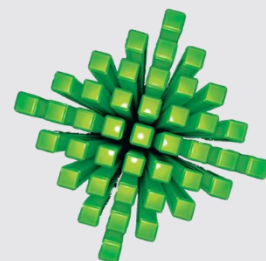
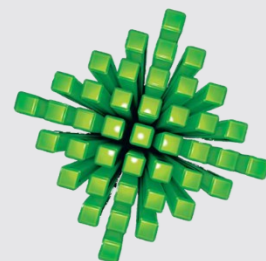


# Trafilatura



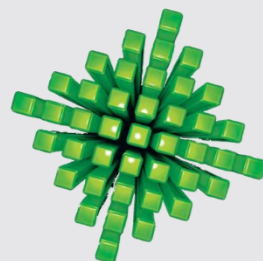
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.  
Kalpakjian • Schmid  
© 2008, Pearson Education  
ISBN No. 0-13-227271-7

- Trafilatura
  - Di barra
  - Di filo
  - Di tubo
- Stampaggio radiale o rotazionale

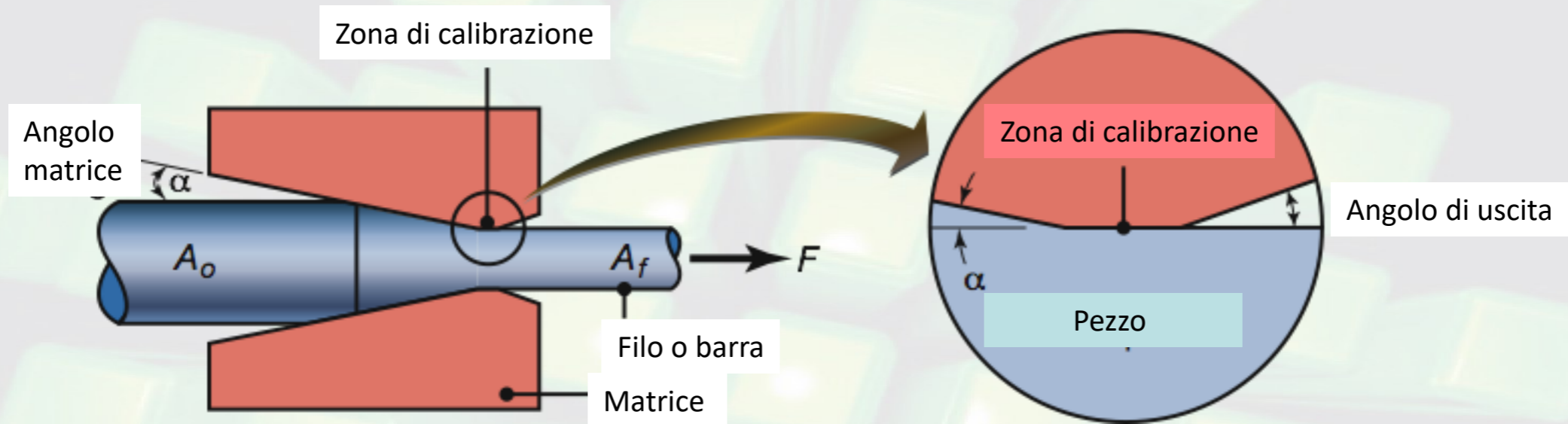


# La trafilatura

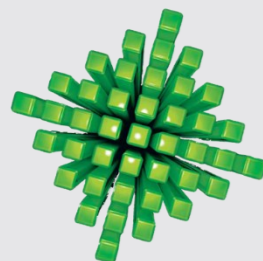
- La trafilatura comporta il trascinarsi di un filo, di una barra o di un tubo attraverso una matrice convergente diminuendo la sezione ed aumentando la lunghezza.
- Nella maggior parte dei casi la sezione è circolare anche se possono essere prodotte anche sezioni non circolari.
- Vantaggi rispetto alla laminazione
  1. Migliore controllo dimensionale.
  2. Minore costo delle attrezzature.
  3. Particolarmente adatto a sezioni piccole.
- Vantaggi rispetto alla estrusione
  1. Processo continuo.
  2. Minore costo delle attrezzature.
  3. Particolarmente adatto a sezioni piccole.



# Trafilatura di Barra (*Rod Drawing*) o di Filo (*Wire Drawing*)

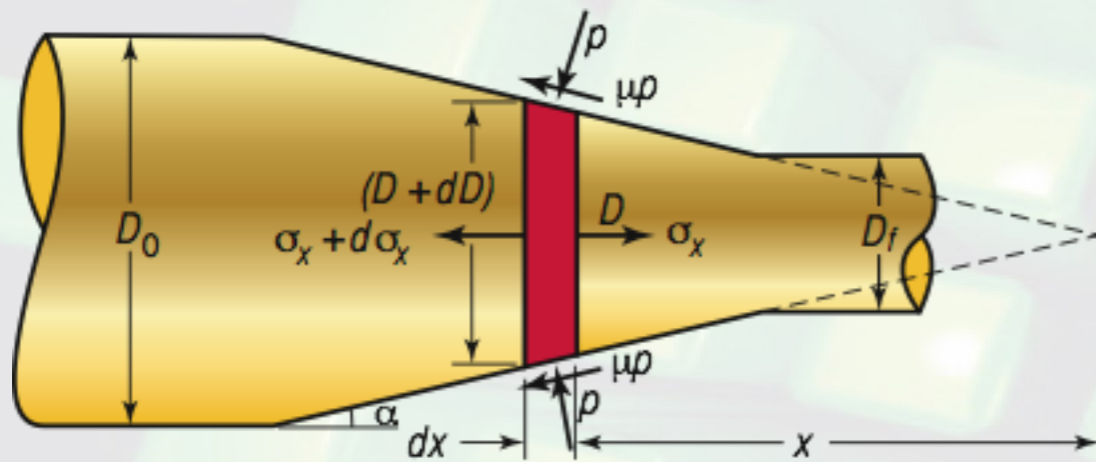


Variabili nella Trafilatura di barra a sezione circolare o di filo a sezione circolare





# Analisi con lo slab della Trafilatura



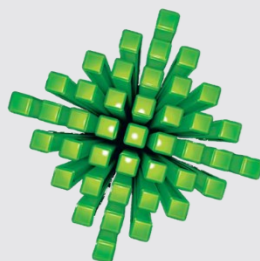
Tensioni agenti su un elemento nella trafilatura di una barra cilindrica piena

