



# Applicazioni Industriali

## Stampaggio a freddo - Piegatura

**Marco Raimondi**

e-mail: [mramondi@liuc.it](mailto:mramondi@liuc.it)

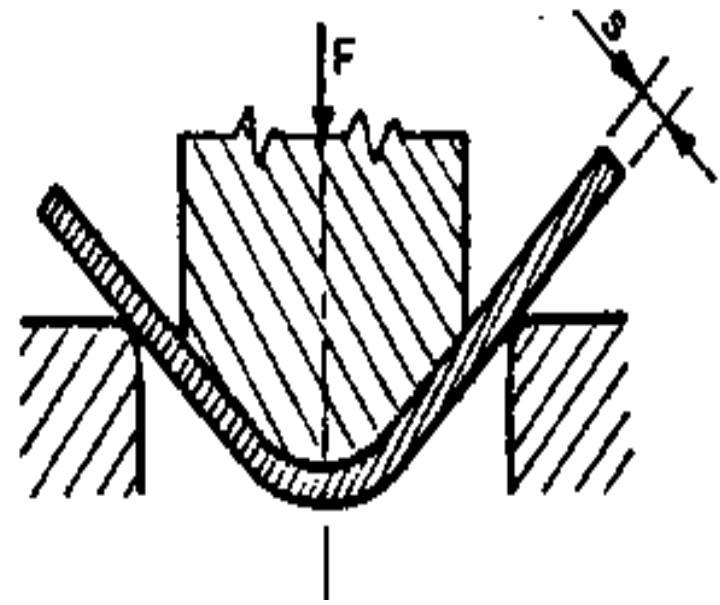
# Piegatura

- **Consiste nella deformazione plastica di una sezione di spessore  $s$  secondo un angolo  $\alpha$  per l'azione di un punzone di raggio  $R_p$**
- **È normalmente l'operazione seguente la tranciatura nel caso in cui il pezzo preveda una sagoma non piana**
- **Esistono due tipi di piegatura:**
  - **Libera ovvero senza l'uso di uno stampo specifico, bensì solo mediante l'appoggiatura della lamiera su dei supporti e l'azione deformante di un punzone**
  - **In stampo nel momento cui la sagoma non è banale e necessita di uno stampo vero e proprio composto da matrice e punzone**

# Piegatura libera

Fig. 9.2

Esempio di piegatura libera.



## Piegatura ad U

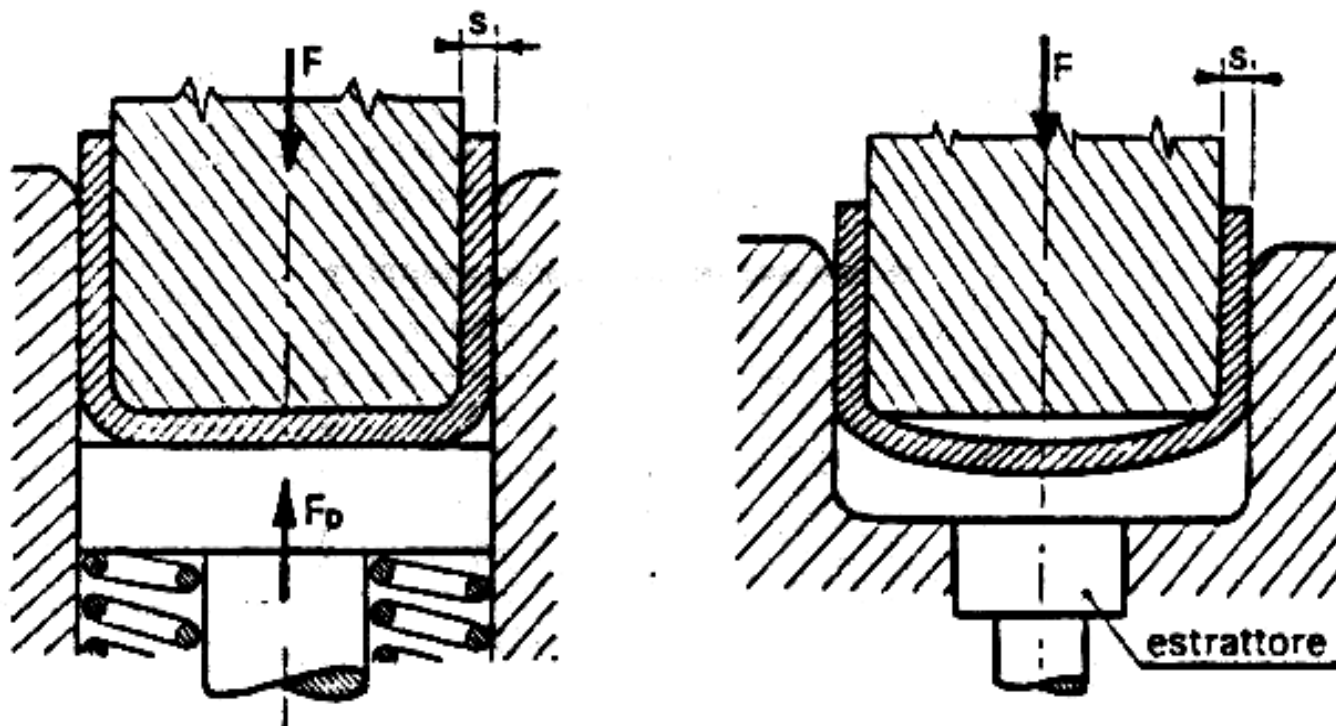


Fig. 9.3 - Esempio di piegatura ad U con e senza premilamiera sottostante.

