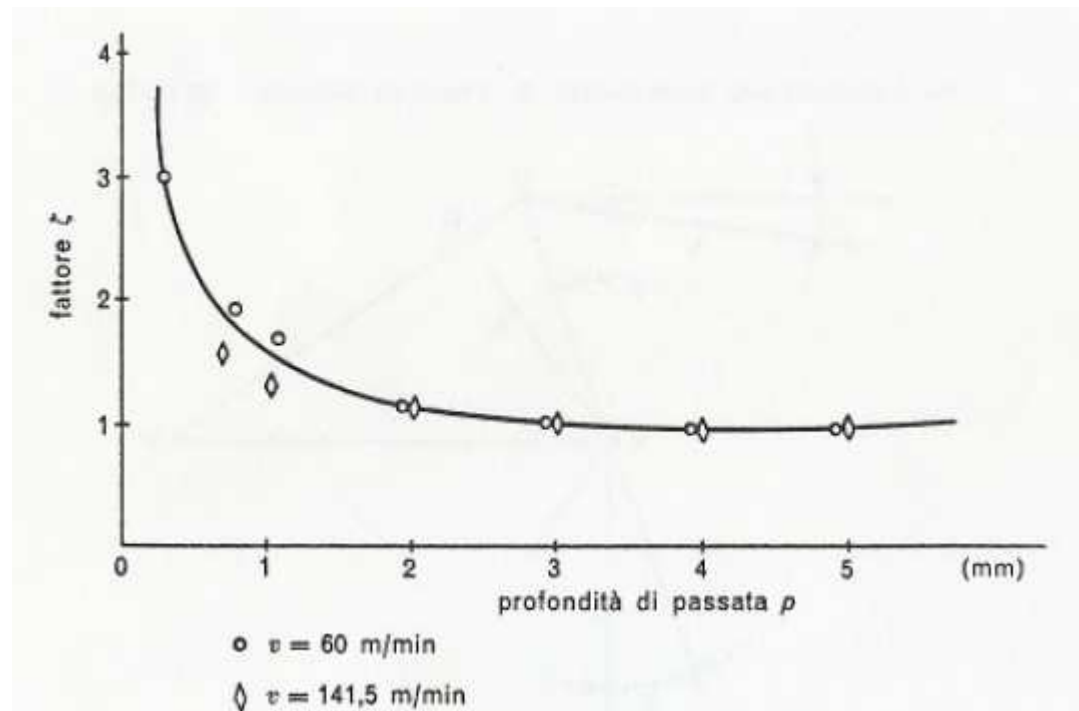
L'influsso della velocità di taglio, dell'avanzamento e della profondità di passata sul fattore ζ sono illustrati nelle figg. successive.



Effetto della velocità di taglio sul fattore $\zeta \left(= \frac{1}{c} \right)$, per diversi valori dell'avanzamento



Effetto dell'avanzamento sul fattore $\zeta \left(= \frac{1}{c} \right)$, per diversi valori della velocità di taglio



Effetto della profondità di passata sul fattore ζ ($= \frac{1}{c}$).



Poiché i valori di c o di ζ , oltre che di γ , sono facilmente misurabili, è possibile desumere da questi il valore dell'angolo ϕ :

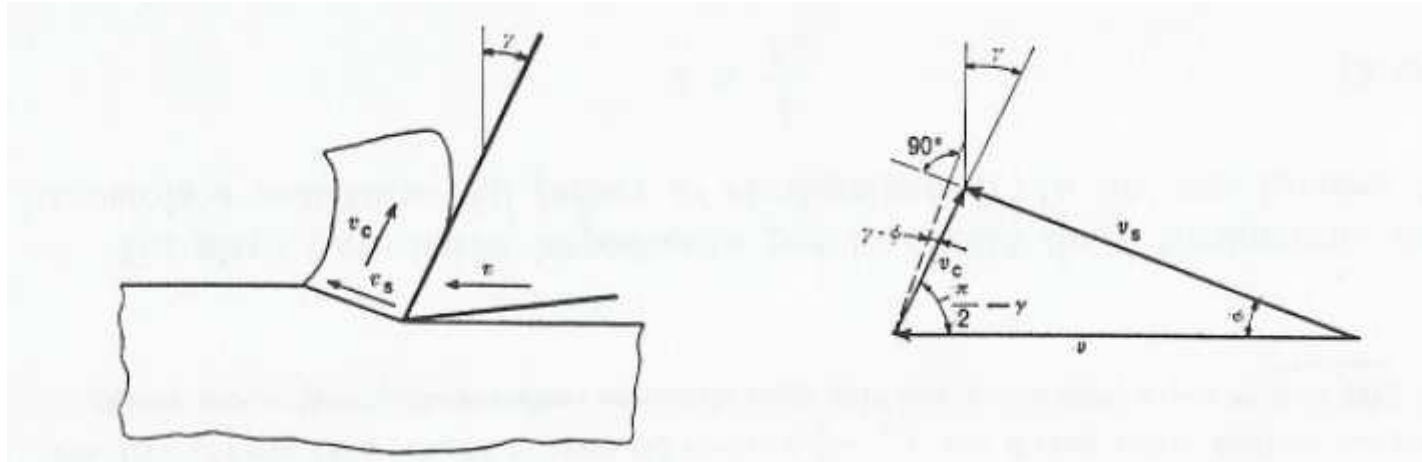
$$\tan \phi = \frac{c \cos \gamma}{1 - c \operatorname{sen} \gamma} = \frac{\cos \gamma}{\zeta - \operatorname{sen} \gamma}$$



VELOCITÀ DI LAVORO E DI DEFORMAZIONE.

Nella formazione del truciolo è importante considerare tre velocità:

- velocità di taglio (v), *ossia la velocità relativa fra utensile e pezzo, corrispondente al moto di taglio;*
- velocità di scorrimento (v_s), *ossia la velocità relativa del truciolo rispetto al pezzo;*
- velocità del truciolo (v_c), *rispetto all'utensile.*



La rappresentazione vettoriale della velocità indica che la somma della v e della v_c è uguale alla v_s (fig.).

Inoltre, considerando la costanza del volume:



$$\frac{v_c}{v} = \frac{h}{h_c} = c$$

$$v_c = c v = \frac{\text{sen } \phi}{\text{cos } (\phi - \gamma)} \cdot v$$

e

$$\frac{v_s}{v} = \frac{\text{cos } \gamma}{\text{cos } (\phi - \gamma)}$$

ed anche:

$$v_s = \gamma_s \text{ sen } \phi \cdot v$$

La velocità di deformazione $\dot{\gamma}_s = \frac{d\gamma_s}{dt}$ è molto alta nel taglio dei metalli; la si può calcolare come rapporto fra la deformazione γ_s ed il tempo necessario al materiale, per attraversare la zona di scorrimento.



Il tempo si può dunque calcolare come rapporto s/v_c , del quale

$$\dot{\gamma}_s = \frac{\gamma_s v_c}{s} = c v \frac{\gamma_s}{s}$$

I valori del $\dot{\gamma}_s$ per le lavorazioni ad asportazione di truciolo sono molto superiori a quelli che si raggiungono con le consuete prove a trazione o ad urto:

in lavorazioni ad asportazione di truciolo	$\dot{\gamma}_s = 10^2 \dots 10^6 \text{ s}^{-1}$
in prove di trazione statica	$\dot{\gamma}_s = 0,01 \text{ s}^{-1}$
in prove d'urto	$\dot{\gamma}_s = 10^2 \dots 10^3 \text{ s}^{-1}$

Da queste considerazioni emergono le difficoltà di correlare le caratteristiche del materiale misurate in prove convenzionali, con quelle che il materiale presenta quando sia sottoposto a lavorazioni ad asportazione di truciolo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA





MECCANICA DEL TAGLIO ORTOGONALE

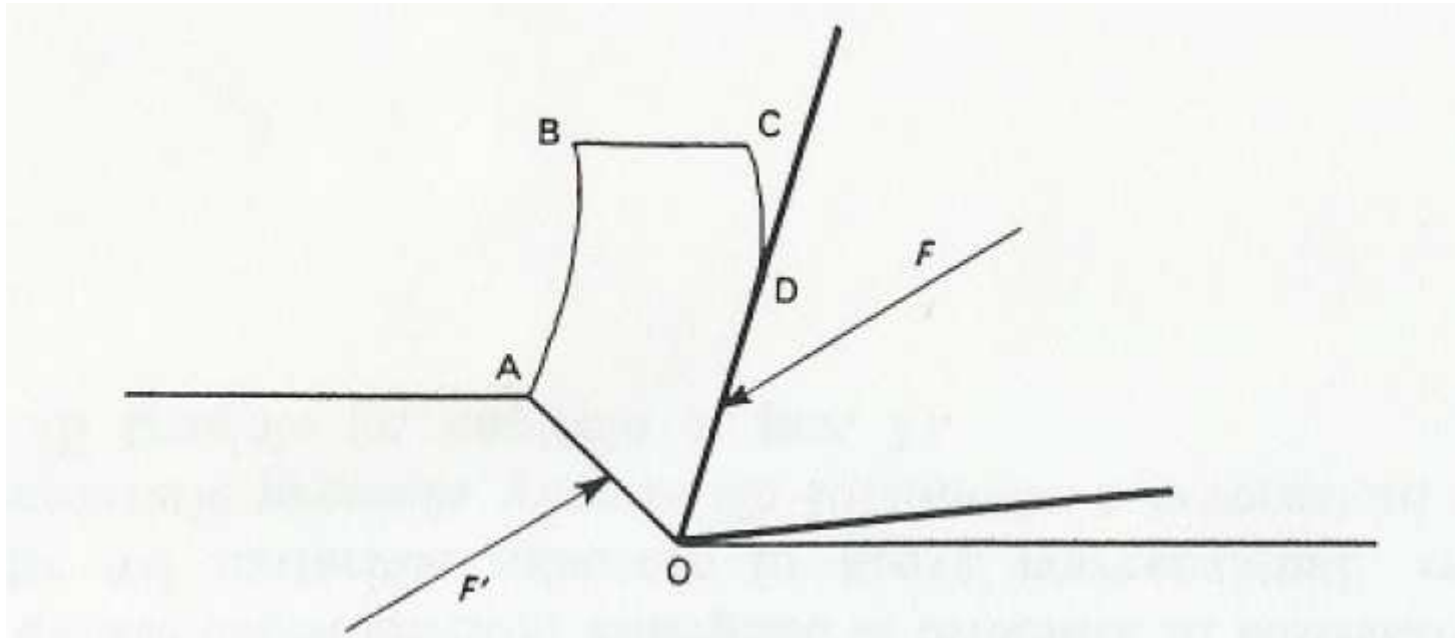
Analisi delle forze fra utensile e pezzo (equazioni fondamentali).

Diversi motivi inducono a sviluppare, con accuratezza, lo studio delle forze di taglio che si manifestano fra utensile e pezzo, durante il distacco del truciolo:

- a) verifica delle caratteristiche dei diversi materiali in lavorazione, degli utensili, delle condizioni di lavoro;
- b) conoscenza delle sollecitazioni, applicate agli organi delle macchine utensili (per poterne effettuare il dimensionamento in sede di progettazione e per valutarne eventuali deformazioni, incidenti sulla precisione delle lavorazioni);
- c) valutazione della potenza necessaria.



Studiando, da principio, **il problema nel piano** (*taglio ortogonale*), si osservi l'equilibrio del truciolo OABCD, sottoposto ad una forza risultante F , applicatagli dall'*utensile*, e ad una reazione F' uguale e contraria, applicata dal pezzo in corrispondenza col piano di scorrimento (*fig. successiva*).



Forze applicate al truciolo.



L'eventuale mancanza di allineamento fra F ed F' può essere trascurata, poiché possiede un valore molto piccolo rispetto alle forze stesse.

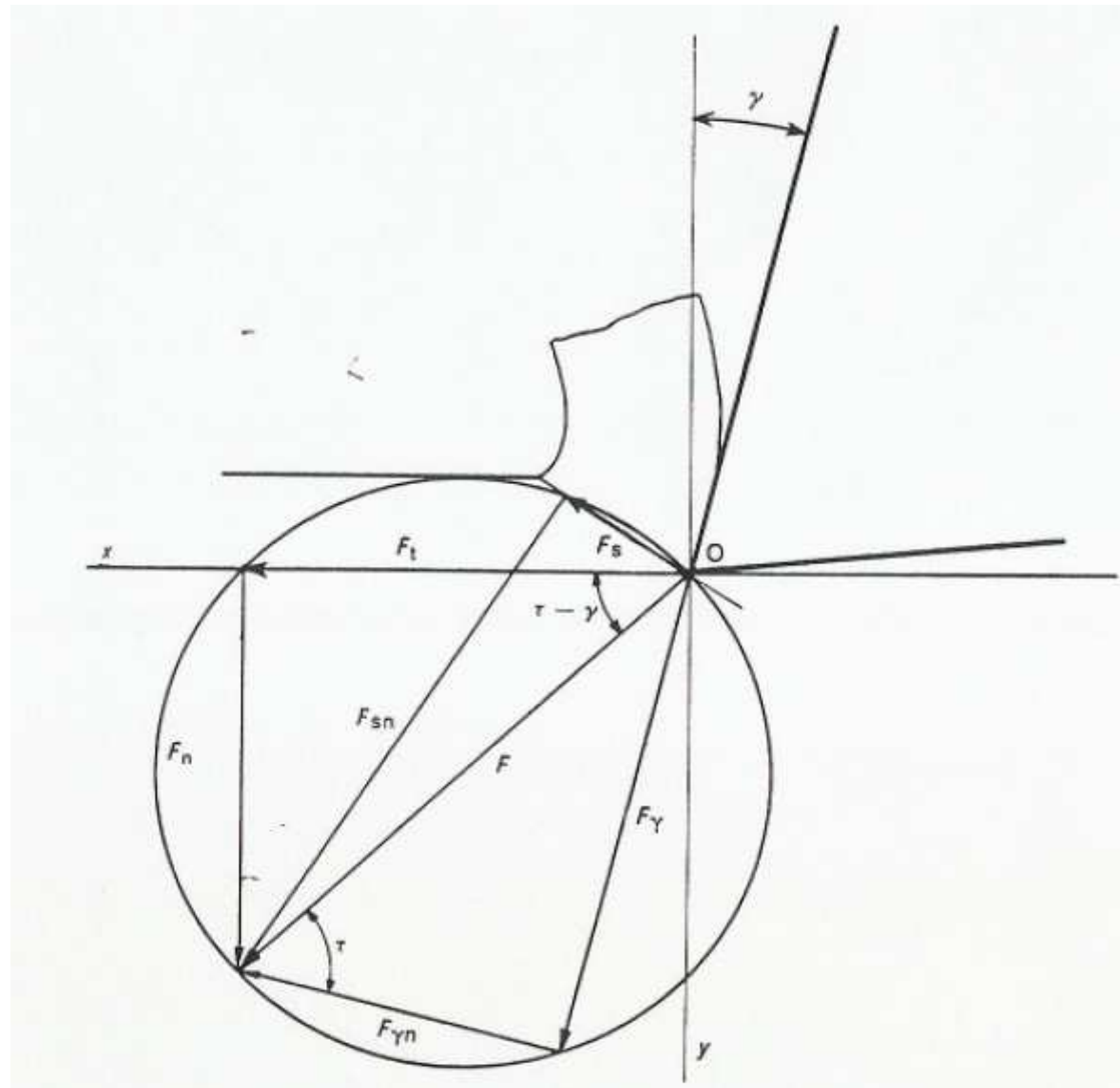
La forza F equivale ad una distribuzione di pressioni normali a , fra truciolo e faccia frontale dell'utensile, per le quali si suppongono i valori ai limiti:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_{\max} && \text{in prossimità del tagliente O} \\ \sigma &= 0 && \text{al distacco (punto D).}\end{aligned}$$



La risultante F che si suppone applicata nel punto O , può essere scomposta (fig. seguente) nei modi seguenti (gli assi x ed y sono disposti come indicato nella figura; l'asse z è normale al disegno):

- a) secondo le direzioni di taglio F_t e normale F_n ;
- b) secondo le direzioni F_y della faccia di taglio ed F_{y_n} normale.





