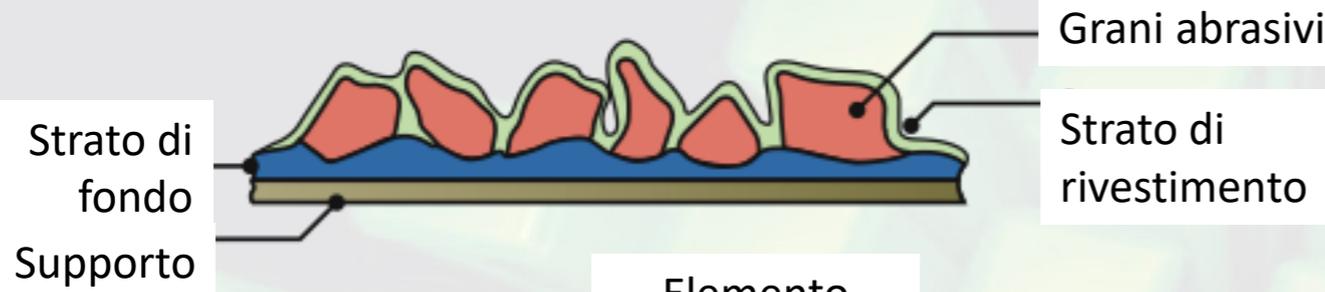


Operazioni di Finitura

Smerigliatura



Schema della struttura di un abrasivo rivestito per la **Smerigliatura**. Primi esempi sono la carta vetrata sviluppata nel XVI secolo e la tela abrasive. Oggi si usano **nastri, dischi e fogli**.

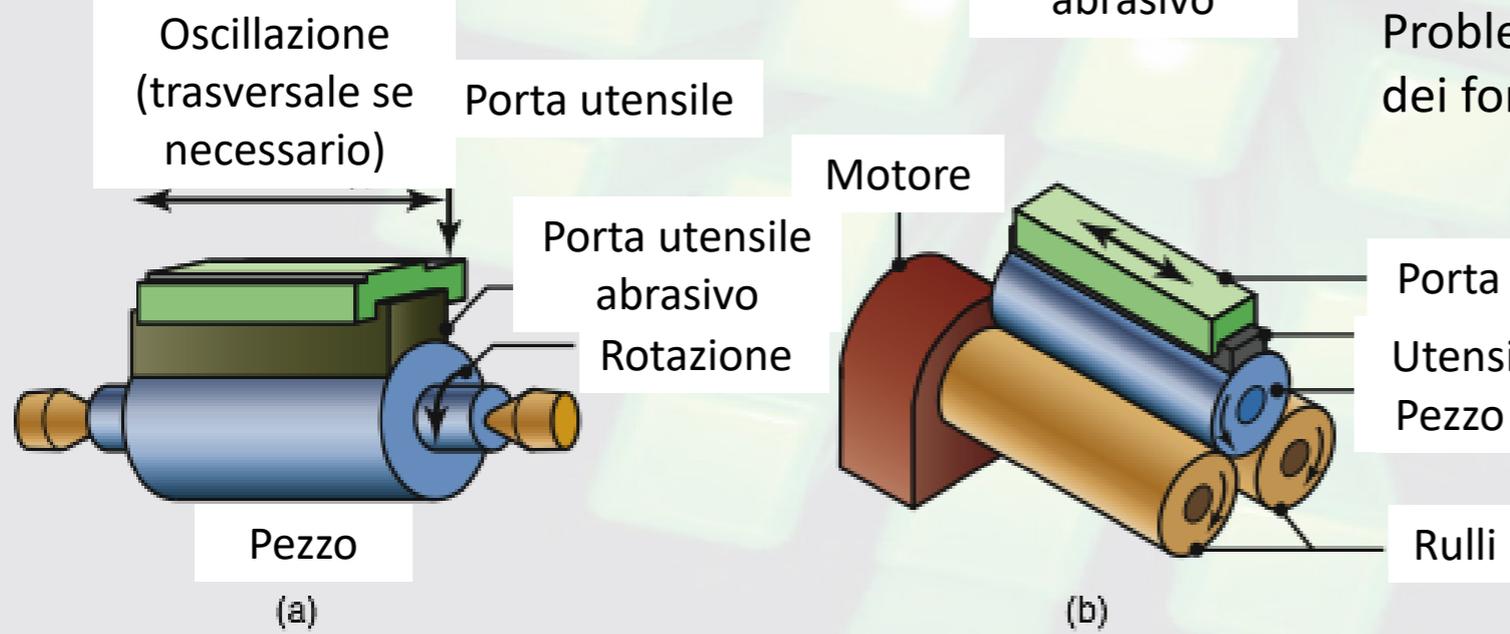
Levigatura



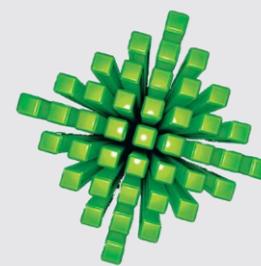
Schema di un **utensile levigatore** per migliorare la finitura superficiale di fori realizzati per asportazione di truciolo.

Utensile di abrasivo (SiC , Al_2O_3) montato su molle
Movimento rotatorio + assiale alternato
Problematiche: perdita della cilindricità e rettilineità dei fori

Superfinitura



Schema del processo di **superfinitura** di un pezzo cilindrico mediante:
(a) Micro levigatura cilindrica.
(b) Micro levigatura senza centri.



Sbavatura

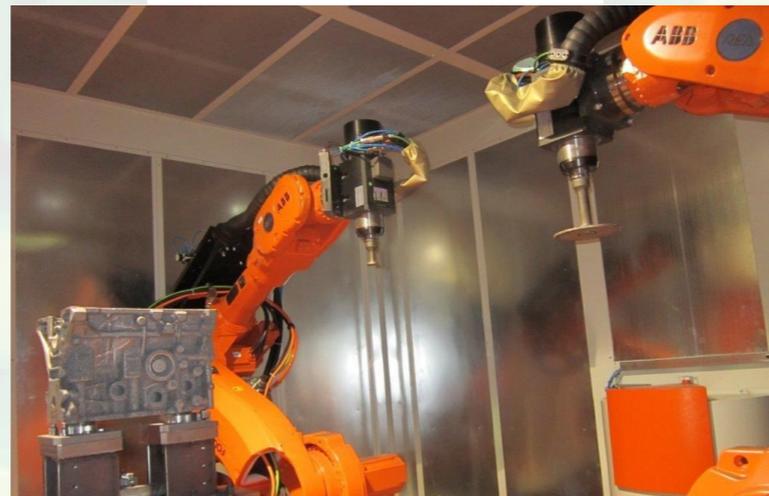
Con l'obiettivo di rimuovere le bave può essere eseguita:

- **A mano mediante lime;**
- **Robotizzata mediante dischi o nastri;**
- **Mediante vibratori** contenenti i pezzi e grani di abrasivo o sferette di acciaio;
- **Mediante sabbiatura**, polveri abrasive vengono sparate ad alta velocità contro il pezzo.

Manuale con lima



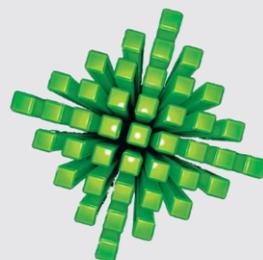
Robotizzata



Mediante sabbiatura



Mediante vibratori



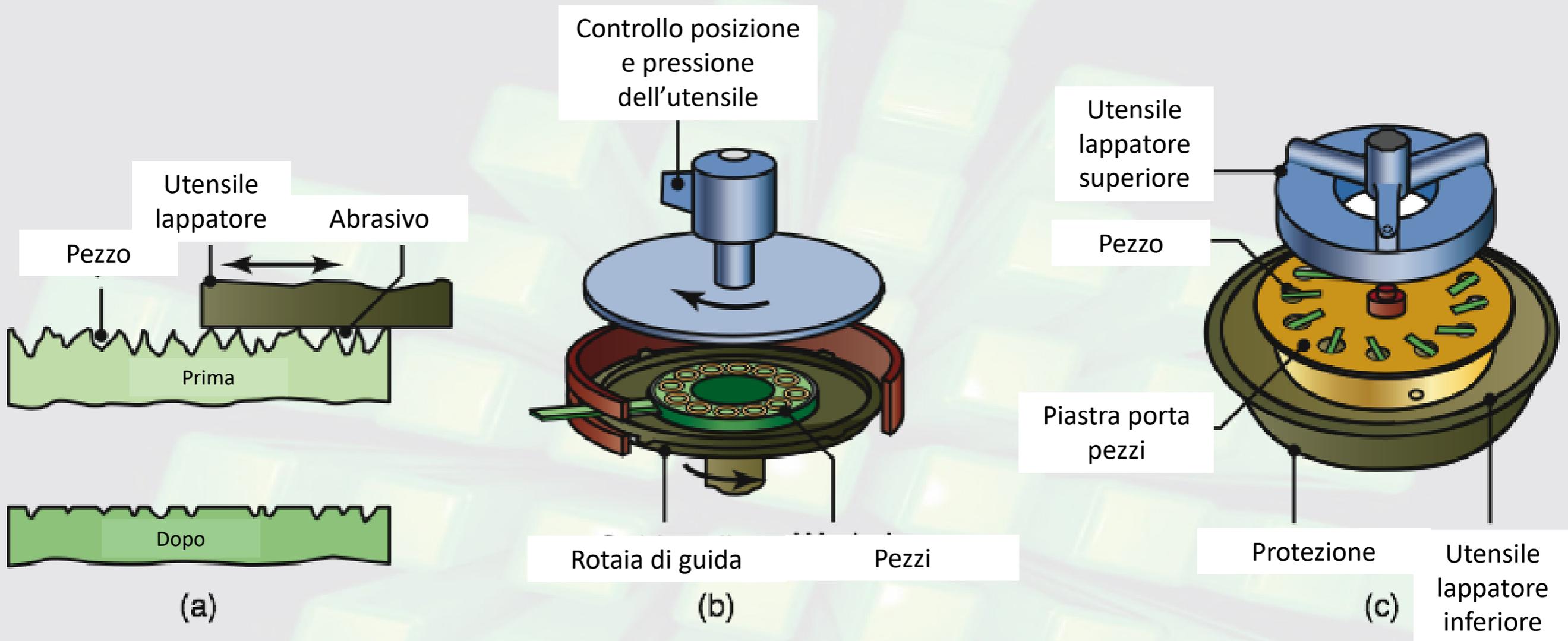
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

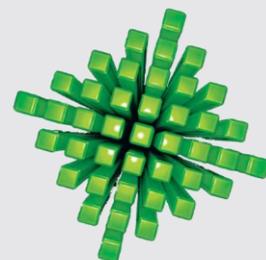
Lappatura



(a) Schema del processo di lappatura.

(b) Lappatura di superfici piane.

