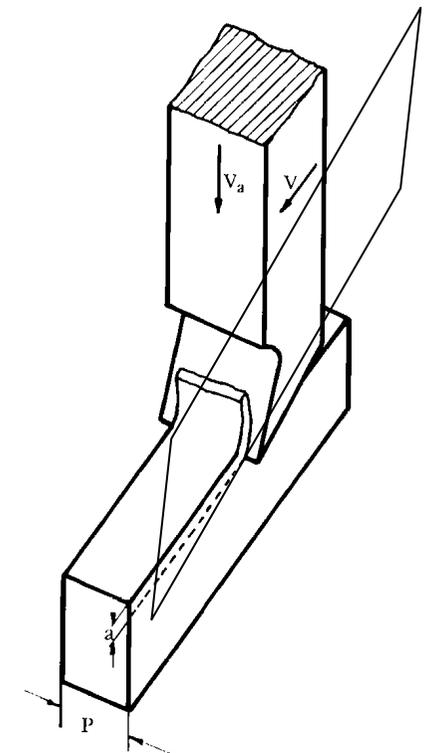
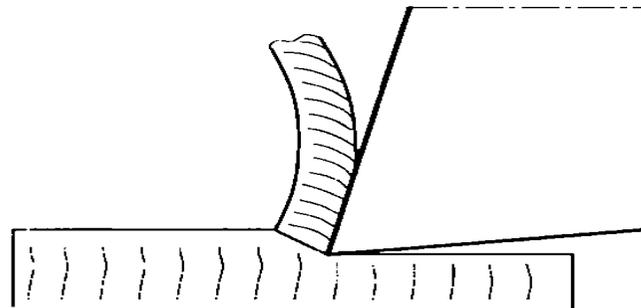




Lavorazioni per asportazione di truciolo

Distacco di alcune parti di materiale dal pezzo attraverso l'interazione con utensili che agiscono in maniera progressiva

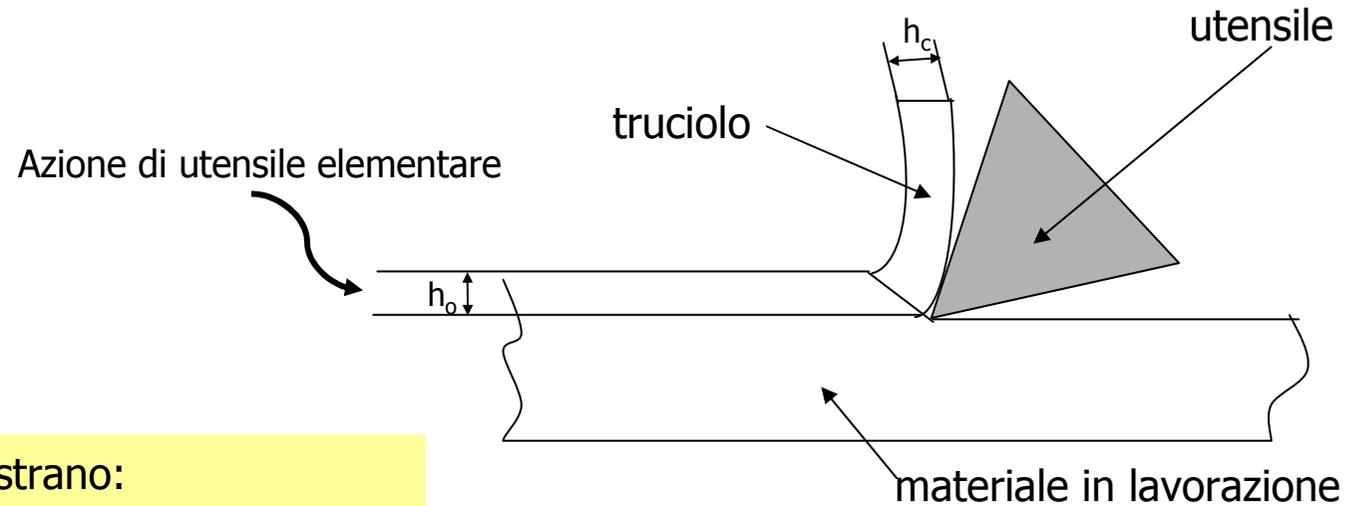
- cinematica del taglio
- meccanica del taglio
- parametri di lavorazione
- risultati delle lavorazione
- macchine e processi



Taglio ortogonale

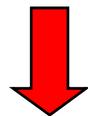


Formazione del truciolo

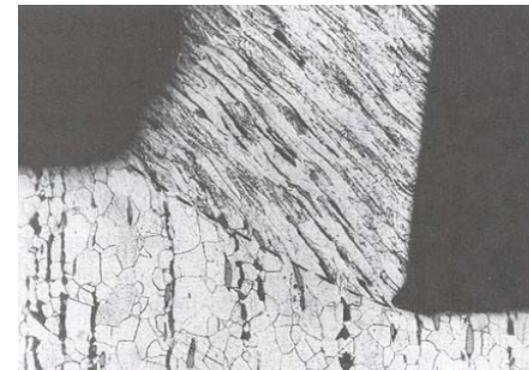


misure sperimentali mostrano:

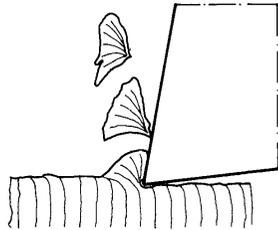
- produzione di calore
- spessore del truciolo $h_c > h_o$
- durezza del truciolo $>$ durezza metallo base



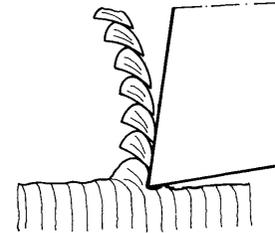
la formazione del truciolo avviene per deformazione plastica



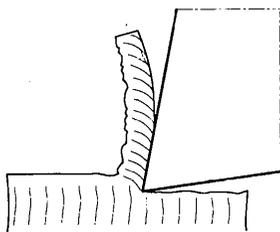
Tipi di truciolo



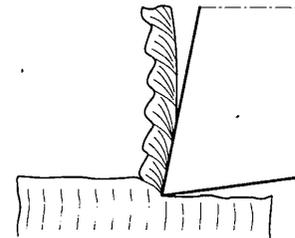
Ad elementi staccati
tipico di materiali duri,
fragili (ottone, ghisa).
Non si ha deformazione
nella zona secondaria.



Segmentato tipico di materiali
duri ma tenaci (acciai alto
carbonio).
Si ha modesta deformazione
nella zona secondaria.



Fluente, continuo,
tipico di materiali duttili
(acciai basso carbonio,
alluminio, alcune leghe
leggere). La deformazione
e l'attrito nella zona di
deformazione secondaria
portano a notevole
produzione di calore.

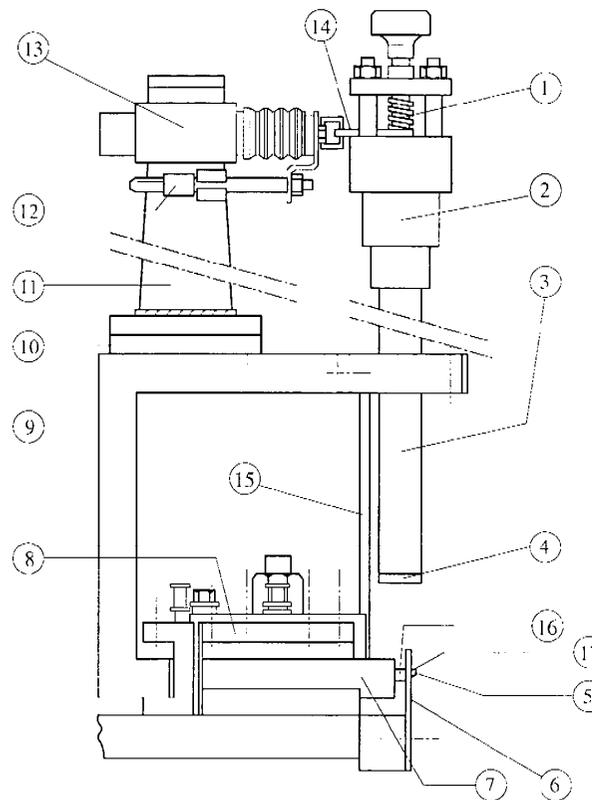


Fluente, continuo
frammentato, indica che
nella zona di deformazione
primaria si è avuta una
variazione della direzione
di deformazione
vibrazioni, irregolarità,
durata inferiore di utensile.

Metodi per analizzare la deformazione plastica durante la lavorazione

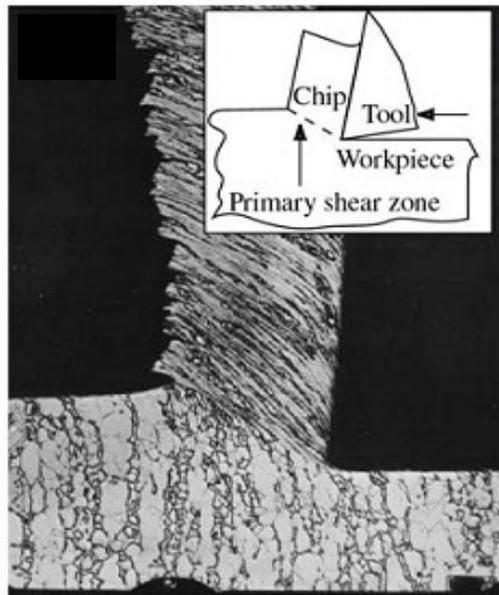
- taglio interrotto
- microscopia ottica ed elettronica della morfologia del truciolo

Dispositivo quick stop tests

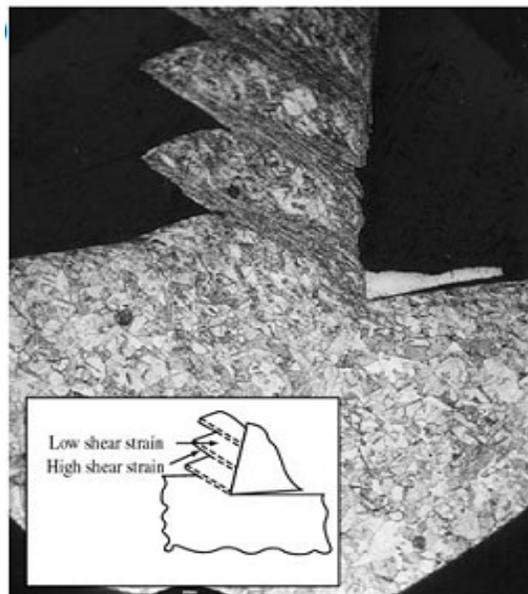


Schema del dispositivo di quick-stop "Pisa 3"

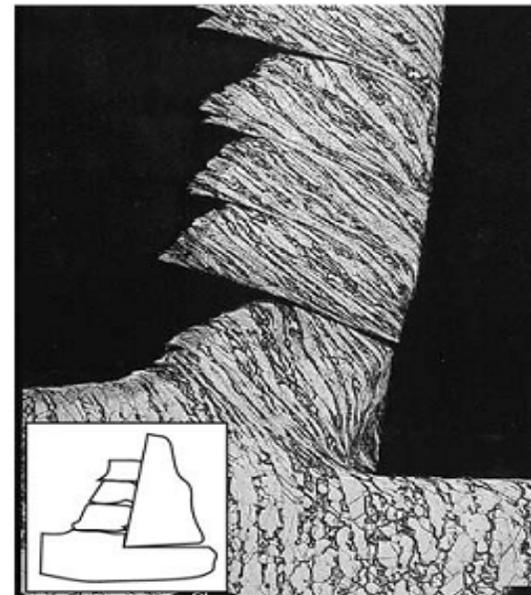
- 1) Percussore
- 2) Camera di scoppio
- 3) Cannone \varnothing 6 mm
- 4) Dispositivo per la misura della velocità di uscita del proiettile
- 5) Utensile
- 6) Schermo di protezione
- 7) Portautensile
- 8) Torretta portautensile
- 9) Supporto
- 10) Distanziale
- 11) Supporto
- 12) Micro-switch per il comando dell'arresto dell'avanzamento
- 13) Elettromagnete, controllato da micro-switch posto sulle guide del tornio
- 14) Spoletta
- 15) Piastra di irrigidimento
- 16) Zona di impatto fra proiettile ed utensile
- 17) Zona di taglio



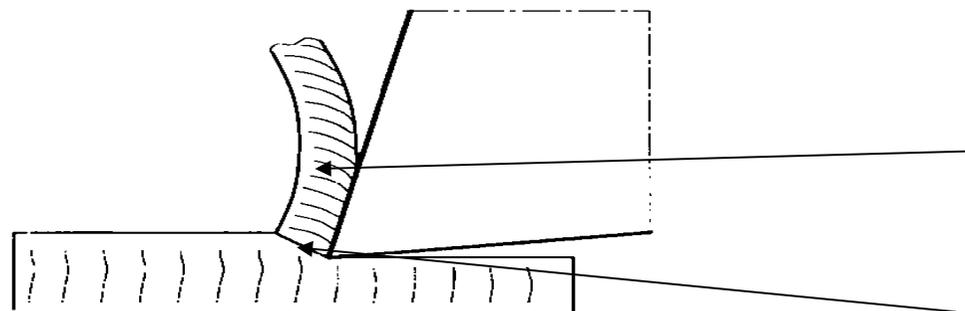
Truciolo continuo



Truciolo segmentato



Truciolo discontinuo



zona di deformazione plastica secondaria

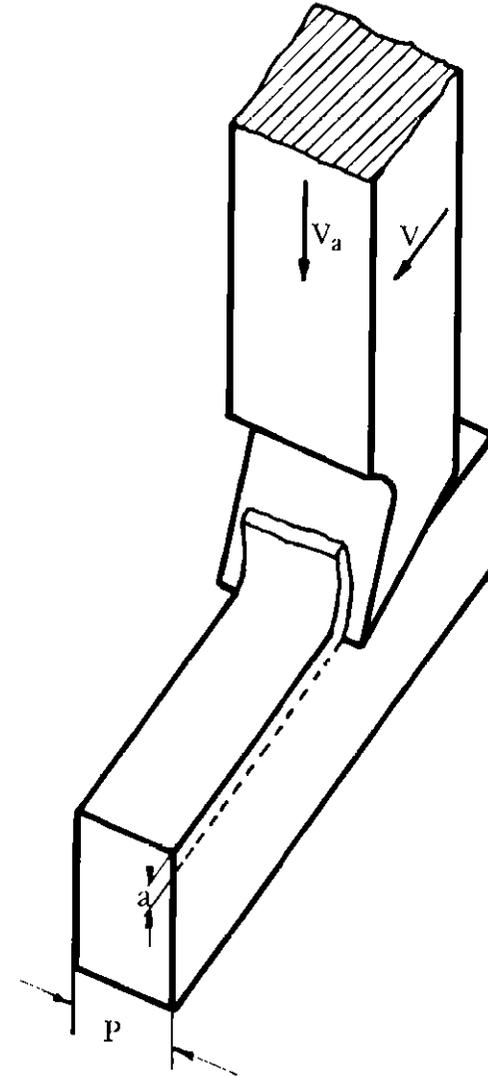
zona di deformazione plastica primaria



TAGLIO ORTOGONALE LIBERO

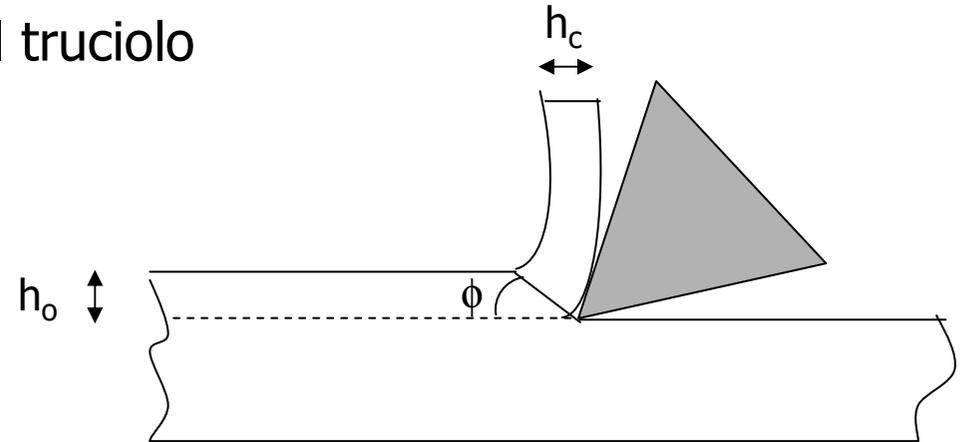
IPOSTESI:

