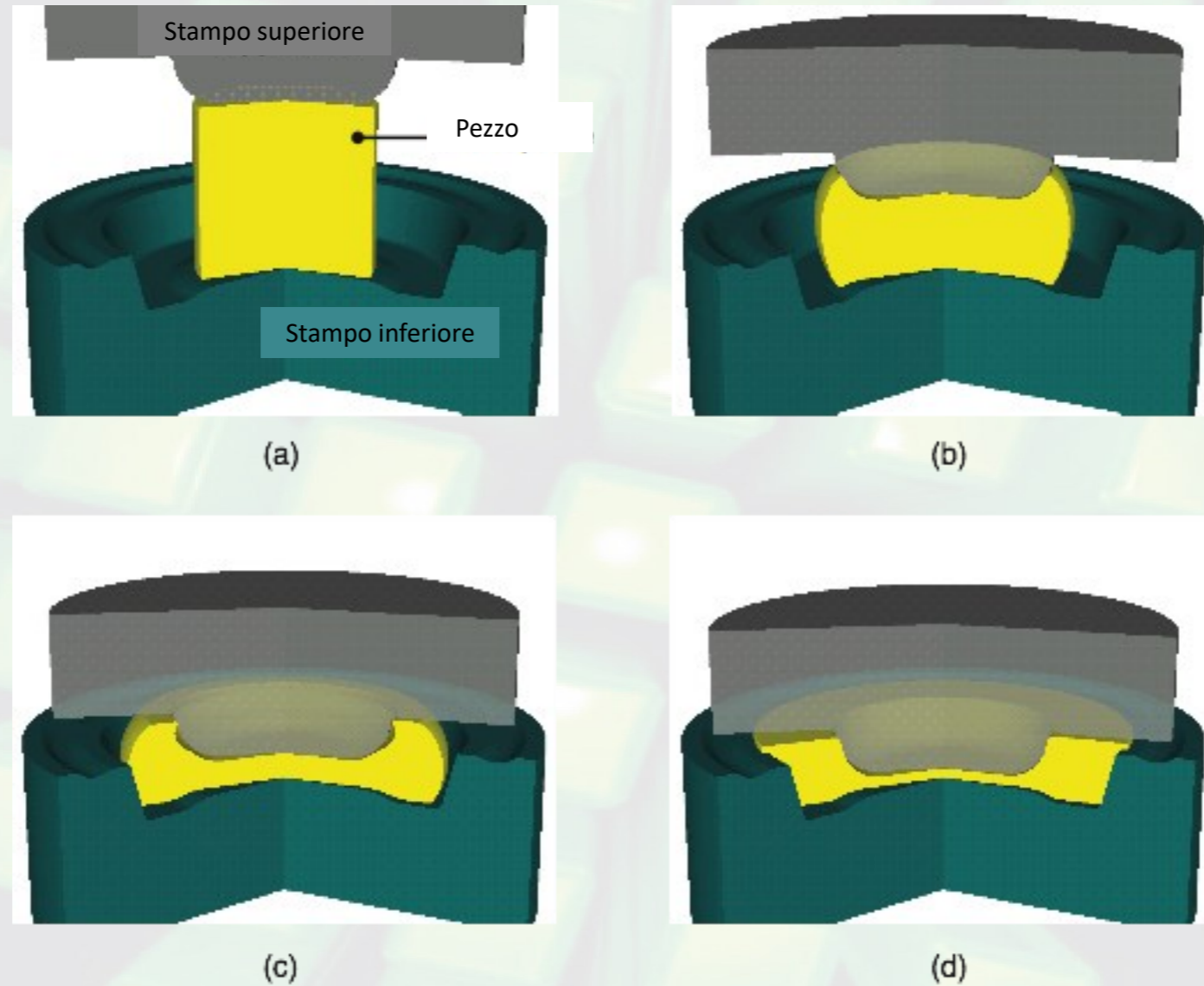
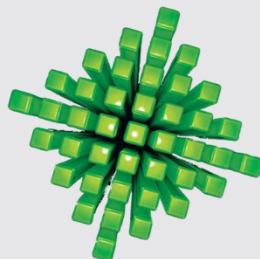


# Analisi agli Elementi Finiti



Deformazione dello sbozzato come prevista dal software DEFORM



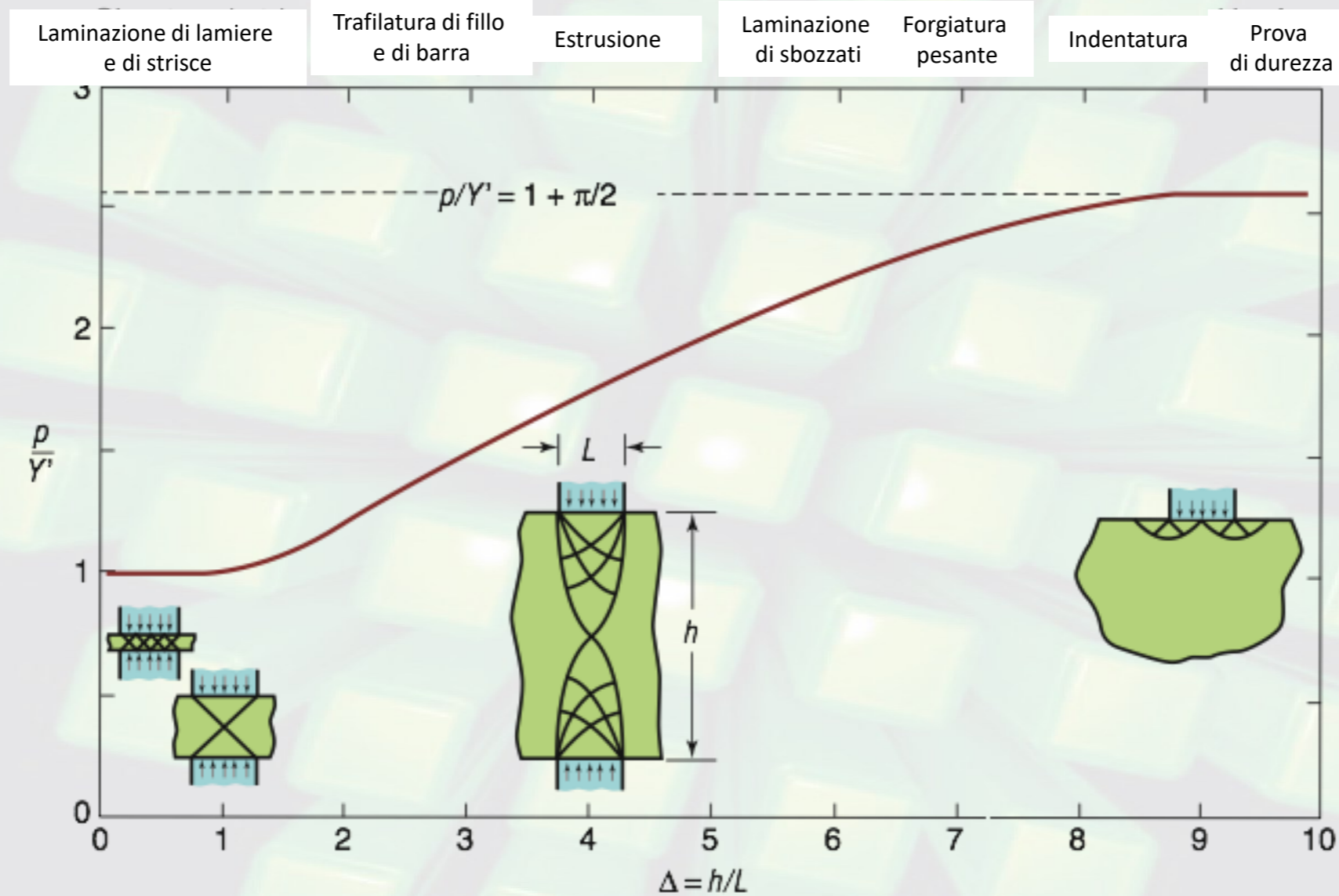
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