## Progettazione dello stampo

- Il materiale ha un ritorno elastico per cui gli angoli di piega dello stampo dovranno prevedere una maggiorazione rispetto agli angoli di piega del pezzo
- Esistono dei raggi minimi di curvatura al di sotto dei quali non è possibile andare senza rompere o fessurare la lamiera
- Calcolo del raggio minimo di piegatura:

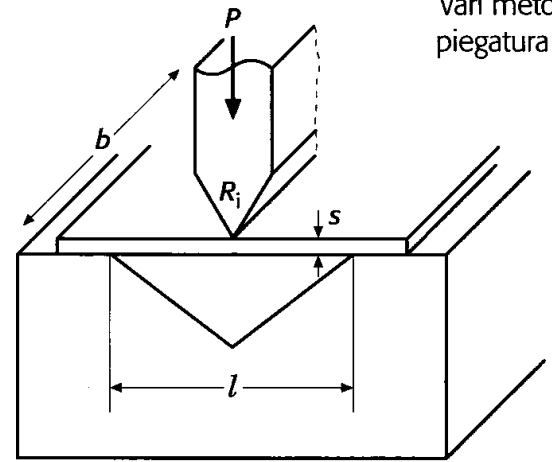
$$R_{\min} = 50s/A - s/2$$

Ove

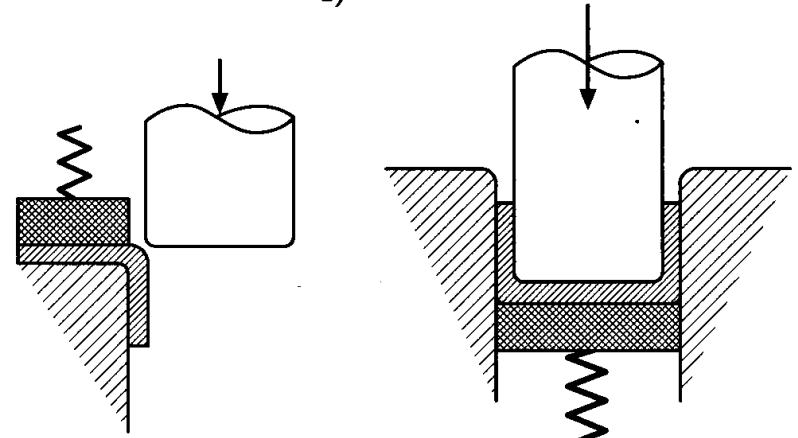
- $s$  = spessore della lamiera
- $A$  = allungamento massimo percentuale del materiale
- Conviene prevedere una maggiorazione del 40% al fine di mantenere un certo margine di sicurezza

# Piegatura lamiera

Vari metodi di piegatura delle lamiere.



a)



b)

c)

## Ritorno elastico

- **Il ritorno elastico del materiale, una volta cessata l'azione del punzone dipende da molteplici fattori quali:**
  - **Tipo di materiale e suo stato di lavorazione**
  - **Tipo di piegatura attuata**
  - **Pressione esercitata (coniatura, etc...)**
  - **Raggio di piegatura  $R_p$**
  - **Velocità di deformazione**

## Piegatura e ritorno elastico

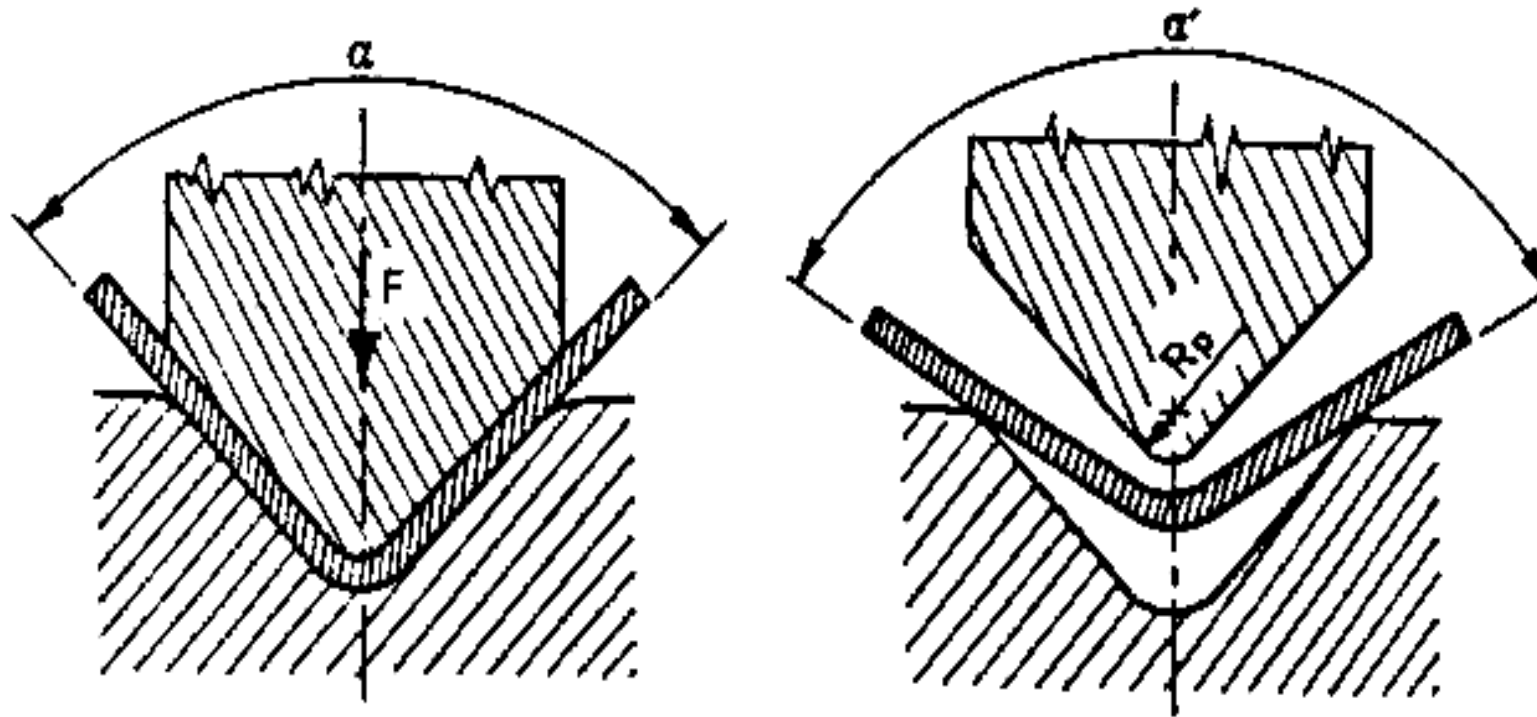


Fig. 9.1 - Piegatura a V e recupero elastico della lamiera.



