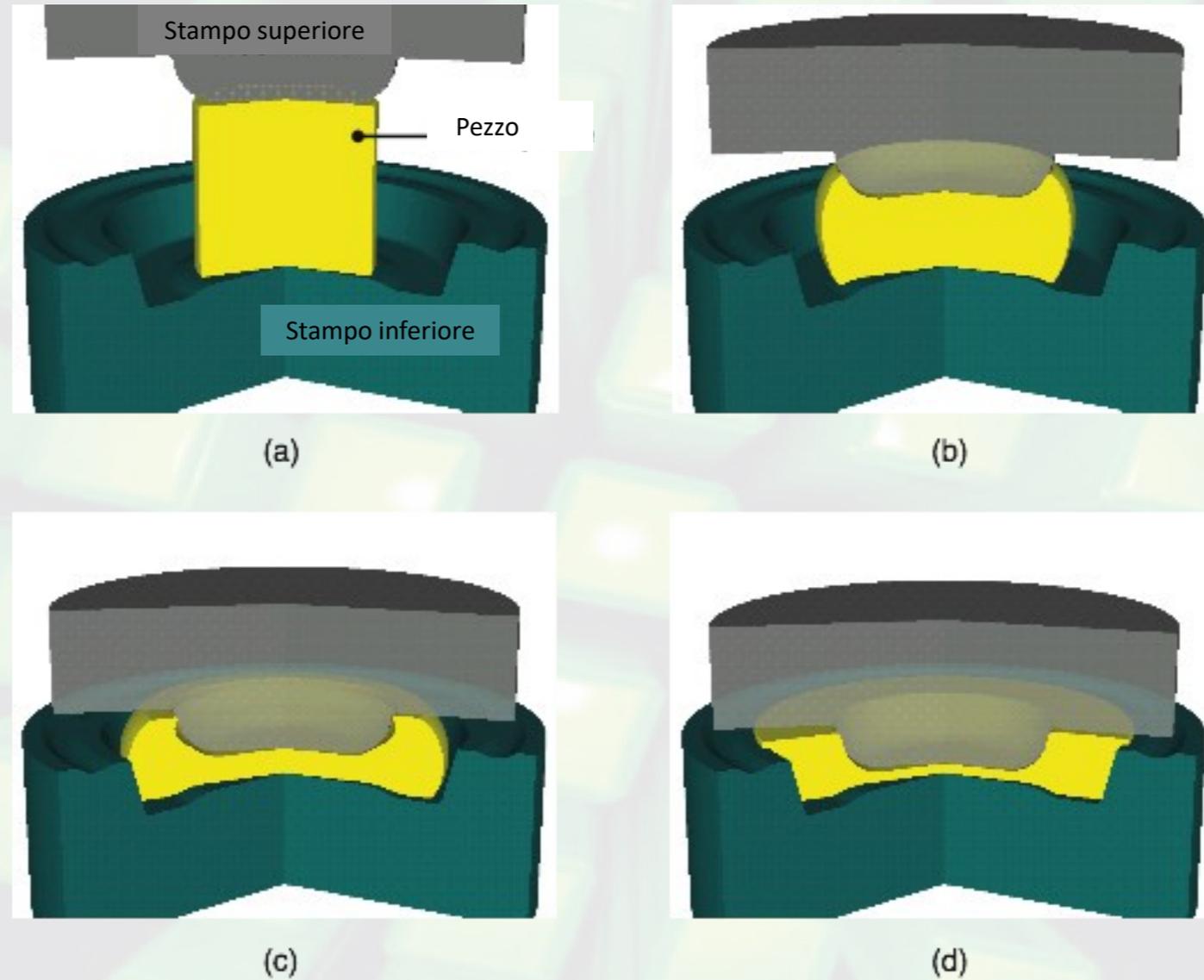
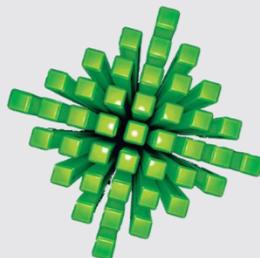


