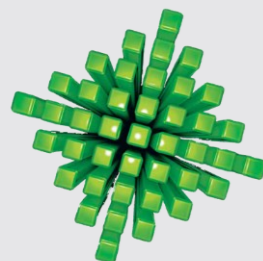
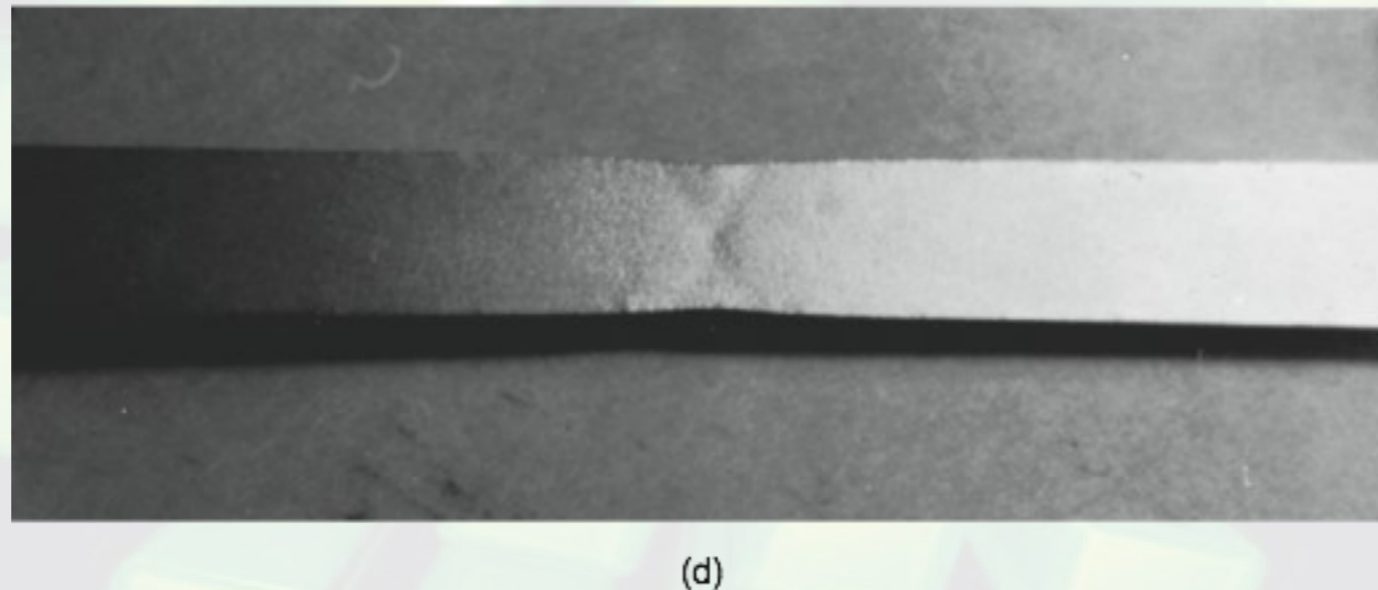
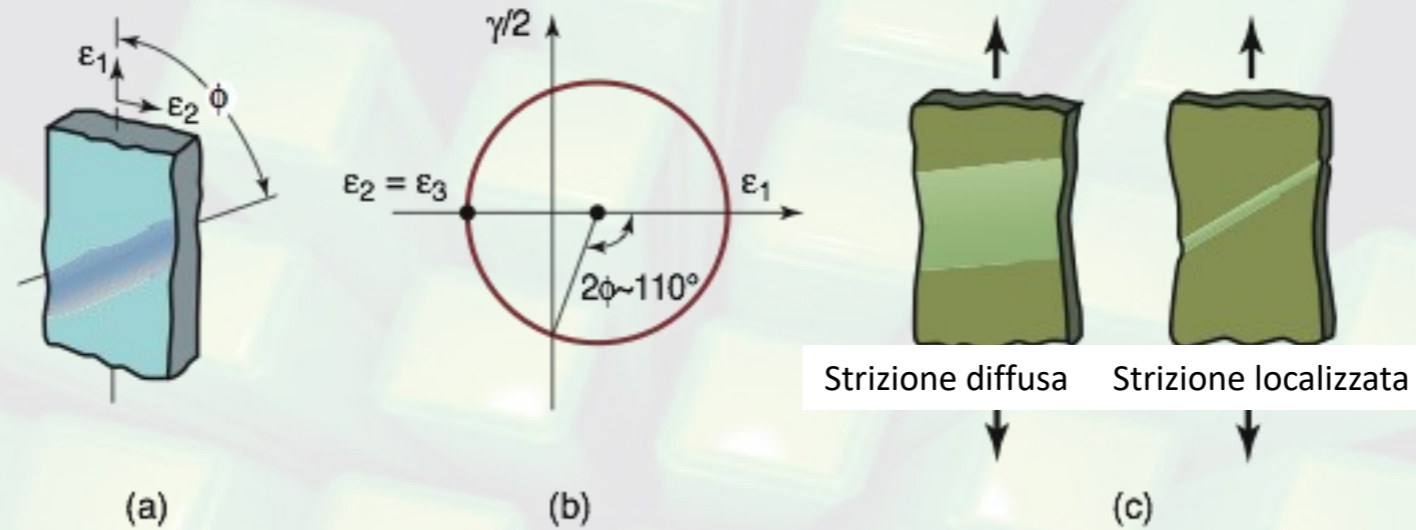


# Processi di Formatura della Lamiera

<b>Profilatura a rulli</b>	Pezzi di lunghezza elevata con sezione trasversale complessa, ma costante; buona finitura superficiale; elevati volumi di produzione; costo delle attrezzature elevato.
<b>Stiratura</b>	Pezzi di dimensioni elevate, ma con forme semplici; volumi di produzione piccoli; elevato costo della manodopera; costo delle attrezzature e degli utensili dipende dalle dimensioni del pezzo.
<b>Imbutitura</b>	Pezzi semplici, ma spesso con notevole profondità; elevati volumi di produzione; costo delle attrezzature e degli utensili elevato.
<b>Stampaggio</b>	Include <i>la punzonatura, la tranciatura, la goffratura, la piegatura, la flangiatura, la coniatura</i> ; forme semplici e complesse con elevati volumi produttivi; costo delle attrezzature e degli utensili elevato; costo manodopera basso.
<b>Formatura con stampi in gomma</b>	Imbutitura e goffratura di forme semplici e complesse; la superficie della lamiera è protetta da membrane di gomma; operazione flessibile; basso costo degli utensili.
<b>Imbutitura al tornio</b>	Pezzi piccoli o grandi a simmetria assiale; buona finitura superficiale; basso costo degli utensili, ma il costo della manodopera è elevato a meno che il processo non venga automatizzato.
<b>Formatura superplastica</b>	Forme complesse, dettagli raffinati e tolleranze strette; i tempi di formatura sono lunghi e conseguentemente la velocità di produzione è bassa; i pezzi non sono idonei per l'utilizzo ad elevate temperature.
<b>Pallinatura</b>	Contornature poco profonde su lamiere estese; operazione flessibile; il costo dell'attrezzatura può essere elevato; il processo può essere usato anche per raddrizzare pezzi.
<b>Formatura mediante esplosivo</b>	Lamiere molto estese con forme relativamente complesse, sebbene siano di solito a simmetria assiale; basso costo delle attrezzature, ma elevato costo della manodopera, adatto a piccole produzioni; tempi ciclo lunghi.
<b>Formatura ad impulso magnetico</b>	Formatura poco profonda, gonfiaggio e coniatura di lamiere a bassa resistenza; più adatto a forme tubolari; elevati volumi produttivi; richiede attrezzature speciali.



# Strizione Localizzata



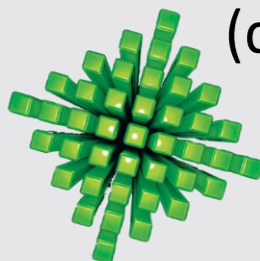
- (a) Strizione localizzata in un campione di lamiera sottoposto a trazione.
- (b) Determinazione dell'angolo di strizione dal cerchio di Mohr per le deformazioni.
- (c) Schema della strizione diffusa e di quella localizzata.
- (d) Strizione localizzata nella trazione di una striscia di alluminio: si noti la doppia strizione.

Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

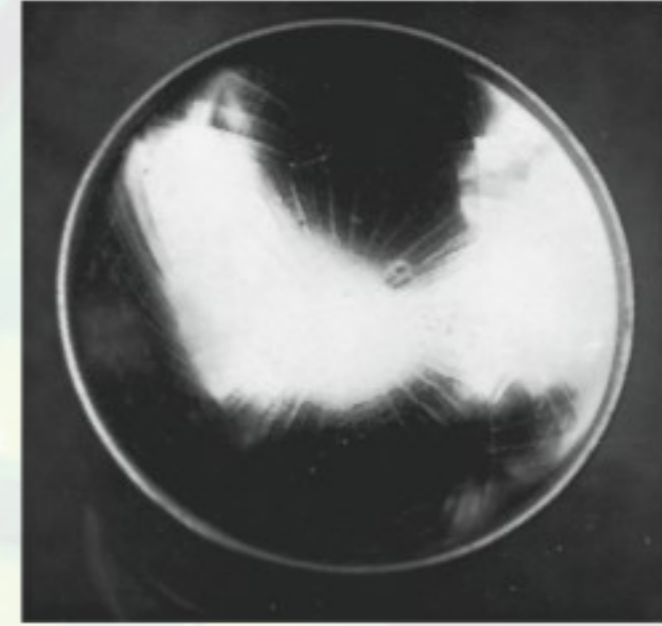
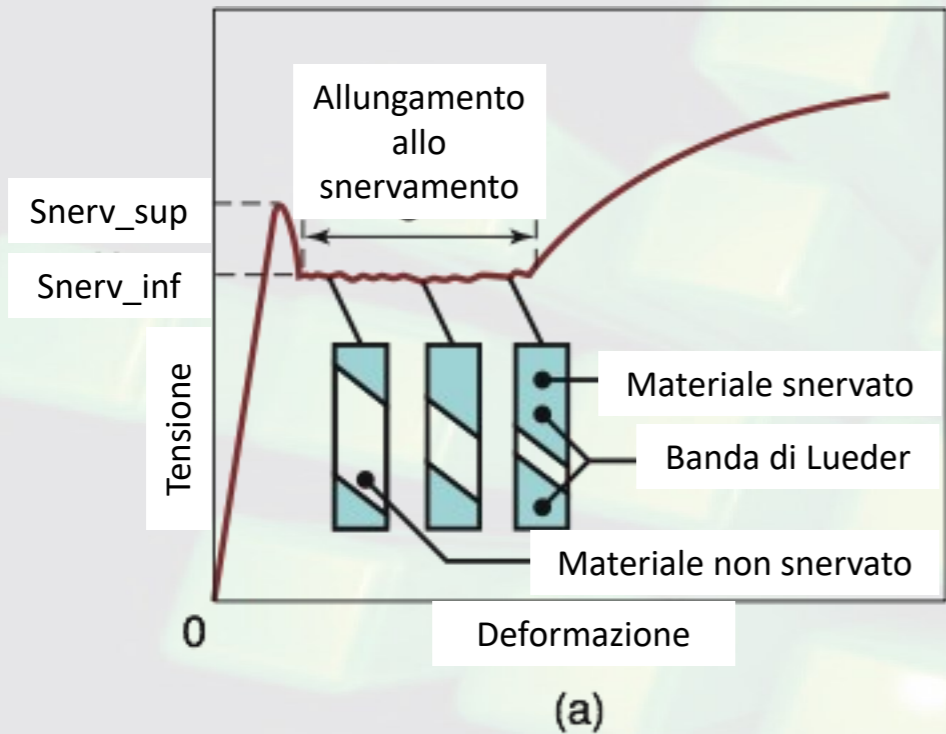
Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

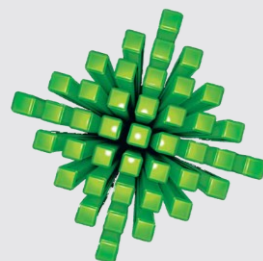
ISBN No. 0-13-227271-7



# Bande di Lueder



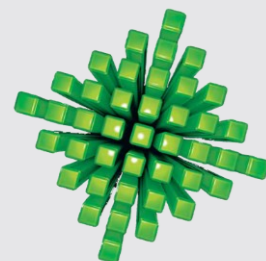
- (a) Allungamento al punto di snervamento e bande di Lueder nella prova a trazione.
- (b) Bande di Lueder in un foglio di acciaio a basso contenuto di carbonio ricotto.
- (c) Deformazioni dovute all'allungamento sul fondo di una lattina di acciaio per prodotti domestici.



