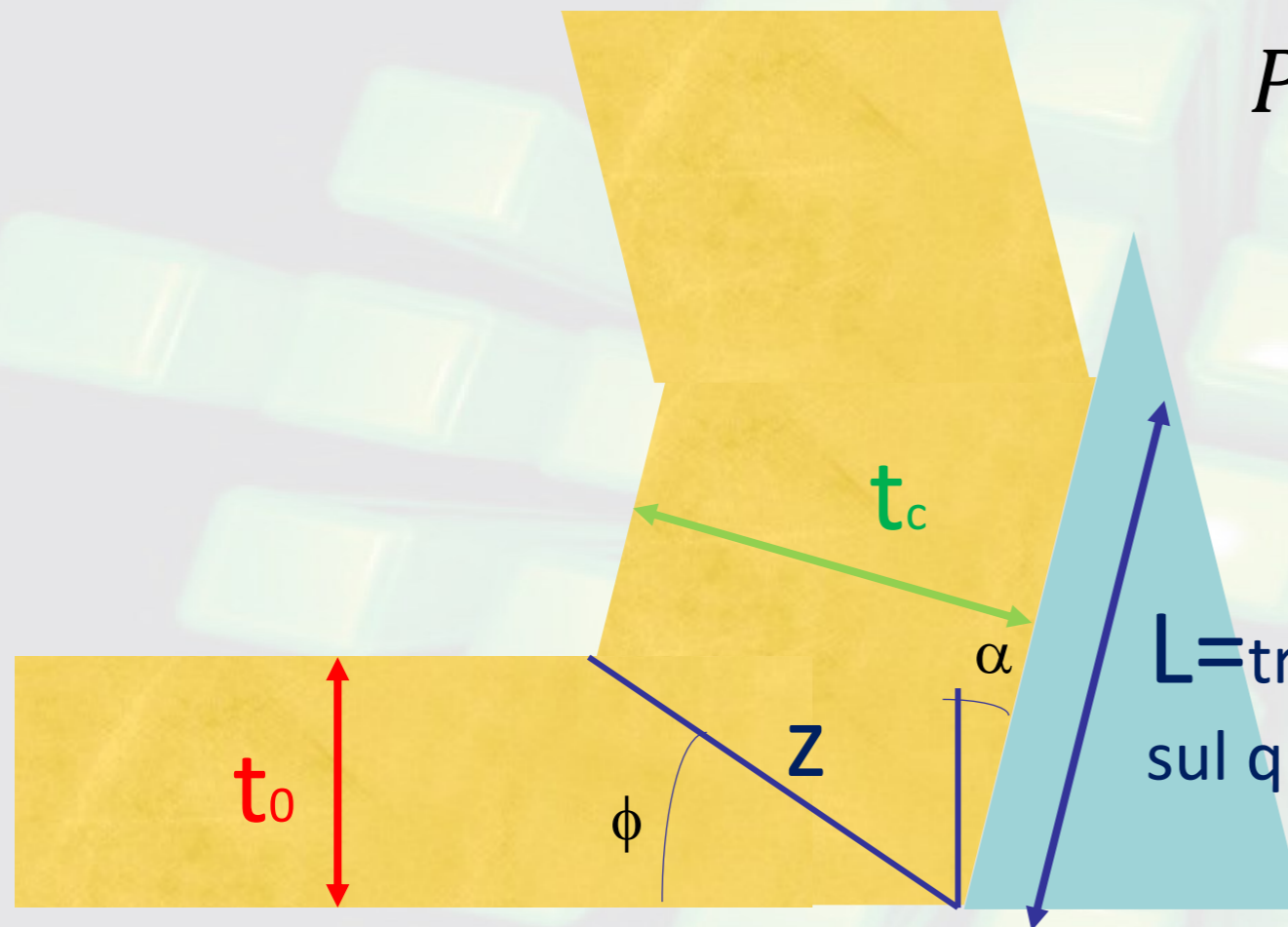


Modello più semplice per stimare le Forze

Ipotesi:

- materiale **perfettamente plastico** $\tau=k$
- **attrito massimo** tra utensile e truciolo

$$P = \text{potenza} = F_z \cdot v_s + F_c \cdot v_c \\ = \tau z b \cdot v_s + \tau L b \cdot v_c$$



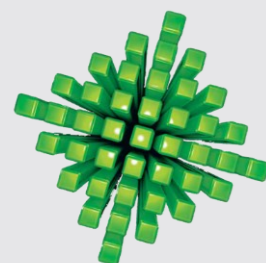
L = tratto del petto dell'utensile sul quale il truciolo è a contatto

$$\frac{P}{k \cdot v \cdot t_0 \cdot b} = \frac{z v_s}{t_0 v} + \frac{L v_c}{t_0 v} = \frac{z}{z \cdot \sin \phi} \frac{v_s \sin \phi}{v_n} + \frac{n}{\lambda} = \frac{v_s}{v_n} + \frac{n}{\lambda} \quad \text{Dove } n = \frac{L}{t_0} \text{ e } \lambda = \frac{t_c}{t_0}$$

Ricordando che

$$v \cdot \sin \phi = v_n$$

$$t_0 = z \cdot \sin \phi$$



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Poiché la deformazione a taglio (shear strain) γ è data da

$$\gamma = \frac{AB}{OC} = \frac{v_s \cdot \Delta t}{v_n \cdot \Delta t} = \frac{v_s}{v_n} = \frac{\lambda}{\cos \alpha} + \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - 2 \tan \alpha$$

ed analogamente la portata volumetrica è costante, cioè

$$v_c \cdot t_c = v_0 \cdot t_0 \quad v_c = v_0 \frac{t_0}{t_c} = v_0 \lambda \quad \frac{v_c}{v_0} = \frac{t_0}{t_c} = \frac{1}{\lambda}$$

Modello più semplice per stimare le Forze

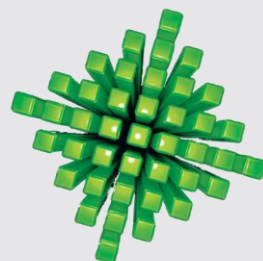
$$\frac{P}{k \cdot v \cdot t_0 \cdot b} = \frac{v_s}{v_n} + \frac{n}{\lambda} = \frac{\lambda}{\cos \alpha} + \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - 2 \tan \alpha + \frac{n}{\lambda}$$

Ed imponendo $\frac{dP}{d\lambda} = 0 = \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{1}{\cos \alpha} \frac{1}{\lambda^2} - \frac{n}{\lambda^2}$ cioè la **condizione di minimo sforzo**

$$\lambda^2 - 1 - n \cos \alpha = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \sqrt{1 + n \cos \alpha}$$

λ assieme allo spessore del truciolo t_c cregono

- al *decretere di α* ,
- all'*umentare di L* .



$$\text{Forza di taglio specifica} = \frac{\text{forza di taglio}}{\text{sezione} \cdot 2k} =$$

$$= \frac{F_c}{bt_0 \cdot 2k} = \frac{F_c \cdot v}{bt_0 v \cdot 2k} = \frac{P}{2kbt_0 v} = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\cos \alpha} + \frac{1}{\lambda \cos \alpha} - 2 \tan \alpha + \frac{n}{\lambda} \right) =$$

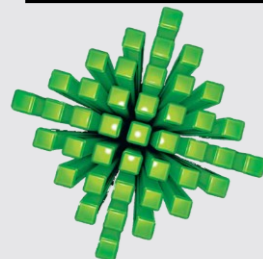
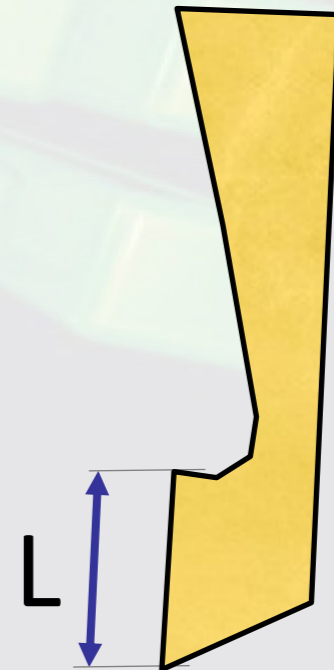
$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\cos \alpha} \left(\frac{1}{\lambda} + \lambda \right) + \frac{n}{\lambda} - 2 \tan \alpha \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\cos \alpha} \left(\frac{1 + \lambda^2}{\lambda} \right) + \frac{n}{\lambda} - 2 \tan \alpha \right] =$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\cos \alpha \cdot \lambda} (1 + n \cdot \cos \alpha + 1 + n \cos \alpha) - 2 \tan \alpha \right] =$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{2}{\lambda \cdot \cos \alpha} (1 + n \cdot \cos \alpha) - 2 \tan \alpha \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{2}{\lambda \cdot \cos \alpha} \lambda^2 - 2 \tan \alpha \right] =$$

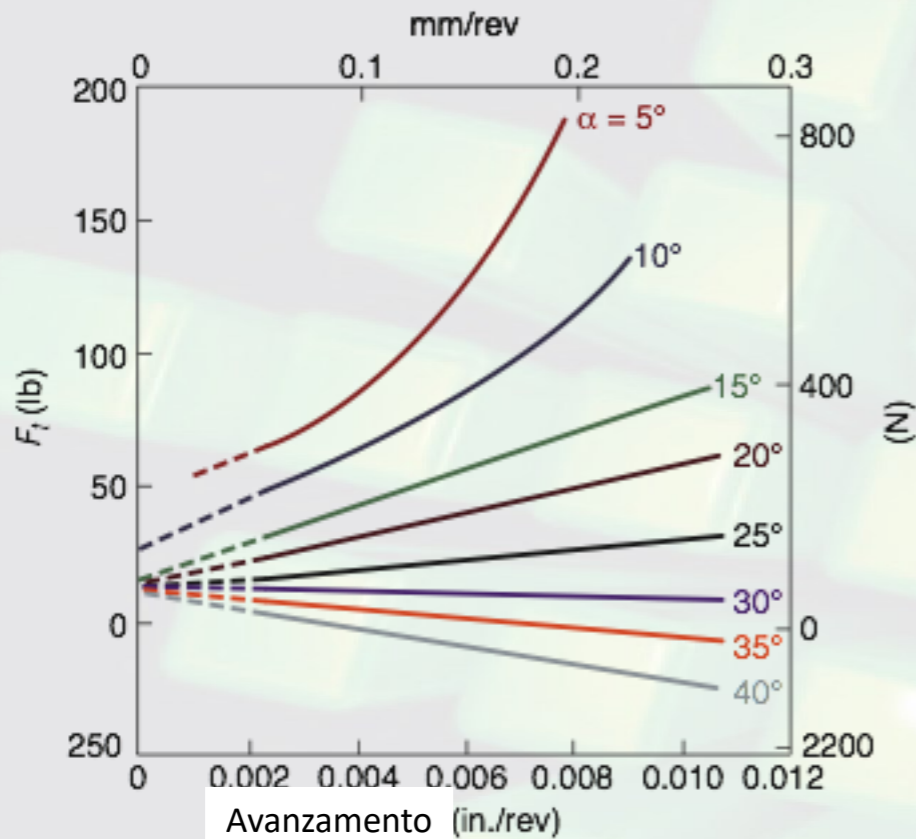
$$= \frac{\lambda}{\cos \alpha} - \tan \alpha = \frac{F_c \cdot v}{b \cdot t_0 \cdot v \cdot 2 \cdot k}$$

In questo caso λ , n ed α sono **facilmente misurabili** soprattutto se uso **utensili a petto ristretto**, mentre nel modello di Merchant sono difficili da determinare ϕ e β



Dati sull'asportazione di truciolo

Dati sul taglio ortogonale dell'acciaio 4130.



α	ϕ	γ	μ	β	F_c (lb)	F_t (lb)	u_t (in.-lb/in ³ $\times 10^3$)	u_s	u_f	u_f/u_t (%)
25°	20.9°	2.55	1.46	56	380	224	320	209	111	35
35	31.6	1.56	1.53	57	254	102	214	112	102	48
40	35.7	1.32	1.54	57	232	71	195	94	101	52
45	41.9	1.06	1.83	62	232	68	195	75	120	62

$t_o = 0.0025$ in.; $w = 0.475$ in.; $V = 90$ ft/min;

Utensile : acciaio super rapido HSS

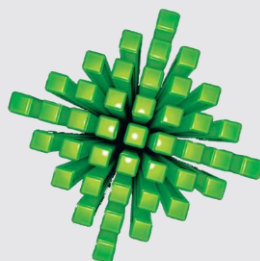
Dati sul taglio ortogonale dell'acciaio 9445.