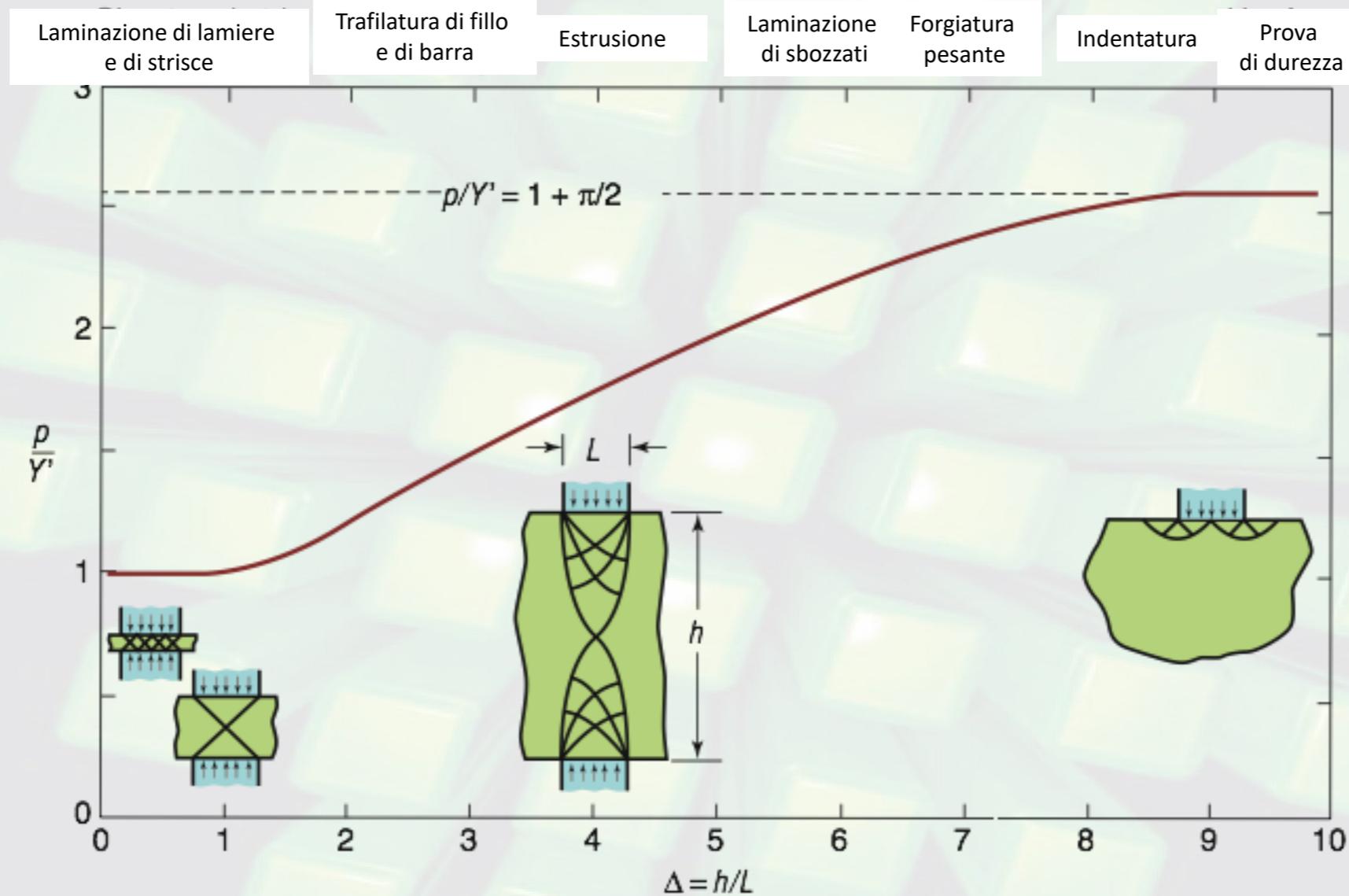
Analisi agli Elementi Finiti



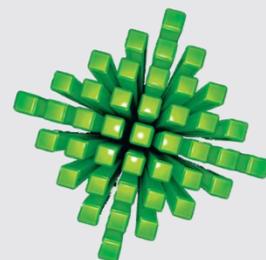
Deformazione dello sbozzato come prevista dal software DEFORM



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



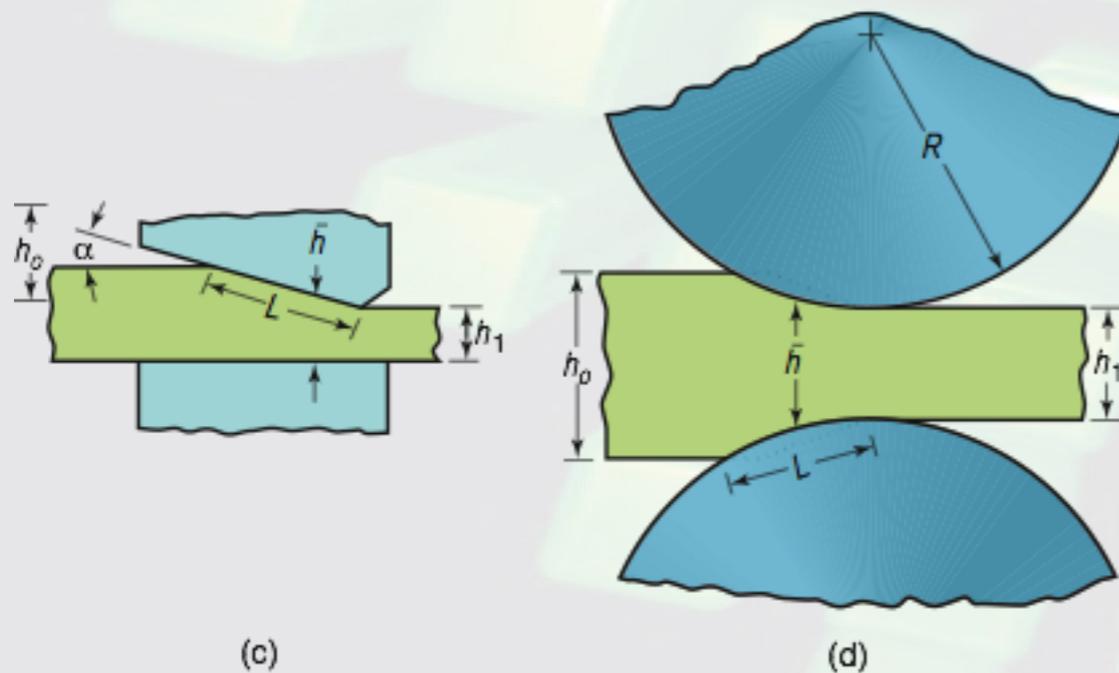
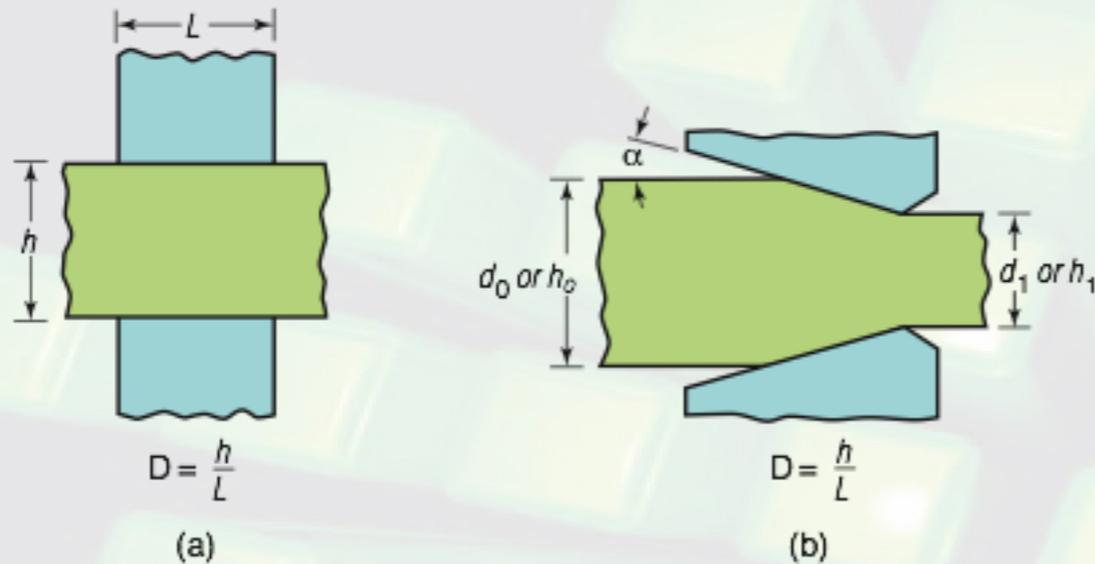
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

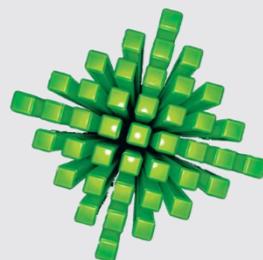
ISBN No. 0-13-227271-7

Esempi di Deformazione Piana

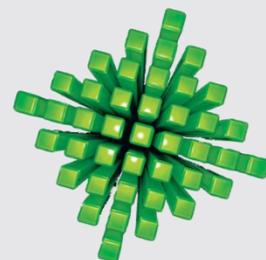


Esempi di processi di deformazione plastica in condizioni di deformazione piana per diversi valori del rapporto h/L .