Tensione di trafilatura

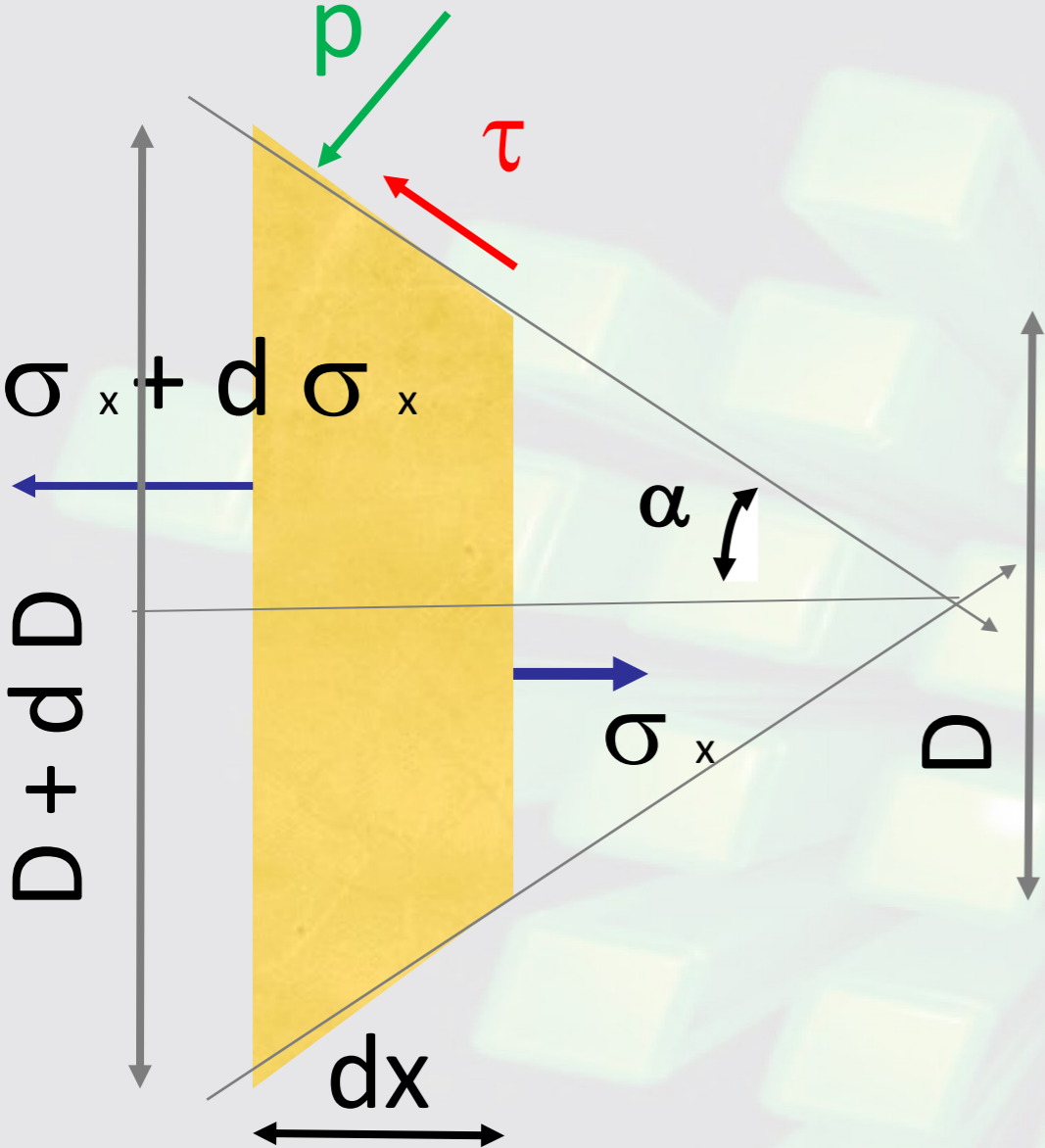
$$\sigma_d = \Phi \bar{Y} \left( 1 + \frac{\mu}{\alpha} \right) \ln \left( \frac{A_o}{A_f} \right)$$

Fattore di disomogeneità

$$\Phi = 1 + 0.12 \left( \frac{h}{L} \right)$$



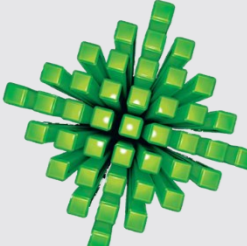
# Slab trafilatura 1/5



$$(\sigma_x + d\sigma_x) \frac{\pi}{4} (D + dD)^2 - \sigma_x \pi \frac{D^2}{4} + p\pi D \sin \alpha \frac{dx}{\cos \alpha} + \mu p \pi D dx \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha} = 0$$

$$(\sigma_x + d\sigma_x) \frac{1}{4} (D^2 + 2DdD + dD^2) - \sigma_x \frac{D^2}{4} + pD dx \tan \alpha + \mu p D dx = 0$$

$$D d\sigma_x + 2\sigma_x dD + 2pdD \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) = 0$$



## Slab trafilatura 2/5

Essendo in condizioni di assialsimmetria avremo con buona approssimazione (cioè trascurando l'effetto dell'attrito sulle tensioni principali)  $\sigma_r = \sigma_\theta = -p$

Quindi applicando il criterio di von Mises

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$$

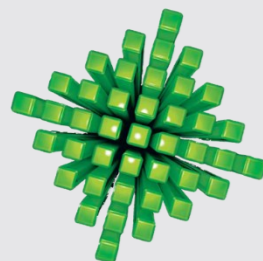
ottengo

$$(\sigma_x + p)^2 + (-p + p)^2 + (-p - \sigma_x)^2 = 2Y^2$$

$$2(\sigma_x + p)^2 = 2Y^2$$

$$(\sigma_x + p) = Y$$

$$p = Y - \sigma_x$$





# Slab trafilatura 3/5

$$Dd\sigma_x + 2\sigma_x dD + 2(Y - \sigma_x)dD \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) = 0$$

$$Dd\sigma_x + 2\sigma_x dD + 2YdD \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) - 2\sigma_x \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) dD = 0$$

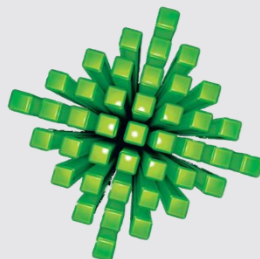
$$Dd\sigma_x + dD \left(2\sigma_x - 2\sigma_x - \frac{2\mu\sigma_x}{\tan \alpha}\right) + 2YdD \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) = 0$$

$$Dd\sigma_x = dD \left(\frac{2\mu\sigma_x}{\tan \alpha} - 2Y \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right)\right)$$

$$\frac{d\sigma_x}{\frac{2\mu\sigma_x}{\tan \alpha} - 2Y \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right)} = \frac{dD}{D}$$

$$\frac{d\sigma_x}{2\sigma_x B - 2Y(1 + B)} = \frac{dD}{D} \quad \text{dove } B = \frac{\mu}{\tan \alpha}$$

- $z = 2\sigma_x B - 2Y(1 + B)$
- $dz = 2Bd\sigma_x$





# Slab trafilatura 4/5

$$\frac{1}{2B} \frac{dz}{z} = \frac{dD}{D}$$

$$\frac{1}{2B} \ln(z) = \ln(D) + \ln(C) = \ln(CD)$$

$$z = C D^{2B}$$

$$2\sigma_x B - 2Y(1+B) = C D^{2B}$$

Per

$$D = D_0 \quad \sigma_x = 0$$

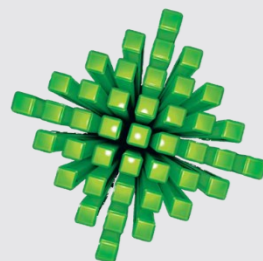
$$D = D_f \quad \sigma_x = \sigma_{\text{trafilatura}}$$