Poiché i valori di F_{γ} e di $F_{\gamma n}$ sono legati fra loro dal coefficiente μ di attrito, risulta:

$$\mu = \frac{F_{\gamma}}{F_{\gamma n}} = \tan \tau$$

c) secondo le direzioni F_s (del piano di scorrimento) ed F_{sn} (normale a questo).

Dalle scomposizioni, risulta che i vertici dei vari vettori sono tutti disposti su una circonferenza, avente quale diametro la risultante F . Inoltre si possono stabilire le seguenti relazioni:



$$\begin{aligned}F_t &= F \cos(\tau - \gamma) \\F_n &= F \sin(\tau - \gamma) \\F_s &= F \cos(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos(\phi + \tau - \gamma) \\F_{sn} &= F \sin(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin(\phi + \tau - \gamma) \\F_\gamma &= F \sin \tau = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin \tau \\F_{\gamma n} &= F \cos \tau = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos \tau \\F &= \frac{F_s}{\cos(\phi + \tau - \gamma)}\end{aligned}$$

Introducendo la tensione dinamica di scorrimento (τ_s), agente lungo la superficie di scorrimento:

$$A_s = \frac{A}{\sin \phi}$$

e la tensione normale al piano di scorrimento σ_s risulta:



$$F_s = A_s \tau_s = \frac{A}{\text{sen } \phi} \tau_s$$

$$F_{sn} = A_s \sigma_s = \frac{A}{\text{sen } \phi} \sigma_s$$

Sostituendo si ottiene,

$$F = A \tau_s \frac{1}{\text{sen } \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$F_t = A \tau_s \frac{\cos(\tau - \gamma)}{\text{sen } \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$F_n = A \tau_s \frac{\text{sen}(\tau - \gamma)}{\text{sen } \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$



I valori della τ_s e della σ_s

$$\tau_s = \frac{F \operatorname{sen} \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}{A}$$

$$\sigma_s = \frac{F \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen}(\phi + \tau - \gamma)}{A}$$

Ancora,

$$\mu = \tan \tau = \frac{F_{\gamma}}{F_{\gamma n}} = \frac{F_n + F_t \tan \gamma}{F_t - F_n \tan \gamma}$$



Teorie principali sulla asportazione del truciolo.

Precedentemente è stato considerato il modello a piano di scorrimento nel taglio ortogonale e sono stati indicati i parametri che lo caratterizzano.

Per uno studio approfondito sull'asportazione di truciolo, occorre collegare i *parametri geometrici e dinamici*. I dati di ingresso possono es-

sere le componenti F_t ed F_n della risultante di taglio F , l'angolo τ di attrito, gli spessori del truciolo prima e dopo l'asportazione h ed h_c , la profondità p di passata, l'angolo γ di spoglia frontale. Il problema consiste nel determinare l'angolo ϕ di scorrimento; viceversa, noti l'angolo di scorrimento ed altri dati geometrici e del materiale, prevedere i valori della forza di taglio.



Diverse teorie sono state elaborate, per correlare i parametri sopra detti: in particolare, l'angolo ϕ di scorrimento, l'angolo τ di attrito e l'angolo γ di spoglia frontale secondo una correlazione del tipo

$$\phi = f (n, \gamma, \tau, \pi)$$

dove n è un coefficiente minore di 1.



TEORIE DI H. ERNST (1.27) - M. E. MERCHANT (1941) (1.28), e di M. E. MERCHANT (1945) (3.1). — Seguono gli studi condotti alcuni anni prima (1937) da V. PIJSPANEN (1.26) e forniscono le prime complete analisi del fenomeno del taglio.

La scomposizione della risultante F è eseguita, come indicato sopra, con la precisazione che essa agisce soltanto attraverso la superficie

di contatto truciolo-utensile, e non in corrispondenza col tagliente e col dorso.

La teoria si basa su due concetti fondamentali:

a) il piano di scorrimento si orienta in modo che il lavoro assorbito nel taglio sia minimo;

b) il valore massimo di τ_s è sul piano di scorrimento.

Poiché, per determinate condizioni di taglio, il lavoro speso per il taglio è proporzionale ad F_t , fu necessario ricorrere ad una espressione di F_t in funzione di ϕ e, successivamente, ottenere il valore di ϕ che rende minimo F_t .



$$F_s = F \cos(\phi + \tau - \gamma)$$

Da

$$F_s = A_s \tau_s = \frac{A}{\sin \phi} \tau_s$$

$$F_t = F \cos(\tau - \gamma)$$

Risulta che la seguente può essere derivata rispetto a ϕ

$$F_t = A \tau_s \frac{\cos(\tau - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

Si ottiene

$$2\phi + \tau - \gamma = \frac{\pi}{2} \quad [3.19]$$

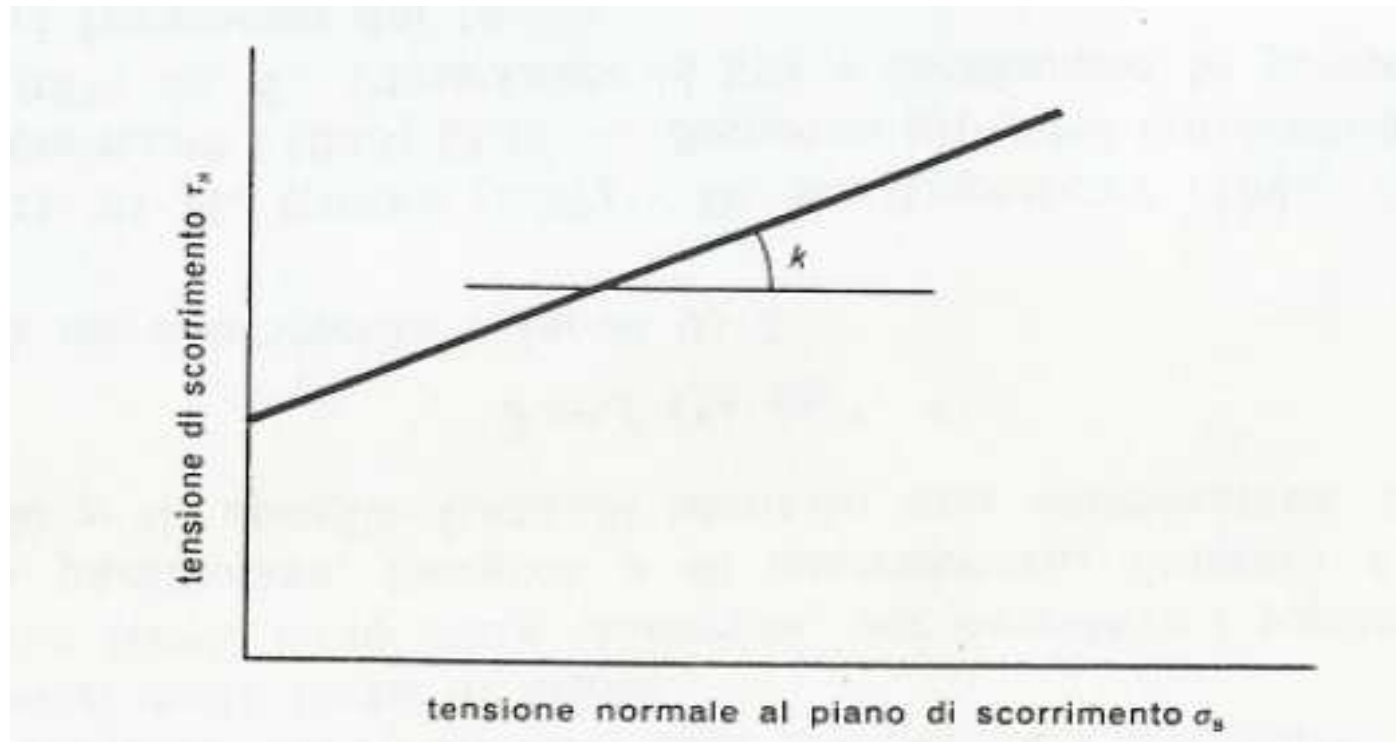


La validità della [3.19] dipende da numerosi fattori, quali la plasticità del materiale, la velocità di taglio ed il tipo di utensile adoperato.

Le imprecisioni dipendono, secondo MERCHANT, dal fatto che non sono stati considerati i legami di interdipendenza fra τ_s e σ_s .

E. MERCHANT elaborò, quindi, una seconda teoria (3.1), modificando le ipotesi sulla τ_s , la quale, non più considerata costante, assume il valore:

$$\tau_s = \tau_0 + k \sigma_s \quad [3.20]$$



Tensione di scorrimento in funzione della tensione normale al piano di scorrimento.



(τ_0 valore di τ_s per $\sigma_s = 0$); la [3.20] indica come la resistenza allo scorrimento del materiale aumenti linearmente con l'aumento della tensione normale sul piano di scorrimento (fig. 3.3).

$$\tau_s = \frac{F \operatorname{sen} \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}{A} \quad [3.15]$$

$$\sigma_s = \frac{F \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen}(\phi + \tau - \gamma)}{A} \quad [3.16]$$

Sostituendo nella [3.15] il valore di F , ricavato dalla [3.16], si ottiene:

$$\tau_s = \frac{\sigma_s A \operatorname{sen} \phi \cos(\phi + \tau - \gamma)}{\operatorname{sen} \phi \operatorname{sen}(\phi + \tau - \gamma) A} = \sigma_s \cot(\phi + \tau - \gamma) \quad [3.21]$$

dalla [3.20] e dalla [3.21] si ottiene:

$$\tau_s = \frac{\tau_0}{1 - k \tan(\phi + \tau - \gamma)} \quad [3.22]$$

La [3.22] mostra l'influenza che ϕ può esercitare su τ_s .

Inserito il valore così trovato di τ_s nella [3.13], si ha:

$$F_t = \frac{\tau_0 A \cos(\tau - \gamma)}{\operatorname{sen} \phi \cos(\phi + \tau - \gamma) [1 - k \tan(\phi + \tau - \gamma)]} \quad [3.23]$$



Ponendo che k e τ_0 siano costanti per un dato materiale e che A e γ siano costanti per una data operazione, la [3.23] può essere derivata rispetto a ϕ . Il risultato della derivazione è:

$$\tan(2\phi + \tau - \gamma) = \frac{1}{k}$$

ossia:

$$2\phi + \tau - \gamma = \arctan \frac{1}{k} = C$$



Dalla elaborazione sopra riportata e dalla fig. 3.3, risulta che la costante C è legata alla pendenza della retta τ_s , σ_s ed assume valori compresi fra $70 \dots 80^\circ$ per gli acciai; $C = 80 \dots 90^\circ$ per acciai inossidabili; $C \cong 50^\circ$ per alluminio (v. Tabella 3.1).

Al fine di ottenere i valori delle forze F_t ed F_n , nelle [3.13] e [3.14] si sostituisca a $(\tau - \gamma)$ il corrispondente valore ricavato dalla [3.25]:

$$\begin{aligned} F_t &= A \tau_s \frac{\cos(C - 2\phi)}{\sin\phi \cos(C - \phi)} = \\ &= A \tau_s [\tan(C - \phi) + \cot\phi] \end{aligned} \quad [3.26]$$

$$F_n = A \tau_s [\cot\phi \cdot \tan(C - \phi) - 1] \quad [3.27]$$

Le [3.26] e [3.27] possono essere utilizzate direttamente per il calcolo delle forze, noti i valori dell'angolo ϕ , di τ_s e di C .

Dalla [3.25], inoltre, risulta che — con l'aumentare del coefficiente μ d'attrito (ossia dell'angolo τ) fra utensile e truciolo — si verifica una riduzione di ϕ e diminuisce pertanto il fattore di ricalcamento c [v. formula 2.14], permanendo costante il valore di C per un dato materiale.

TABELLA 3.1 Valori di massima delle caratteristiche meccaniche di alcuni acciai AISI (Tool Engineer Handbook).

MATERIALI: ACCIAI AISI	Trattamento	Durezza Brinell HB	Costan- te (1) C' (in gradi)	Resistenza allo scorrimento (1) τ_s (daN/mm ²)	Coefficiente di attrito (1) μ
1010	laminato a caldo	103	69,8	48	1.32
1019	laminato a caldo	147	73,1	56	0.95
1019	trafilato a freddo	169	73,7	53	0.98
1020	laminato a caldo	109	69,6	52	0.94
1022 (con Pb)	laminato a caldo	121	71,8	54	0.40
1045	laminato a caldo	190	78.0	65	0.96
1045	trafilato a freddo	213	81,2	67	0.94
1070	laminato a caldo	217	78,8	78	0.84
1095	laminato a caldo	182	73.0	67	0.89
1113 (con S)	trafilato a freddo	170	71,1	51	0.53
1340	laminato a caldo	192	74,8	65	1,10
2340	laminato a caldo	197	76,2	64	0.99
3115	laminato a caldo	131	78.4	49	1,14
3130	laminato a caldo	169	72,4	58	0,94
3140	laminato a caldo	185	70,6	58	1,12
3150	laminato a caldo	197	75.7	62	1.13
4340	laminato a caldo	210	74.5	65	1.06
52100	laminato a caldo	186	71.3	51	1.11
52100	trafilato a freddo	240	72.9	55	1,04
Acciai inossidabili					
303 (con S)	laminato a caldo	162	92.0	75	0.80
304	laminato a caldo	139	82.0	83	1.18
410	laminato a caldo	217	79,3	62	0.87
416 (con S)	laminato a caldo	215	82,7	58	0.82
430	laminato a caldo	156	73,1	57	0.92
430 F (con S)	laminato a caldo	181	74.6	59	0.80

(1) I dati sono stati ottenuti da prove di taglio ortogonale presso la Cincinnati Milacron (U.S.A.), con utensili in carburo: $\gamma = 10^\circ$; $v = 130$ m/min; $a = 0,075$ mm/giro; $A = 0,5$ mm².