(c) Lappatura di superfici cilindriche.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

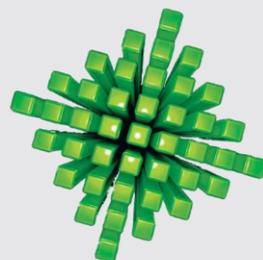
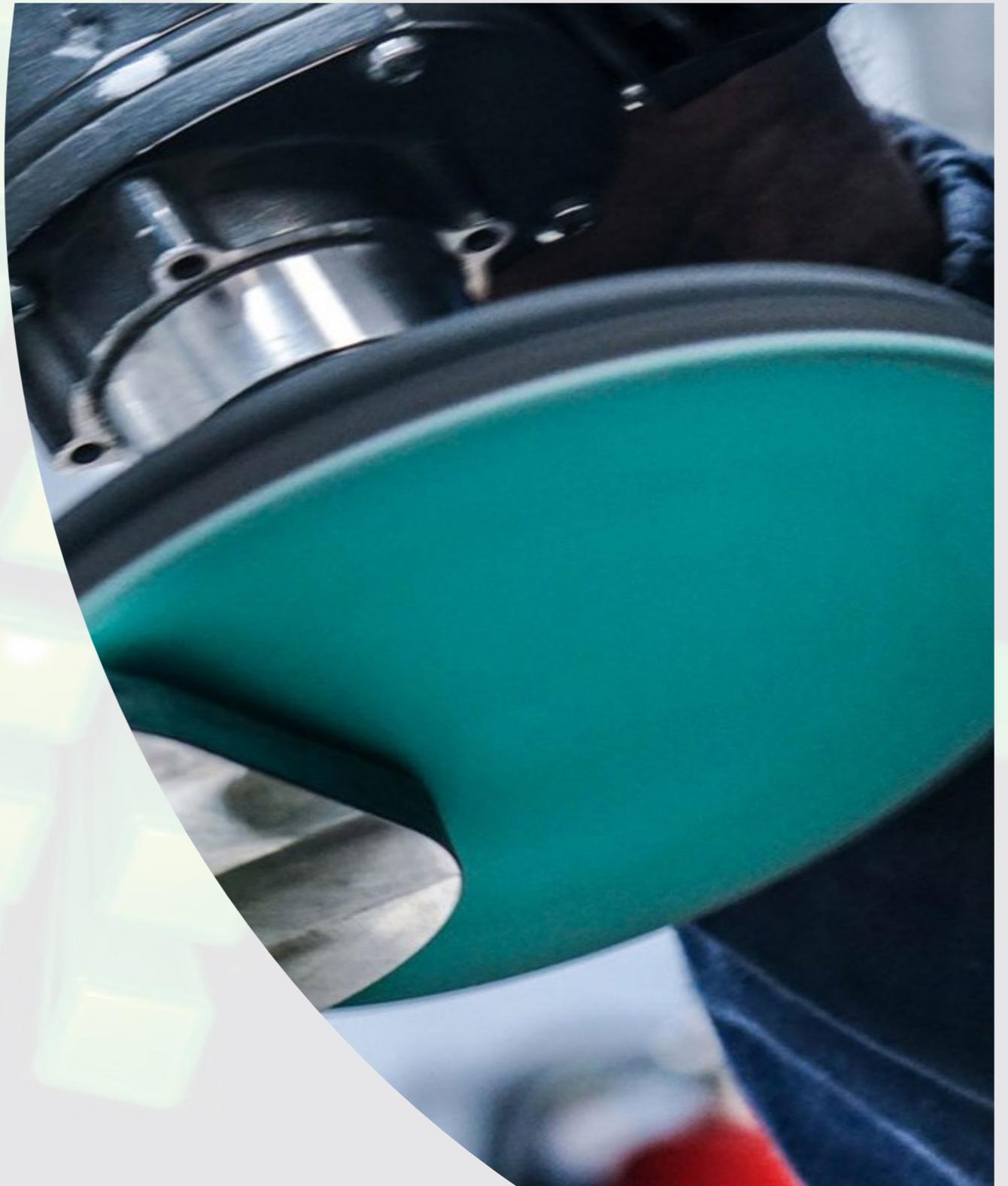
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Lucidatura

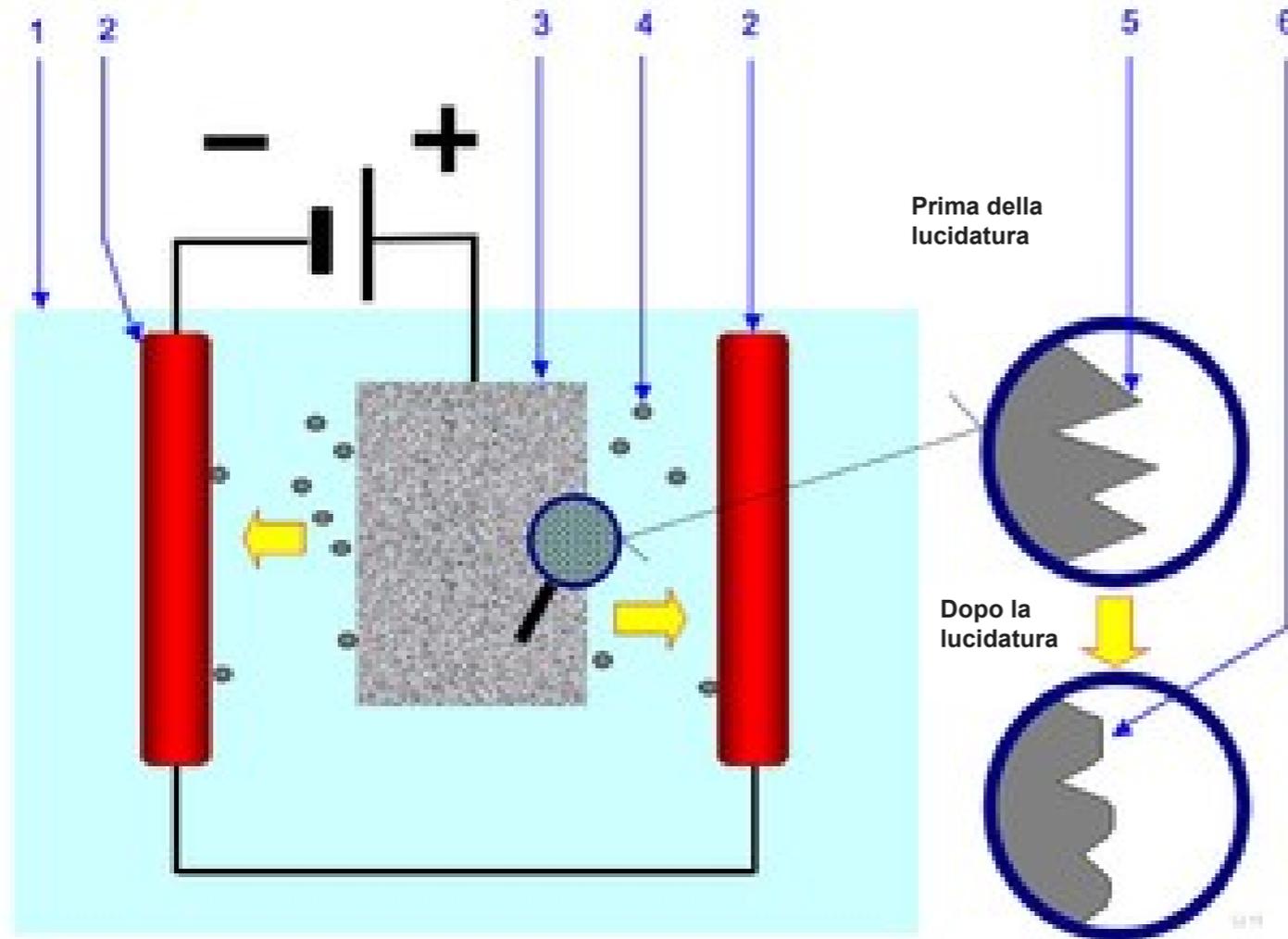
- Può essere eseguita manualmente usando fogli, o su macchine che utilizzano dischi o nastri di cuoio, plastica o feltro rivestiti da polveri fini di abrasivo



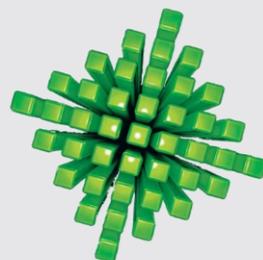
Elettro lucidatura

1. Elettrolita
2. Catodo
3. Pezzo da lucidare (Anodo)
4. Particelle che si muovono dal pezzo al catodo
5. Superficie prima della lucidatura
6. Superficie dopo la lucidatura

Elettro lucidatura



L'elettrolita attacca i rilievi rimuovendo materiale e rende la superficie più regolare.



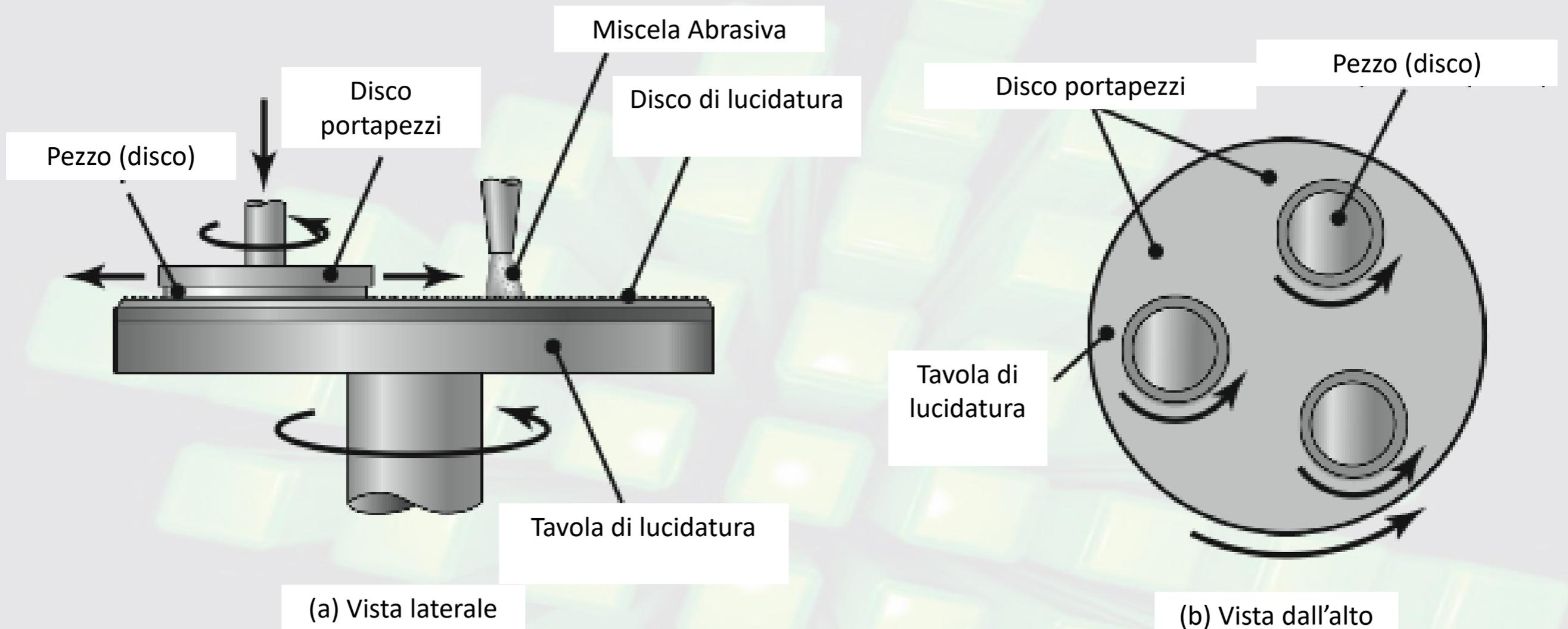
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

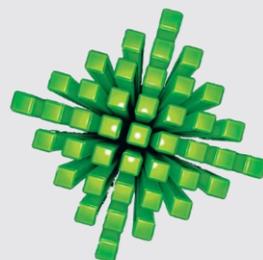
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Lucidatura Chimico-Meccanica



Schema del processo di lucidatura chimico-meccanica, usato nella produzione di wafer al silicio e di circuiti integrati. Possono essere presenti più dischi portapezzo e più di un wafer.