e dalla prima ottengo  
 $-2Y(1+B) = C D_0^{2B}$

cioè

$$C = -\frac{2Y(1+B)}{D_0^{2B}}$$

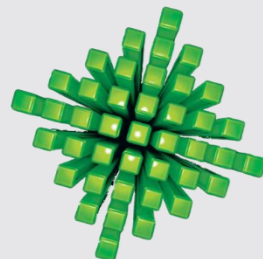


# Slab trafilatura 5/5

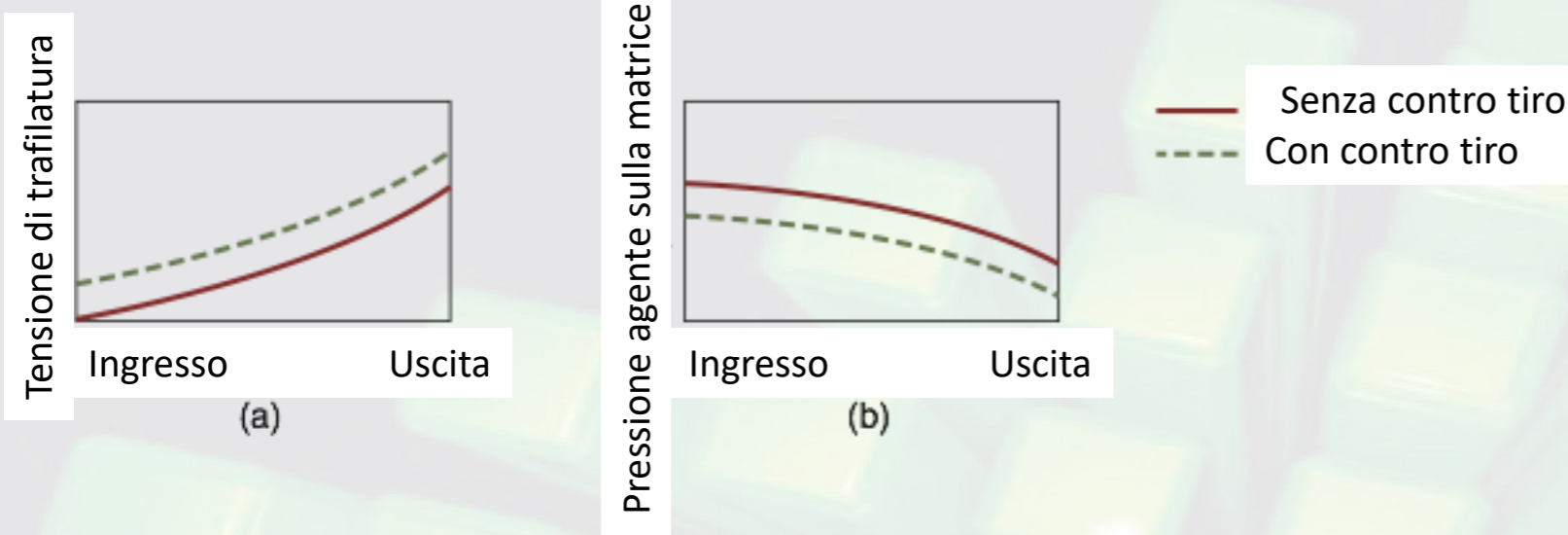
$$2\sigma_x B - 2Y(1+B) = -\frac{2Y(1+B)}{D_0^{2B}} D^{2B}$$

$$\sigma_x = Y \left( \frac{1+B}{B} \right) \left[ 1 - \left( \frac{D}{D_0} \right)^{2B} \right]$$

$$\begin{aligned} \sigma_{trafilatura} &= Y \left( \frac{1+B}{B} \right) \left[ 1 - \left( \frac{D_f}{D_0} \right)^{2B} \right] = \\ &= Y \left( \frac{1+B}{B} \right) \left[ 1 - \left( \frac{A_f}{A_0} \right)^{\mu \cot \alpha} \right] \end{aligned}$$



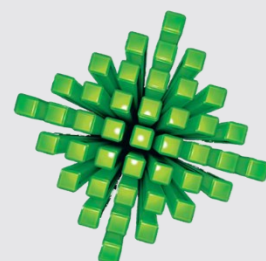
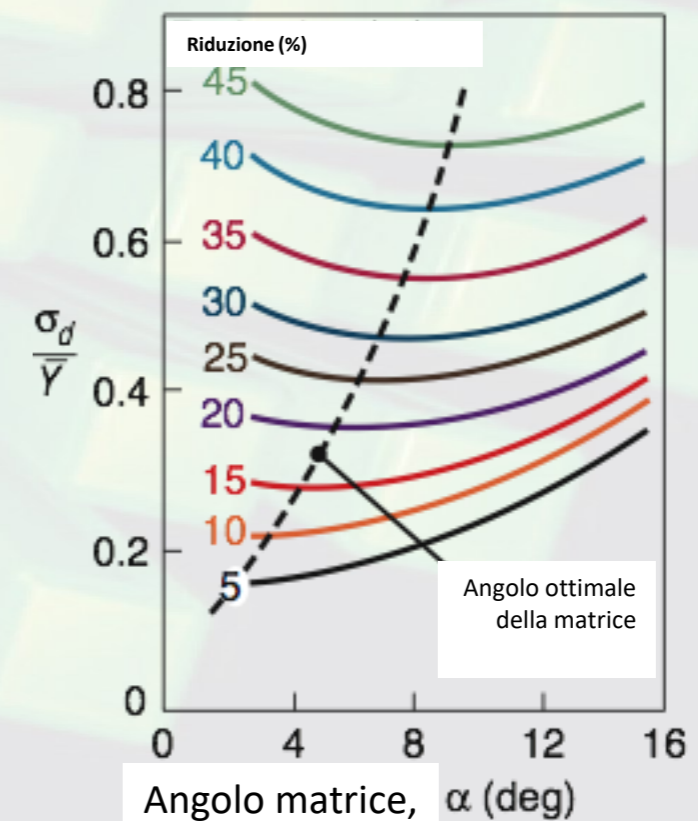
# Tensione di trafilatura



L'effetto della riduzione nella sezione trasversale **sull'angolo ottimale** (3-10°) della matrice di trafilatura.

Variation in the  
(a) Drawing tension and  
(b) Contact pressure with the matrix along the zone of deformation.

As the drawing tension increases, the contact pressure with the matrix decreases. Note also the effect of the tension that pulls back (back tension or back tension) on the drawing tension and the pressure.





# Difetti nella trafilatura

**Chevron cracks:** aumentano se

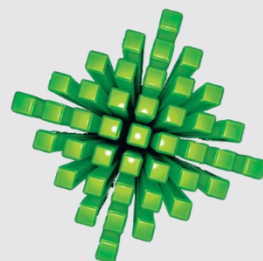
- Se cresce  $\alpha$
- Per piccole riduzioni
- In presenza di inclusioni
- Quando aumenta l'attrito

**Pieghe longitudinali:** sono dei graffi longitudinali apparentemente chiusi nella trafilatura, che possono riaprirsi in fasi successive