- larghezza del tagliente maggiore di larghezza del pezzo
- velocità di taglio costante lungo tagliente
- tagliente perpendicolare alla velocità di taglio





Formazione del truciolo



Φ angolo di scorrimento

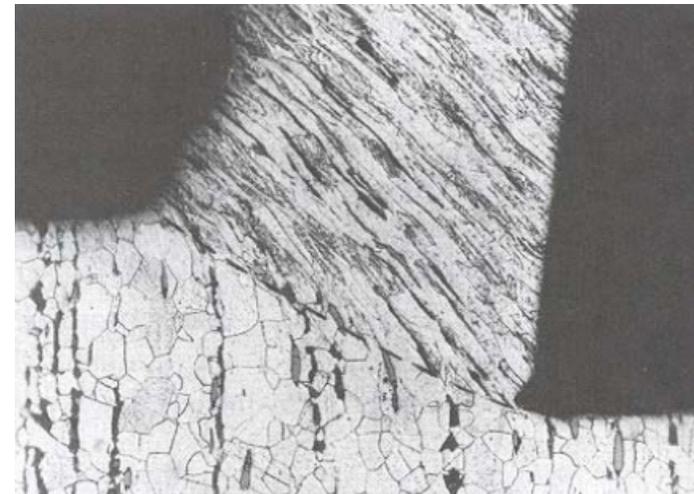
h_c spessore del truciolo

h_o spessore del truciolo indeformato

$r_c = h_c / h_o$ fattore di ricalcamento

geometricamente:

$$r_c = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)}$$





Utensile elementare

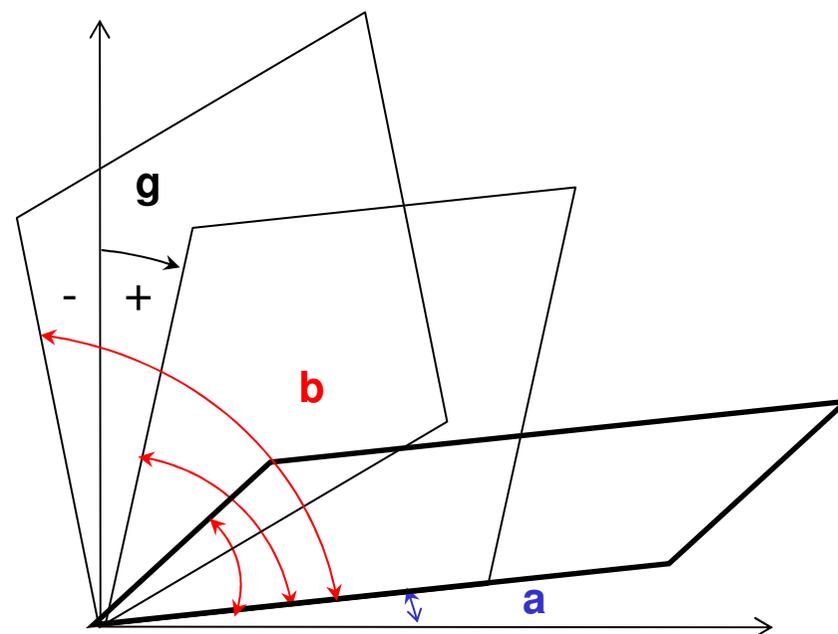
ANGOLI DI TAGLIO

γ angolo di spoglia frontale $> 0, < 0, = 0$

α angolo di spoglia dorsale > 0

β angolo di taglio > 0

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ$$





Meccanica del truciolo

E' necessario trovare il piano sul quale si ha lo scorrimento.

Un piano caratterizzato da un certo ϕ nel quale la τ_s sia massima

E necessariamente maggiore della resistenza alla deformazione del materiale.

La forza F_z che provoca scorrimento su quel piano è quindi la forza minima che può formare truciolo.

Il problema è quindi quello di trovare una espressione $F_z = f(\phi, \mu, \gamma)$, ricavare il valore di ϕ che rende minima la F

la forza generica che si scambiano utensile e pezzo può essere scomposta lungo direzioni di interesse tecnologico:

- direzione velocità di taglio
- direzione perpendicolare
- direzione petto utensile
- direzione piano di scorrimento



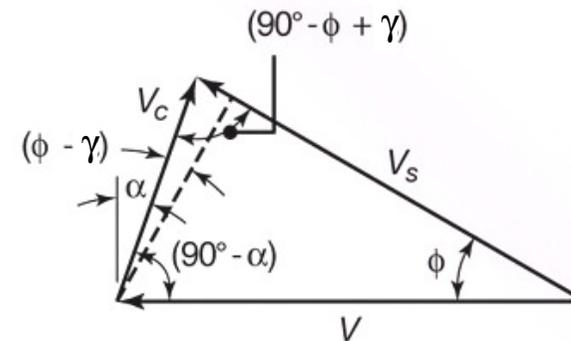
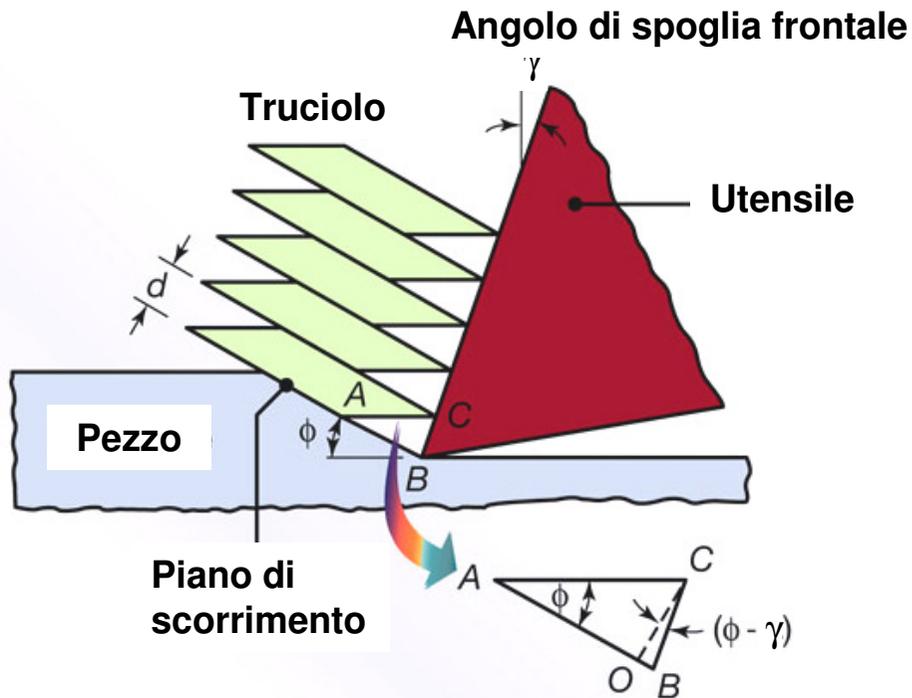
potenza di taglio
inflexione pezzo
usura utensile
minima forza



scelta macchina e parametri
tolleranza di lavorazione
cambio utensili
condizioni per il taglio

Studio cinematico e dinamico

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)

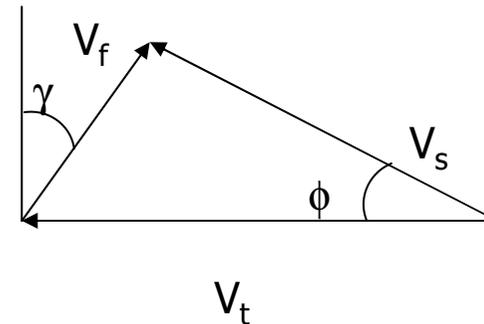
$$\phi = 45 + \gamma / 2$$



V_t velocità relativa utensile pezzo
velocità di taglio

V_s velocità relativa truciolo pezzo
velocità di scorrimento

V_f velocità relativa truciolo utensile
velocità di flusso



Con varie relazioni è possibile determinare tali valori

$$V_t \times h_o = V_f \times h_c \quad \longrightarrow \quad V_t = V_f \times r_c \quad \quad V_s = V_f \cos\gamma / \sin\phi$$

ed infine la velocità di deformazione $\dot{\gamma}_s = V_t / d \cos \gamma / \cos (\phi - \gamma)$

Misurando d c.a. $1/1000 \div 1/100$ mm

La velocità di taglio 2m/s

γ c.a. 10°

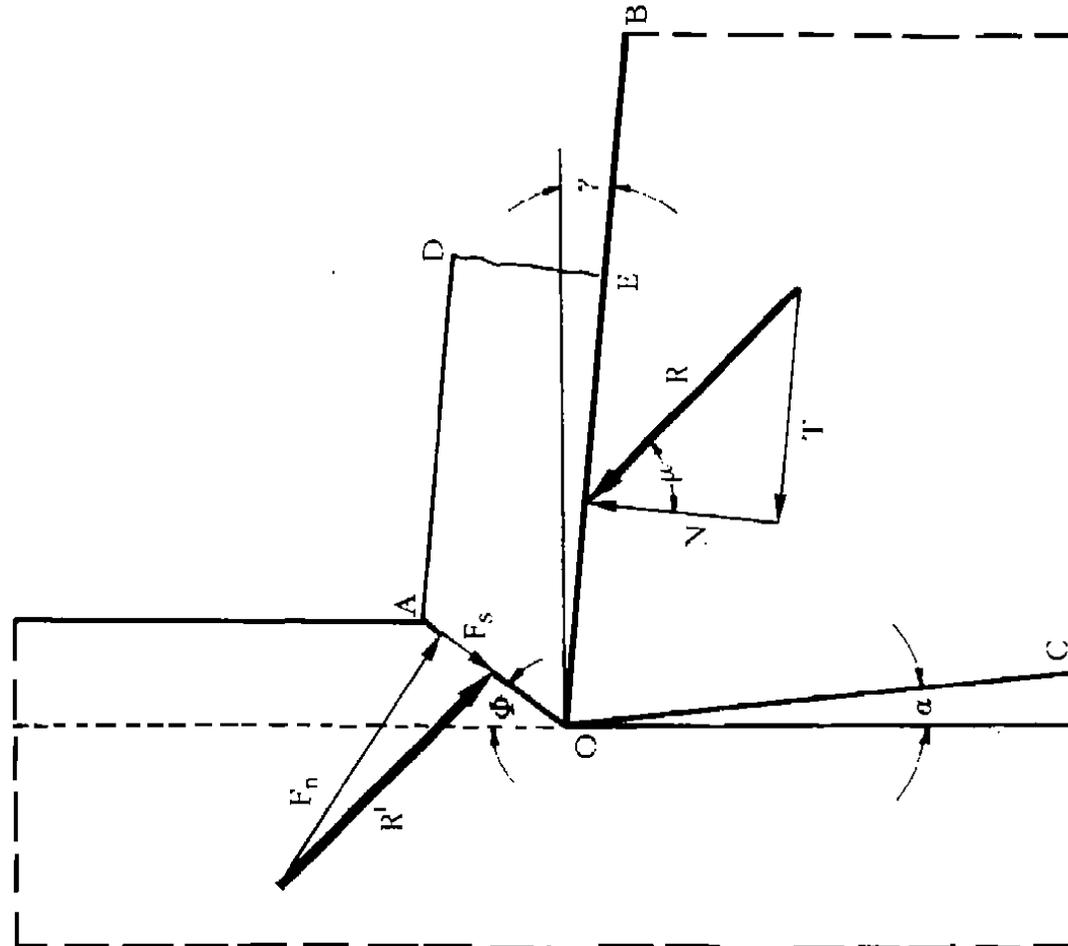
ϕ c.a. 40°

$$\longrightarrow \quad \dot{\gamma}_s \in [10^2 - 10^6 \text{ s}^{-1}]$$

Questa velocità di deformazione è molto maggiore di quella utilizzata nella prova di trazione

Modello di Merchant

Il truciolo è in equilibrio sotto l'azione dell'utensile e la reazione del pezzo





Sul piano di scorrimento

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} = \frac{F_s}{S} \sin \phi = \frac{R \cos(\phi + \mu - \gamma) \sin \phi}{S} \quad (S = h_0 \cdot 1)$$

$$\sigma_s = \frac{F_n}{S_s} = \frac{F_n}{S} \sin \phi = \frac{R \sin(\phi + \mu - \gamma) \sin \phi}{S}$$

$$F_z = \frac{F_s \cos(\mu - \gamma)}{\cos(\phi + \mu - \gamma)} = \frac{\tau_s h_0 \cos(\mu - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \mu - \gamma)}$$



derivando rispetto a ϕ ed uguagliando a zero:

$$\frac{dF_z}{d\phi} = -\tau_s S \frac{\cos \phi \cos (\phi + \mu - \gamma) - \sin \phi \sin (\phi + \mu - \gamma)}{\sin^2 \phi \cos^2 (\phi + \mu - \gamma)} = 0$$

cioè:

$$\cos \phi \cos (\phi + \mu - \gamma) - \sin \phi \sin (\phi + \mu - \gamma) = \cos (\phi + \phi + \mu - \gamma) = 0$$



Relazione di Ernst - Merchant

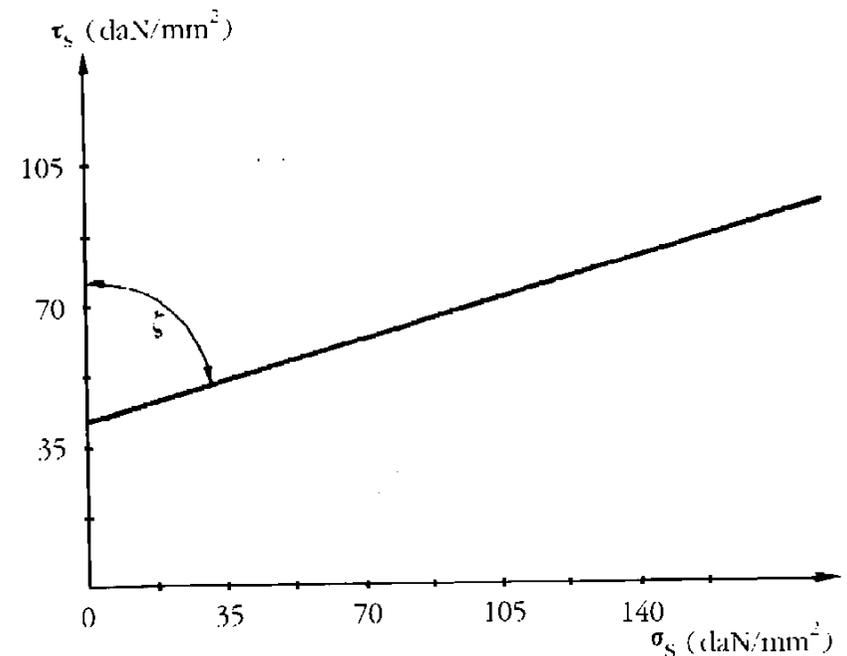
$$2\phi + \mu - \gamma = \pi / 2$$

angolo di scorrimento: - diminuisce con l'aumentare dell'angolo di attrito
- aumenta con l'angolo di spoglia frontale