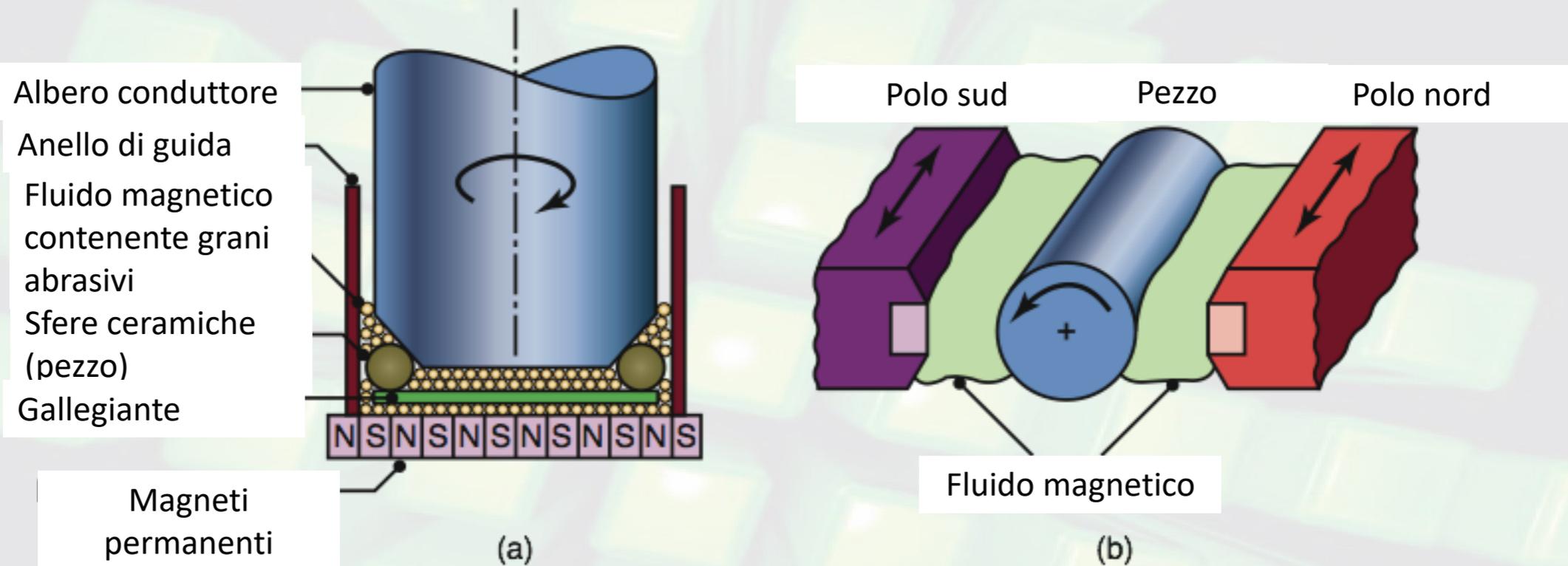
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

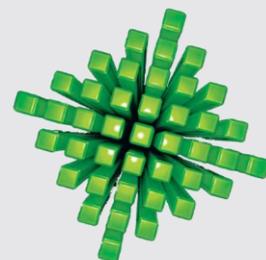
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

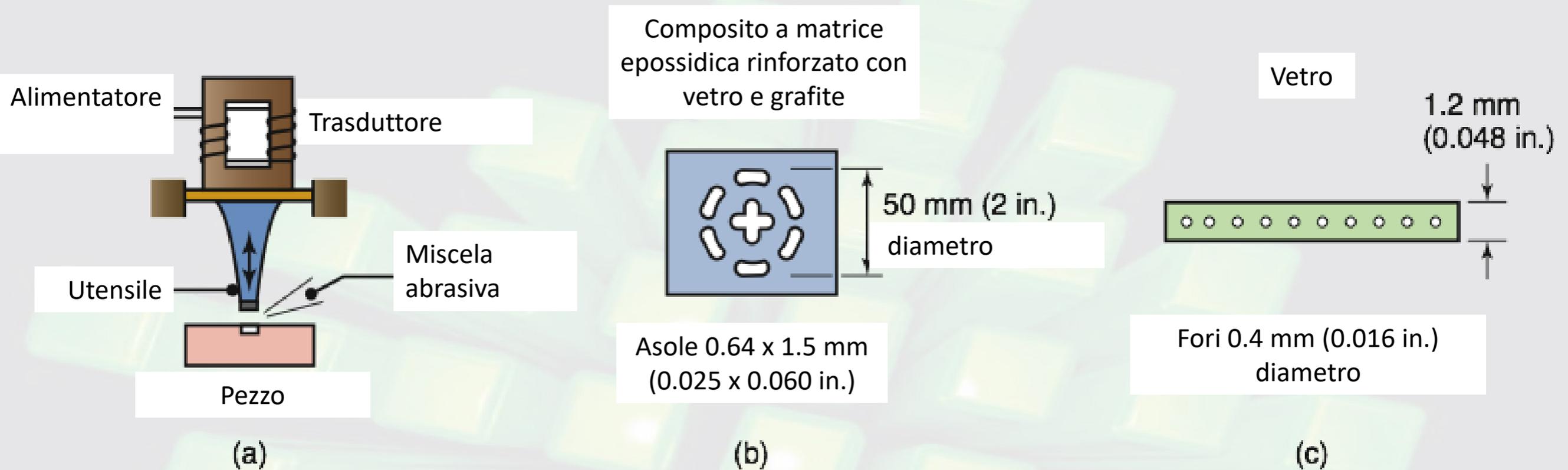
Lucidatura con campi magnetici



Schema dell'uso di campi magnetici per lucidare sfere e rulli:
(a) Lucidatura a sostentamento magnetico di sfere ceramiche e
(b) Lucidatura assistita da campo magnetico.



Lavorazioni con Ultrasuoni



- (a) Schema della lavorazione con ultrasuoni; il materiale viene asportato mediante micro scalfittura ed erosione operate dall'impatto di grani di abrasivo accelerati dall'utensile vibrante (ampiezza 0.05-0.125 mm, frequenza 20 kHz)
- (b) e (c) tipici esempi di cavità prodotte mediante lavorazioni con ultrasuoni. Notare le dimensioni e i materiali lavorati.

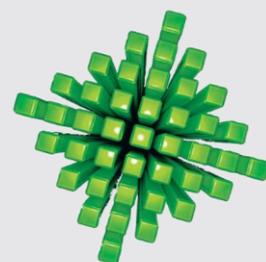
Tempo di Contatto: $t_0 \cong \frac{5r}{c_0} \left(\frac{c_0}{v} \right)^{1/5}$

- r è il raggio di una particella sferica di abrasivo
- c_0 è la velocità dell'onda elastica nel pezzo $= \sqrt{E/\rho}$
- v è la velocità con la quale la particella di abrasivo colpisce la superficie del pezzo

Forza di Contatto media:

$$F_{ave} = \frac{\Delta \text{quantità di moto}}{\text{Tempo di Contatto}} = \frac{2 \cdot m \cdot v}{t_0}$$

nell'ipotesi di rimbalzo perfettamente elastico cioè $v_2 = -v_1$



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

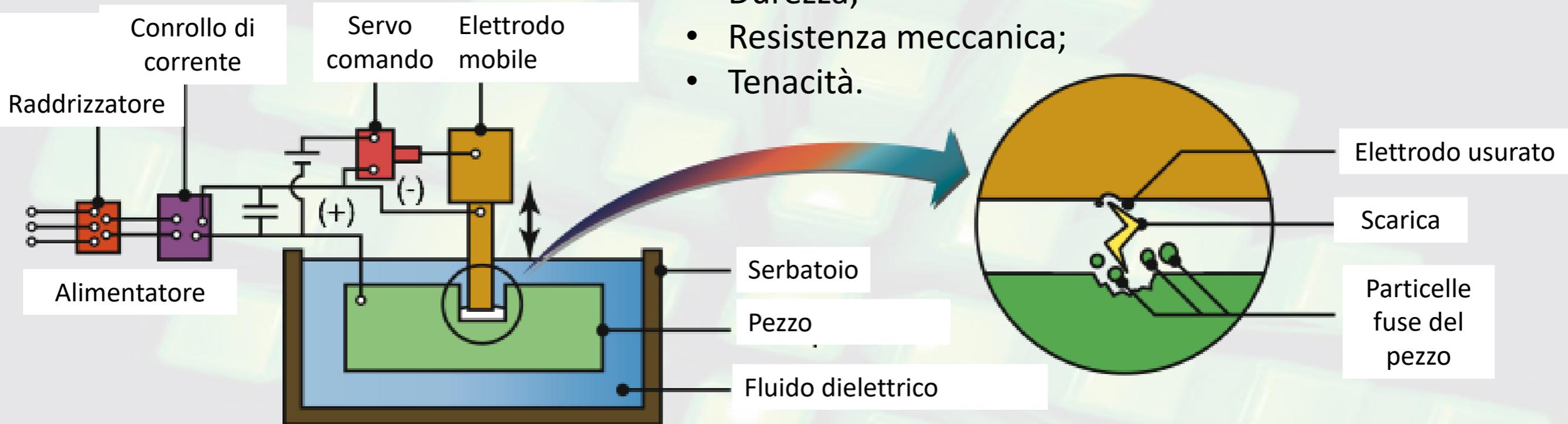
Elettroerosione (EDM)

Elettrodo: grafite, rame, ottone;

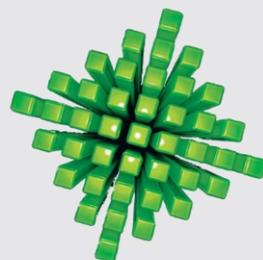
Dielettrico: oli minerali, acqua deionizzata.