**Tensioni residue**

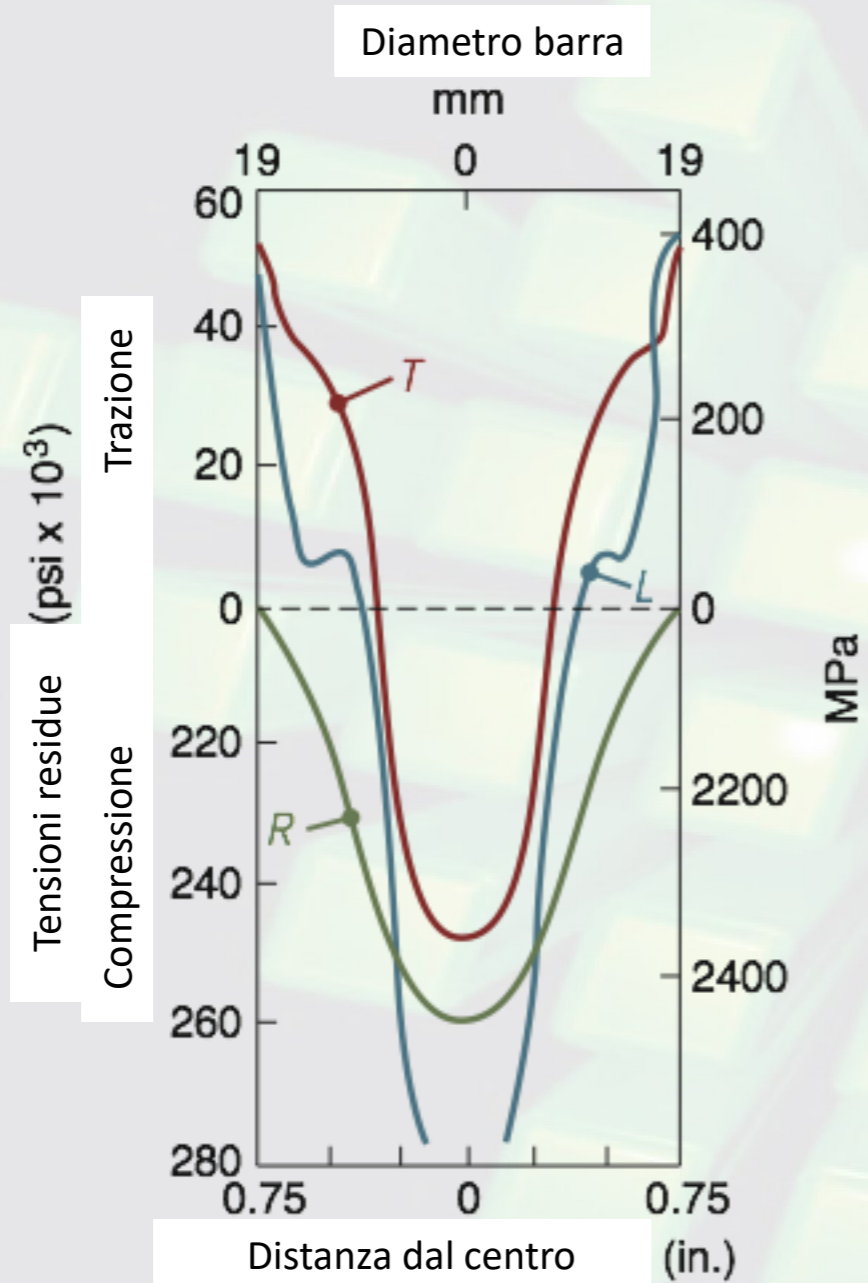
## Caratteristiche processo

- $\alpha$  6°-15°
- Riduzione per passo 10%-45%
- Velocità 0.15-50 m/s
- Di solito con più passi di trafilatura (rispetto all'estrusione) con dei cilindri intermedi (**CAPSTAN**) sui quali si avvolge il filo/barra per regolare sia la tensione di trafilatura che quella indietro





# Tensioni Residue nella Trafilatura

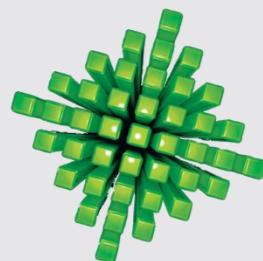


Tensioni residue nella trafilatura a freddo di una barra cilindrica di acciaio:

**T= direzione trasversale**

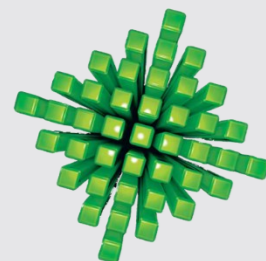
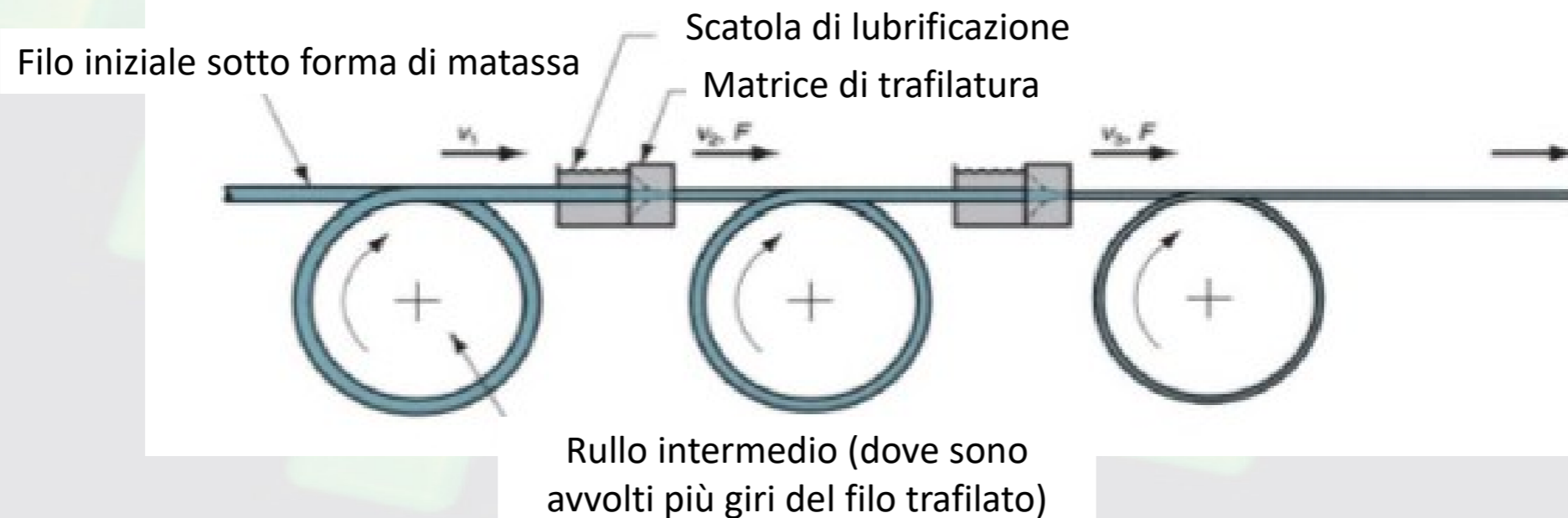
**L= direzione longitudinale**

**R= direzione radiale.**



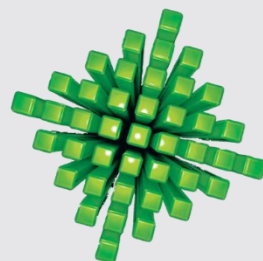
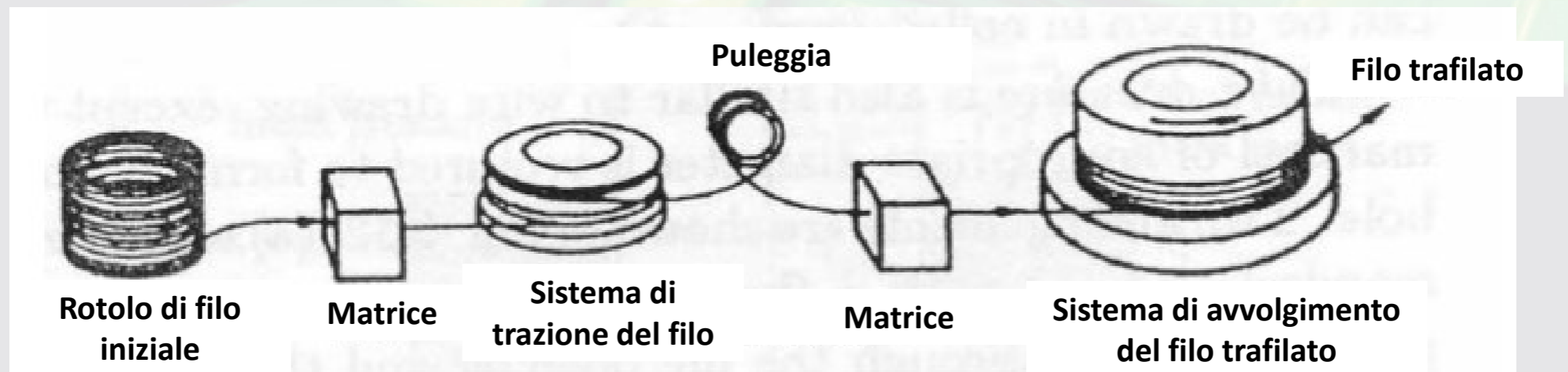
# Trafilatura di filo

- **Trafilatura di fili sottili** di solito si riferisce alla trafilatura di fili cilindrici con un diametro inferiore a 0.1 mm.
- **Trafilatura di fili ultra sottili** di solito si riferisce alla trafilatura di fili cilindrici con un diametro fino a 0.0025 mm.