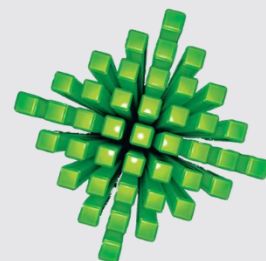
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

# Pressione sullo stampo per diversi processi produttivi in assenza di attrito (tecnica delle slip lines)



Pressione richiesta in diverse operazioni di lavorazione dei metalli in condizioni di deformazione piana e in assenza di attrito ottenuta dall'analisi delle slip-line



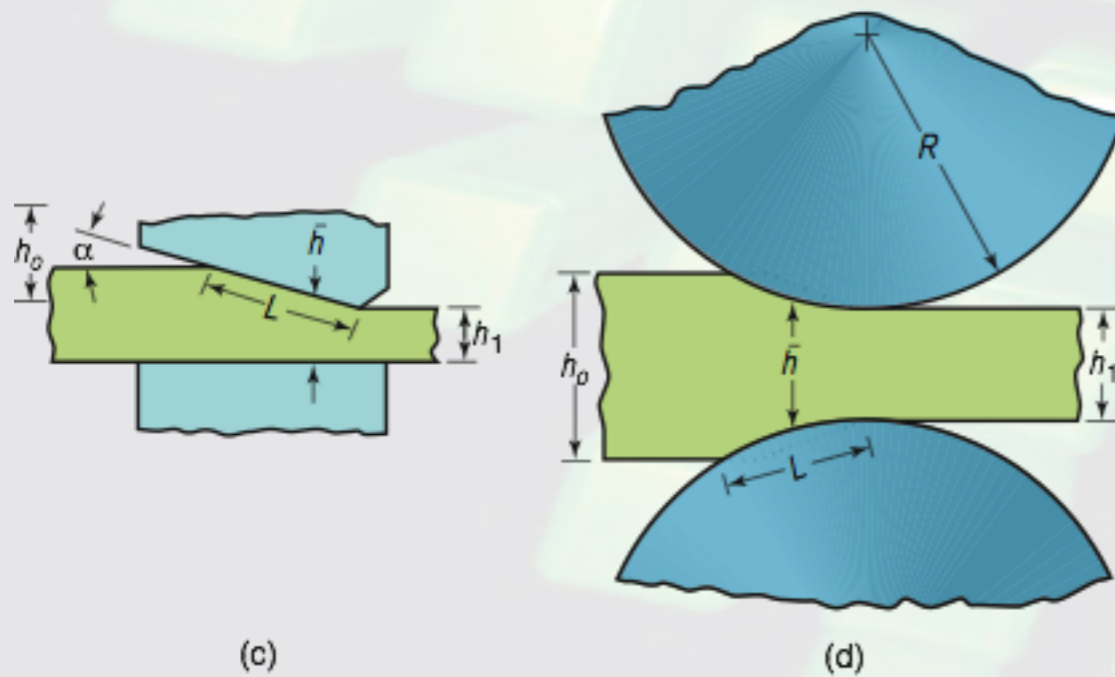
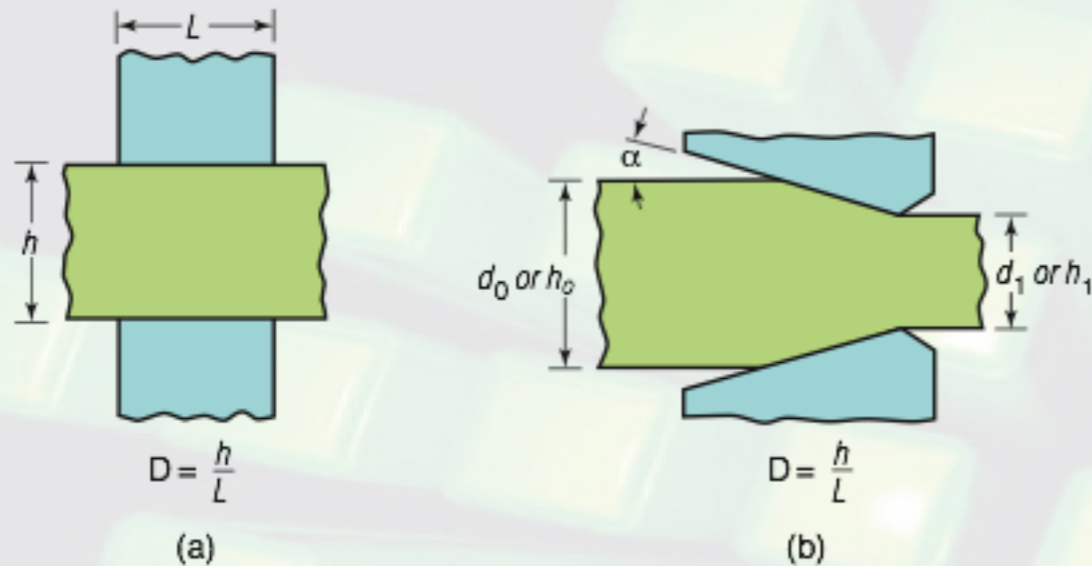
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

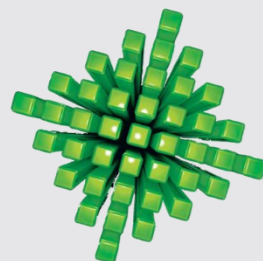
ISBN No. 0-13-227271-7

# Esempi di Deformazione Piana

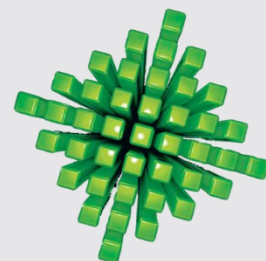


Esempi di processi di deformazione plastica in condizioni di deformazione piana per diversi valori del rapporto  $h/L$ .

- (a) Indentatura con stampi piatti, operazione simile alla spianatura.
- (b) Trafilatura o estrusione di una striscia grazie a stampo a forma di cono.
- (c) Stiratura.
- (d) Laminazione

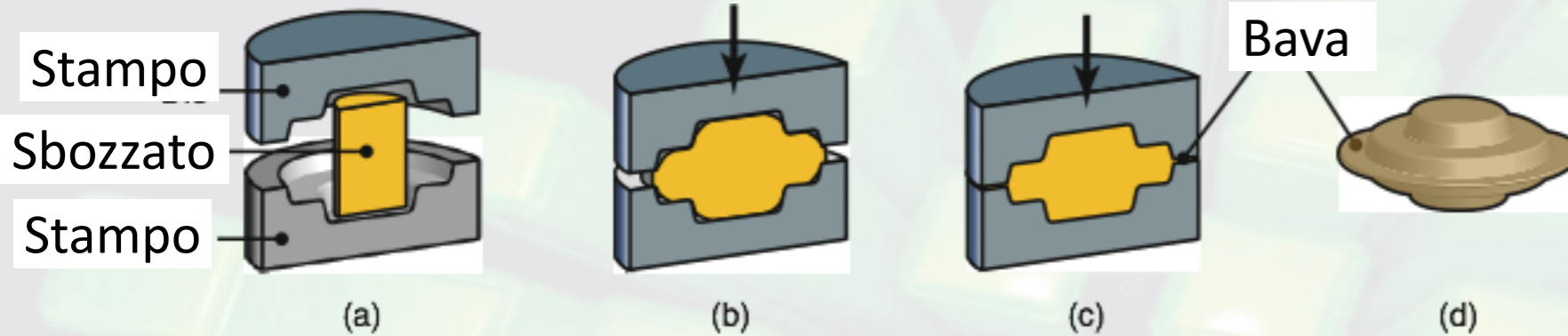


# Forgiatura



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

# Forgiatura



Passi della forgiatura con formazione della bava (che poi dovrà essere asportata).