- (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

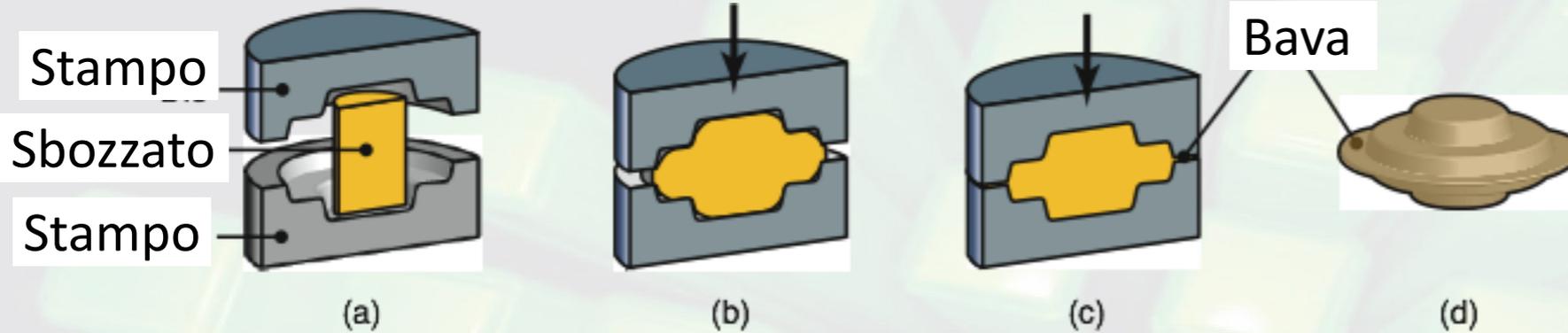


Forgiatura



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

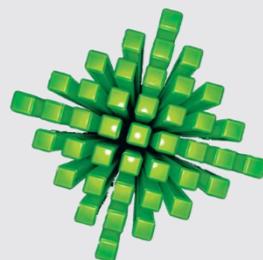
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

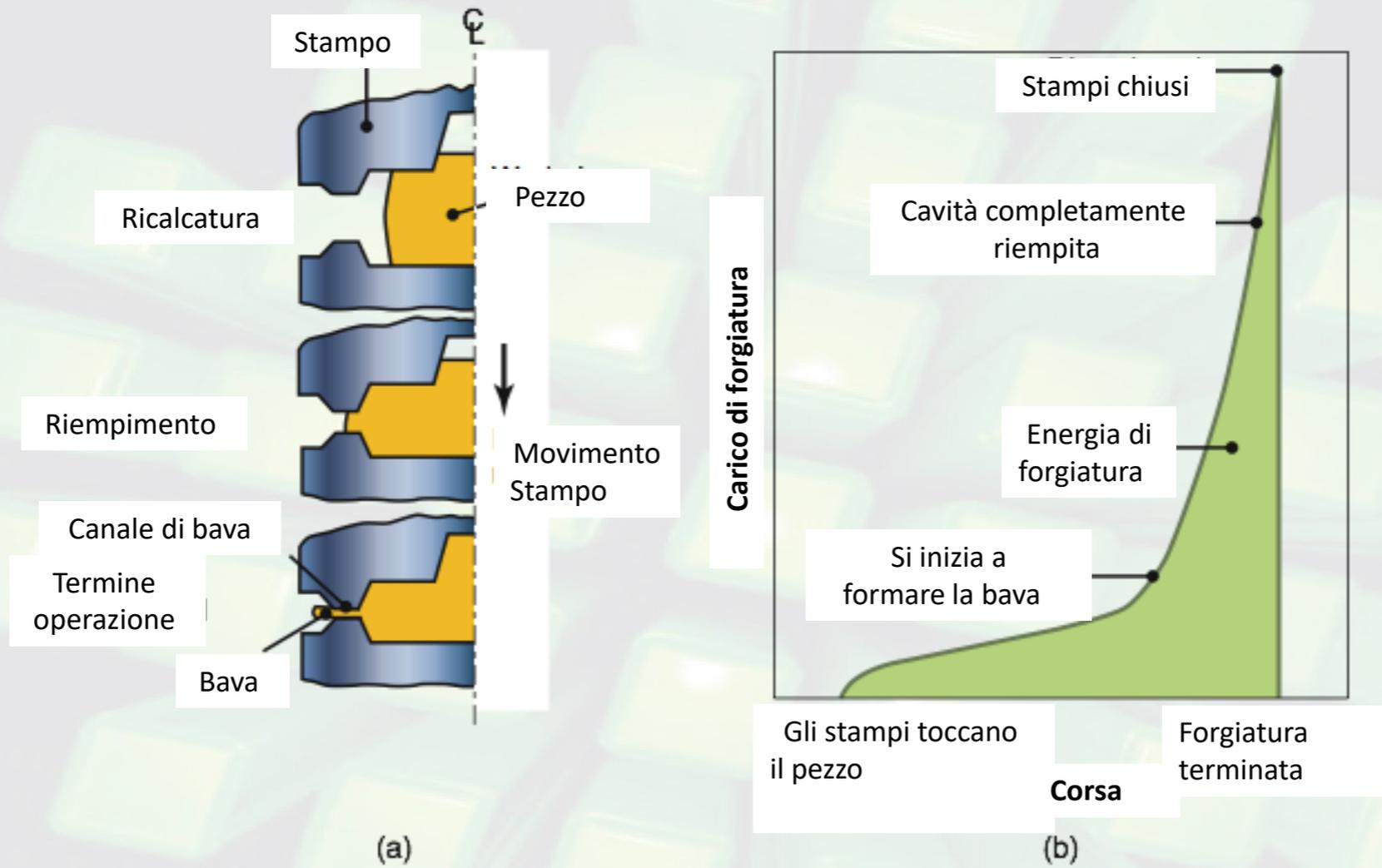
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

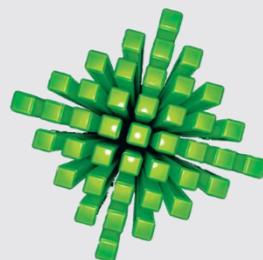
La tensione di flusso Y_f varia da punto a punto in quanto cambiano T , $\dot{\epsilon}$, ϵ quindi sarebbe bene suddividere il pezzo in zone dove tali valori sono abbastanza costanti e ottenere la forza di forgiatura $F = \sum F_i$