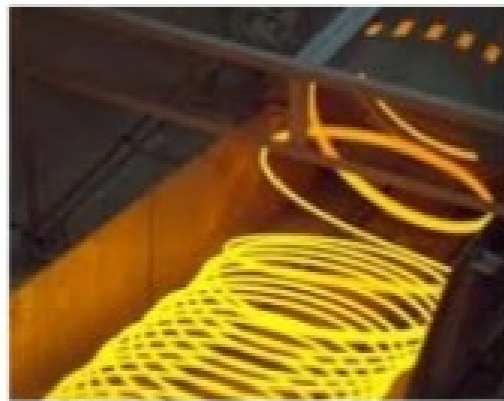


# Trafilatura di filo

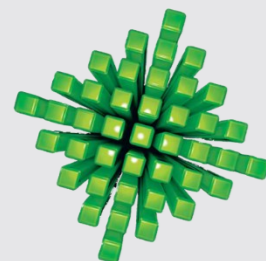
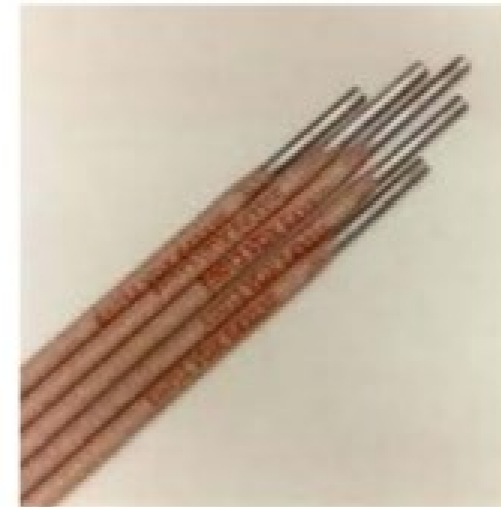
- La ricottura di rinvenimento prima di ogni operazione di trafilatura consente un'elevata riduzione della sezione (**tale ricottura è talvolta richiesta tra matrici di trafilatura successive per annullare l'effetto di incrudimento**). La ricottura è in generale necessaria per materiali incrudenti che devono essere trafilati a freddo per mantenere una sufficiente duttilità del materiale ed evitare rotture.
- Matrici di Carburo di Tungsteno sono usate per trafilare fili duri e matrici di diamante per fili sottili.



# Prodotti mediante trafilatura di filo



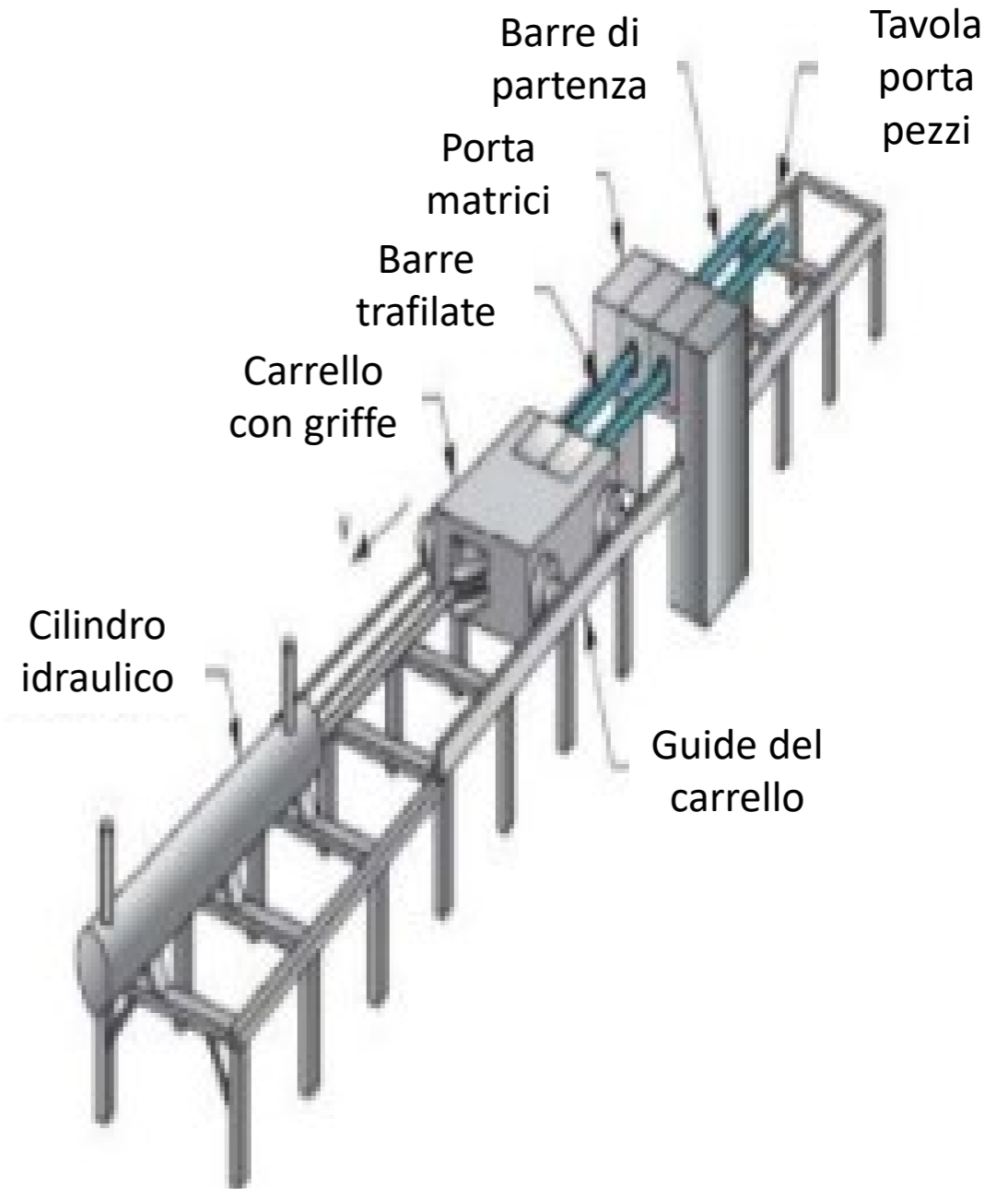
Prof. Naman M. Dave



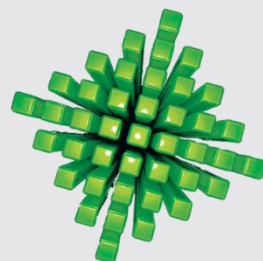


# Trafilatura di barra

- La riduzione della sezione si colloca tra il 20% e il 50% in funzione della duttilità del materiale perché con riduzioni maggiori si può superare la resistenza a trazione del materiale.
- Per ottenere quindi certe forme o dimensioni è necessario operare diversi passi di trafilatura attraverso una serie di matrici sempre più piccole ed eventualmente operando delle ricotture intermedie.