Lavorazione **indipendente da**

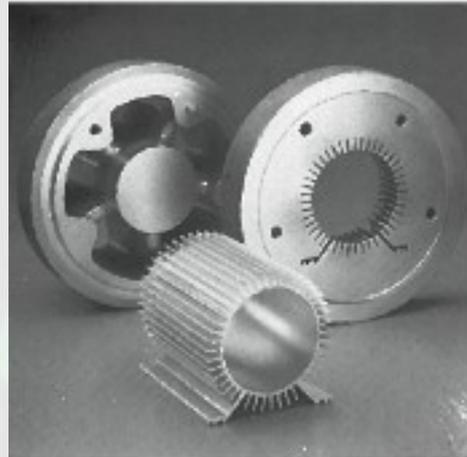
- Durezza;
- Resistenza meccanica;
- Tenacità.



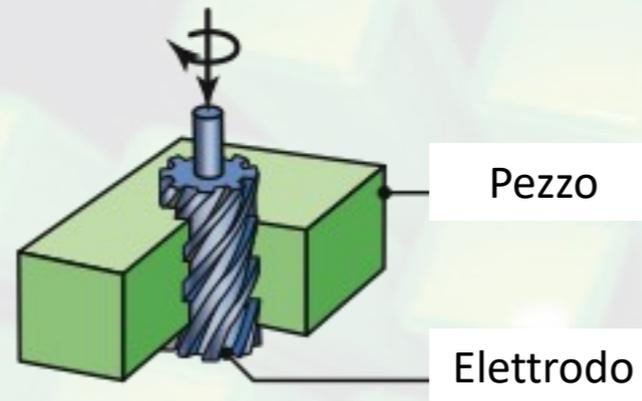
Schema del processo di elettroerosione.



Esempi di pezzi prodotti mediante elettroerosione (EDM)



(a)



(b)



(c)



- (a) Esempi di forme geometriche prodotte mediante elettroerosione usando elettrodi sagomati. Le due parti dietro sono le due parti dello stampo estrusore usato per produrre il pezzo davanti.
- (b) Cavità a spirale usando elettrodo sagomato rotante.
- (c) Fori nell'ugello di iniezione del combustibile realizzati mediante elettroerosione.

Cavità a gradini realizzate con elettrodo quadrato usando l'elettroerosione. In tale lavorazione il pezzo si muove nelle direzioni x ed y ed è sincronizzato con il movimento verticale (z) dell'elettrodo. Si vede anche un elettrodo cilindrico per produrre parti rotonde o ellittiche.

$$MRR = 4 \cdot 10^4 \cdot I \cdot T_w^{-1.23}$$

dove

T_w è la temperatura di fusione del materiale in lavorazione ($^{\circ}\text{C}$);

I è l'intensità di corrente alternata (A).

$$\text{velocità usura elettrodo} = 11 \cdot 10^3 \cdot I \cdot T_t^{-2.38}$$

dove

T_t è la temperatura di fusione del materiale dell'elettrodo ($^{\circ}\text{C}$);

I è l'intensità di corrente alternata (A).

$$\text{Rapporto d'usura} = R = \frac{\text{usura pezzo}}{\text{usura elettrodo}} = 2.25 \left(\frac{T_w}{T_t} \right)^{-2.3}$$



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

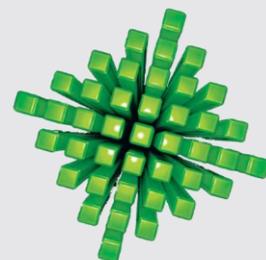
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

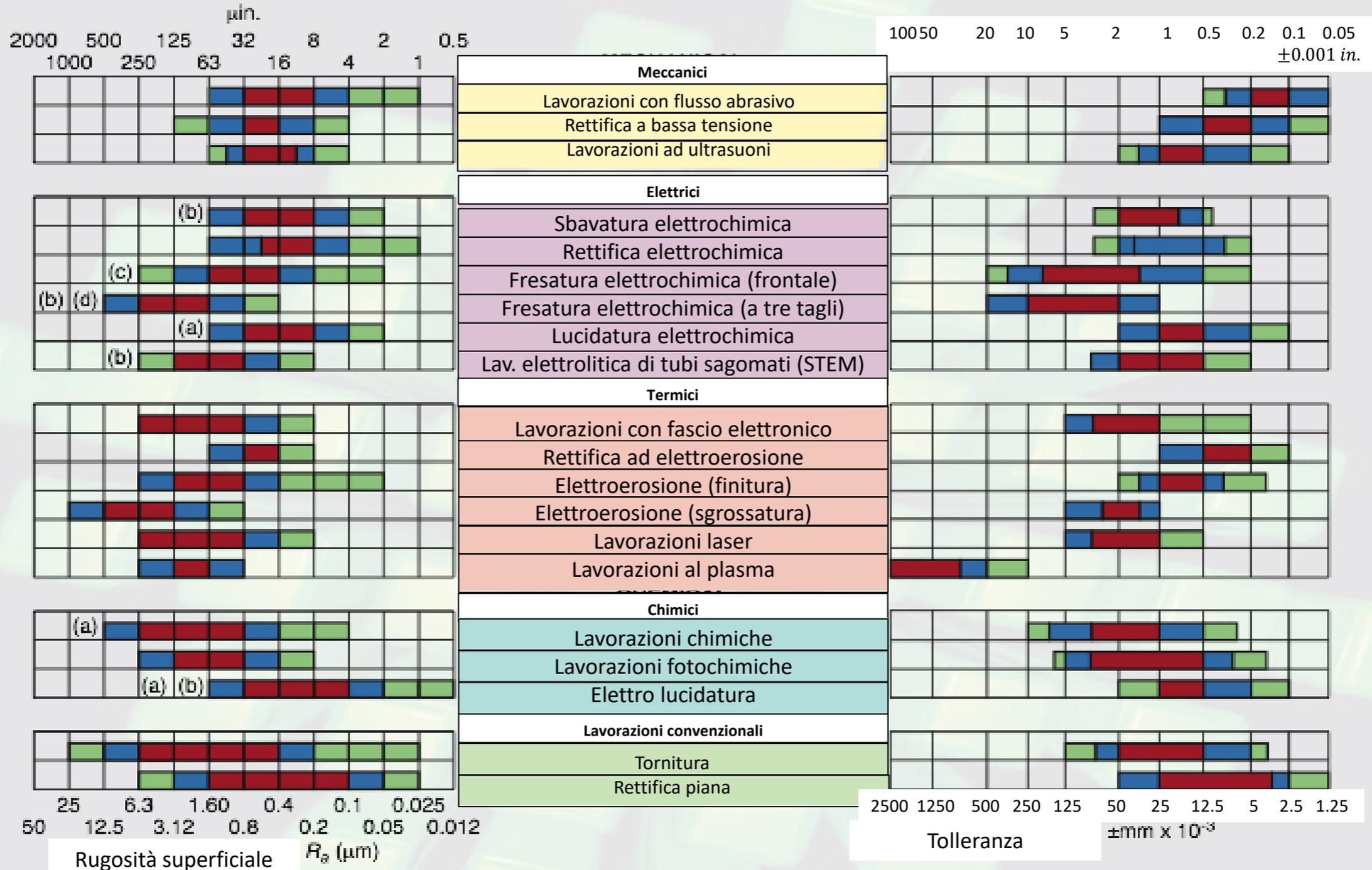
ISBN No. 0-13-227271-7

Processi Non Convenzionali

Processo	Caratteristiche	Parametri di processo e velocità di asportazione o di taglio tipica
Lavorazioni chimiche (CM)	asportazione poco profonda (fino a 12 mm) su ampie superfici piane o curve; tranciatura di fogli sottili; attrezzature e macchine di costo limitato; volumi di produzione bassi.	0.025-0.1 mm/min
Lavorazioni Elettro-Chimiche (ECM)	forme complesse con cavità profonde; la più alta velocità di rimozione del materiale; attrezzature e macchine costose; elevato consumo energetico; volumi di produzione da medi ad elevati.	5-25 V c.c. ; 1.5-8 A/mm ² 2.5-12 mm/min a seconda della densità di corrente
Rettifica Elettro-Chimica (ECG)	Taglio ed affilatura di materiali duri, come utensili al carburo di tungsteno; usato anche come processo di levigatura; velocità di rimozione del materiale maggiore rispetto alla rettifica tradizionale	1-3 A/mm ² ; tipicamente 1500 mm ³ /min a 1000 A
Elettroerosione a tuffo (EDM)	lavorazione e taglio di pezzi complessi fatti con materiali duri; può provocare danni superficiali; usata anche per rettificare e tagliare; versatile; attrezzature e macchine costose.	50-380 V; 0.1-500 A; tipicamente 300 mm/min
Elettroerosione a filo (Wire EDM)	taglio a contornatura di curve e superfici; apparecchiatura costosa.	dipende da materiale e spessore
Lavorazione laser (LBM)	taglio e foratura su materiali sottili; fori e asole molto piccoli; genera una zona termicamente alterata ; apparecchiatura costosa; elevato consumo energetico; estrema cautela nel suo utilizzo.	0.50-7.5 m/min
Lavorazioni a fascio elettronico (EBM)	taglio e foratura su materiali sottili; fori e asole molto piccoli; genera una zona termicamente alterata ; apparecchiatura costosa; richiede il vuoto.	1-2 mm ³ /min
Lavorazioni a getto di acqua (WJM)	taglio di tutti i tipi di materiali non metallici fino a 25 mm di spessore e anche oltre; adatto per eseguire contornature su materiali flessibili; non crea zone termicamente alterate; processo sicuro per l'ambiente.	dipende molto dal materiale
Lavorazioni a getto di acqua abrasivo (AWJM)	taglio di uno o più strati di materiali metallici e non.	fino a 7.5 m/min
Lavorazioni a getto abrasivo (AJM)	taglio, creazione di scanalature, sbavatura, eliminazione della bava, incisione e pulizia di materiali metallici e non metallici; tende ad arrotondare gli spigoli vivi; può causare problemi alla salute delle persone a causa de polveri sottili sospese in aria.	dipende molto dal materiale