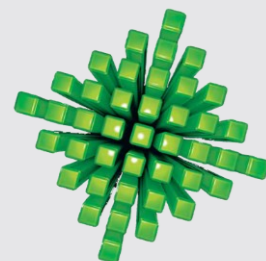
# Rottura per Tensocorrosione



Rottura per tensocorrosione in un pezzo imbutito profondamente di un sistema di fissaggio di lampadine realizzato in ottone. Le cricche si sono sviluppate in un certo periodo di tempo. L'ottone e gli acciai inossidabili della serie 300 sono soggetti a rotture per tensocorrosione.

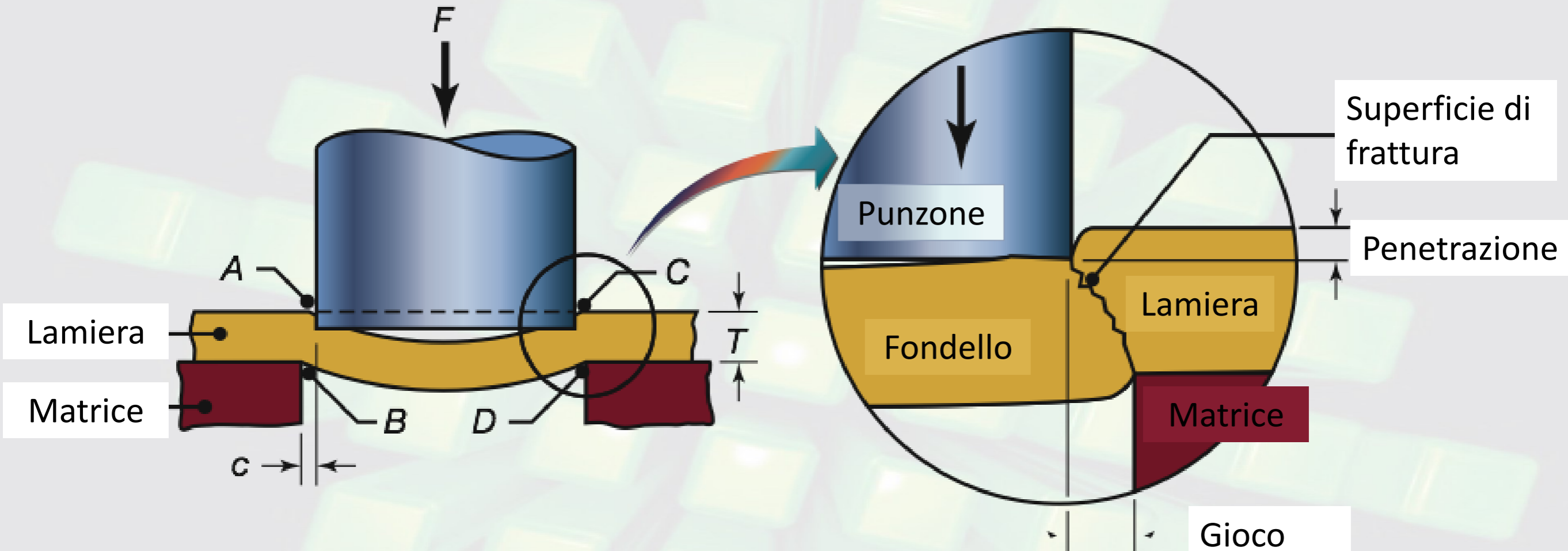


# TRANCIATURA LAMIERA



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

# Processo di Tranciatura con Stampo



Schema del processo di tranciatura mediante punzone e matrice e le principali variabili del processo.

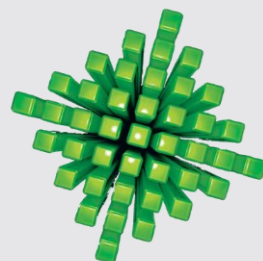
$$F = 0.7 \cdot UTS \cdot t \cdot P$$

dove

**UTS** è il carico a rottura del materiale

**t** è lo spessore della lamiera

**P** è il perimetro della zona tranciata



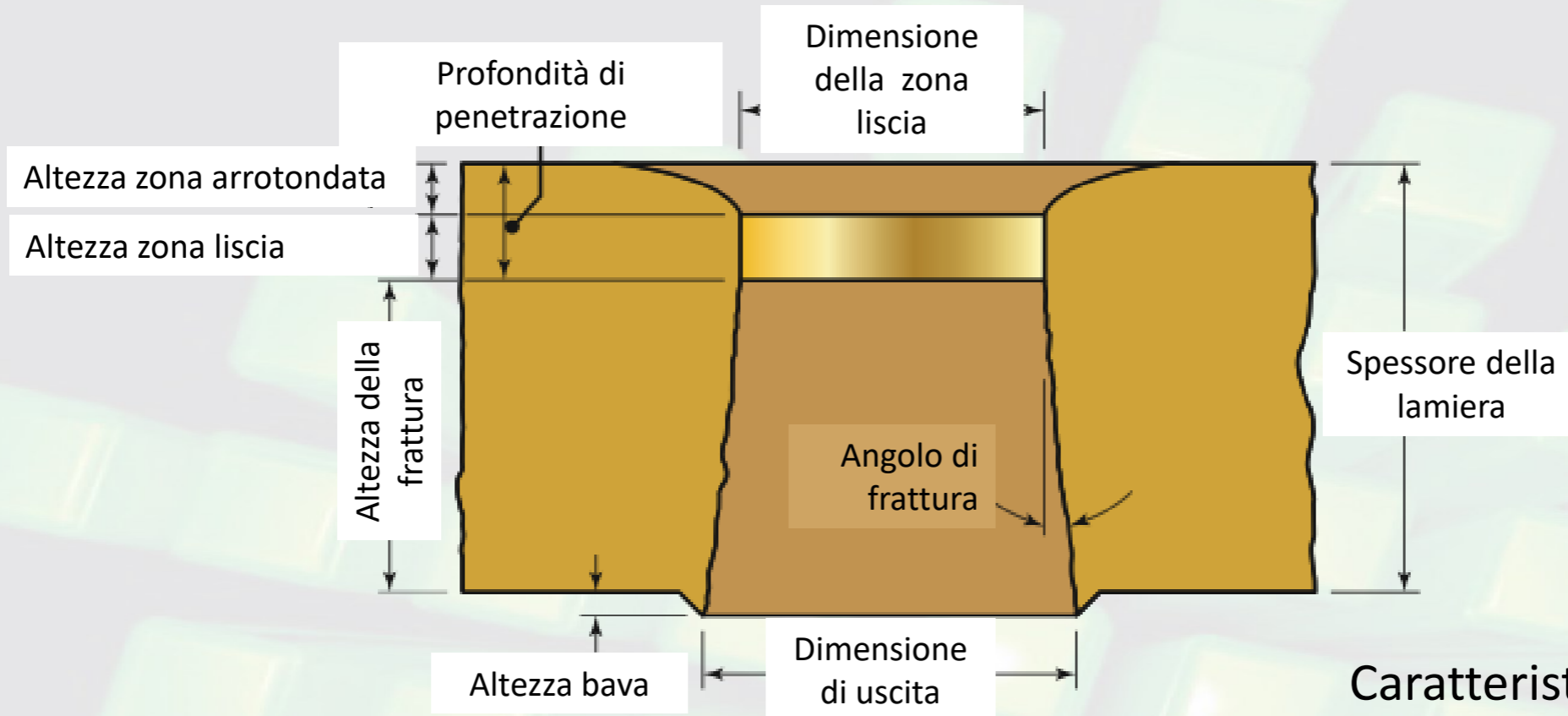
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

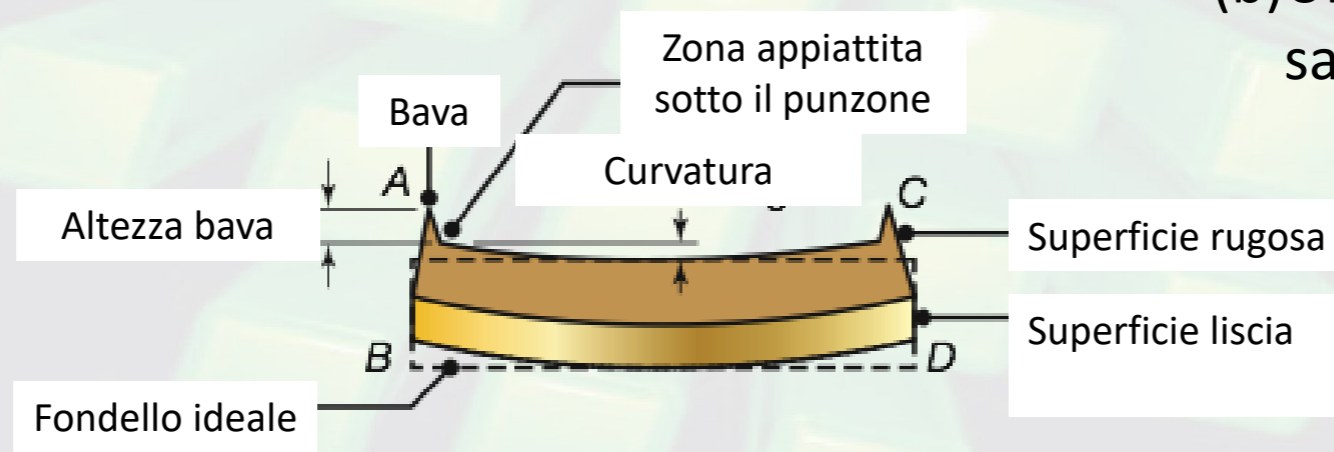
ISBN No. 0-13-227271-7

# Foro e Fondello

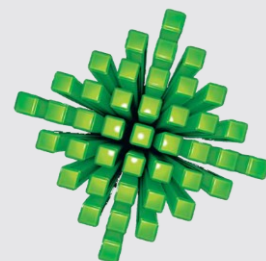


(a)