## Recupero elastico del materiale

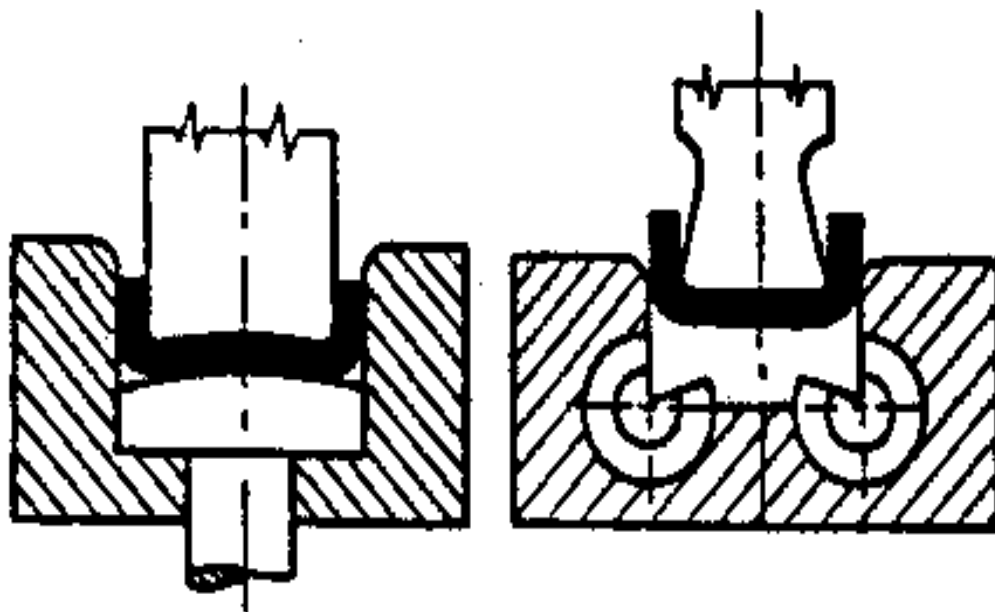


Fig. 9.5 - Sistemi di piegatura ad U per correggere (mediante sovra-piegatura) gli errori dovuti al recupero elastico.

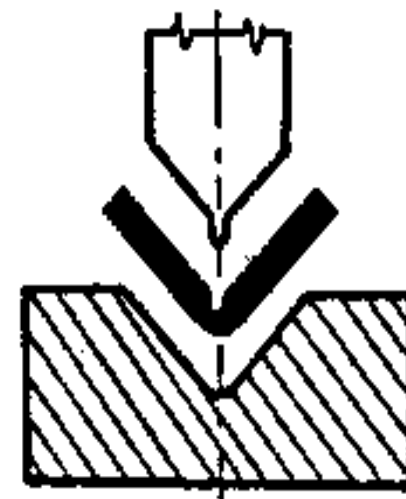


Fig. 9.6 - Sistema di piegatura a V con effetto di "coniatura".

## Distanza della fibra neutra

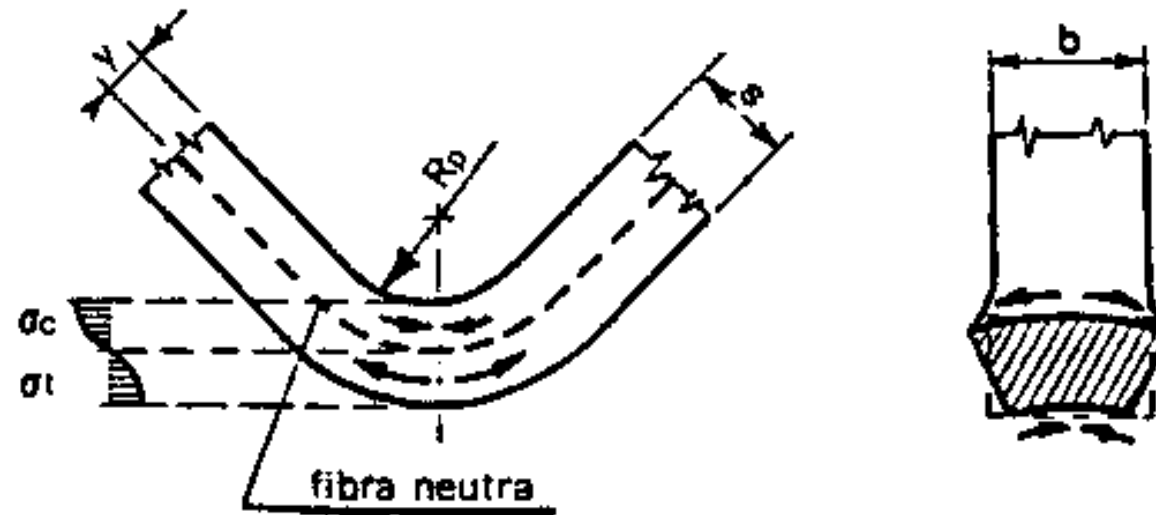


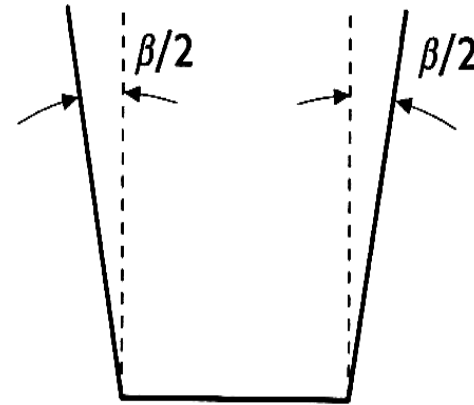
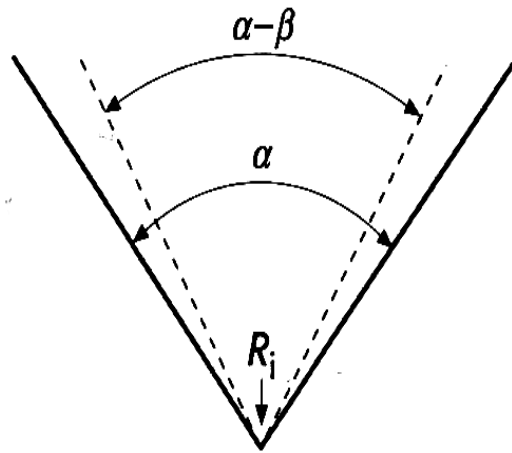
Fig. 9.4 - Stato di sollecitazione e di deformazione in una lamiera di larghezza  $b$  limitata.