## Forza di forgiatura

$$F = K_p Y_f A$$

### Valori di $K_p$ nella forgiatura

Forma semplice senza bava	3-5
Forma semplice con bava	5-8
Forma complessa con bava	8-12

dove

- $K_p$  fattore di complessità dello stampo
- $Y_f$  tensione di flusso del materiale
- $A$  area proiettata del forgiato includendo il canale di bava

Il canale di bava è caratterizzato dal **rapporto  $L/h$**  dove  $h$  è lo spessore ed  $L$  la larghezza. Tale rapporto risulta elevato provocando

- **Elevate pressioni**
- **Elevata resistenza allo scorrimento radiale** causata dall'attrito



### Favorisce la pressurizzazione della cavità

**NB** Se l'operazione è a caldo la bava si raffredda prima grazie all'elevato rapporto tra superficie e volume quindi la tensione richiesta per deformare la bava è maggiore di quella del cuore che è più caldo

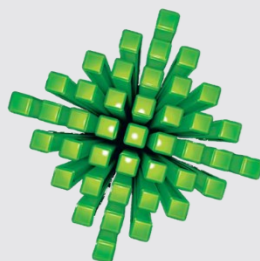
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

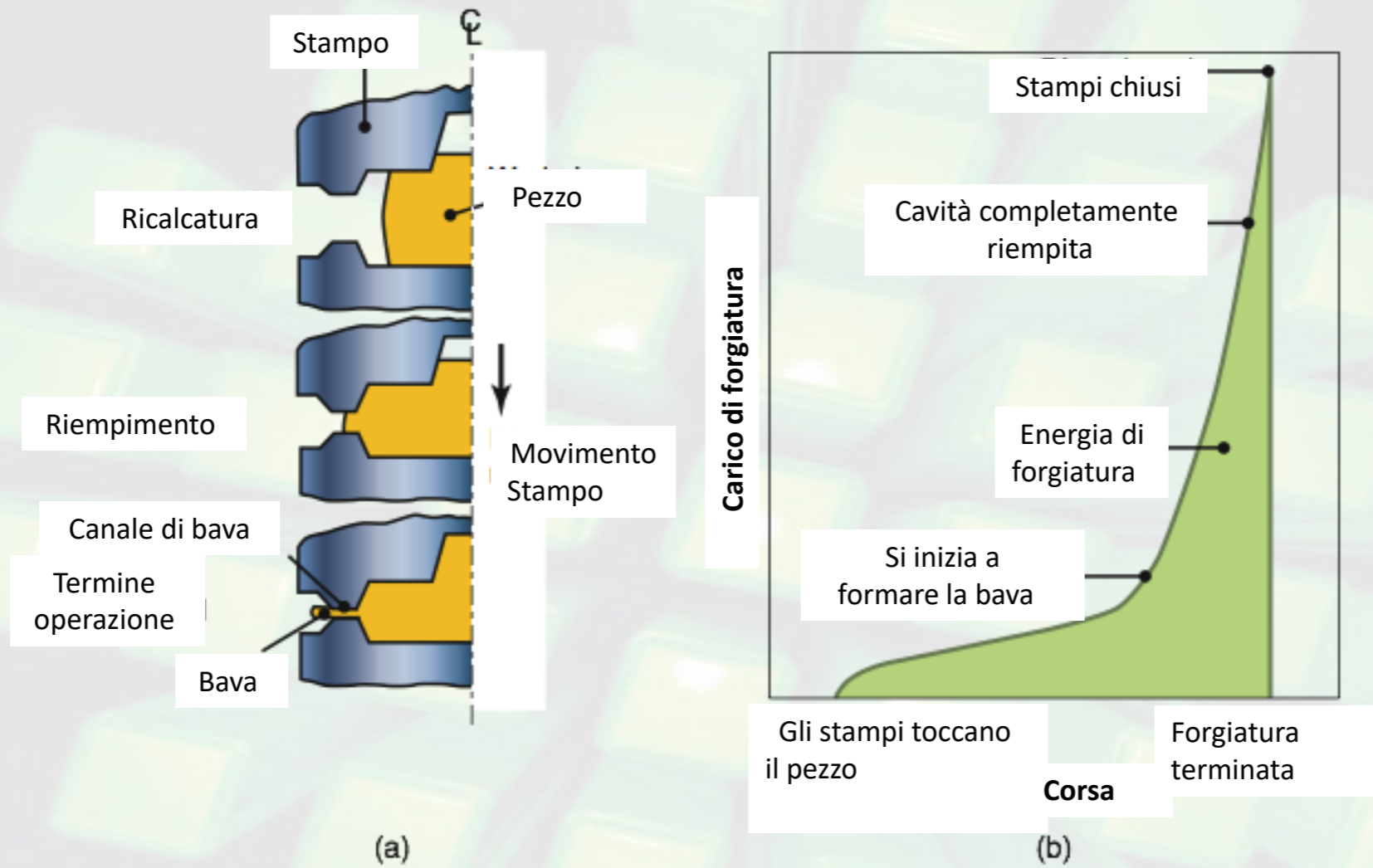
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

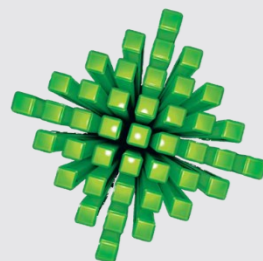
La tensione di flusso  $Y_f$  varia da punto a punto in quanto cambiano  $T$ ,  $\dot{\epsilon}$ ,  $\epsilon$  quindi sarebbe bene suddividere il pezzo in zone dove tali valori sono abbastanza costanti e ottenere la forza di forgiatura  $F = \sum F_i$