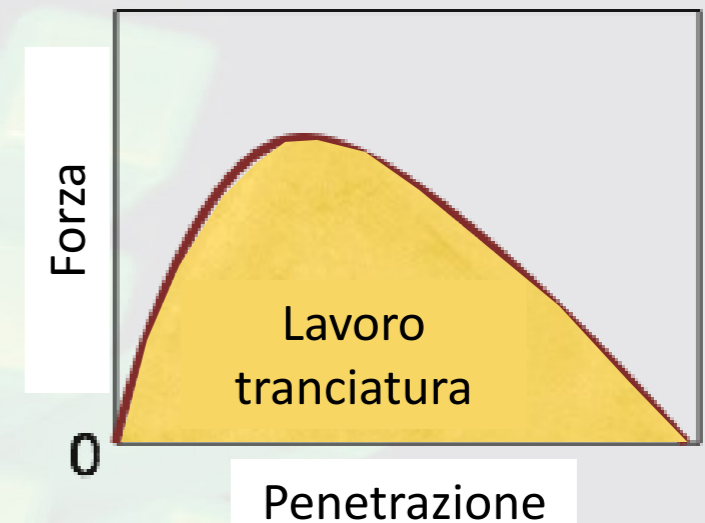
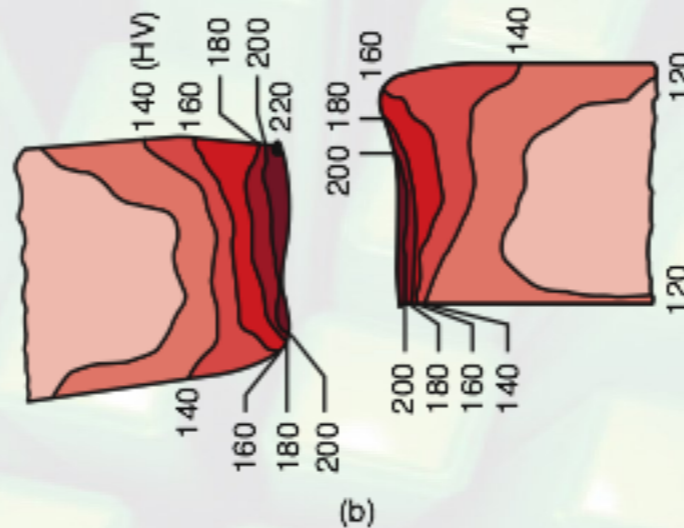
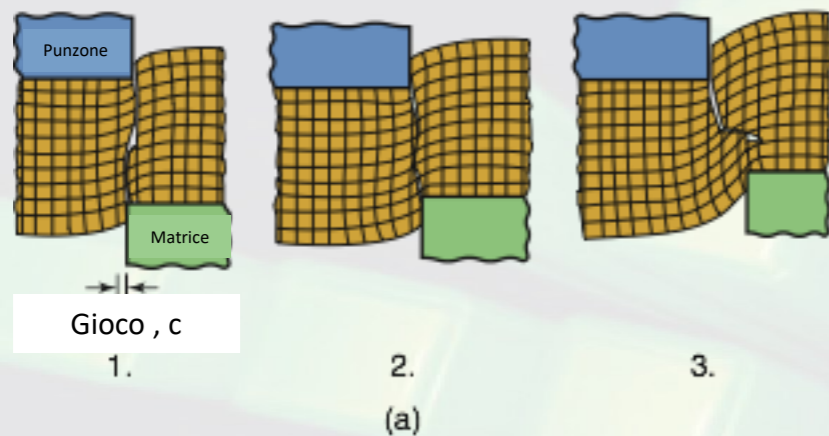
Caratteristiche di  
(a) Un foro punzonato, e  
(b) Un fondello punzonato, che sarà più piccolo del foro.



(b)



# Meccanica della Tranciatura



a) Effetto del gioco,  $c$ , ( $c_1 < c_2 < c_3$ ) sulla zona di deformazione nella tranciatura; al crescere del gioco ( $c$ ) il materiale tende ad essere tirato dentro nella matrice, invece di essere tranciato.

b) Microdurezza (HV) di un acciaio AISI 1020 laminato a caldo con spessore di 6.4 mm nella zona di tranciatura.

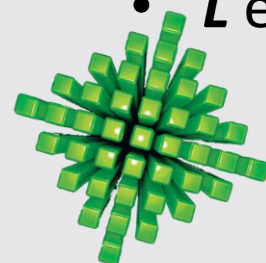
**Forza massima del punzone nella operazione di tranciatura:**

$$F_{max\text{tranciatura}} = 0.7(UTS) \cdot t \cdot L$$

dove

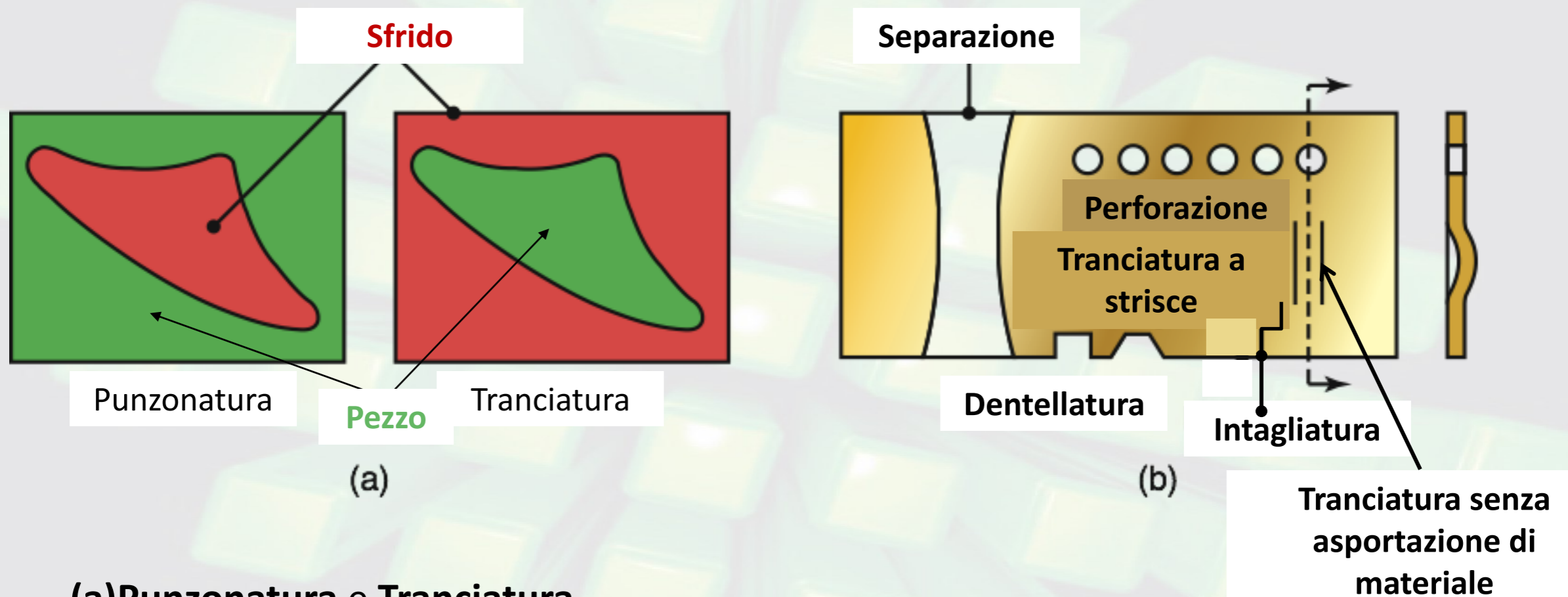
- **UTS** è il carico ultimo a rottura a trazione;
- **t** è lo spessore della lamiera;
- **L** è la lunghezza complessiva del bordo tranciato.

Tipico andamento della forza del punzone rispetto alla penetrazione nella tranciatura. L'area sotto la curva è il lavoro compiuto nella tranciatura. La forma della curva dipende dai parametri di processo e dalle proprietà del materiale.



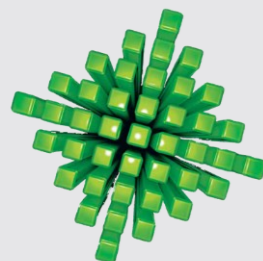


# Operazioni di Tranciatura

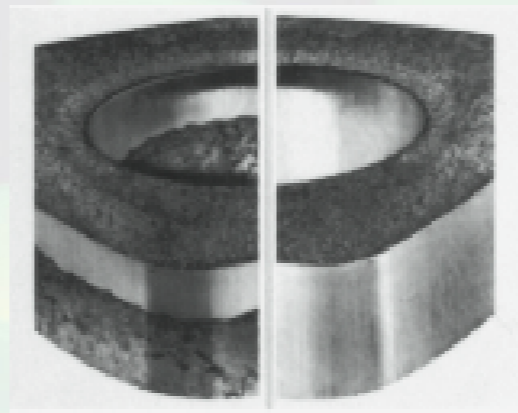


(a) **Punzonatura e Tranciatura.**

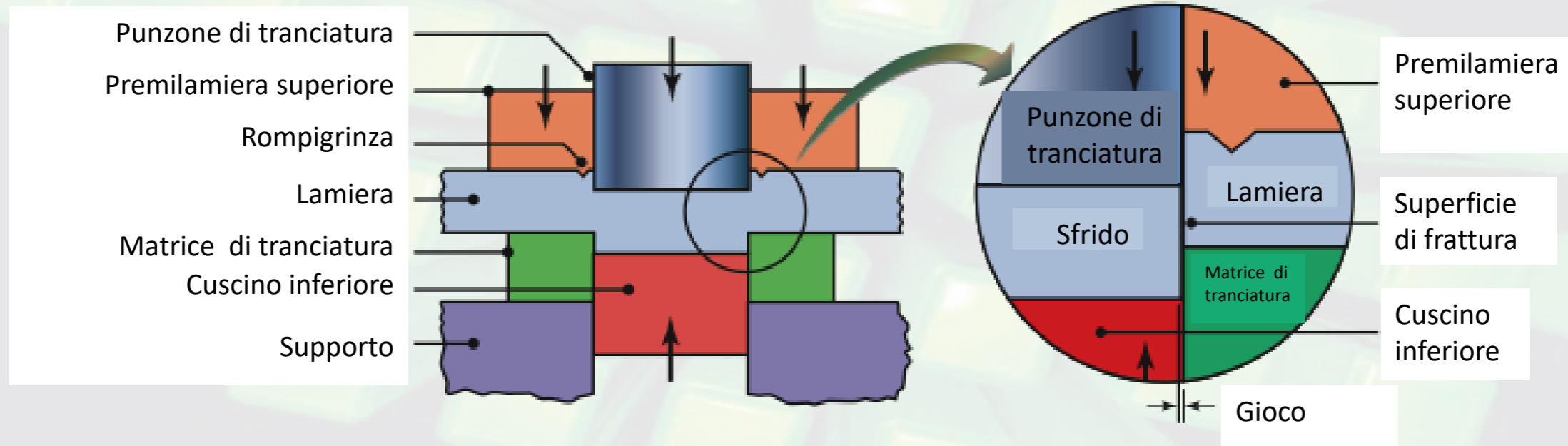
(b) **Diverse operazioni di tranciatura (Separazione, Perforazione, Tranciatura senza asportazione materiale, Dentellatura, Intagliatura)** alle quali si possono aggiungere la **Roditura** (perforazione con parziale sovrapposizione del nuovo foro al foro precedente) e la **Tranciatura con lame rotanti.**



# Tranciatura di Precisione (Fine Blanking)



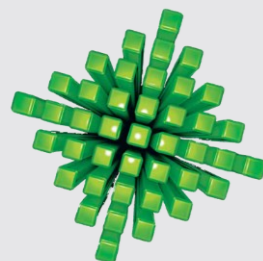
(a)



