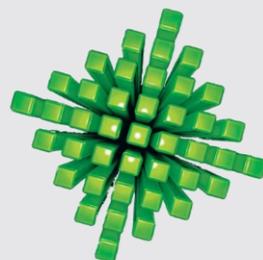
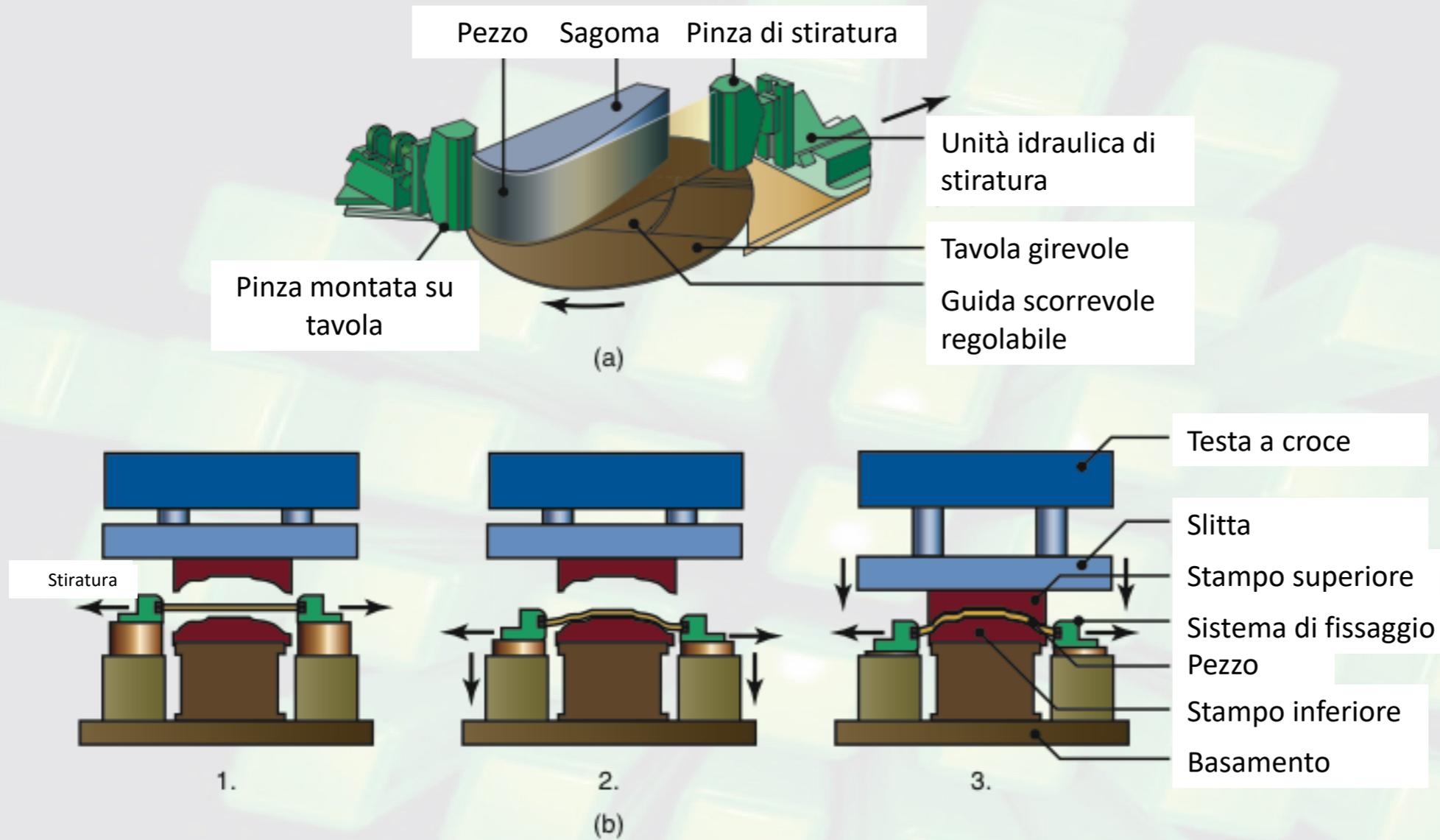


# Altre Lavorazioni della Lamiera

- Formatura
  - Stiratura
  - Espansione
  - Mediante cuscino di gomma
  - Idroformatura
- Imbutitura al tornio
- Formatura incrementale
- Formatura ad impulso magnetico
- Formatura superplastica
- Pallinatura
- Produzione strutture a nido d'ape

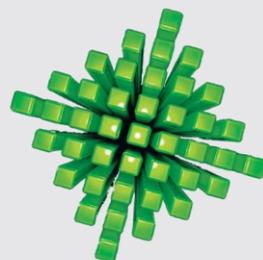


# Formatura per Stiratura



(a) Schema della stiratura. Diversi pannelli per aerei sono realizzati con questo processo.

(b) Stiratura in una pressa idraulica verticale.



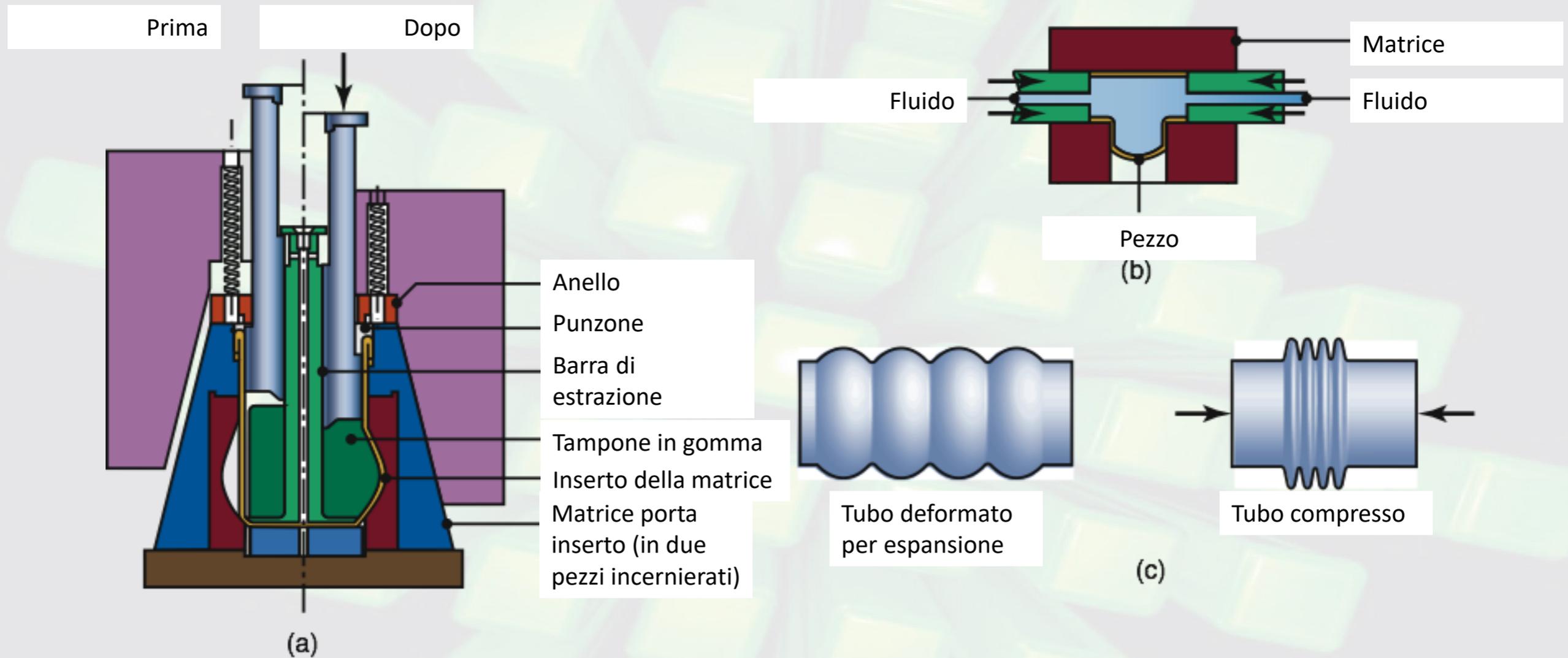
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

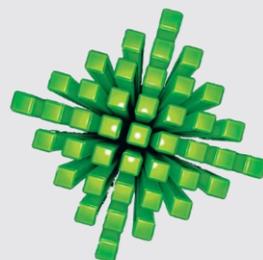
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

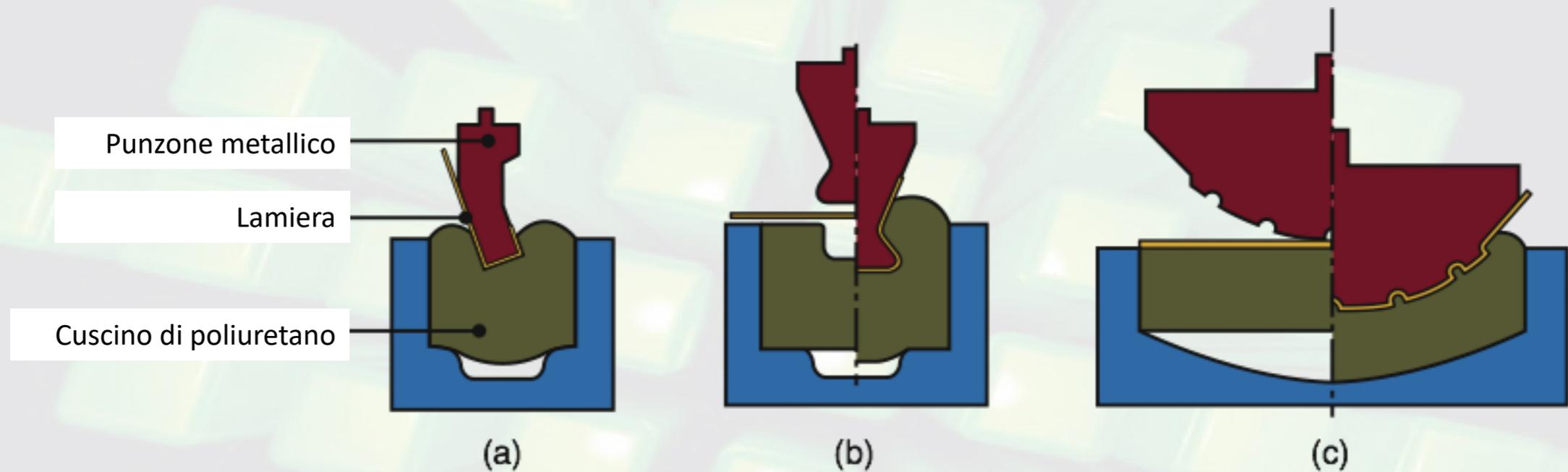
# Formatura per Espansione



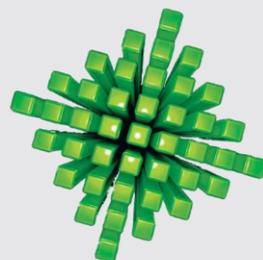
- (a) Espansione di un tubo mediante tampone flessibile. Le caraffe da acqua possono essere realizzate con tale tecnica,  
(b) Produzione di componenti per l'idraulica realizzati mediante l'espansione di componenti tubolari grazie alla pressione interna; la parte inferiore del pezzo viene poi punzonata per produrre una sezione a T;  
(c) Sequenza per produrre un soffietto metallico.



# Formatura mediante Cuscino di Gomma



Esempi di piegatura e goffratura di lamiere metalliche usando un punzone metallico e una matrice flessibile di poliuretano come matrice femmina.



# Idroformatura

Valvola per il controllo della pressione

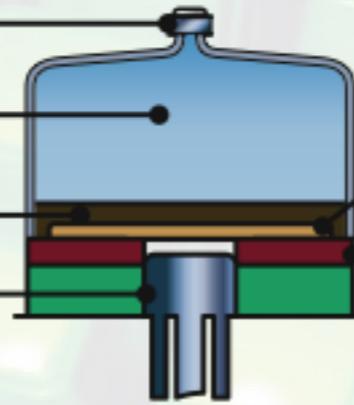
Cavità di formatura (piena di olio)

Diaframma di gomma

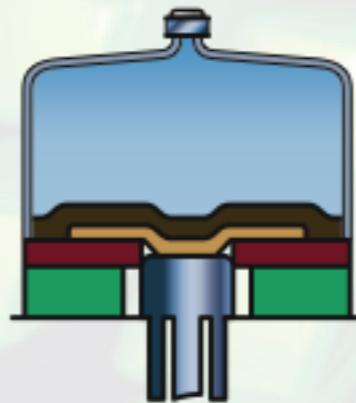
Punzone

Lamiera

Anello di imbuitura



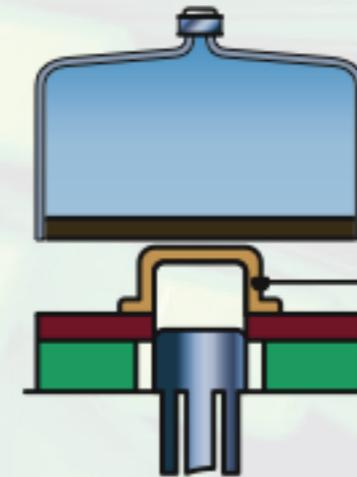
1.



2.



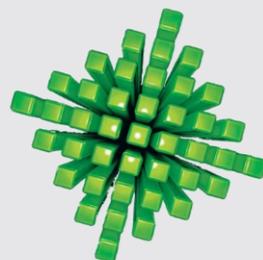
3.



Componente finale

4.

Fasi del processo di idroformatura.