# Curva Carico - Corsa

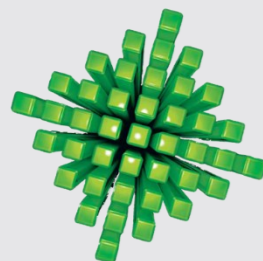


Notare il rapido aumento del carico quando inizia a formarsi la bava

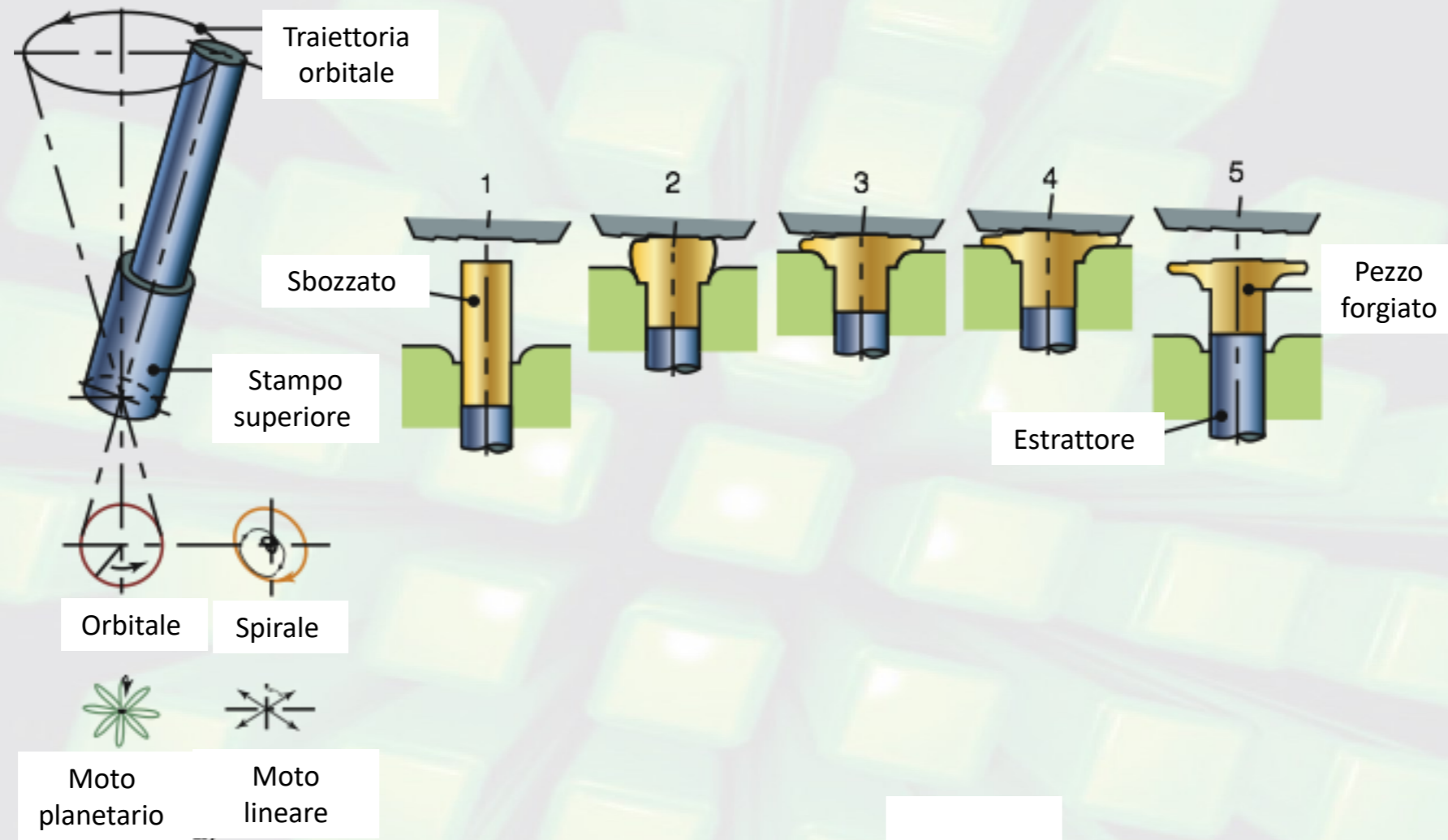


# Formatura in stampi chiusi (senza bava)

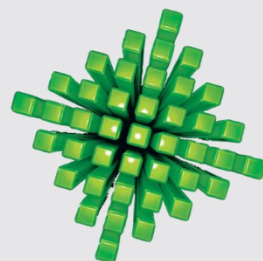
- **Forgiatura di precisione** o near-net-shape
  - Preciso controllo dello sborzato di partenza
  - Richiede maggiori forze e potenze
  - I pezzi formati risultano più accurati e precisi
- **Forgiatura isoterma**
  - gli stampi in leghe di Ni sono alla stessa temperatura del forgiato
  - Il forgiato non si raffredda e mantiene la propria tensione di flusso



# Forgiatura Orbitale

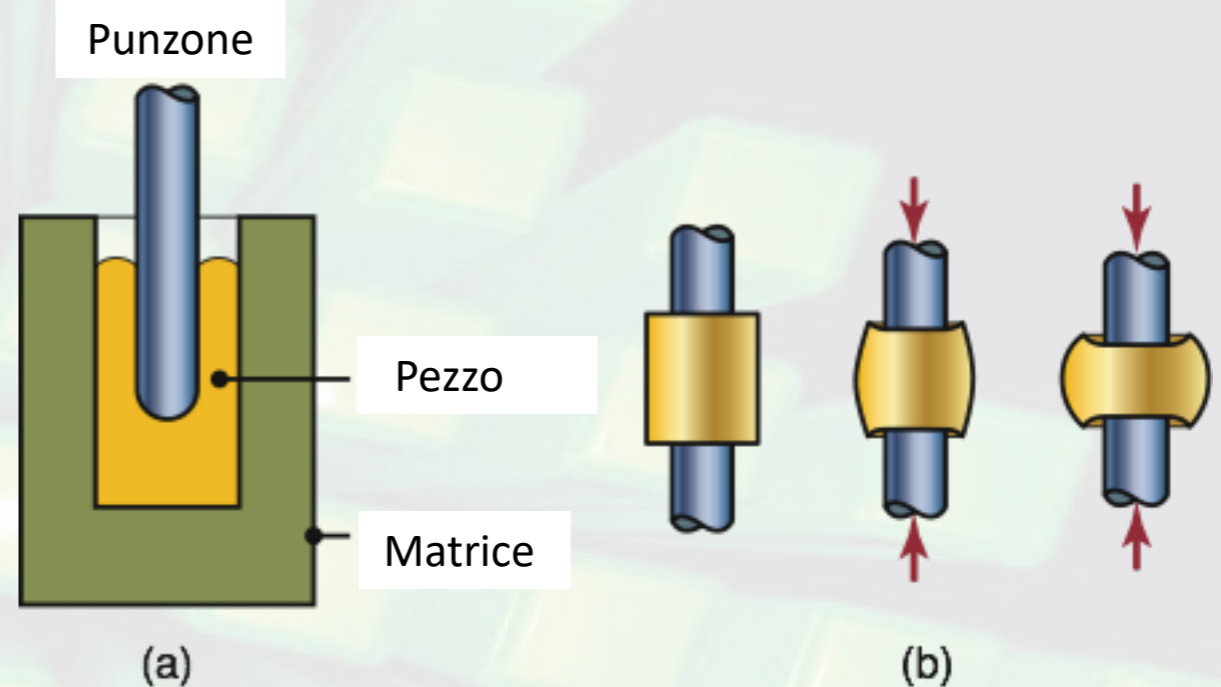
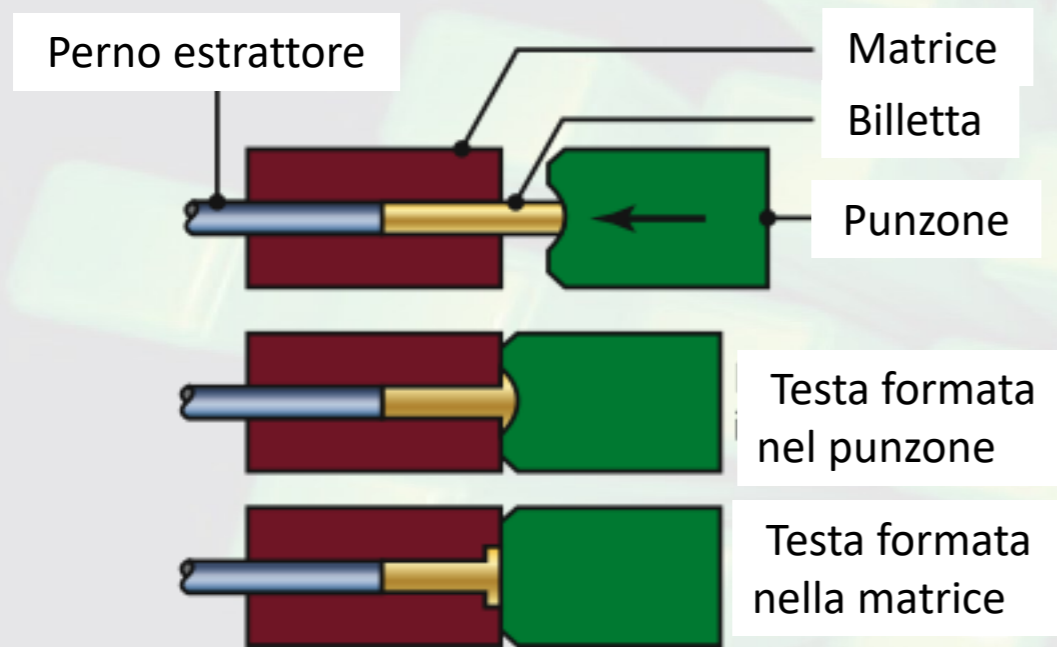