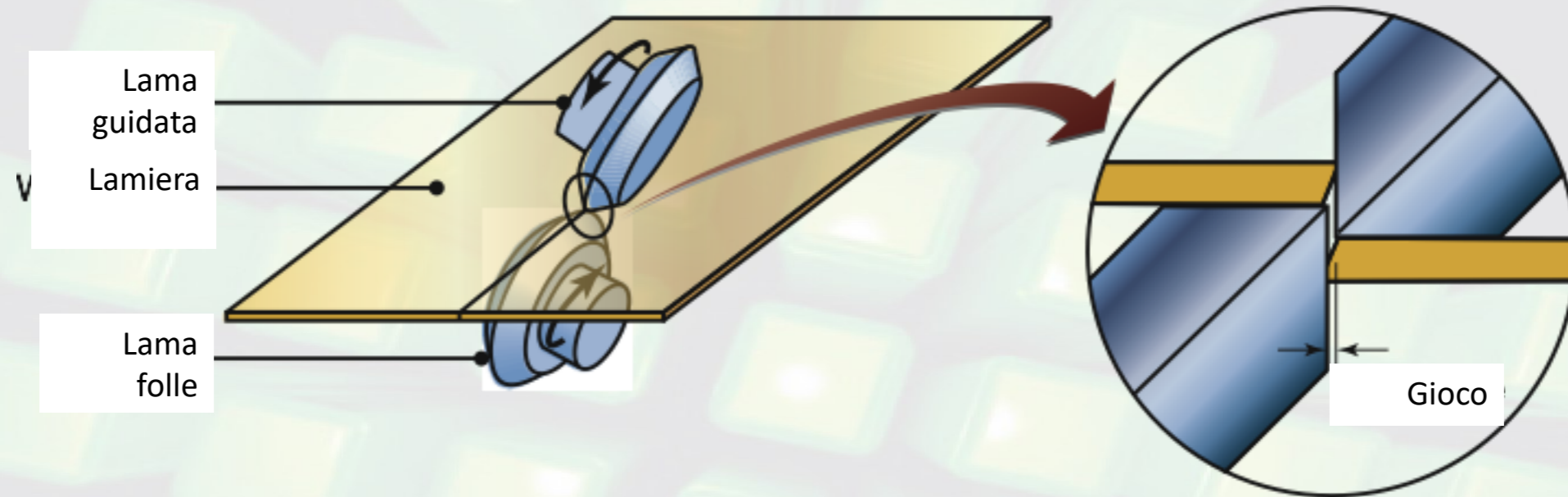
(b)

(a) Confronto degli spigoli **tranciati con tecniche tradizionali** (*a sinistra*) e con **tranciatura fine** (*a destra*).

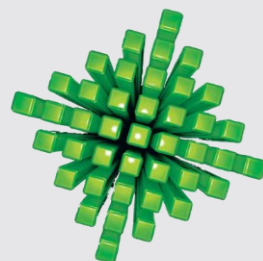
(b) Schema della tranciatura fine.



# Tranciatura a Strisce con Lame Rotanti

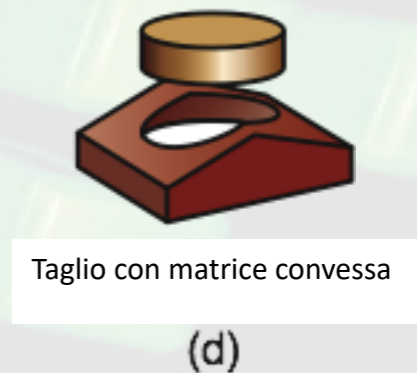
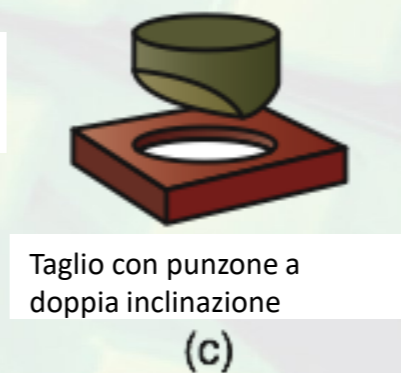
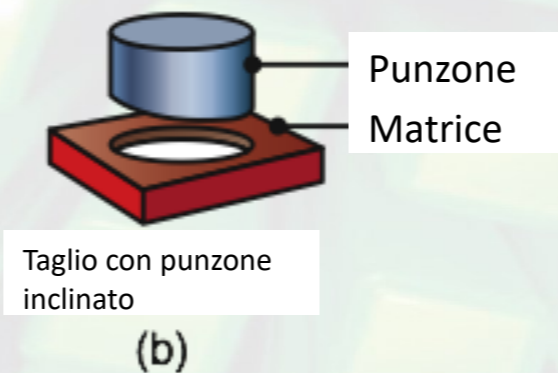
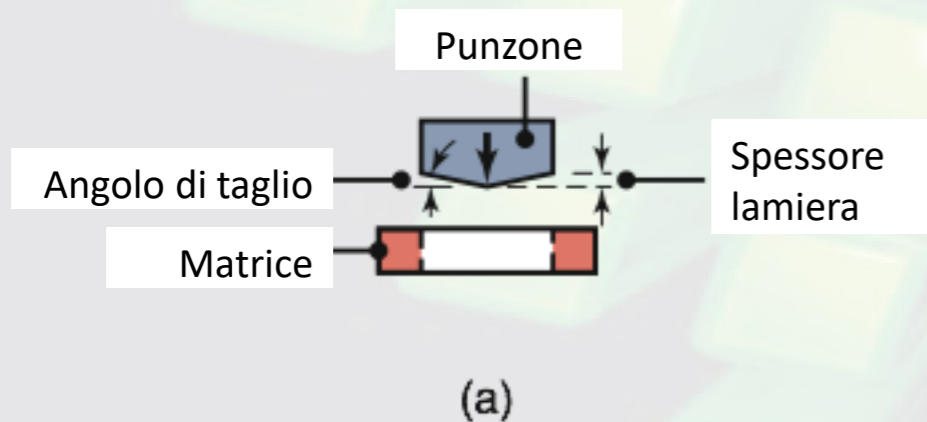


Tranciatura con lame rotanti.

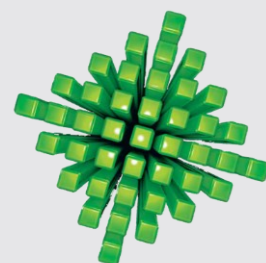


# Rasatura e Utensili Inclinati

- a. Rasatura di uno spigolo tranciato.
- b. Tranciatura e rasatura combinate in una unica corsa del punzone.

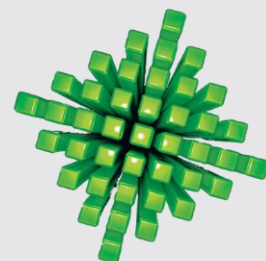


Esempi dell'uso dell'angolo di taglio su punzoni e matrici.



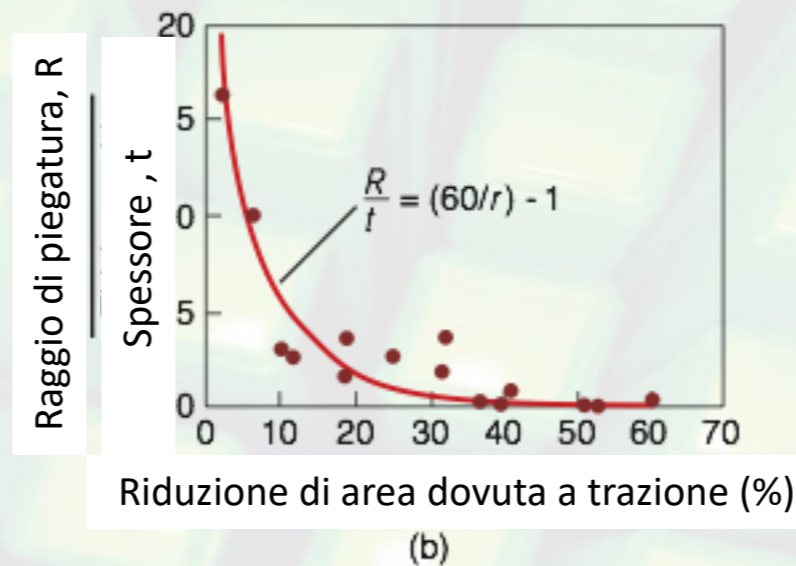
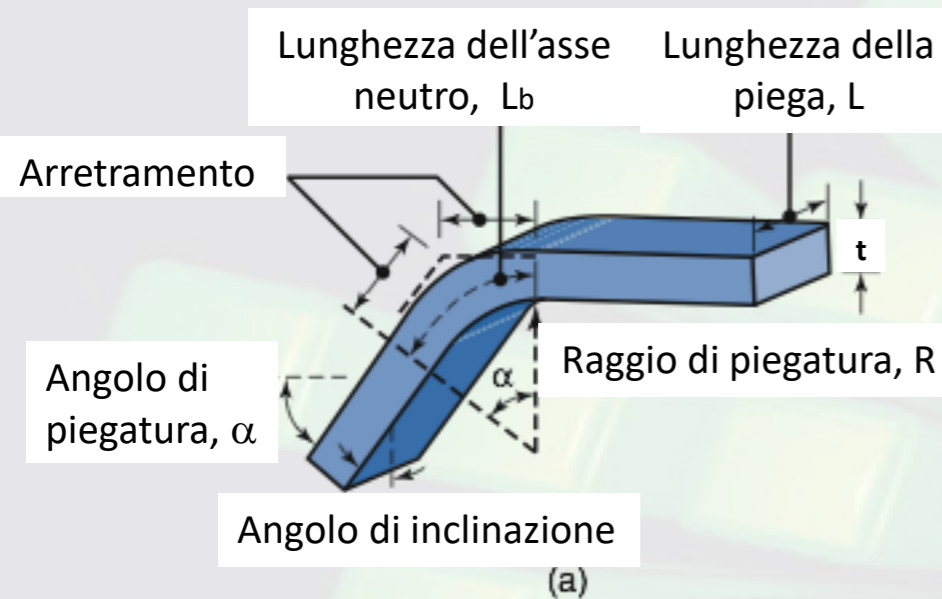


# PIEGATURA LAMIERA



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

# Piegatura e Minimo Raggio di Piegatura (1/2)



(a) Terminologia nella piegatura. Il **raggio di piegatura** è misurato sulla superficie interna della piega e che la **lunghezza della piega** è la larghezza della lamiera piegata.

(b) Relazione tra il rapporto tra il raggio di piegatura e lo spessore della lamiera e la riduzione d'area a trazione per diversi materiali. Notare che lamiere metalliche con riduzione d'area di circa 50% possono essere piegate e spianate su se stesse senza rompersi.