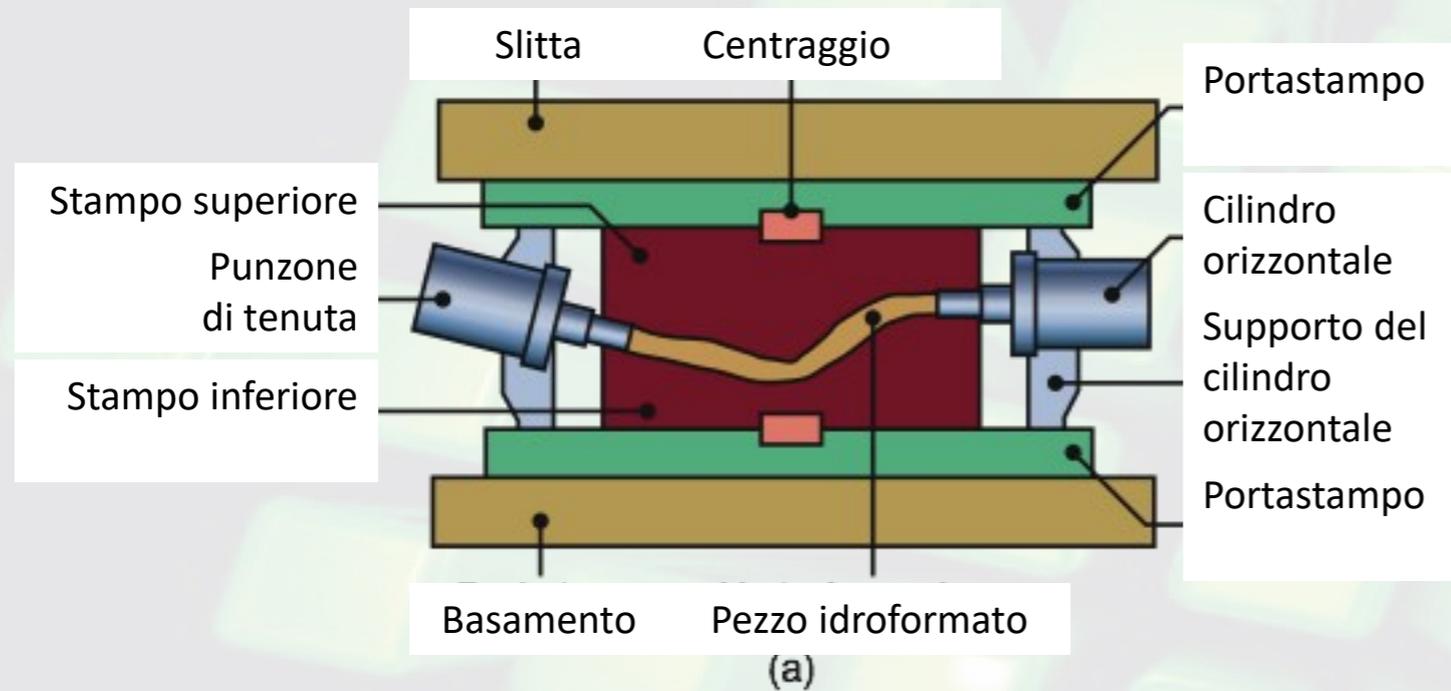
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

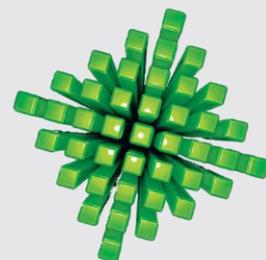
ISBN No. 0-13-227271-7

# Idroformatura di Tubi

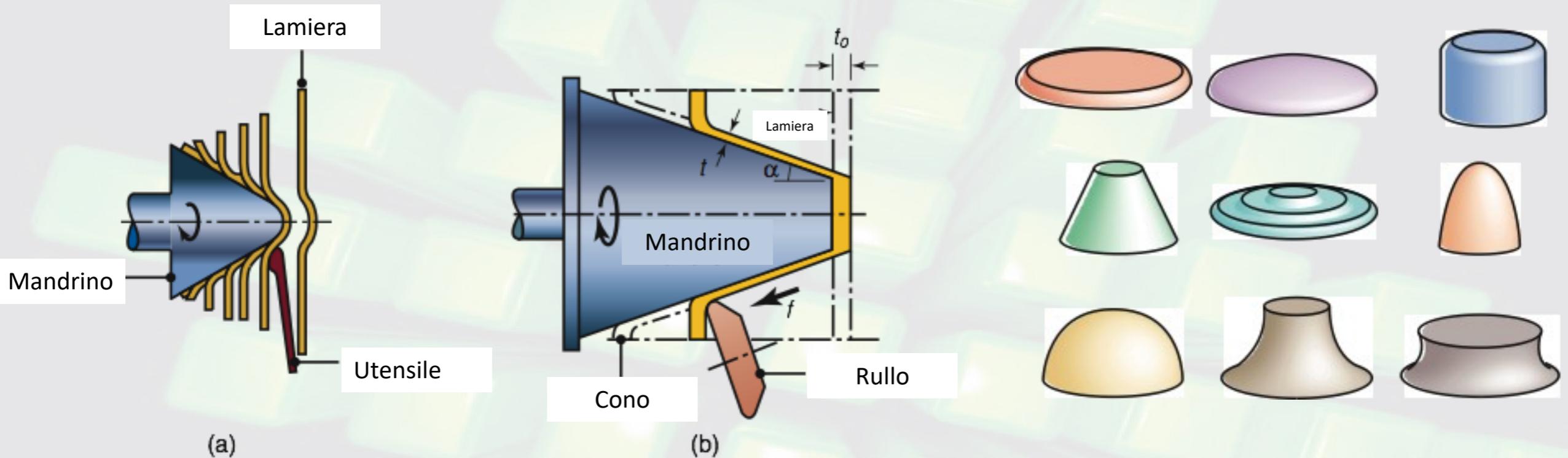


(a) Schema del processo di idroformatura di tubi.

(b) Esempi di parti di tubo idroformate (componenti dello scarico e componenti strutturali delle automobili, telai di biciclette, raccordi pneumatici ed idraulici).



# Imbutitura al Tornio



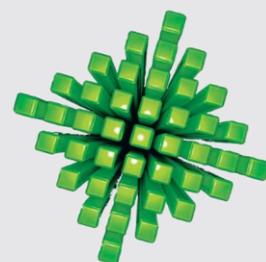
Schemi dei processi di **imbutitura al tornio**:

**(a) Convenzionale,**

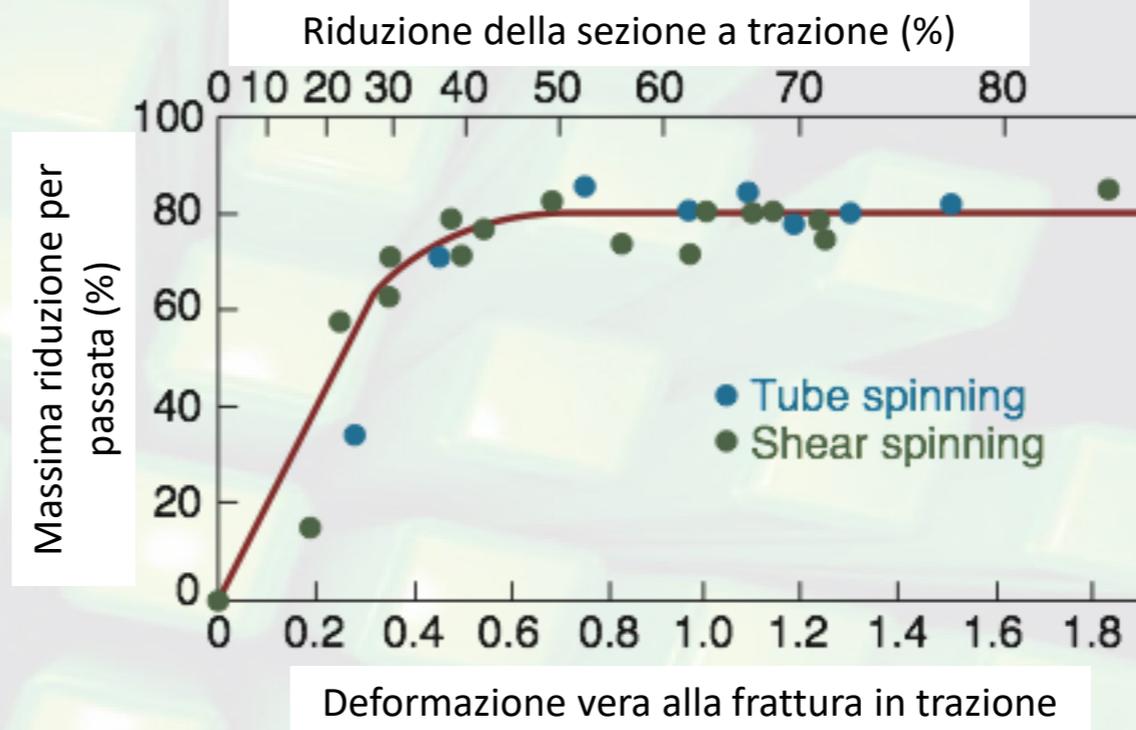
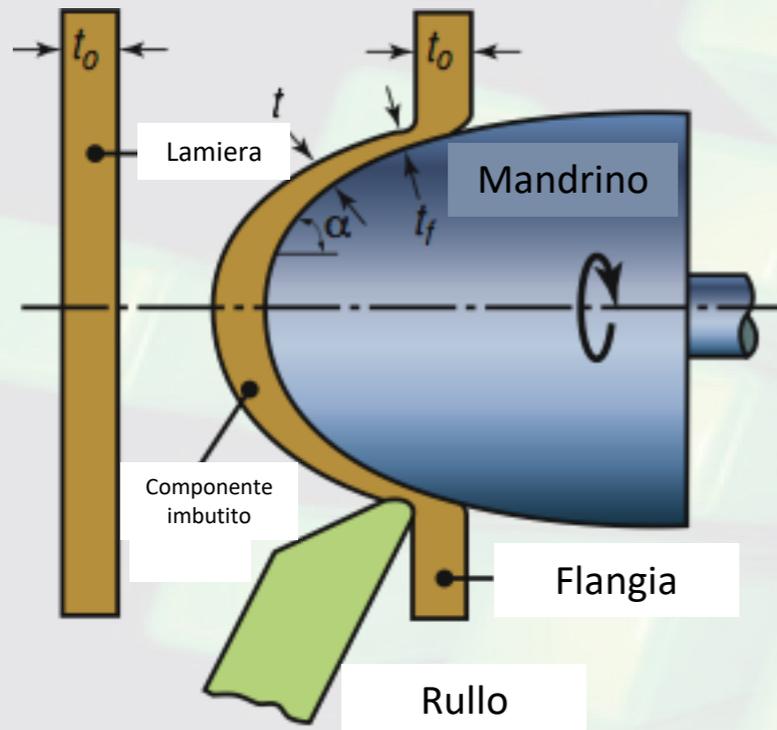
**(b) Per scorrimento.** In questo caso il diametro della parte imbutita è lo stesso del pezzo di partenza iniziale, diversamente da quanto succede nella imbutitura al tornio convenzionale.

La quantità  $f$  è l'**avanzamento** espresso in mm/giro.

Forme tipiche prodotte mediante imbutitura convenzionale al tornio. Marcature circolari effetto delle linee di scorrimento circolari indicano che il pezzo è stato prodotto con tale processo, come utensili da cucina e superfici riflettenti.

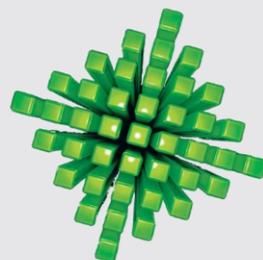


# Imbutitura al Tornio per Scorrimento

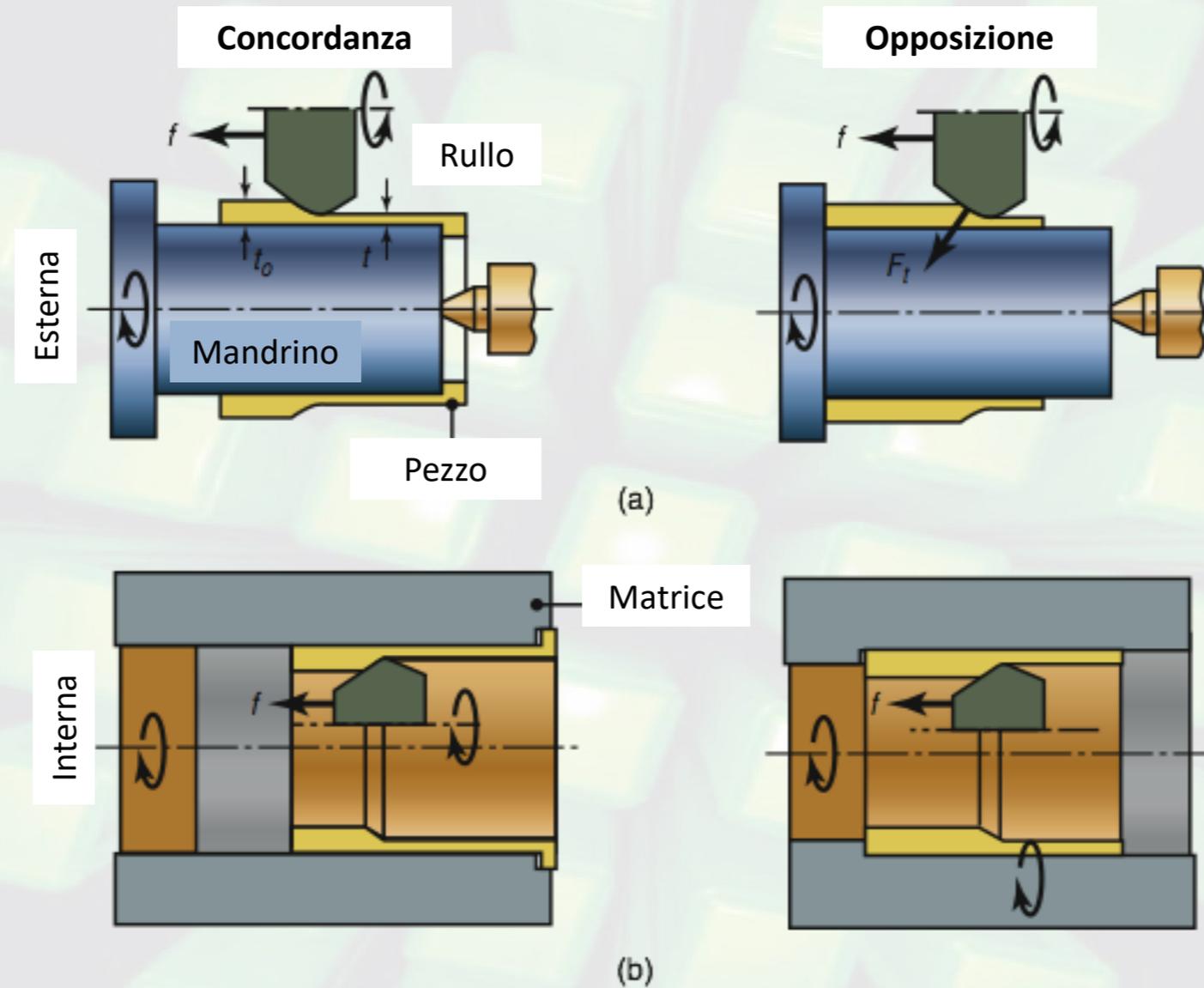


Schema della prova di imbutibilità per scorrimento al tornio. All'avanzare del rullo lo spessore della parte viene ridotto. La riduzione dello spessore alla frattura è detta **massima riduzione per passata** nella imbutitura al tornio.

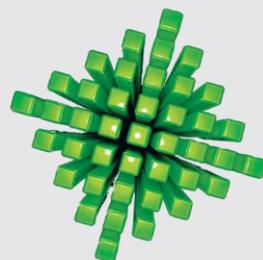
Dati sperimentali che mostrano la correlazione tra **massima riduzione per passata** e la **riduzione di sezione nella prova di trazione**.