Le sollecitazioni ( $\sigma_c$  e  $\sigma_t$ ) in prossimità della fibra neutra sono di tipo elastico e solo ad una certa distanza assumono valori tali da provocare deformazioni plastiche.

Tabella 9.1 - Valori della distanza  $y$  della fibra neutra da quella piu' interna.

Rapporto $R_p/s$	Rapporto $y/s$
0,2	0,35
0,5	0,39
1	0,42
2	0,45
5	0,48
10	0,49

# Angoli di piegatura



Correzioni  
dell'angolo di piegatura per  
compensare il ritorno  
elastico.

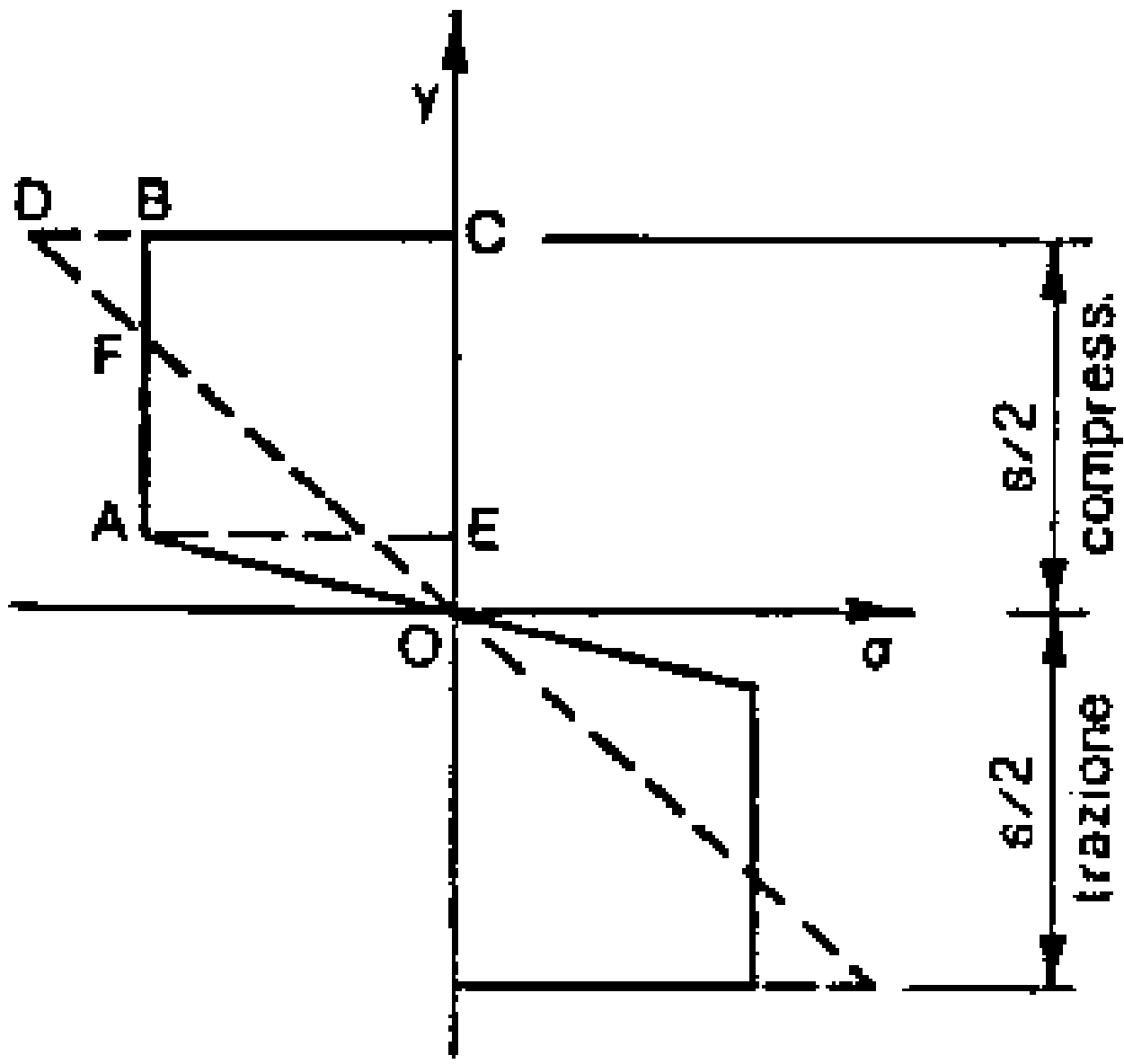
## Raggio di piegatura

**Tabelle 9.2 - Valori indicativi di  $R_{p, min/s}$ .**

<b>Materiale</b>	<b><math>R_{p, min/s}</math></b>
Alluminio	0,5 + 2,0
Ottone	0,3 + 0,4
Fe P 10	0,60
Fe P 13	0,50
Acc. inoss. ferritico	0,80
martensitico	0,50