## Minimo raggio di piegatura a temperatura ambiente

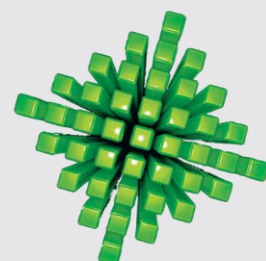
Materiale	Condizione	
	Tenero	Indurito
Leghe di alluminio	0	6t
Rame berillio	0	4t
Ottone a basso contenuto di piombo	0	2t
Magnesio	5t	13t
Acciai		
• austenitici inossidabili	0.5t	6t
• a basso tenore di carbonio, basso legati e HSLA	0.5t	4t
Titanio	0.7t	3t
Leghe di titanio	2.6t	4t

$$l_{f\_est} = (R + t) \cdot \alpha$$

$$l_{i\_est} = l_{i\_asse\_neutro} = \left(R + \frac{t}{2}\right) \cdot \alpha$$

$$e_{est} = \frac{l_{f\_est} - l_{i\_est}}{l_{i\_est}} = \frac{l_{f\_est}}{l_{i\_est}} - 1$$

$$= \frac{R + t}{R + \frac{t}{2}} - 1 = \frac{R + t - R - \frac{t}{2}}{R + \frac{t}{2}} = \frac{1}{\frac{2R}{t} + 1}$$



# Piegatura e Minimo Raggio di Piegatura (2/2)

Conservazione volume

$$\varepsilon_{est} = \ln\left(\frac{l_f}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A_f}\right) = \ln\left(\frac{100}{100-r}\right) = \ln(1 + e_{est}) = \ln\left(1 + \frac{1}{\frac{2R}{t} + 1}\right)$$

$$\left(\frac{100}{100-r}\right) = \left(\frac{\frac{2R}{t} + 1 + 1}{\frac{2R}{t} + 1}\right) = \left(\frac{\frac{2R}{t} + 2}{\frac{2R}{t} + 1}\right) \quad \text{dove } r = 100 \cdot \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0}\right)$$

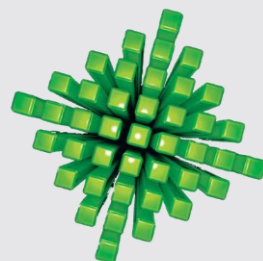
$$\left(\frac{2R}{t} + 1\right) \cdot 100 = (100 - r) \cdot \left(\frac{2R}{t} + 2\right)$$

$$100 \left(\frac{2R}{t} + 1 - \frac{2R}{t} - 2\right) = -r \left(\frac{2R}{t} + 2\right)$$

$$50 = r \left(\frac{R}{t} + 1\right) \quad \rightarrow \quad \frac{R}{t} = \frac{50}{r} - 1$$

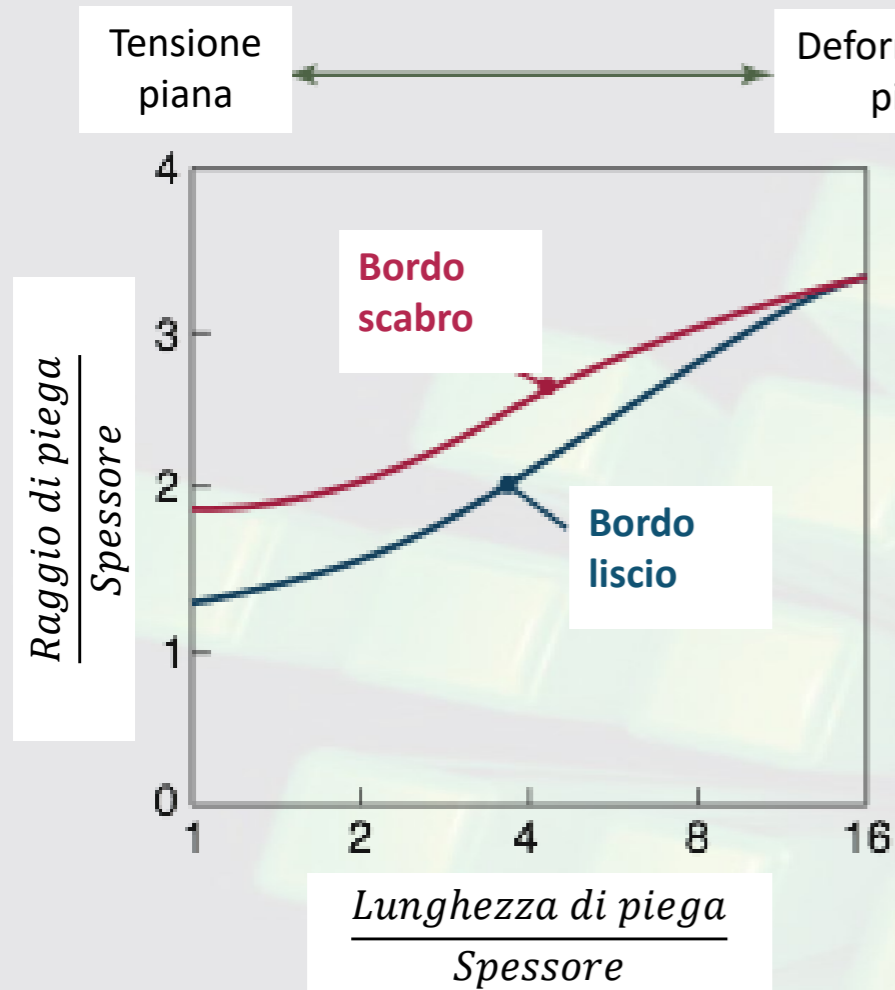
Cioè con una riduzione dell'area del 50% il rapporto

$\frac{R}{t} \rightarrow 0$  cioè alla piegabilità completa della lamiera o su sè stessa



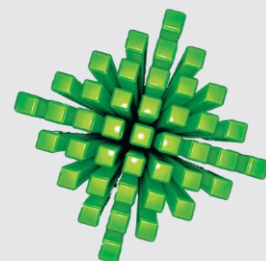


# Meccanica della Piegatura



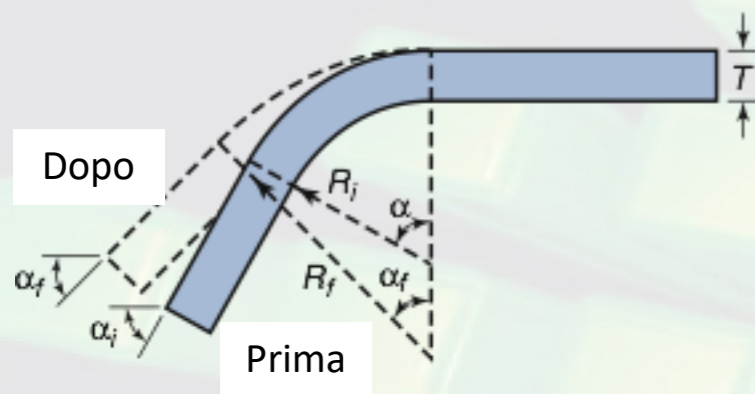
- a) b) effetto di inclusioni allungate sulla rottura in funzione della direzione di piegatura rispetto alla direzione originale di laminazione.. La direzione di laminazione dovrebbe essere orientate come quella di piegatura per massimizzare la piegabilità.
- c) Cricche sul raggio esterno di una striscia di alluminio piegata ad un angolo di 90°; confrontare con quanto prevede la figura a).

Effetto della lunghezza di piega e della condizione del bordo sul rapporto tra raggio di piega e spessore di una lamiera di alluminio 7075-T.



# Ritorno Elastico

Terminologia per il ritorno elastico nella piegatura. A causa di tale fenomeno l'angolo di piegatura risulta più piccolo. In particolari situazioni tale angolo può crescere e si parla di ritorno elastico negativo.



Poiché *l'asse neutro non varia la sua lunghezza durante la piegatura*, cioè

$$\left(R_i + \frac{t}{2}\right) \alpha_i = \left(R_f + \frac{t}{2}\right) \alpha_f$$



$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{R_i + \frac{t}{2}}{R_f + \frac{t}{2}} = \frac{\frac{2R_i}{t} + 1}{\frac{2R_f}{t} + 1}$$

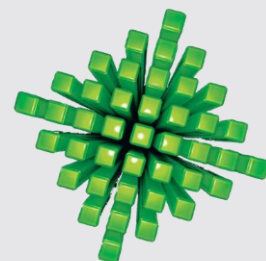
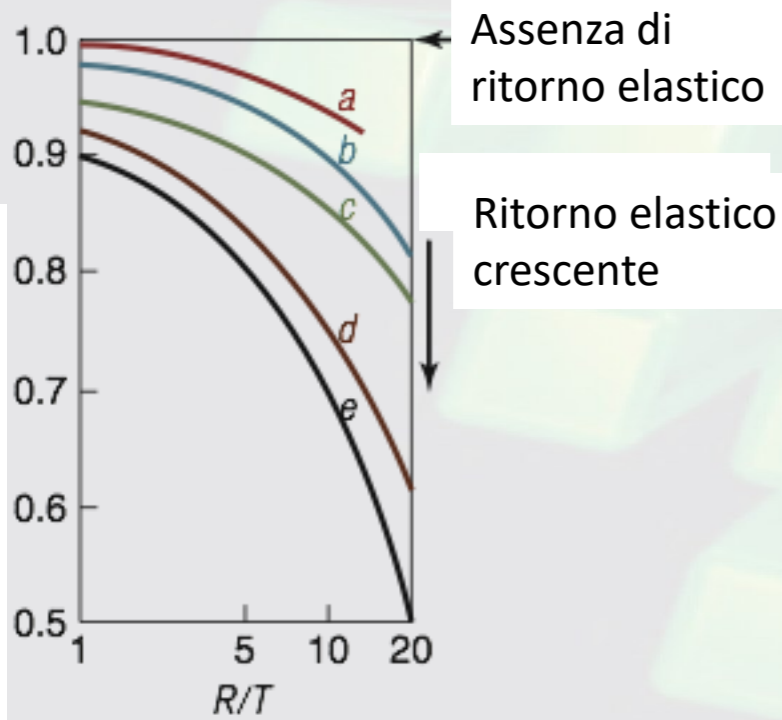
**Fattore di ritorno elastico,  $K_s$ ,**  
per diversi materiali:

- (a) Alluminio 2024-0 e 7075-0;
- (b) Acciai inossidabili austenitici;
- (c) Alluminio 2024-T;
- (d) Acciai inossidabili austenitici induriti ad 1/4;
- (e) Acciai inossidabili austenitici induriti da 1/2 fino all'indurimento complete.

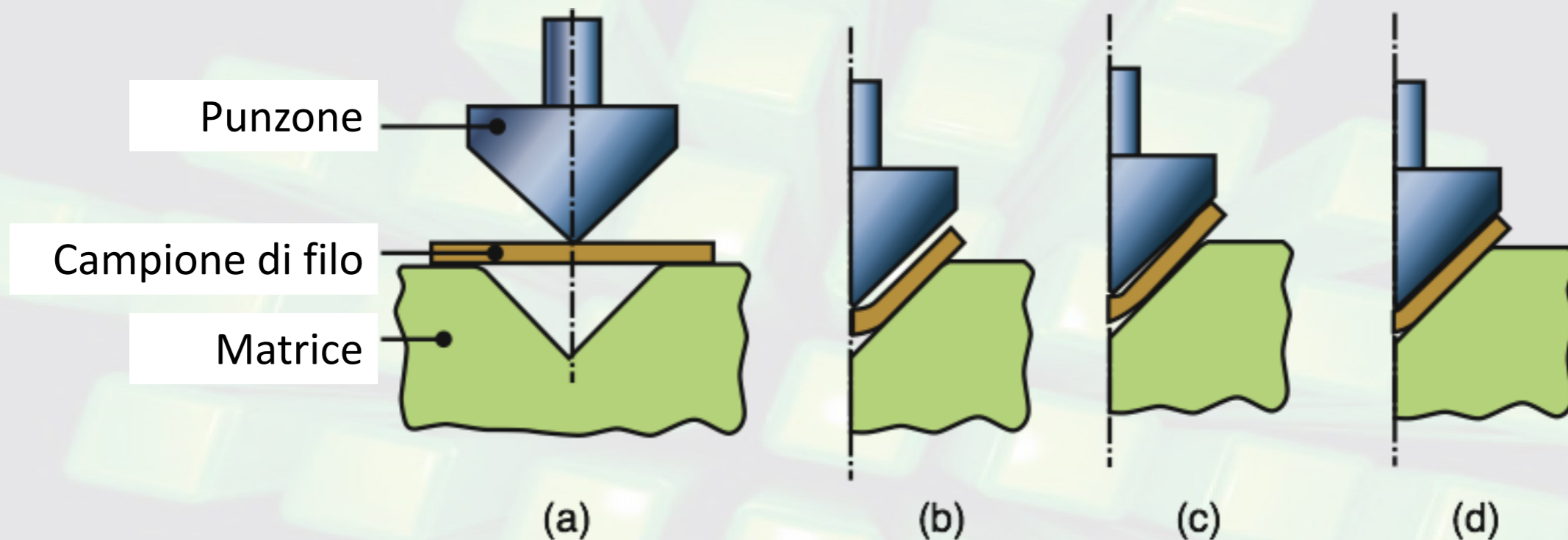
Un fattore  $K_s = 1$  indica che non c'è ritorno elastico, mentre  $K_s = 0$  indica un ritorno elastico completo come in una molla a balestra.