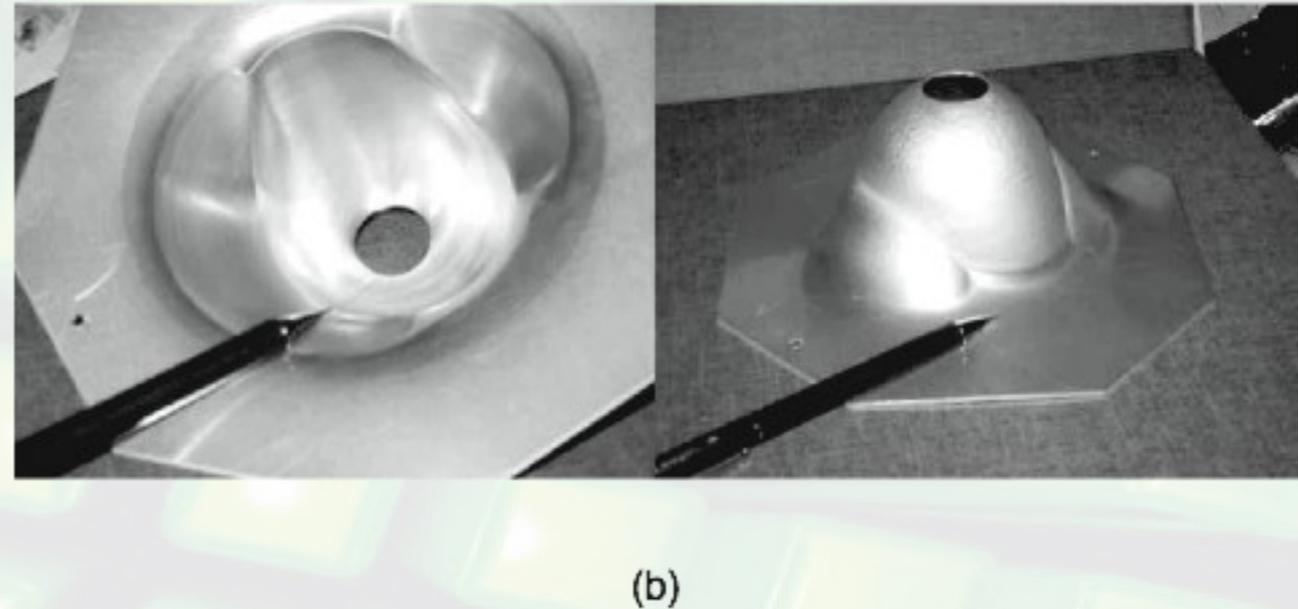
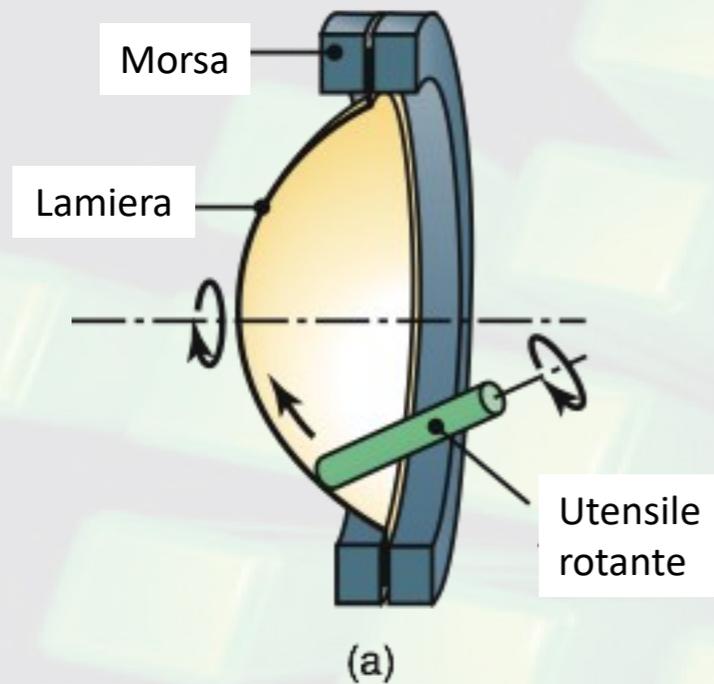
# Imbutitura al Tornio di Tubi



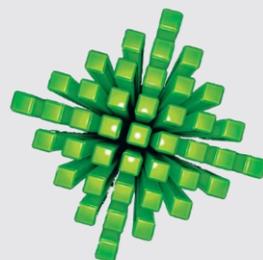
- (a) Imbutitura esterna al tornio di tubi.  
(b) Imbutitura interna al tornio di tubi.



# Formatura Incrementale della Lamiera



- (a) Illustrazione dell'operazione di formatura incrementale. Non richiede l'uso di un mandrino e la forma del pezzo dipende dal percorso dell'utensile rotante.
- (b) Un riflettore di faro automobilistico prodotto con questo processo su un sistema a controllo numerico. Il pezzo non presenta simmetria assiale.



# Formatura Esplosiva

Picco di pressione in psi generato dall'esplosione nell'acqua:

$$p = K \left( \frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right)^a$$

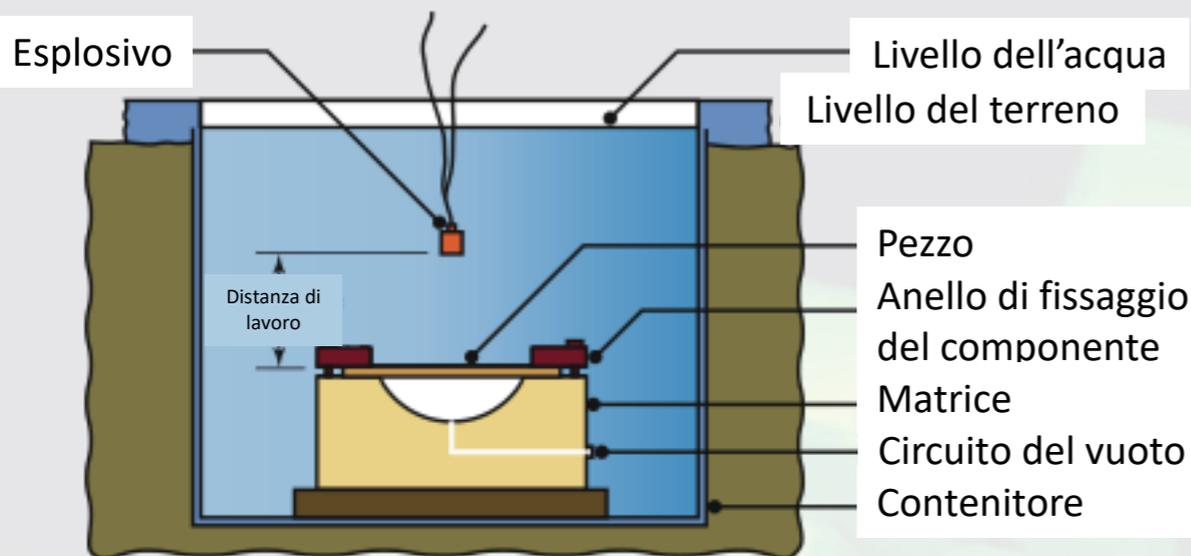
dove

**K** dipende dall'esplosivo (21600 per il TNT)

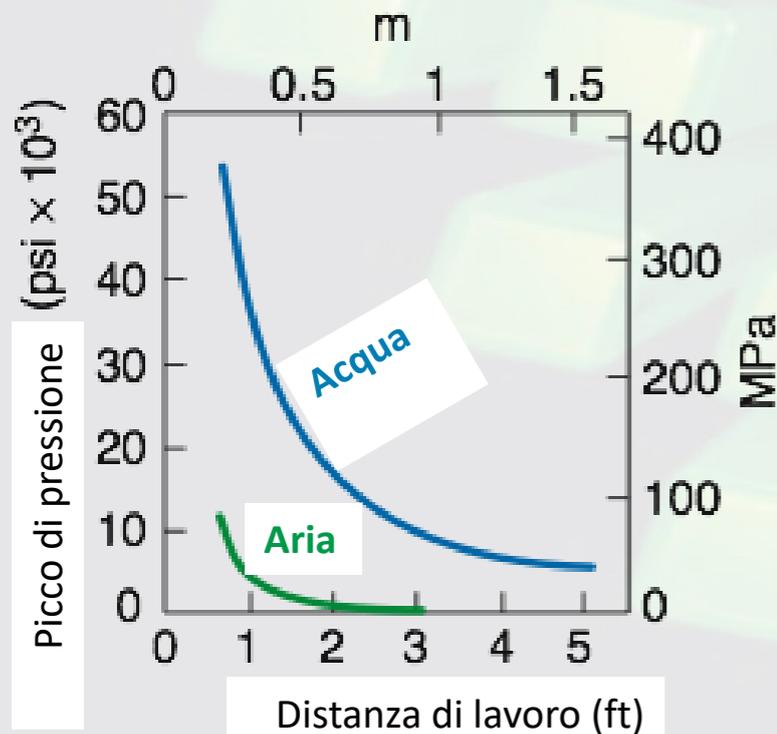
**R** è la distanza di lavoro in piedi (ft)

**W** è il peso dell'esplosivo in libbre (lb)

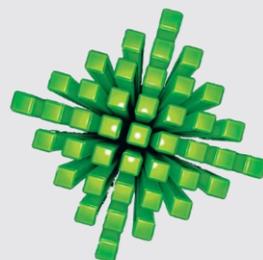
**a** è una costante pari a 1.15



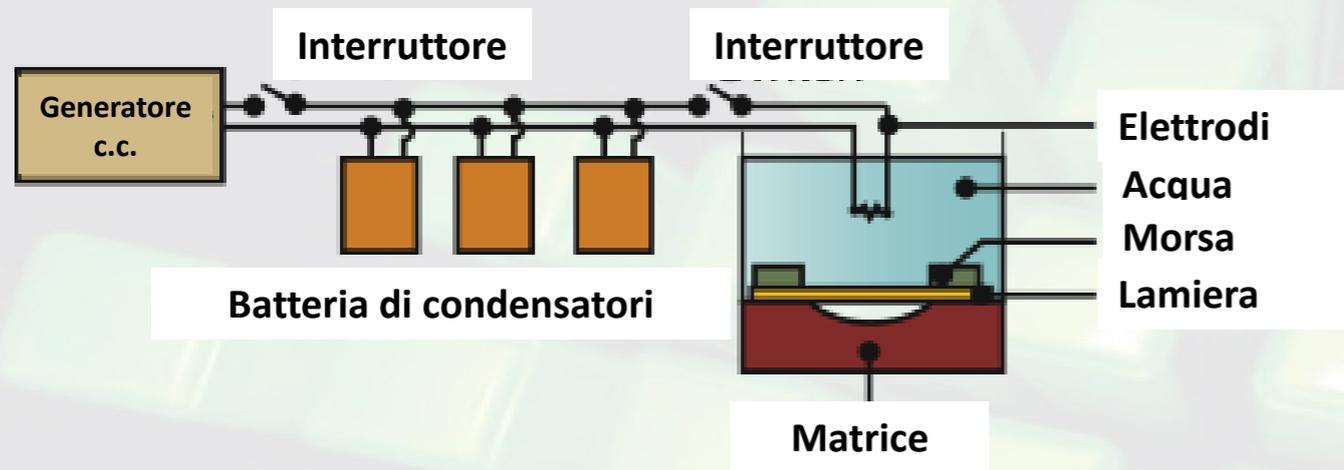
Schema del processo di formatura esplosiva. Sebbene gli esplosivi siano di solito usati con scopi distruttivi, in questo caso la loro energia può essere usata e controllata per formare pezzi di grandi dimensioni, difficili da produrre con altri metodi.



Effetto della distanza di lavoro e del mezzo di trasmissione della pressione sul picco di pressione ottenuto usando 1.8 kg (4lb) di TNT. Il mezzo di trasmissione della pressione deve avere alta densità e bassa comprimibilità (meglio l'acqua che l'aria).



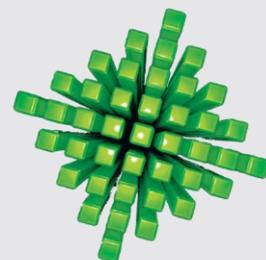
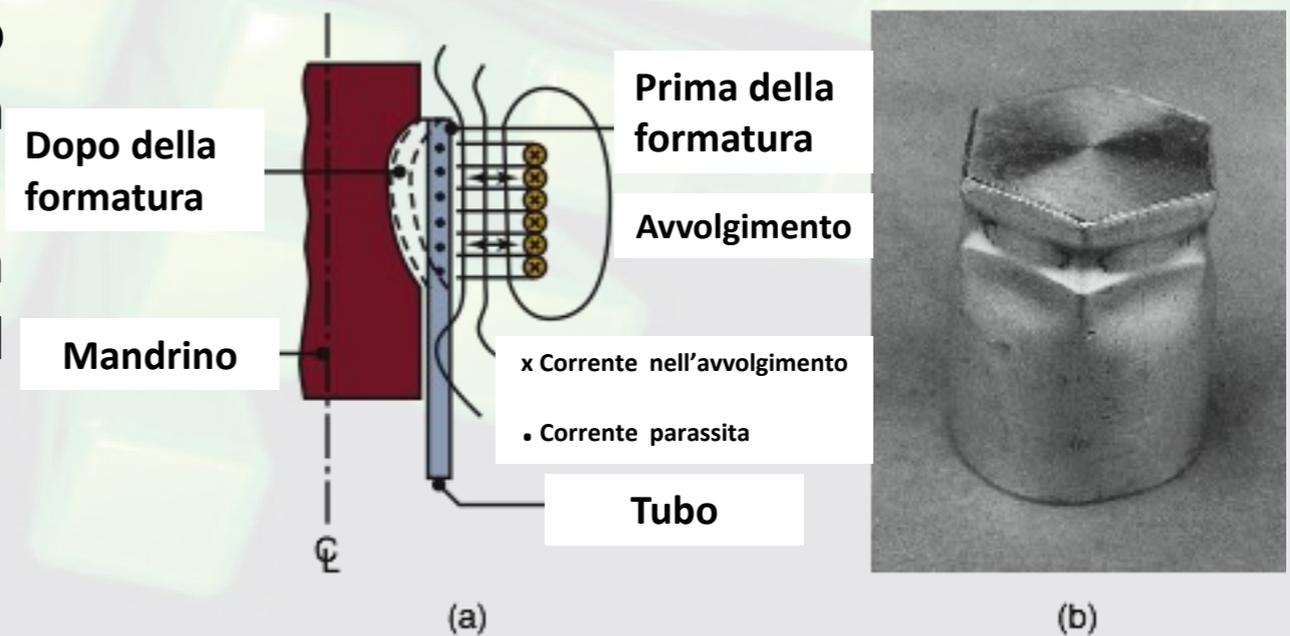
# Formatura Elettroidraulica e ad Impulso Magnetico



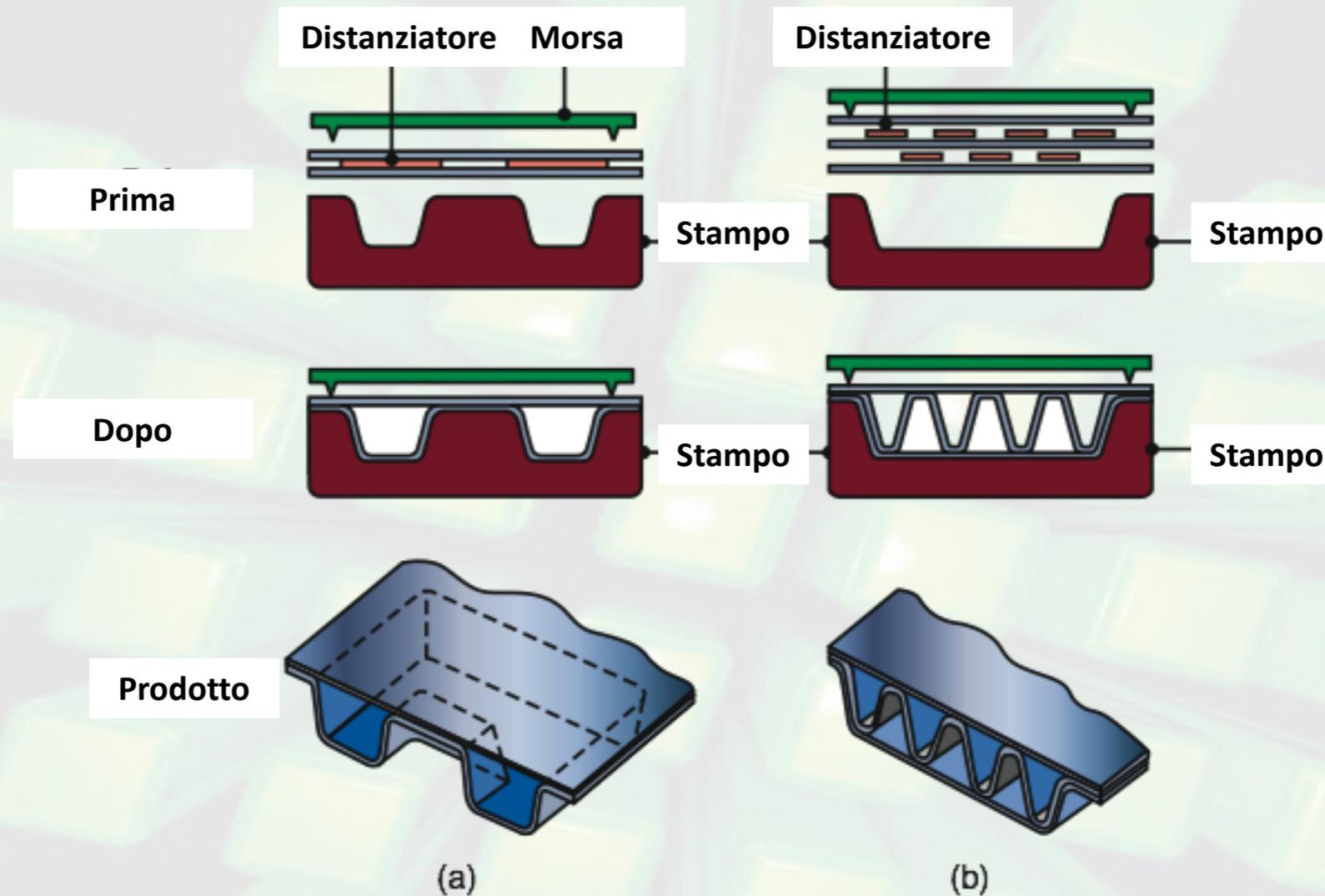
Schema del processo di formatura elettroidraulica.