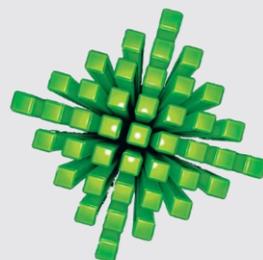


Rugosità e Tolleranze dei vari processi

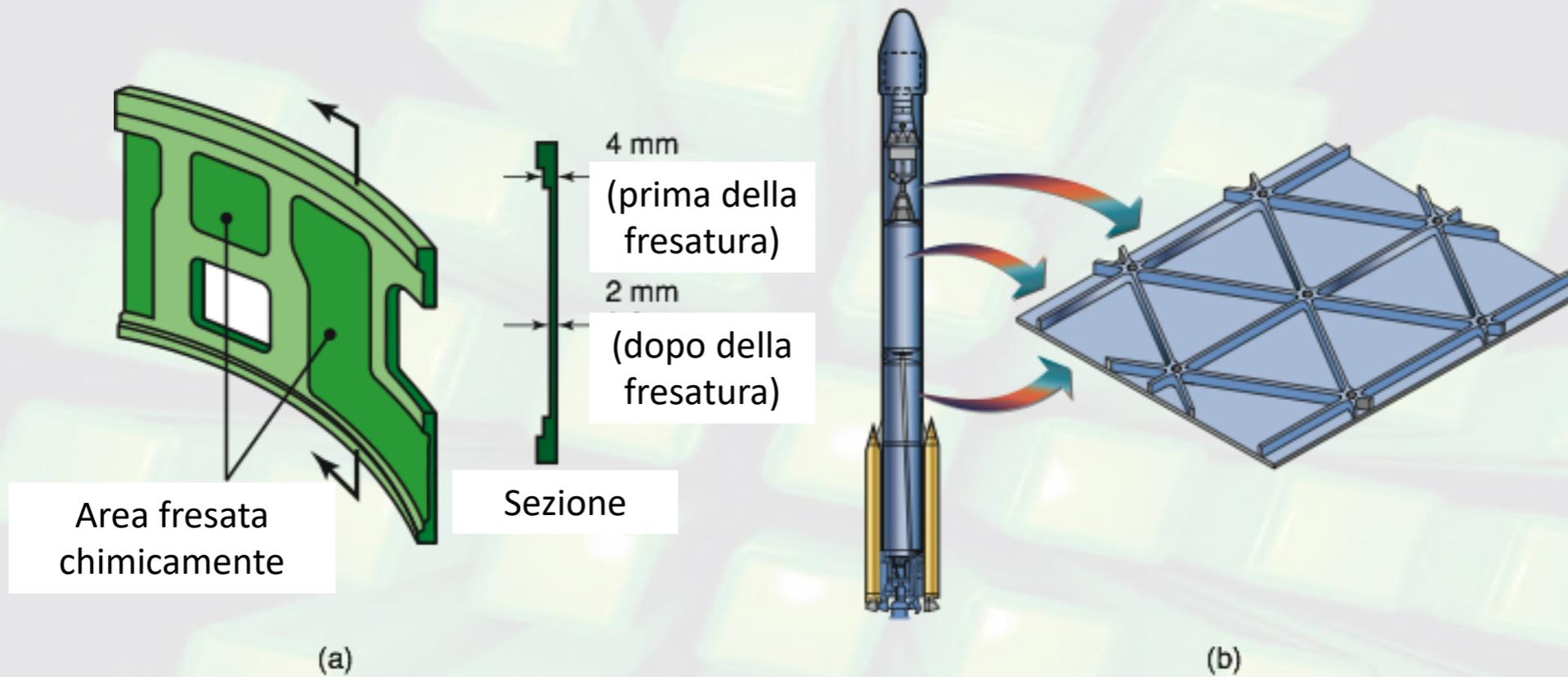


- a) Dipende dallo stato iniziale della superficie.
- b) Le leghe di titanio sono più rugose di quelle di nichel.
- c) Zone a maggior densità di corrente.
- d) Zone a minor densità di corrente.

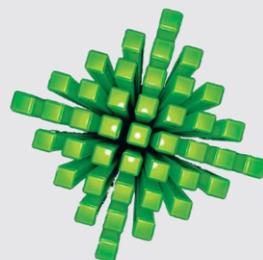
	Situazione tipica (valori di solito attesi)
	Situazione meno frequente (condizioni particolari o di precisione)
	Situazione rara (condizioni operative speciali)



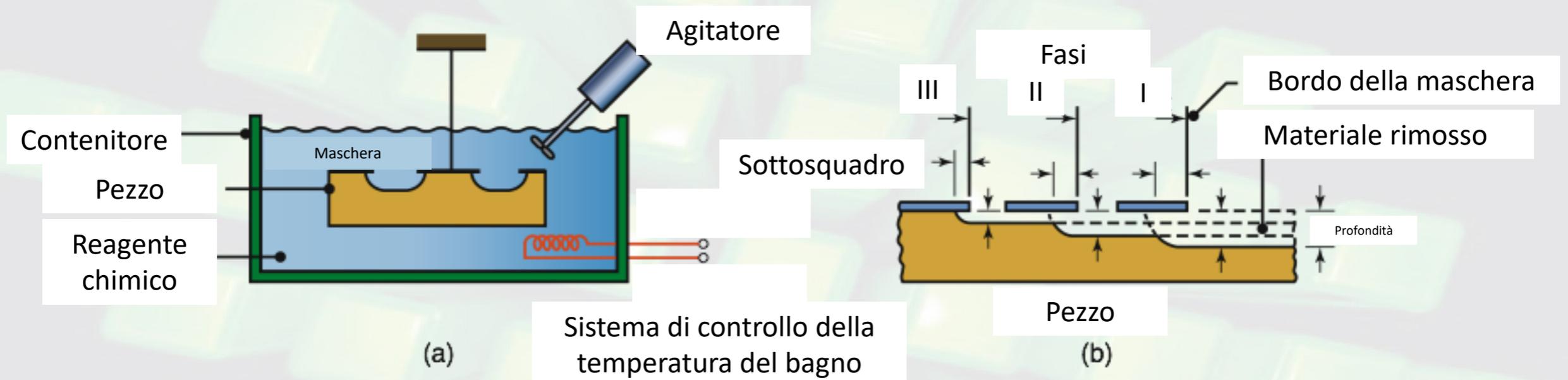
Fresatura chimica



- (a) Pannello esterno di un missile fresato chimicamente per aumentare il rapporto tra rigidità e peso del pezzo stesso.
- (b) Riduzione del peso di missile spaziale mediante fresatura chimica su pannelli di leghe di alluminio precedentemente formati mediante rullatura o stiratura.



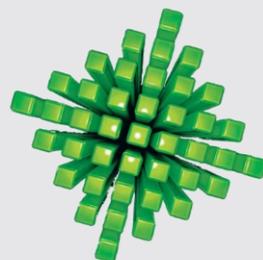
Fresatura Chimica



(a) Schema del processo di fresatura chimica. In questo processo non agiscono forze.

(b) Fasi della produzione di una cavità profilata ottenuta mediante fresatura chimica.

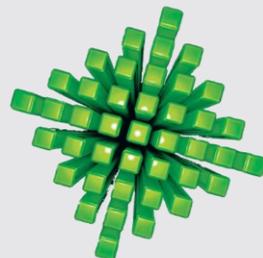
I reagenti chimici attaccano le zone non mascherate protette con uno strato protettivo



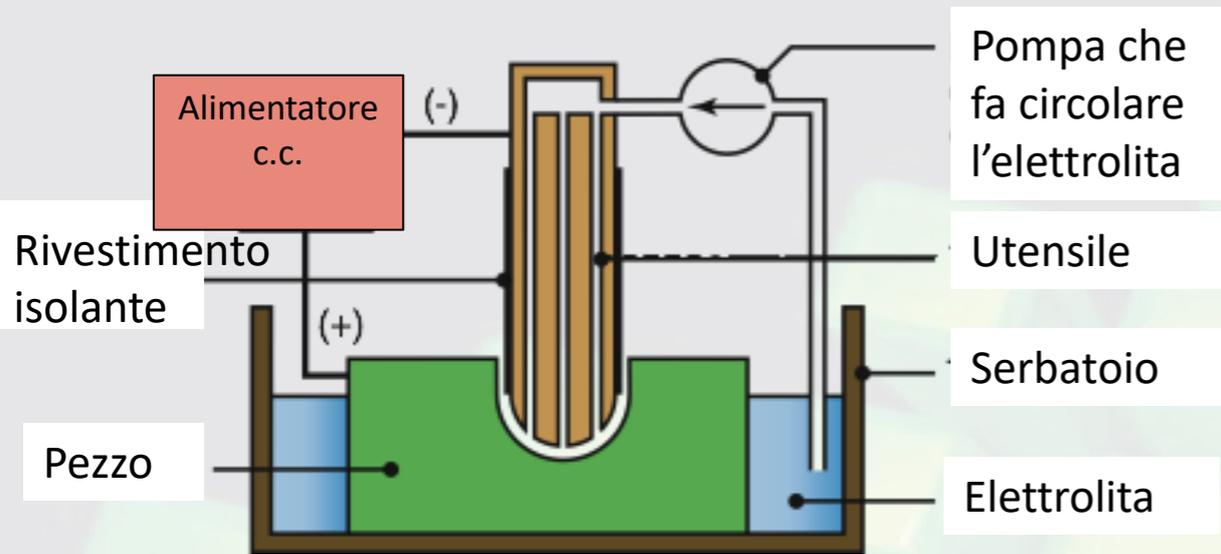
Tranciatura Chimica



Tipici pezzi prodotti mediante tranciatura chimica.



Lavorazioni Electrochimiche



Schema del processo di lavorazione elettrochimico. Tale processo è il contrario della elettro deposizione. Notare che l'utensile è posto a una ben definita distanza dal pezzo (=GAP).

Materiale utensile: bronzo, ottone, rame, acciaio inox.

Elettrolita: sale inorganico conduttore.

Corrente: continua.

$$MRR = C \cdot I \cdot \eta$$

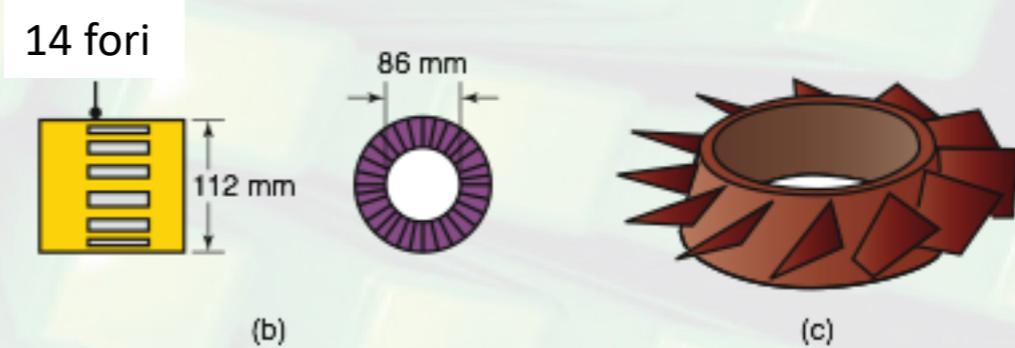
Dove

- C è una costante del **materiale** da lavorare che deve essere **conduttore** (non dipende da durezza, resistenza meccanica e tenacità);
- I è l'intensità di corrente continua (A);
- η è il rendimento (90-100%).