α	V	ϕ	γ	μ	β	F_c	F_t	u_t	u_s	u_f	u_f/u_t (%)
+10	197	17	3.4	1.05	46	370	273	400	292	108	27
	400	19	3.1	1.11	48	360	283	390	266	124	32
	642	21.5	2.7	0.95	44	329	217	356	249	107	30
	1186	25	2.4	0.81	39	303	168	328	225	103	31
-10	400	16.5	3.9	0.64	33	416	385	450	342	108	24
	637	19	3.5	0.58	30	384	326	415	312	103	25
	1160	22	3.1	0.51	27	356	263	385	289	96	25

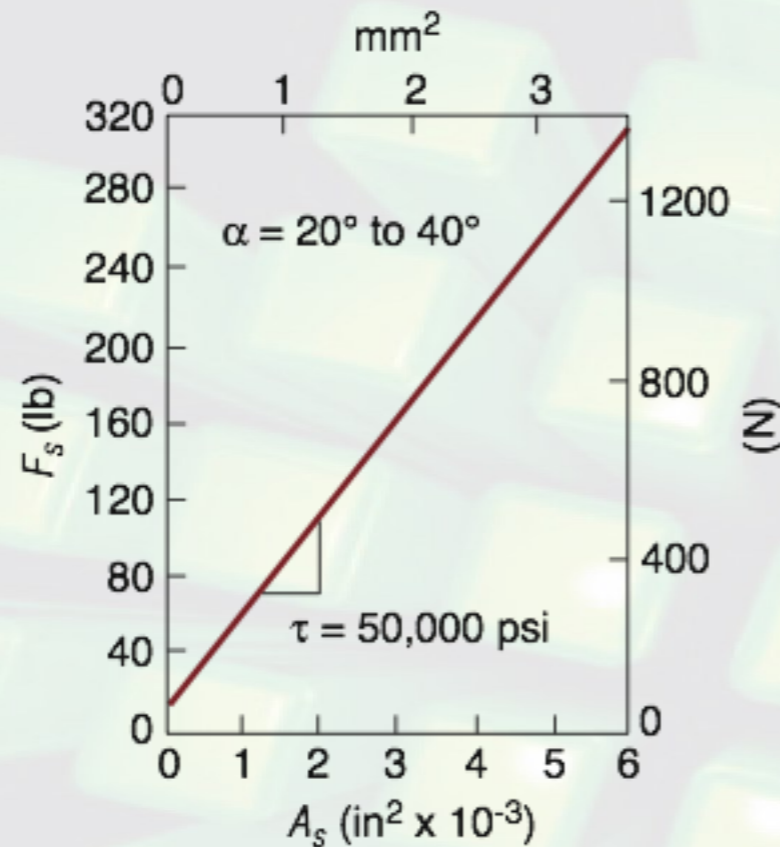
$t_o = 0.037$ in.; $w = 0.25$ in.;

Utensile : carburo cementato

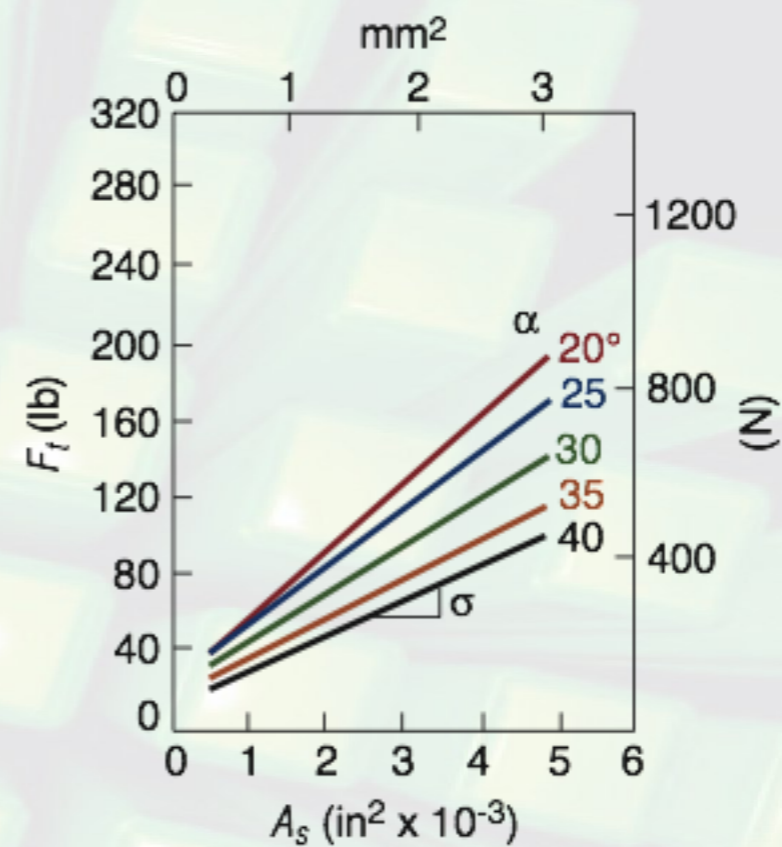
Forza di repulsione (*Thrust force*) in funzione dell'angolo di spoglia e dell'avanzamento nel taglio ortogonale dell'acciaio AISI 1112 laminato a freddo. Notare che ad angoli di spoglia elevati la forza di repulsione è negativa. Questo fatto ha implicazioni rilevanti nella progettazione degli utensili e nel controllo della stabilità del processo di taglio.



Forza Tangenziale & Forza Normale

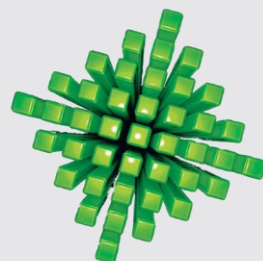


(a)

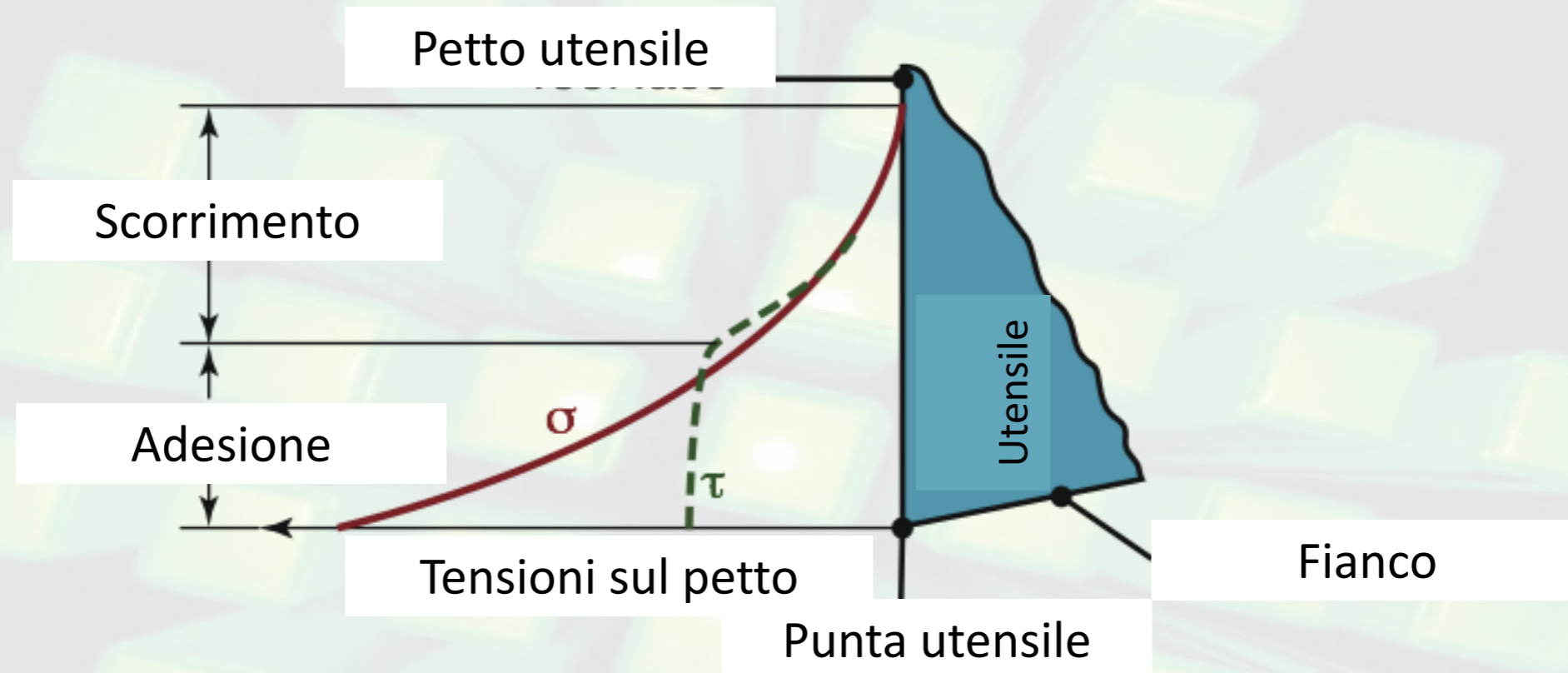


(b)

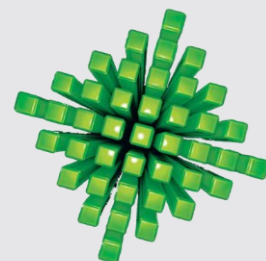
(a) **Forza Tangenziale** e (b) **Forza Normale** in funzione **dell'area nel piano di scorrimento** e **dell'angolo di spoglia** per l'ottone 85-15. Notare che la tensione tangenziale nel piano di scorrimento è costante, indipendentemente dalla tensione normale, il che mostra che la tensione normale non influenza la tensione tangenziale di flusso.



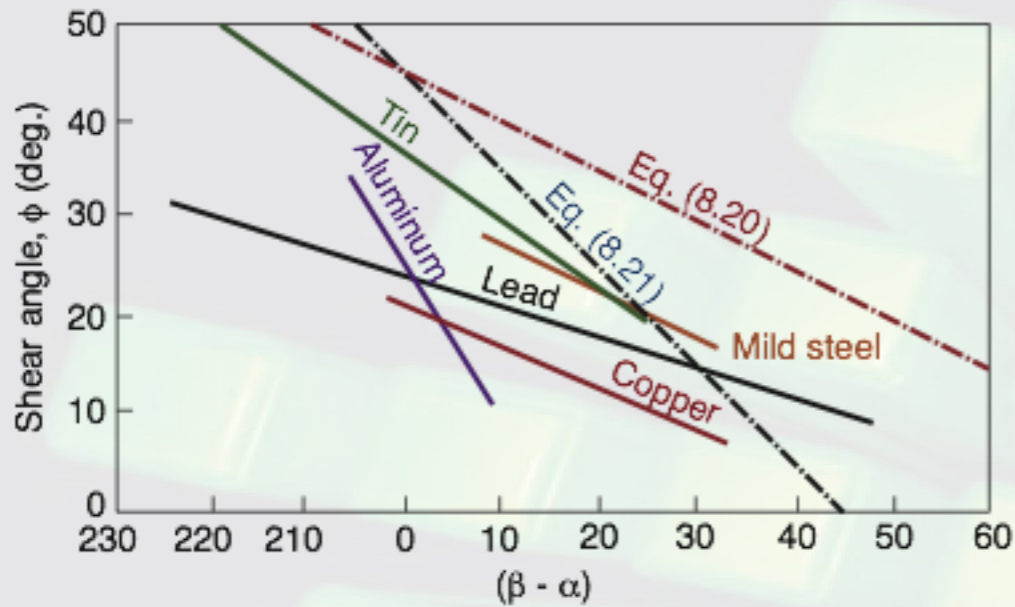
Tensioni sul petto dell'utensile



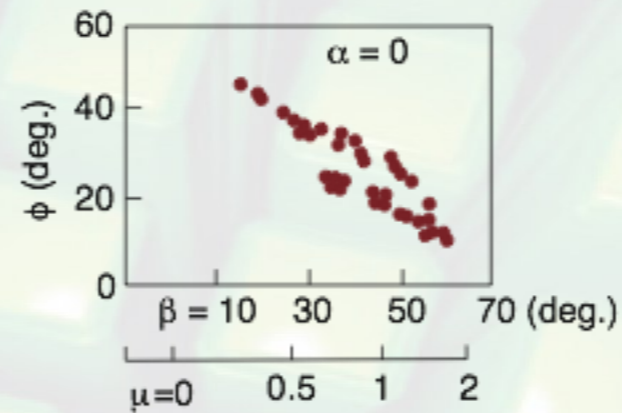
Schema della distribuzione della **tensione normale** (σ) e **tangenziale** (τ) all'interfaccia utensile-truciolo (sul petto dell'utensile). Notare che mentre la tensione normale cresce continuamente verso la punta dell'utensile, quella tangenziale raggiunge un massimo e poi rimane costante.