(a) Schema del processo di **formatura ad impulso magnetico**. Il pezzo è formato senza venire a contatto con alcun oggetto;

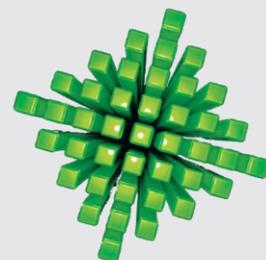
(b) Un tubo di alluminio formato su una testa esagonale mediante formatura ad impulso magnetico.



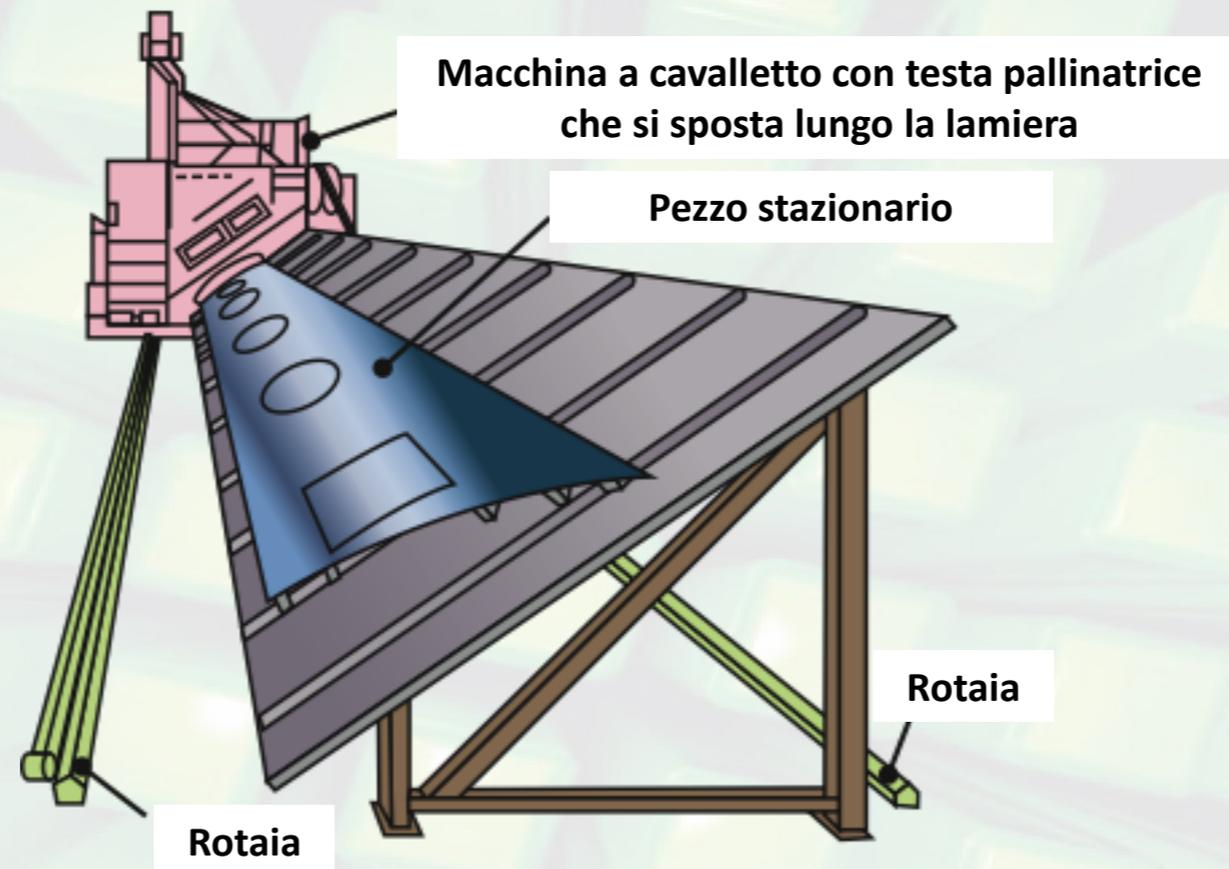
# Formatura Superplastica



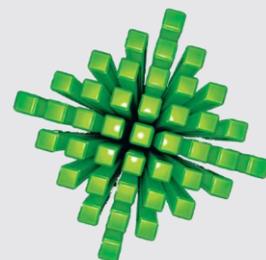
Due tipi di strutture realizzate combinando la saldatura per diffusione alla formatura superplastica nella lavorazione della lamiera. Tali strutture presentano un elevato rapporto tra rigidità e peso.



# Pallinatura



Schema della macchina pallinatrice in grado di formare grandi pezzi di lamiera, come i pannelli degli aeroplani. La lamiera è stazionaria e la testa pallinatrice si sposta lungo la lunghezza della lamiera.



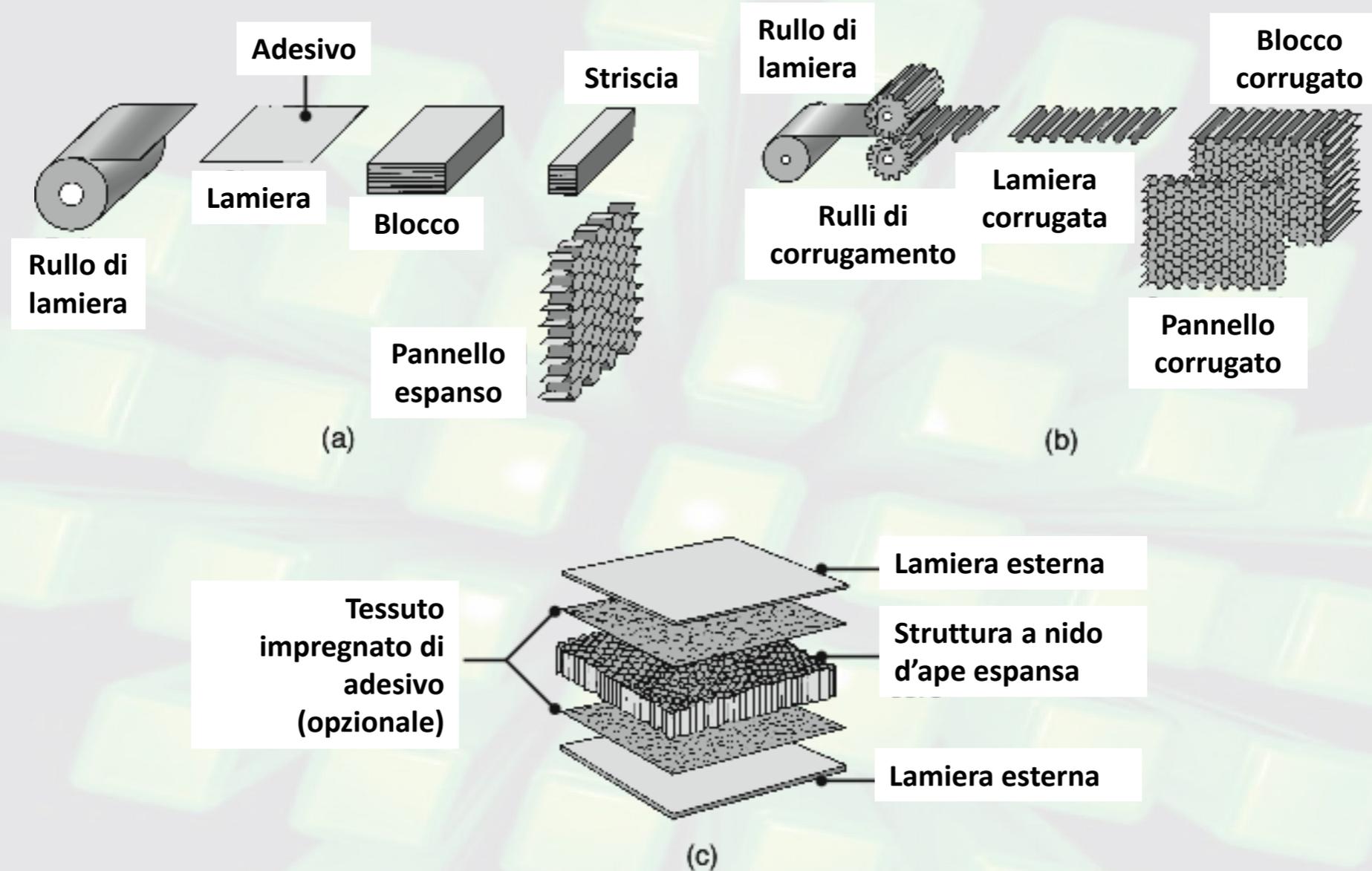
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

# Strutture a Nido d'Ape

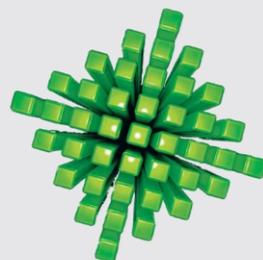


Metodi di realizzazione di strutture a nido d'ape:

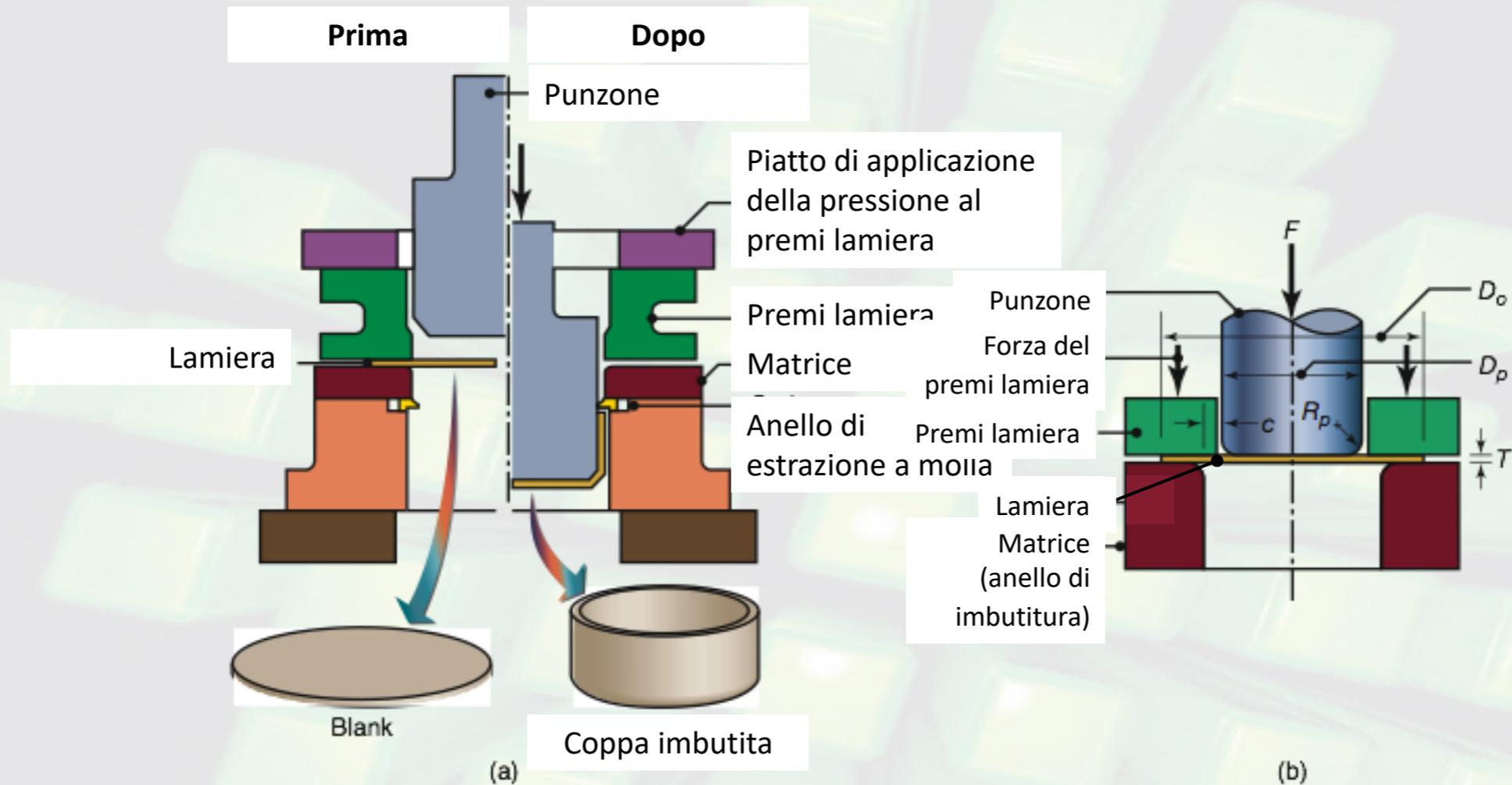
(a) Processo di espansione;

(b) Processo di corrugazione;

(c) Assemblaggio di una struttura a nido d'ape in un laminato.

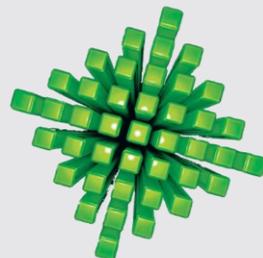


# Imbutitura



(a) Schema dell' imbutitura profonda di una lamiera circolare metallica. L'anello di estrazione facilita la rimozione della coppa stampata, staccandola dal punzone.

(b) Variabili coinvolte nel processo di imbutitura profonda di una coppa cilindrica. Solo la forza del punzone è una variabile dipendente, mentre tutte le altre sono indipendenti, compresa la forza del premi lamiera.