Rappresentazione schematica del processo di **Forgiatura Orbitale**. Lo stampo è in contatto con il pezzo solo in una certa zona all'istante  $t$ , zona che cambia all'istante successivo.





# Intestatura (Heading opp. Hubbing) & Indentatura (Piercing)



## Intestatura = Heading

= Formatura della testa di una vite o di un bullone o di un chiodo

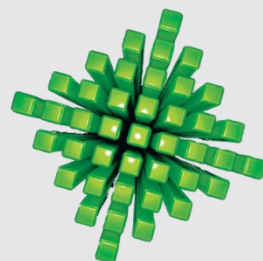
- Allargamento della sezione
- Problema dell'instabilità al carico di punta (=buckling)

## Indentatura = Piercing (a) Double Piercing (b)

= Formatura di una cavità nel pezzo

- Pressione per piccole profondità  $p_{max} = 3\sigma_f$
- Pressione per grandi profondità  $p_{max} = 4 - 5 \sigma_f$

Nel caso di **Doppia Indentatura** il pezzo viene preparato per un foro passante (il fondello del foro viene rimosso in una operazione successiva di tranciatura = *trimming*)



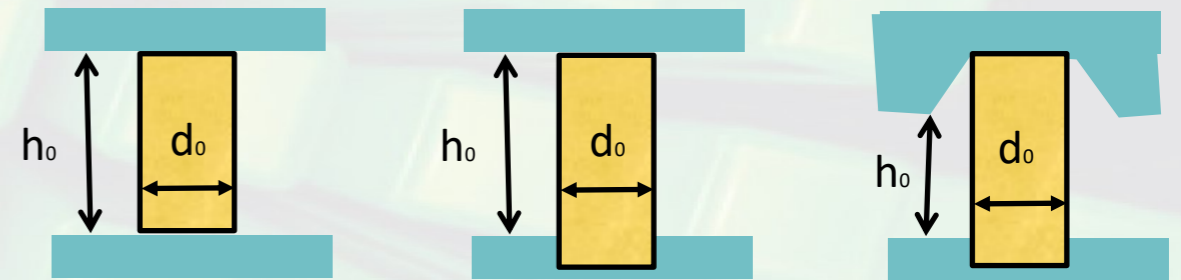
# Coniatura & Ricalcatura

- **Coniatura** = Coining

- Spesso in più passi
- In stampi chiusi
- Senza lubrificante
- Piccoli cambiamenti di forma
- Migliore qualità superficiale ed accuratezza dimensionale (=sizing)
- Pressione elevata  $p_{max} = 5 - 6 \sigma_f$