Ancora, col diminuire di ϕ si verifica un aumento della forza di **taglio**

In conclusione, le migliori condizioni per la formazione del truciolo risultano quelle, per le quali si verificano contemporaneamente:

ϕ, C grandi
 μ, τ_s piccoli

Metodi e strumenti per la misura delle forze di taglio



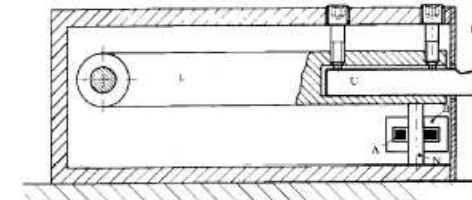
celle di carico
piezoelettriche



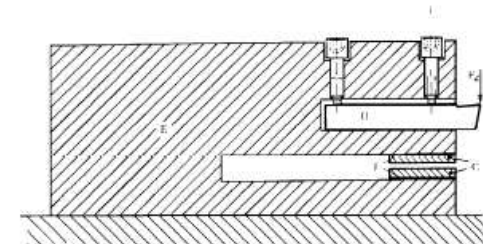
celle di carico
elastiche

La conoscenza della forza principale di taglio permette inoltre attraverso relazioni empiriche la determinazione delle altre forze di interesse tecnologico, F_n e F_a (normale e avanzamento)

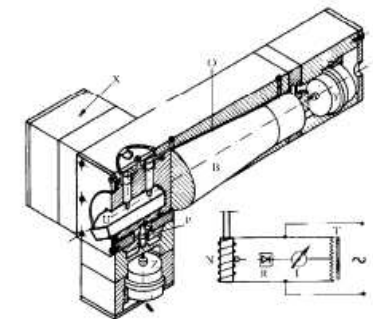
trasduttori
magnetici



trasduttori
capacitivi



trasduttori
induttivi





Misura delle forze di taglio

Oltre ad essere calcolate le F_t possono essere anche **misurate**. Il loro rilevamento permette di avere risultati reali e verificare le teorie sulla meccanica di formazione del truciolo.

Le F_t che si vanno a rilevare possono essere di **due tipi**:

1. **forze statiche** o **quasi statiche** che non variano rispetto al tempo
2. **forze dinamiche** forze che variano nel tempo

Le misure un tempo erano di tipo statico o quasi statico, al giorno d'oggi è molto interessante ed è possibile rilevare anche la componente dinamica. Sono in ogni caso importanti le proprietà dinamiche del **dinamometro** (strumento di misura di forze) perché non vengono variati i componenti dinamici globali del sistema macchina-pezzo-utensile a cui si viene ad aggiungere il dinamometro.



Requisiti che deve presentare un dinamometro (anche per misure quasi-statiche):

- Rigidezza statica (K_{stat})
- Sensibilità o fattore di taratura
- Sensibilità trasversale
- precisione
- linearità
- influenza della temperatura
- registrazione dei risultati

Requisiti di tipo dinamico:

- Rigidezza dinamica (K_{din})
- frequenza propria
- Frequenza di eccitazione.
- fattore di smorzamento

$$\omega_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{stat}}{m}}$$

Dove ω_p rappresenta il **modo di vibrare naturale** del dinamometro.

Dinamometro a schema meccanico

La misura si effettua attraverso minimetri millesimali che rilevano la deformazione del dispositivo

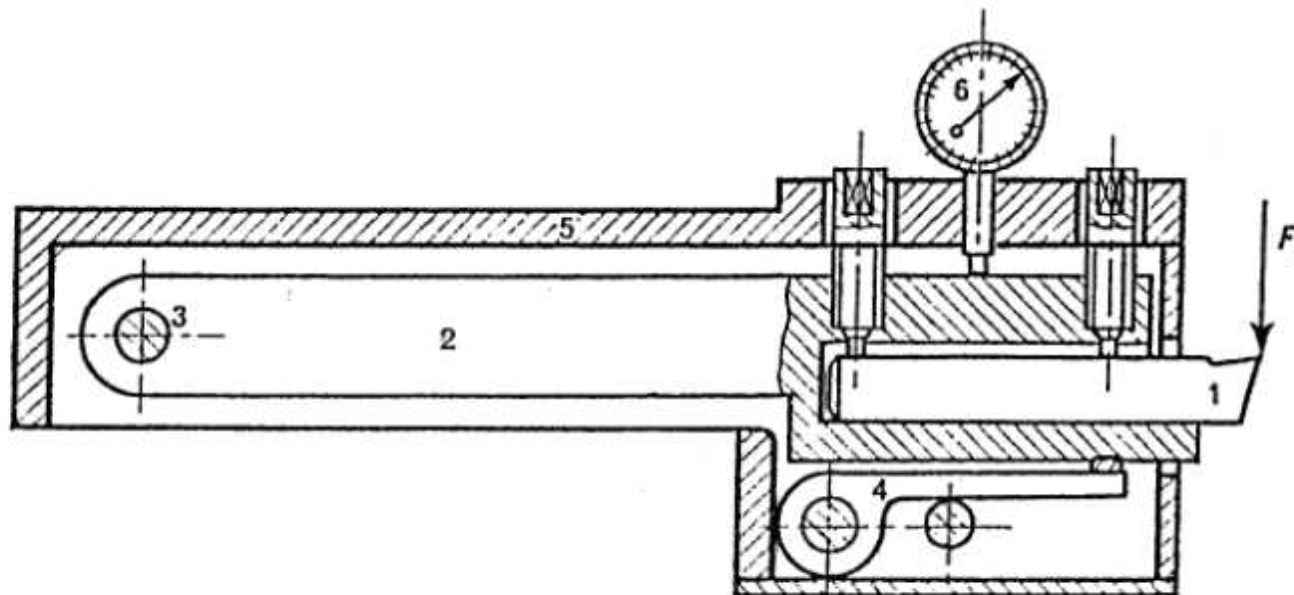


Fig. 6.1. Dinamometro a schema meccanico; 1. Utensile; 2. Leva; 3. Fulcro; 4. Molla di reazione; 5. Corpo del dinamometro; 6. Comparatore millesimale; F_t , Forza principale di taglio.



Dinamometri trasduttori elettrici

1. A trasduttore capacitivo

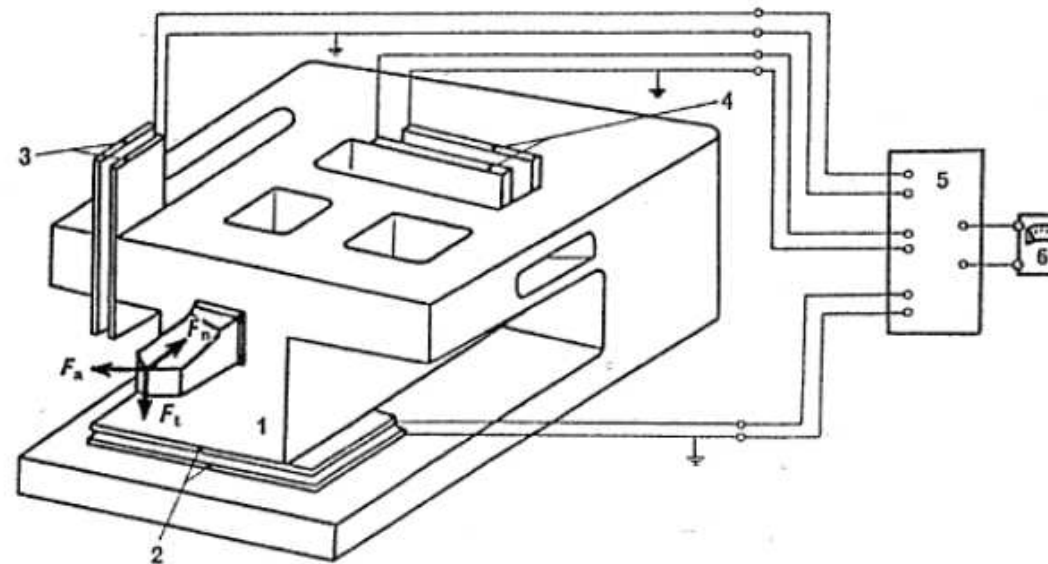


Fig. 6.5. Dinamometro a tre componenti con trasduttori capacitivi: 1. Elemento deformabile; 2.3.4. Condensatori; 5. Ponte di misura; 6. Galvanometro; F_n . Forza normale (repulsione); F_a . Forza di avanzamento; F_t . Forza di taglio.

La parte mobile funziona come l'armatura di un condensatore la cui capacità è funzione della distanza dalla parte fissa.

La variazione di capacità si può misurare con un ponte ed un galvanometro



Dinamometro - trasduttori elettrici

2. A trasduttore magnetico

3. A trasduttore a strain gauges (estensimetri elettrici)

le misure delle variazioni di resistenza elettrica degli estensimetri sotto carico sono eseguite con circuiti di misura a ponte di wheatstone.

Esistono dinamometri provvisti di più estensimetri e disposti diversamente in modo da equilibrare il ponte, da amplificare il segnale, da limitare al massimo la sensibilità trasversale.

4. Dinamometri a quarzo piezoelettrico.

Si basano sull'impiego di celle al quarzo piezoelettrico che sono dotate della proprietà di fornire un campo elettrico proporzionale alla pressione a cui sono sottoposte.

in questo caso la misura di forze è svincolata dalla deformazione (che per altro è limitatissima).

Si hanno con questi trasduttori elevatissime rigidità e frequenze proprie molto elevate.

A seconda seconda di come vengono realizzate le celle, queste possono essere sensibili soltanto alla compressione od al taglio. (anisotropia del quarzo)

Questi tipi di dinamometri sono in grado di rilevare l'andamento dinamico delle forze dinamiche dirette secondo i tre assi cartesiani.



Metodo della pressione specifica per il calcolo delle forze di taglio

Lo studio della formazione del truciolo ed il calcolo delle forze (e delle potenze) di taglio possono essere effettuati introducendo una nuova grandezza significativa, *la pressione di taglio, k_s* .

La pressione k_s di taglio è il rapporto tra la forza F_t di taglio e la sezione A del truciolo:

$$k_s = \frac{F_t}{A}$$

Laddove A assume il valore unitario (1 mm^2), si ha la *pressione (o forza) specifica di taglio k_{s0}* , che risulta correlata con le caratteristiche del materiale in lavorazione. Alla pressione specifica di taglio si può anche pervenire, considerando la potenza necessaria per asportare un



volume unitario di materiale nell'unità di misura di tempo; questa è una grandezza, caratteristica per ogni materiale, denominata *potenza specifica di taglio* P_{sp} (o *potenza/unità di volume*). Per il calcolo della potenza, occorre eseguire il prodotto della forza per la velocità v .

La forza risultante di taglio F può essere scomposta nella F_t ed F_n .

Poiché la componente F_n , per la maggior parte delle lavorazioni, assorbe una potenza trascurabile rispetto a quella richiesta da F_t , o addirittura nulla, quando è perpendicolare alla direzione del moto (e di v), è possibile scrivere:



$$P = F_t v \quad [3.76]$$

Il volume del materiale, asportato in 1 min è:

$$Z = A v \quad [3.77]$$

Perciò, la potenza specifica di taglio vale:

$$P_{sp} = \frac{F_t v}{A v} = \frac{F_t}{A} \quad [3.78]$$

e corrisponde dimensionalmente ad una pressione.

Dalla [3.54], sostituendo ad F_t il valore fornito dalla [3.2]:

$$F_t = F \cos(\tau - \gamma) \quad [3.2 \text{ rip.}]$$

nella quale si ponga, tenendo presente la relazione angolare [3.19] di ERNST e MERCHANT:

$$\tau - \gamma = \frac{\pi}{2} - 2\phi \quad [3.79]$$



La [3.2 rip.] diviene:

$$F_t = F \cos\left(\frac{\pi}{2} - 2\phi\right) = F \operatorname{sen} 2\phi = 2F \operatorname{sen} \phi \cos \phi \quad [3.80]$$

La F vale [3.8]:

$$F = \frac{F_s}{\cos(\phi + \tau - \gamma)} = \frac{F_s}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right)} = \frac{F_s}{\operatorname{sen} \phi} \quad [3.81]$$

Risulta:

$$F_t = 2F_s \frac{\operatorname{sen} \phi \cos \phi}{\operatorname{sen} \phi} = 2F_s \cos \phi \quad [3.82]$$

Però essendo valide le [3.10]:

$$F_t = 2A \tau_s \frac{\cos \phi}{\operatorname{sen} \phi} = 2A \tau_s \cot \phi \quad [3.83]$$

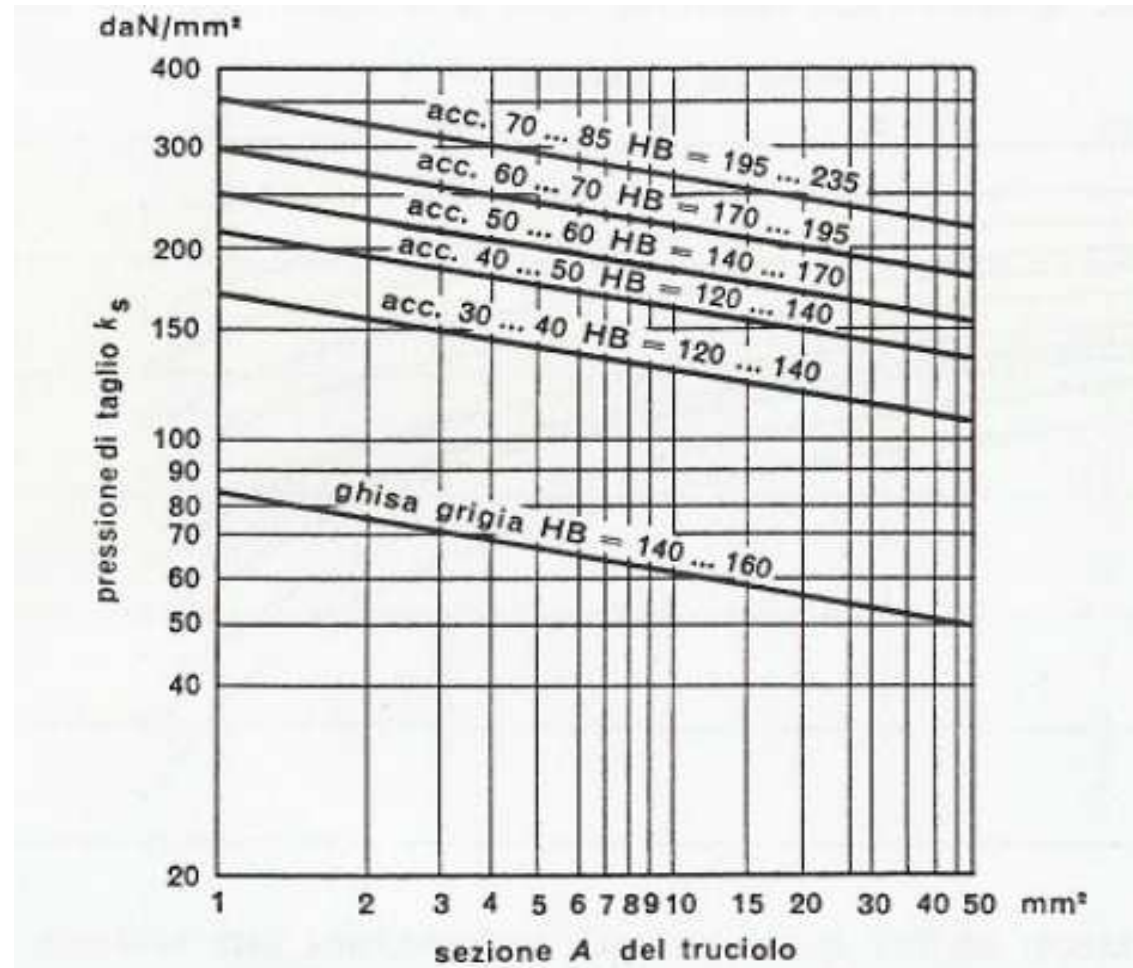


Donde:

$$k_s = \frac{F_t}{A} = 2\tau_s \cot \phi \quad [3.84]$$

Il calcolo della forza di taglio per mezzo della k_s (ovvero k_{s0}) può essere eseguito, considerando ancora che la pressione di taglio così definita è funzione di:

- a) caratteristiche del materiale in lavorazione;



Pressione di taglio in funzione della sezione del truciolo, per la lavorazione di materiali ferrosi.