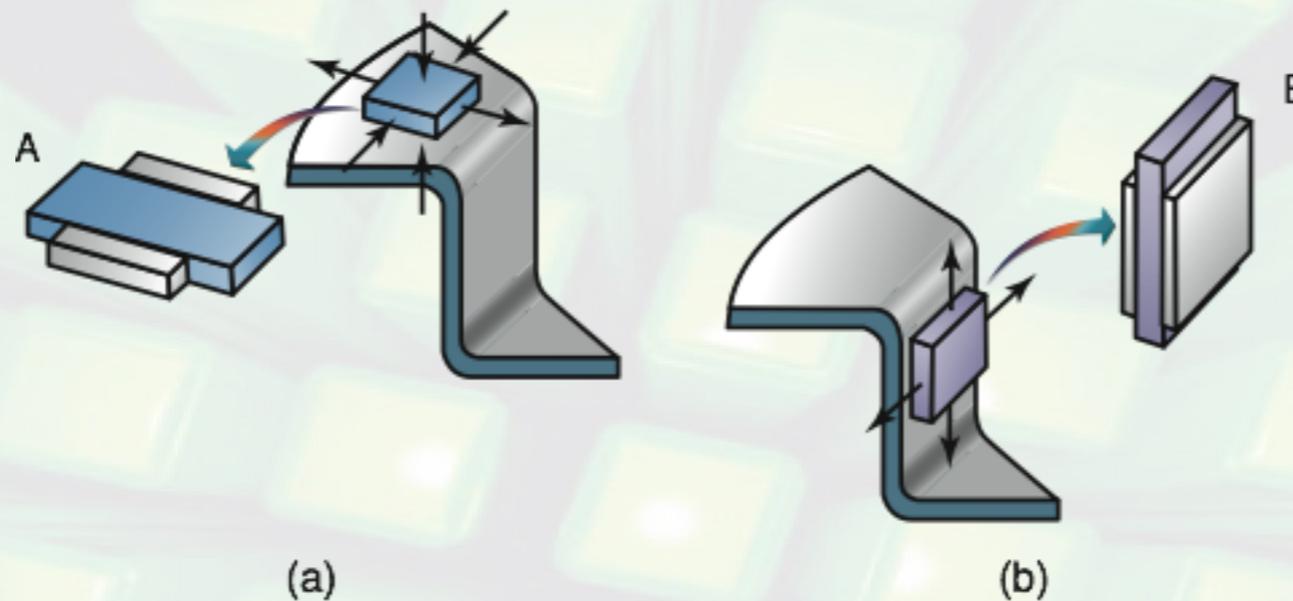
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

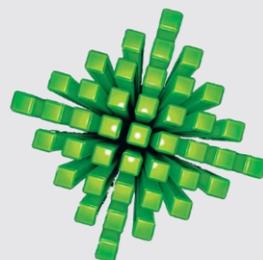
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

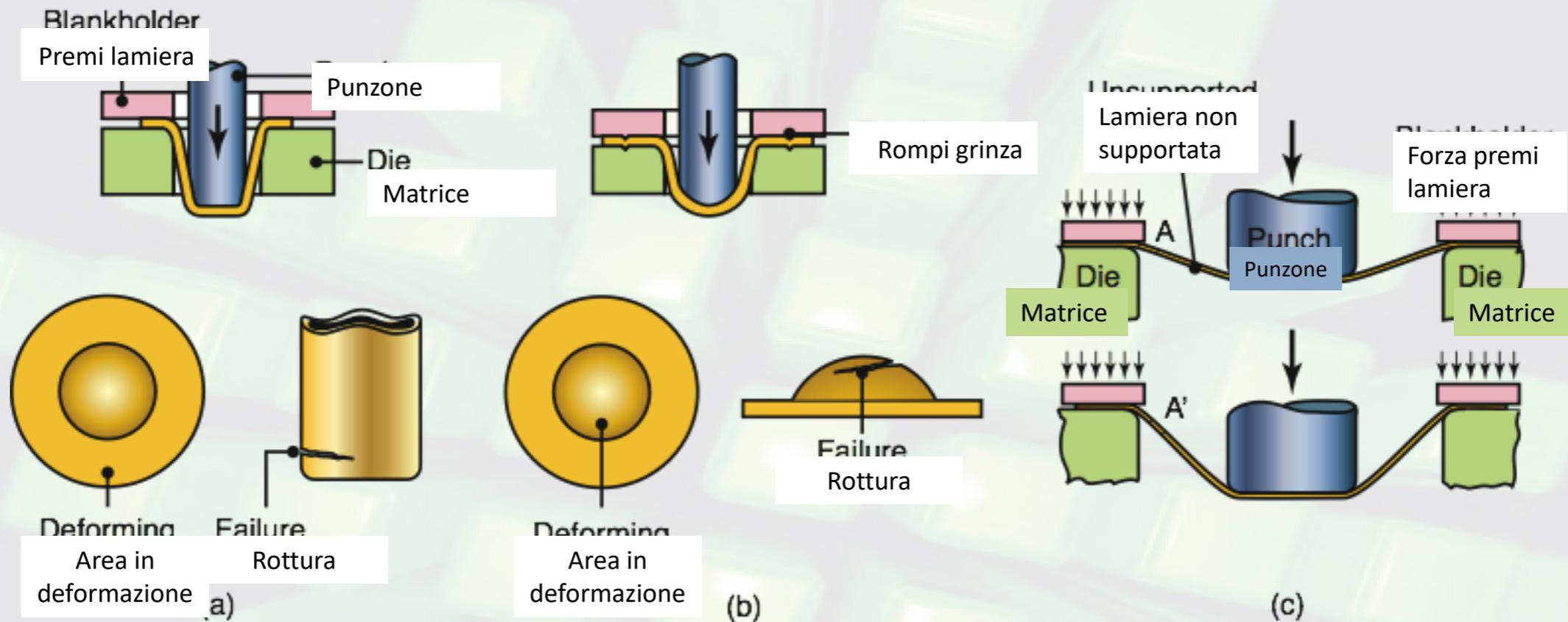
# Deformazione nella Flangia e nella Parete



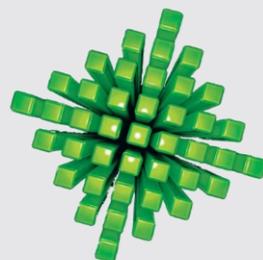
Deformazione di un elemento nella  
**(a) Flangia** e  
**(b) Parete**  
nella imbutitura profonda di una coppa cilindrica.



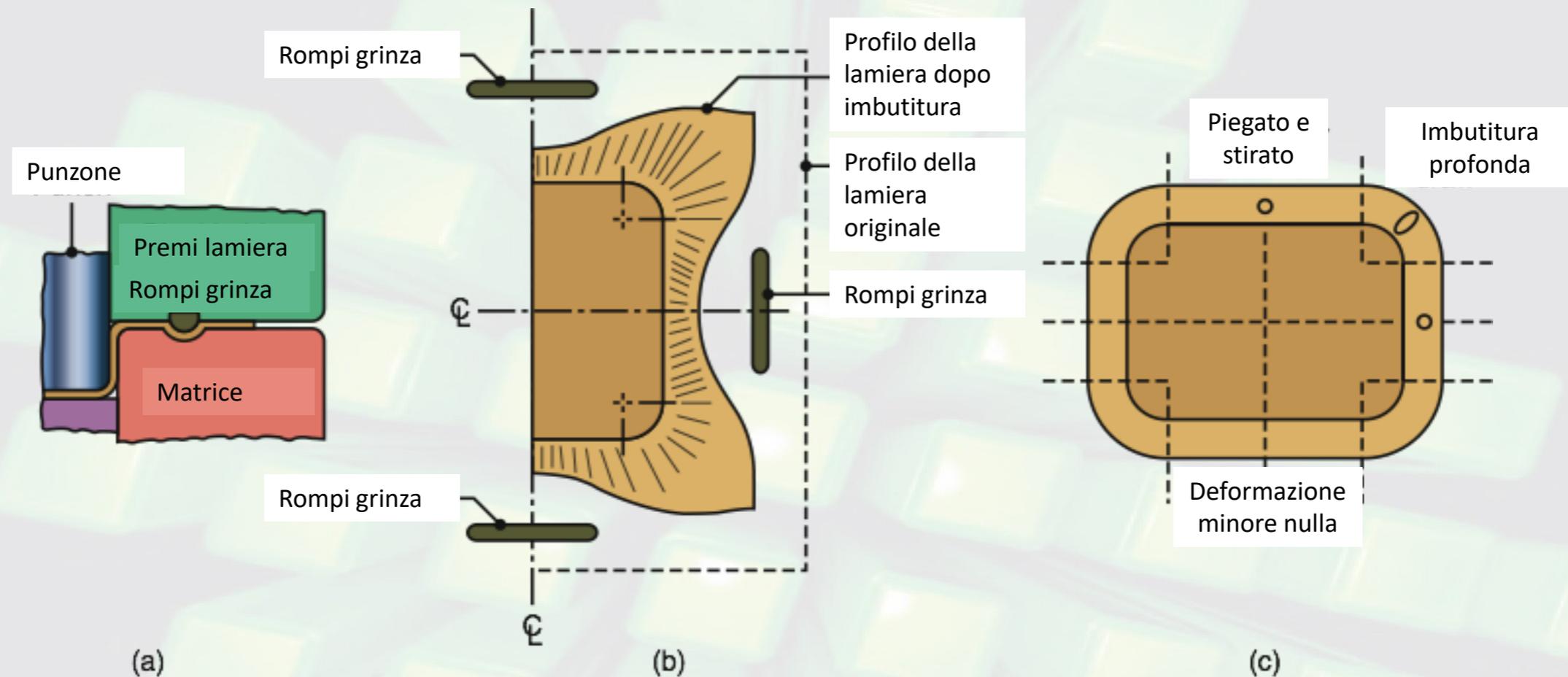
# Imbutitura Pura e Stiratura Pura



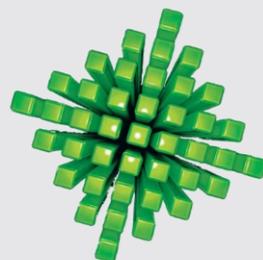
- (a) Imbutitura pura, e
- (b) Stiratura pura; i rompi grinza impediscono alla lamiera metallica di scorrere dentro la cavità della matrice.
- (c) Configurazione di imbutitura in parete libera con possibilità di formazione di grinze.



# Rompi Grinza e Flusso del Metallo

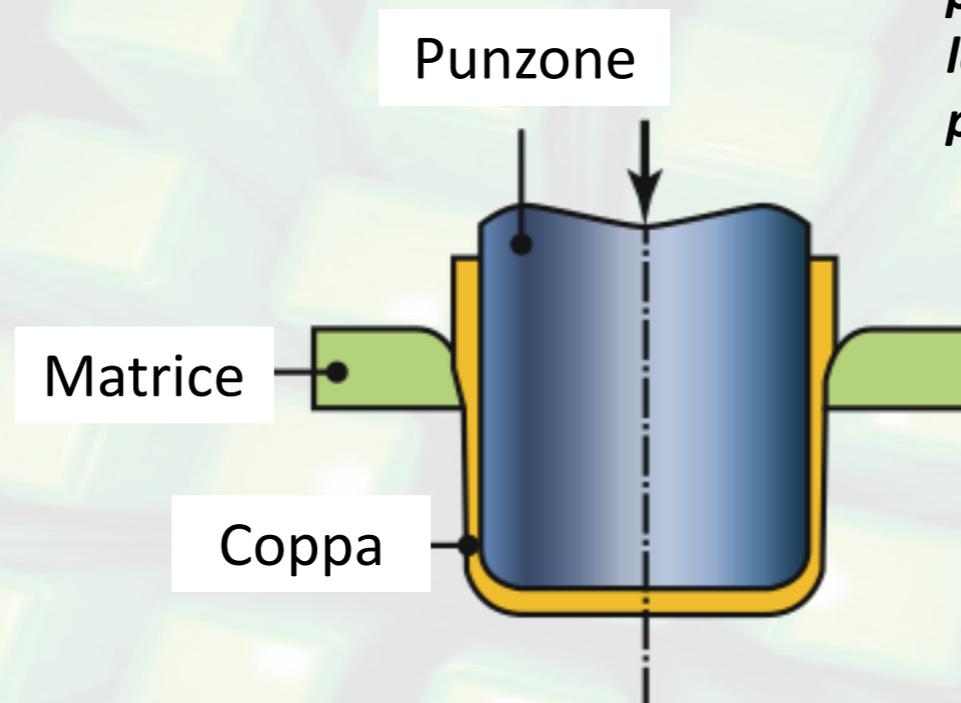


- (a) Schema della disposizione di un rompi grinza,
- (b) Flusso del metallo durante l'imbutitura di un componente a forma di scatola, utilizzando dei rompi grinza per controllare il movimento del materiale.
- (c) Deformazione di una griglia di cerchi nell'imbutitura.

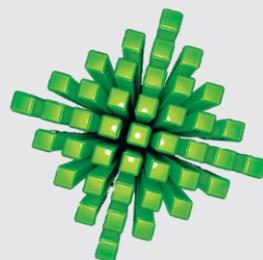


# Calibratura

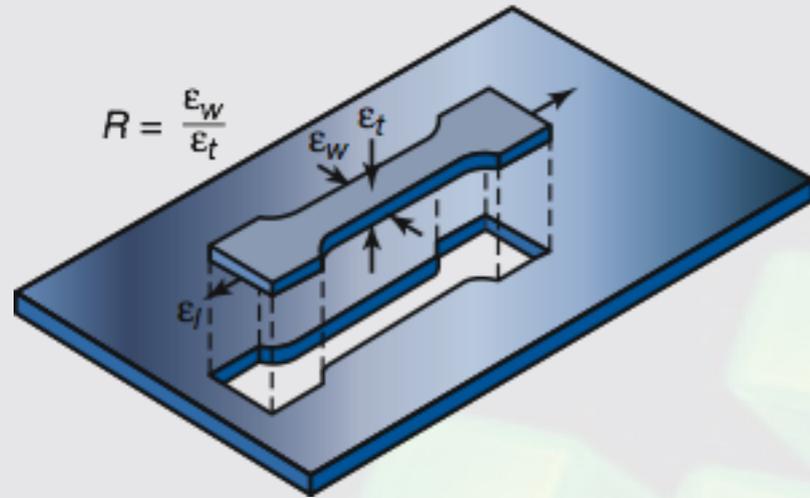
*In questo caso il gioco tra matrice e punzone è inferiore allo spessore della lamiera. In questo caso lo spessore della parete della lattina viene ridotto.*



Schema dell'operazione di calibratura. La parete della coppa è più sottile del fondo (il cui spessore è pari a quello della lamiera iniziale non deformata). Tutte le lattine senza saldatura sono calibrate, di solito in tre passi, dopo essere state imbutite. Le lattine con parte superiore e parte inferiore separate e distinte sono dette lattine in tre pezzi.



# Anisotropia



Definizione della anisotropia normale,  $R$ , espressa come rapporto tra la deformazione nella larghezza del campione e la deformazione nello spessore del campione in una prova a trazione. Il campione può essere tagliato in differenti direzioni rispetto a quella di laminazione.