Curva Carico - Corsa

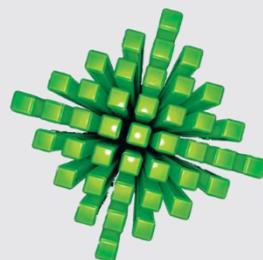


Notare il rapido aumento del carico quando inizia a formarsi la bava

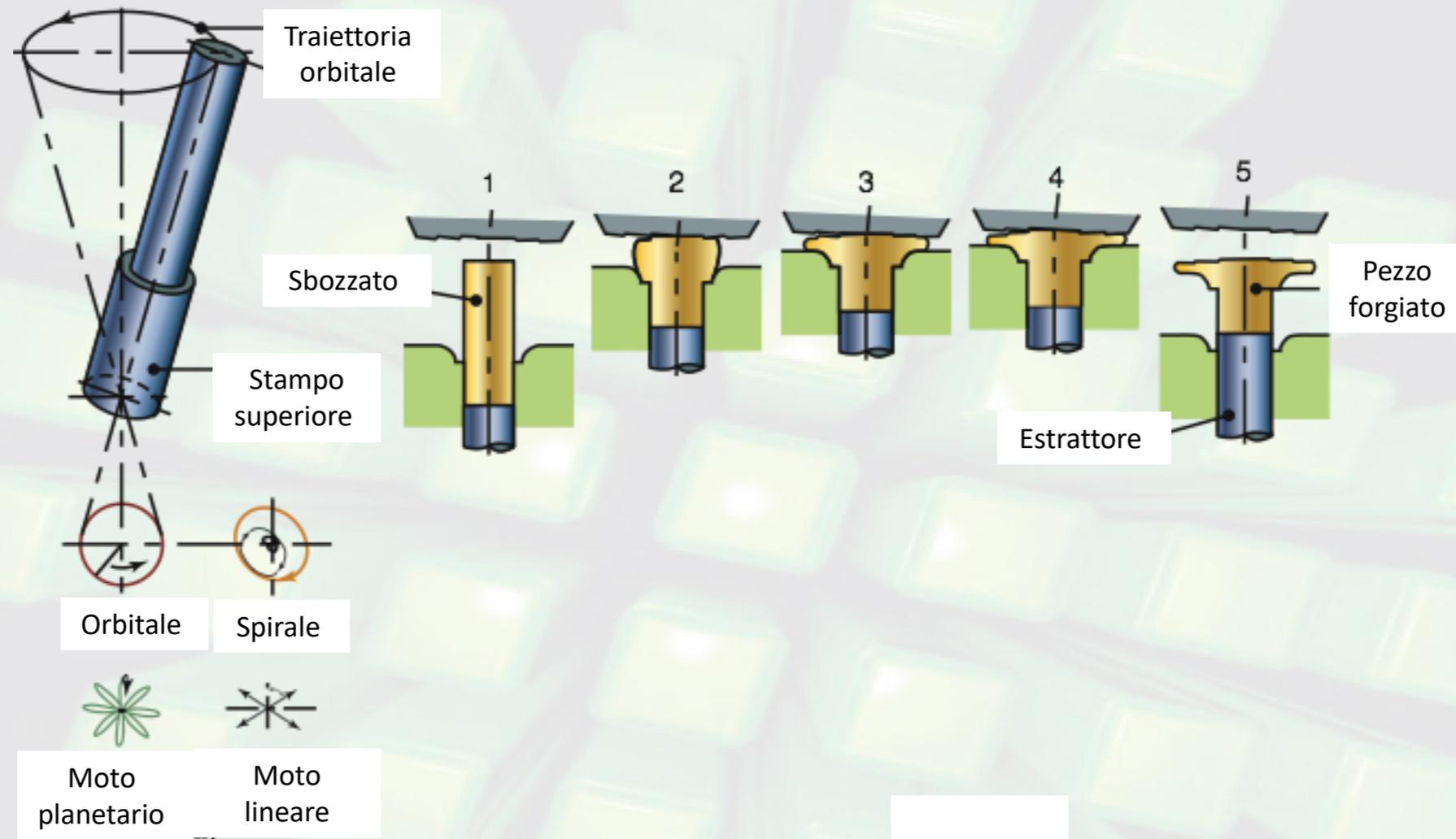


Formatura in stampi chiusi (senza bava)

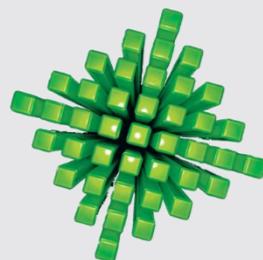
- **Forgiatura di precisione** o near-net-shape
 - Preciso controllo dello sbozzato di partenza
 - Richiede maggiori forze e potenze
 - I pezzi formati risultano più accurati e precisi
- **Forgiatura isoterma**
 - gli stampi in leghe di Ni sono alla stessa temperatura del forgiato
 - Il forgiato non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



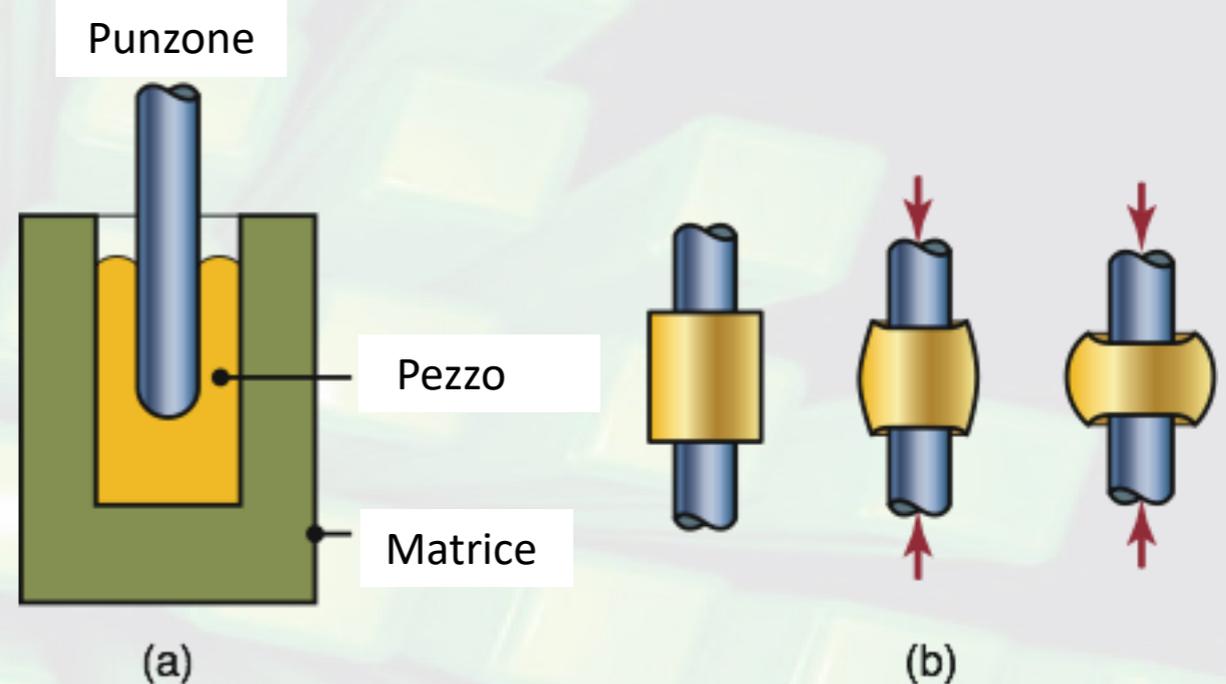
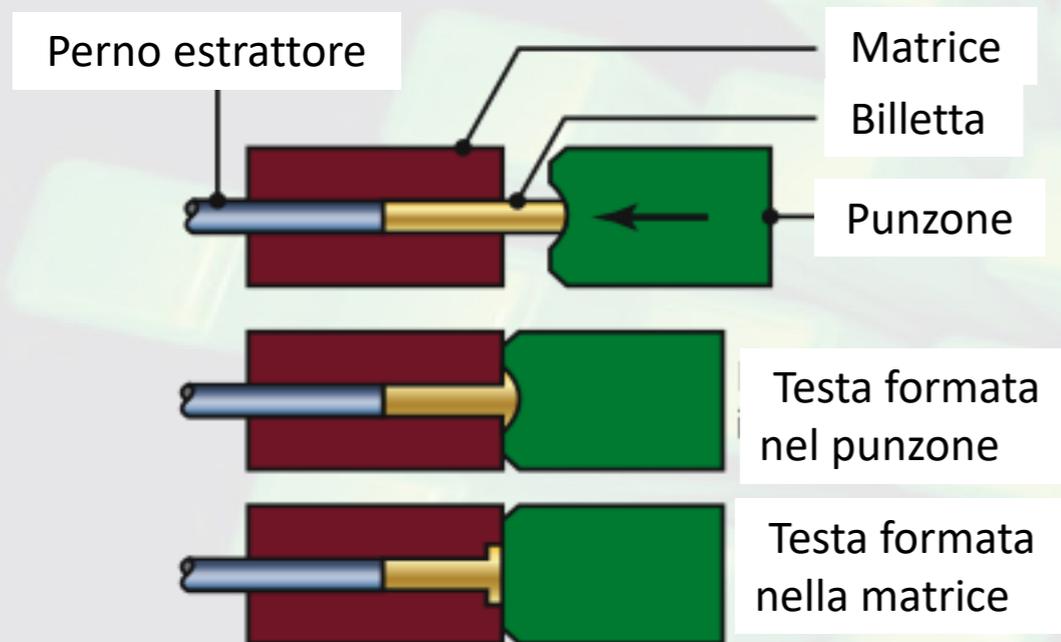
Forgiatura Orbitale