## **Stato di sollecitazione**

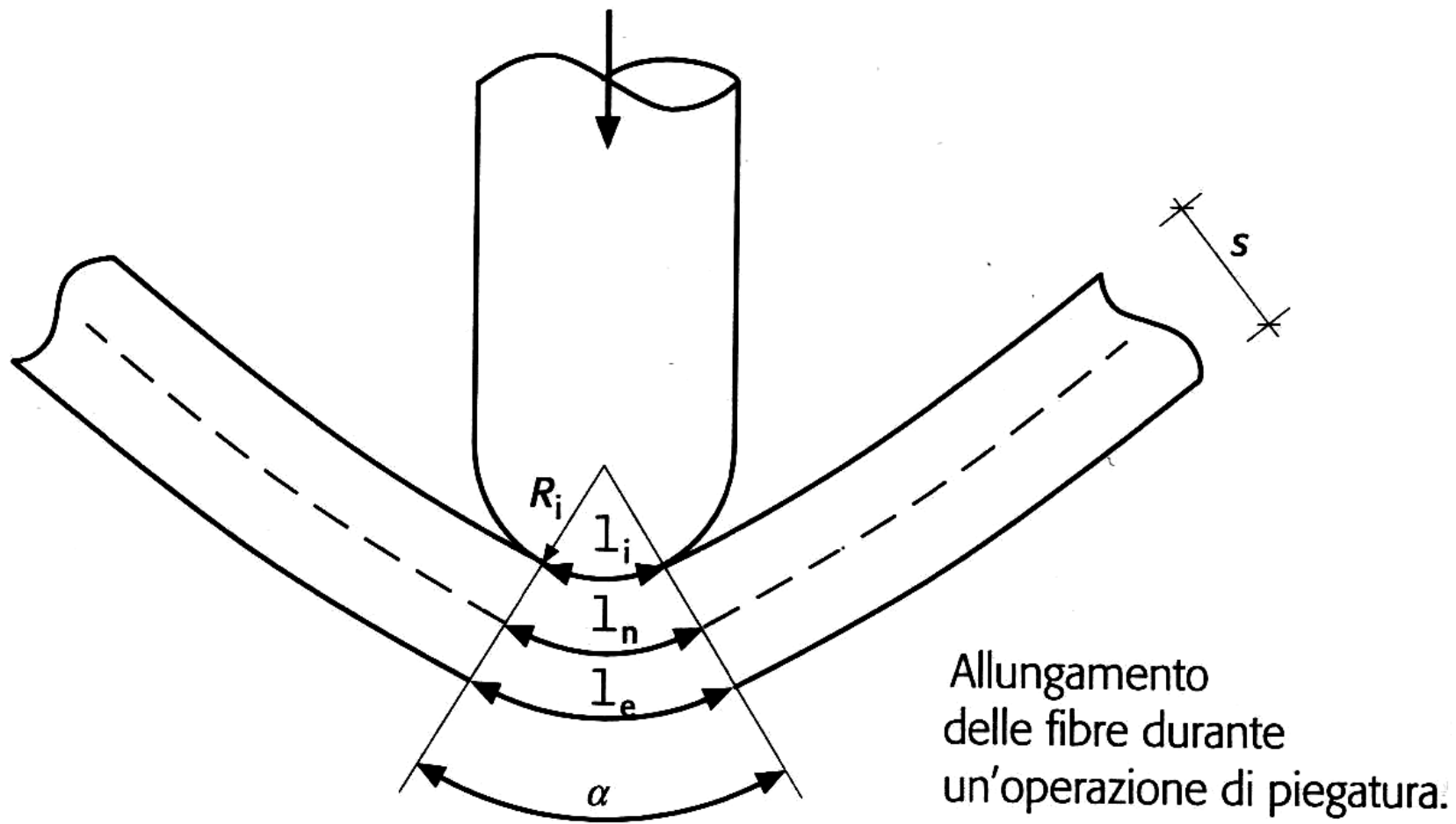
- **La lamiera deformata presenta due lati soggetti a sollecitazioni opposte:**
  - **Il lato vicino al punzone soggetto a forze di compressione**
  - **Il lato opposto soggetto a sollecitazioni di trazione**
- **Esiste una fibra interna detta neutra in quanto non soggetta ad alcuno stato di sollecitazione**



## Piegatura

- **Nella progettazione di un pezzo piegato occorre valutare anche lo sviluppo della lamiera necessaria a produrlo dato che la fibra neutra interna allo spessore tende a spostarsi sul lato della lamiera soggetto a compressione**
- **La forza di piegatura può essere determinata teoricamente solo facendo delle ipotesi circa la configurazione del pezzo, oppure, molto più verosimilmente mediante l'ausilio di software dedicati in grado di mettere in evidenza anche le aree sottoposte a maggior rischio di rottura come nel caso dell'imbutitura**



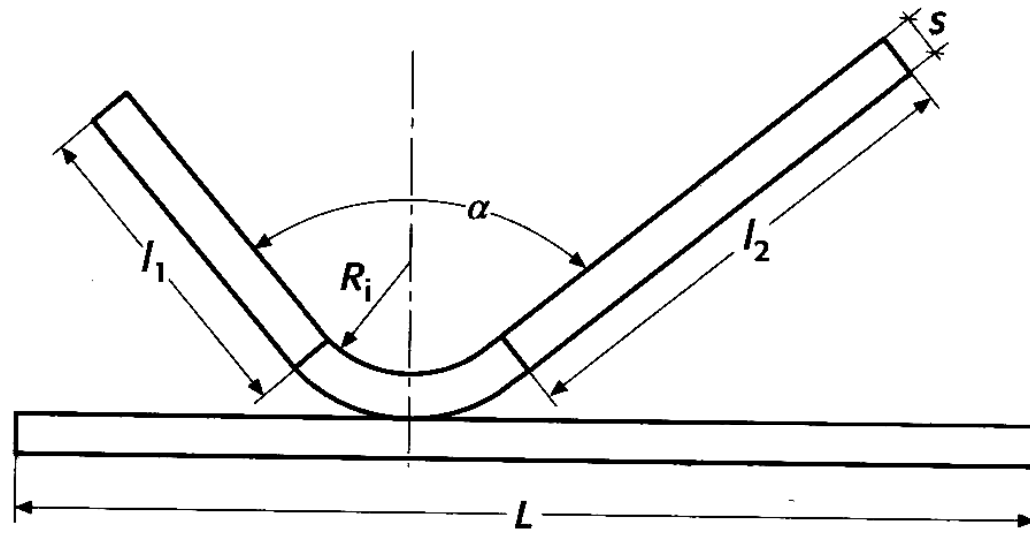


## Parametri di piegatura

<b>Tipo di acciaio</b>	<b>Spessore (mm)</b>	<b>Raggio di piegatura</b>	<b>Angolo <math>\beta</math></b>
$R_m \approx 300$ MPa		< 5	4°
	< 0,8	5 ÷ 55	5°
		> 55	6°
$R_m \approx 450$ MPa		< 5	5°
	< 0,8	5 ÷ 55	6°
		> 55	8°
$R_m \approx 600$ MPa		< 5	4°
	0,8 ÷ 2	5 ÷ 55	5°
		> 55	7°

Valori dell'angolo  $\beta$  relativo alla figura 5-74 per vari materiali, spessori e raggi di curvatura.