**Anisotropia normale o anisotropia plastica o rapporto di deformazione  $R$**

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln\left(\frac{w_0}{w_f}\right)}{\ln\left(\frac{t_0}{t_f}\right)} = \frac{\ln\frac{w_0}{w_f}}{\ln\frac{w_f l_f}{w_0 l_0}}$$

Materiale	$\bar{R}$
Leghe di zinco	0.4-0.6
Acciai laminati a caldo	0.8-1.0
Acciai effervescenti laminati a freddo	1.0-1.4
Acciai laminati a freddo calmati con alluminio	1.4-1.8
Leghe di alluminio	0.6-0.8
Rame e ottone	0.6-0.9
Leghe di titanio ( $\alpha$ )	3.0-5.0
Acciai inossidabili	0.9-1.2
Acciai alto resistenziali basso legati	0.9-1.2

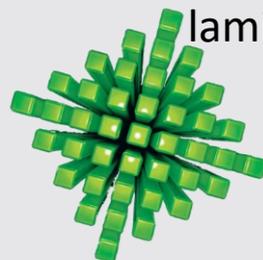
**Anisotropia normale media**

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$$

**Anisotropia planare**

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2}$$

Valori indicativi del valore di anisotropia normale media,  $\bar{R} = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4}$ , di varie lamiere metalliche. Dove 0, 45 e 90 indicano i gradi del campione rispetto alla direzione di laminazione



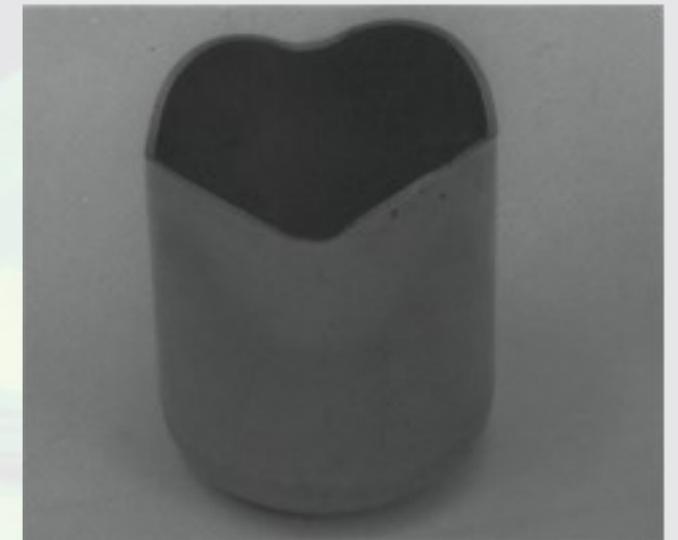
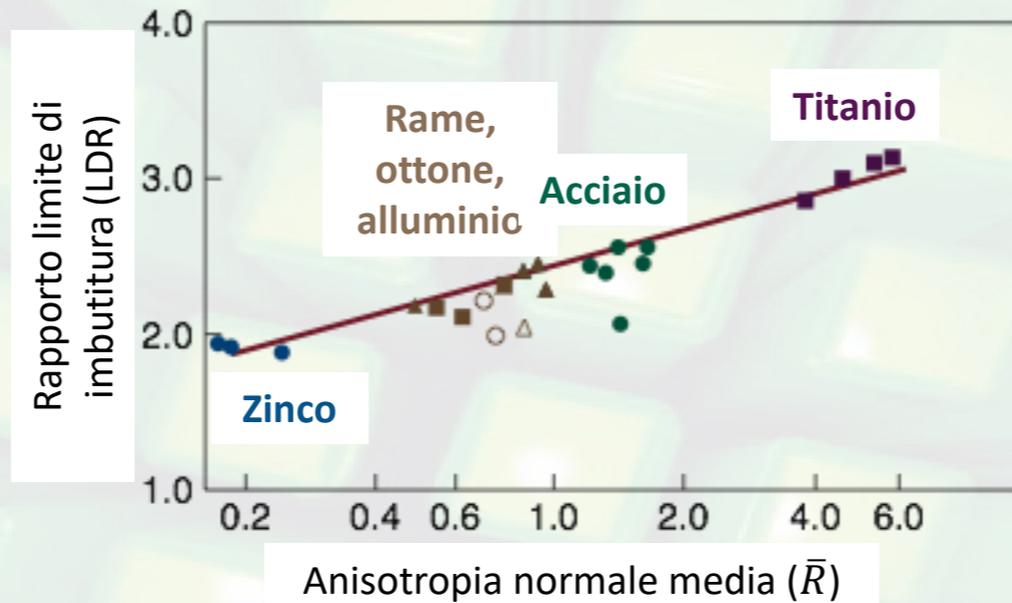
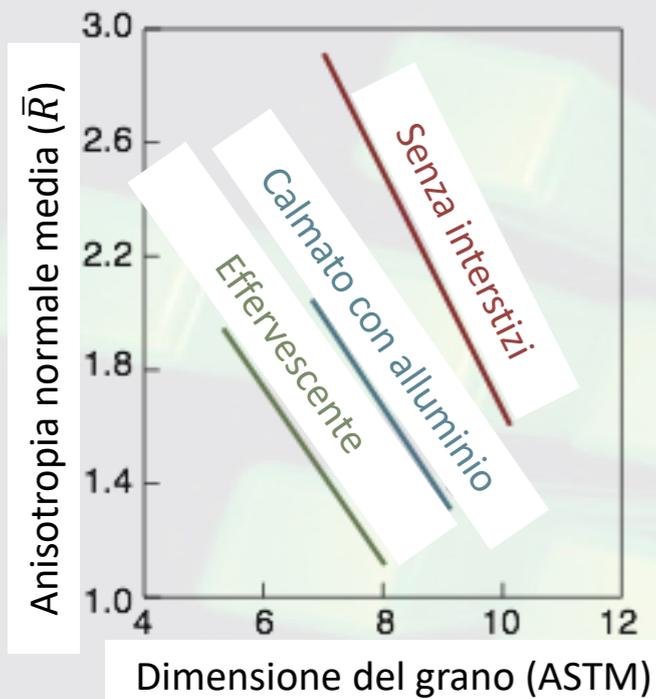
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

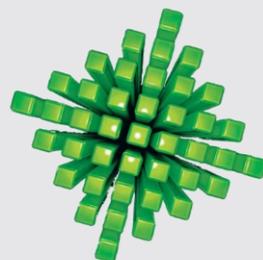
# Anisotropia ed Effetti



Effetti della dimensione del grano sulla anisotropia normale media di vari acciai a basso contenuto di carbonio.

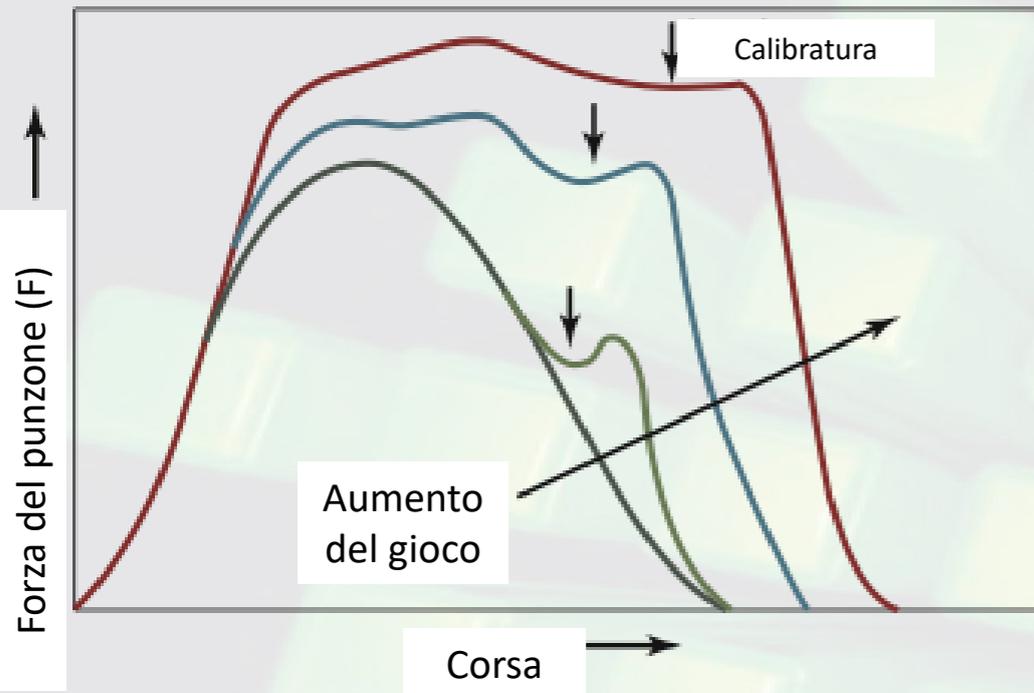
Effetto della anisotropia normale media,  $\bar{R}$ , sul rapporto limite di imbutitura (LDR) per diverse lamiera metalliche.

Tipiche orecchie nella imbutitura di una coppa di acciaio causate dalla presenza di anisotropia planare nella lamiera.



# Forza del Punzone

## Massima Forza del Punzone



$$F_{max} = \pi D_p t_o (UTS) \left( \frac{D_o}{D_p} - 0.7 \right)$$

dove

$D_o$  è il diametro della lamiera indeformata

$D_p$  è il diametro del punzone

$t_o$  è lo spessore della lamiera

UTS è il carico di rottura del materiale

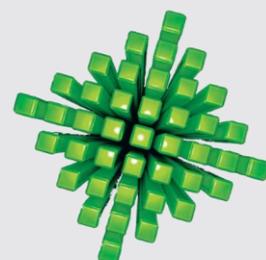
Andamento della forza del punzone in funzione della corsa nell'imbutitura. Le frecce indicano quando inizia la calibratura e che all'inizio del processo di imbutitura non ha luogo la calibratura e che questa inizia quando il punzone ha compiuto parte della corsa e formato parte della coppa.



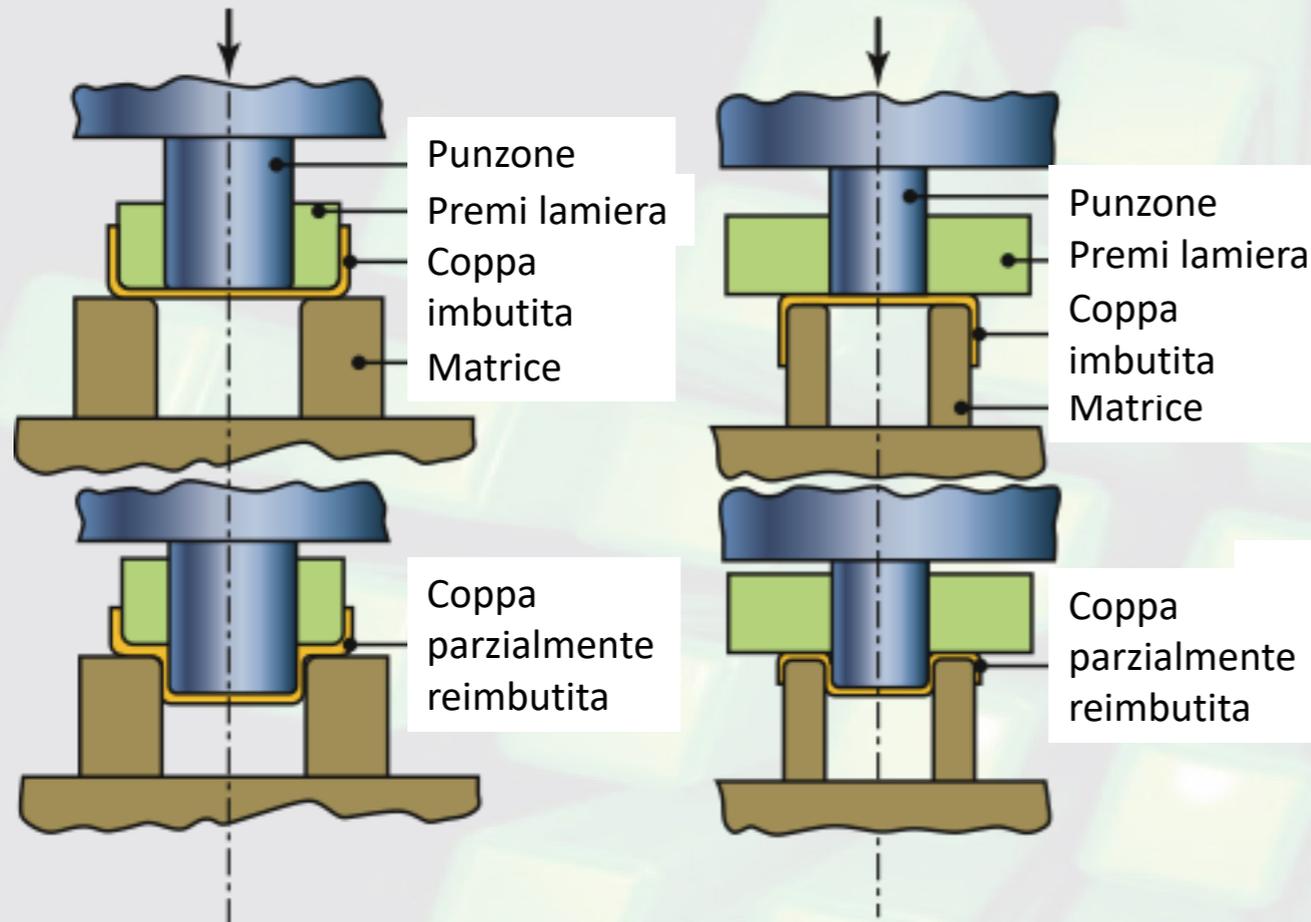
Effetto dei raggi della matrice e del punzone sulla frattura nell'imbutitura di una coppa cilindrica.

(a) Raggio della matrice troppo piccolo; dovrebbe essere tra 5 e 10 volte lo spessore della lamiera.

(b) Raggio del punzone troppo piccolo. Siccome l'attrito tra il punzone e la coppa agevola l'imbutitura della coppa, una eccessiva quantità di lubrificante andrebbe contro l'operazione di imbutitura.



# Reimbutitura e Matrice tipo Tractrix



a) Reimbutitura convenzionale

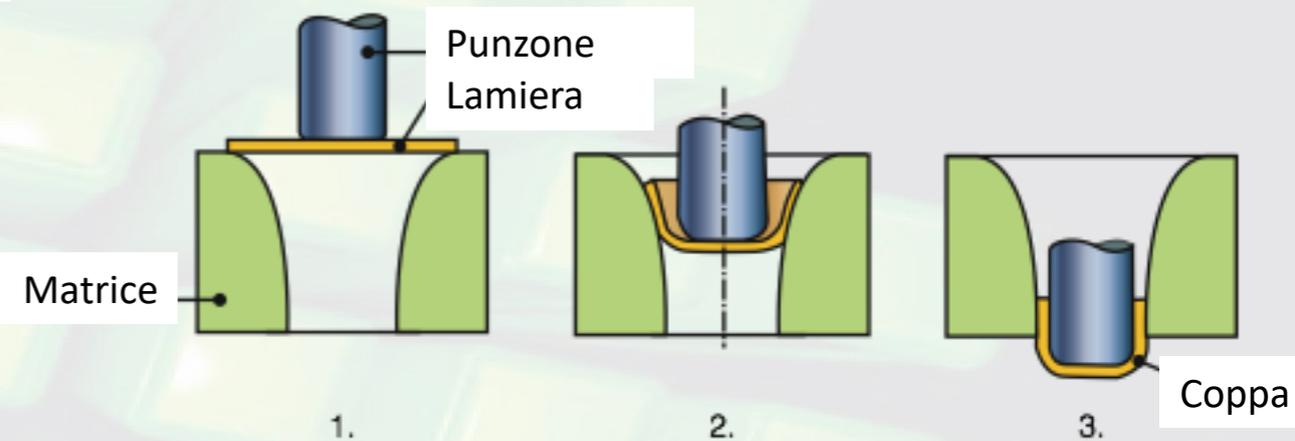
b) Reimbutitura inversa

Riduzione del diametro di una coppa imbutita mediante:

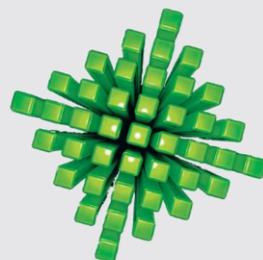
**(a) Reimbutitura convenzionale.**

**(b) Reimbutitura inversa.**

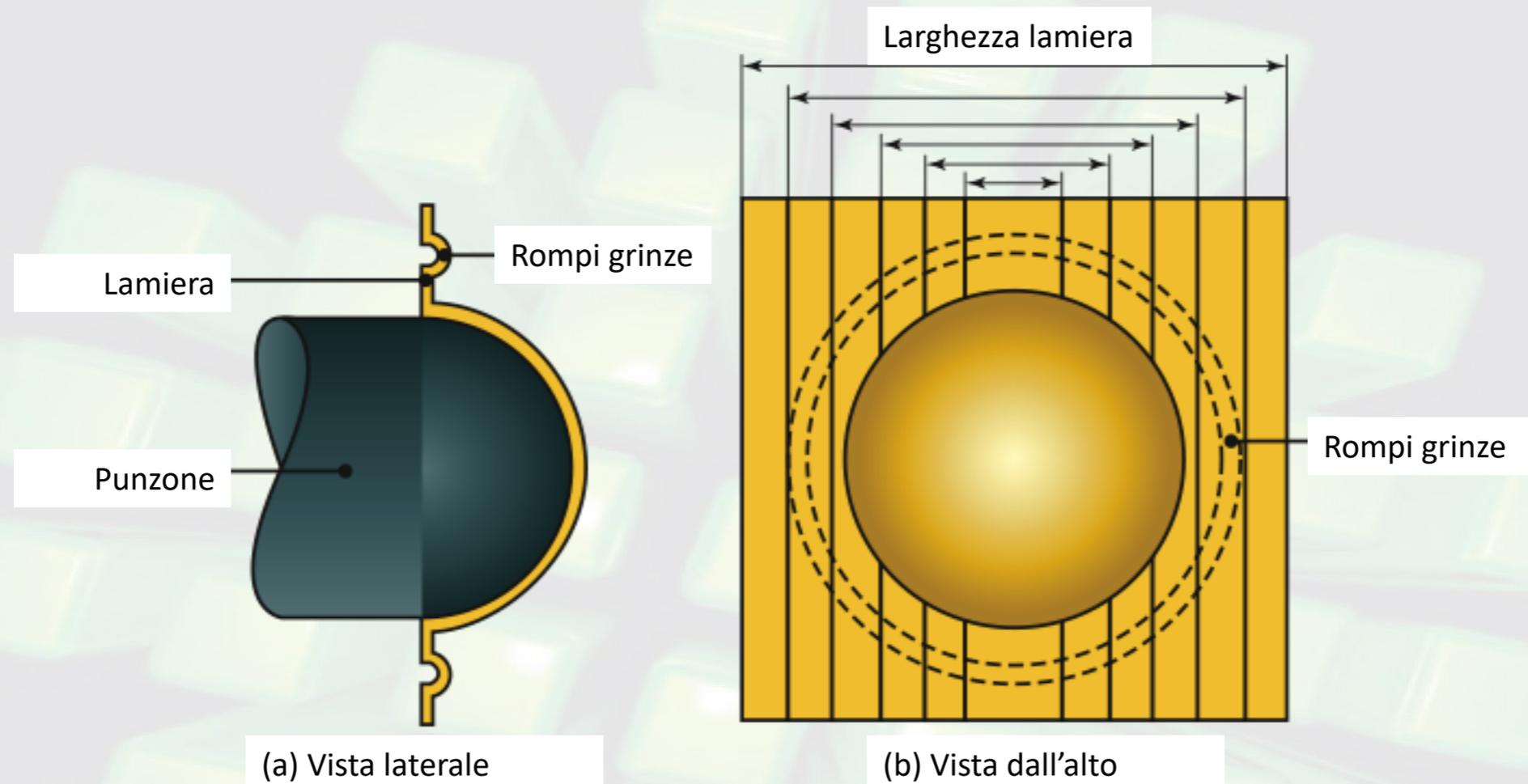
Contenitori di piccolo diametro, ma profondi possono subire numerose operazioni di reimbutitura.



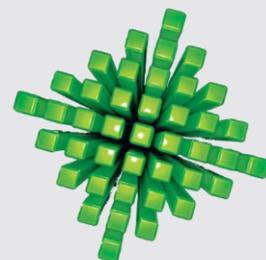
Fasi nel processo di imbutitura profonda senza premi lamiera **usando una matrice con profilo sagomato tipo *tractrix*.**



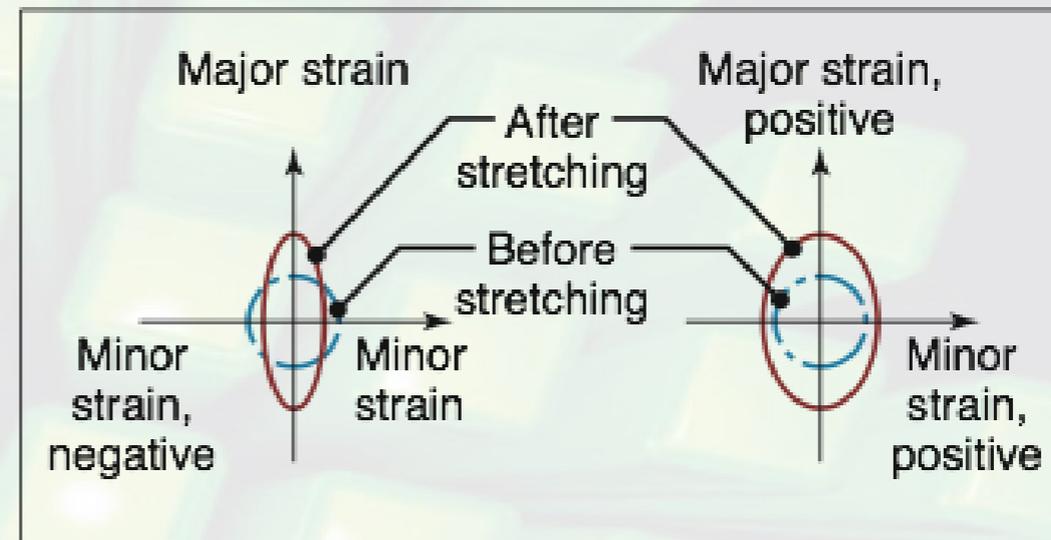
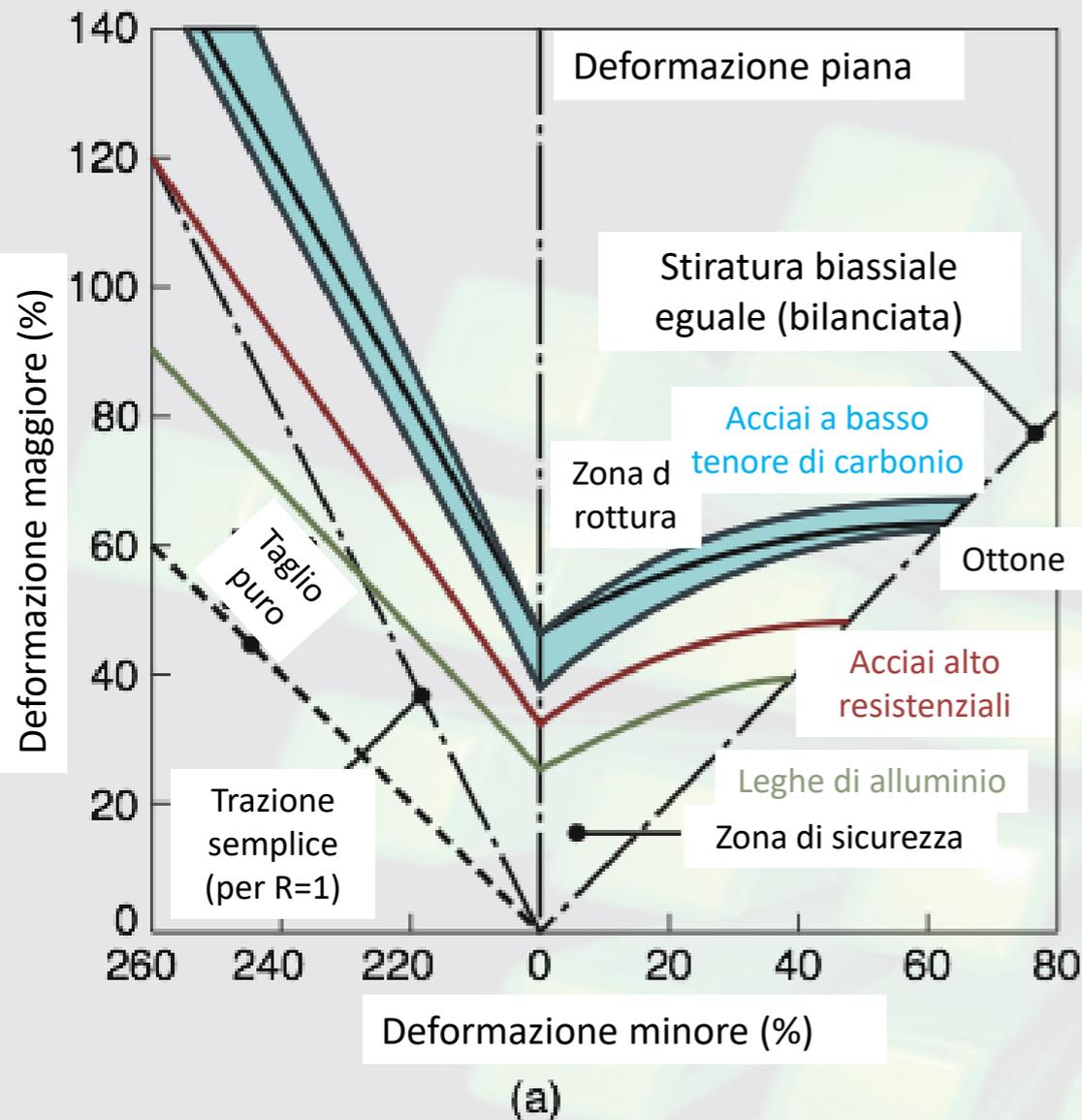
# Prova di Punzonatura-Stiratura



Schema della prova di punzonatura – stiratura su campioni di lamiera di diversa larghezza, afferrati sul lato più stretto. Quanto il campione è più stretto, tanto più uniassiale è lo stiramento.

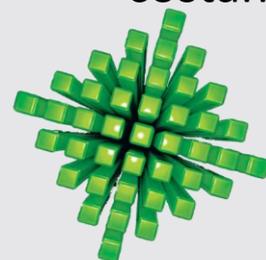


# Diagramma del Limite di Formabilità (FLD)



(a) Diagramma al limite di formabilità (FLD) di diverse lamiere metalliche. La deformazione maggiore è sempre positive. La zona sopra la curva è la zona di rottura; per tale motivo lo stato di deformazione deve stare sotto la curva dello specifico materiale;  $R$  è l'anisotropia normale.

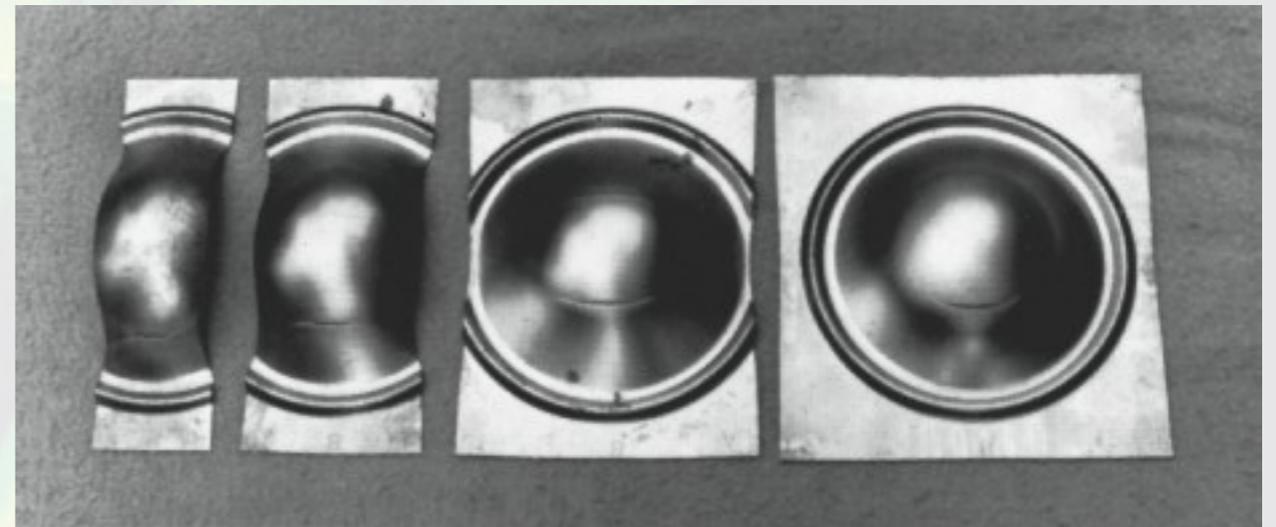
(b) Definizione di deformazione minore positive e deformazione minore negativa. Se l'area del cerchio deformato è maggiore dell'area del cerchio originale, allora lo spessore è più sottile rispetto a quello originale a causa della costanza del volume durante la deformazione plastica.



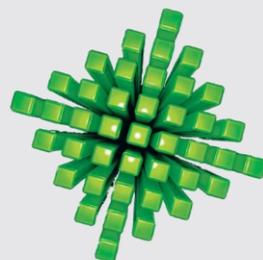
# Test di Formabilità



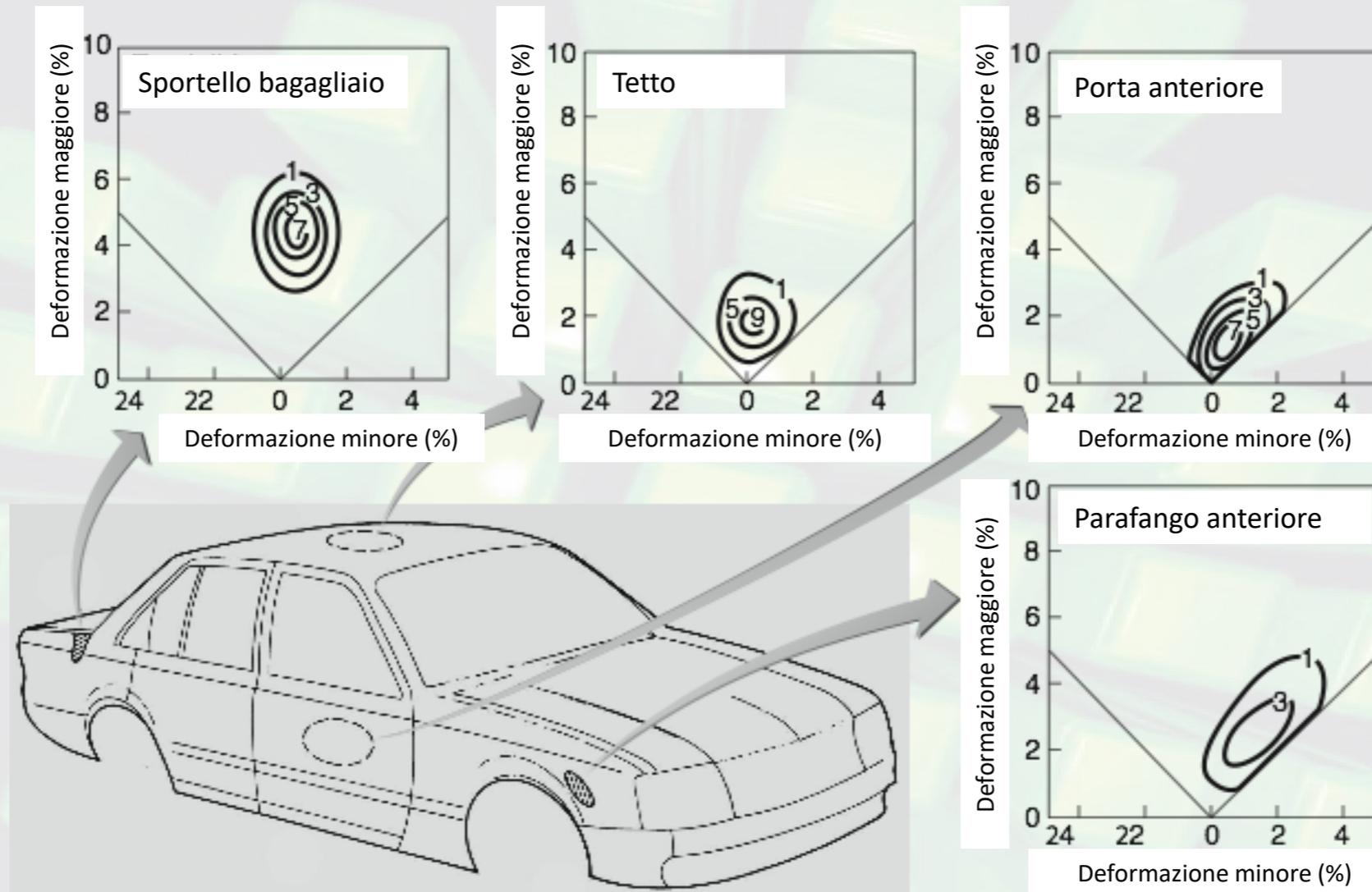
Un esempio di reticolo regolare riportato sulla lamiera usata nelle prove di formabilità per determinare grandezza e direzione delle deformazioni superficiali nella formatura della lamiera. La cricca è di solito perpendicolare alla maggiore deformazione (positiva).