L'evidenza sperimentale mostra una certa differenza da tale relazione e allora Merchant, considerando anche la σ_s , secondo la $\tau_s = \tau_0 + k \sigma_s$ ha proposto la:

$$2\phi + \mu - \gamma = \zeta$$

la determinazione sperimentale di ζ permette un migliore accordo



FORZA DI TAGLIO

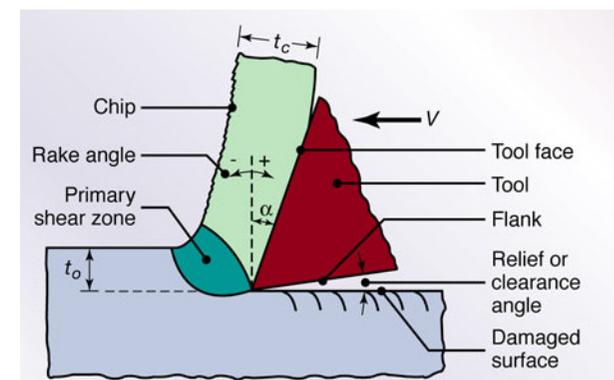
Metodo del τ_s
(analitico)

$$F_z = \tau_s S \frac{\cos(\zeta - 2\phi)}{\sin\phi \cos(\zeta - \phi)}$$

$$F_x = \tau_s S \frac{\sin(\zeta - 2\phi)}{\sin\phi \cos(\zeta - \phi)}$$

$$(S = h_0 \cdot 1)$$

- difficile determinazione τ_s e ϕ
- alcune ipotesi semplificative per ottenere soluzione





Forze di lavorazione

(sperimentale)

Metodo del K_s

$$F_z = K_s A$$

- tiene conto della reale situazione tecnologica
- le approssimazioni sono più che accettabili e si evitano molti calcoli

Il metodo è prettamente tecnologico in quanto la determinazione del K_s viene fatta attraverso la misura delle forze di taglio nelle condizioni reali di lavoro

Determinazione del K_s

- si scelgono alcune condizioni sperimentali
spessore del truciolo
velocità di taglio
angolo γ
- si effettuano prove di taglio e si misura la F_t
- si calcola $K_s = F_t / A_o$

$$A_o = h_o b = a p$$

sezione del truciolo indeformato



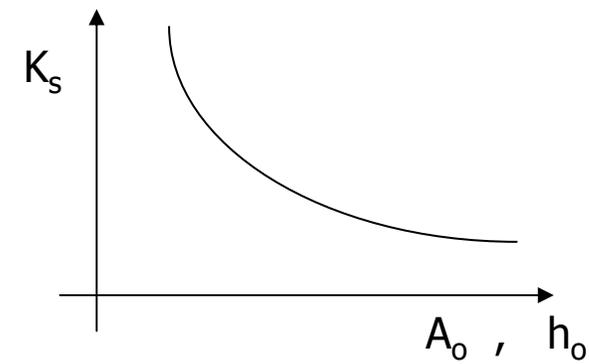
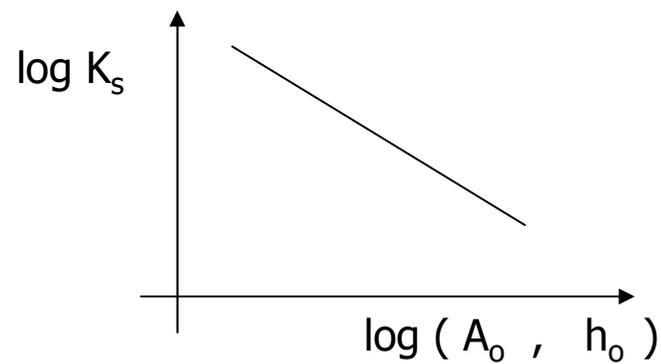
Relazione pressione (energia) specifica di taglio / spessore truciolo indeformato

$$K_s = K_{s0} h^{-z}$$

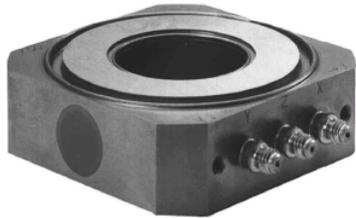
prove sperimentali per vari materiali danno i risultati riportati in tabella

	acciai	ghise	ottoni	leghe leggere
z	0.197	0.137	0.255	0.060

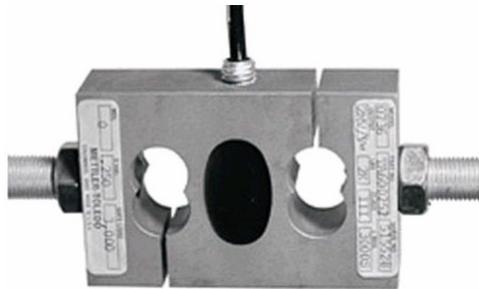
Relazione di Kronenberg (per gli acciai): $K_{s0} = 2.4 R_m^{0.454} \beta^{0.666}$ [daN/mm²]



Metodi e strumenti per la misura delle forze di taglio



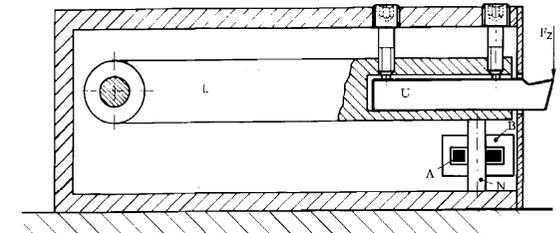
celle di carico
piezoelettriche



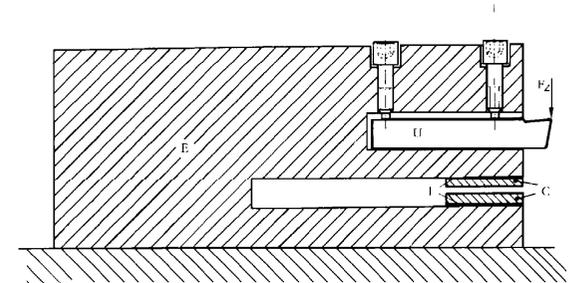
celle di carico
elastiche

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)

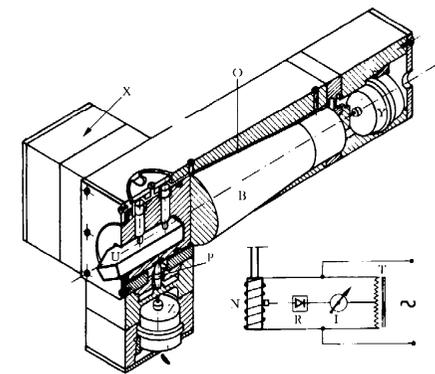
trasduttori
magnetici

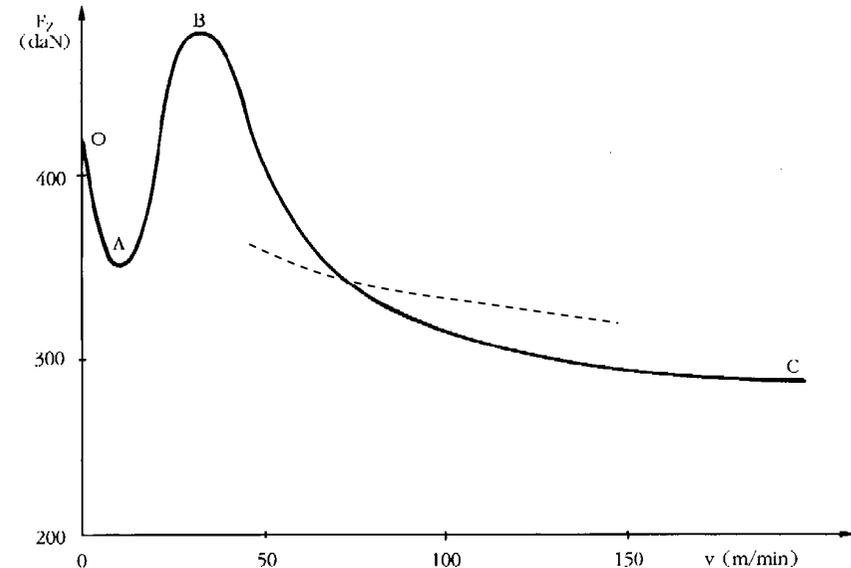
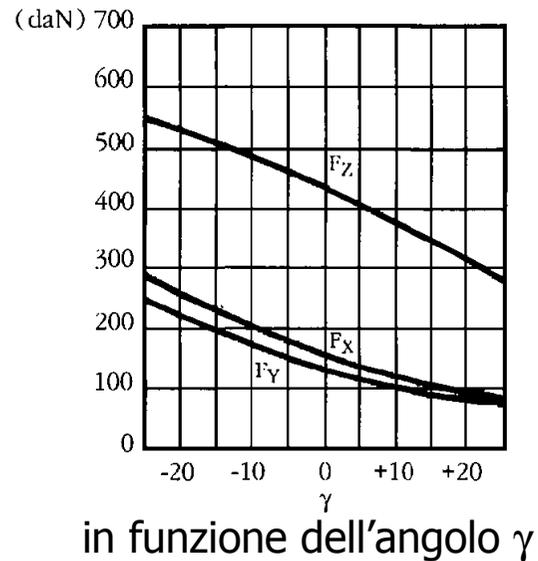


trasduttori
capacitivi



trasduttori
induttivi





F_t serve principalmente per la determinazione della potenza di taglio

F_a influenza l'inflessione utensile, contribuisce (poco) alla potenza di taglio

F_r determina principalmente l'inflessione del pezzo e quindi le tolleranze di lavorazione non contribuisce alla potenza di taglio



Potenza di lavorazione

$$(P = L / t = F \cdot s / t = F \cdot V)$$

Potenza di taglio:

- Velocità di taglio
- Forza di taglio

Potenza di avanzamento:

- Velocità di avanzamento
- Forza di avanzamento

Potenza di repulsione:

- Velocità di repulsione
- Forza di repulsione

Dati noti: V_t , F_t , V_a , V_r

$$P = V_t \cdot F_t + V_a \cdot F_a$$

inoltre: $F_r = 15-25 \% F_t$ $F_a = 20-30\% F_t$



Parametri di lavorazione

Utensile

Forma dell'utensile

- angolo di spoglia frontale γ

diminuisce F_t
truciolo fluente
migliora finitura superficiale
minori potenze
minore usura utensile
utensile meno robusto

sgrossatura max 6° finitura fino a 20° (alluminio)

- angolo di spoglia dorsale α

evita strisciamento del dorso dell'utensile
evita danneggiamento superficie lavorata
deve essere

- piccolo per non indebolire l'utensile
- grande per non causare strisciamento
- grande se E è piccolo (alluminio)

acciai $6-8^\circ$

Al $10-12^\circ$



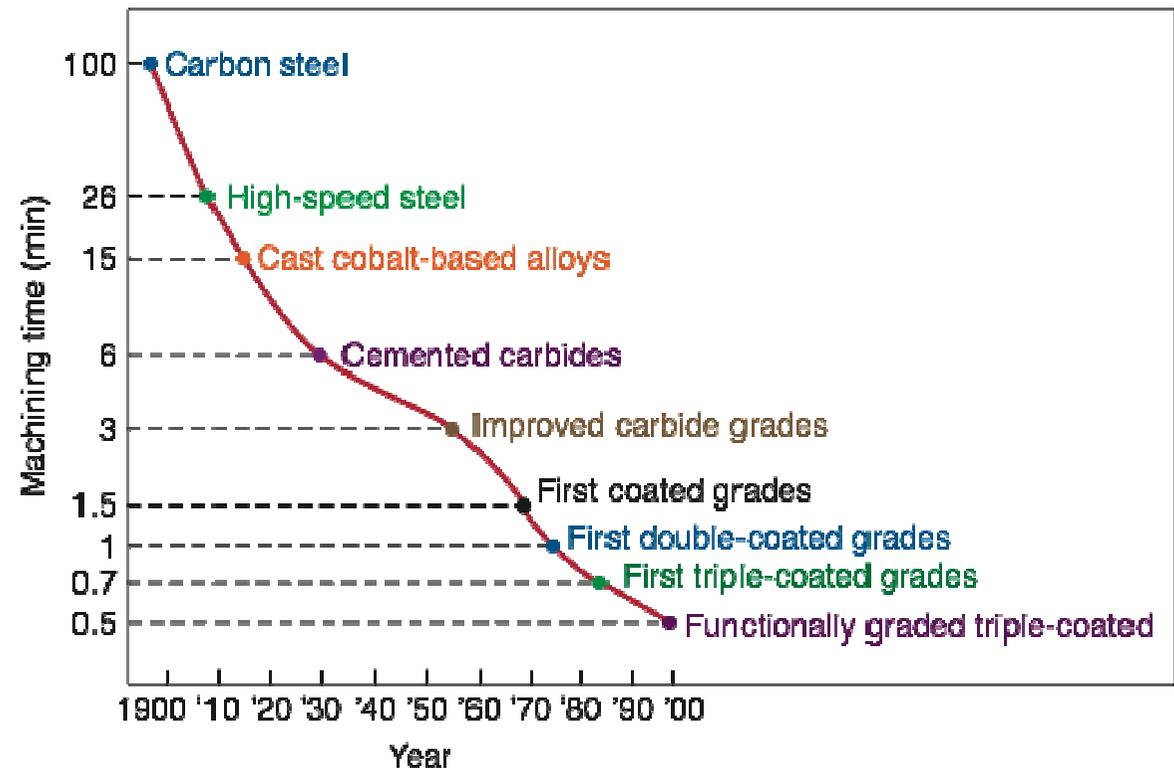
Materiali dell'utensile

- Effetti termici
- Effetti meccanici
- Usura



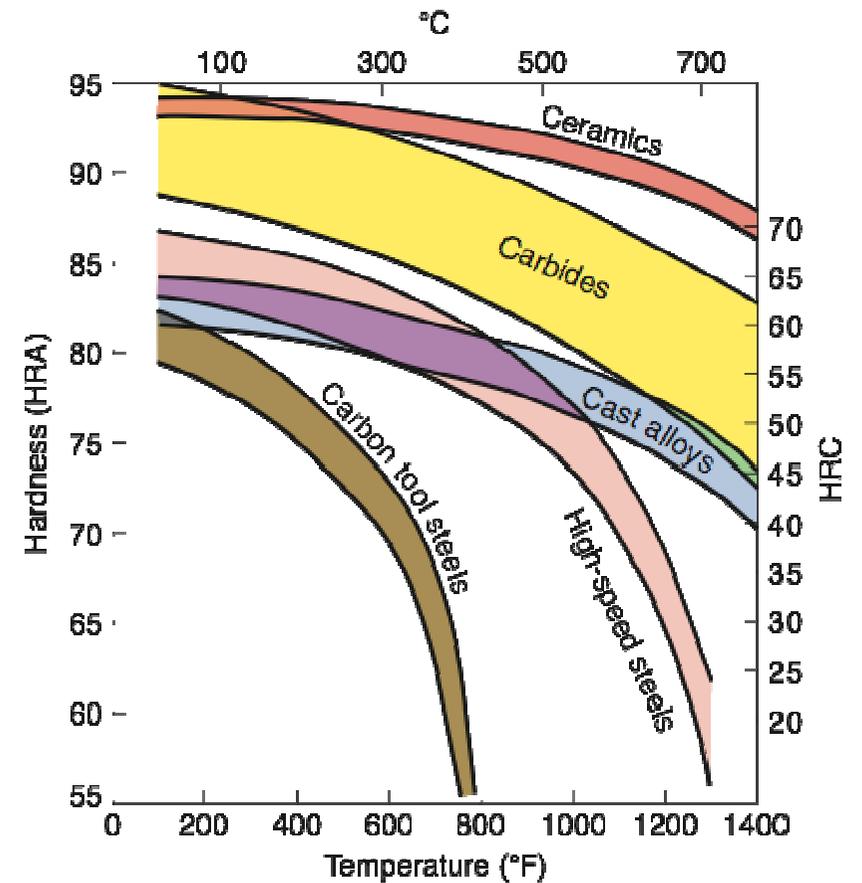
- Durezza alta temperatura
- Elevata resistenza meccanica statica e dinamica ad alta temperatura
- Resistenza all'abrasione