- **Ricalcatura** = Upsetting

- Allargamento della sezione
- Problema dell'Instabilità al Carico di Punta

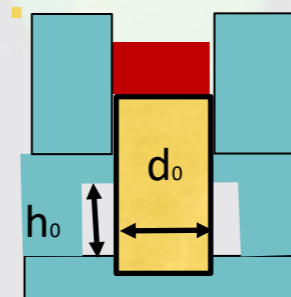


$$\frac{h_0}{d_0} \leq 2$$

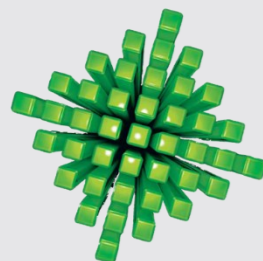
$$\frac{h_0}{d_0} \leq 3$$

$$\frac{h_0}{d_0} > 3$$

$$\frac{h_0}{d_0} \leq 1.5 \text{ se attrito basso}$$



$$\frac{h_0}{d_0} > 3$$

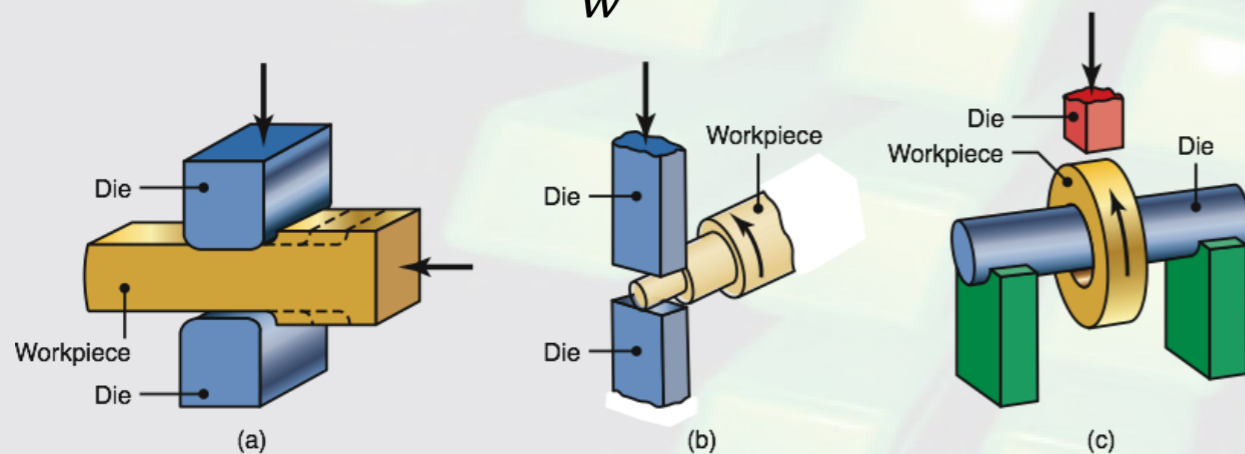


# Stiratura o spianatura alla pressa o al maglio (Cogging) e Sbozzatura (Fullering opp. Edging)

- **Stiratura o spianatura**

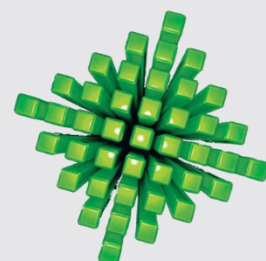
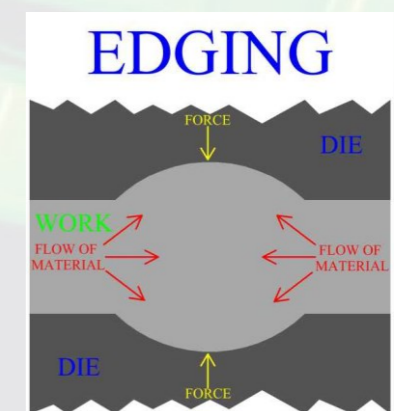
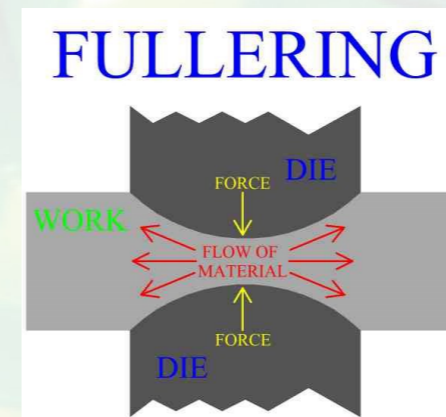
- In più passi
- Rapporto tra spessore iniziale piastra  $h_0$  e la sua larghezza  $w$

$$\frac{h_0}{w} < 1.5$$

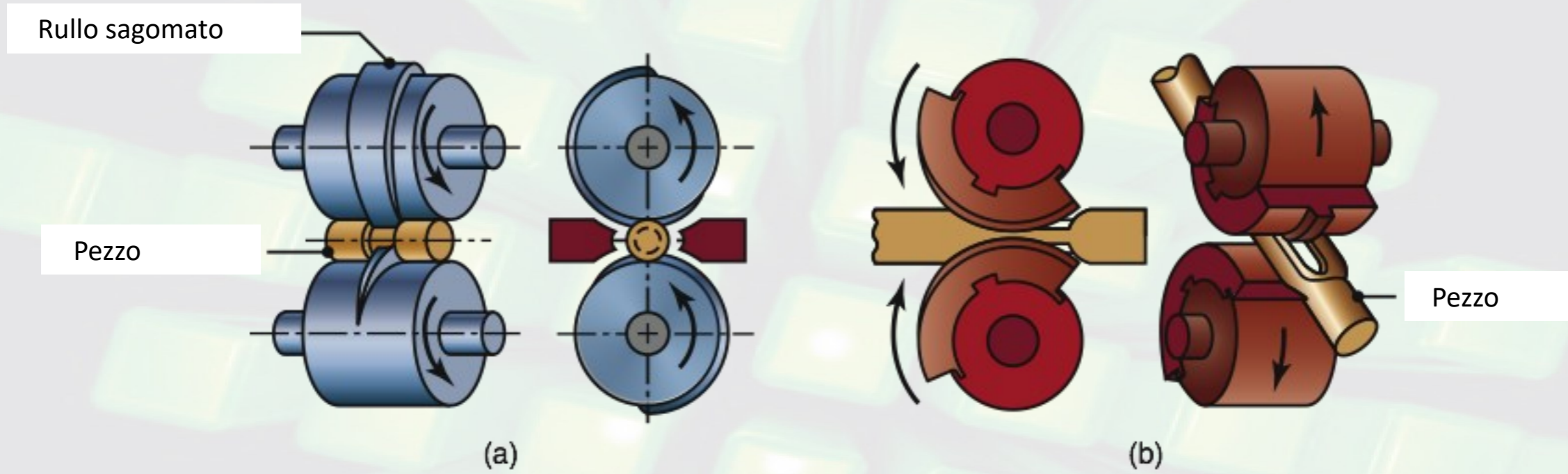


- **Sbozzatura**

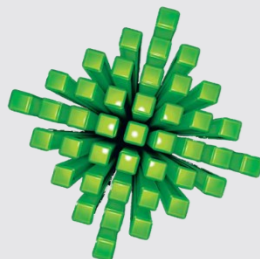
- Serve per distribuire le masse all'interno dello sbozzato
- *Fullering* dal centro verso la periferia
- *Edging* dalla periferia verso il centro



# Rullatura



Due schemi del processo di **rullatura** (*cross-rolling*).



# Difetti nei pezzi formati

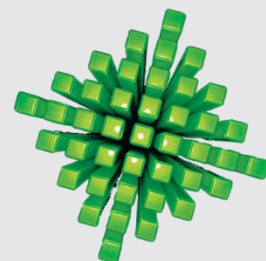
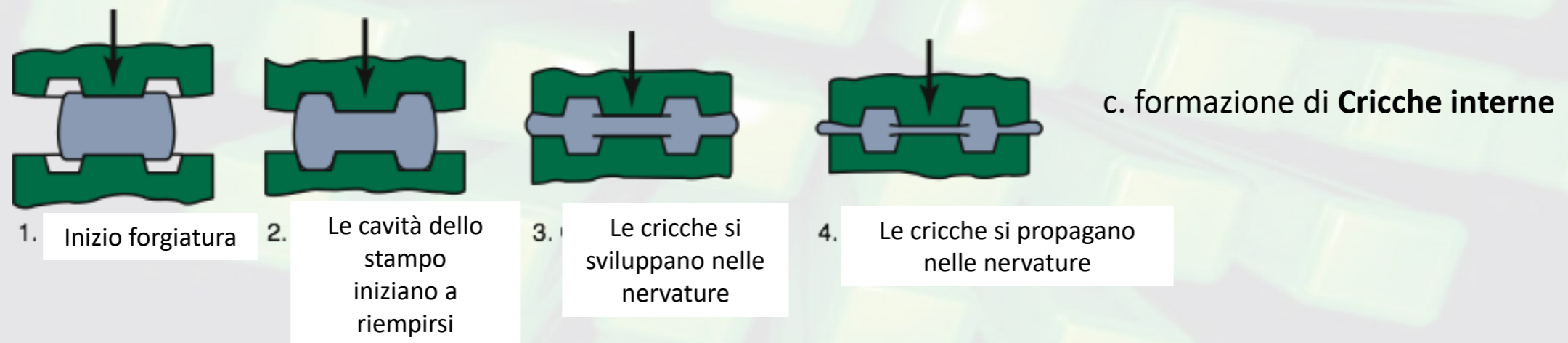
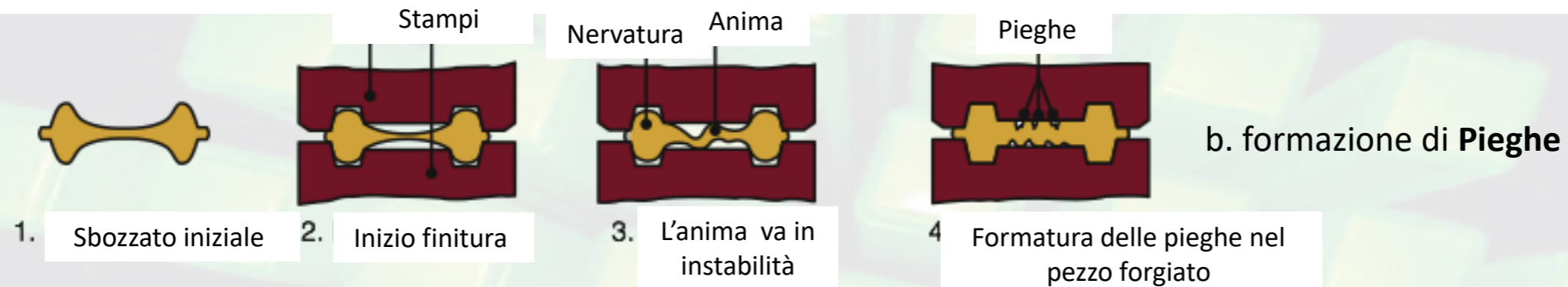
## a. Cricche superficiali