Determinazione dell'angolo di scorrimento



(a)



(b)

- (a) Confronto tra dati sperimentali e previsioni teoriche dell'angolo di scorrimento.
- (b) Relazione tra angolo di scorrimento angolo teorico d'attrito per varie leghe e velocità di taglio.

Merchant [Eq. (8.20)] –
metodo massima tensione tangenziale

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

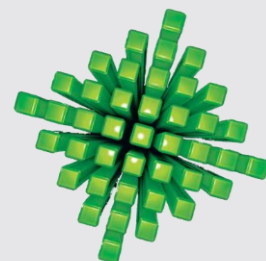
Shaffer [Eq. (8.21)] – metodo Slip-line

$$\phi = 45^\circ + \alpha - \beta$$

Mizuno [Eqs. (8.22)-(8.23)]

$$\phi = \alpha \quad \text{for } \alpha > 15^\circ$$

$$\phi = 15^\circ \quad \text{for } \alpha < 15^\circ$$



Energia specifica = energia totale per unità di volume = potenza totale / portata volumetrica

$$u_T = \frac{P}{b \cdot t_0 \cdot v} = \frac{F_c \cdot v}{b \cdot t_0 \cdot v} = \frac{F_c \cdot v}{b \cdot t_0 \cdot v}$$

Totale

$$u_f = \frac{F_f \cdot v_c}{b \cdot t_0 \cdot v}$$

Attrito

$$u_s = \frac{F_s \cdot v_s}{b \cdot t_0 \cdot v}$$

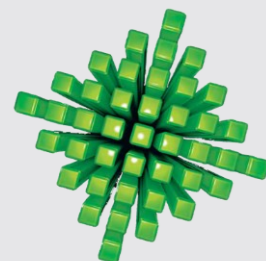
Scorrimento



$$u_T = u_f + u_s$$

Materiale	Energia specifica *	
	W-s/mm ³	hp-min/in ³
Leghe di alluminio	0.4-1.1	0.15-0.4
Ghise	1.6-5.5	0.6-2.0
Leghe di rame	1.4-3.3	0.5-1.2
Leghe per alte temperature	3.3-8.5	1.2-3.1
Leghe del magnesio	4.9-6.8	1.8-2.5
Leghe refrattarie	3.8-9.6	1.1-3.5
Acciai inossidabili	3.0-5.2	1.1-1.9
Acciai	2.7-9.3	1.0-3.4
Leghe del titanio	3.0-4.1	1.1-1.5

*All'albero motore, corretto con un'efficienza del 80%; moltiplicare l'energia per 1.25 nel caso di utensili usurati.



Usura dell'utensile

Equazione di Taylor per la vita dell'utensile:

$$v \cdot T^n = C$$

- v è la velocità di taglio (m/min)
- T è la durata del tagliente tra due affilature (min)
- n è il coefficiente di durata del tagliente

C è la velocità di taglio che comporta una durata del tagliente pari ad 1 minuto

Sperimentalmente servono 5 velocità diverse ciascuna con almeno 3 repliche.

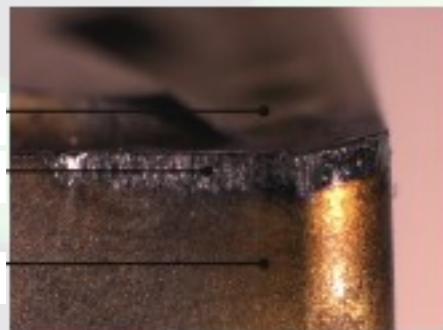
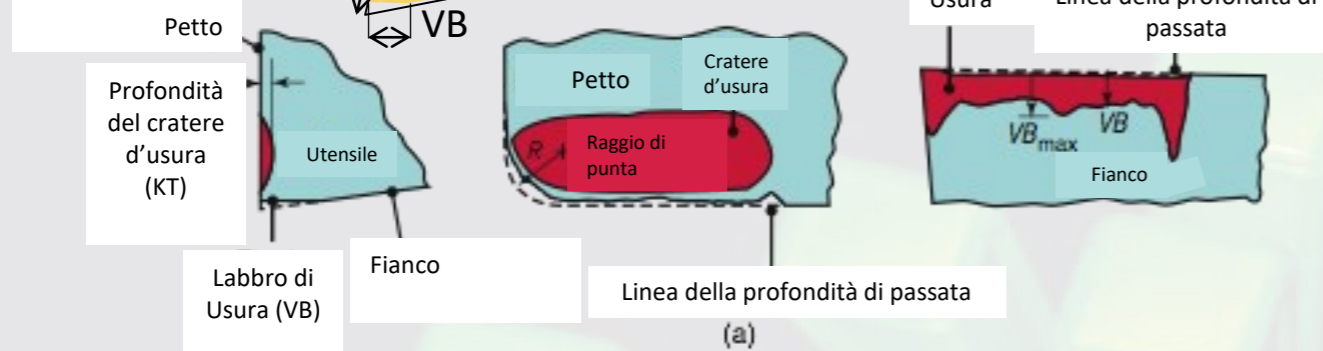
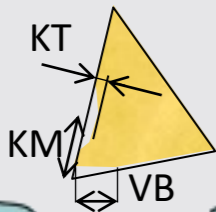
$$v \cdot T^n \cdot d^x \cdot f^y = C$$

- v è la velocità di taglio (m/min)
- T è la durata del tagliente tra due affilature (min)
- d è la profondità di passata (mm)
- f è la velocità di avanzamento (mm/giro)
- x è la sensibilità alla profondità di passata
- y è la sensibilità alla velocità di avanzamento
- n è il coefficiente di durata del tagliente

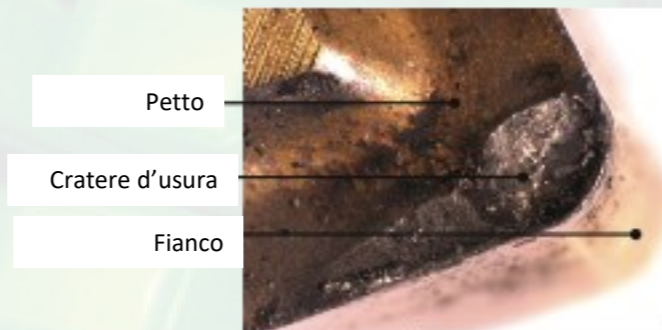
Valori di n per diversi materiali per utensili da asportazione di truciolo.

Acciai rapidi (HSS)	0.08-0.2
Leghe fuse	0.1-0.15
Carburi	0.2-0.5
Ceramici	0.5-0.7

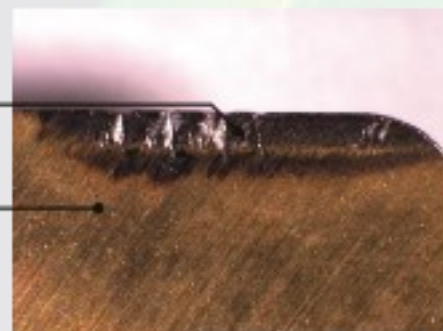
Distanza del centro del cratere d'usura dallo spigolo del tagliente (KM)



(b)



(c)



(d)



(e)

Esempi di usura negli utensili da asportazione di truciolo.

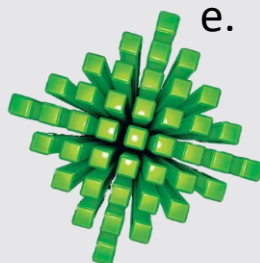
- Caratteristiche dell'usura dell'utensile
- Labbro di usura;
- Cratere di usura;
- Microfessurazione termica;
- Usura del labbro e tagliente di riporto.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

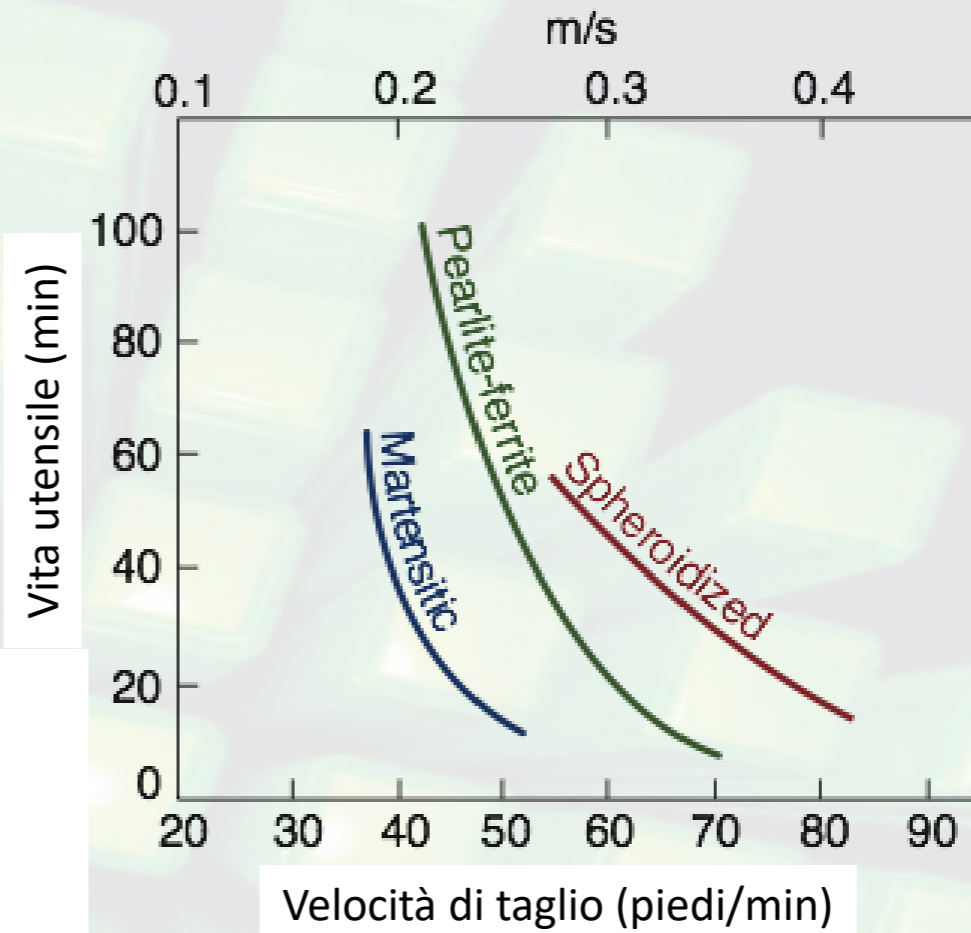
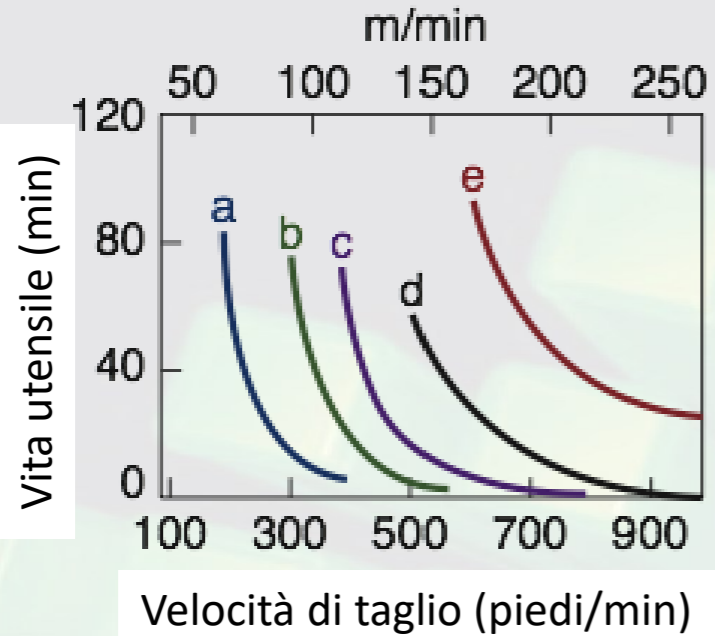
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7