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

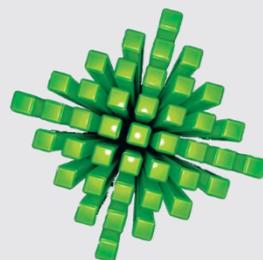
- Allargamento della sezione
- Problema dell'instabilità al carico di punta (=buckling)

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*)



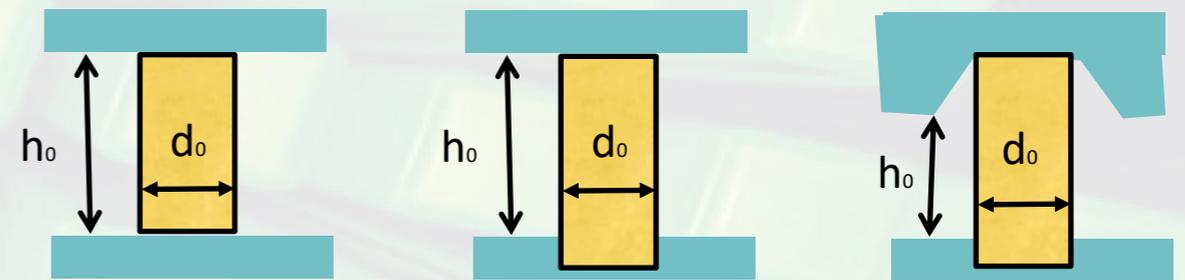
Coniatura & Ricalcatura

- **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

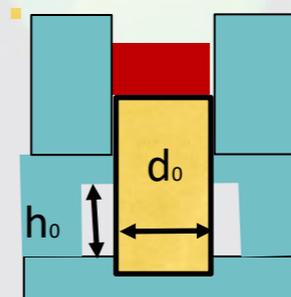


$$\frac{h_0}{d_0} \leq 2$$

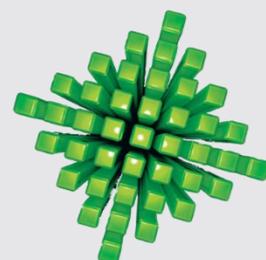
$$\frac{h_0}{d_0} \leq 3$$

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

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



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

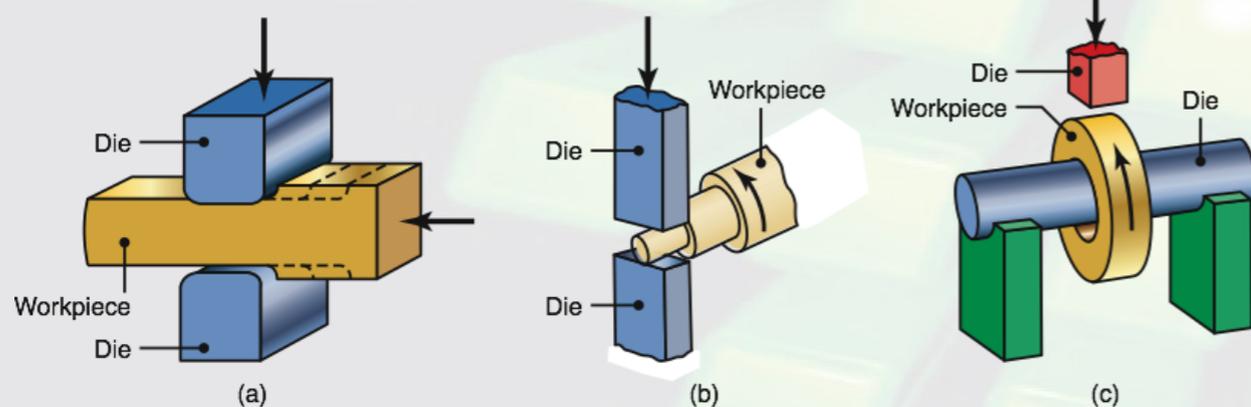


Stiratura o spianatura alla pressa o al maglio (Cogging) e Sbozzatura (Fullering opp. Edging)

- **Stiratura o spianatura**

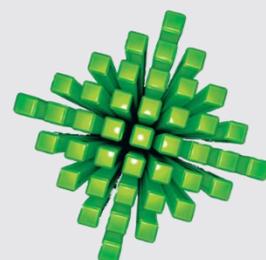
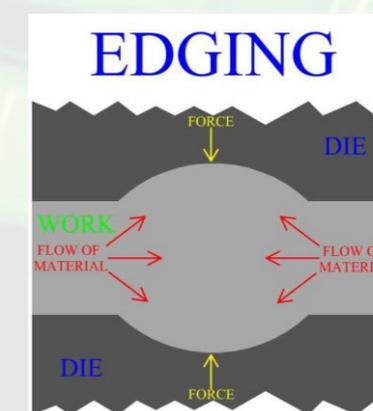
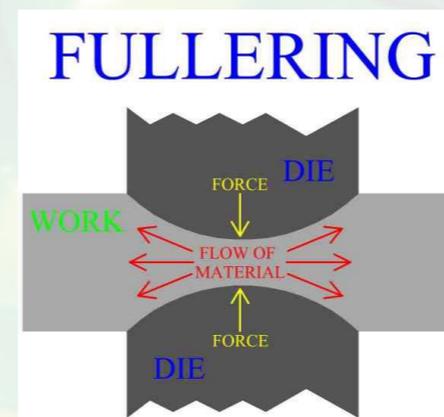
- In più passi
- Rapporto tra spessore iniziale piastra h_0 e la sua larghezza w