Gli ioni metallici si staccano dal pezzo e il flusso di elettrolita li porta via prima che si depositino sull'utensile (catodo)

Vantaggi:

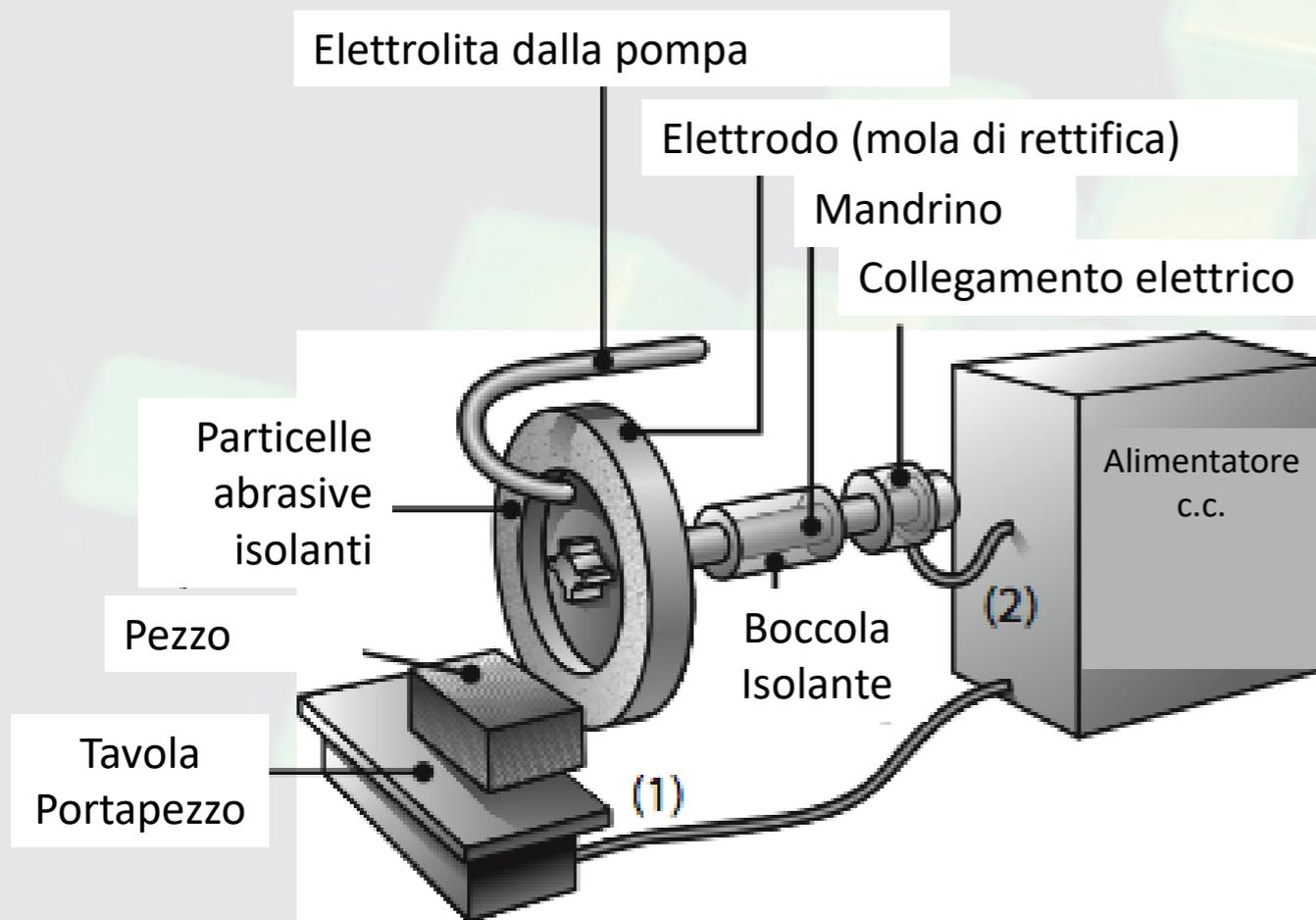
- Non si ha danneggiamento termico del pezzo;
- Non si ha usura dell'utensile.



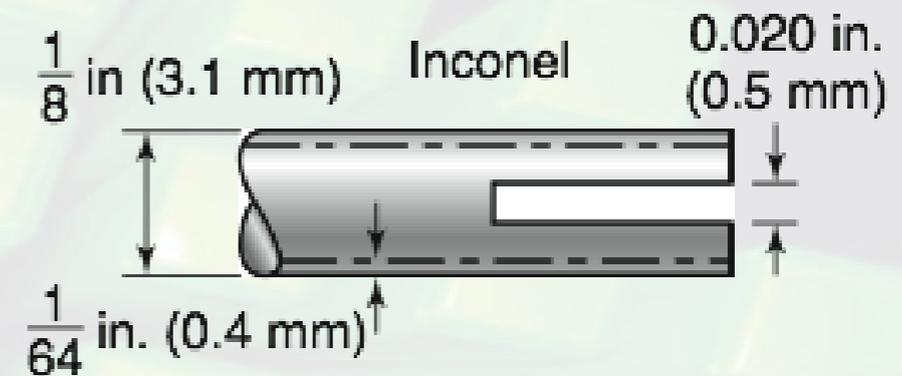
- Parti prodotte mediante lavorazioni elettrochimiche.
- (a) Pala di turbina fatta di lega di nickel con durezza 360 HB. Il pezzo a destra è l'elettrodo sagomato.
 - (b) Asole sottili su una gabbia di cuscinetto a rulli di acciaio 4340.
 - (c) Girante di compressore con palettatura integrate.



Rettificata Elettrochimica



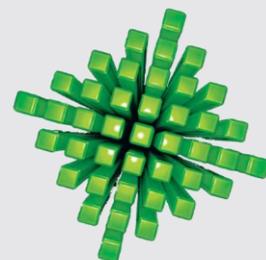
(a)



(b)

(a) Schema del processo di rettifica elettrochimica.

(b) Scanalatura sottile prodotta su un tubo di lega di nickel (Inconel).



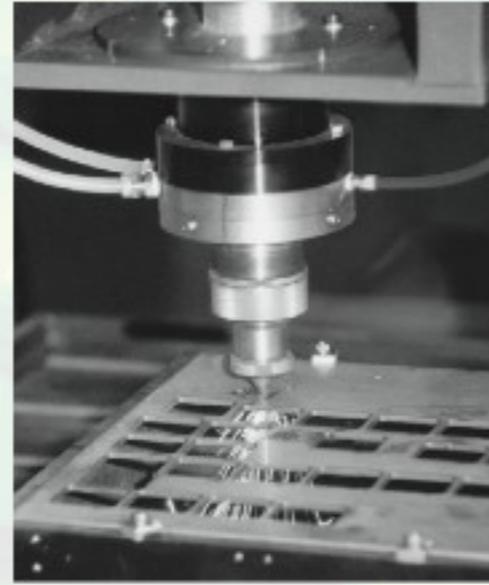
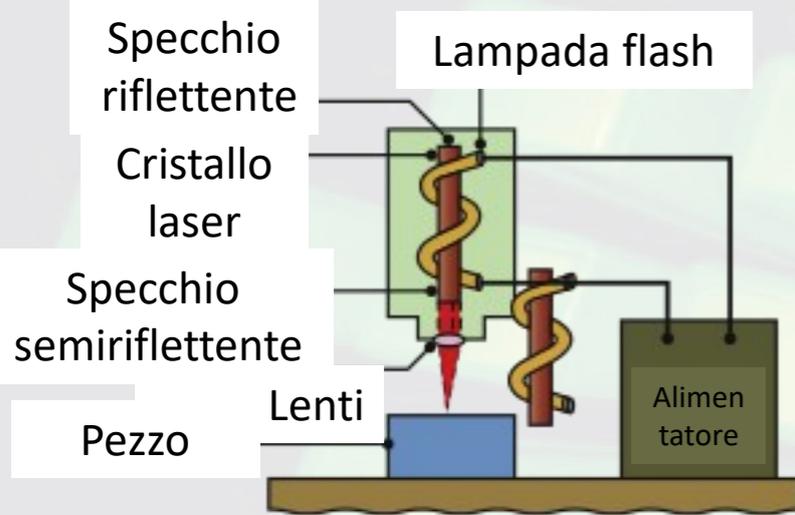
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Lavorazioni Laser



(a) Schema della lavorazione laser.

(b) Taglio di una lamiera metallica mediante il laser.

Continui o pulsanti;

Influenzati da:

- Riflettività;
- Conducibilità termica.

Vantaggi:

- Possibilità di guidare il raggio con fibre ottiche;
- Non richiede il vuoto.

Svantaggi:

- Superficie lavorata grezza;
- Zone termicamente alterate;
- Pericolosi per la retina umana.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

(b) Applicazione Taglio

Metalli
Plastiche
Ceramici

Foratura

Metalli
Plastiche

Marcatura

Metalli
Plastiche
Ceramici

Trattamenti superficiali su metalli Saldatura di metalli

Tipo di laser

PCO₂; CWCO₂; Nd-YAG; rubino
CWCO₂
PCO₂

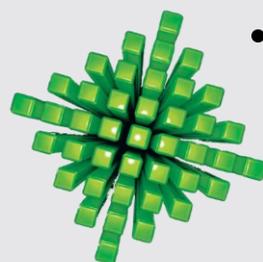
PCO₂; Nd-YAG; Nd-vetro; rubino
eccimeri

PCO₂; Nd-YAG
eccimeri
eccimeri

CWCO₂

PCO₂; CWCO₂; Nd-YAG; Nd-vetro; rubino

P= ad impulso; CW= ad onda continua



Lavorazioni con Fascio di Elettroni

Elettroni accelerati a velocità vicine a quella della luce (0-80%) nel vuoto

Vantaggi

- Migliore qualità superficiale rispetto al laser;
- Minori dimensioni del fascio rispetto al laser;