# Calcolo dello sviluppo



Calcolo dello sviluppo di un pezzo piegato.

$$e = f(R_i/s)$$

$R_i/s$	5,0	3,0	2,0	1,2	0,8	0,5
$e$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

# Bordatura ed arricciatura

Fig. 9.8  
Operazione di bordatura  
(di bordi circolari).

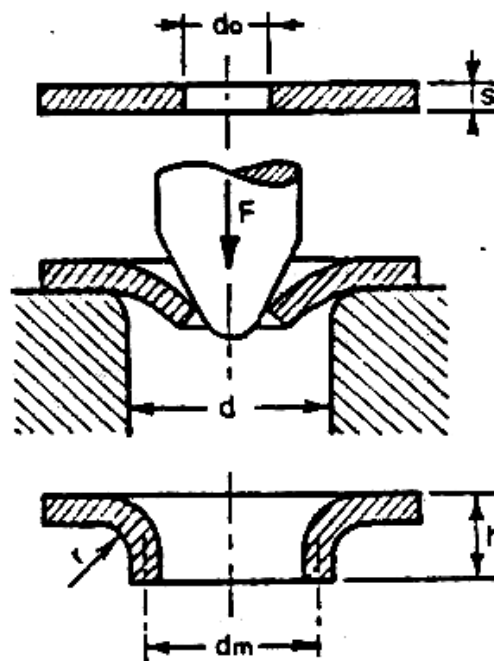
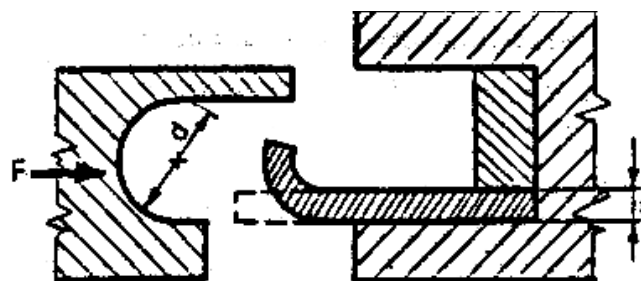
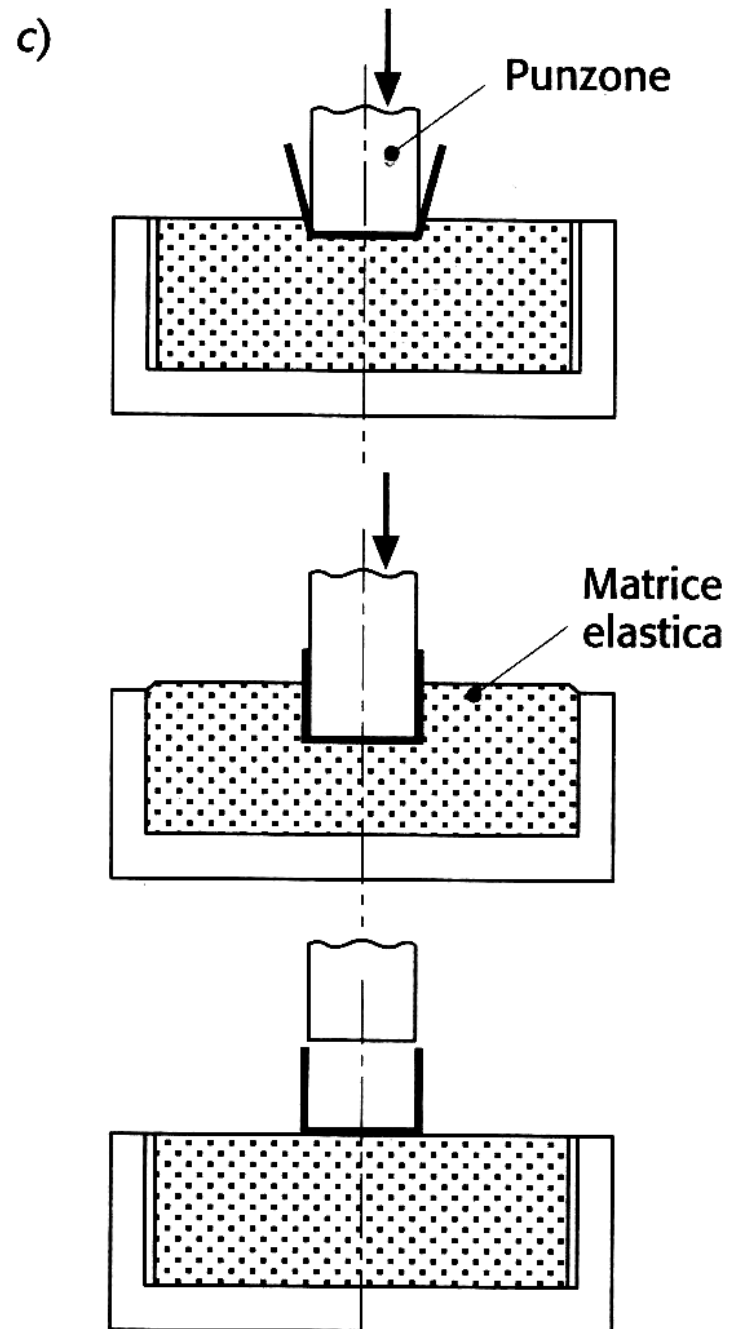