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

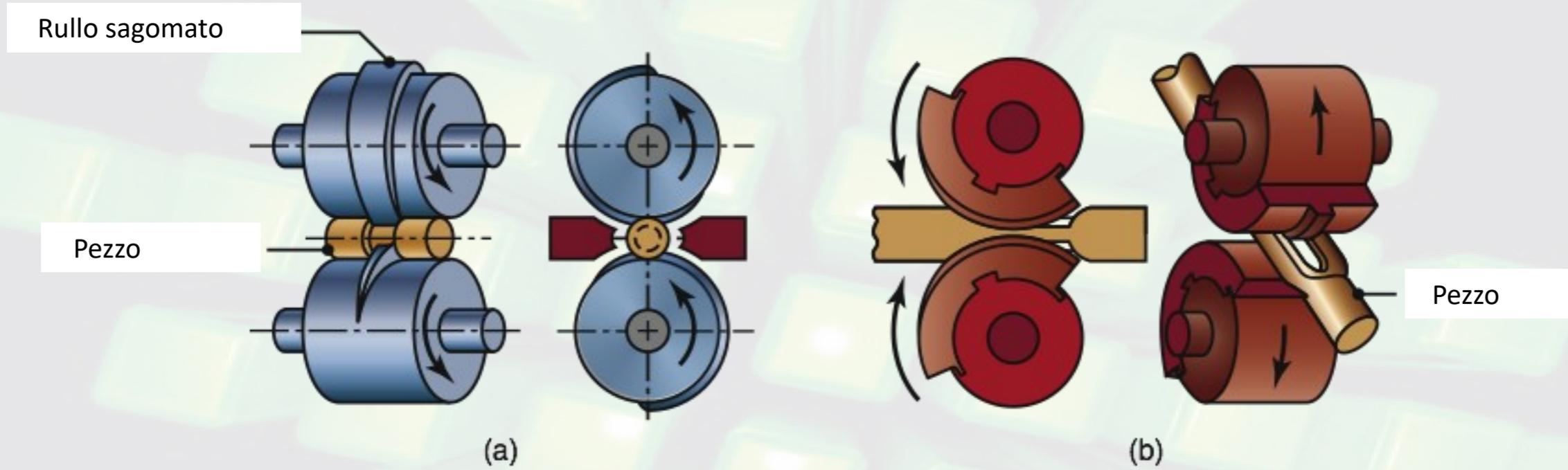


- **Sbozzatura**

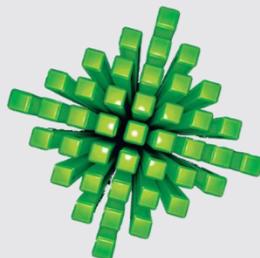
- Serve per distribuire le masse all'interno dello sbozzato
- *Fullering* dal centro verso la periferia
- *Edging* dalla periferia verso il centro



Rullatura



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



Difetti nei pezzi formati

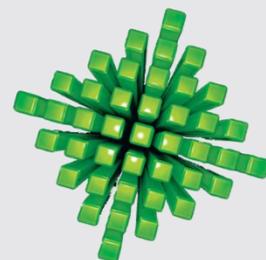
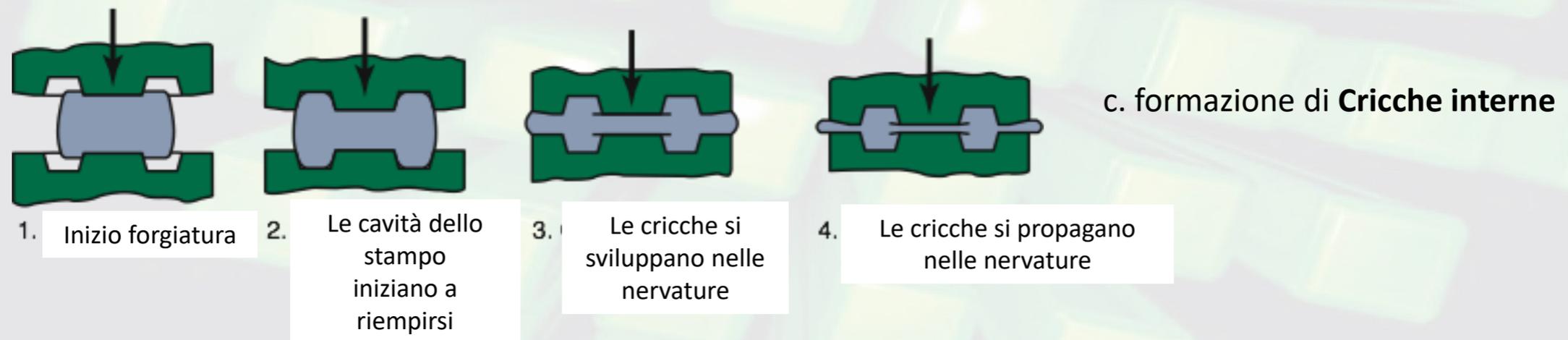
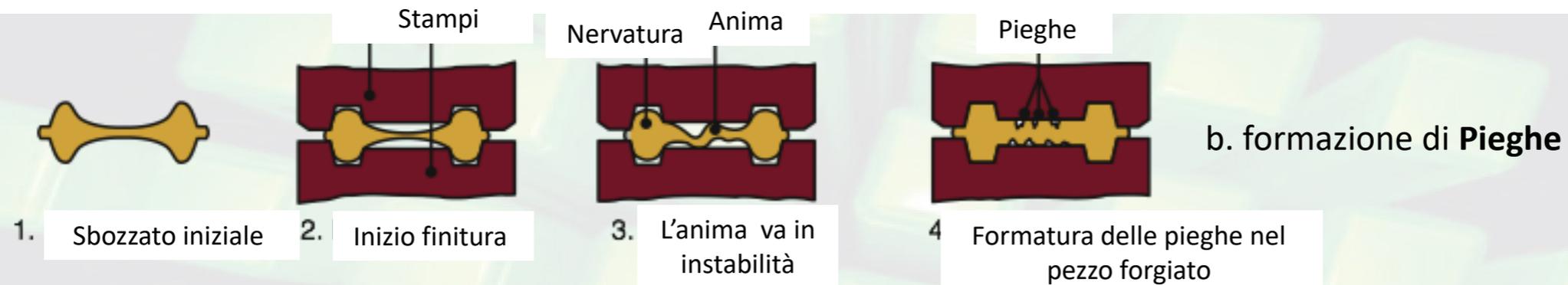
a. Cricche superficiali

b. Pieghe (=laps)