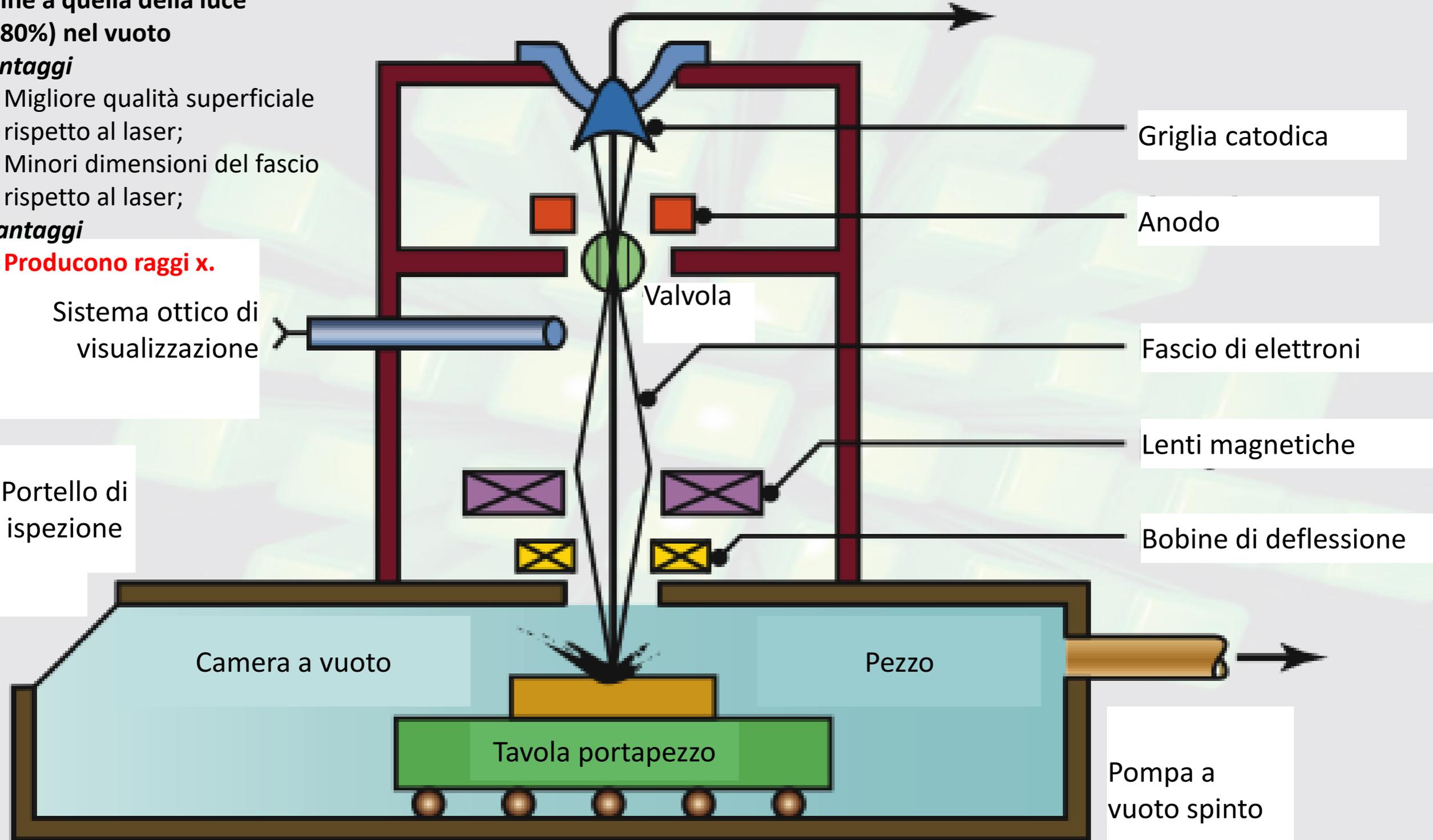
Svantaggi

- **Producono raggi x.**

Sistema ottico di visualizzazione

Portello di ispezione

Cavo ad alta tensione (30 kV c.c.)

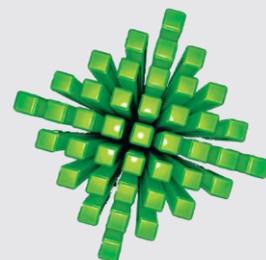


Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

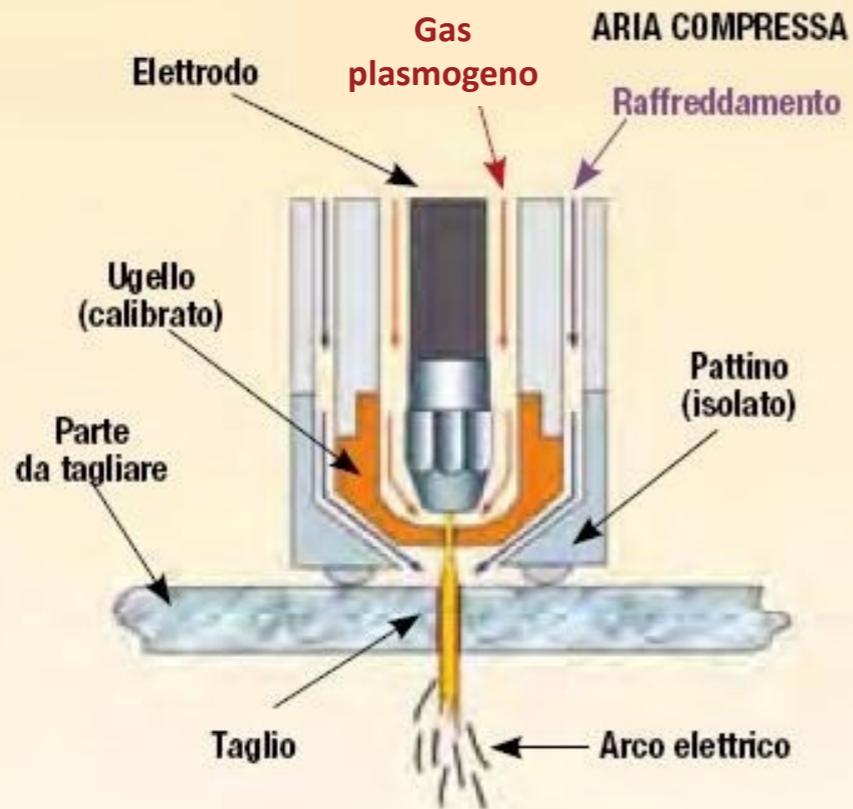
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7



Taglio al Plasma

PROCEDIMENTO DI TAGLIO PLASMA

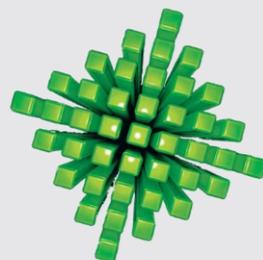


Plasma = gas ionizzato ad altissima temperatura (9600°C)

Vantaggi

- Migliore qualità superficiale;
- Dimensioni del fascio inferiori rispetto al laser e al fascio di elettroni;
- MRR migliore rispetto al laser, elettroerosione e fascio elettronico.

SCHEMA DI UNA POSTAZIONE MANUALE PER IL TAGLIO PLASMA



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Lavorazioni a Getto di Acqua

Getto d'acqua con pressioni fino a 400 Mpa

Diametro ugello 0.05-1 mm

Taglio fino a spessori di 25 mm su:

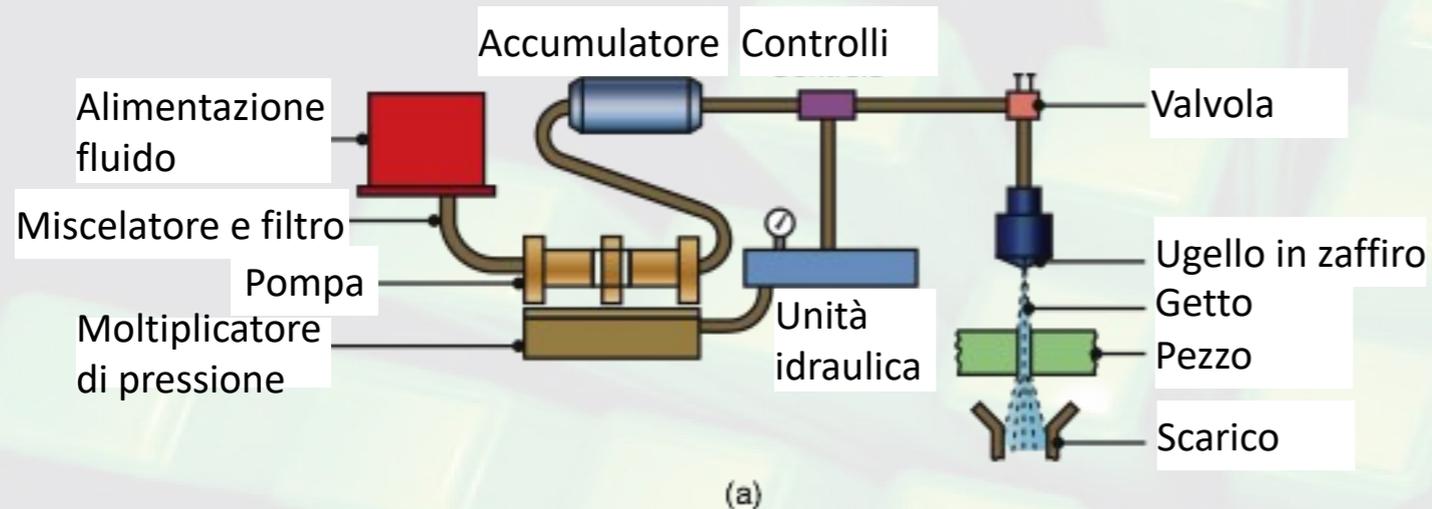
- Plastiche;
- Gomma;
- Tessuti;
- Legno;
- Carta;
- Cuoio;
- **Materiali isolanti;**
- **Mattoni;**
- **Compositi;**
- **Alimentari.**

Vantaggi

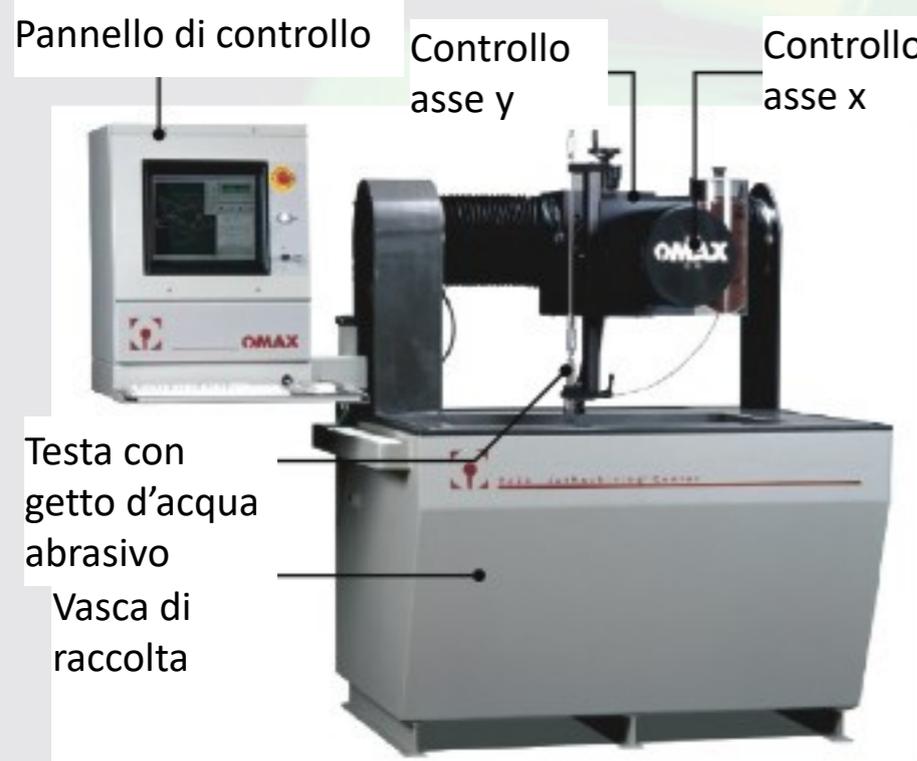
- Non necessita di fori iniziali per avviare il taglio;
- Non è inquinante;

Svantaggi

- Pericoloso per le mani;
- All'aumento dello spessore il getto si apre e perde energia.