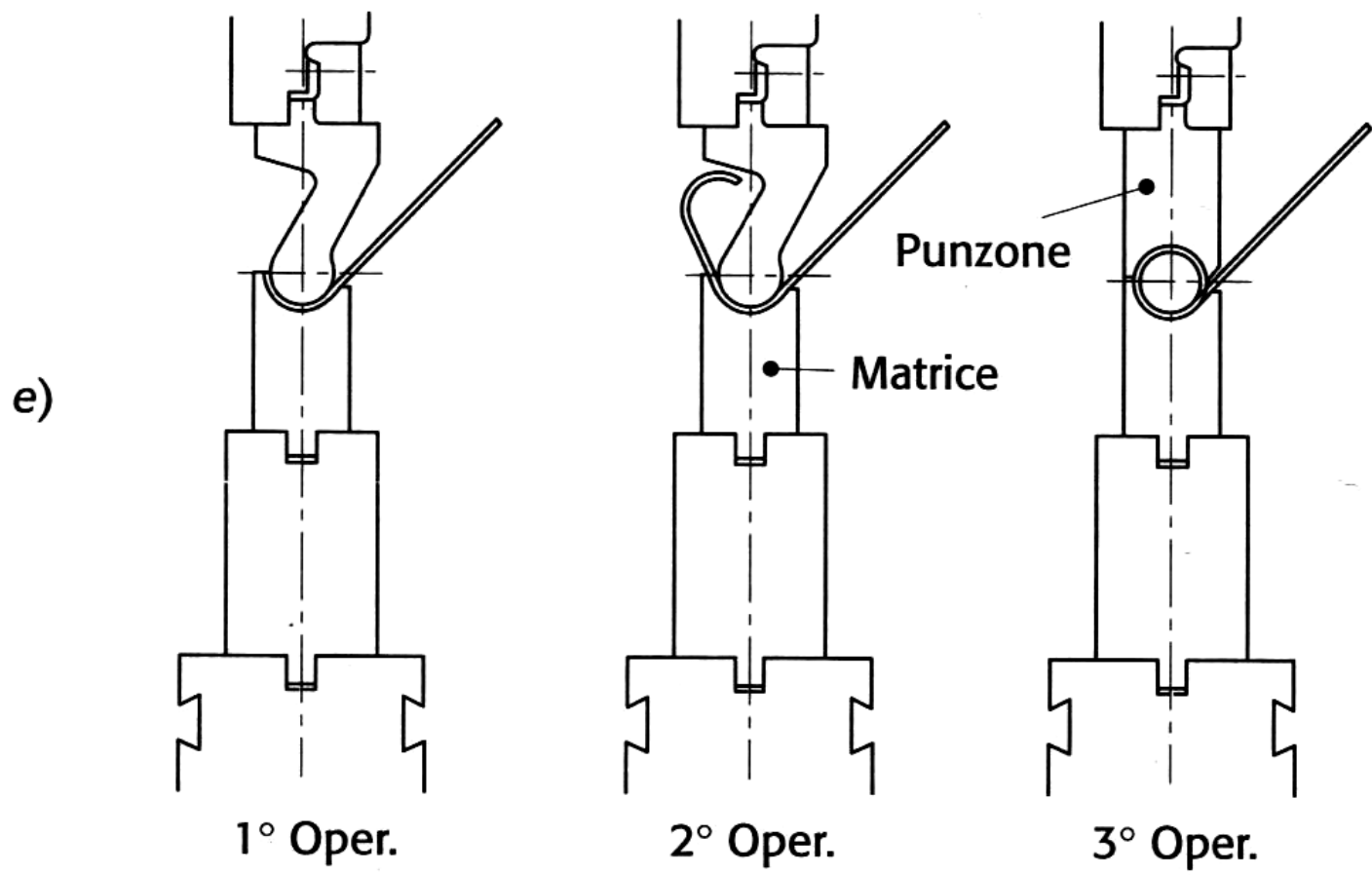
Fig. 9.7  
Operazione di arricciatura  
(di bordi rettilinei).