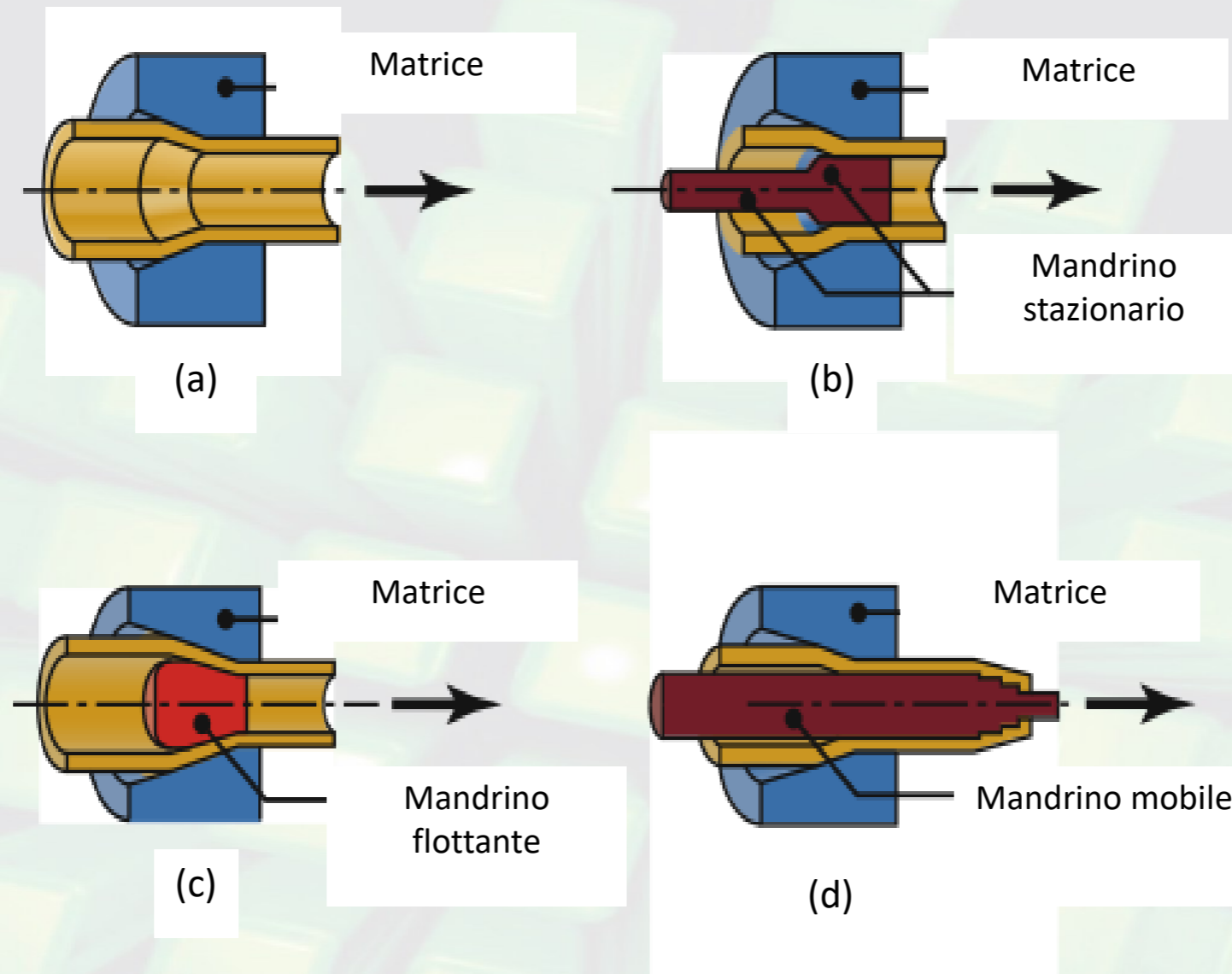


**Banco di trafilatura**



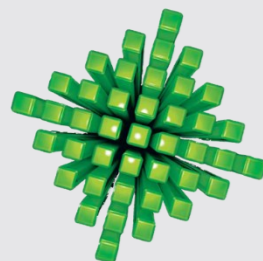


# Operazioni di Trafilatura di Tubi



Esempi della trafilatura di tubi

- a) Senza mandrino
- b) Con mandrino stazionario
- c) Con mandrino flottante
- d) Con mandrino mobile



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

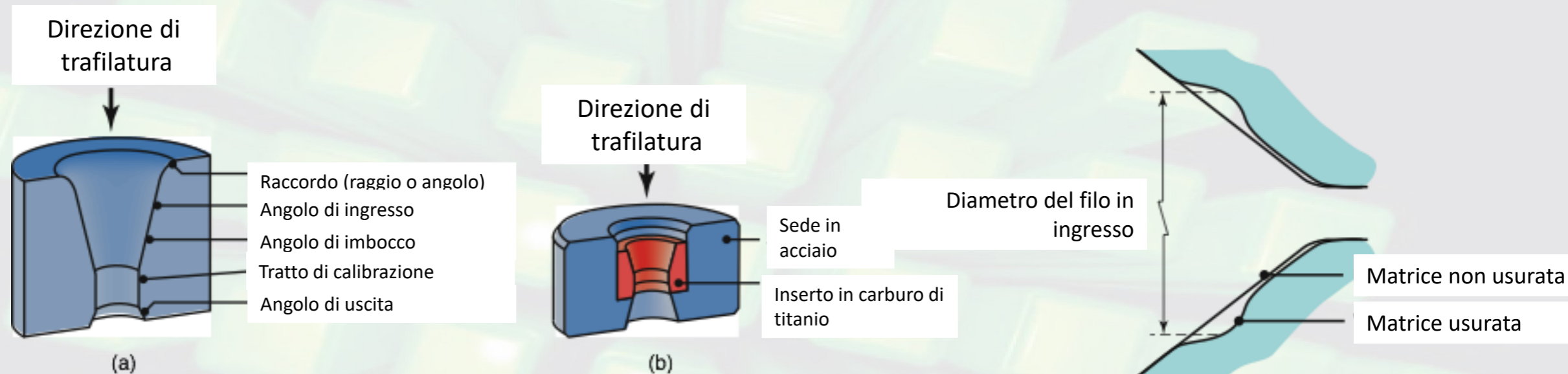
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

# Matrici di Trafilatura

## Materiali matrici

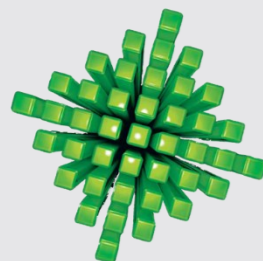
- Acciai da utensili
- Inserti di carburi sinterizzati supportati da sedi di acciaio
- Inserti di diamante supportati da sedi di acciaio



(a) Terminologia usata in una tipica matrice per la trafilatura di barre o fili cilindrici

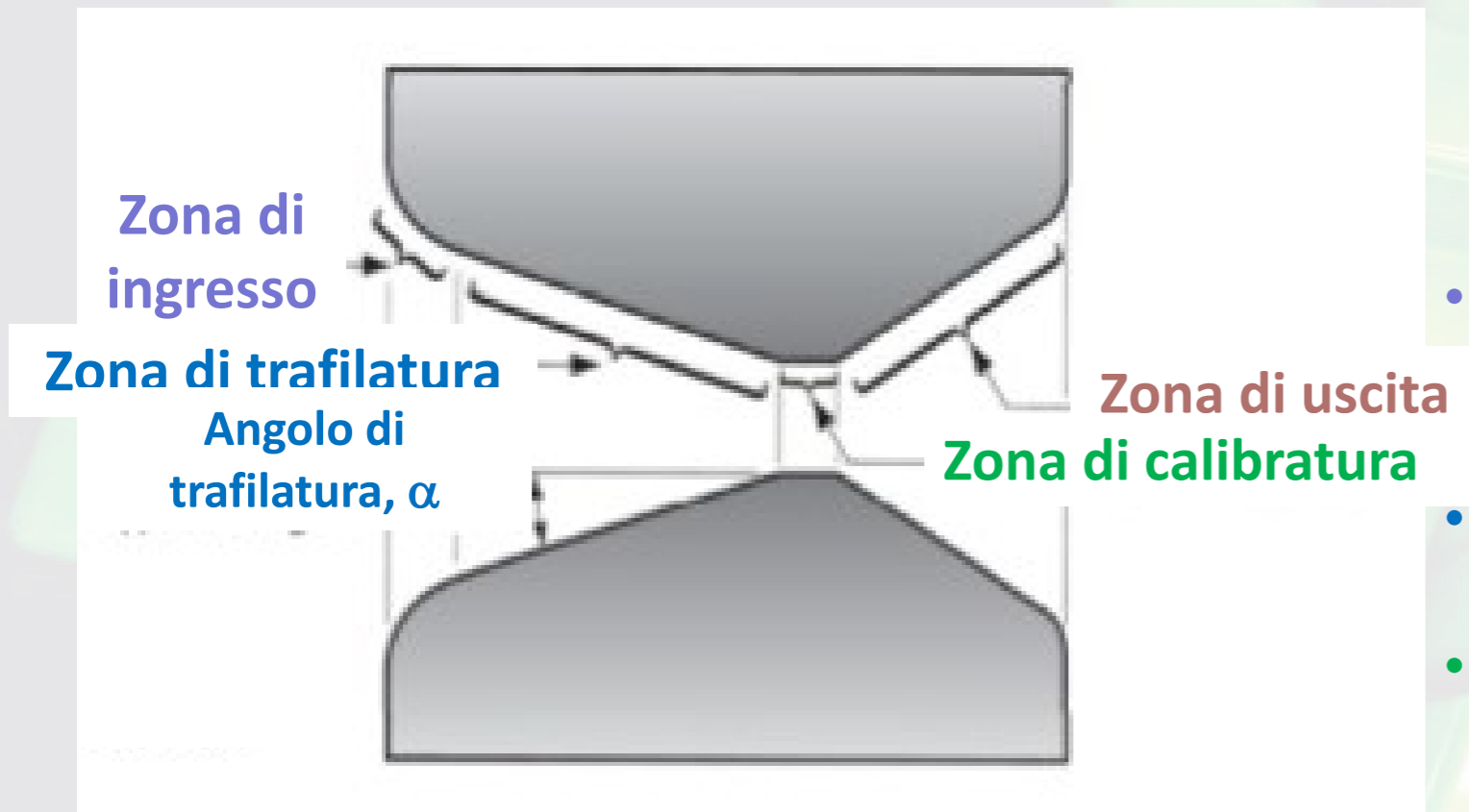
(b) Inserto in carburo di tungsteno in una sede di acciaio. Anche le matrici al diamante utilizzate nella trafilatura di fili sottili vengono inserite in una sede di acciaio in modo analogo.