I materiali per utensili nella storia

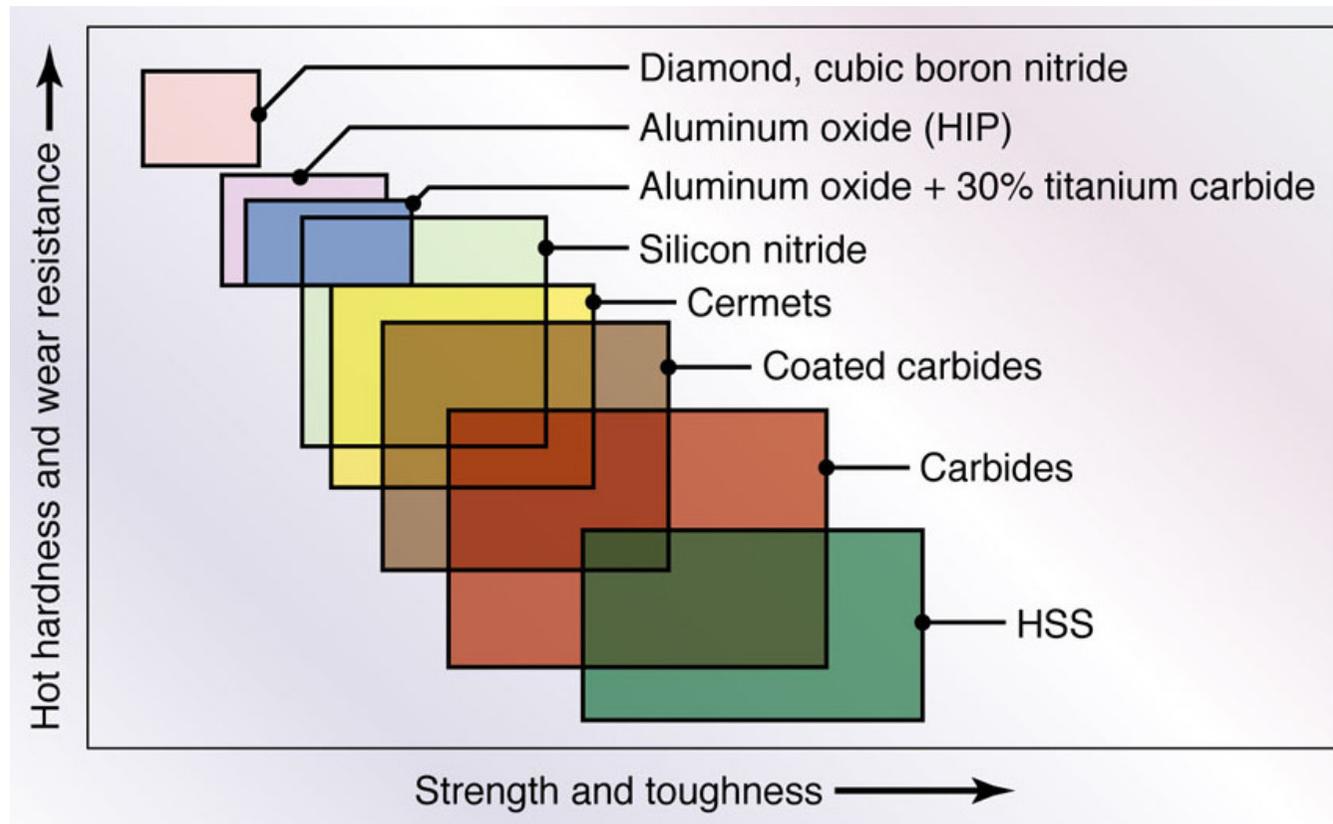




Materiale	Componenti principali	Caratteristiche tecnologiche	Durezza a freddo	Temp. max di taglio
Acciaio speciale al carbonio	Ferro Carbonio	Buona tenacità Buona lavorabilità Scarsa durezza a caldo Scarsa res. all'usura	63 : 65 HRC	250 °C
Acciaio debolmente legato	Ferro Carbonio Tungsteno Molibdeno Cromo Vanadio	Buona tenacità Scarsa durezza a caldo Scarsa res. all'usura	63 + 65 HRC	300 °C
Acciaio fortemente legato	Ferro Carbonio Tungsteno Molibdeno Cromo Vanadio Cobalto	Media tenacità Buona durezza a caldo Buona res. all'usura	62 + 64 HRC	500 + 600 °C
Leghe tuse	Cobalto Cromo Tungsteno	Elevata res. all'usura Elevata fragilità Buona durezza a caldo Stellitaggio	57 : 58 HRC	850 °C
Carburi Metallici Sinterizzati	Carburo di tungsteno Cobalto Carburo di titanio Carburo di tantalio Carburo di niobio	Elevata res. all'usura Elevata dur. a caldo Scarsa tenacità	74 + 78 HRC	1000 °C e oltre
Materiali Ceramici	Ossido di alluminio Ossido di cromo Ossido di silicio	Ottima res. all'usura Elevata durezza a caldo Fragilità Refrattarietà	90 + 95 HRA	1000 °C e oltre
Cermets	Ossido di alluminio Carburi di molibdeno Carburi di cromo c. di vanadio	Ottima res. all'usura Elevata durezza Estrema fragilità	85 + 93 HRA	—
Diamante	Diamante Mono- o policristallino	Ottima res. all'usura Ottima durezza a caldo Estrema fragilità Costo elevato	—	—



Durezza vs. temperatura



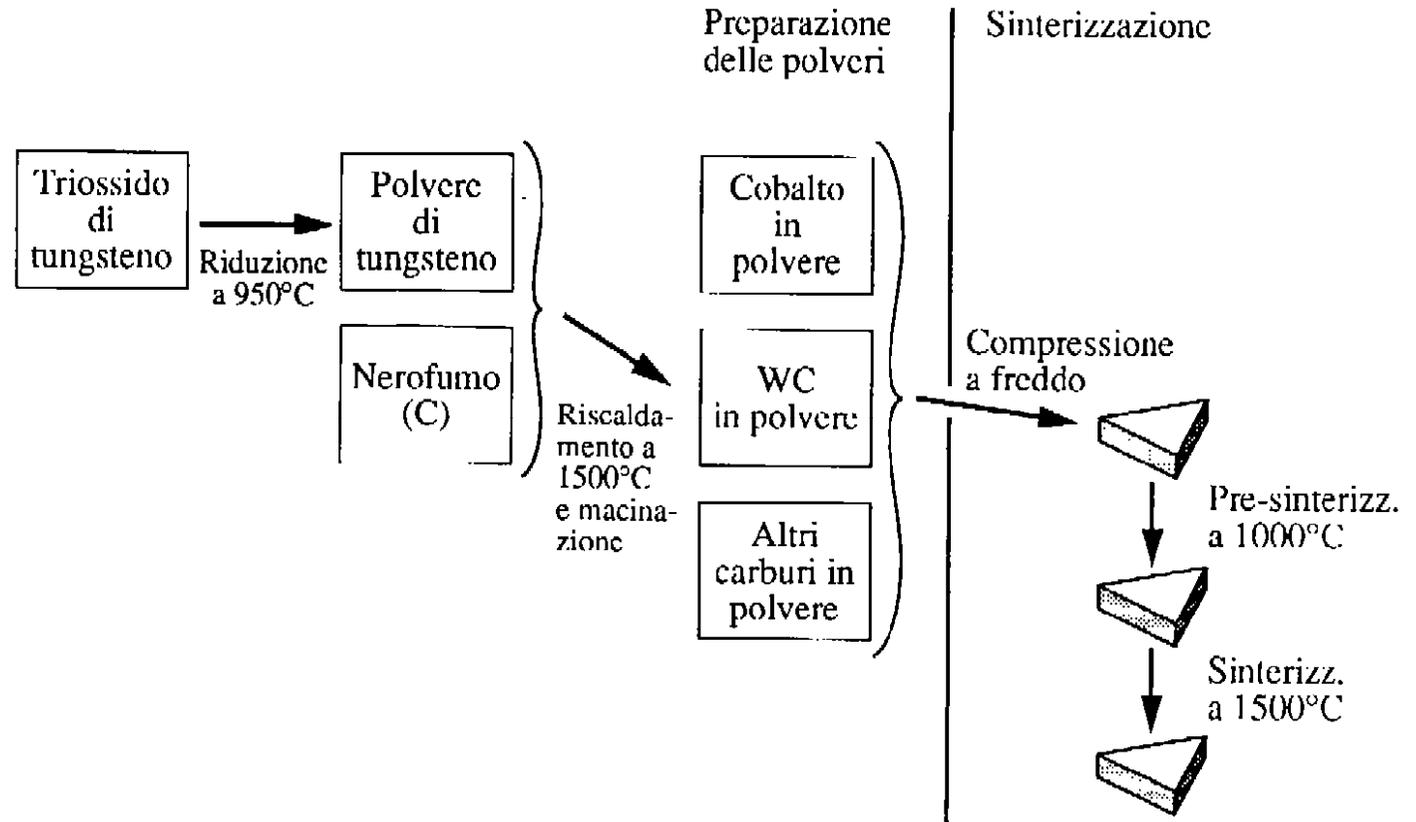
durezza a caldo vs. tenacità



Acciai alto legati	medio carbonio (0.7) alto contenuto di elementi di lega (W 18%, 4 Cr, 2.5 Co, 1 V) adeguato TT --> formazione di WC e CrC grani fini (Cr) resistenza all'usura (V_4C_3) durezza a caldo (Co in soluzione) fucinatura (900 °C) tempra (1250 °C) rinvenimento (580 °C) X75W18KUTF X80WCo1818KUTF Vt 80 m / min
Carburi sinterizzati	WC (>90%), Co (legante, <10%) TiC resistenza all'usura TaC resistenza alla craterizzazione NbC tenacità, durezza a caldo Vt 200 m / min
Carburi ricoperti	TiN TiC Al_2O_3 TiCN ZrN ottima resistenza all'usura, buona tenacità

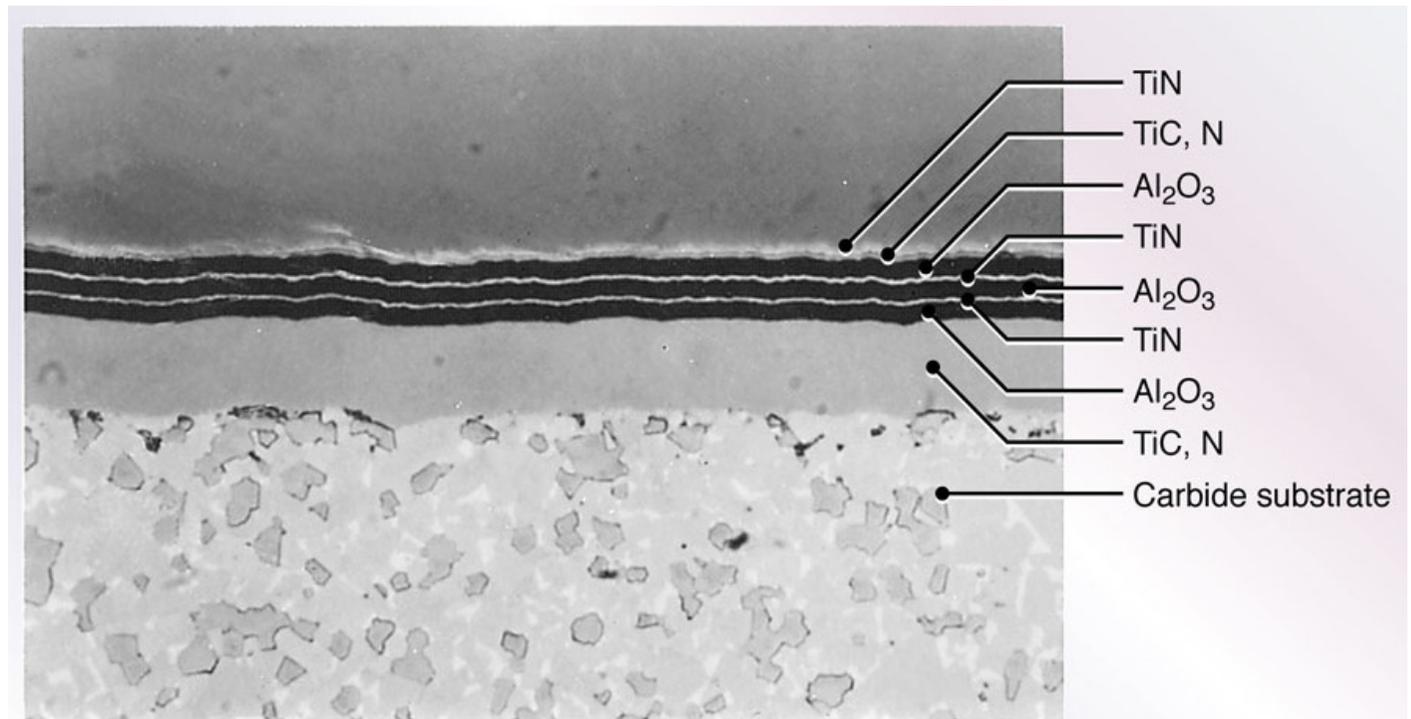
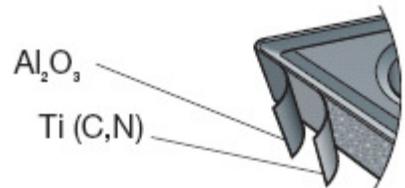
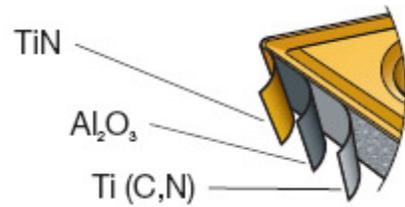