Stima approssimata del ritorno elastico

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left(\frac{R_i Y}{Et}\right)^3 - 3 \left(\frac{R_i Y}{Et}\right) + 1$$

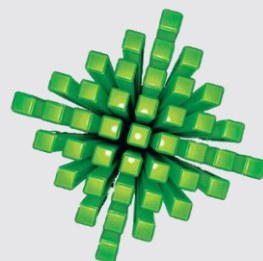


# Ritorno Elastico Negativo

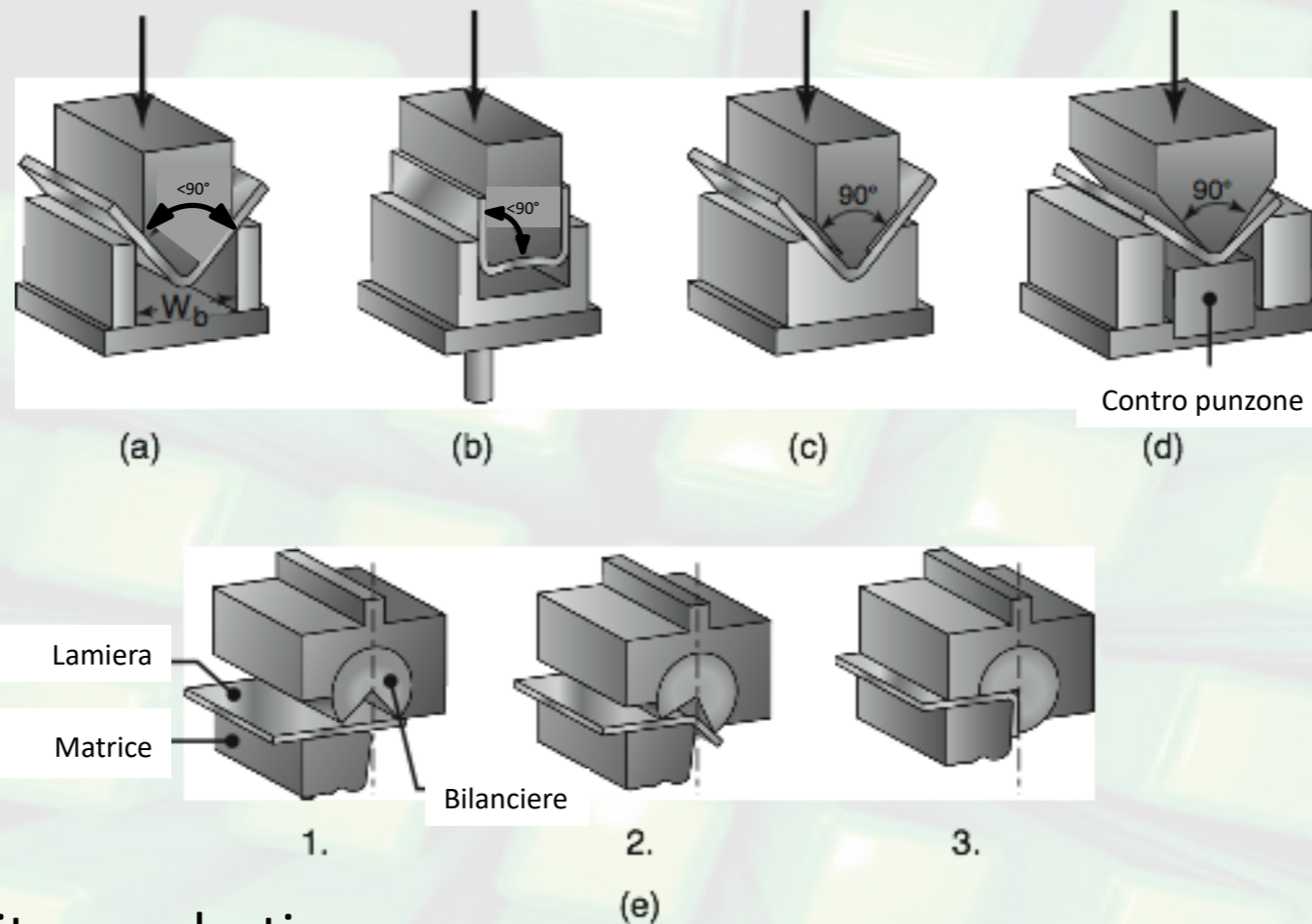


Schema della piegatura di un filo rotondo in uno stampo a V. Questo tipo di piegatura può portare ad un ritorno elastico negativo, che non avviene invece nella piegatura in aria.

Rimuovendo il pezzo allo stadio (b) si avrebbe un ritorno elastico positivo, ma se invece si va avanti con il punzone le estremità del pezzo toccano il punzone (c) e quindi tra (c) e (d) il pezzo viene deformato in direzione opposta a quella dello stadio (b) provocando un ritorno elastico negativo.

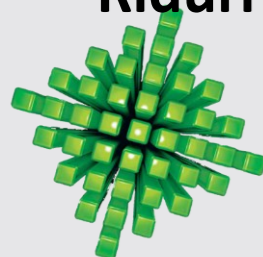


# Compensazione del Ritorno Elastico



Metodi per ridurre il ritorno elastico;

- **Sovrapiegatura**, in modo da piegare di più rispetto a quello necessario, come in (a),(b) ed (e);
- **Coniatura** nella zona di piega, come in (c) e (d);
- **Stiropiegatura**, cioè sottoponendo il pezzo contemporaneamente ad una tensione di trazione e questo riduce la tensione necessaria a piegare in quanto la tensione equivalente (combinazione di quella di trazione e di quella di piegatura) dovrà comunque raggiungere quella di snervamento;
- **Ridurre la tensione di snervamento** alzando la temperatura.



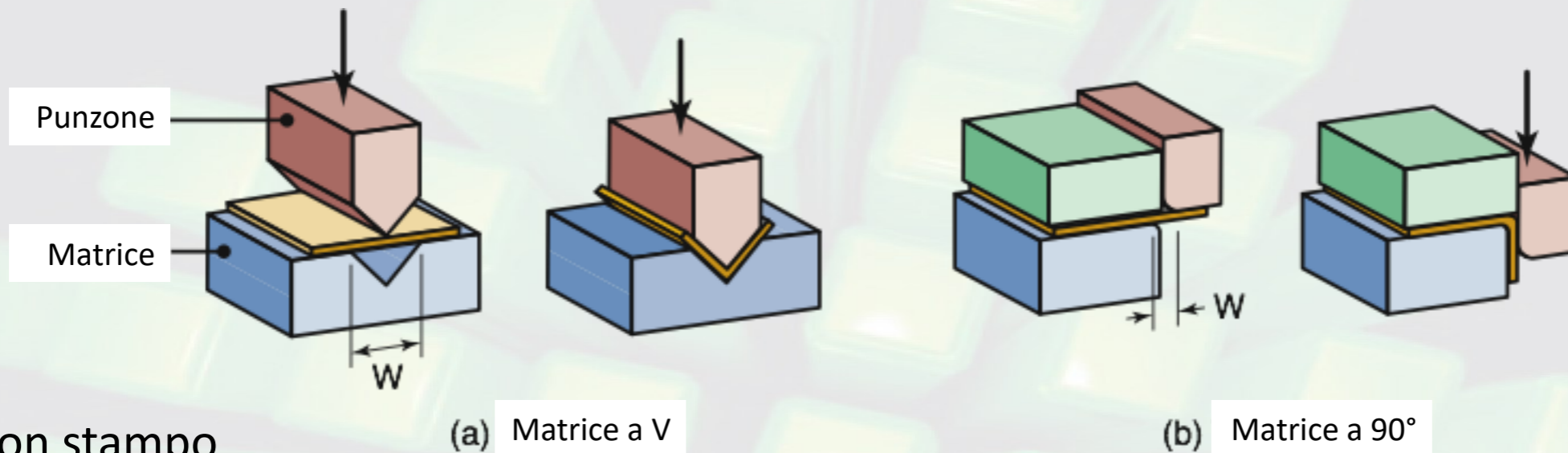
Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.

Kalpakjian • Schmid

© 2008, Pearson Education

ISBN No. 0-13-227271-7

# Operazioni di Piegatura



Piegatura con stampo

(a) a  $V$ , dove  $W$  è l'apertura della zona di piegatura nella matrice;

(b) a  $90^\circ$ , dove  $W = R \text{ matrice} + R \text{ punzone}$ .

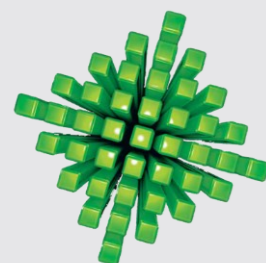
$$\text{Forza di Piegatura} = k \frac{(UTS)}{W} \cdot (L \cdot t^2)$$

dove

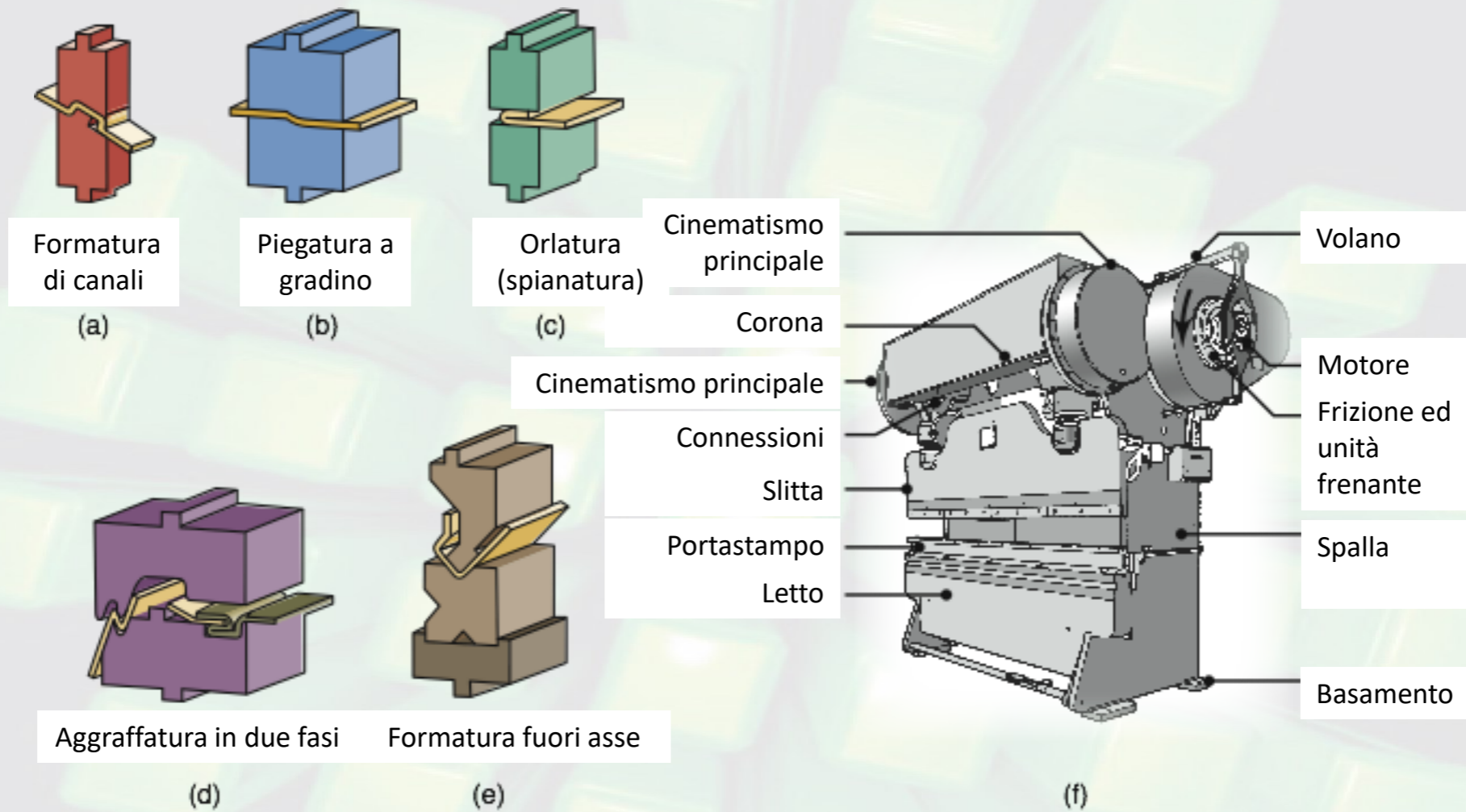
- $k = 1.20 - 1.33$  per *matrici a V*
- $k = 0.30 - 0.34$  per *matrici a  $90^\circ$*
- $k = 2.40 - 2.66$  per *matrici a U*