Effetto del pezzo sulla vita dell'utensile



	Durezza		
	(HB)	Ferite	Perlite
a. Come colato	265	20%	80%
b. Come colato	215	40%	60%
c. Come colato	207	60%	40%
d. Ricotto	183	97%	3%
e. Ricotto	170	100%	0%

(a)

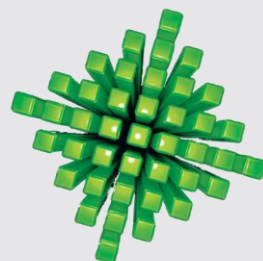
(b)

Effetto della microstruttura del pezzo sulla vita dell'utensile nel processo di tornitura. La vita dell'utensile è data come tempo richiesto (in minuti) per raggiungere una ben definita usura del fianco

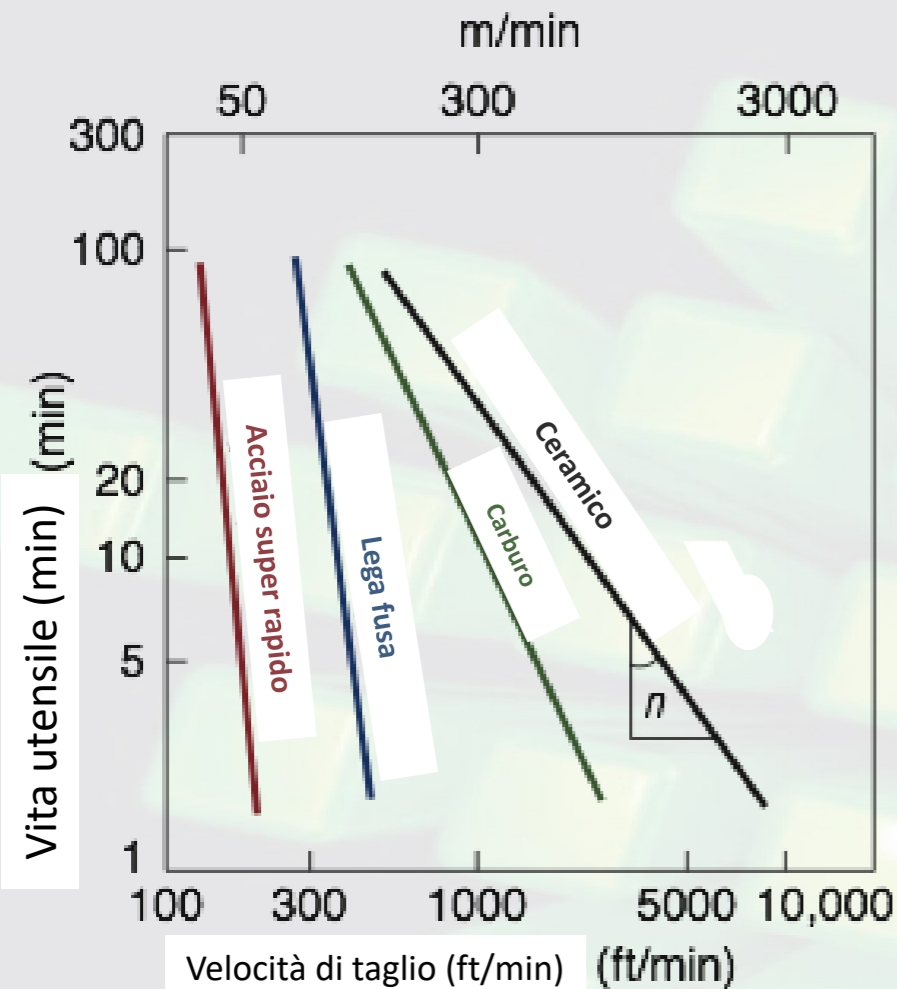
(a) Ghisa duttile colata;

(b) Acciai con medesima durezza, ma diversa struttura.

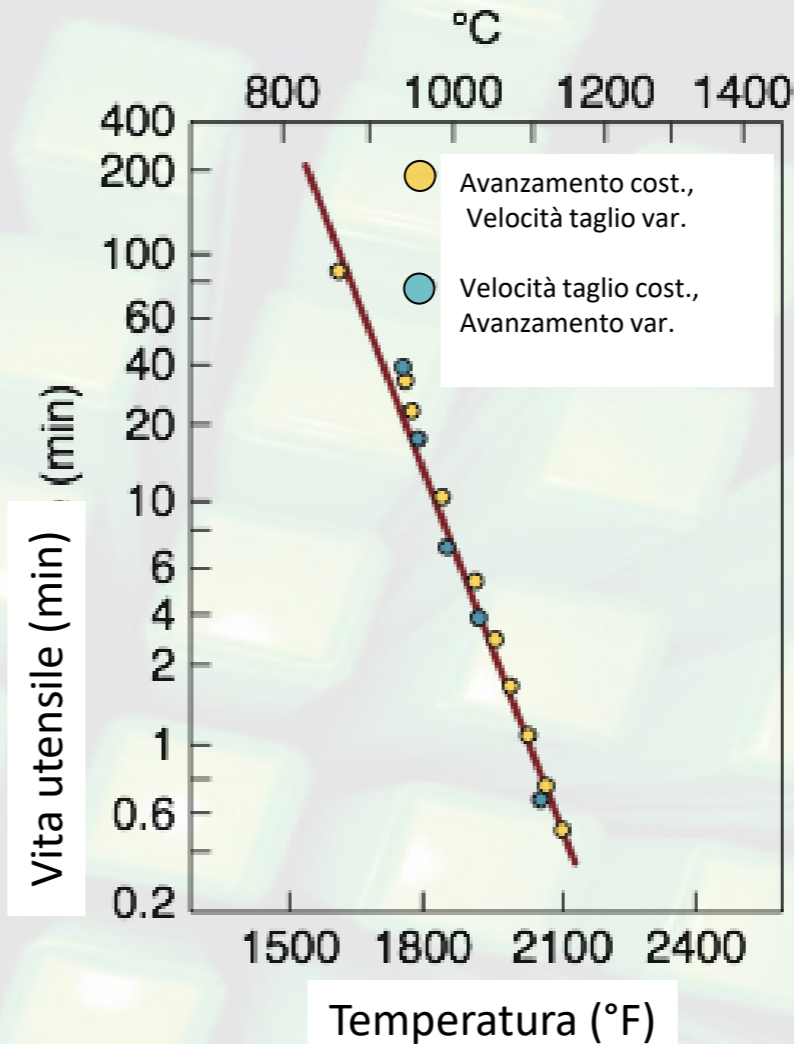
Notare comunque la rapida decrescita della vita all'aumento della velocità di taglio.



Curve vita – velocità utensile o temperatura



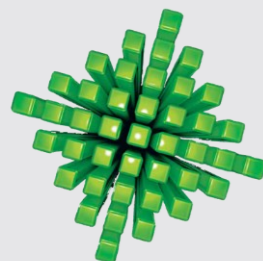
(a)



Materiale lavorato: lega resistente al calore
Materiale utensile: carburo di tungsteno
Criterio fine vita: 0.6 mm di usura del fianco

(b)

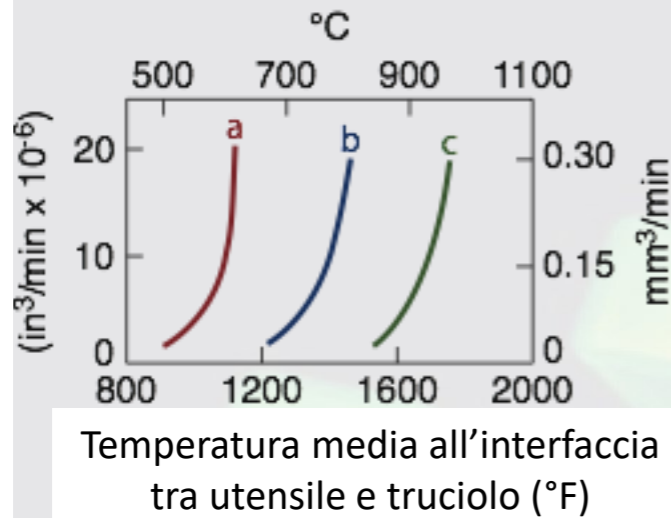
- Curve della vita di diversi materiali per utensili. Notare che la pendenza indicata nella figura fornisce l'esponente n della legge di Taylor
- Relazione tra la temperatura rilevata durante il taglio e la vita dell'utensile (usura del fianco). Notare che elevate temperature durante il taglio riducono notevolmente la vita dell'utensile.



- Servono almeno 2 prove a velocità differenti
- Meglio 5 prove con molteplicità 3 per valutare la dispersione

Usura utensile

Velocità di crescita del cratere di usura



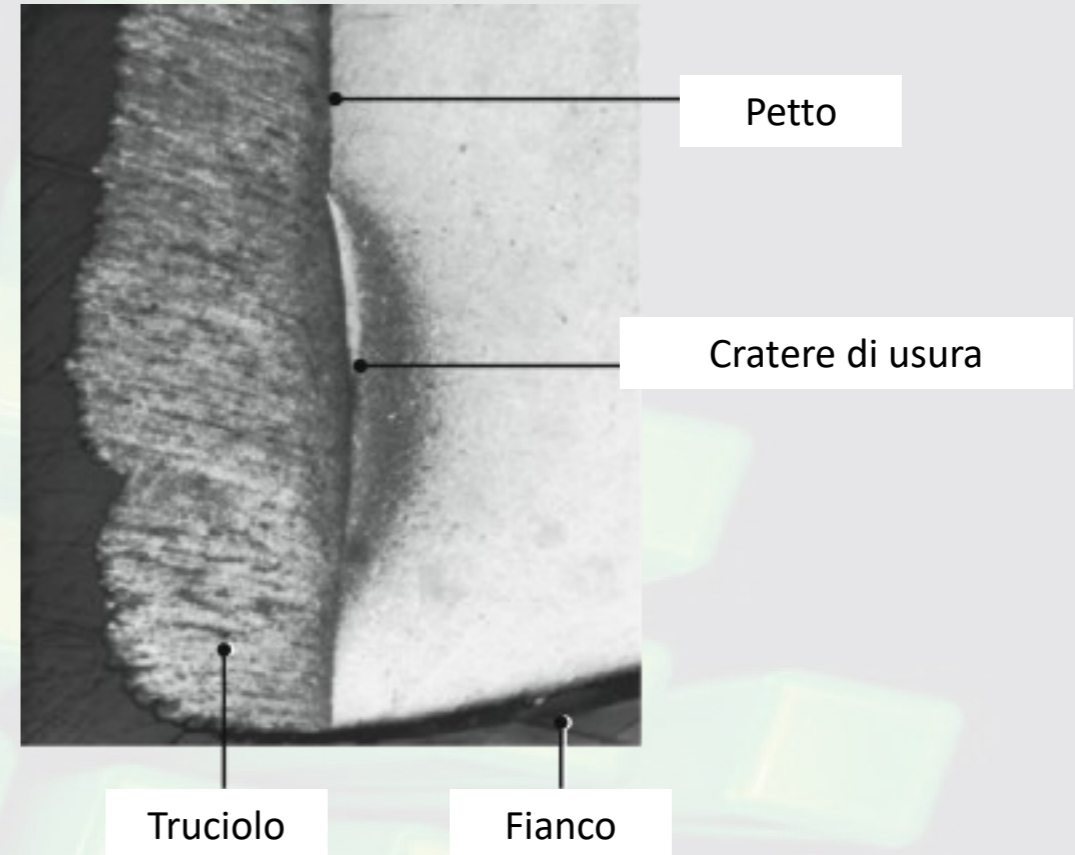
Relazione tra velocità del cratere di usura e la temperatura media all'interfaccia tra utensile e truciolo nella tornitura usando un utensile in:

- (a) Acciaio super rapido (HSS);
- (b) Carburo C1;
- (c) Carburo C5.