Produzione inserti
sinterizzati in WC





Ricoprimenti multistrato

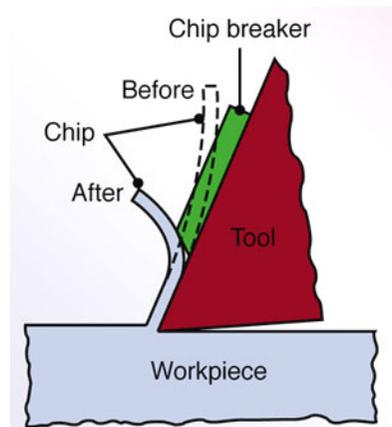




Utilizzo inserti
sinterizzati

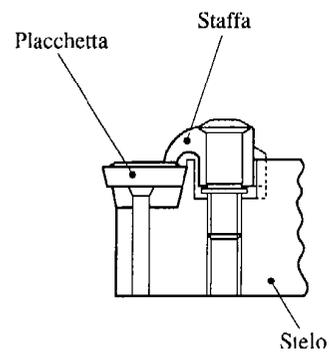


Rompi-truciolo

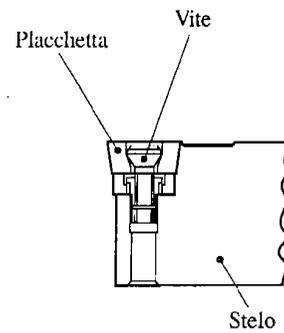


Porta-utensili

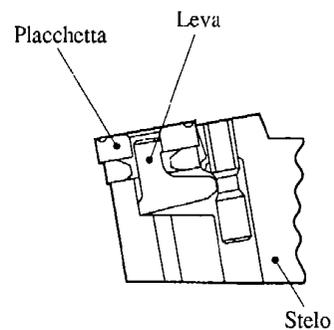
Tipi di bloccaggio



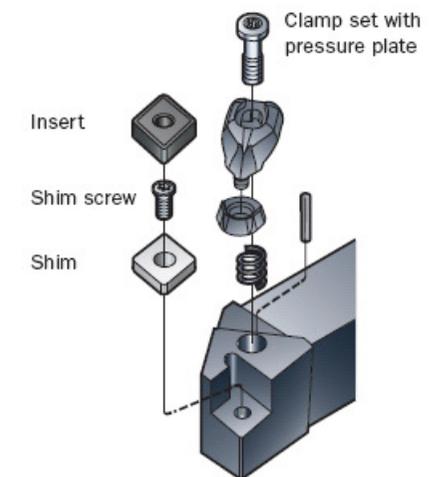
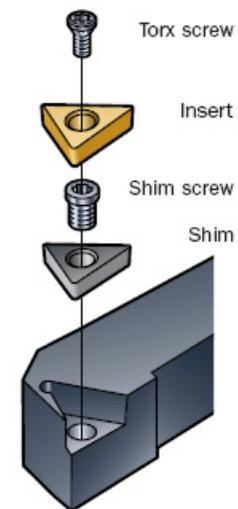
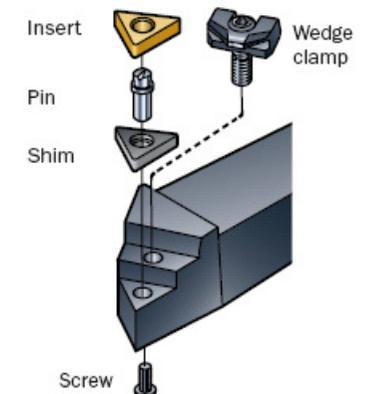
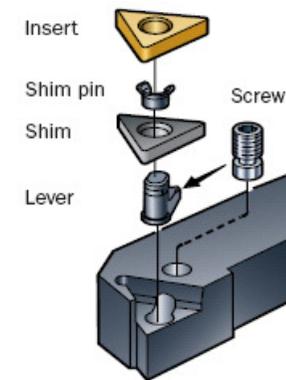
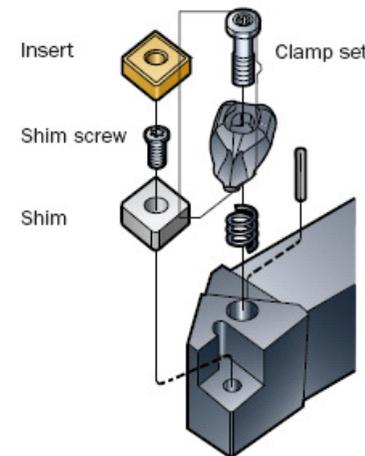
a) Bloccaggio a staffa



b) Bloccaggio a vite



c) Bloccaggio a leva





Materiale in lavorazione

Lavorabilità

attitudine del materiale ad essere lavorato per asportazione di truciolo (truciolabilità?)

criteri per valutare la lavorabilità di un materiale

- finitura superficiale
- vita utensile
- forze e potenze
- evacuazione del truciolo



Le prove per determinare la lavorabilità devono necessariamente essere di tipo tecnologico: usura utensile (microscopia), forze di taglio (dinamometri), finitura superficiale (rugosimetri) determinati nelle condizioni di lavoro, per certi set di parametri tecnologici



Dipende da varie caratteristiche

- del materiale

- composizione chimica
- lavorazioni / trattamenti subiti in precedenza
- caratteristiche strutturali

deformazione plastica
incrudimento
ricristallizzazione
trattamenti termici
fasi
dimensioni dei grani
orientazione dei grani

- della tecnologia / lavorazione

sgrossatura / finitura
fresatura concorde / discorde
lubro-refrigerazione

- dell'utensile

materiale
angoli di spoglia
rompitruciolo



Acciai	al piombo (particelle lubrificanti) allo zolfo (particelle infragilizzanti) al calcio (particelle desossidanti) al carbonio (vedi HB -> Ks) inox - tenacità (austenitici) - abrasività (martensitici)	Ghise	fragili truciolo corto abrasività cementite
Alluminio	bassa HB buona finitura superficiale alta Vt	Compositi	sollecitazioni variabili urti/usura/vibrazioni
Magnesio	basso Ks	Ottone	truciolo corto lunga durata utensili
Titanio	bassa conducibilità termica / alto Ks	Leghe Ni	alta R ad alta temperatura incrudimento / tenacità

Temperatura di taglio

- Cause:
- deformazione plastica zona primaria
 - attrito utensile truciolo
 - deformazione zona secondaria

- Dipende da:
- V_t velocità di taglio
 - K_s energia specifica di taglio
 - h_0 spessore truciolo
 - c calore specifico
 - λ conducibilità termica

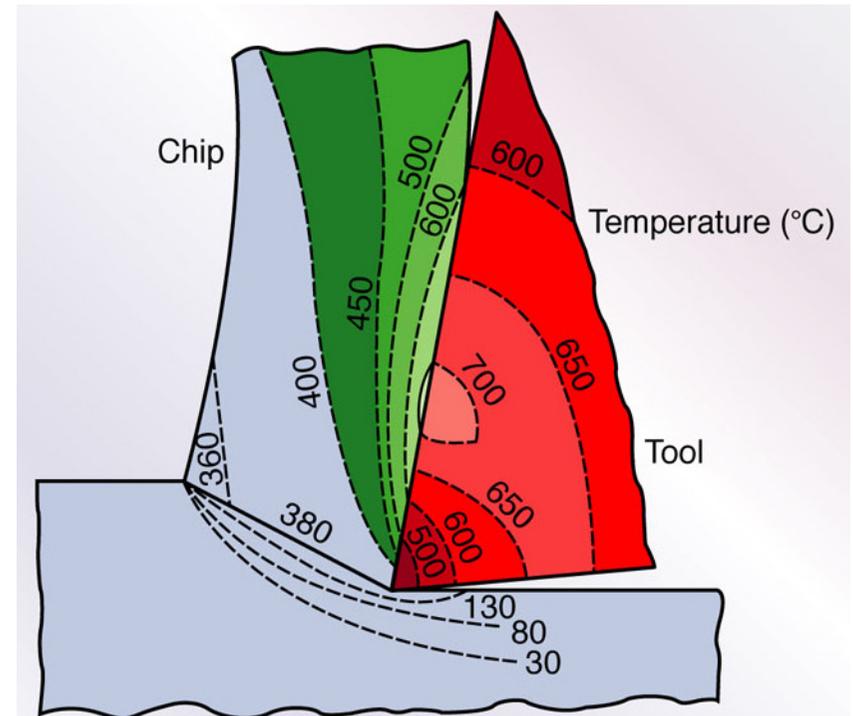
- Si ripartisce:
- utensile
 - pezzo
 - truciolo

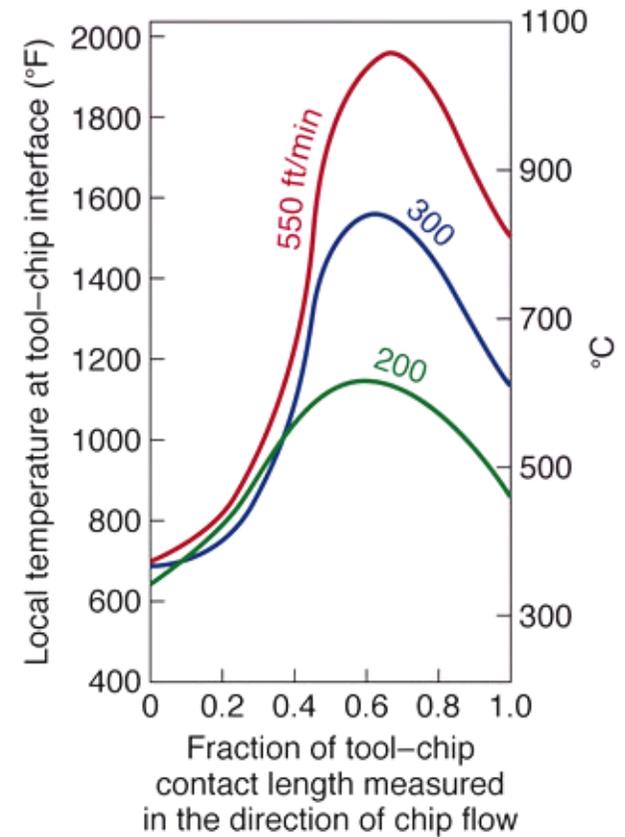
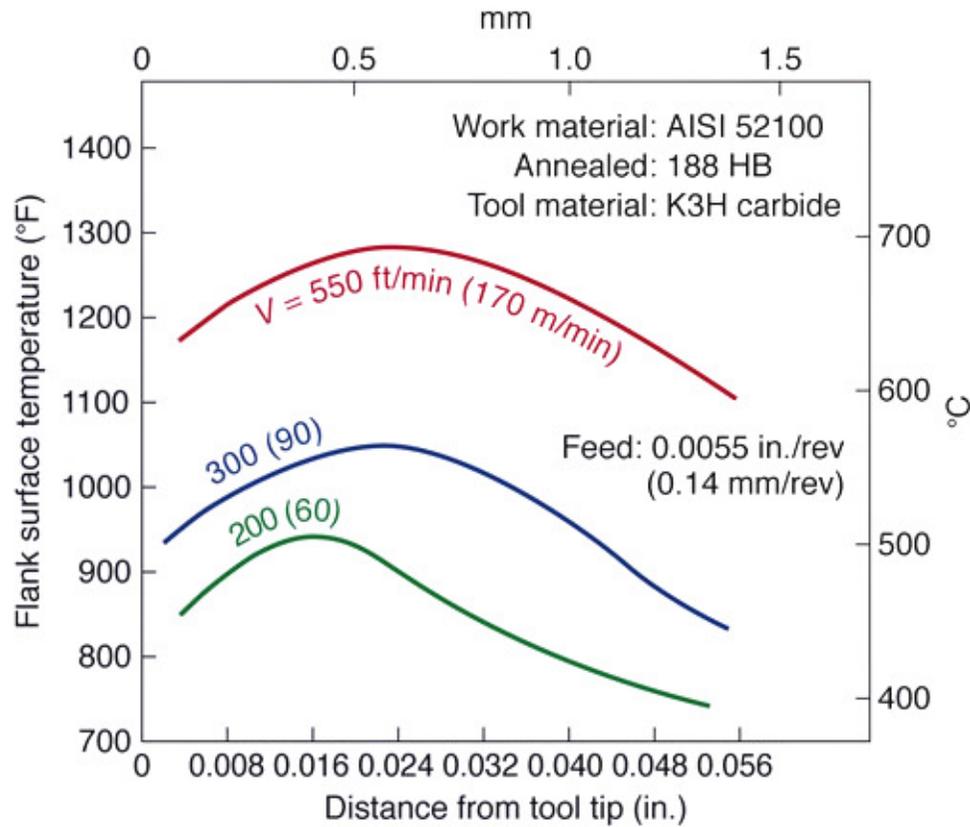
$$R = \frac{Q_{utensile}}{Q_{pezzo} + Q_{truciolo}}$$

R aumenta se λ_u / λ_m aumenta

$$T \propto V_t^a \cdot h_0^b$$

	a	b
HSS	0.5	0.4
WC	0.2	0.12



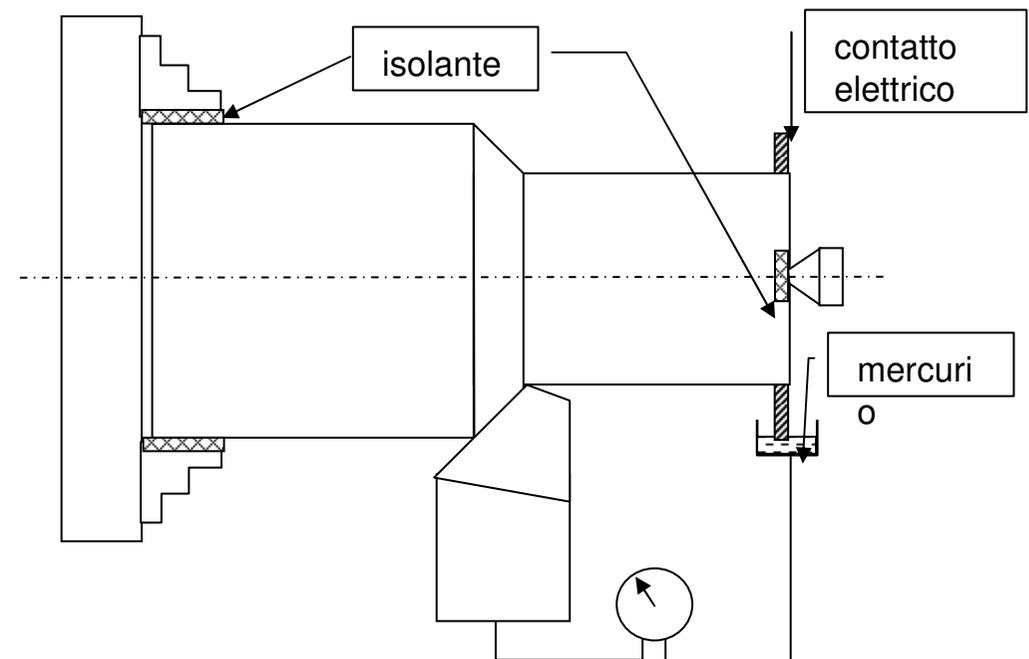


Stima della temperatura

Analisi sperimentale

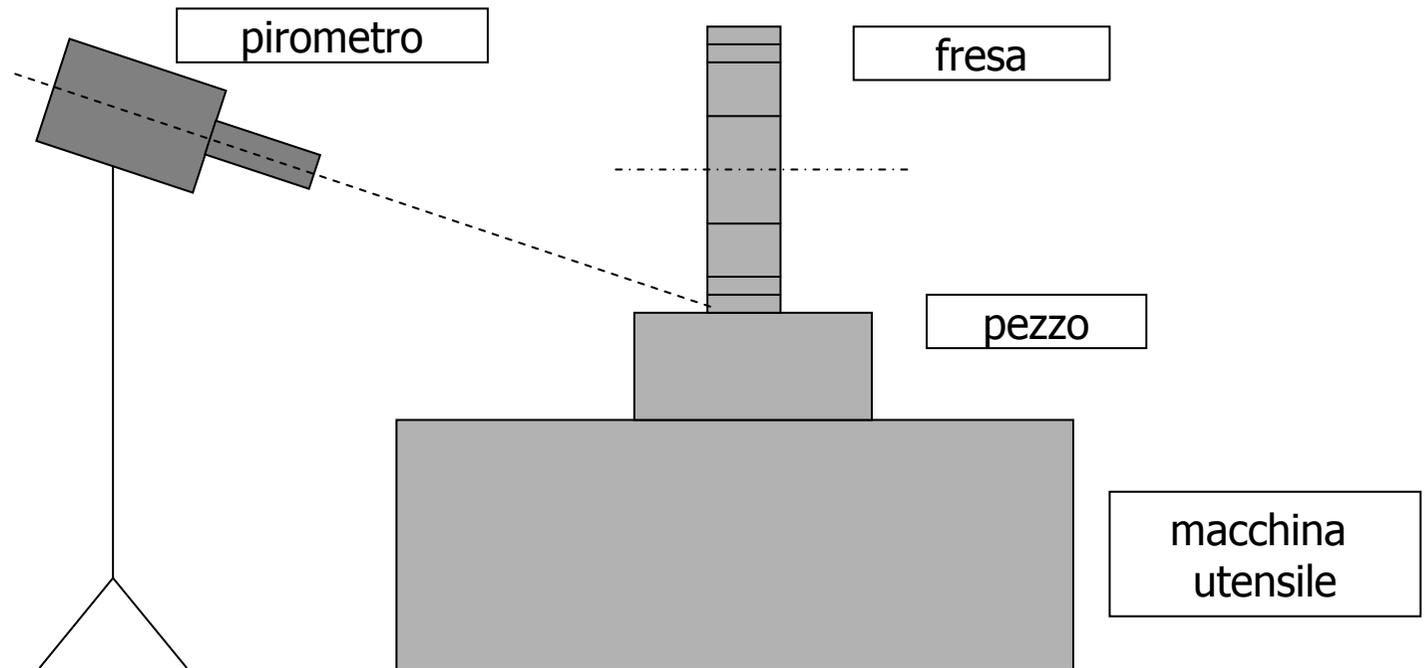
utensile può:
essere toccato
essere visto
non essere toccato né visto