## b. Pieghe (=laps)

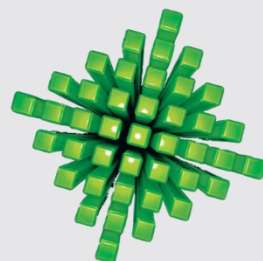
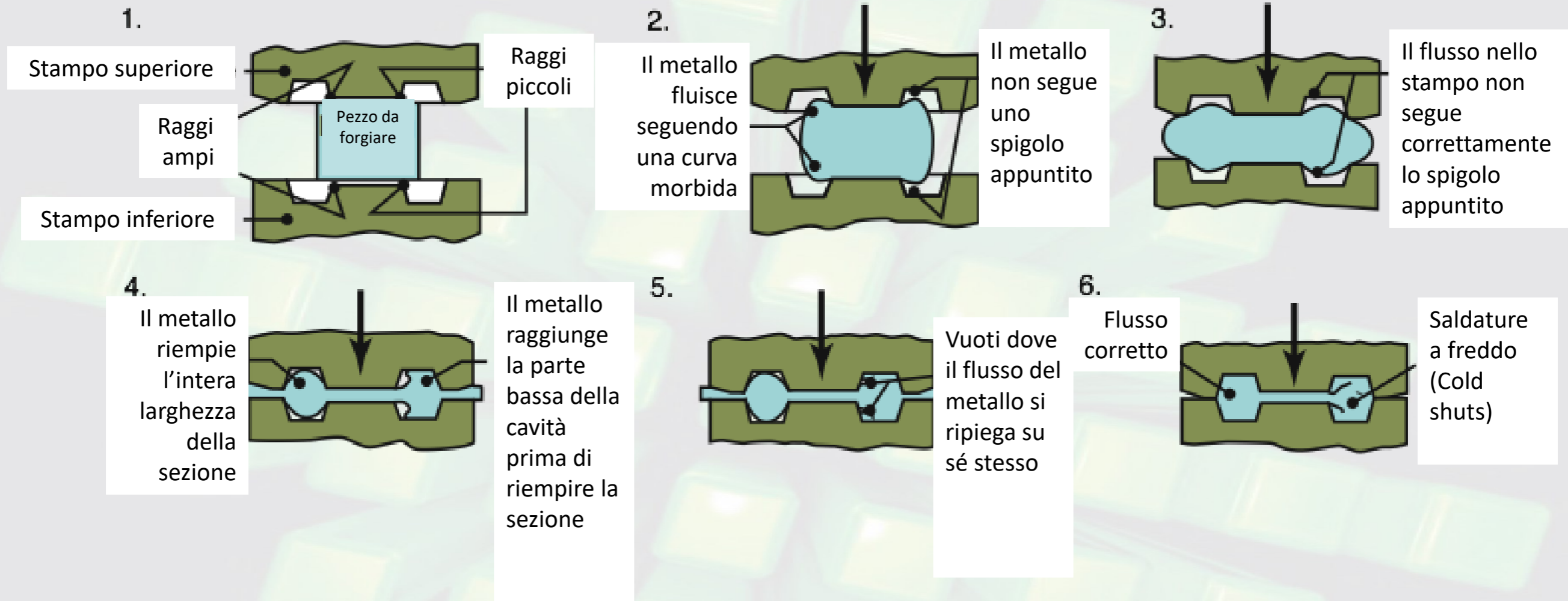
a. Dovute all'instabilità al carico di punta in zone con piccolo spessore

b. Prodotte da riflussi causati da piccoli raggi di raccordo che provocano *cold shuts*

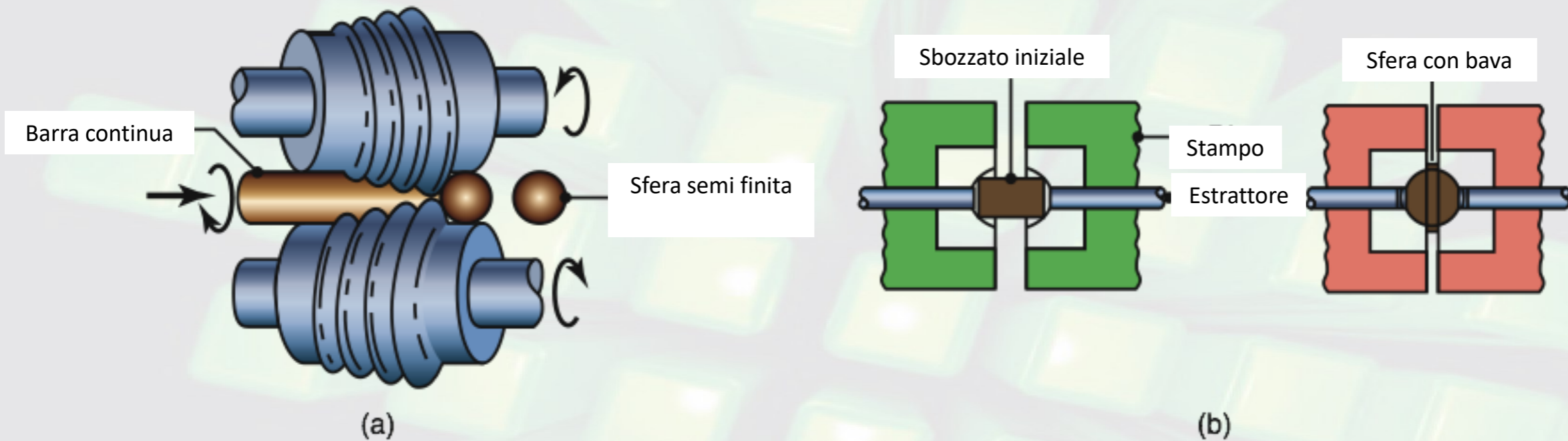
## c. Cricche interne causate dall'eccesso di materiale che fluisce al suo interno



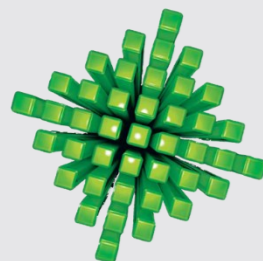
# Effetto del Raggio di Raccordo sul Flusso