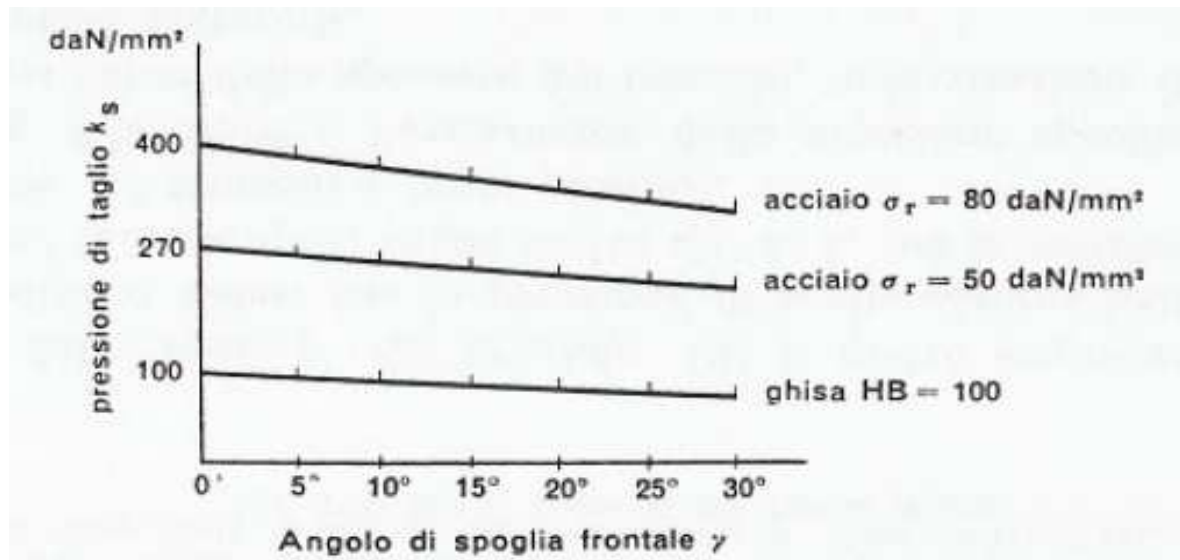
b) materiale e geometria dell'utensile (angolo di spoglia frontale; angolo di attacco, angolo di inclinazione e raggio del raccordo fra i taglienti):

- c) profondità di passata, avanzamento;
- d) velocità di taglio;
- e) condizioni di lubrorefrigerazione;
- f) usura dell'utensile.

a) *Caratteristiche del materiale in lavorazione.* — Incidono sulla pressione di taglio le caratteristiche meccaniche, quali carico di rottura, allungamento, durezza, lavorabilità



b) *Materiali e geometria dell'utensile.* — Il materiale dell'utensile influisce sulla k_s per i diversi valori di μ al contatto truciolo-faccia di taglio. L'angolo γ di spoglia frontale provoca una diminuzione della pressione di taglio col crescere del suo valore



Relazioni fra pressione k_s di taglio e angolo γ di spoglia frontale.



L'angolo α di attacco, raggiungendo elevati valori, conduce ad un aumento della pressione di taglio e ad un maggiore logoramento del tratto di tagliente in presa, poiché tale tratto — a parità delle altre condizioni di lavoro e di sollecitazioni — presenta minore lunghezza. Anche l'angolo di attacco secondario α' influisce su k_s , poiché la sezione indeformata del truciolo diminuisce all'aumentare dell'angolo α' di attacco secondario e dell'avanzamento. Parimenti l'angolo λ d'inclinazione ed il raggio di raccordo fra i taglienti influiscono sulla k_s .

c) *Sezione del truciolo.* — Rilievi sperimentali confermano che la pressione di taglio k_s è funzione della sezione A del truciolo; precisamente, k_s diminuisce con l'aumentare di A (figg. 3.34 e 3.35).

È tuttavia da osservare la diversa influenza dello spessore del truciolo e dell'avanzamento sulla pressione di taglio. Si nota infatti che, a parità di sezione del truciolo, la pressione di taglio decresce con l'au-



mentare dello spessore del truciolo. Ciò è molto importante, poiché spiega i diversi valori che la pressione di taglio assume nelle differenti lavorazioni (ad esempio, valori molto alti di k_s per la rettificazione, dove lo spessore del truciolo è assai piccolo).

La fig. 3.36 illustra l'andamento della pressione specifica di taglio per diversi valori dello spessore del truciolo, in lavorazione di tornitura, con differenti materiali.

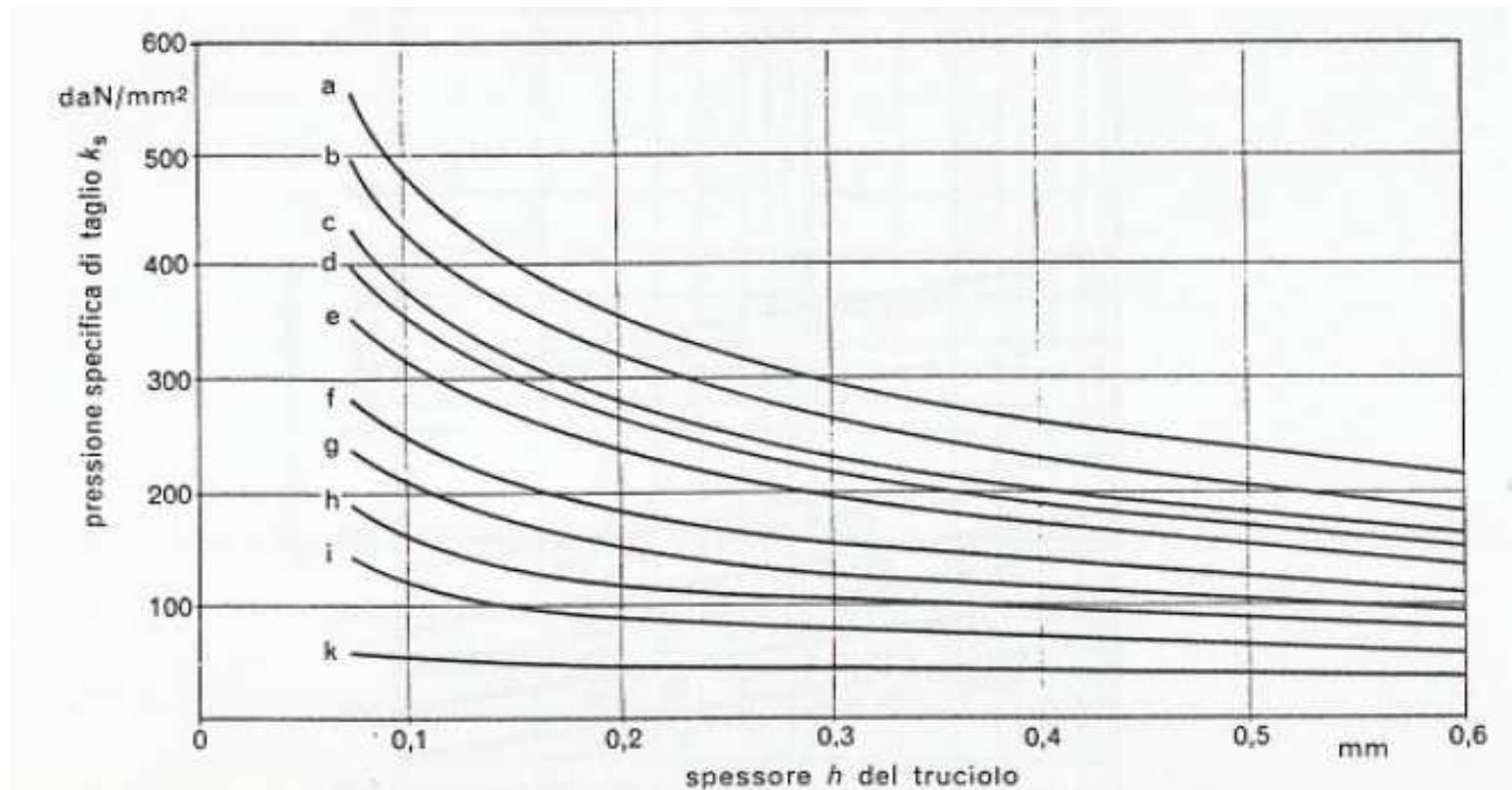


Fig. 3.36. Andamento della pressione di taglio, in funzione dello spessore del truciolo, nelle lavorazioni di tornitura di diversi materiali: a. Acciai per utensili e legati ($\sigma_r = 140...180 \text{ daN/mm}^2$); b. Acciai legati ($\sigma_r = 85...100 \text{ daN/mm}^2$); c, d. Acciai (C = 0,70; 0,50); e. Ghise acciaiose ($\sigma_r = 50...70 \text{ daN/mm}^2$); f. Ghisa (G.18; G.26); g. Ghisa malleabile; h. Ghisa (G.12, G.14); i. Leghe di Al (11...13% Si); k. Leghe di Mg. [Hütte (3.44)].



d) *Velocità di taglio*. — Anche questo parametro influisce sulla pressione di taglio; infatti, questa subisce una riduzione con l'aumentare di v .

Nella fig. 3.37 appare questa variazione, per un determinato angolo di spoglia frontale e con diversi valori di h .

Per elevati valori della velocità di taglio (oltre 200 m/min), la pressione di taglio si mantiene costante.

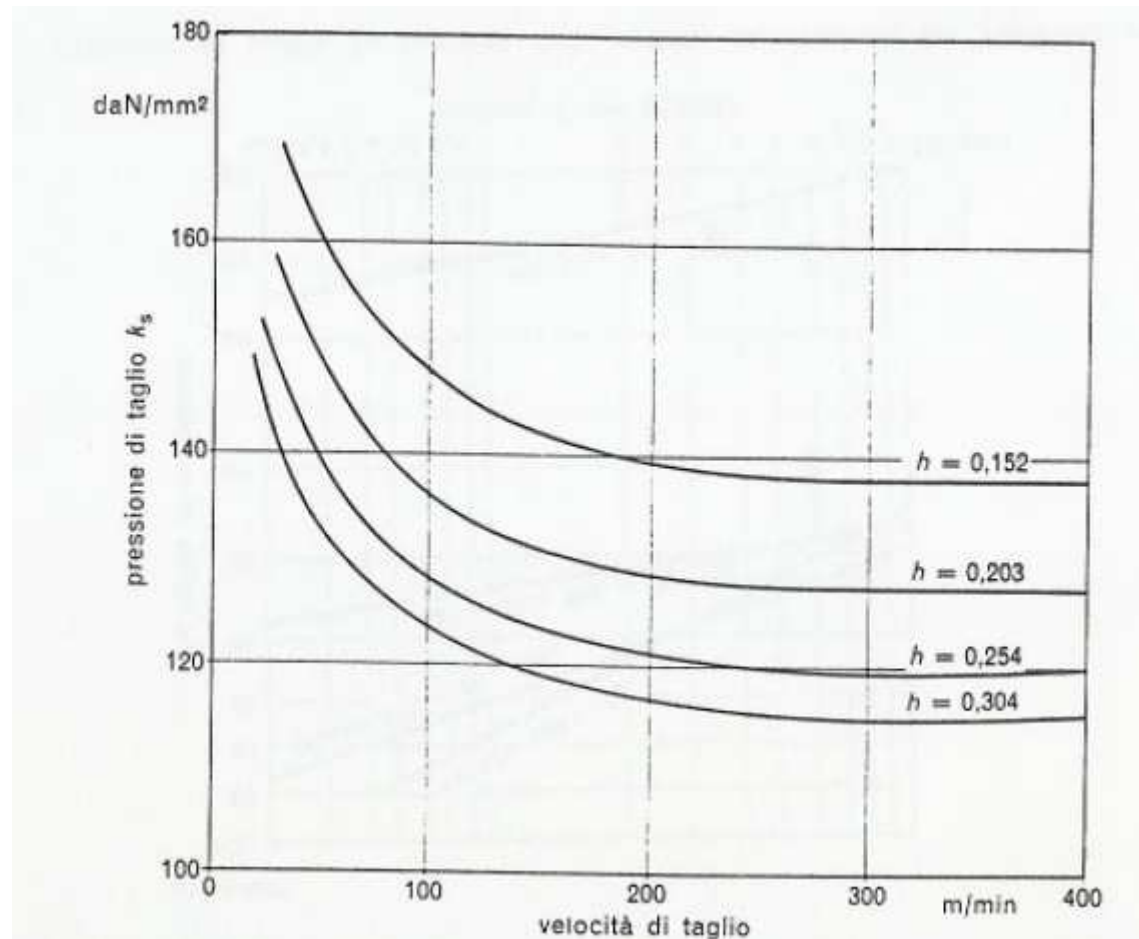


Fig. 3.37. Pressione di taglio, in funzione della velocità di taglio, in lavorazioni di tornitura di acciaio [larghezza del truciolo $b = 1,27$ mm; spessori del truciolo h (mm)] $\gamma = 10^\circ$.



e) *Condizioni di lubrorefrigerazione*: influiscono su k_s modificando le condizioni di attrito fra truciolo e faccia di taglio.

f) *Usura dell'utensile*: modifica la geometria dell'utensile: in genere provoca aumenti sulla pressione di taglio.

Per il calcolo della forza di taglio partendo dalla pressione (o forza) specifica di taglio (k_{s0}) sono stati proposti diversi metodi [O. KIENZLE, (3.27, 3.28, 3.29, 3.30), H. VICTOR (3.31, 3.32, 3.33) e K. KAMMER (3.34), F. MEYER (3.35) ed A. HORNUNG (3.36, 3.37)].