I° caso



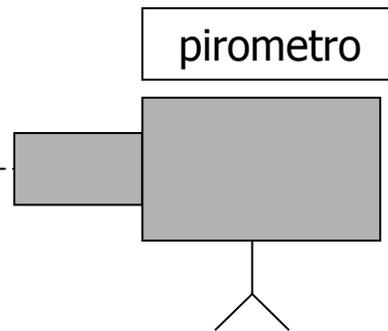
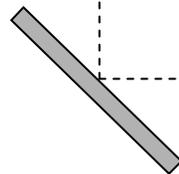
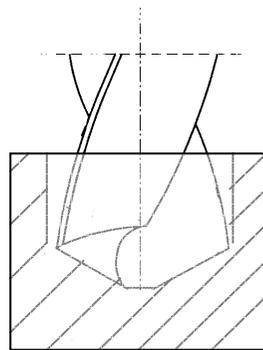
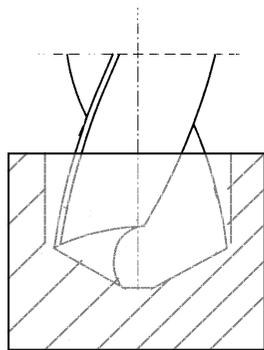


II° caso

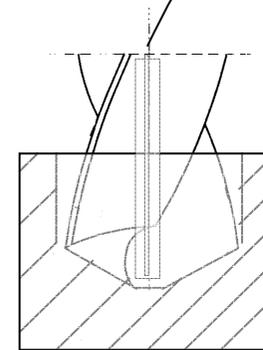




III° caso



termocoppia





Analisi numerica modellazione del processo, ad esempio con
Equazioni di Fourier sulla trasmissione del calore

Analisi dimensionale

assumendo come variabili del processo di taglio

1. V_t (m / min)	velocità di taglio	$[L t^{-1}]$
2. A (mm ²)	sezione del truciolo	$[L^2]$
3. k_s (J / mm ²)	energia specifica di taglio	$[M L^{-1} t^2]$
4. λ (W / m K)	conducibilità termica del materiale	$[M L t^{-3} T^{-1}]$
5. ρC (J / mm ³ K)	calore specifico (per unità di volume)	$[M L^{-1} t^{-2} T^{-1}]$
6. T	temperatura	$[T]$



si determinano le 2 grandezze adimensionali:

$$Q_1 = f(V_t, \lambda, \rho C, K_s, T) = V_t^a \cdot K_s^b \cdot \lambda^c \cdot \rho C^d \cdot T$$

$$Q_2 = f(V_t, \lambda, \rho C, K_s, A) = V_t^e \cdot K_s^f \cdot \lambda^g \cdot \rho C^i \cdot A$$

affinché le grandezze siano adimensionali
la somma degli esponenti di tutte le dimensioni
devono essere = 0

$$Q_1 = L^a \cdot t^{-a} \quad M^b \cdot L^{-b} \cdot t^{-2b} \quad M^c \cdot L^c \cdot t^{-3c} \cdot T^{-c} \quad M^d \cdot L^{-d} \cdot T^{-d} \cdot t^{-2d} \quad T$$

$$Q_2 = L^e \cdot t^{-e} \quad M^f \cdot L^{-f} \cdot t^{-2f} \quad M^g \cdot L^g \cdot t^{-3g} \cdot T^{-g} \quad M^i \cdot L^{-i} \cdot T^{-i} \cdot t^{-2i} \quad L^2$$

$$\begin{array}{l} L \\ M \\ t \\ T \end{array} \left\{ \begin{array}{l} a - b + c - d = 0 \\ b + c + d = 0 \\ -a - 2b - 3c - 2d = 0 \\ -c - d + 1 = 0 \end{array} \right. \quad \cap \quad \begin{array}{l} L \\ M \\ t \\ T \end{array} \left\{ \begin{array}{l} e - f + g - 1 + 2 = 0 \\ f + g + i = 0 \\ -e - 2f - 3g - 2i = 0 \\ -g - i = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a = 0 \\ b = -1 \\ c = 0 \\ d = 1 \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} e = 2 \\ f = 0 \\ g = -2 \\ i = 2 \end{array} \right.$$



quindi:

$$Q_1 = \frac{T}{\frac{K_s}{\rho C}} \quad Q_2 = \frac{V_t^2 A}{(\rho C)^2}$$

Sperimentalmente si trova fra Q_1 e Q_2
una relazione empirica:

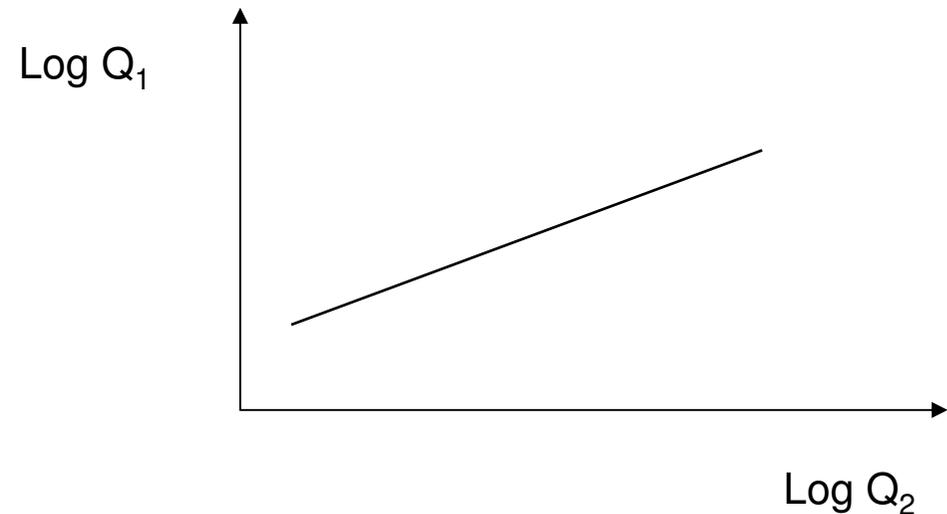
$$Q_1 = C_0 Q_2^n$$

per gli acciai :

$$C_0 = 0.4$$
$$n = 0.3 \text{ (0.5)}$$

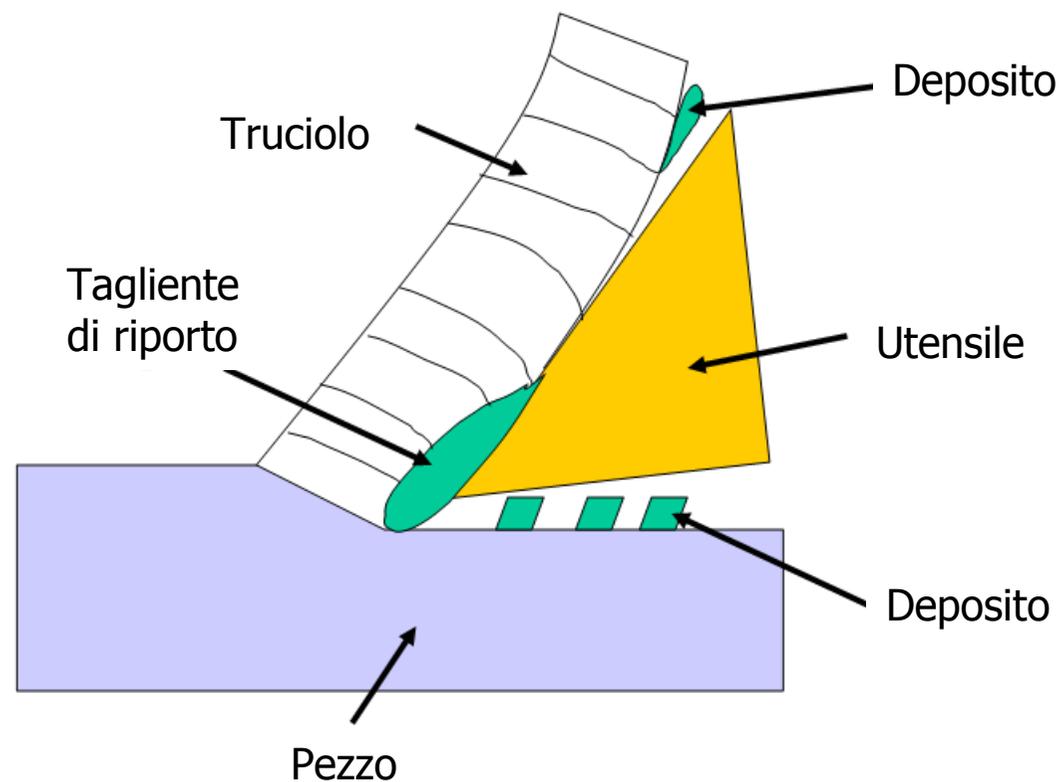
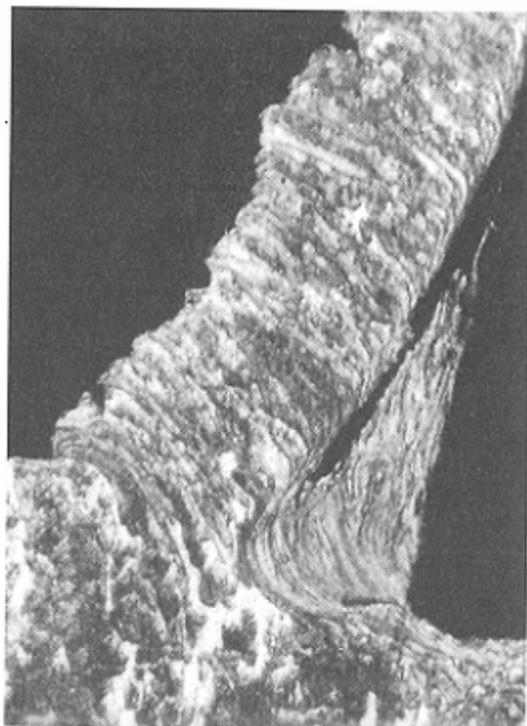
quindi (per $n = 0.3$):

$$T = C_0 K_s V_t^{0.6} A^{0.3} / \lambda^{0.6} (\rho C)^{0.4}$$





Formazione del tagliente di riporto Built Up Edge (BUE)





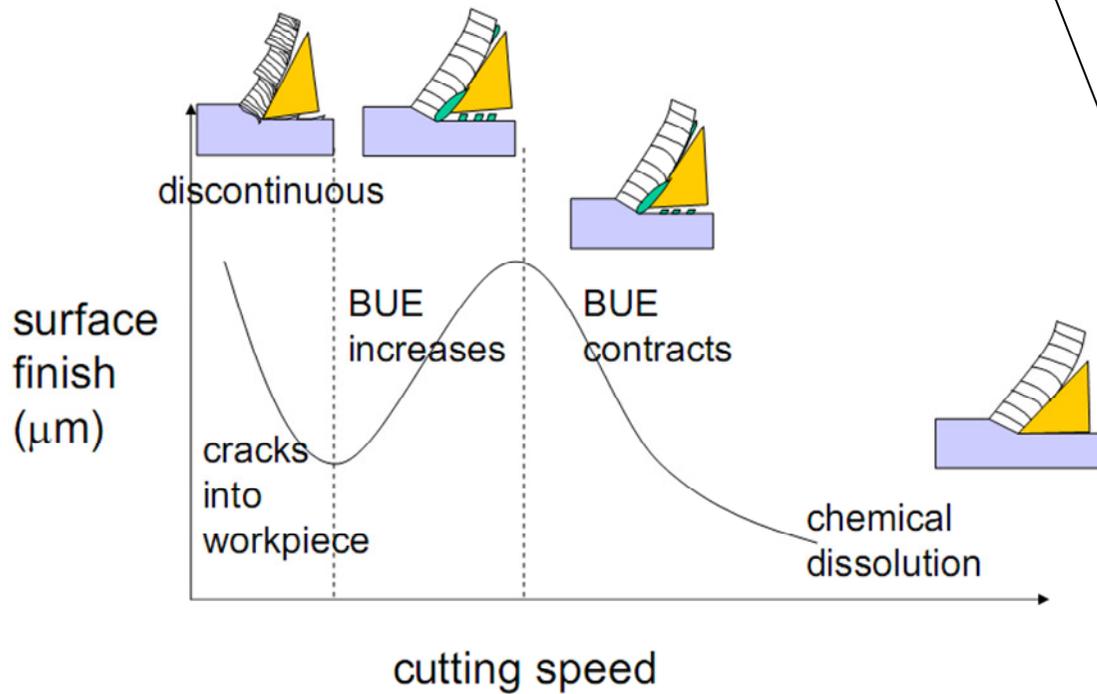
Riduzione del tagliente di riporto:

Aumento della
temperatura
all'interfaccia

- + velocità di taglio
- - velocità di taglio
- + temperatura ambiente
- + angolo di spoglia frontale

Miglioramento delle
condizione di attrito

- + lubrificazione





Meccanismi di fuori servizio utensile

deformazioni plastiche

modifica forma utensile
angoli di taglio
dimensioni

rottura fragile

improvvisa

usura progressiva

progressiva

Usura utensili

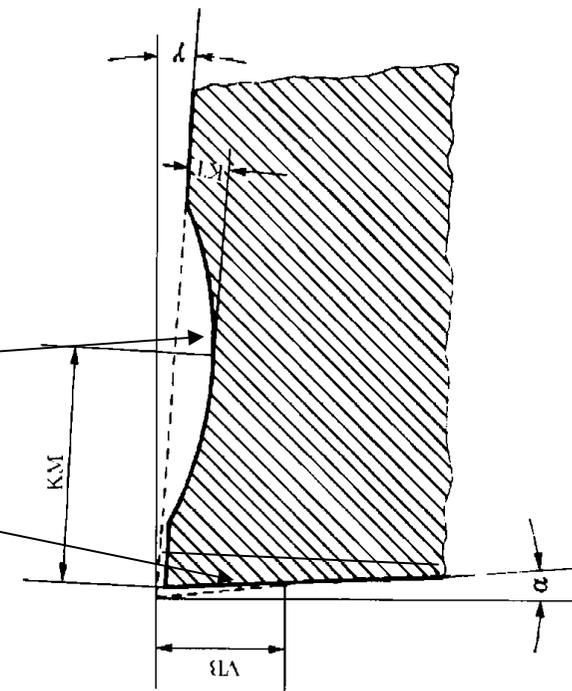
Meccanismi di usura: - adesione
- abrasione
- diffusione
- fatica



Modifica forma utensile: - cratere di usura
- labbro di usura



Conseguenze: - aumento di F_t
- aumento di T
- indebolimento utensile





Principali forme di
Usura degli utensili



Usura sul fianco



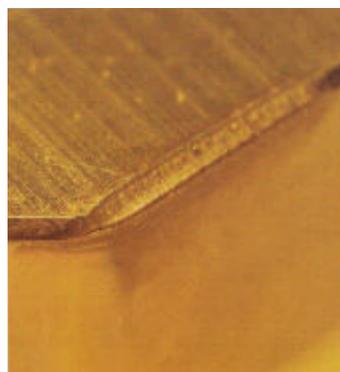
Craterizzazione



Deformazione plastica



Intaglio sul tagliente
secondario



Microfessurazione
termica



Cricatura da fatica
meccanica



Scheggiatura



Rottura



Tagliente di riporto



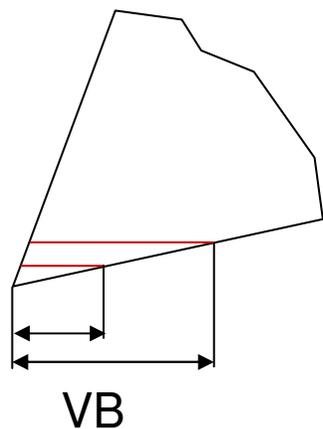
Misura dell'usura

- diretta
 - microscopio
 - rugosimetro
 - fotografia (analisi di immagini)
 - pesate differenziali