Rappresentazione schematica dell'usura in una matrice di trafilatura.

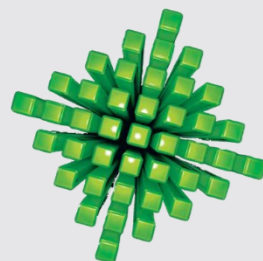




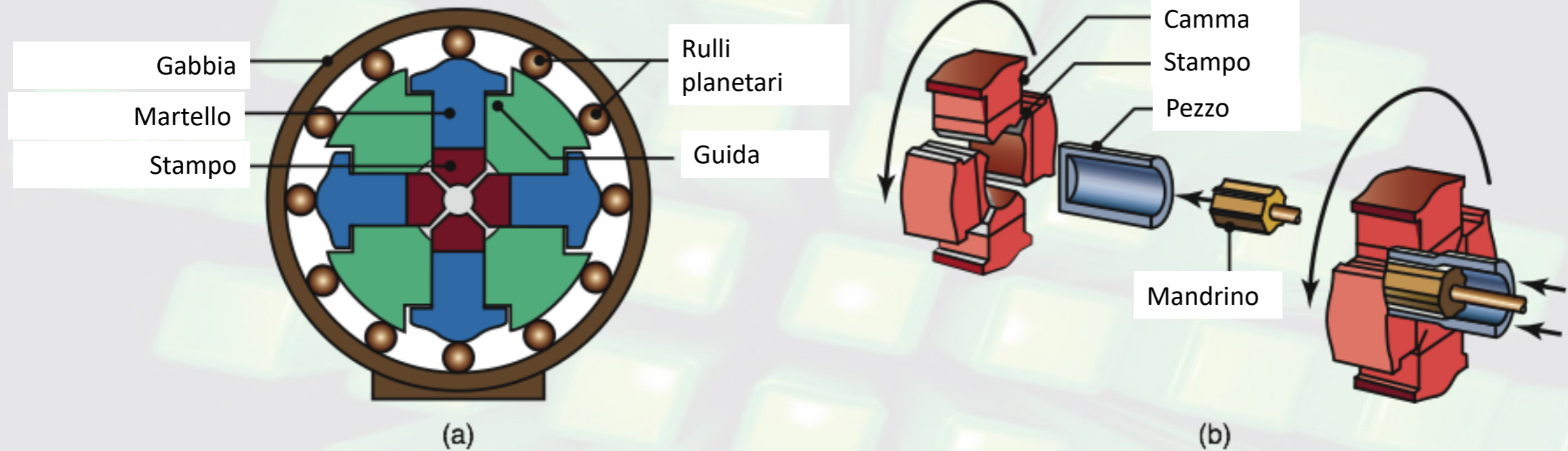
# Matrici di Trafilatura



- **Zona di ingresso** – incanala il lubrificante nella matrice per impedire che il pezzo graffi la matrice
- **Zona di trafilatura** – zona a tronco di cono dove avviene la trafilatura
- **Zona di calibratura** – determina la dimensione finale del pezzo garantendo che anche in presenza di usura della matrice il pezzo esca sempre con le stesse dimensioni
- **Zona di uscita** – se l'uscita della matrice avesse un spigolo vivo potrebbe «sbarbare» il filo trafilato producendo particelle fini o polveri che potrebbero
  - Inquinare il lubrificante
  - Intasare l'ingresso della successiva matrice

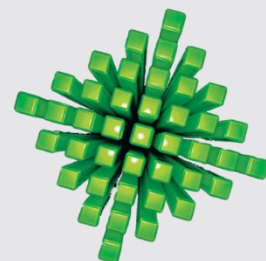


# Stampaggio Rotazionale o Stampaggio Radiale (Rotary Swaging)



(a) Rappresentazione schematica del processo di stampaggio radiale.

(b) Formatura interna di profili in un componente tubolare mediante stampaggio radiale.



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

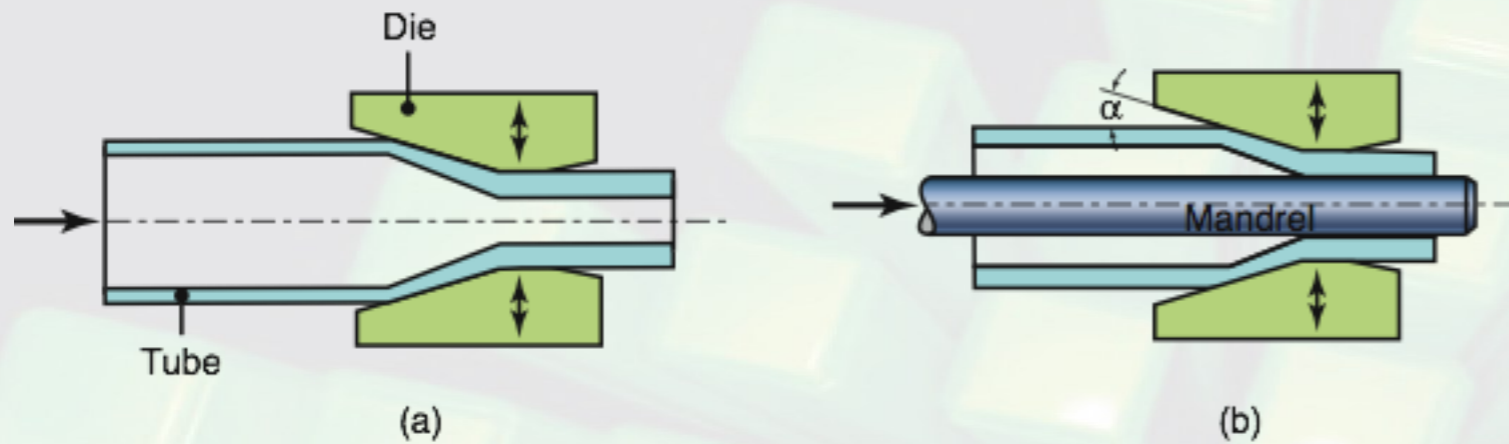
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

# Stampaggio Radiale o Stampaggio Rotazionale (Rotary Swaging)

Riduzione del diametro esterno e/o interno mediante stampaggio rotazionale

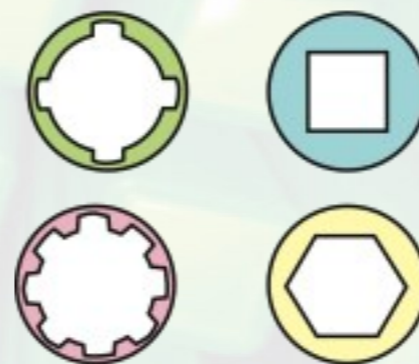


**(a) Stampaggio rotazionale senza mandrino interno.** La parte terminale di barre e fili sono ridotte di diametro grazie a questo processo per renderle coniche in modo che risultino idonee ad essere utilizzate in un processo di trafilatura per essere inserite in una matrice conica di trafilatura.