Tenuto conto della [3.75], ossia che $F_t = k_s A$, è necessario considerare la correlazione fra la pressione specifica di taglio k_{s0} con la sezione A del truciolo, oppure con lo spessore del truciolo (spessore medio h_m o spessore del truciolo equivalente h_e):

$$k_{s0} = \frac{F_t}{h_m^x b_m^y} \quad [3.85]$$

sostituendo nella [3.85] F_t con l'espressione

$$F_t = k_s b_m^y h_m^x = k_s h_m^y b_m^y \quad [3.86]$$

nella quale gli esponenti x e y che risultano minori di 1, essendo però $y \simeq 1$, indicano la differente influenza dello spessore del truciolo e

$$k_{s0} = \frac{k_s h_m^y b_m^y}{h_m^x b_m^y} = k_s h_m^{y-x} \Rightarrow k_s = \frac{k_{s0}}{h_m^{y-x}}$$



della sua larghezza, sono dipendenti dal materiale, dalla geometria dell'utensile, ecc.

Si può scrivere ponendo $y = 1$, e $1 - x = z$

$$k_s = \frac{k_{s0}}{h_m^{(1-x)}} = k_{s0} h_m^{-z} \quad [3.87]$$

L'equazione [3.87] conferma che la pressione specifica dipende essenzialmente dallo spessore medio del truciolo. La fig. 3.38 fornisce

i valori delle pressioni di taglio in funzione dello spessore medio del truciolo per diversi materiali e diverse lavorazioni; k_{s0} e z sono funzioni dei materiali in lavorazione, della geometria dell'utensile e del materiale dell'utensile; k_{s0} è la forza specifica di taglio, essendo $h = 1$.

Allo scopo di ottenere i valori di k_s , si vedano le Tab. 3.2, 3.3, dove i valori di k_s sono elencati in funzione dello spessore del truciolo per diversi materiali.

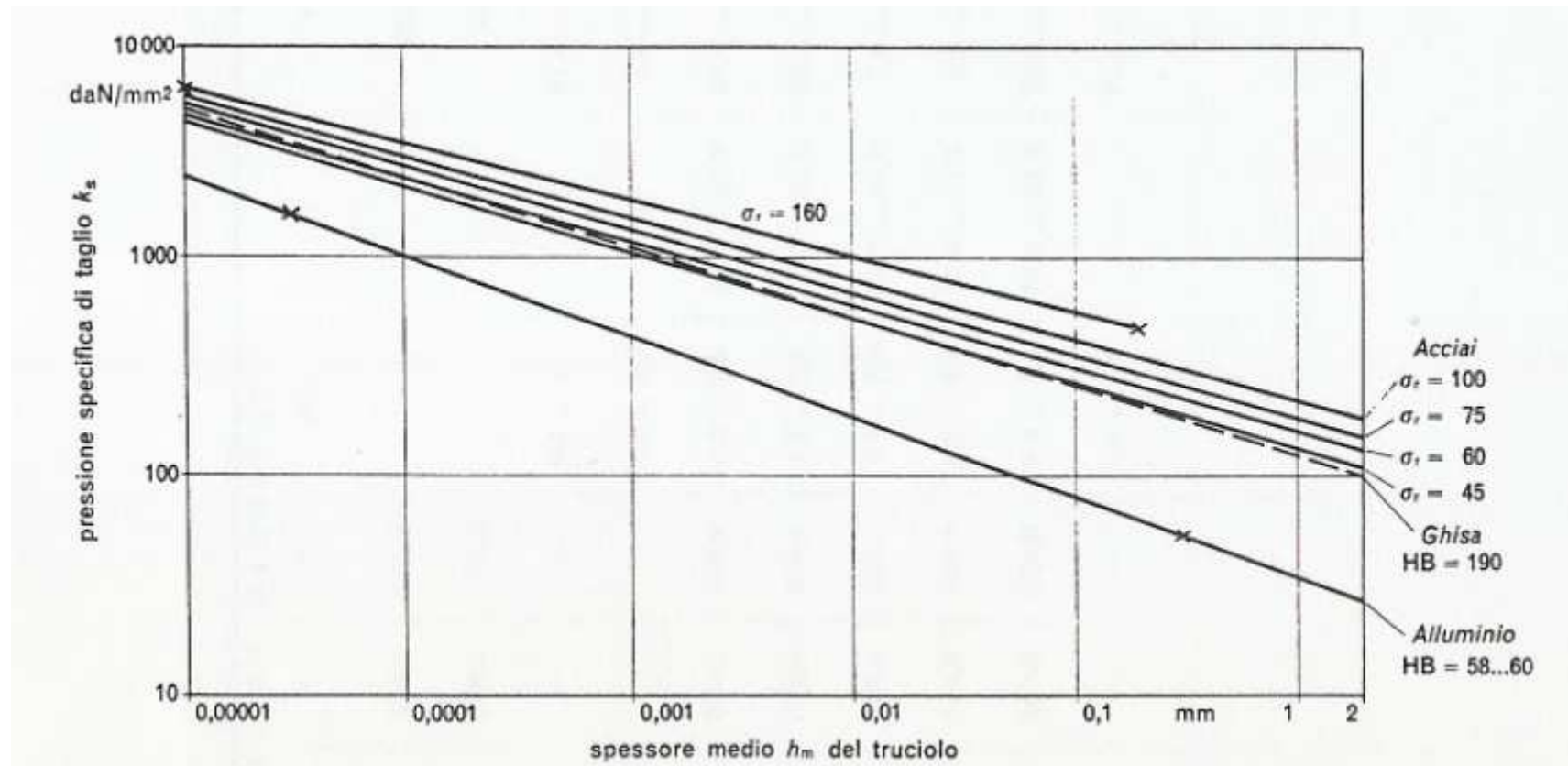


Fig. 3.38. Valori della pressione k_s di taglio in funzione dello spessore medio del truciolo, per acciai con differente carico di rottura, per ghisa e per lega di alluminio [A. Hornung (3.37)].



Allo scopo di ottenere i valori di k_s , si vedano le Tab. 3.2, 3.3, dove i valori di k_s sono elencati in funzione dello spessore del truciolo per diversi materiali.

La fig. 3.39 dà il valore di k_s in funzione di h ; la Tabella 3.3 indica la composizione dei materiali elencati nella Tabella 3.2 secondo la simbologia DIN; la Tab. 3.4 fornisce i valori di k_s per leghe leggere e la Tab. 3.5 la composizione delle leghe leggere elencate nella Tab. 3.4.

I valori di k_s (Tab. 3.2 e 3.4) sono ottenuti per operazioni di tornitura, con una definita geometria dell'utensile (Tab. 3.6) e per un

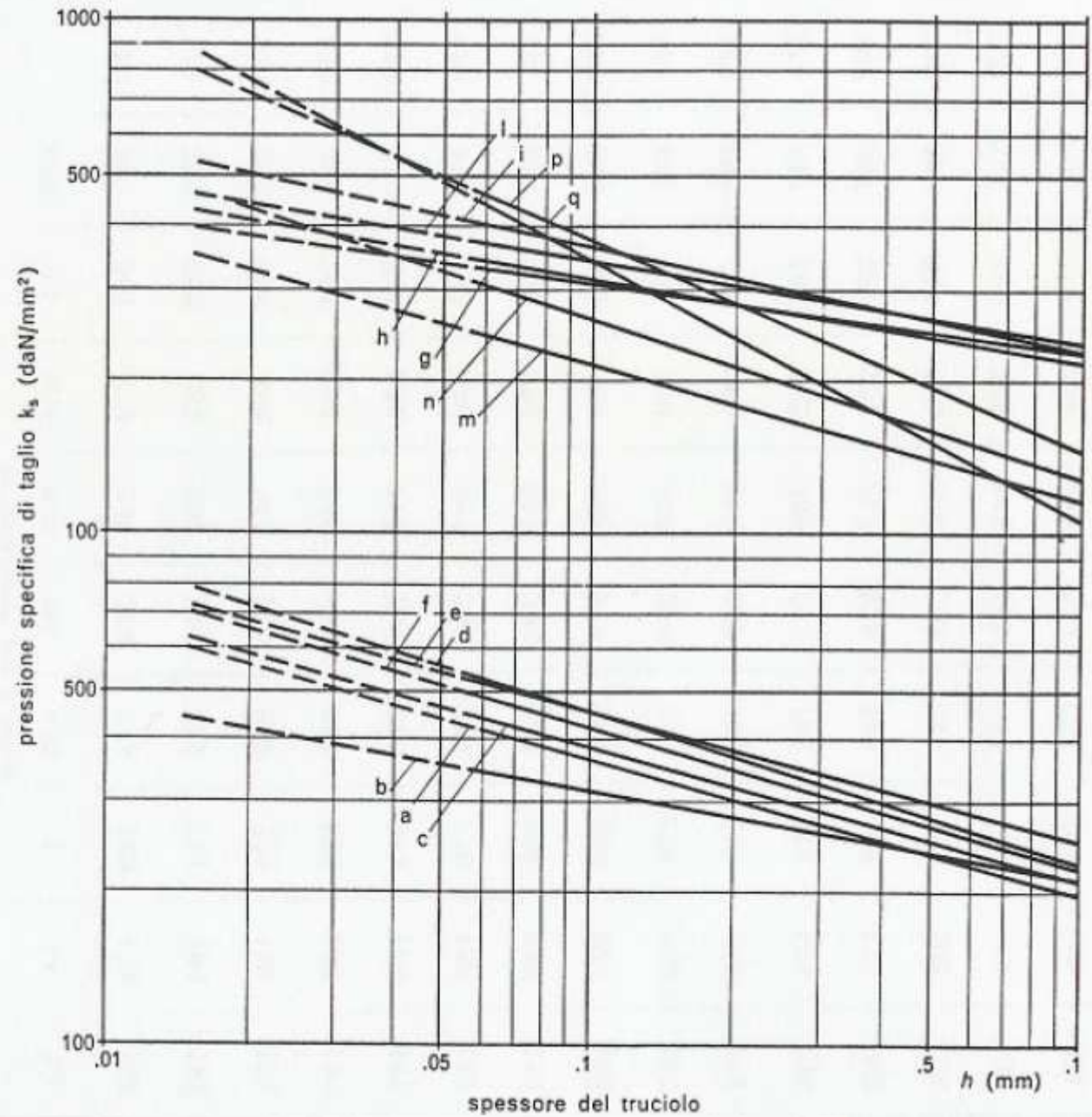
dato materiale dell'utensile, ma possono essere usati per diverse lavorazioni, quali foratura, fresatura, rettificazione e con utensili di diversa geometria e materiale.

TABELLA 3.2

N.	MATERIALE	σ_r o HB o HR _c [daN/mm ²]	ε	k_{∞}	k_s [daN/mm ²] per h [mm]								
					0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5
1	St 50.11	52	0,253	199	420	361	319	283	250	224	199	178	158
2	St 60.11	62	0,155	211	331	308	283	262	244	227	211	196	182
3	St 70.11	72	0,300	226	512	450	392	341	299	260	226	198	174
4	Ck 45 (C 40)	67	0,140	220	324	304	284	266	250	234	220	209	196
5	Ck 60 (C 60)	77	0,173	213	343	315	292	270	249	230	213	196	181
6	16 MnCr5	77	0,267	210	435	383	340	302	266	236	210	188	167
7	18 CrNi6	63	0,300	226	514	451	392	341	300	259	226	198	175
8	42 CrMo4	73	0,267	250	500	450	400	355	315	280	250	224	200
9	34 CrMo4	60	0,215	224	400	361	329	300	275	246	224	205	187
10	50 CrV4	60	0,264	221	462	410	361	319	282	250	221	199	178
11	55 NiCrMoV6 ric.	94	0,240	174	347	307	272	239	217	193	174	154	135
12	55 NiCrMoV6 bon.	HB = 352	0,240	192	367	331	295	266	238	210	192	172	153
13	15 CrMo5	59	0,170	229	365	339	313	290	268	247	229	202	198
14	Meehanite	36	0,265	127	258	230	205	184	164	144	127	113	101
15	Ghisa dura	HR _c = 46	0,195	206	350	319	294	268	245	224	206	190	174
16	GG 26	HB = 200	0,264	116	236	211	187	166	147	130	116	103	93



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Pressione di taglio in funzione dello spessore del truciolo per diversi materiali



TABELLA 3.4

Materiali	HB (daN/mm ²)	k_s (daN/mm ²) in funzione di h (mm)						
		1	0,6	0,4	0,25	0,16	0,05	0,01
1100-H-14	18	23	26	29	34	39	55	89
2011-T-3	97	34	40	45	52	59	84	135
2014-T-6	139	87	101,1	114,1	131,4	150,2	213	345
2017-T-4	115	80	93,2	105	121	139	197	319
2024-T-4	122	76	89	100	115	132	186	302
4032-T-4	115	76	89	100	115	132	186	302
6061-T-6	94	59	69	78	89	102	145	235
7075-T-6	153	100,4	117	132	152	174	247	400

Per leghe leggere: $k_s = k_{s0} h^{-0,3}$.



CALCOLO DELLE FORZE DI TAGLIO SECONDO KRONENBERG. — Una

importante generalizzazione della forza di taglio è stata proposta da M. KRONENBERG (1.25) introducendo, nell'espressione della pressione di taglio k_s , il rapporto di forma $G = b/h$:

$$k_s = \frac{k_{so} \left(\frac{G}{5} \right)^g}{A^f} \quad [3.88]$$

g e f sono due esponenti, che dipendono dal materiale lavorato.
Pertanto l'espressione della forza di taglio diviene:

$$F_t = k_{so} \left(\frac{G}{5} \right)^g A^{(1-f)} \quad [3.89]$$

La Tab. 3.7 riporta i valori di k_{so} , f , g per diversi materiali, necessari al calcolo di F_t .



TABELLA 3.7

MATERIALE	HB	f	θ	k_{so} $A = 1$ $G = 5 : 1$
SAE 1020	127	0,1	0,1	215
SAE 1020	160	0,1	0,1	230
SAE X 1020	126	0,1	0,1	208
SAE X 1020	156	0,1	0,1	224
SAE 1035	174	0,1	0,1	237
SAE 1045	187	0,1	0,1	252
SAE 1050	201	0,1	0,1	264
SAE 1060	217	0,1	0,1	288
SAE 1095	280	0,1	0,1	330
SAE 1095	207	0,1	0,1	248
SAE 1112	130	0,1	0,1	123
SAE 1112	167	0,1	0,1	148
SAE X 1112	183	0,1	0,1	148
SAE X 1315	120	0,1	0,1	127
SAE X 1315	161	0,1	0,1	124
SAE T 1340	217	0,1	0,1	284
SAE 2315	192	0,1	0,1	214
SAE 2330	223	0,1	0,1	236
SAE 2340	223	0,1	0,1	236
SAE 2512	—	0,1	0,1	214
SAE 3115	128	0,1	0,1	156
SAE 3115	163	0,1	0,1	163



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

SAE 3130	210	0,1	0,1	228
SAE 3140	207	0,1	0,1	210
SAE 3140	285	0,1	0,1	260
SAE 3240	170	0,1	0,1	172
SAE 4340	400	0,1	0,1	360
SAE 4340	302	0,1	0,1	274
SAE 4310	415	0,1	0,1	358
SAE 4615	212	0,1	0,1	214
SAE 4640	248	0,1	0,1	232
SAE 4815	187	0,1	0,1	205
SAE 5120	149	0,1	0,1	182
SAE 5135	207	0,1	0,1	203
SAE 52100	187	0,1	0,1	218
SAE 6115	170	0,1	0,1	214
SAE 6140	187	0,1	0,1	280
Ghisa aciculare	263	0,15	0,15	181
Ghisa nodulare	—	0,15	0,15	160
Ghisa grigia	—	0,15	0,15	155
GM	—	0,15	0,15	145
GMB	100	0,19	0,19	81



CALCOLO DELLA FORZA DI TAGLIO, USANDO DATI SPERIMENTALI (KRONENBERG). — Sulla base di prove sperimentali condotte da altri autori, M. KRONENBERG (1.25) ha espresso la forza principale di taglio e la pressione specifica in funzione della durezza Brinell (HB), della sezione del truciolo e dell'angolo solido dell'utensile β .