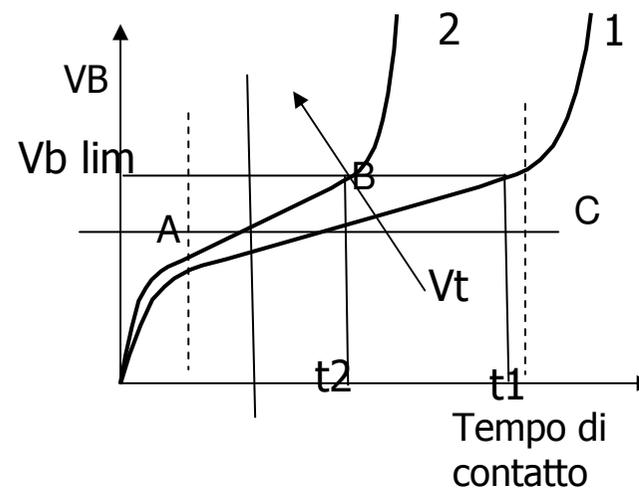
- indiretta
 - isotopi radioattivi
 - finitura superficiale
 - misura delle forze
 - misura della temperatura
 - vibrazioni

Usura dorsale

labbro d'usura VB

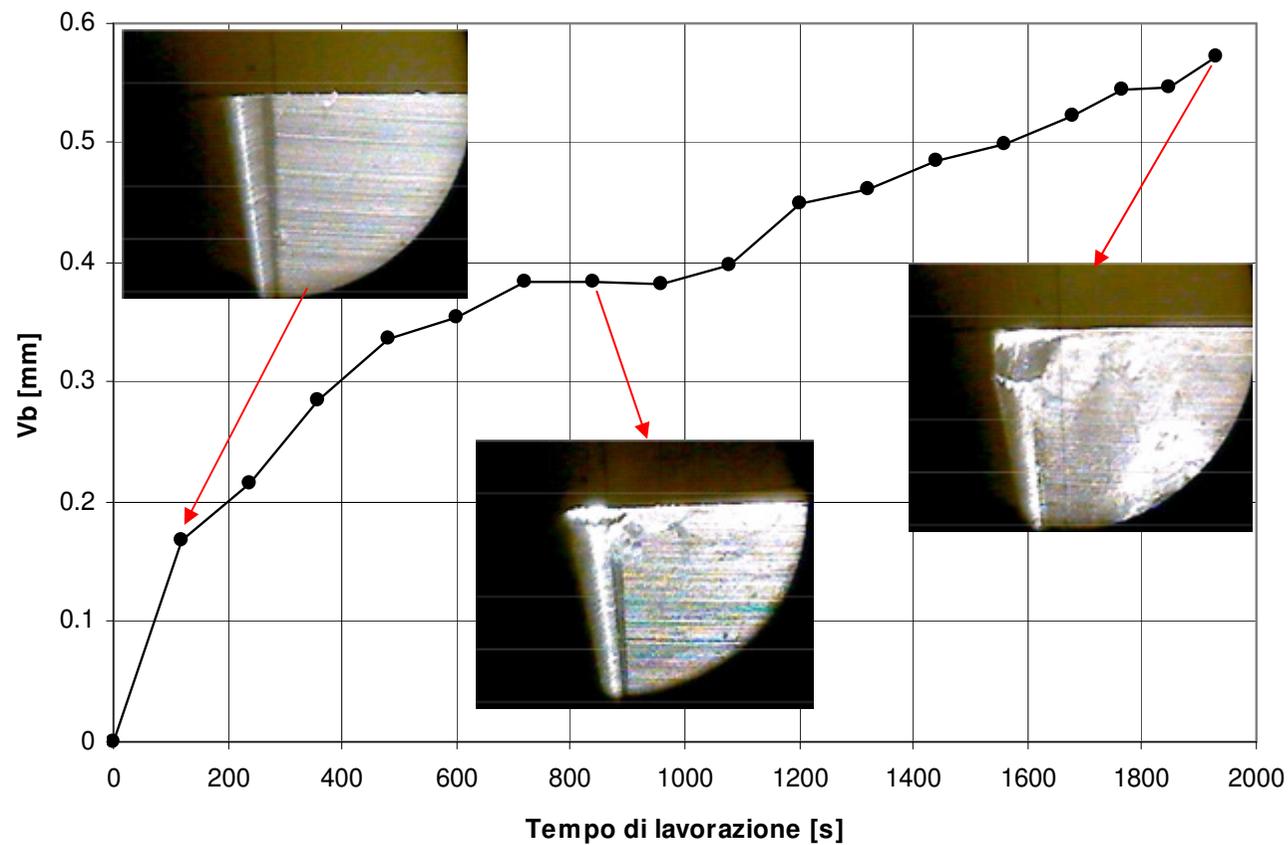


- a: rottura del filo tagliente
- b: usura progressiva a V costante
- c: aumento catastrofico





Usura progressiva

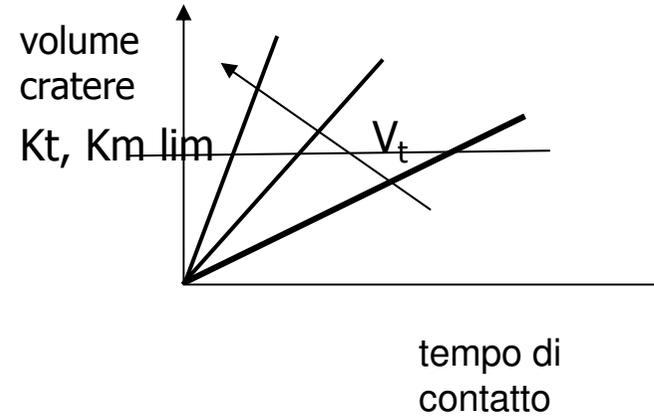


Utensile WC non rivestito
Materiale: Al6061 con 10% Al_2O_3

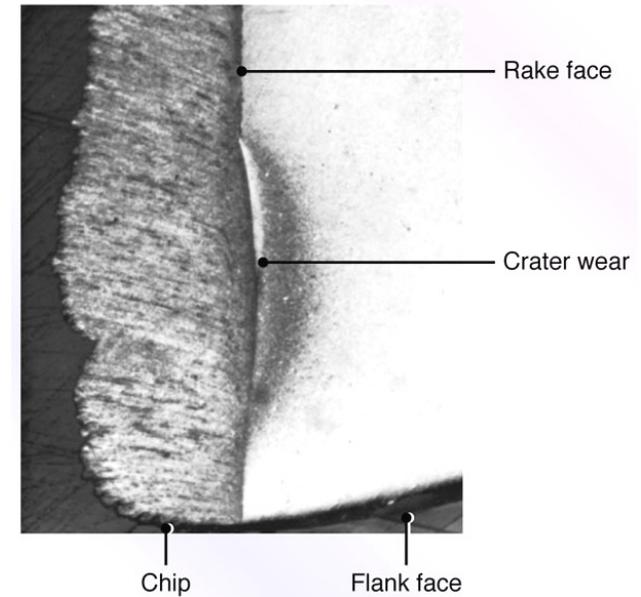
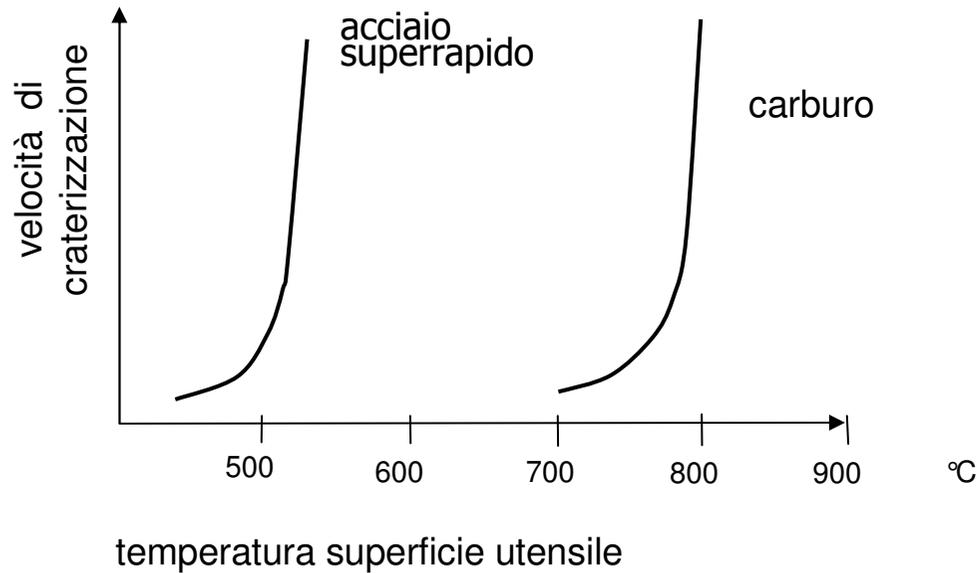


Usura frontale

Volume del cratere



adesione, tagliente di riporto
diffusione, reazioni chimiche





Criteria di usura

Un utensile deve essere cambiato quando:

- la lavorazione supera i limiti di tolleranza
- la rugosità supera i valori ammissibili
- il labbro di usura è troppo grande
- il petto dell'utensile presenta un cratere troppo grande

Labbro di usura 0.3 – 1.0

Cratere di usura $KT / KM \geq 0.1$
 $KT \geq 0.1 + 0.3 f$

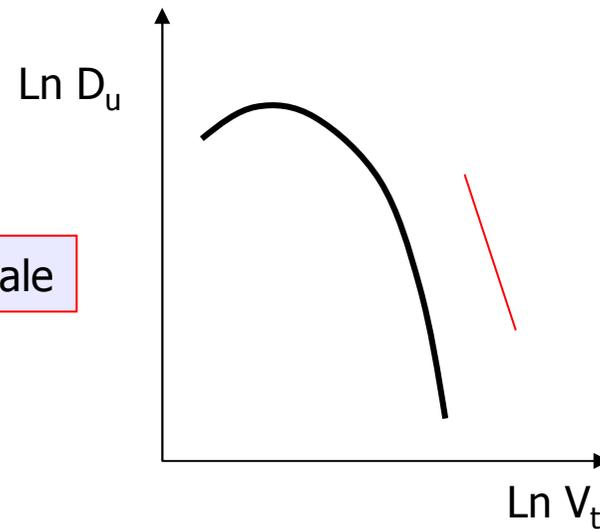


Durata utensili

Influenzata da

- materiale da lavorare
- spessore truciolo
- angolo di spoglia frontale
- velocità di taglio
- lubrorefrigerazione

approccio sperimentale





Relazione di Taylor ottenuta empiricamente
con ripetute prove, con diversi materiali,
diversi angoli, diverse condizioni di taglio

$$V_t \times D_u^n = C$$

n		0.28	WC
		0.12	HSS
		0.70	Ceramics

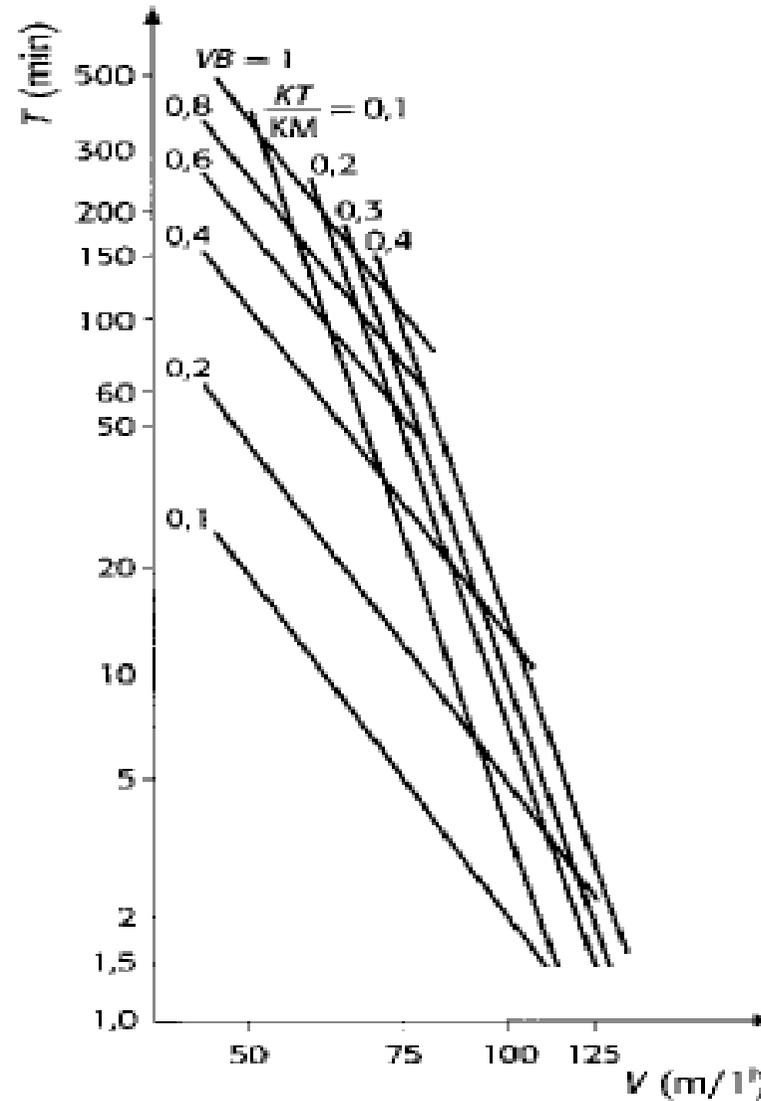
C dipende da

criterio di usura
geometria utensile
rapporto di forma del truciolo
tipo di lavorazione
materiale in lavorazione



Vita utensile per varie
velocità di taglio
e vari criteri di usura

In un certo (limitato) campo la relazione è lineare

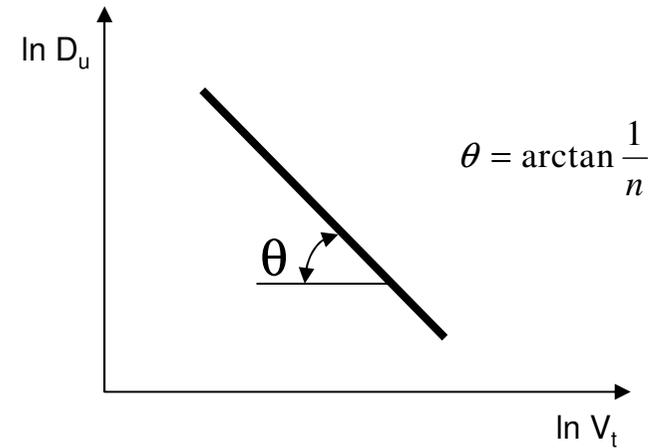




matematicamente

$$\ln D_u = -\frac{1}{n} \ln V_t + \frac{1}{n} \ln C$$

graficamente



Relazione di Taylor ottenuta empiricamente con ripetute prove, con diversi materiali, diversi angoli, diverse condizioni di taglio