$t$  è lo spessore

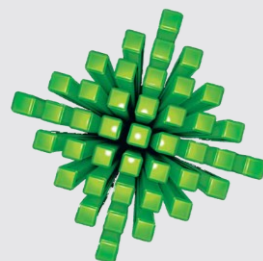
$L$  è la lunghezza della piega



# Operazioni in una Pressa Piegatrice

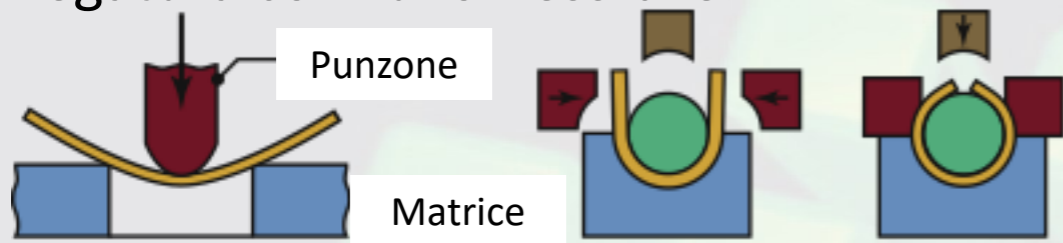


(a) - (e) Schemi di operazioni di piegatura in una pressa piegatrice. (f) Schema di una pressa piegatrice.



# Operazioni di Piegatura

- a) Piegatura in aria;
- b) Piegatura in macchina a 4 slitte;
- c) Calandratura;
- d) Piegatura con rullo flessibile.

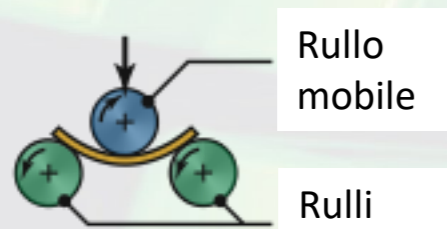


Piegatura in aria

(a)

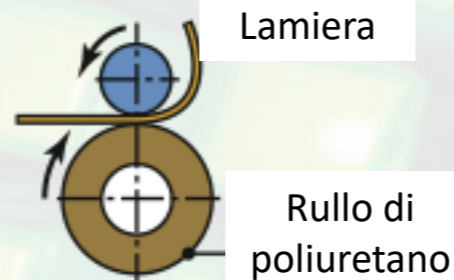
Piegatura in macchina a 4 slitte

(b)



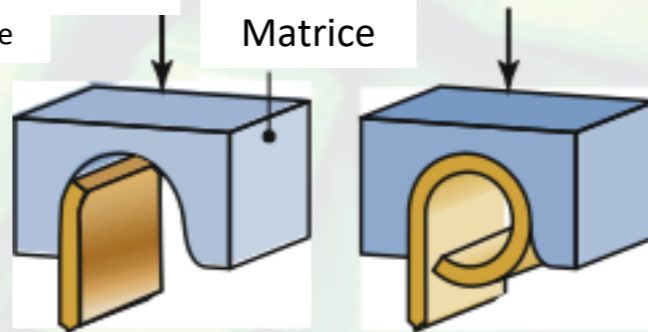
Calandratura

(c)



Piegatura con rullo flessibile

(d)

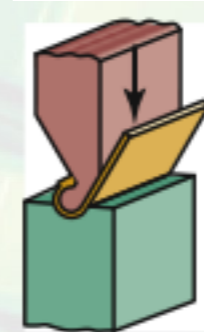


Nervatura formata

1.

(a)

Punzone

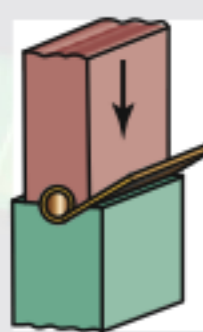


Matrice

(b)



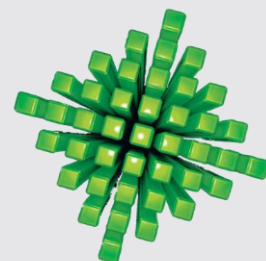
(c)



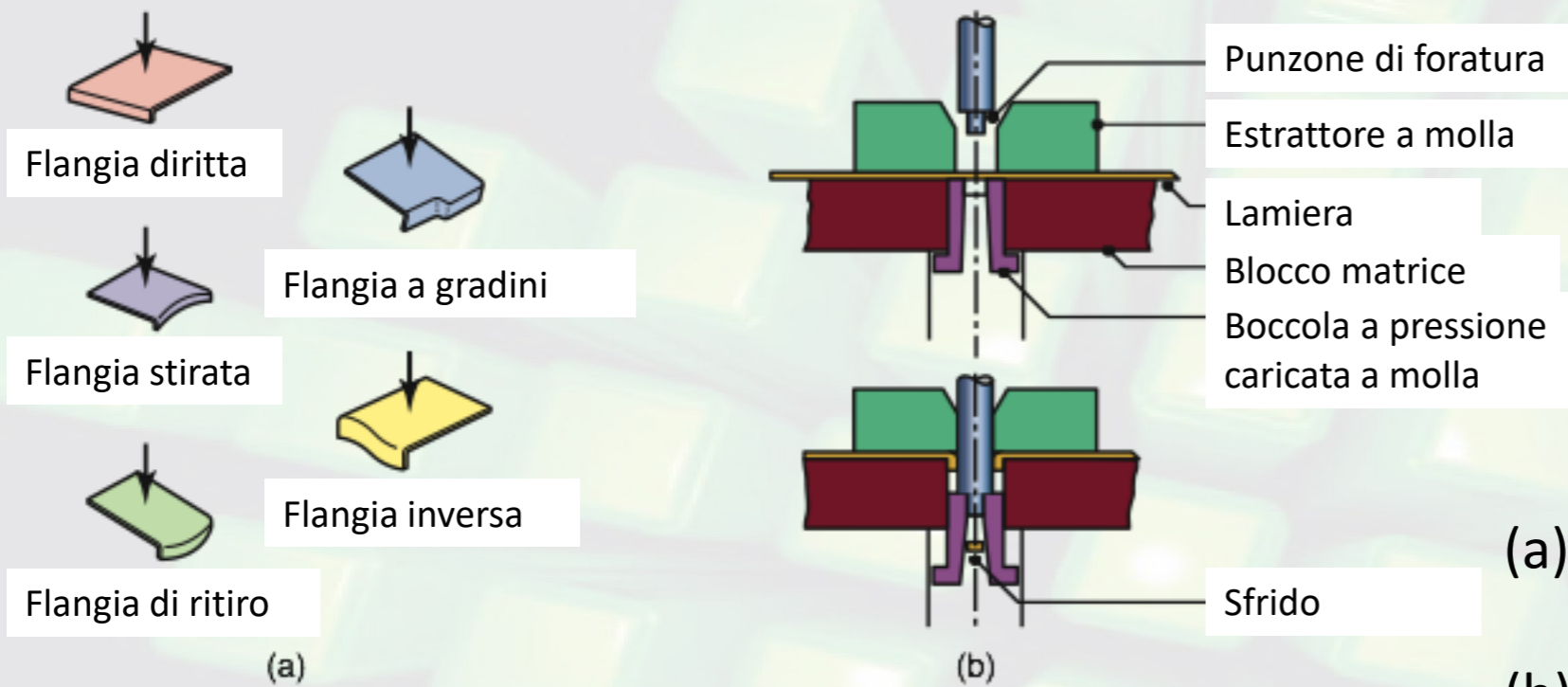
(d)

(a) Formatura di una nervatura con matrice singola.

(b)- (d) Formatura di una nervatura con due matrici in una pressa piegatrice.



# Operazioni di Flangiatura

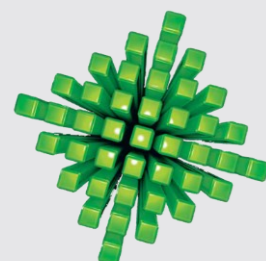
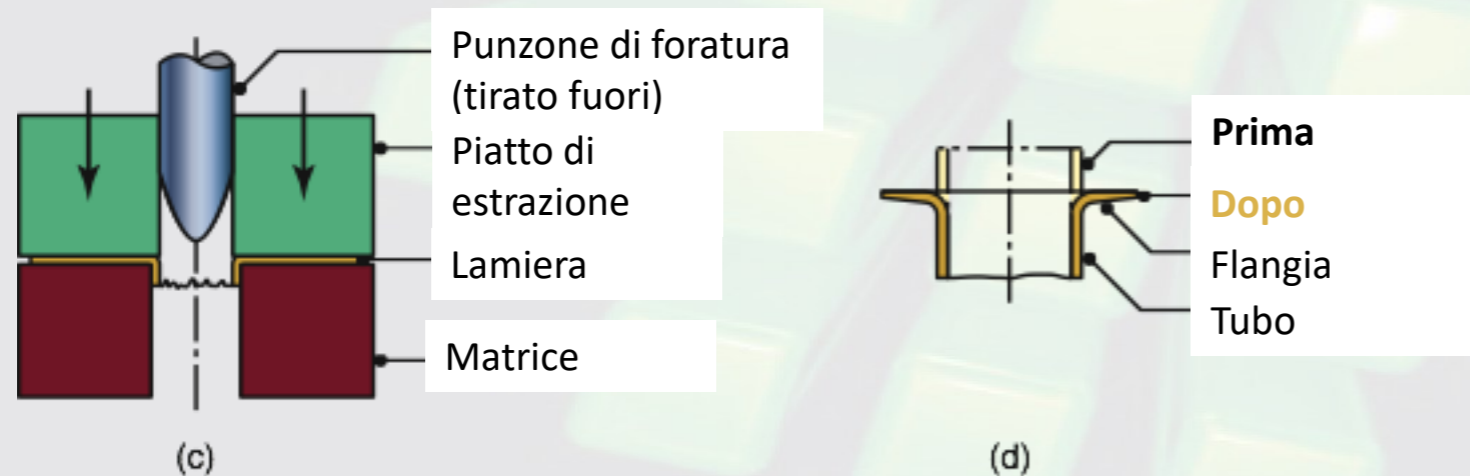


(a) Flange formate su lamiera piana.

(b) Infossatura.