Notare il rapido aumento rapido del cratere di usura all'interno di uno stretto campo di temperature.

Valori limite per l'ampiezza media del labbro di usura in diverse operazioni di asportazione di truciolo.

Operazione	Ampiezza limite del labbro di usura (mm)	
	Acciai rapidi	Carburi metallici
Tornitura	1.5	0.4
Fresatura frontale	1.5	0.4
Fresatura a codolo	0.3	0.3
Foratura	0.4	0.4
Alesatura	0.15	0.15



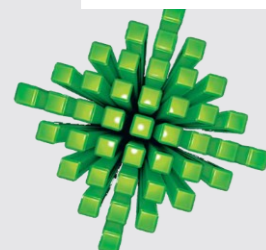
Interfaccia tra truciolo (sinistra) e petto dell'utensile (destra) con presenza del cratere di usura nel taglio di un acciaio AISI 1004 a 3 m/s (585 ft./min). Lo scolorimento dell'utensile mostra la presenza di elevate temperature. Notare che il profilo del cratere di usura coincide con lo scolorimento.

$$\text{Durata del tagliente} = T = C \cdot \frac{1}{n} \cdot v^{\frac{-1}{n}} \cdot d^{\frac{-x}{n}} \cdot f^{\frac{-y}{n}}$$

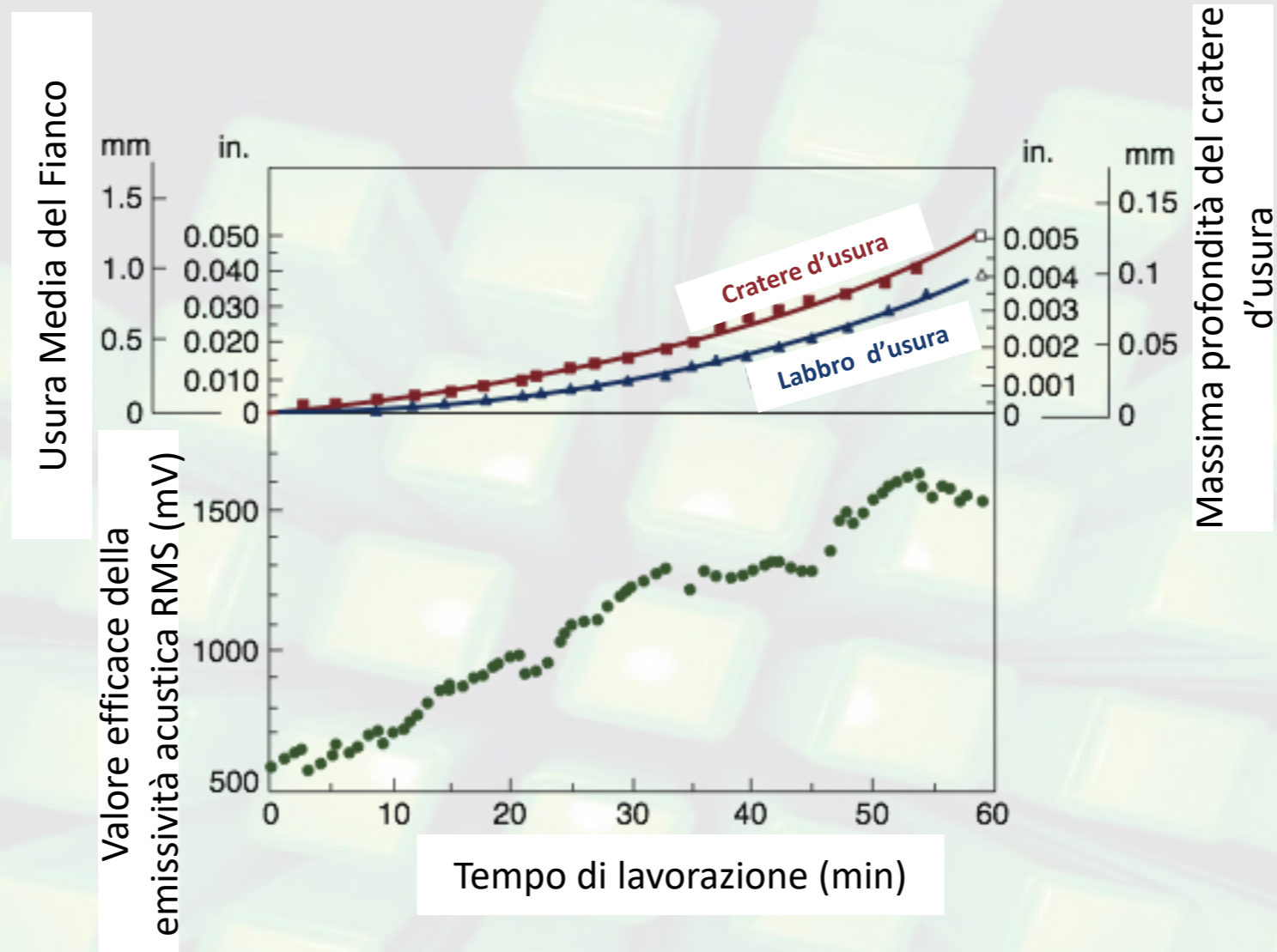
dove

- C costante
- v velocità di taglio
- d profondità di passata
- f avanzamento

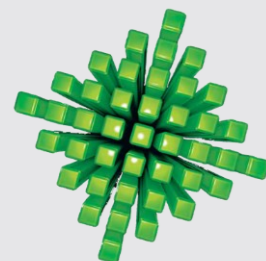
Servono molte prove per determinare C,n,x,y vedere testo Santochi-Giusti pp, 468-472



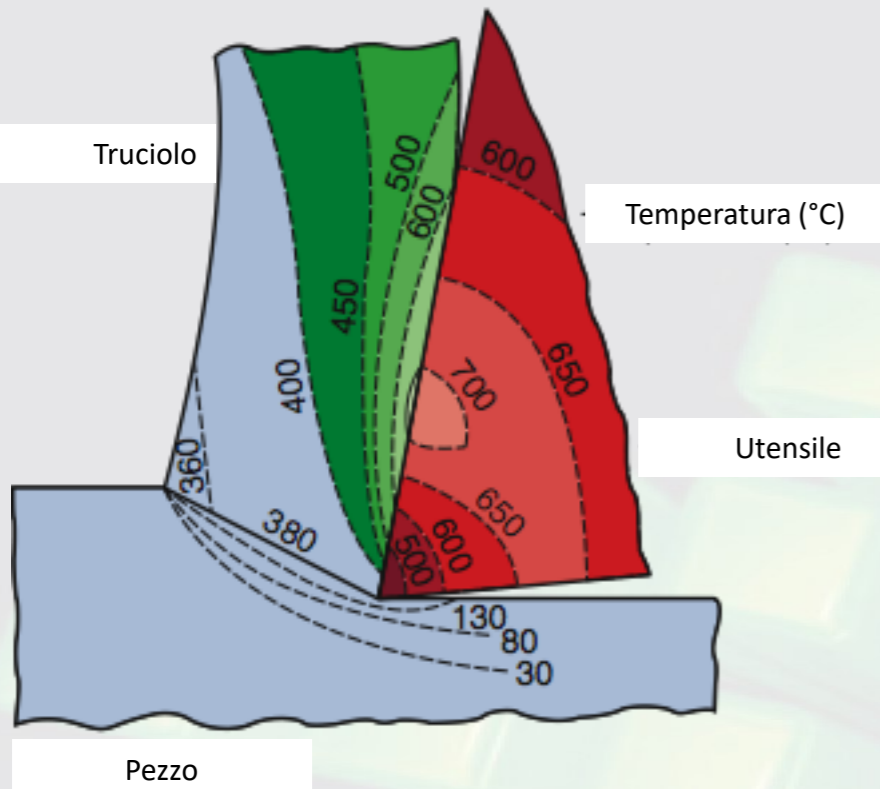
Emissione Acustica correlata all'Usura



Relazione tra **usura media del fianco**, massimo **cratere di usura** e **l'emissione acustica** (rumore generato durante il taglio espresso come valore efficace del segnale (RMS)) rilevate durante il tempo di lavorazione.



Temperature nel Taglio

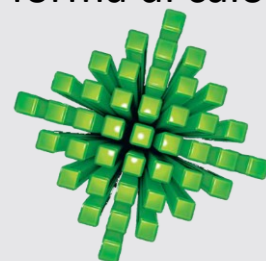


Tipica distribuzione della temperature nella zona di taglio. Notare I severi gradiente della temperature all'interno del truciolo e dell'utensile mentre il pezzo rimane relativamente freddo.

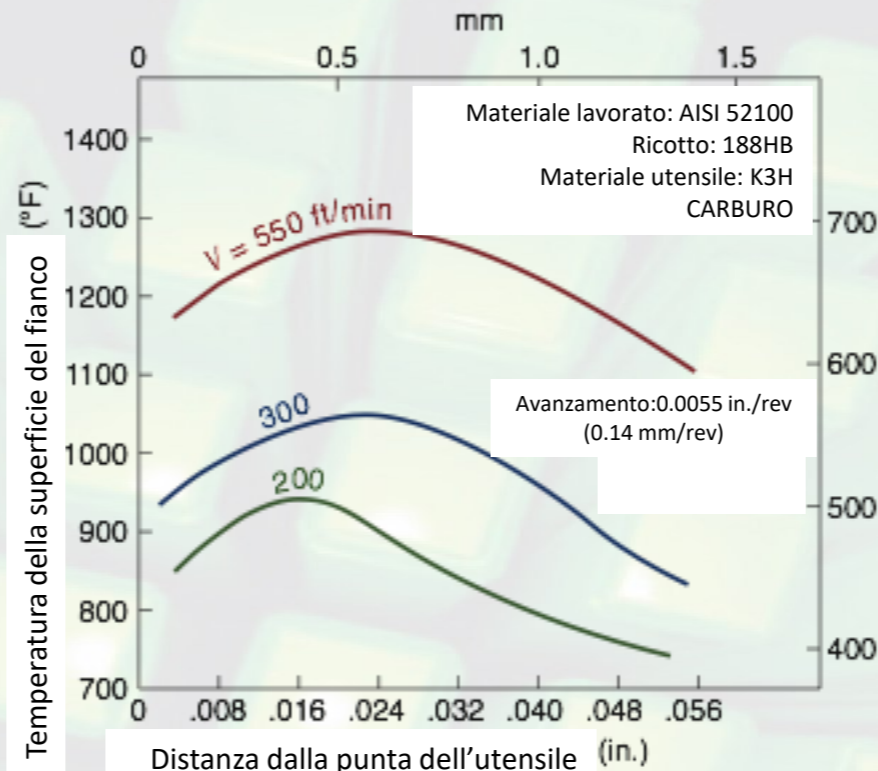
$$T = \frac{1.2Y_f}{\rho c} \sqrt[3]{\frac{Vt_0}{K}}$$

- T=Temperatura media
- K=diffusività termica
- V=velocità taglio
- ρc =calore specifico volumetrico