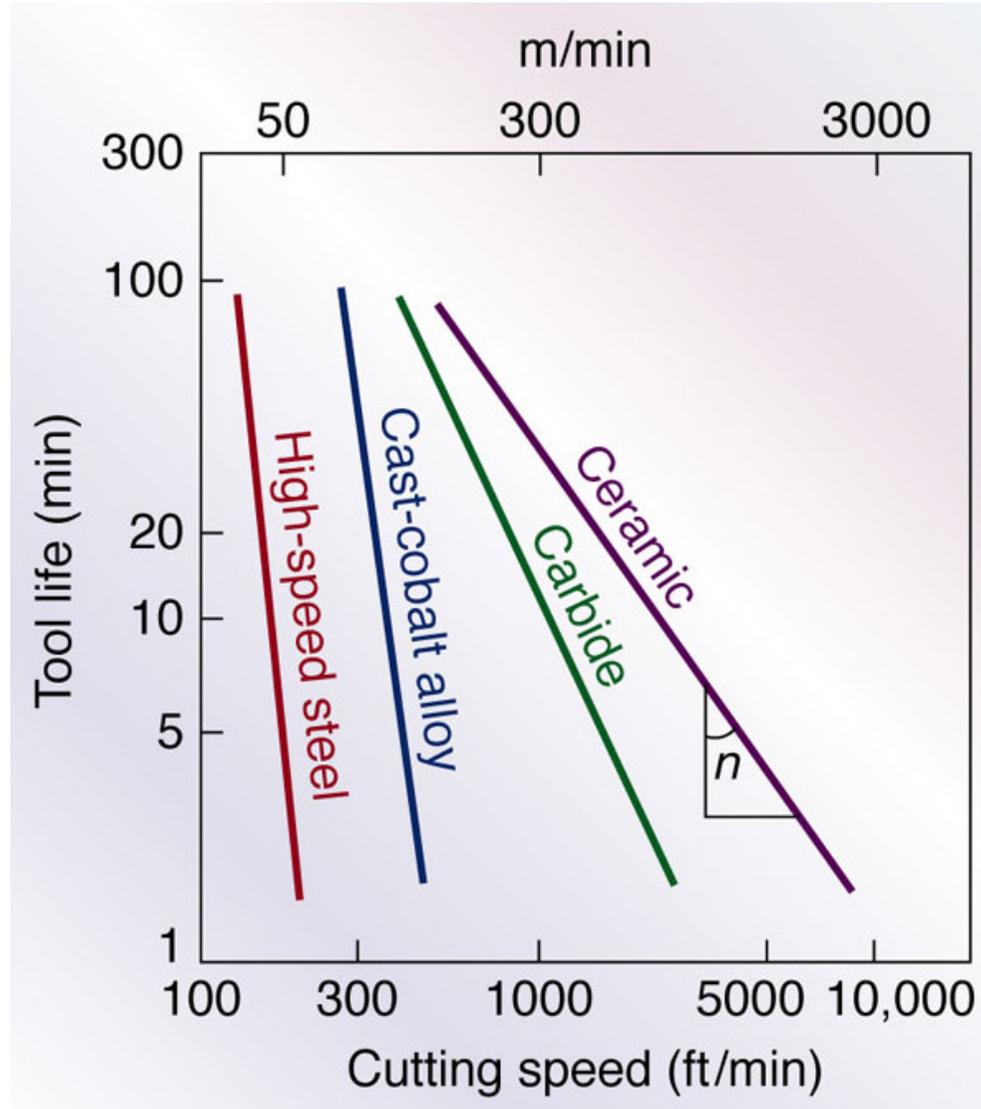
$$V_t \times D_u^n = C$$

n dipende da materiale dell' utensile

0.28	WC
0.12	HSS
0.70	Ceramici

C dipende da criterio di usura
geometria utensile
rapporto di forma del truciolo
tipo di lavorazione
materiale in lavorazione

è la V_t alla quale l'utensile dura 1 minuto





Legge di Taylor generalizzata

1. criterio : VB_{\max}

$$m = 0.44$$

2. variabili della lavorazione : V_t h, b, VB

$$x = 0.66 \text{ HSS}$$
$$0.4 \text{ WC}$$

3. tipo di relazione: $V_t \cdot D_u^n = \frac{C_{VB} \cdot VB^m}{h^x b^y}$

$$y = 0.46 \text{ HSS}$$
$$0.21 \text{ WC}$$

$$\text{NB: } y < x \quad \text{e} \quad x - y = 0.2$$



Relazione di Kronenberg

$$V_t \left(\frac{D_u}{60} \right)^q = \frac{C_{VB}}{A^f \left(\frac{G}{5} \right)^g}$$

$$A = b * h$$

$$G = b / h$$

f	0.28 acciai
	0.20 ghise
	0.1 non ferrosi

g	0.14 acciai
	0.1 ghise
	0.1 non ferrosi

q	carburo	- acciaio 0.2-03
		- ghisa 0.25
	HSS	- acciaio 0.15
		- ghisa 0.25



Ottimizzazione delle condizioni di taglio

cosa ottimizziamo?

tempo di produzione t_p
costo di produzione C_p
tasso di profitto p_r

vincoli

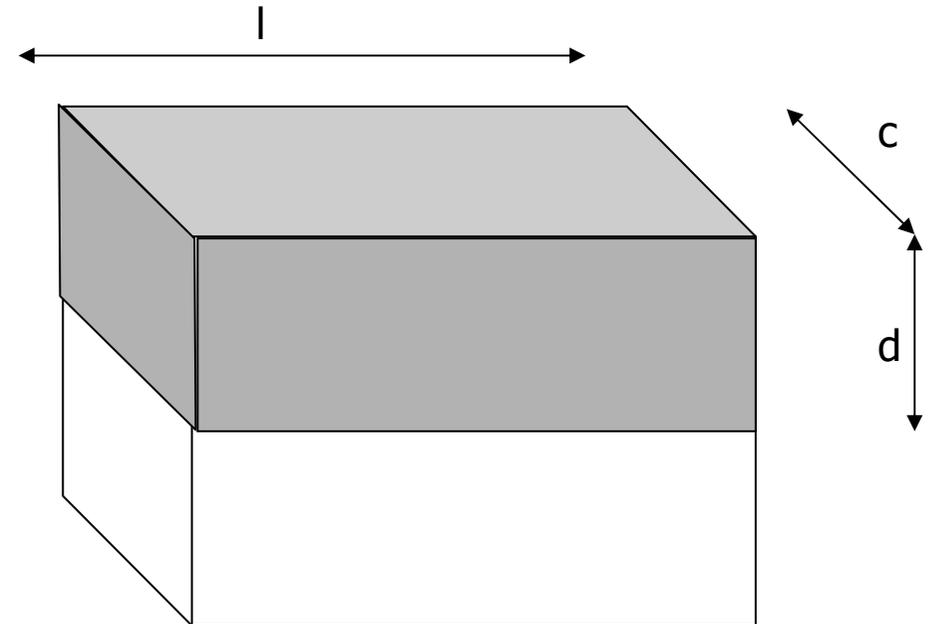
potenza
deformazione del pezzo
deformazione dell'utensile
min / max f V_t
rugosità $R_a = k f^2 / r$

strumenti

relazioni vita utensile
relazioni forze / potenze
relazioni parametri / produzione



Asportazione di materiale



volume da asportare $V = l \cdot c \cdot d$

tempo di contatto $t_c = n_{corse} \cdot t_{corsa} = \frac{l}{b} \cdot \frac{c}{V_t}$

velocità di asportazione $Z = \frac{V}{t_c} = \frac{l \cdot c \cdot d}{\frac{l}{b} \cdot \frac{c}{V_t}} = b \cdot V_t \cdot d = A \cdot V_t$



Funzioni obiettivo

Tempo di produzione
$$t_p = t_0 + \frac{V}{Z} + \frac{V}{Z} \cdot \frac{t_{cu}}{D_u} = t_0 + \frac{V}{Z} \left(1 + \frac{t_{cu}}{D_u} \right)$$

t_0 = tempi passivi (carico / scarico e ritorno utensile)
 t_{cu} = tempo cambio utensile

Costo di produzione
$$c_p = c_0 + c_m t_p + c_{cu} \frac{V}{Z \cdot D_u} = c_0 + c_m t_0 + c_m \frac{V}{Z} + c_m \frac{V}{Z} \cdot \frac{t_{cu}}{D_u} + c_{cu} \frac{V}{Z \cdot D_u} =$$

$$= c_0' + c_m \frac{V}{Z} \left[1 + \left(t_{cu} + \frac{c_{ut}}{c_m} \right) \frac{1}{D_u} \right]$$

c_0 = costo di attrezzaggio
 c_m = costo orario (macchina, materiali, personale)
 c_{ut} = costo utensili

Tasso di profitto
$$Pr = \frac{(R - c_p)}{t_p} \quad R = \text{ricavi}$$



Ricordando che $Z = A * V_t$

si ottiene

$$F = k_0 + \frac{k_1}{V_t} + k_2 V_t^{\frac{1-n}{n}}$$

ovvero

$$F = k_0 + \frac{k_1}{V_t} \cdot \left(1 + k_3 V_t^{\frac{1}{n}} \right)$$

cioè

$$t_p = f(V_t)$$

$$c_p = f(V_t)$$

Ambedue le funzioni hanno

un termine costante

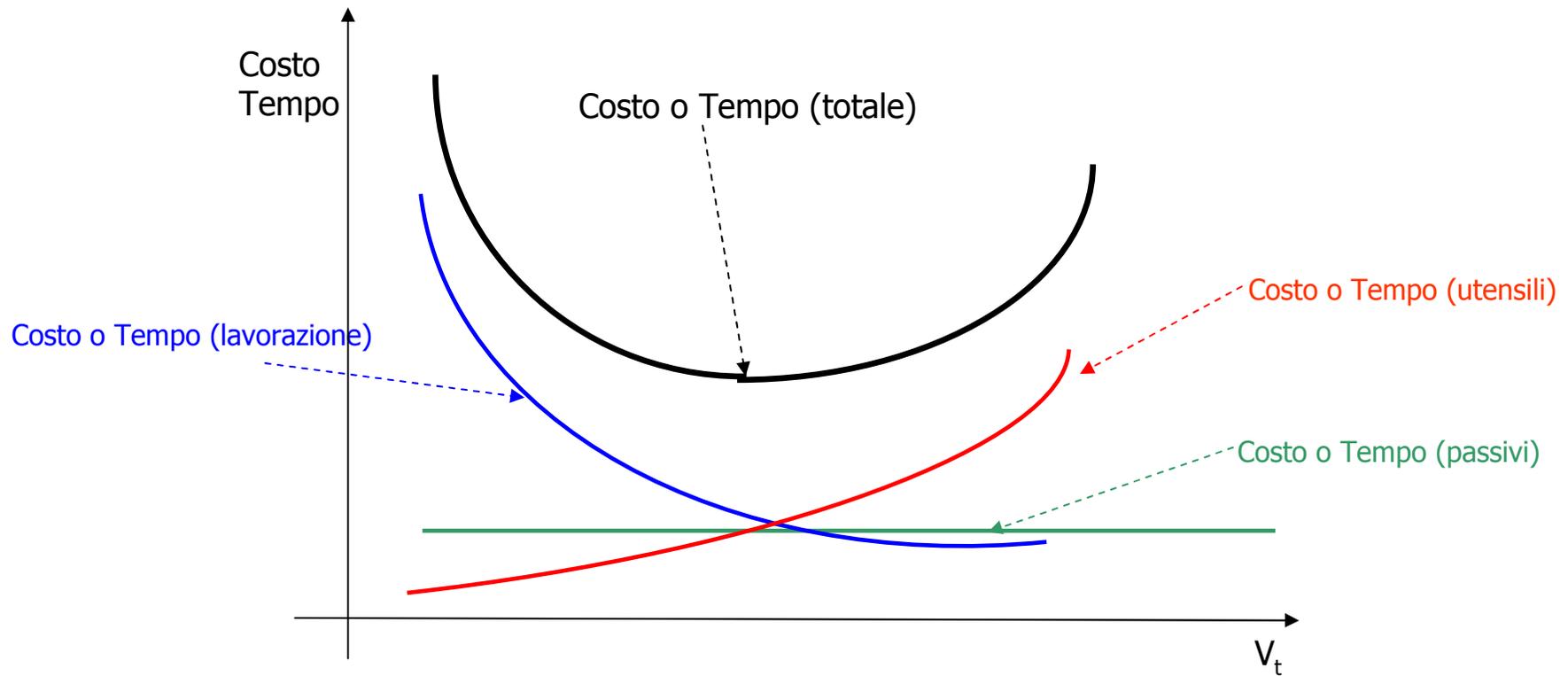
un termine crescente con V_t

un termine decrescente con V_t

con	t_p	c_p
k_0	t_0	$c_0 + c_m t_0$
k_1	V/A	$c_m V/A$
k_2	$t_{cu} V / (A * C^{1/n})$	$c_m (t_{cu} + c_{ut} / c_m) V / (A * C^{1/n})$
k_3		k_2 / k_1
n		esponente della Taylor
C		costante della Taylor
A		sezione del truciolo
V		volume da asportare



graficamente





Ricerca dei minimi

Funzione
$$F = k_0 + \frac{k_1}{V_t} \cdot \left(1 + k_3 V_t^n \right)$$

Derivata prima
$$\frac{\partial F}{\partial V_t} = \frac{k_1 \left[n + (-1+n) k_3 V_t^{n-1} \right]}{n V_t^2}$$

Derivata seconda
$$\frac{\partial^2 F}{\partial V_t^2} = \frac{k_1 \left[2n^2 + (-1+n)(-1+2n) k_3 V_t^{n-2} \right]}{n^2 V_t^3}$$

$2n^2 - 3n + 1 > 0 \Rightarrow \begin{cases} n < \frac{1}{2} \\ n > 1 \end{cases}$

Velocità ottima
$$V_{ottima} = \left[\frac{n}{(1-n) k_3} \right]^{\frac{1}{n}}$$

Durata alla velocità ottima
$$D_{uottima} = k_3 \left[\frac{1-n}{n} \right] C^{\frac{1}{n}}$$



Tempo

Costo

Velocità ottima

$$V_{ottima} = \left[\frac{C^{\frac{1}{n}} n}{(1-n)t_{cu}} \right]^n$$

>

$$V_{ottima} = \left[\frac{C^{\frac{1}{n}} n C_m}{(1-n)(C_{ut} + C_m t_{cu})} \right]^n = \left[\frac{C^{\frac{1}{n}} n}{(1-n) \left(\frac{C_{ut}}{C_m} + t_{cu} \right)} \right]^n$$

$$t_{cu} < \frac{C_{ut}}{C_m} + t_{cu}$$

<

Durata alla velocità ottima

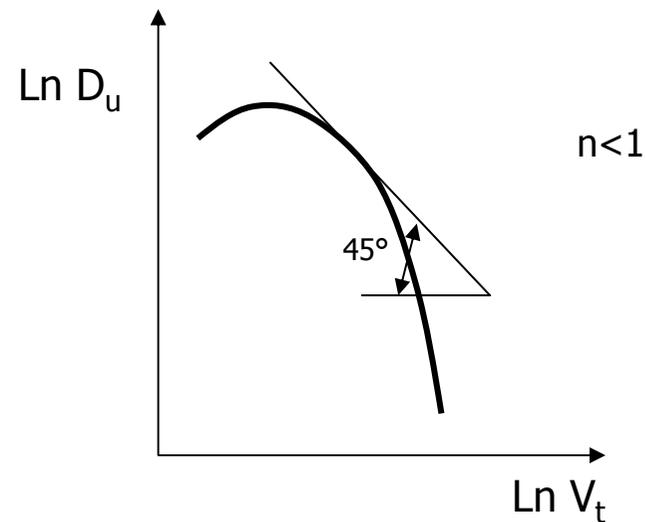
$$D_{uottima} = \frac{1-n}{n} t_{cu}$$

$$D_{uottima} = \frac{(1-n)(C_{ut} + C_m t_{cu})}{nC_m} = \frac{(1-n) \left(\frac{C_{ut}}{C_m} + t_{cu} \right)}{n}$$



considerazioni

1



2

$$\frac{D_{u \text{ ottima}}^{(\text{acciaio})}}{D_{u \text{ ottima}}^{(\text{carburo})}} = \frac{\frac{1-n}{n} t_{cu} |_{\text{acciaio}}}{\frac{1-n}{n} t_{cu} |_{\text{carburo}}} = 8$$

ipotizzando

$$\begin{aligned} t_{cu \text{ acciaio}} &= 3 t_{cu \text{ carburi}} \\ C_{\text{acciaio}} &= 0.3 C_{\text{carburi}} \\ n_{\text{acciaio}} &= 0.12 \\ n_{\text{carburo}} &= 0.28 \end{aligned}$$



3

strategie