**(b) Stampaggio rotazionale con mandrino interno.** Tubi coassiali di differenti materiali possono essere stampati radialmente in un'unica operazione.

(a) Tipiche sezioni trasversali ottenute con stampaggio rotazionale operante su sbazzati tubolari con spessore della parete costante ed usando un mandrino interno.

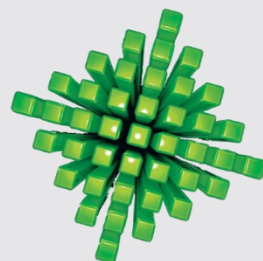
(b) Tipiche parti prodotte mediante stampaggio rotazionale.



(a)



(b)



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

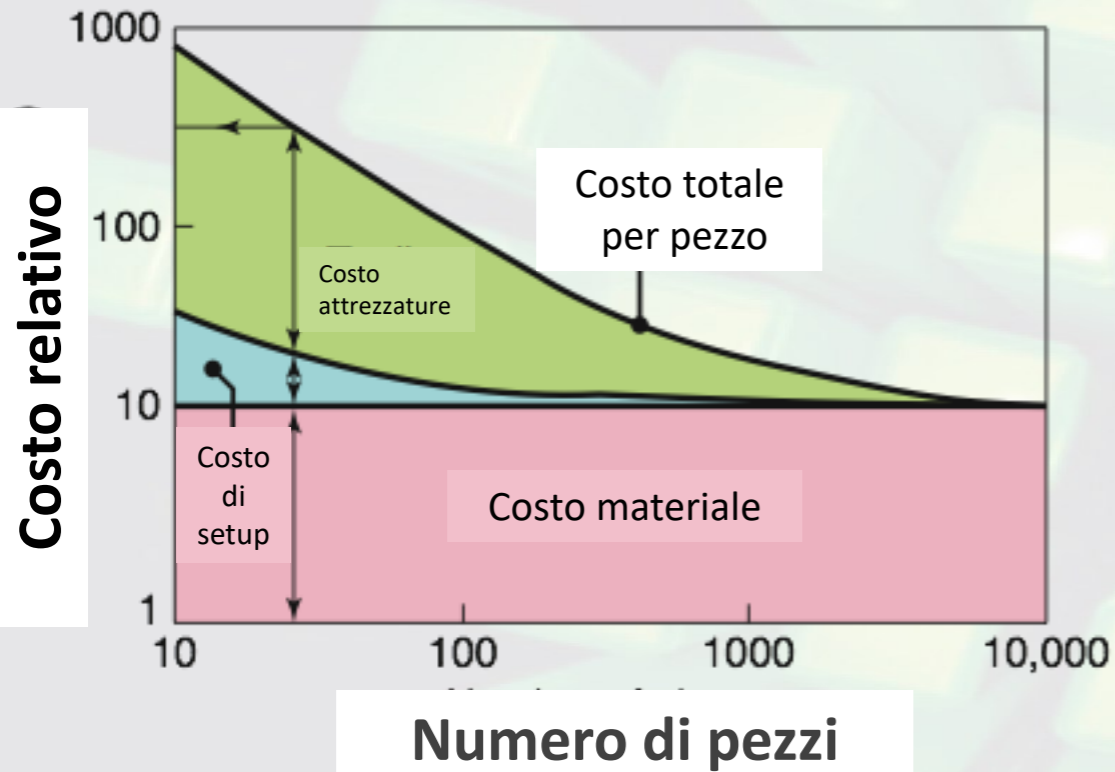
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

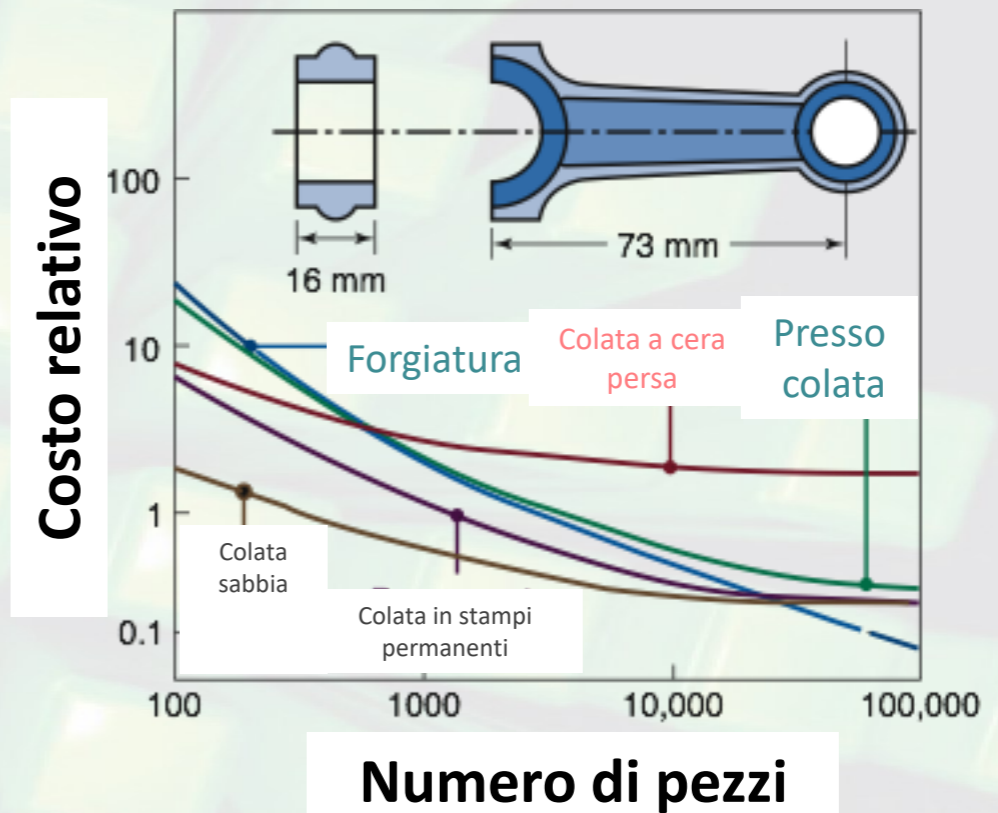
ISBN No. 0-13-227271-7



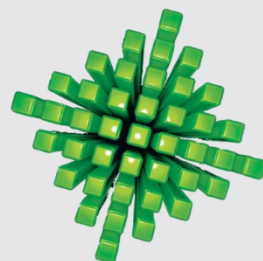
# Costi nella Formatura



Costo unitario (costo per pezzo) nella forgiatura. Da notare che i costi di setup e delle attrezzature diminuiscono al crescere del numero di pezzi forgiati, se tutti i pezzi usano la stessa matrice.



Costo unitario o costo relativo di una piccola biella prodotta con differenti processi produttivi (forgiatura e colata). Da notare che per grandi quantità la forgiatura è il processo più economico. La colata in terra risulta invece il più economico per quantità inferiori a 20000 pezzi.





# Caso di studio: componenti delle sospensioni di un'automobile



La Lotus Elise Series 2 automobile sportiva

## Componenti nelle sospensioni della automobile Lotus Elise Series 2.

Identificazione	Descrizione	Massa (kg)	Costo (\$)
<p>Benchmark</p>	Alluminio estruso Braccetto in acciaio Boccola ed alloggiamento	2.105	85
<p>Fase I</p>	Acciaio forgiato	2.685 (+28%)	27.7 (-67%)
<p>Fase II</p>	Acciaio forgiato	2.493 (+18%)	30.8 (-64%)