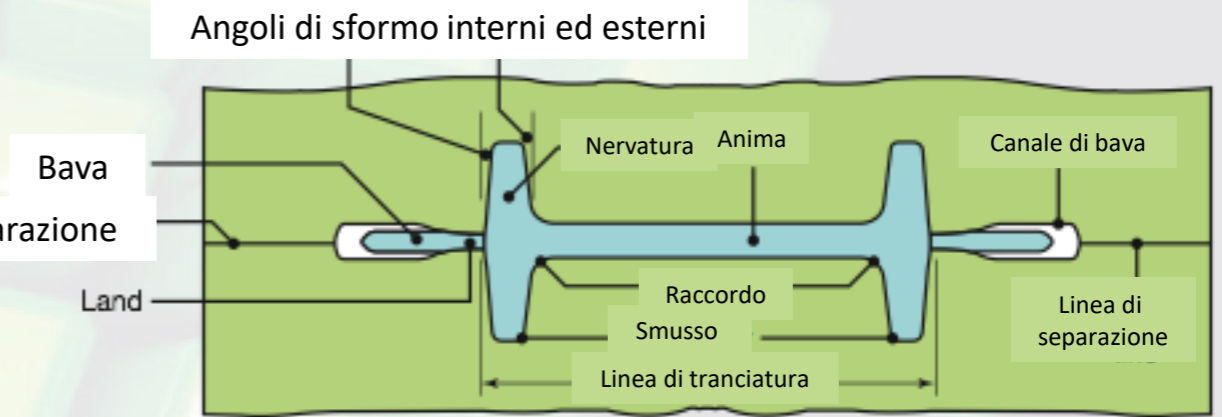
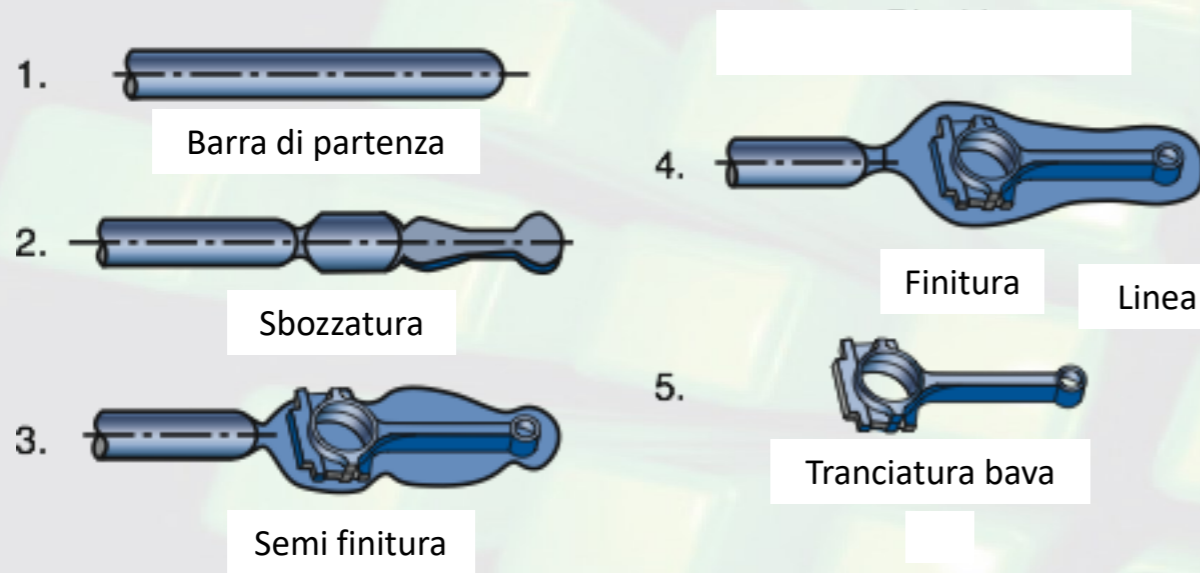
# Produzione delle sfere per i cuscinetti



- (a) Produzione delle sfere di acciaio per i cuscinetti mediante il processo di **rullatura obliqua** (*skew rolling*).
- (b) Produzione delle sfere di acciaio mediante ricalcatura di un cilindro corto con la formazione di bava. Le sfere devono essere rettificate e lucidate.

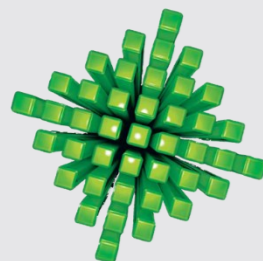


# Stampi per la Forgiatura



Terminologia usata negli stampi da forgiatura

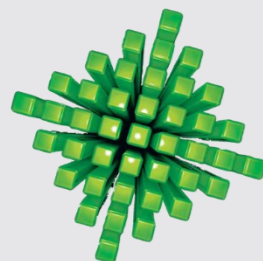
Passi nella forgiatura a caldo di una biella



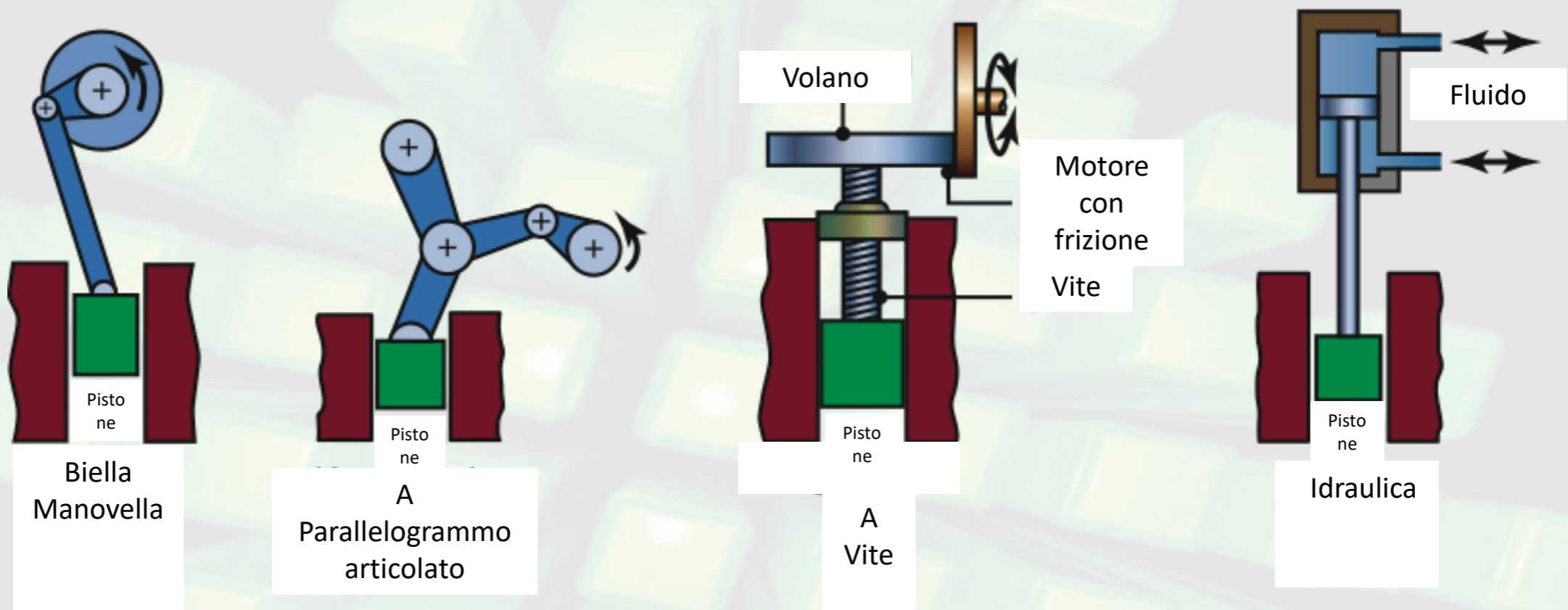


# Temperature di Forgiatura

Materiale	Campo di temperature di forgiatura (°C)
Leghe di Al	400-450
Leghe di Cu	625-950
Leghe di Ni	870-1230
Acciai legati	925-1260
Leghe di Ti	750-795
Leghe refrattarie	975-1650



# Presse per Forgiatura, Estrusione e Trafilatura



Schemi di funzionamento delle principali presse usate nella formatura dei metalli