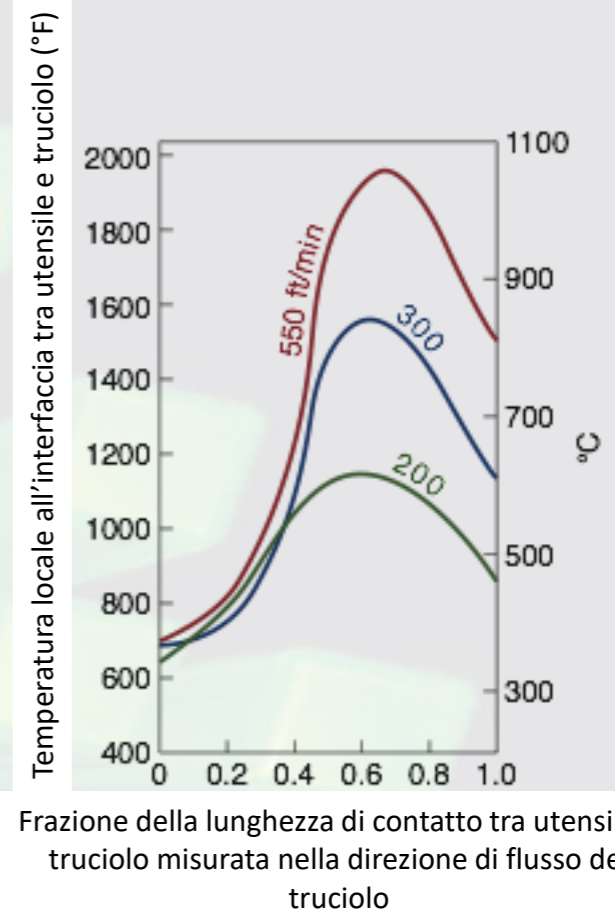
Percentuale d'energia trasferita all'utensile, al pezzo e al truciolo in funzione della velocità di taglio. Gran parte dell'energia è portata via dal truciolo (sotto forma di calore) , all'aumentare della velocità di taglio,



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.
Kalpakjian • Schmid
© 2008, Pearson Education
ISBN No. 0-13-227271-7



(a)

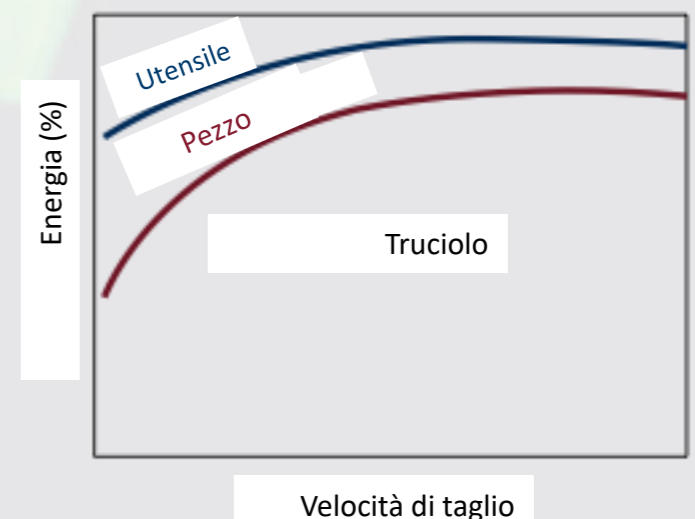


(b)

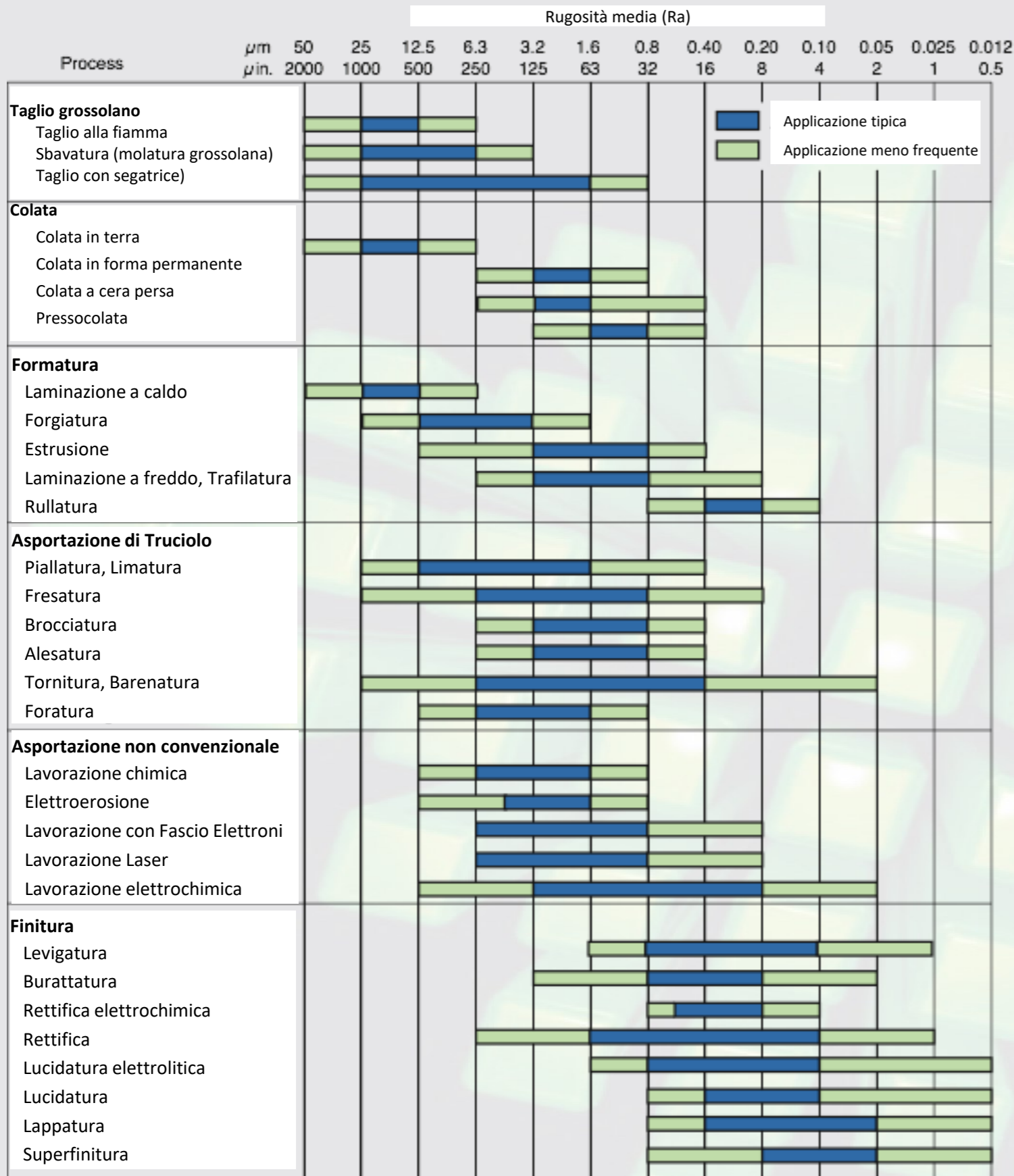
Distribuzione della temperature nella tornitura in funzione della velocità di taglio:

- (a) temperatura del fianco;
(b) temperature all'interfaccia tra utensile e truciolo.

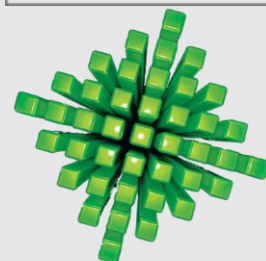
Notare che la temperature sul petto è maggiore di quella sul fianco.



Finitura Superficiale



Valori di Rugosità Media (Ra) ottenibili con vari processi di lavorazione. Notare l'ampio campo coperto dalla tornitura e barenatura.




Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

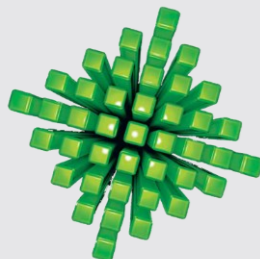
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

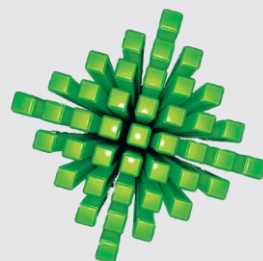
Materiali per Utensili

- **Acciai rapidi (High Speed Steel = HSS)**
 - Al Molibdeno (10%)
 - Al Tungsteno (12-18%)
- **Leghe fuse di Cobalto (Stelliti)**
 - Buona resistenza all'usura
 - Mantengono la durezza (58-64 HRC) alle temperature elevate
- **Carburi metallici sinterizzati**
 - *W C* a matrice Cobalto
 - Per acciai, ghise e materiali abrasivi
 - *Ti C* a matrice Nichel e Molibdeno
 - Più resistenti all'usura, ma meno tenaci
 - Per acciai, ghise e materiali abrasivi, ma a velocità superiori
 - In generale presentano
 - Elevata durezza
 - Elevato modulo elastico ed elevata conducibilità termica
 - Bassa espansione termica
 - Di solito in forma di **inserti**: 
- *Non rivestiti*
- *Con rivestimento monostrato* (TiN=basso attrito, elevata durezza, resistenza alte temperature; Ti C=elevata resistenza all'usura; Al₂O₃=resistenza alte temperature, resistenza all'usura)
- *Con rivestimento multistrato* (Ti C+Al₂O₃+TiN)
- *Con rivestimento di film di diamante*

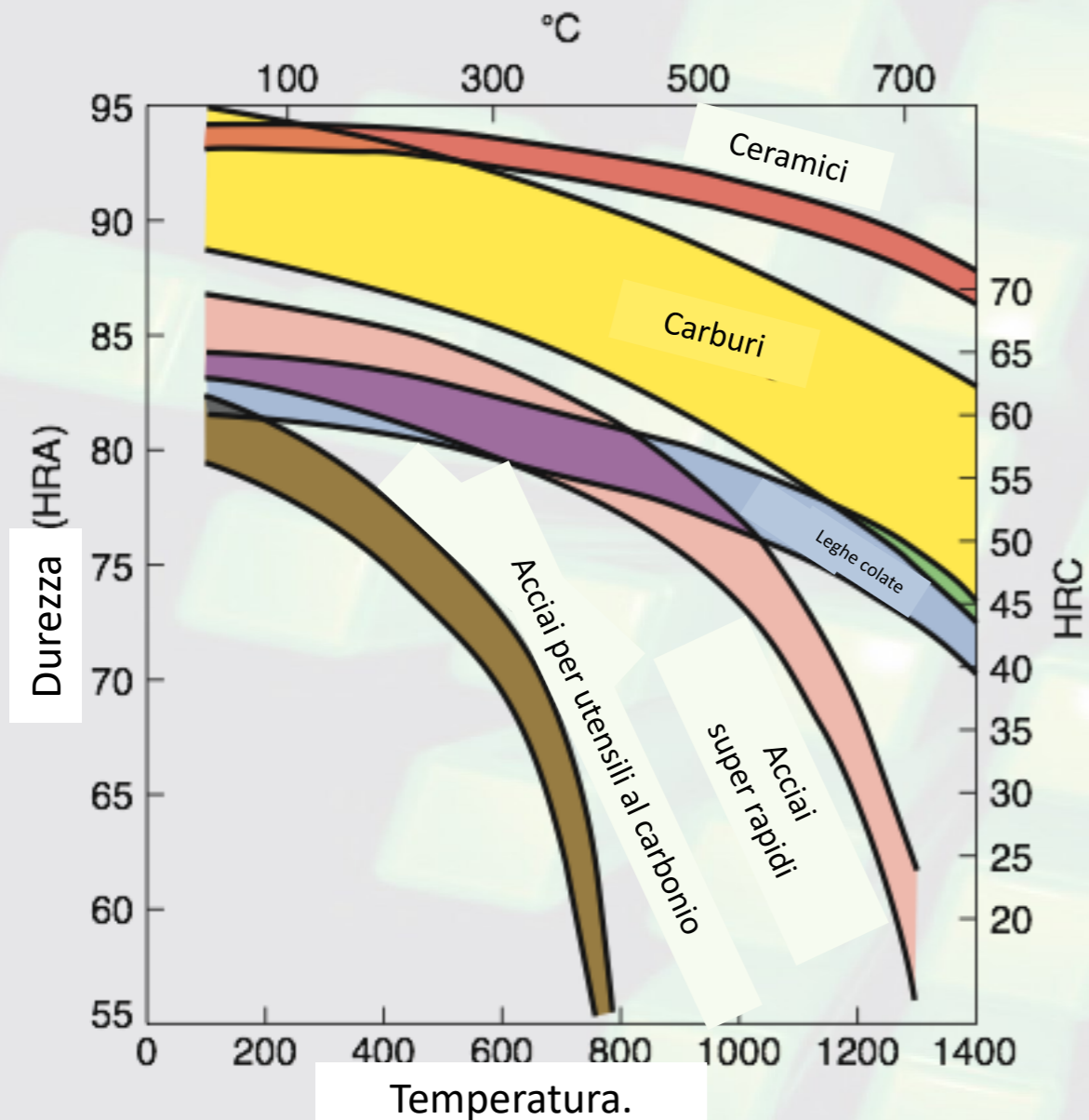


Materiali per Utensili

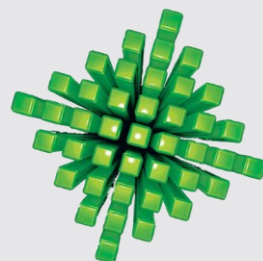
- **Ceramici metallici (CERMETS)**
 - *Ceramici* (Al_2O_3) sinterizzati con una componente metallica (Molibdeno, Cromo, Vanadio)
 - Sono fragili e molto costosi
- **Nitruro di Boro Cubico (CBN)**
 - Molto duro (secondo solo dopo il diamante)
 - Fragile
- **Diamante**



Durezza degli utensili



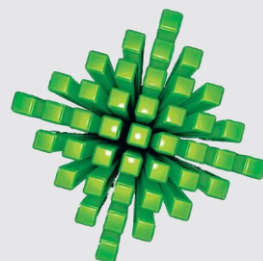
Durezza di diversi materiali per utensili in funzione della temperatura.