(a)



(b)

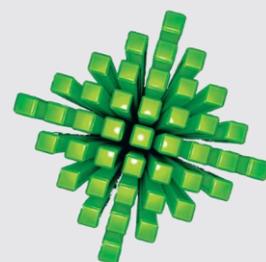


(c)

(a) Schema del processo a getto d'acqua.

(b) Una macchina a controllo numerico per il taglio a getto d'acqua.

(c) Esempi di diverse parti non metalliche ottenute con macchine a taglio a getto d'acqua.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

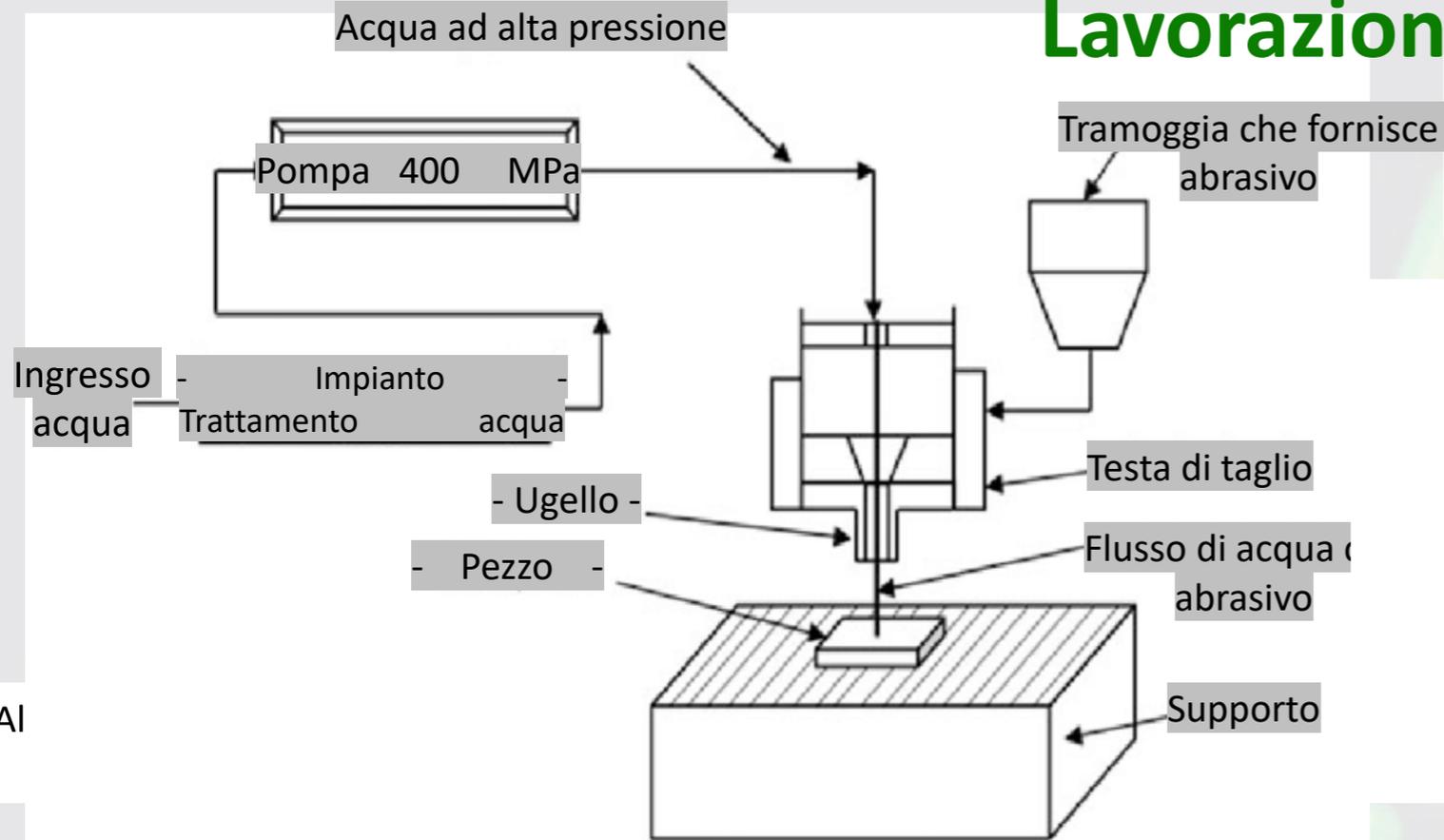
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

Lavorazioni a Getto Abrasivo

Esempi di parti prodotte mediante lavorazioni a getto abrasivo; lo spessore delle parti è di 50 mm e sono di acciaio inossidabile 304.



(b)

Lavorazioni a Getto d'Acqua Abrasivo

Particelle di SiC o Al_2O_3 di granulometria controllata vengono immesse e trascinate da un getto d'acqua in pressione che attraverso un ugello le focalizza sull'oggetto da tagliare.

Taglio di

- **Metalli;**
- **Non metalli;**
- **Compositi avanzati.**

Vantaggi

- Taglio di materiali più resistenti e di spessori maggiori;

Svantaggi

- Usura dell'ugello che richiede materiali resistenti all'usura (rubino, zaffiro o compositi a base di carburi).

Lavorazioni a Getto Abrasivo

Particelle di SiC o Al_2O_3 di granulometria controllata vengono immesse e trascinate da un getto di aria secca, N_2 , CO_2 in pressione che attraverso un ugello le focalizza sull'oggetto da tagliare.

Taglio di

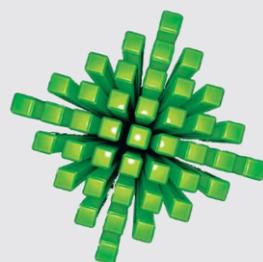
- **Metalli;**
- **Non metalli;**
- **Compositi avanzati.**

Vantaggi

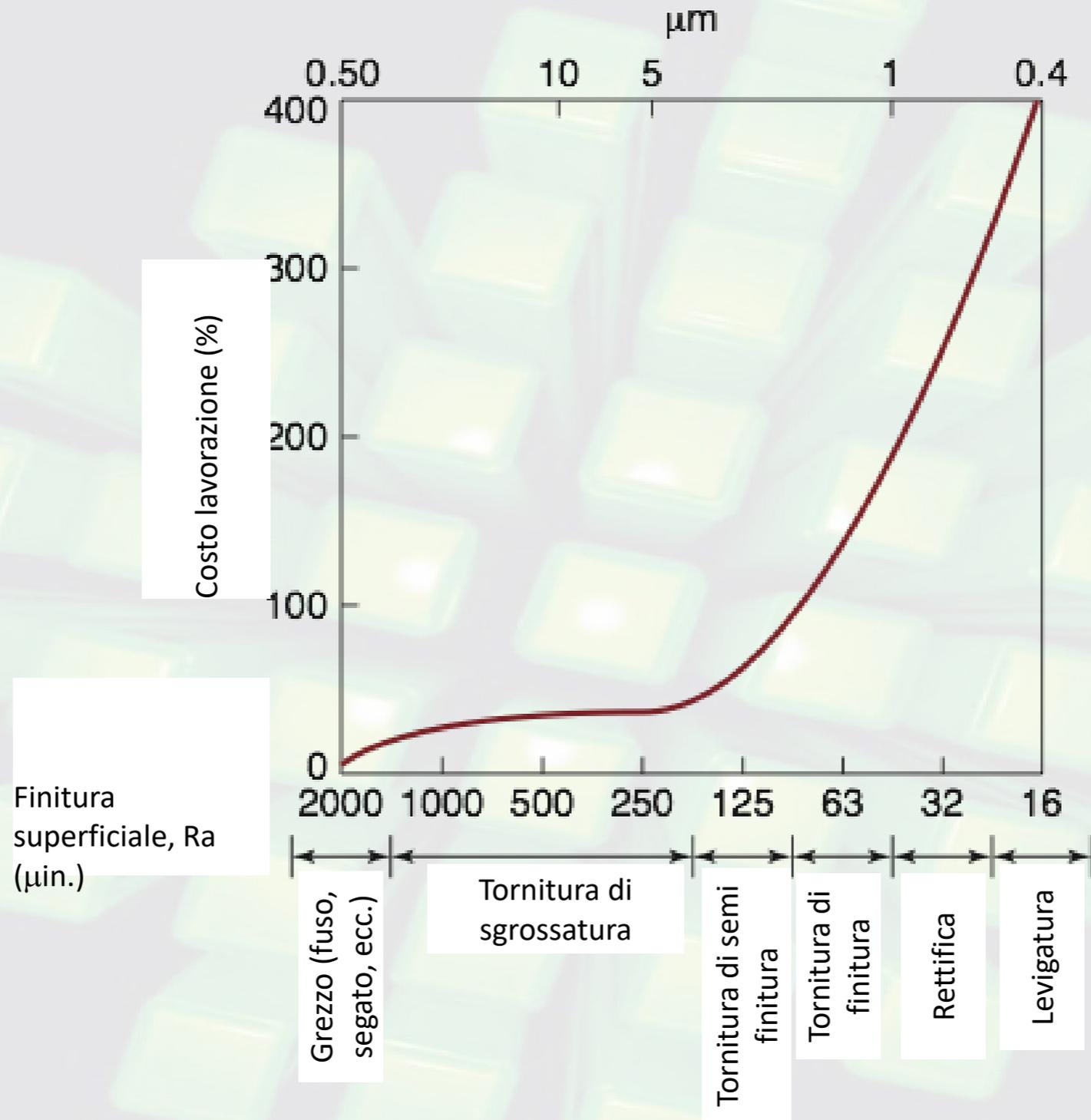
- Taglio di materiali più resistenti e di spessori maggiori rispetto al getto d'acqua;

Svantaggi

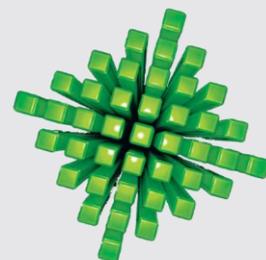
- Pericolo dovuto alla presenza delle polveri nell'aria e quindi nell'ambiente circostante



Aspetti economici



Aumento dei costi per lavorazione per asportazione di truciolo e di finitura in funzione del grado di finitura richiesto. Notare il rapido aumento associato alle operazioni di finitura.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7