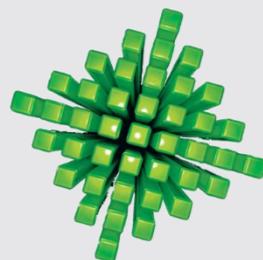
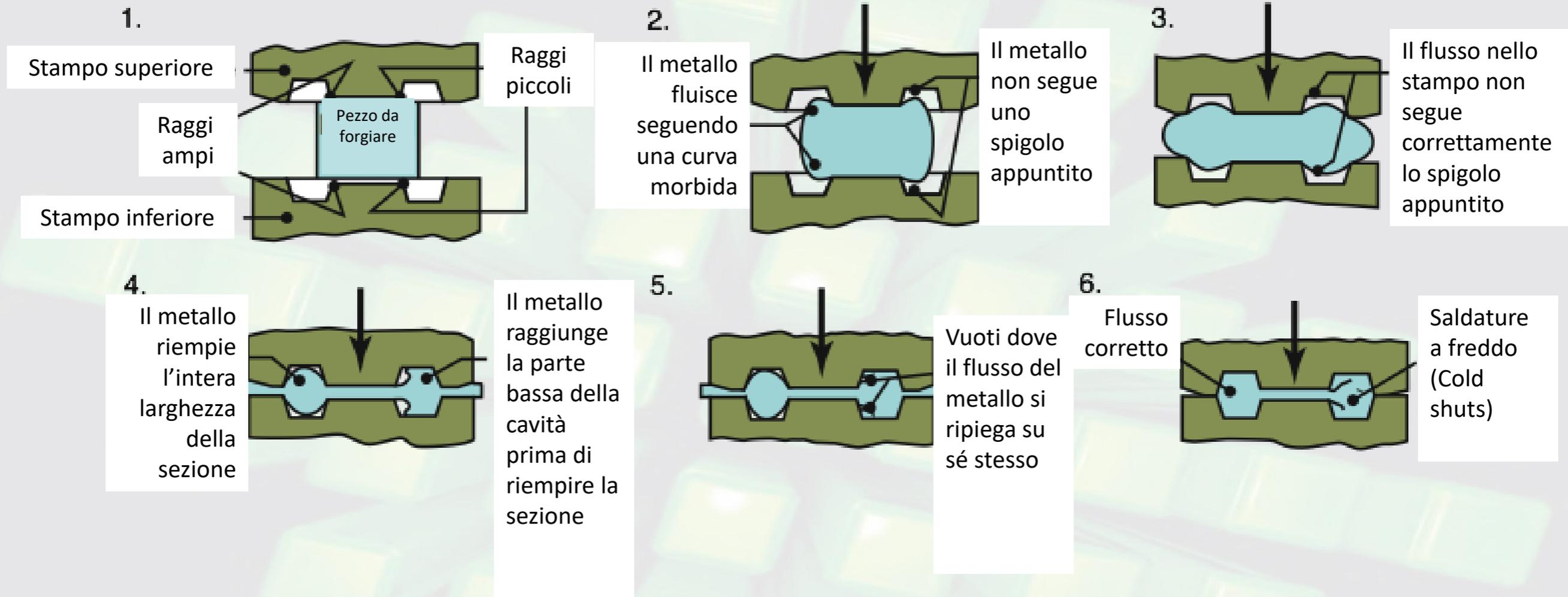
a. Dovute all'instabilità al carico di punta in zone con piccolo spessore

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

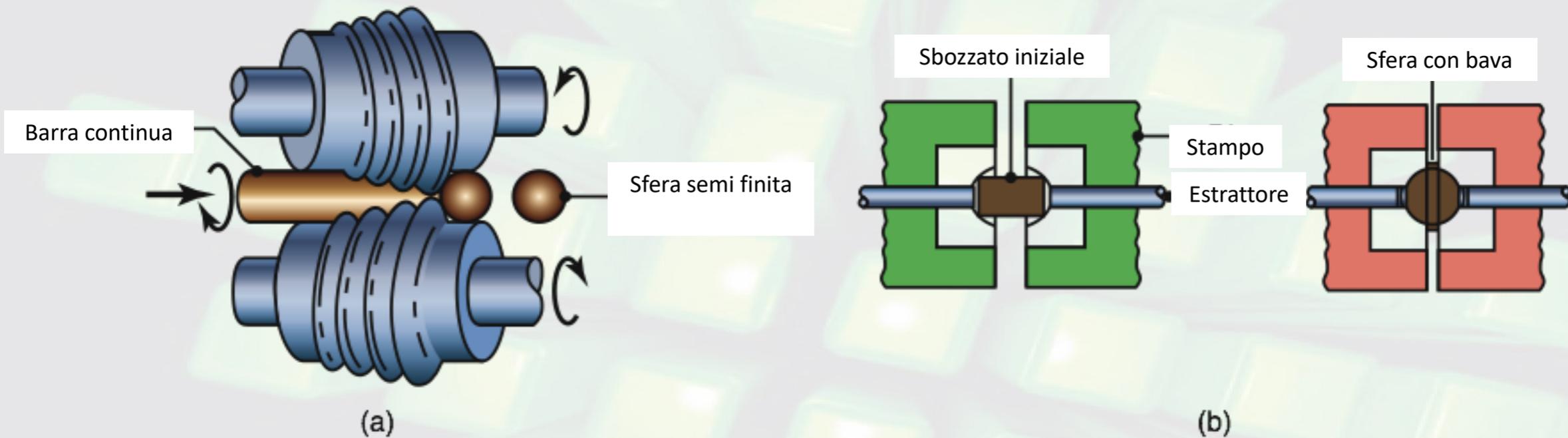
c. Cricche interne causate dall'eccesso di materiale che fluisce al suo interno



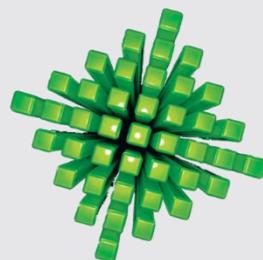
Effetto del Raggio di Raccordo sul Flusso