La Tab. 3.8 riporta le espressioni di F_t e k_s per i vari materiali. Eseguendo gli opportuni calcoli, si può tuttavia osservare che i valori delle pressioni specifiche k_{s0} per i 4 tipi di acciaio della Tab. 3.8 sono poco diversi tra loro.

In tal modo, si perviene all'espressione generalizzata della pressione specifica valida per gli acciai e le ghise (per $\alpha = 10^\circ$) in funzione del carico di rottura e della durezza:

$$\text{Acciai} \quad k_{s0} = 2,4 \sqrt[2,2]{\sigma_r} \sqrt[1,5]{80^\circ - \gamma} \quad [3.90]$$

$$\text{Ghise} \quad k_{s0} = 0,9 \sqrt[2,5]{HB} \sqrt[1,5]{80^\circ - \gamma} \quad [3.91]$$

Si deve notare che, con utensili usurati e con un piccolo spessore medio del truciolo, le forze di taglio, e perciò la pressione specifica di taglio, devono essere aumentate di 2 ... 2,5 volte.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

TABELLA 3.8

MATERIALE	F_t [daN]	k_s [daN/mm ²]
Acciaio al Cromo-Nickel	$F_t = A^{0,802} 26 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,56]{\frac{\beta}{50}}$	$k_s = \frac{26 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,56]{\frac{\beta}{50}}}{\sqrt[5,03]{A}}$
Acciaio St. 70.11 (SAE 1060)	$F_t = A^{0,803} 25,9 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,68]{\frac{\beta}{50}}$	$k_s = \frac{25,9 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,68]{\frac{\beta}{50}}}{\sqrt[5,07]{A}}$
Acciaio St. 42.11 (SAE 1025)	$F_t = A^{0,862} 19,8 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,36]{\frac{\beta}{50}}$	$k_s = \frac{19,8 \sqrt[2,2]{HB} \sqrt[1,36]{\frac{\beta}{50}}}{\sqrt[7,25]{A}}$
Ghisa	$F_t = A^{0,865} 9,6 \sqrt[2,5]{HB} \sqrt[1,51]{\frac{\beta}{50}}$	$k_s = \frac{9,6 \sqrt[2,5]{HB} \sqrt[1,51]{\frac{\beta}{50}}}{\sqrt[7,4]{A}}$



3.8 Potenza di taglio. — La potenza assorbita nel taglio, dove questo richiede una forza F_t ad una velocità v , è espressa, come è già stato osservato, dalla relazione:

$$P_t = F_t v \quad [3.76 \text{ rip.}]$$

La potenza di taglio è la somma dei seguenti addendi:

- a) potenza di scorrimento (P_s), richiesta per provocare la deformazione plastica del truciolo nella zona di scorrimento;
- b) potenza di attrito (P_{at}) necessaria per vincere le resistenze di attrito fra truciolo e utensile;
- c) potenza assorbita per l'incurvamento del truciolo (P_{it}).

La potenza corrispondente al punto c) è piccola (5%), rispetto alla potenza totale.



Si può porre, dunque, con buona approssimazione:

$$P_t = P_s + P_{at} = F_s v_s + F_\gamma v_c \quad [3.92]$$

Sostituendo F_s ed F_γ con i corrispondenti valori, in funzione di F_t ed F_n dalla fig. 3.2:

$$F_s = F_t \cos \phi - F_n \sin \phi \quad [3.93]$$

$$F_\gamma = F_n \cos \gamma + F_t \sin \gamma \quad [3.94]$$

inoltre sostituendo a v_s e v_c i valori espressi dalle [2.17] e [2.19] la [3.92] diviene:

$$\begin{aligned} F_t v &= (F_t \cos \phi - F_n \sin \phi) \frac{v \cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)} + \\ &+ (F_n \cos \gamma + F_t \sin \gamma) \frac{v \sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} = \\ &= F_t v \frac{\cos \phi \cos \gamma + \sin \gamma \sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} \end{aligned} \quad [3.95]$$

Poiché il rapporto dell'ultimo membro della [3.95] è uguale ad 1, la relazione [3.92] risulta verificata.



A completamento dello studio sulla potenza di taglio, si riportano le seguenti definizioni:

Potenza del motore (P_m), che fornisce i moti alla macchina (od il movimento principale di taglio).

Potenza di taglio (P_t), già considerata in precedenza, è, la potenza necessaria al taglio:

$$P_{t(\text{kW})} = \frac{F_t v}{60 \cdot 1000} \quad \begin{array}{l} F_t \quad (\text{daN}) \\ v \quad (\text{m/min}) \\ P_{t(\text{kW})} \quad (\text{kW}) \end{array} \quad [3.96]$$

La potenza di taglio non deve superare la potenza disponibile all'utensile o potenza effettiva.

Potenza effettiva (P_e) o disponibile all'utensile, è uguale alla potenza del motore, ridotta della potenza perduta attraverso le trasmissioni meccaniche di rendimento η .

$$P_e = \eta P_m \quad [3.97]$$



Il valore di η si può determinare, facendo funzionare la macchina a vuoto e misurandone la *potenza assorbita* (P_v); con buona approssimazione risulta:

$$\eta = \frac{P_m - P_v}{P_m} \quad [3.98]$$

Potenza specifica di taglio (P_{sp}): è la potenza effettiva (P_e), richiesta per asportare l'unità di volume del truciolo nell'unità di tempo (Z):

$$P_{sp} = \frac{P_e}{Z} = \frac{F_t \cdot v}{6120 A \cdot v} = \frac{F_t}{A} \frac{1}{6120} = \frac{k_{s0} h^{-z} A}{6120 A} = \frac{k_s}{6120} \quad [3.99]$$

essendo $Z = A \cdot v$

Z (cm³/min)

A (mm²)

v (m/min)

La potenza specifica di taglio è dunque proporzionale alla pressione di taglio, e pertanto si riduce con la sezione del truciolo.



Il volume specifico del truciolo V_{sp} è l'inverso del P_{sp} e corrisponde al volume di truciolo asportato nell'unità di tempo/unità di potenza:

$$V_{sp} = \frac{1}{P_{sp}} \quad [3.100]$$

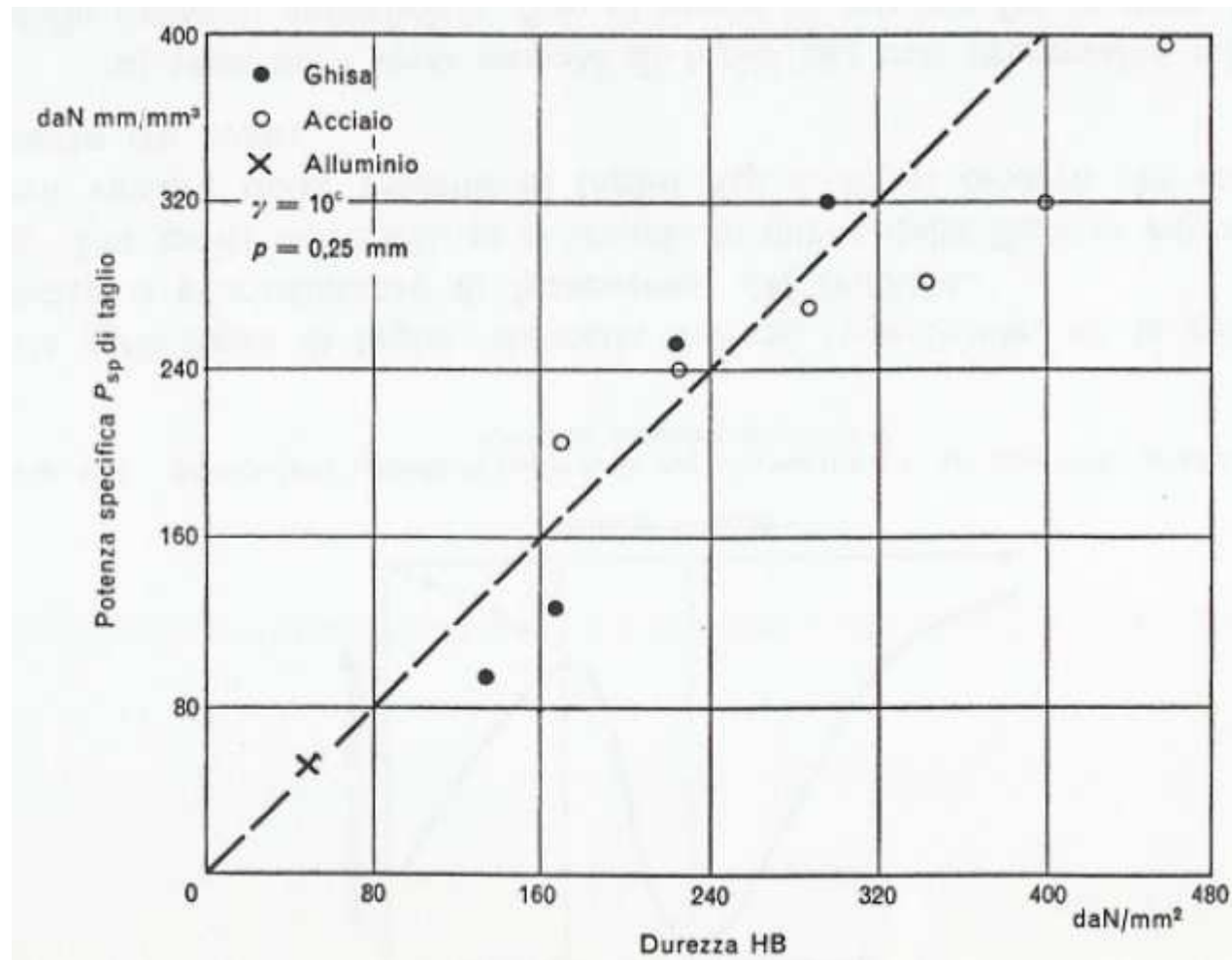
I valori di P_{sp} e V_{sp} sono pressoché costanti (con piccole variazioni delle condizioni di taglio) per ogni tipo di materiale. Ad esempio:

$$\begin{array}{ll} \text{per acciai} & V_{sp} = 15 \dots 20 \text{ cm}^3/\text{min} \cdot \text{kW} \\ \text{per ghise} & V_{sp} = 30 \dots 35 \text{ cm}^3/\text{min} \cdot \text{kW} \end{array}$$

Esiste anche una correlazione di prima approssimazione fra la potenza specifica di taglio e la durezza del materiale (Cook) (3.38). Espri-

mendo la potenza specifica in daNmm/mm^3 , e la durezza Brinell, in daN/mm^2 , assicurata la corrispondenza dimensionale, si può scrivere, restando entro un'approssimazione del 20% (fig. 3.40):

$$P_{sp} \simeq \text{HB}$$



Potenza specifica di taglio in funzione della durezza Brinell del materiale.



— *Potenza di avanzamento* (P_a) è la potenza assorbita dal moto di avanzamento, al quale corrisponde una velocità v_a ed al quale contrasta la forza F_a :

$$P_{a(\text{kW})} = \frac{F_a v_a}{60 \cdot 1020 \cdot 1000} = \frac{F_a v_a}{6,1 \cdot 10^7} \quad [3.101]$$

F_a (daN);

v_a (mm/min);

$P_{a(\text{kW})}$ potenza di avanzamento (kW).

I valori della potenza di avanzamento sono molto piccoli, rispetto a quelli della potenza di taglio: tanto che, normalmente, questa si trascura, conglobandone il valore con la potenza assorbita per le perdite (P_v).



4.4 Formazione del tagliente di riporto. — Il problema del tagliente di riporto (v. paragr. 2.3) è di notevole importanza, poiché esso incide

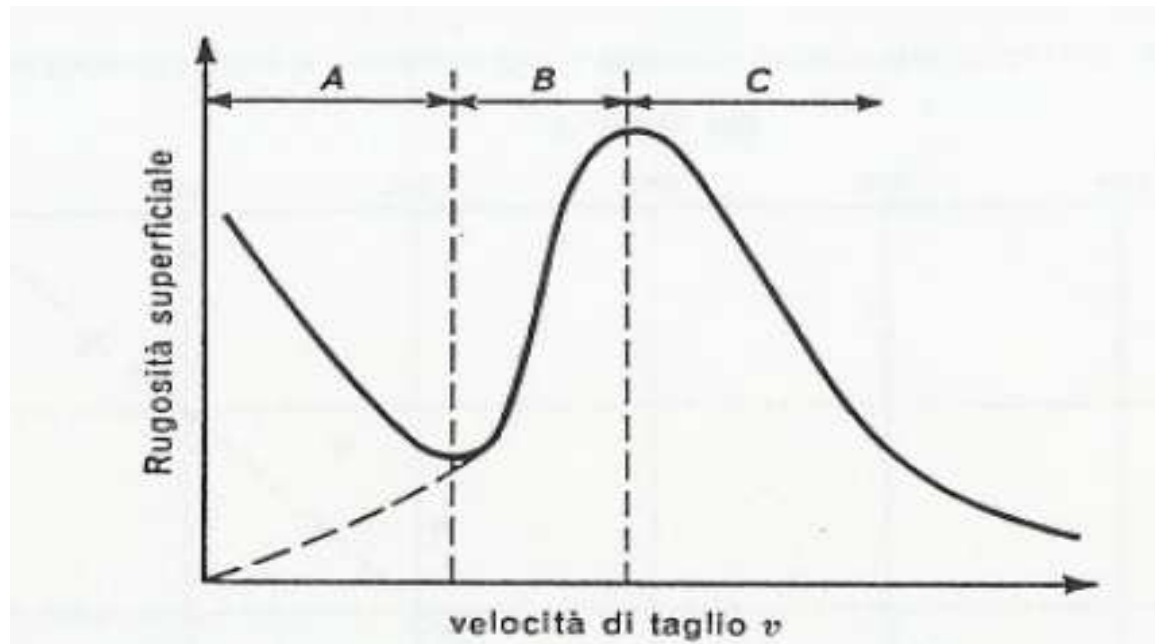
sia sulle forze di taglio, sia sulla finitura superficiale, sia in genere su tutto il procedimento di formazione del truciolo.

Per molti materiali, se si traccia la curva della finitura superficiale, col variare della velocità di taglio (fig. 4.12), si osserva che essa presenta tre zone:

a) *zona delle basse velocità di taglio (A)* con progressiva riduzione della rugosità superficiale, fino al punto di minimo fra la zona A e B;

b) *zona delle medie velocità (B)*, con progressivo aumento della rugosità fino al punto di massimo fra la zona B e C;

c) *zona delle alte velocità (C)* con progressiva riduzione della rugosità superficiale.