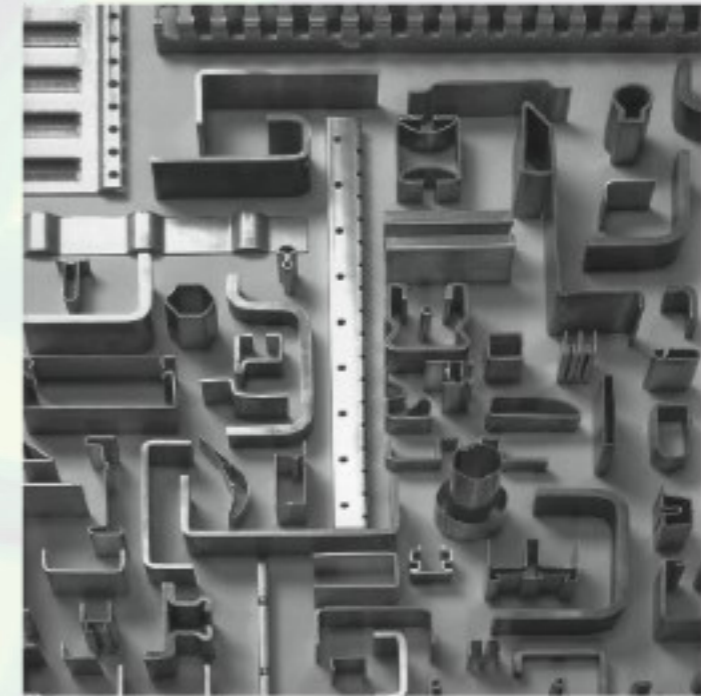
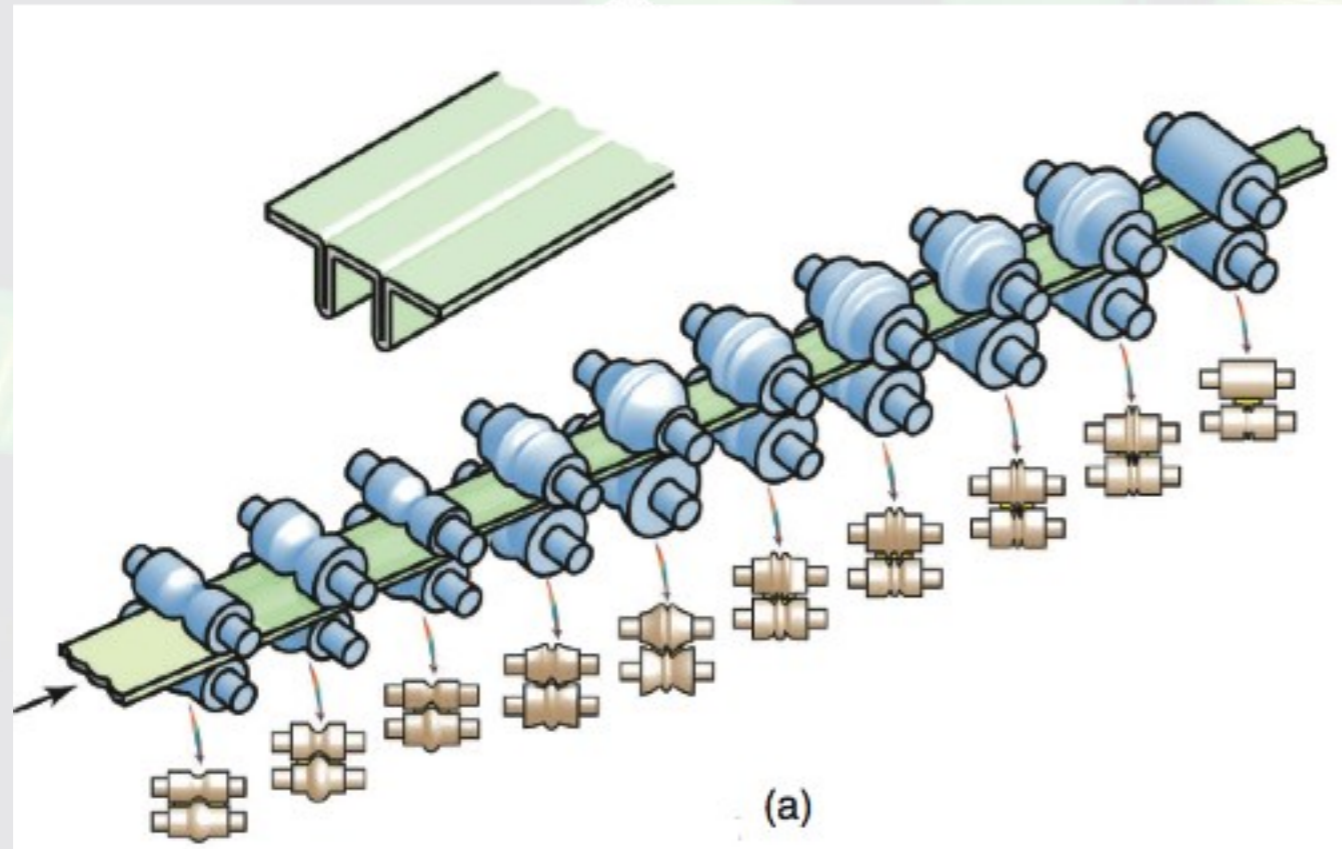
(c) Foratura in modo da formare una flangia circolare. Non è necessario fare un pre-foro, ma gli spigoli della flangia risultano irregolari.

(d) Flangiatura di tubi, nella quale lo spessore della flangia diminuisce verso la periferia della flangia a causa dell'espansione del diametro.

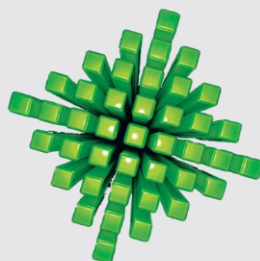




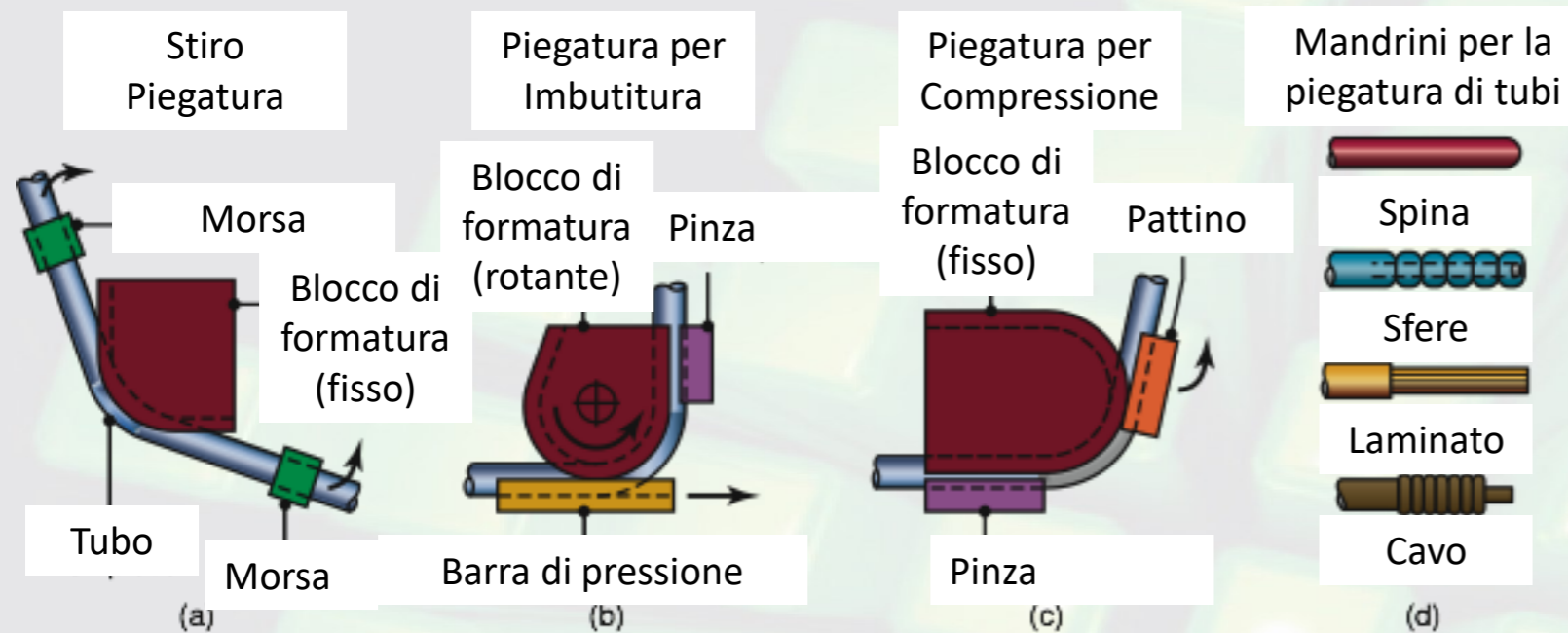
# Profilatura a Rulli



- (a) Operazione di profilatura a rulli, nella quale la lamiera viene piegata in stadi successive passando attraverso una serie di rulli opportunamente sagomati per produrre una certa sezione finale.
- (b) Esempi di sezioni ottenute mediante profilatura a rulli.

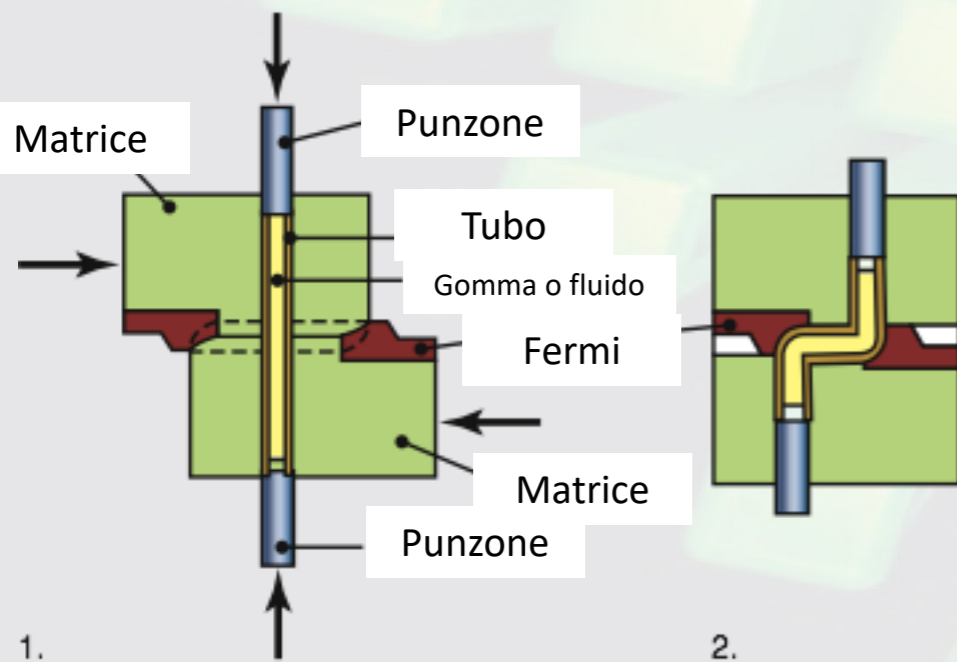


# Piegatura e Formatura di Tubi



Metodi di piegatura di tubi:

- Stiro-piegatura;
- Piegatura per imbutitura;
- Piegatura per compressione;
- Tipi di mandrini utilizzabili oltre alla sabbia per impedire il collasso del tubo per instabilità.



Un metodo per formare tubi con angoli retti, usando un forza a compressione assiale. Le tensioni a compressione comportano dei vantaggi nelle operazioni di formatura perché ritardano la frattura. Il tubo è supportato internamente da gomma o da un fluido per evitare il collasso per instabilità.