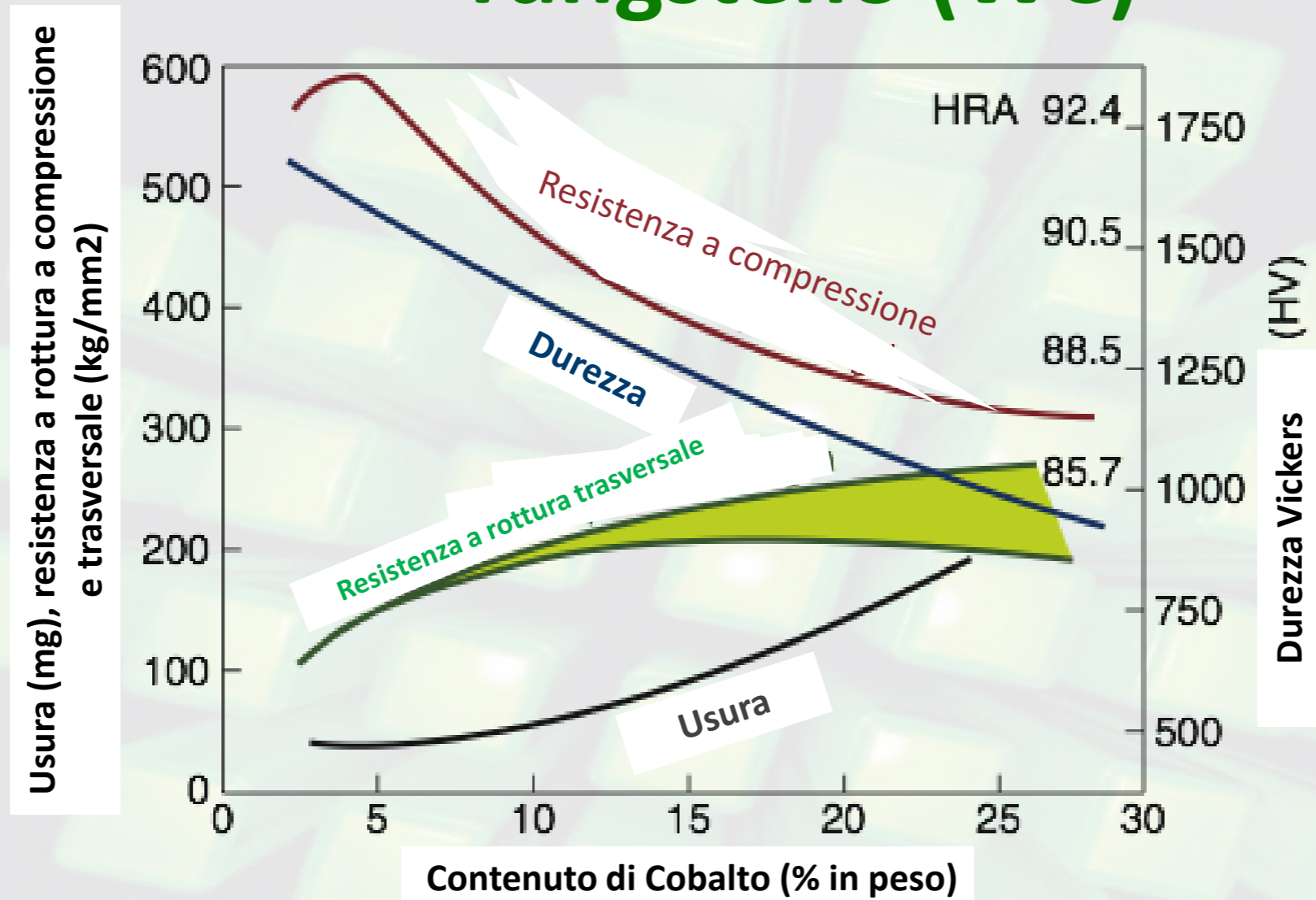
Materiali per Utensili

Property	Acciai rapidi (HSS)	Leghe fuse di cobalto (stelliti)	Carburi		Ceramici	Nitruro di boro cubico	Diamante mono cristallino*
			WC	TiC			
Hardness	83-86 HRA	82-84 HRA	90-95 HRA	91-93 HRA	91-95 HRA	4000-5000 HK	7000-8000 HK
Compressive strength							
MPa	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
psi × 10 ³	600-650	220-335	600-850	450-560	400-650	1000	1000
Transverse rupture strength							
MPa	2400-4800	1380-2050	1050-2600	1380-1900	345-950	700	1350
psi × 10 ³	350-700	200-300	150-375	200-275	50-135	105-200	
Impact strength							
J	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	< 0.1	< 0.5	< 0.2
in.-lb	12-70	3-11	3-12	7-11	< 1	< 5	< 2
Modulus of elasticity							
GPa	200	—	520-690	310-450	310-410	850	820-1050
psi × 10 ⁶	30	—	75-100	45-65	45-60	125	120-150
Density							
kg/m ³	8600	8000-8700	10,000-15,000	5500-5800	4000-4500	3500	3500
lb/in ³	0.31	0.29-0.31	0.36-0.54	0.2-0.22	0.14-0.16	0.13	0.13
Volume of hard phase (%)	7-15	10-20	70-90	—	100	95	95
Melting or decomposition temperature							
°C	1300	—	1400	1400	2000	1300	700
°F	2370	—	2550	2550	3600	2400	1300
Thermal conductivity, W/mK	30-50	—	42-125	17	29	13	500-2000
Coefficient of thermal expansion, × 10 ⁻⁶ /°C	12	—	4-6.5	7.5-9	6-8.5	4.8	1.5-4.8

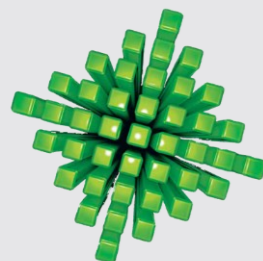
* I valori per i diamanti policristallini sono di solito più bassi, fatta eccezione per la resistenza all'impatto che in generale è maggiore



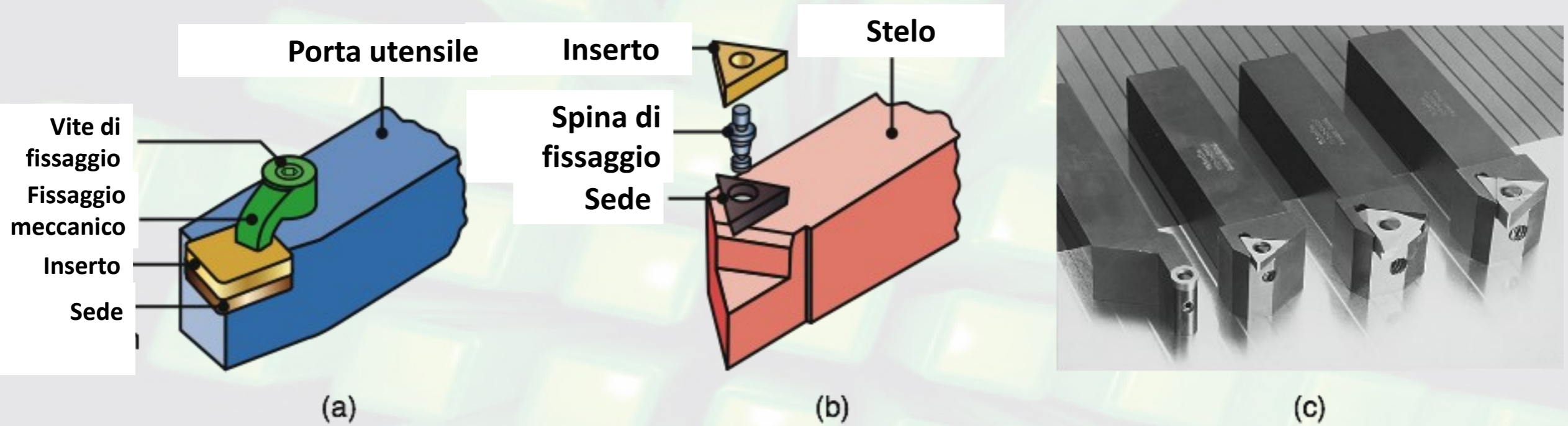
Proprietà degli Utensili al Carburo di Tungsteno (WC)



Effetto del contenuto di cobalto sulle proprietà meccaniche del carburo di tungsteno. La durezza è direttamente correlata alla resistenza a compressione ed in modo inverso all'usura.

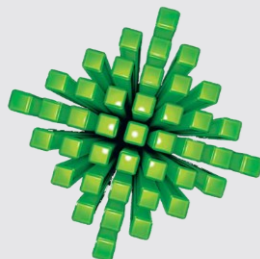


Inserti

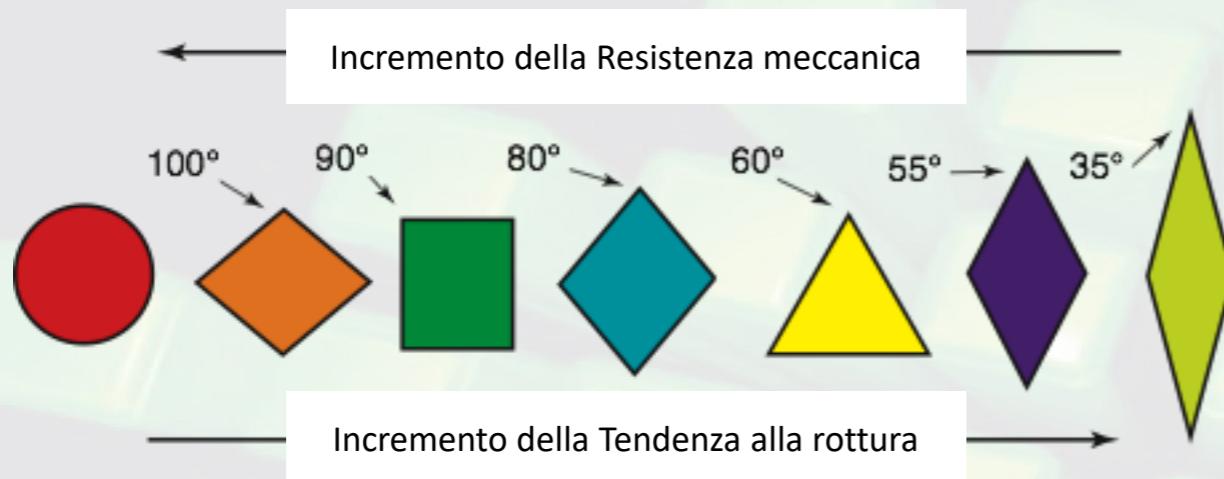


Metodi di montaggio degli inserti sul porta utensile:

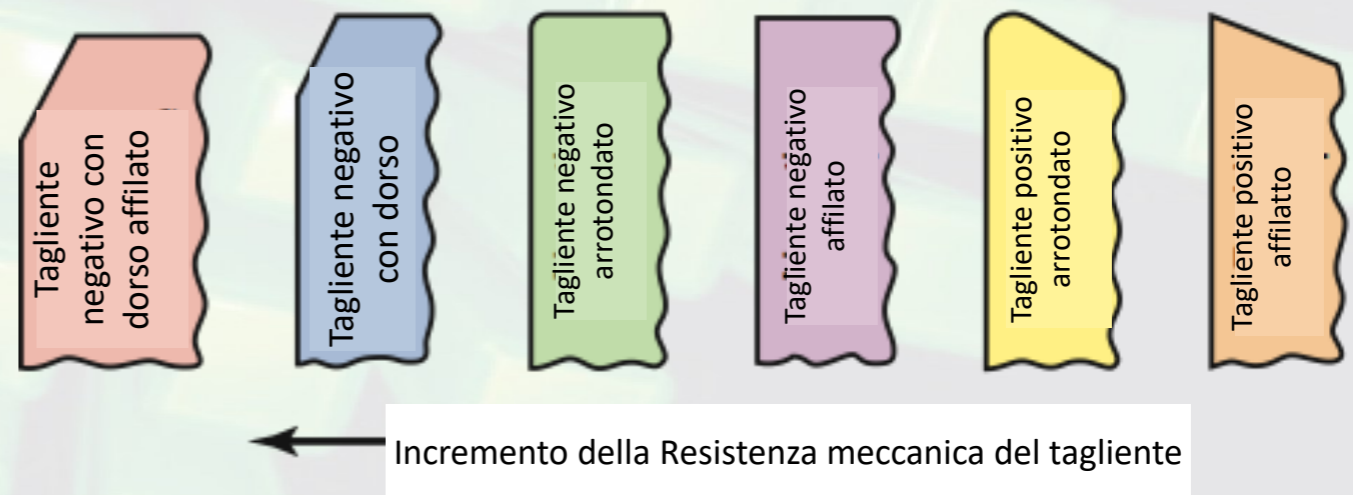
- (a) Fissaggio meccanico,
- (b) Con spina di fissaggio.
- (c) Esempi di inserti montati usando spine senza filettatura, che sono bloccati con viti laterali.



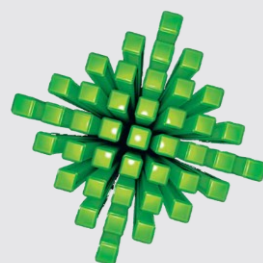
Resistenza meccanica dell'inserto



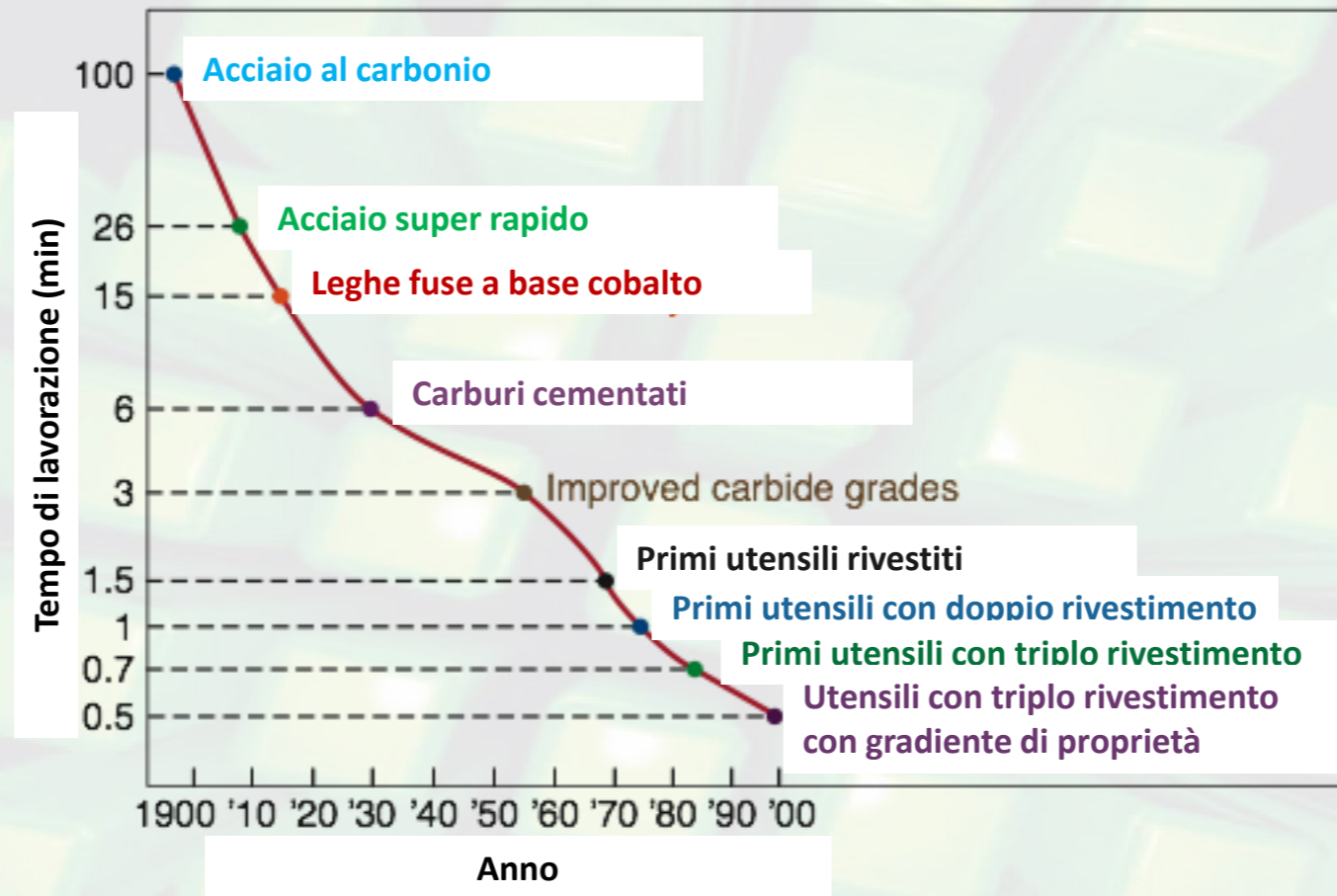
Resistenza meccanica del tagliente e Tendenza alla rottura in funzione della forma dell'inserto.



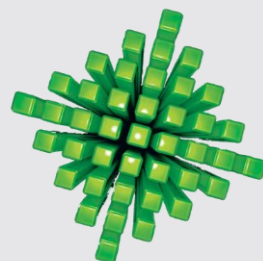
Effetti sulla resistenza meccanica del tagliente di diversi interventi operati allo scopo di aumentare la resistenza meccanica del tagliente.



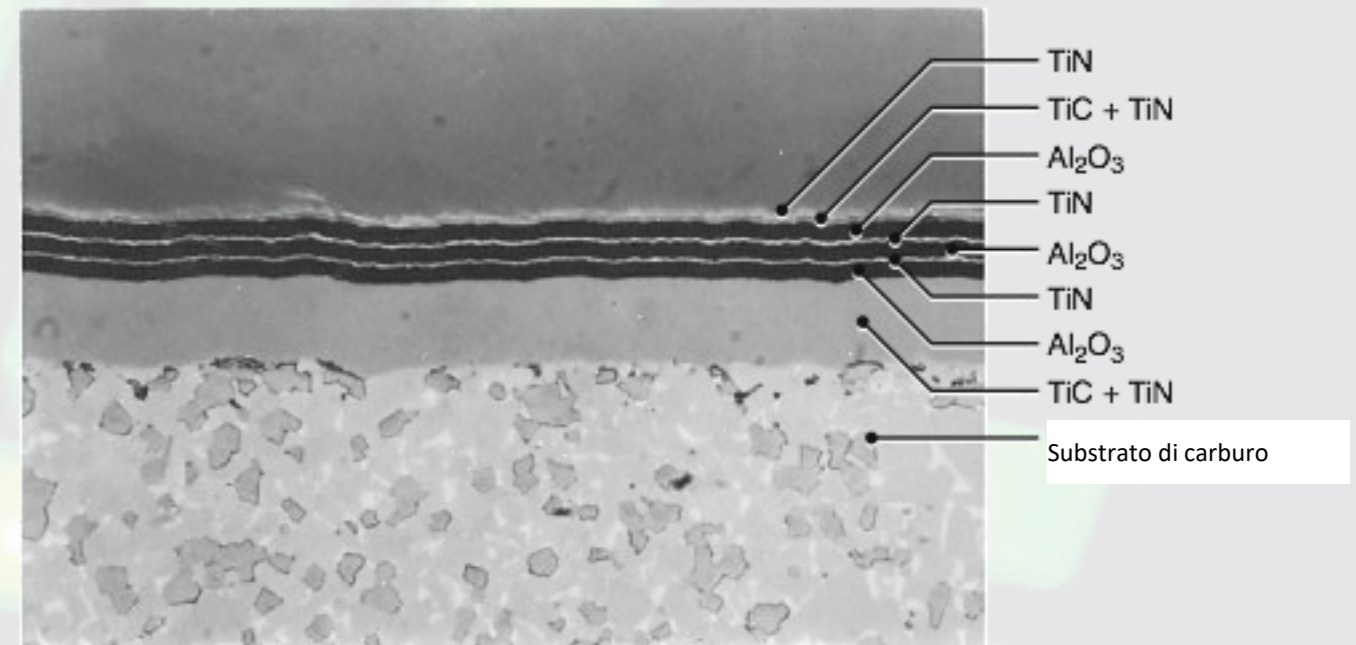
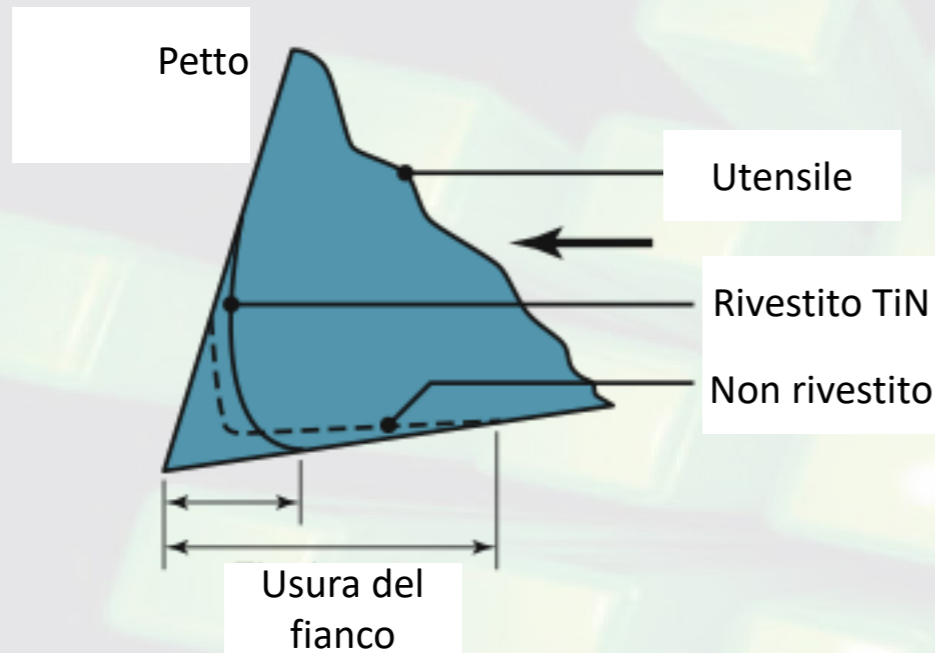
Sviluppo storico degli utensili



Tempo richiesto per effettuare l'asportazione di truciolo con gli utensili realizzati con diversi materiali; è indicato l'anno di introduzione di tali materiali.

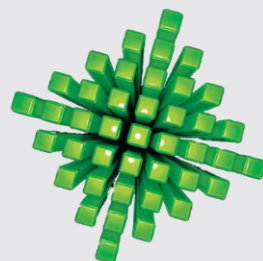


Utensili rivestiti



Profilo di usura su un utensile di acciaio super rapido (- -) e su un utensile rivestito con nitruro di titanio (—). Notare che l'usura del fianco è minore per l'utensile rivestito.

Rivestimenti multifase su un sotto strato di carburo di tungsteno. 3 strati di allumina (Al₂O₃) sono separati da strati molto sottili di nitruro di titanio (TiN). Gli strati presentano spessori nel campo che vanno da 2 a 10 µm.



Proprietà di vari materiali per utensili da taglio