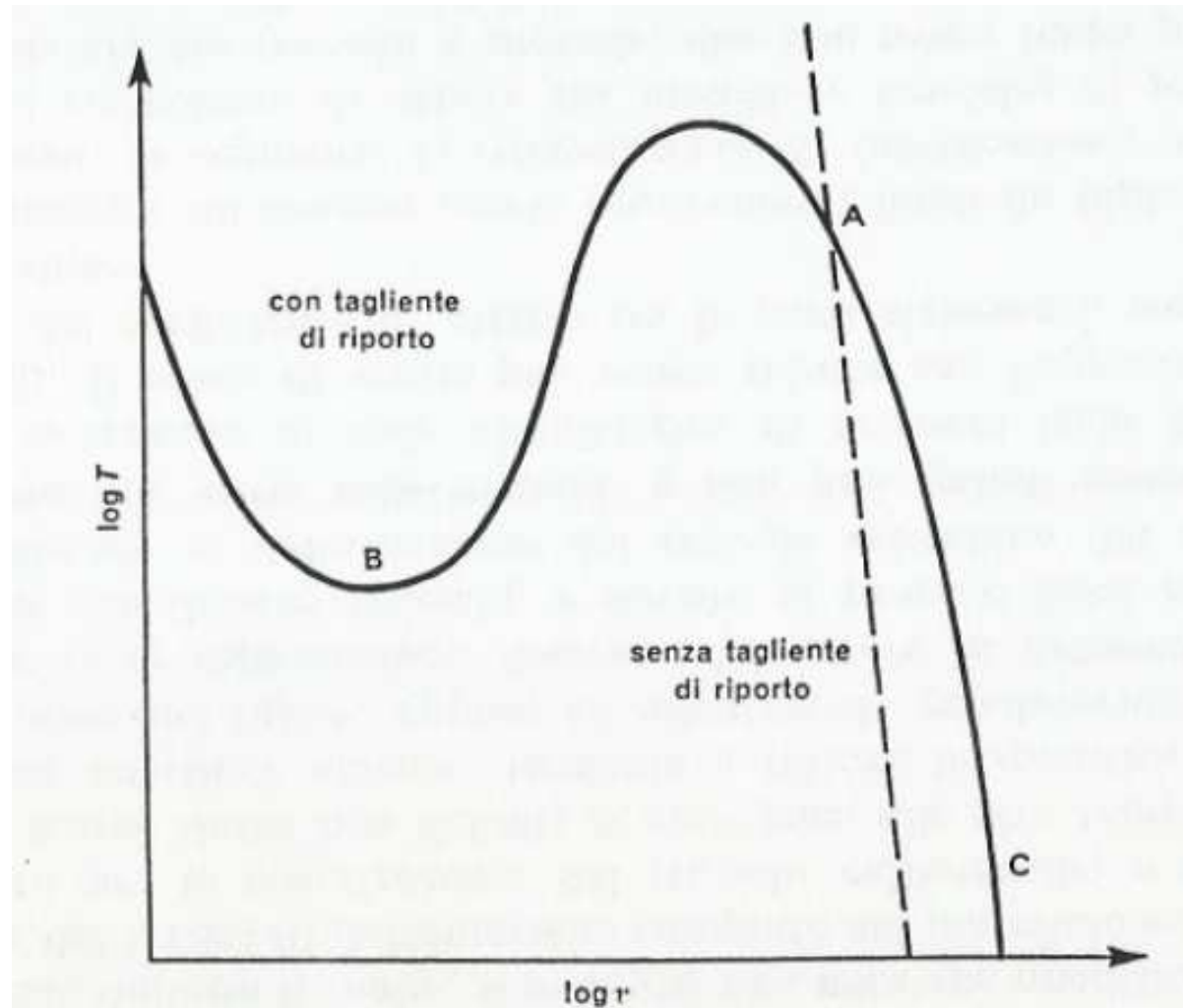
Effetto della velocità di taglio sulla rugosità superficiale. La zona della velocità di lavoro, adottata normalmente, è la C.



A queste tre zone corrispondono diversi tipi di trucioli (fig. 2.6), e precisamente: *nella zona A* si forma il truciolo segmentato (discontinuo) che lascia anche sulla superficie lavorata tracce di strappi; *nella zona B*, il truciolo presenta un grande tagliente di riporto, perciò non scorre più sulla faccia di taglio, ma su questa porzione di materiale incrudito, aderente al tagliente, che a sèguito di uno pseudo-periodico fenomeno d'ingrossamento perde particelle, le quali permangono aderenti al truciolo ed alla superficie lavorata; *nella zona C*, il fenomeno si attenua fino a scomparire: la finitura della superficie migliora.

Un altro aspetto molto importante, connesso con la presenza del tagliente di riporto, consiste nella durata dell'utensile (v. cap. 9).

Il grafico 4.13 indica come l'aumento progressivo della velocità determina, dapprima, una riduzione della durata (per la presenza del tagliente di riporto, particolarmente nociva in corrispondenza del punto B) e, successivamente, un aumento della durata fino ad un massimo, raggiunto poco prima del punto A.



Durata dell'utensile in funzione della velocità.

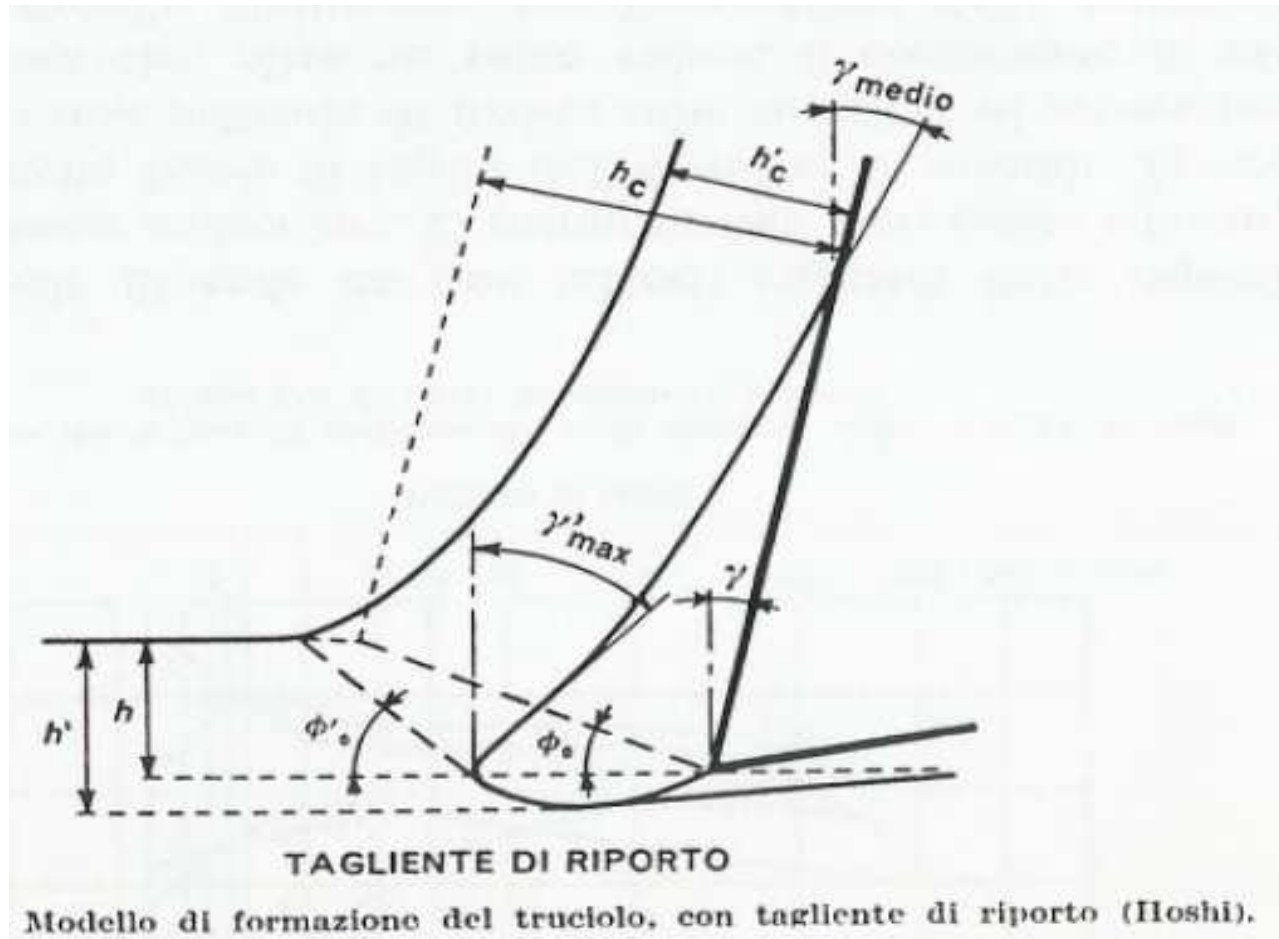


NAKAYAMA e IGUCHI (4.19) studiarono le cause della formazione del tagliente di riporto, e conclusero che la sua formazione è connessa con la temperatura di taglio, anziché con la velocità di taglio; si noti, tuttavia, che le due grandezze crescono « quasi » di pari passo. Il tagliente

di riporto scompare, quando si raggiungono temperature superiori a quelle di ricristallizzazione del materiale in lavorazione.

Anche HOSHI studiò la formazione del tagliente di riporto e mise a punto una teoria, che considera la formazione del truciolo con la presenza del tagliente di riporto.

Egli individuò tre fenomeni, connessi con la formazione del tagliente di riporto (fig. 4.14):





a) *variazione (aumento) dell'angolo di spoglia frontale effettivo*
l'aumento di γ porta a valori massimi $\gamma_{\max} = 45^\circ$ e medi $\gamma_{\text{medio}} = 30^\circ \dots 35^\circ$;
anche ϕ viene modificato in ϕ' ;

b) *aumento della profondità di passata da h ad h' espressa dalla relazione:*

$$h' - h = C' h \frac{\sin \phi'}{\sin \tau'} [\cos(\tau' - \phi') + \cot \phi' \sin(\tau' - \phi')] \quad [4.48]$$

dove C' è una costante, ed i simboli con apice indicano la presenza del tagliente di riporto.

(Risulta, ad esempio, per $h = 0,2$ mm, $h' - h = 0,07$ mm).

c) *maggiore deformazione della superficie lavorata, per l'azione di ricalcamento del tagliente di riporto.*

Le caratteristiche del tagliente di riporto sono diverse da quelle della zona di ristagno.

Se gli strati a contatto con l'utensile sono duri ed incruditi, in certe condizioni di taglio, si forma il tagliente di riporto; se, invece, la durezza degli strati di contatto è minore ed il materiale non si incrudisce, si formerà una *zona di ristagno*.



— 4.5 I fluidi da taglio e la loro azione. — I fluidi da taglio sono stati introdotti verso il 1890 nelle prove eseguite da F. W. TAYLOR. Dapprima si usò acqua per raffreddare l'utensile, poi soluzioni di acqua e soda o acqua e sapone, per evitare l'ossidazione del metallo: queste soluzioni dimostrano però scarso potere lubrificante.

Gli olii posseggono migliore potere lubrificante; perciò, possono ridurre lo sviluppo di calore dovuto all'attrito tra utensile e truciolo, ed assicurano una migliore finitura superficiale al pezzo. Infine, sono stati introdotti anche gli olii emulsionabili con acqua (1 ... 20 % di olio) e gli olii per alte pressioni, i cui additivi riducono il pericolo di saldatura del truciolo sull'utensile, interponendo fra questi uno strato di ossido.

Poiché, durante il taglio, si sviluppa una notevole quantità di calore (a causa del lavoro di deformazione compiuto sul materiale e del lavoro di attrito per lo strisciamento del truciolo sull'utensile) e poiché gli utensili hanno limiti ben definiti di resistenza alle alte temperature, è necessaria un'azione efficace, tendente a ridurre la quantità di calore che si forma nel taglio, oppure ad allontanarla rapidamente.



Il *calore di deformazione*, derivato dal lavoro di deformazione del materiale che diviene truciolo, è dovuto ai processi fisici, che hanno luogo durante la deformazione del reticolo cristallino del materiale, sottoposto alle varie sollecitazioni, e non può quindi essere ridotto, se non ricercando in sede metallurgica di ottenere leghe facilmente lavorabili. Il *calore di attrito* può essere ridotto con l'opportuna diminuzione del coefficiente di attrito tra le parti striscianti, ossia con la lubrificazione.

Le funzioni cui devono perciò provvedere i fluidi da taglio sono essenzialmente le seguenti: 1) *refrigerazione*; 2) *lubrificazione*, ossia riduzione del coefficiente di attrito fra utensile e truciolo; 3) *prevenzione della saldatura* fra truciolo e utensile, che può avere luogo per effetto della forte compressione e del forte riscaldamento tra le parti; 4) *allontanamento del truciolo* già staccato dal pezzo; 5) *protezione contro la corrosione*; 6) *lubrificazione della macchina*.



1) *Refrigerazione*: i requisiti, cui deve soddisfare un fluido da taglio adatto, per raffreddare efficacemente l'utensile, sono: *a*) bassa viscosità (affinché fluisca facilmente); *b*) capacità di « bagnare » bene il metallo, per stabilire un buon contatto termico; *c*) alto calore specifico ed alta conducibilità termica.

2) *Lubrificazione*: consente una riduzione del coefficiente μ di attrito fra truciolo e faccia di taglio, che facilita il flusso del truciolo, con conseguente riduzione dell'angolo τ di attrito ed aumento sia dell'angolo ϕ di scorrimento, sia del fattore di ricalcamento c .

Si riducono la forza F_t di taglio [3.13], la potenza P_t e l'aumento di temperatura.

Inoltre, è ridotta la possibilità di formazione del tagliente di riporto (v. paragr. 4.3).

Il fluido penetra fra le superfici a contatto, per la presenza di piccolissime rigature e fenomeni di capillarità, aiutati dalle vibrazioni fra utensile, pezzo e truciolo. Per conoscere l'azione del lubrificante, occorre rifarsi agli studi ricordati in precedenza, considerando che l'attrito fra

truciolo e utensile dipende da due fattori: rugosità delle superfici a contatto, e adesione molecolare. Il primo fattore può essere ridotto, con buone finiture della faccia di taglio dell'utensile; il secondo, favorendo la formazione di una pellicola di ossido sulle superfici di strisciamento.