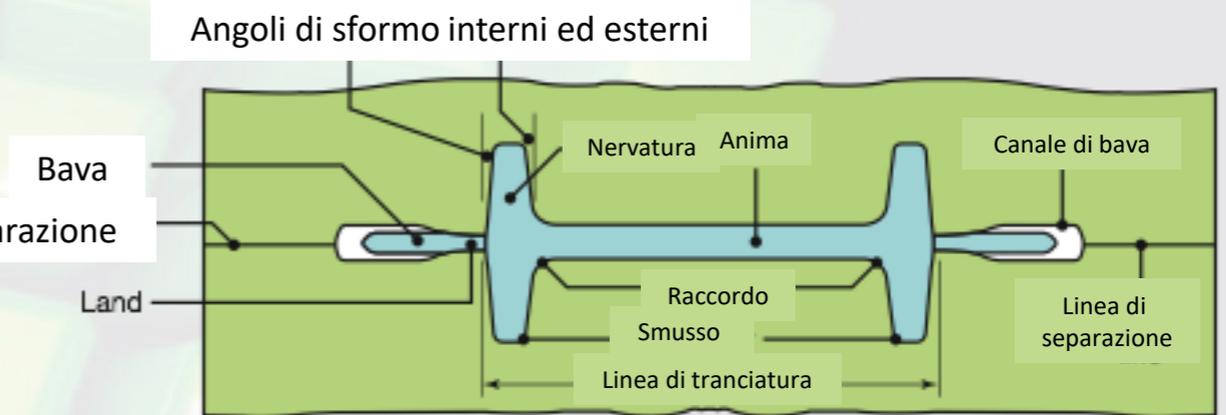
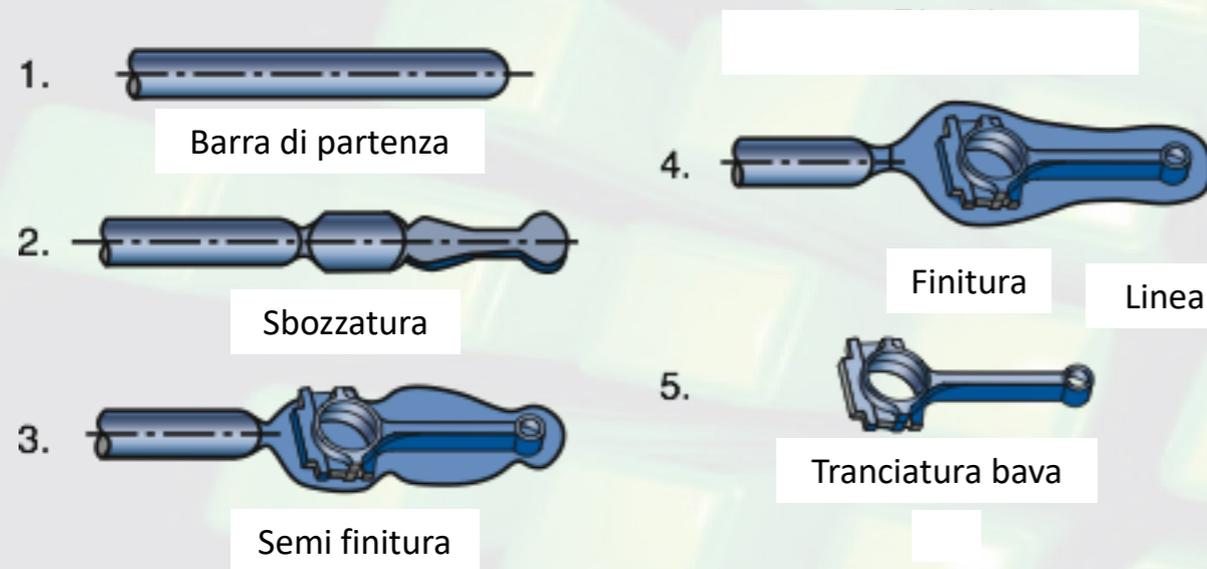
Produzione delle sfere per i cuscinetti



- (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.

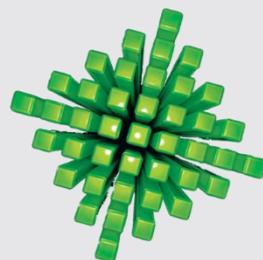


Stampi per la Forgiatura



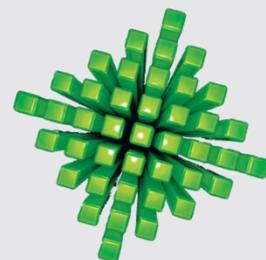
Terminologia usata negli stampi da forgiatura

Passi nella forgiatura a caldo di una biella

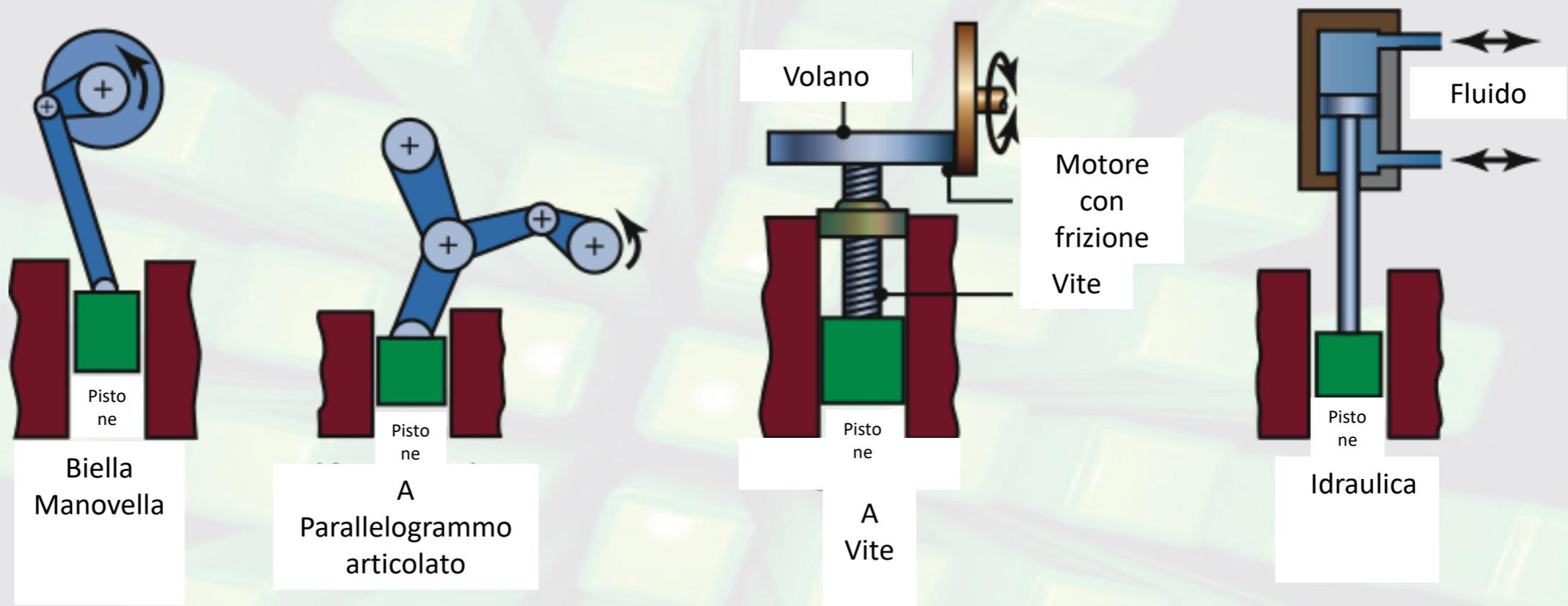


Temperature di Forgiatura

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