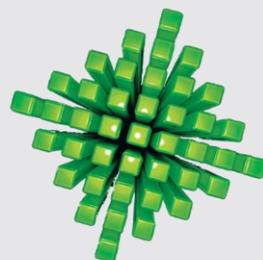
Diversi campioni di diversa larghezza usati per ottenere i diagrammi del limite di formabilità. Il primo campione (quello più a sinistra) si allunga di più prima di rompersi rispetto a quello tutto a destra. Lo stato tensionale passa da uno stato di tensione per lo più uniassiale (a sinistra) ad uno stato di tensione biassiale (a destra).



# Deformazioni in una Automobile



Deformazione maggiore e deformazione minore in varie zone della carrozzeria di una automobile.



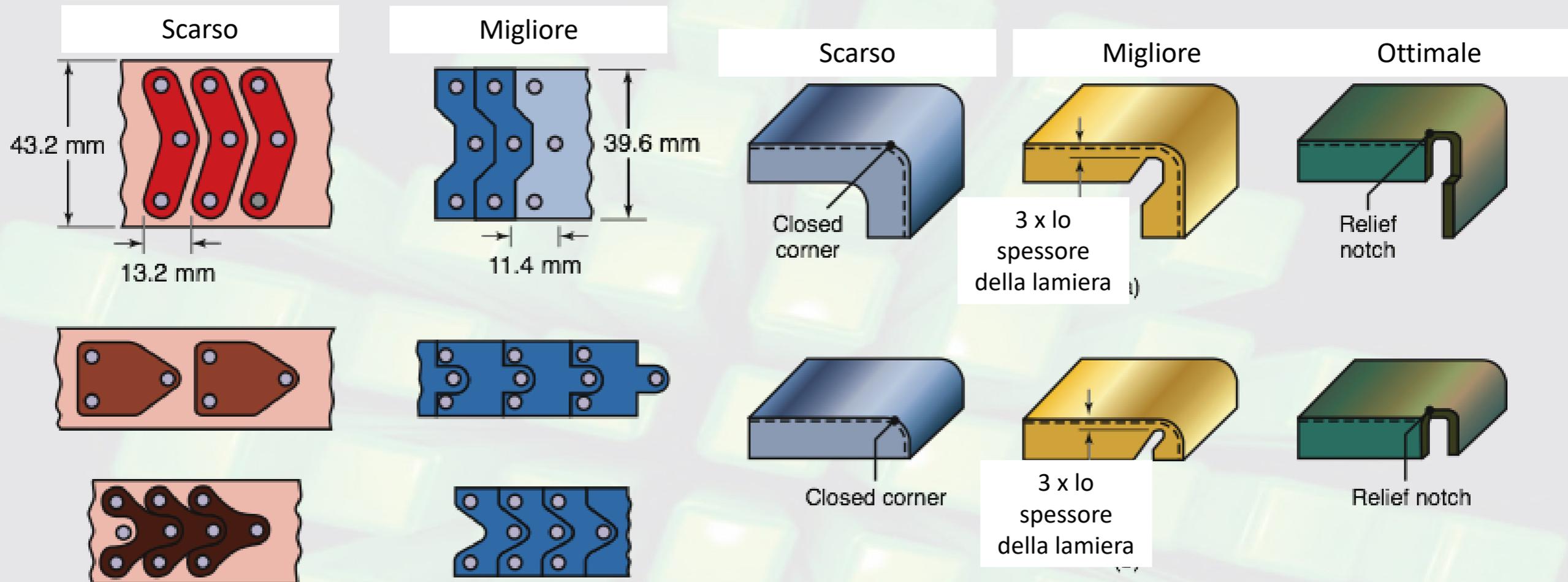
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

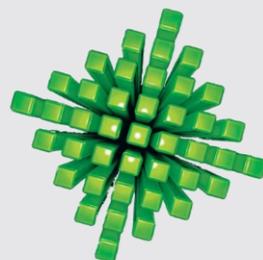
ISBN No. 0-13-227271-7

# Considerazioni sulla Progettazione



Un migliore annidamento delle parti per un utilizzo ottimale del materiale nella tranciatura.

Controllo delle lacerazioni e dell'instabilità di un bordo piegato a 90°



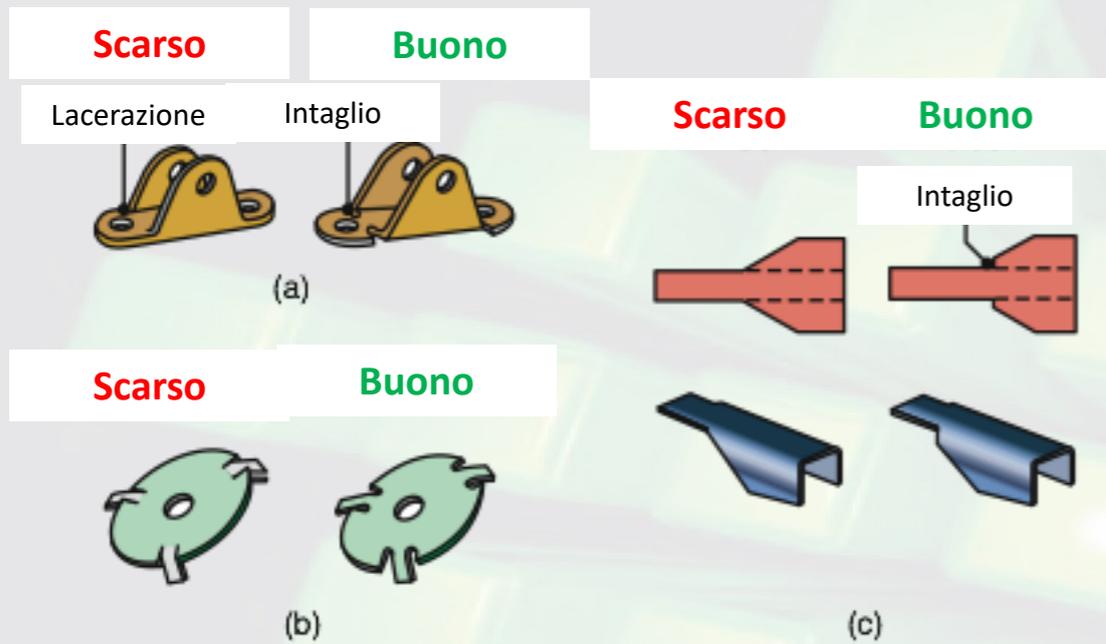
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

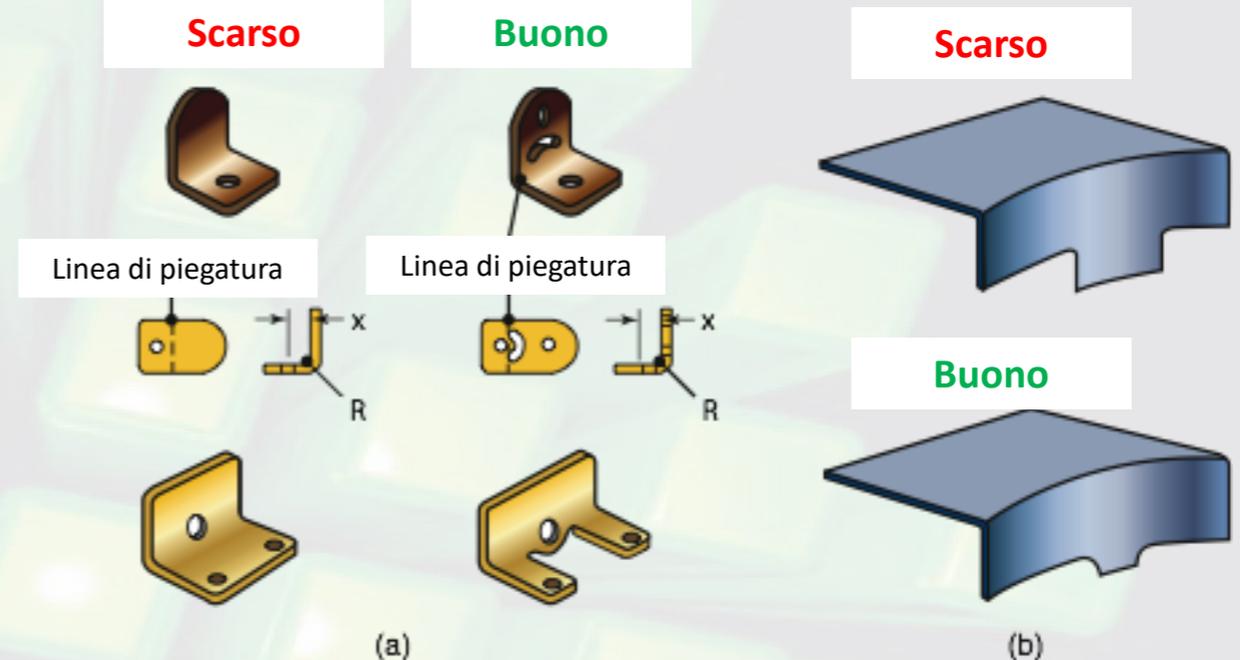
© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

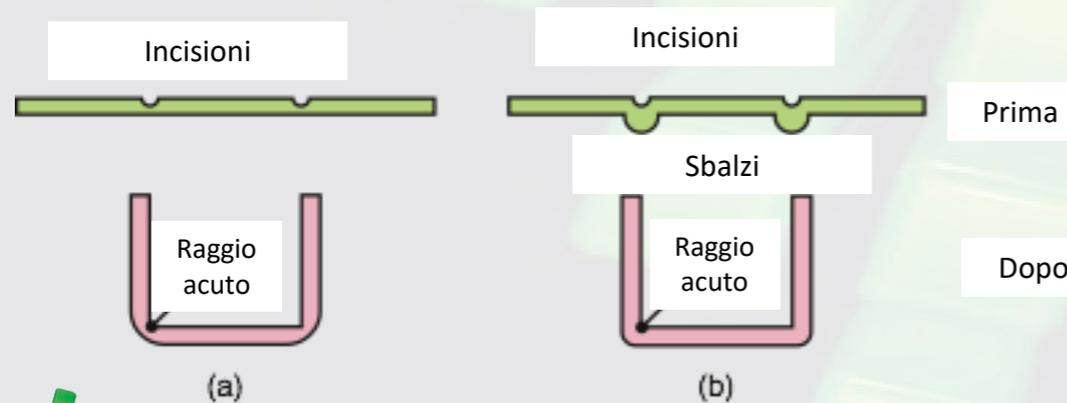
# Considerazioni sulla Progettazione (cont.)



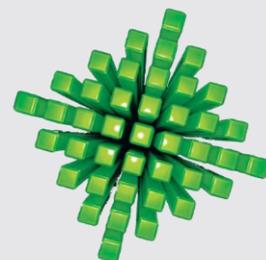
Inserimento di intagli per evitare lacerazioni ed increspature nella piegatura a 90°.



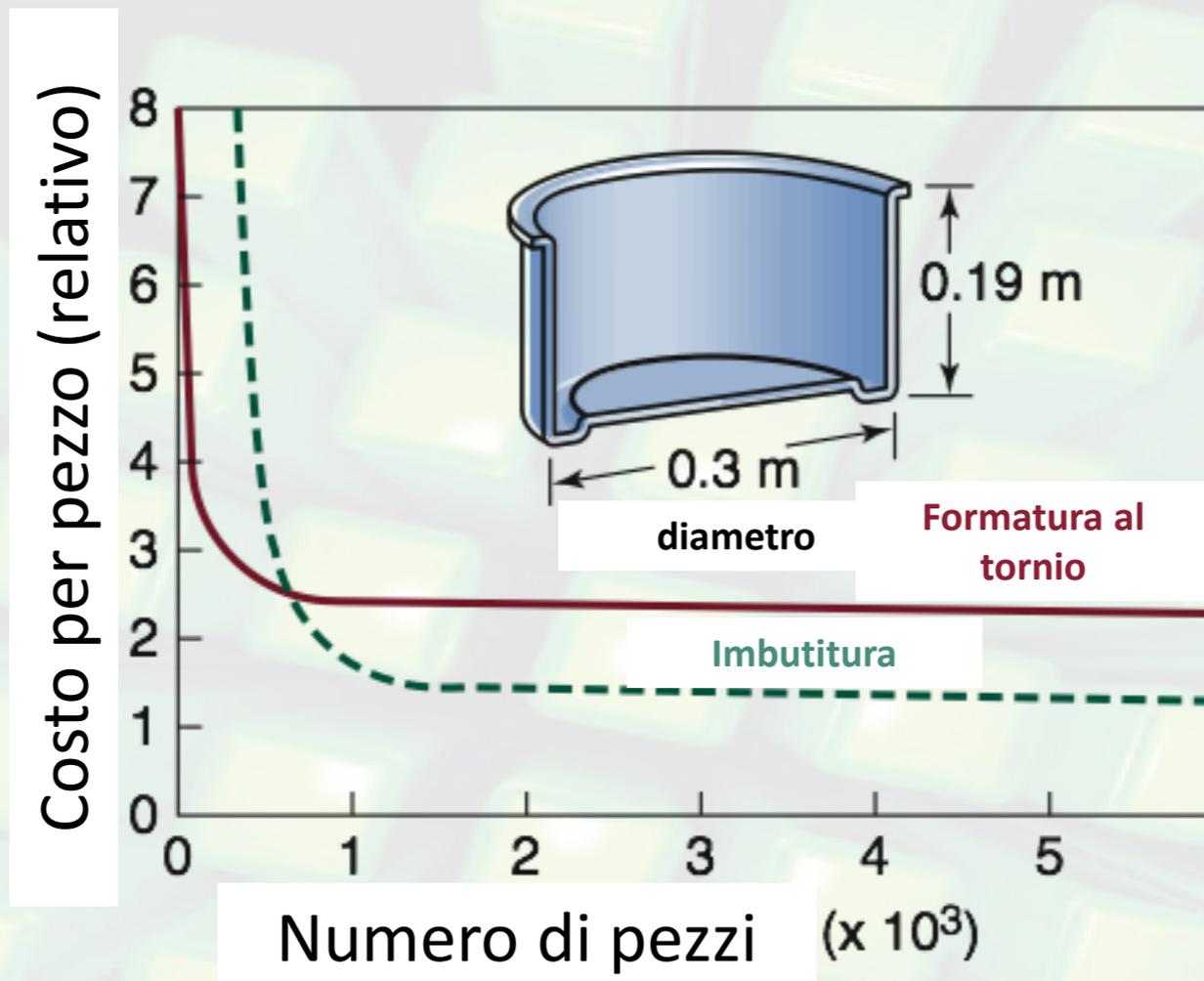
Concentrazione di sforzi vicino alle linee di piegatura.  
 a) Creazione di un'orecchia per fare un foro vicino ad una linea di piegatura.  
 b) Ridurre le dimensioni di una linguetta nella flangia.



Applicazione di  
 (a) incisione, o  
 (b) sbalzo per ottenere un raggio interno acuto nella piegatura.  
 Ciò può portare a rotture se non è progettato con attenzione.



# Costi nella Formatura della Lamiera



Confronto dei costi nella fabbricazione di un contenitore cilindrico di lamiera mediante Formatura al tornio e Imbutitura.