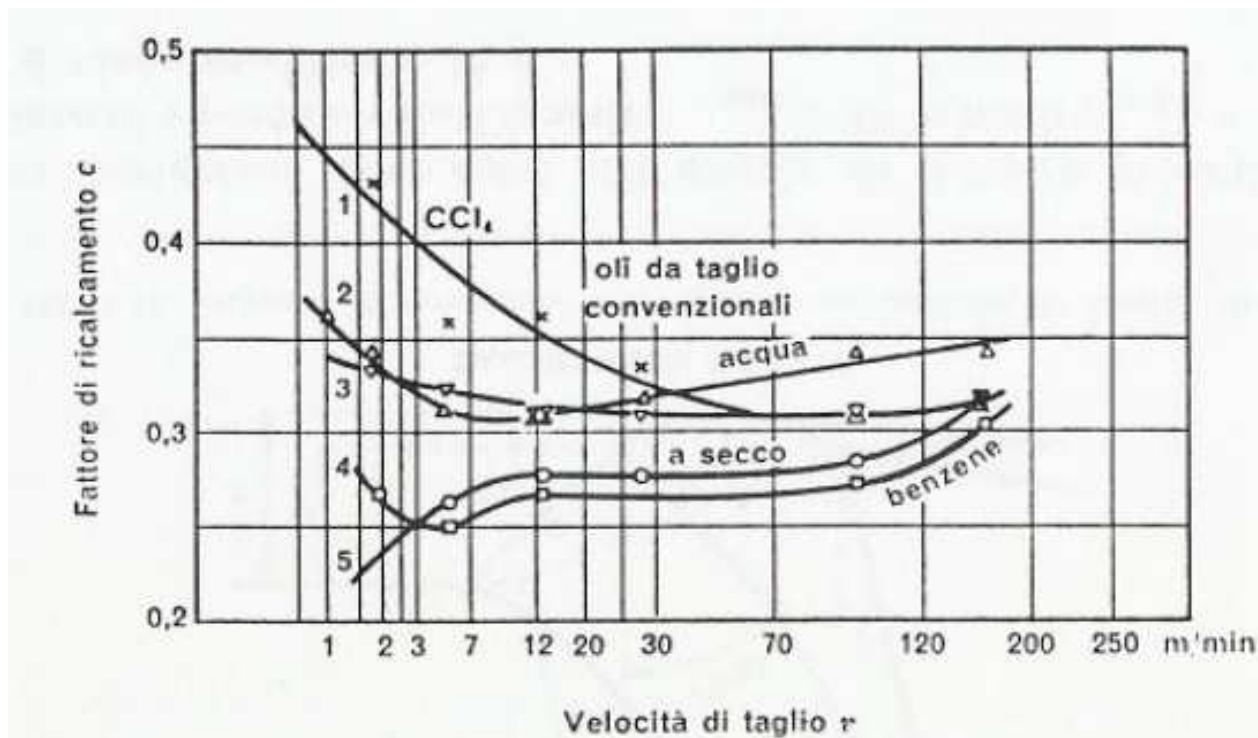


Si nota ancora che, oltre un certo valore, il coefficiente di attrito fra truciolo e utensile diminuisce con l'aumentare della temperatura di taglio (e questo spiega la differenza nella forma del truciolo a parità di condizioni di taglio, quando la velocità aumenta), e con l'aumentare dell'angolo di spoglia frontale (per la minore pressione specifica, che si ha tra le superfici).

L'efficacia dei fluidi da taglio, sia per quanto riguarda la refrigerazione, sia per la lubrificazione, diminuisce con l'aumento della velocità di taglio, dato il minore tempo a disposizione del fluido, per dare luogo

alle sue azioni chimiche, e per la maggiore difficoltà con la quale penetra sotto il truciolo.

Assumendo il valore del rapporto c come misura del rendimento di taglio, sovente tra superfici asciutte, aumentando la velocità di taglio, si verifica un miglioramento del rendimento, mentre con superfici lubrificate lo stesso aumento provoca un effetto opposto; tanto che, per un dato valore della velocità di taglio, le due curve si incontrano segnalando come, ai fini del rendimento di taglio, l'uso (o meno) del fluido non comporta sostanziali differenze (fig. 4.15).



Andamento del fattore di riscaldamento c , in funzione della velocità di taglio r , con diversi tipi di fluidi da taglio ed a secco.

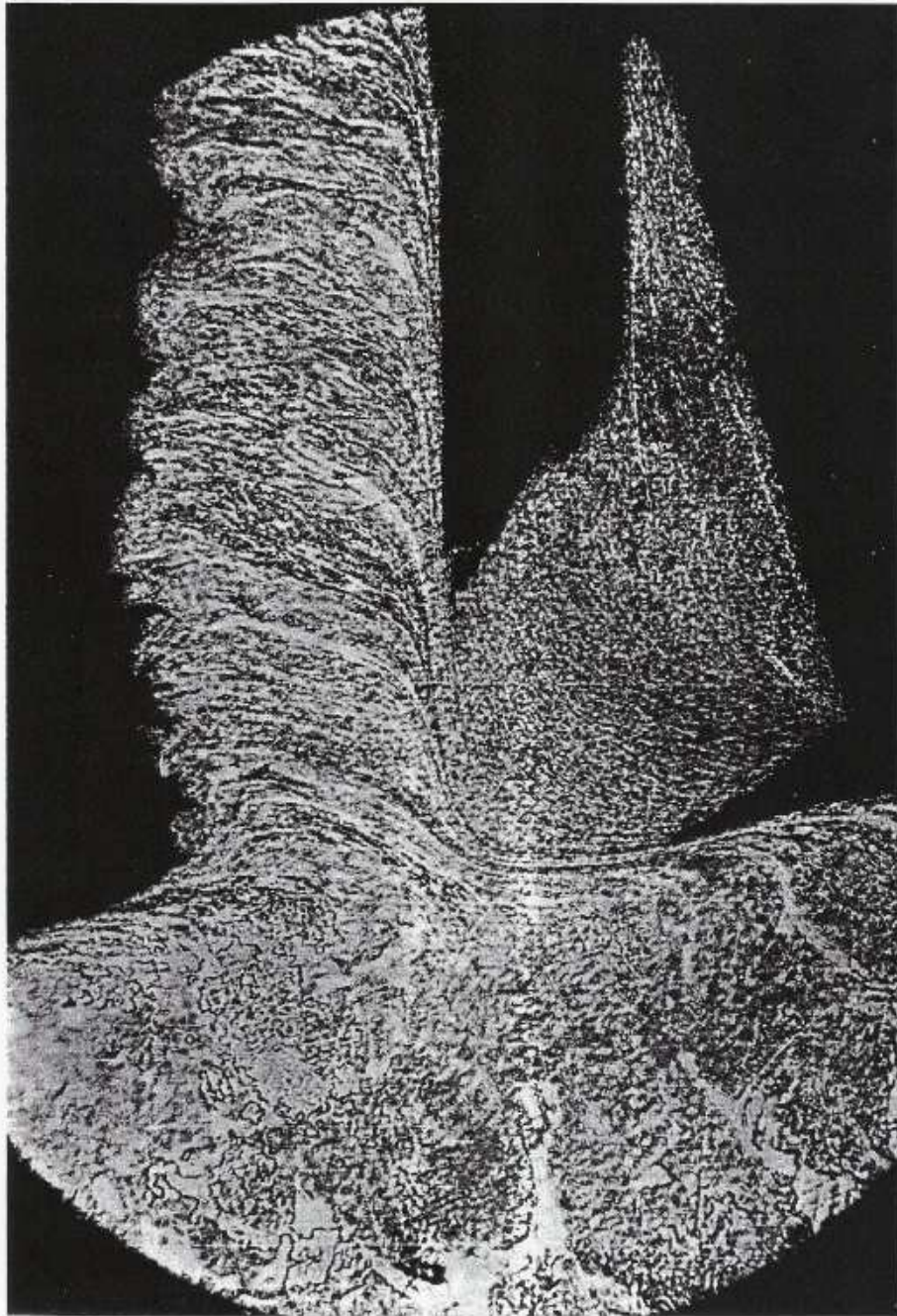


Fig. 2.24. Truciolo e pezzo, come appaiono a seguito di taglio bruscamente interrotto. È visibile il tagliente di riporto. (Acciaio SIS 1672, ricotto; $v_t = 25$ m/min; $\times 200$). (Università Chalmers, Svezia).

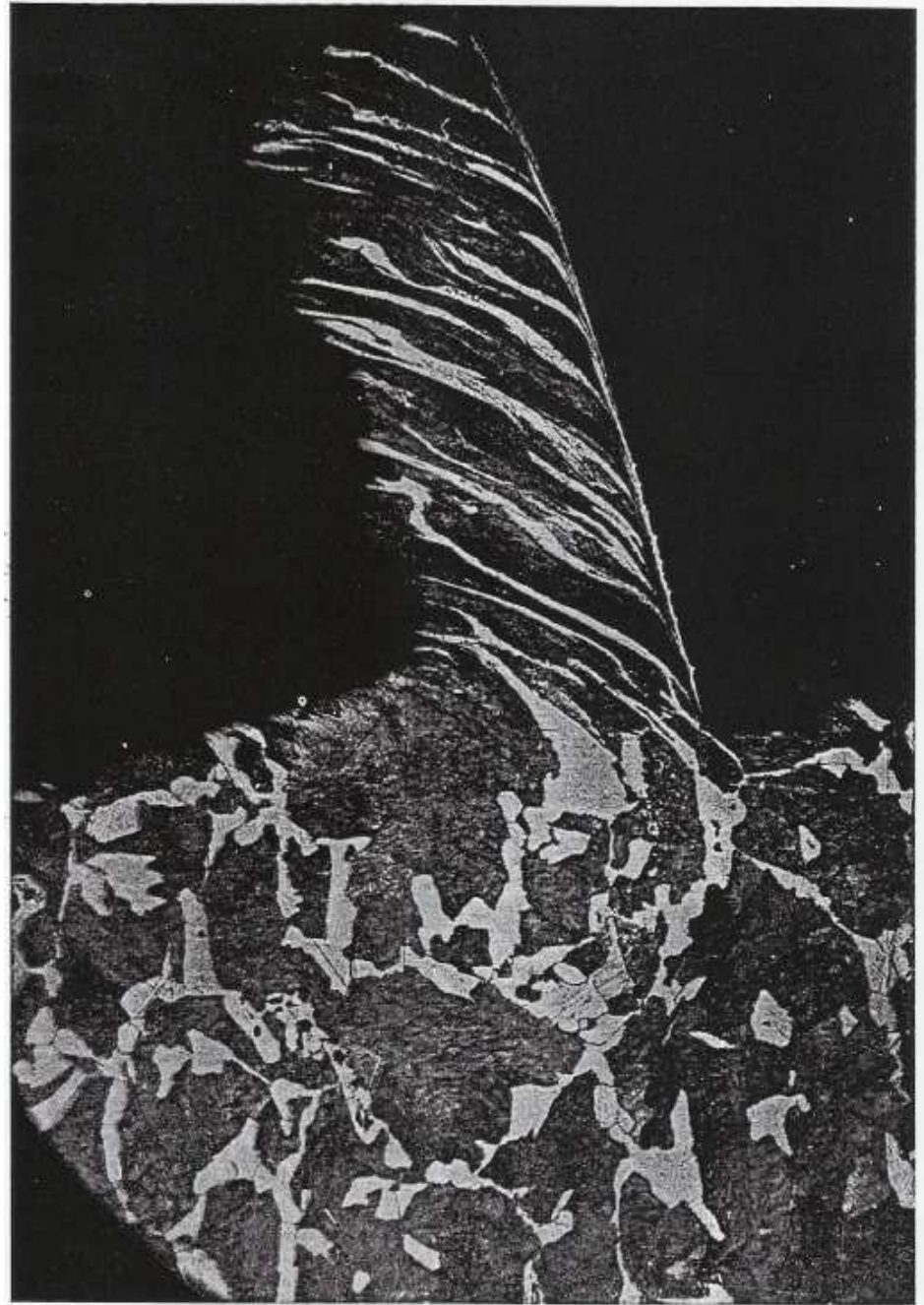


Fig. 2.25. Truciolo e pezzo, come appaiono a seguito di taglio bruscamente interrotto: si noti l'assenza del tagliente di riporto. (Acciaio SIS 1672 normalizzato; $v_t = 250$ m/min; $\times 200$). (Università Chalmers, Svezia).

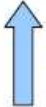


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA





Parametri di lavorazione

<u>PARAMETRO CONSIDERATO</u>	<u>INFLUENZA SULLA LAVORAZIONE</u>
Angolo di spoglia frontale γ : ➤ sgrossatura $\gamma_{max} = 6^\circ$ ➤ finitura $\gamma_{max} \leq 20^\circ$	<ul style="list-style-type: none">➔ diminuisce F_t➔ truciolo fluente➔ migliora la finitura superficiale➔ minori potenze➔ minore usura utensile (necessita quindi di un utensile meno robusto)
Angolo di spoglia dorsale α : ➤ acciai $\alpha = 6^\circ \div 8^\circ$ ➤ alluminio $\alpha = 10^\circ \div 12^\circ$	 <ul style="list-style-type: none">➔ evita lo strisciamento➔ evita il danneggiamento della superficie lavorata➔ deve essere:<ul style="list-style-type: none">• piccolo per non indebolire l'utensile• grande per non causare strisciamento• grande se E (indice di elasticità) è piccolo (soprattutto per l'alluminio)
Forze :	<ul style="list-style-type: none">➔ F_t serve per la determinazione delle potenze di taglio.➔ F_a influenza l'inflessione dell'utensile, e contribuisce (poco) alla P_t.➔ F_r determina principalmente l'inflessione del pezzo e quindi le tolleranze di lavorazione, ma non contribuisce alla potenza di taglio.
Spessore del truciolo :	<ul style="list-style-type: none">➔ aumenta la potenza di taglio➔ aumenta la produttività➔ aumenta l'usura dell'utensile➔ diminuisce la finitura superficiale
Larghezza del truciolo :	<ul style="list-style-type: none">➔ aumenta la potenza del taglio➔ aumenta la produttività
Velocità del taglio :	<ul style="list-style-type: none">➔ aumenta la potenza di taglio➔ aumenta la produttività➔ aumenta l'usura dell'utensile➔ aumenta la finitura superficiale



Materiale da lavorare :	→ se ne tiene conto col k_s
Materiale dell'utensile :	→ usura dell'utensile → vita utile → finitura superficiale
Lubrorefrigerazione :	→ calore sviluppato → vita utensile → finitura superficiale → potenza di taglio
Tipo di macchina utensile :	→ rigidezza → precisione → smorzamento vibrazioni



Lavorabilità

E' l'attitudine del materiale di essere lavorato per asportazione di truciolo, viene valutata con prove di carattere tecnologico determinate in condizioni di lavoro:

- la finitura superficiale (rugosimetri)
- la vita dell'utensile (microscopia per analizzarne l'usura)
- forze e potenze (dinamometro per le forze di taglio)
- evacuazione del truciolo

In sostanza si ha che la lavorabilità dipende:

dalle caratteristiche del materiale :	<ul style="list-style-type: none">→ composizione chimica→ lavorazioni e trattamenti precedenti<ul style="list-style-type: none">• deformazione plastica• incrudimento• ricristallizzazione• trattamenti termici→ caratteristiche strutturali<ul style="list-style-type: none">• fasi• dimensioni dei grani• orientazione dei grani
dalla tecnologia di lavorazione :	<ul style="list-style-type: none">→ sgrossatura e finitura→ fresatura concorde/discorde→ lubro-refrigerazione
dall'utensile :	<ul style="list-style-type: none">→ materiale→ angoli di spoglia→ rompitrucciolo