## Piegatura con matrice elastica



# Piegatura in più passaggi



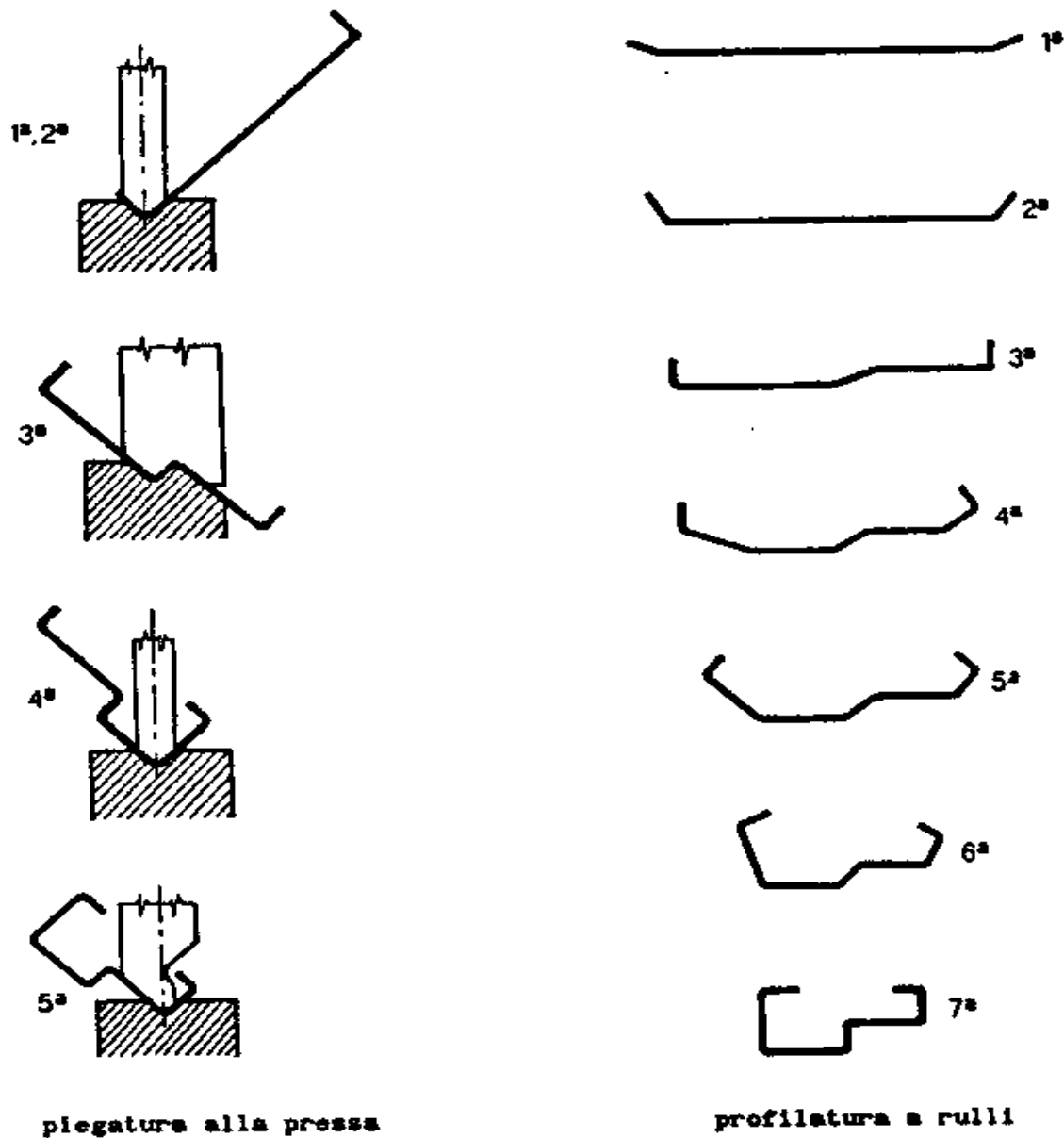
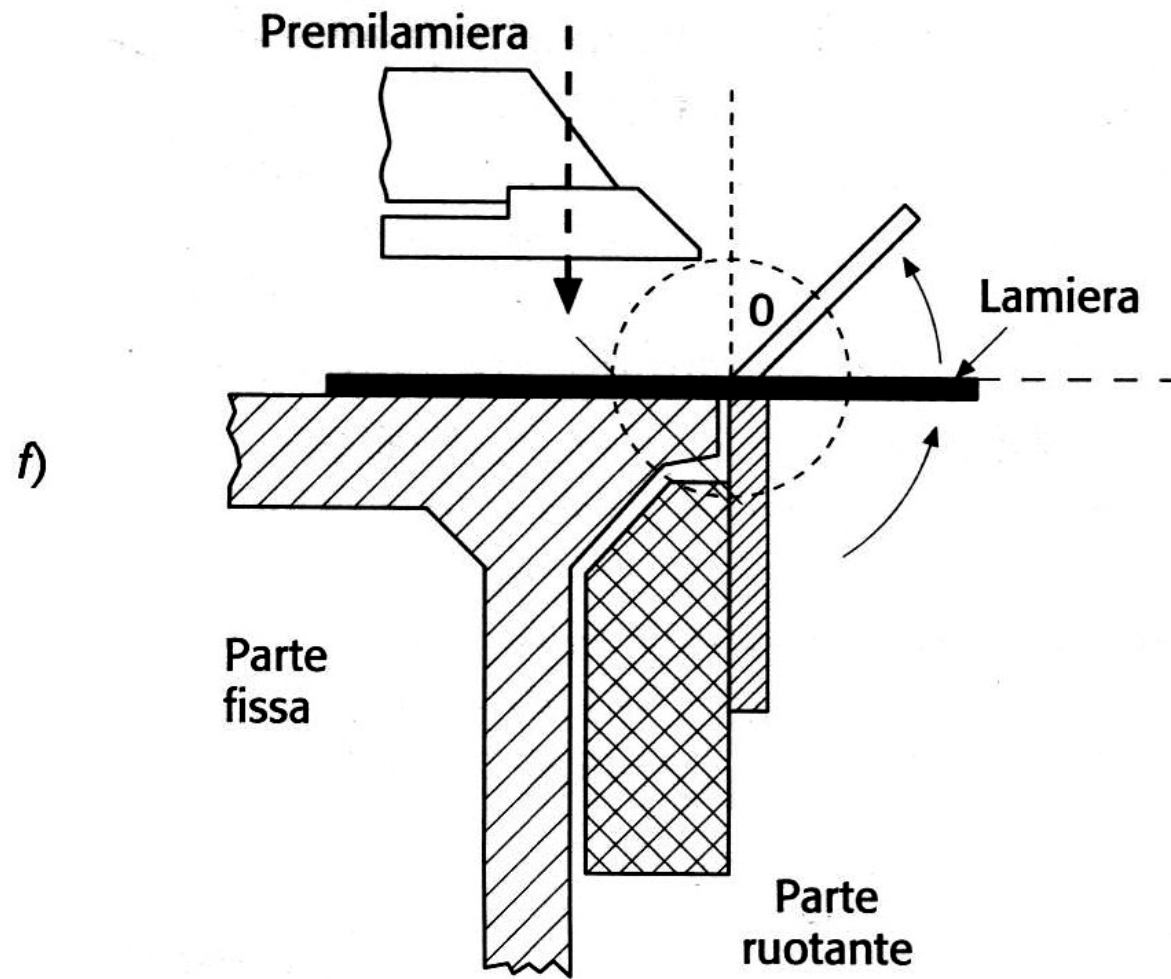


Fig. 9.12 - Sequenza delle fasi nella piegatura alla pressa e nella profilatura a rulli.

(La 3<sup>a</sup> operazione di piegatura puo' essere fatta in due passaggi con punzoni analoghi a quelli della 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> operazione).

# Piegatura tangenziale





## Energia di deformazione

$$E = m \cdot F \cdot c + F_p \cdot c$$

ove

F è la forza massima di piegatura

F<sub>p</sub> è la forza esercitata dal premilamiera

c è la corsa del punzone

m è un fattore correttivo

⇒ m = 0,33 per pieghe a V

⇒ m = 0,66 per pieghe ad U

# Forza di piegatura

Tabella 9.3 - Espressioni per il calcolo della forza in operazioni di piegatura.

$R_p$  = raggio del punzone,  $s$  = spessore,  $b$  = lunghezza,  
 $R_m$  = resistenza a trazione.

Lavorazione	Forza F	Note
Piegatura a V in stampo (Fig. 9.1)	$F = 1,2 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m / R_p \cdot X$	$X = 5$ per $R_p > R_{p, \min}$ $X = 7$ per $R_p = R_{p, \min}$ Nel caso di piegatura con "confinatura" la forza e' 2 + 3 volte maggiore.
Piegatura a U (Fig. 9.3)	$F = X \cdot b \cdot s \cdot R_m$	$X = 0,4$ nel caso di piegatura senza prelamiera $X = 0,5$ Nel caso di piegatura con prelamiera
Arricciatura (Fig. 9.7)	$F = 0,7 \cdot s^2 \cdot b \cdot R_m / d$	
Bordatura (Fig. 9.8)	$F = 0,7 \cdot s \cdot (d - d_0) \cdot R_m$	dove: $d_0 = d_m - 2(h - 0,43 \cdot r - 0,72 \cdot s)$ $(h_{\text{ex}} = 0,12 \cdot d + s)$