



# Corso di Tecnologia Meccanica

## Modulo 3.3

## Deformazione plastica



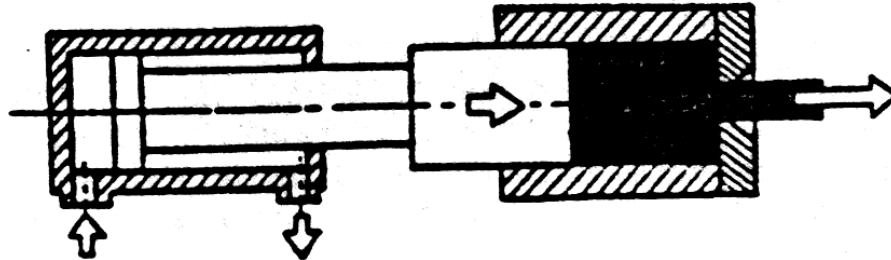
# Estrusione

# Processo di estrusione

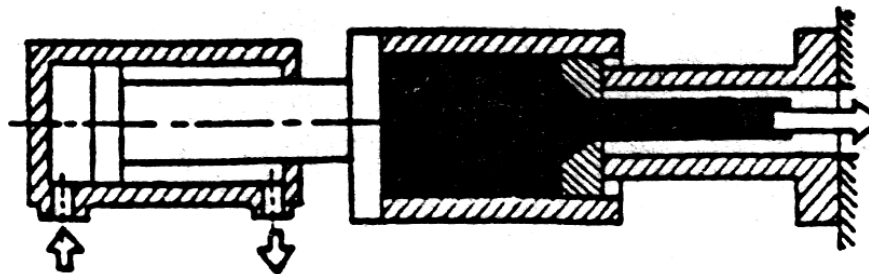
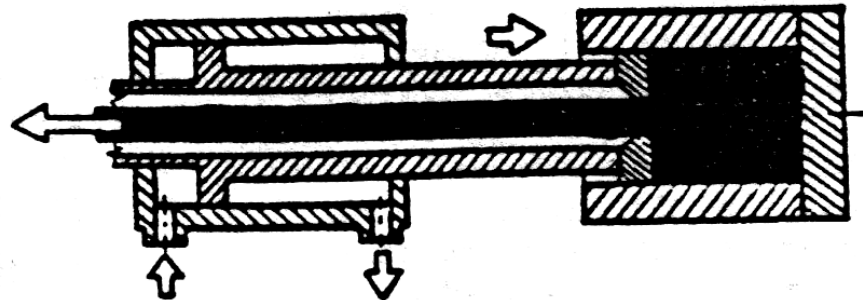
- Consiste nel processo di compressione di un massello cilindrico di materiale a temperatura ambiente (estrusione a freddo) o riscaldato (estrusione a caldo) mediante una pressa orizzontale così da farlo fluire attraverso un foro (matrice) avente sezione uguale al semilavorato che si desidera ottenere
- Metodi di estrusione
  - Diretta: quando è il massello, spinto dal pistone, a muoversi rispetto al contenitore
  - Inversa: quando è la matrice a muoversi rispetto al massello di materiale.

# Processo di estrusione

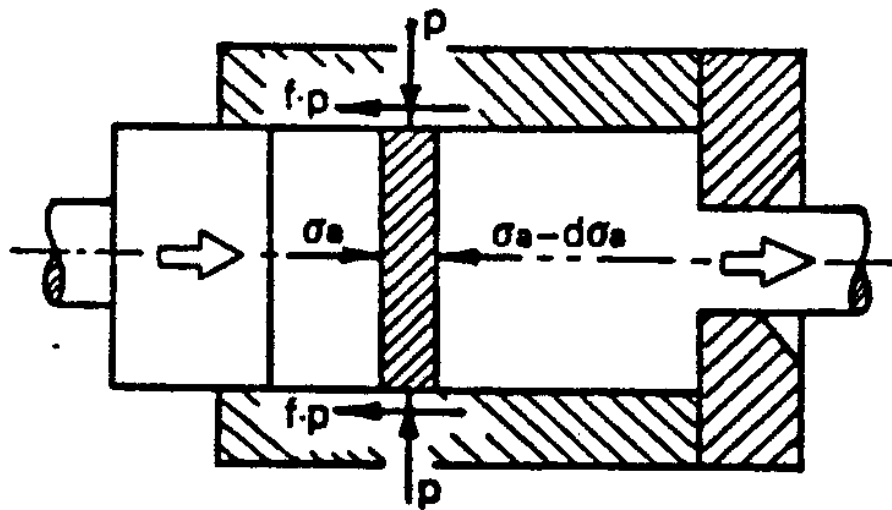
Estrusione  
diretta



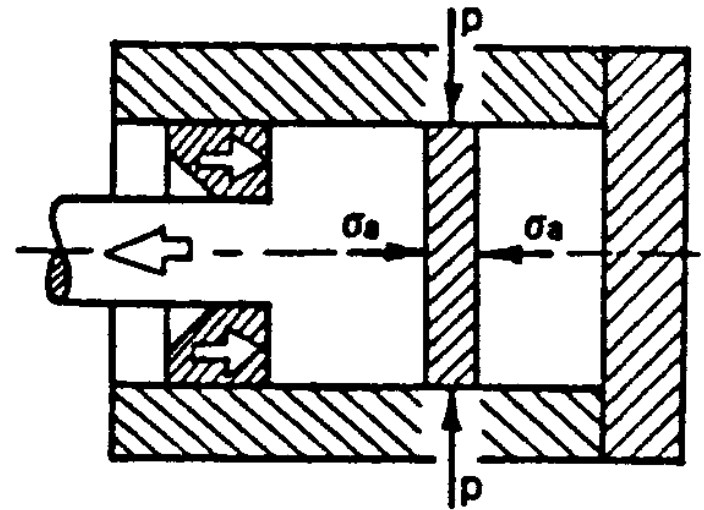
Estrusione  
inversa



Schema dell'estrusione diretta e dell'estrusione inversa.

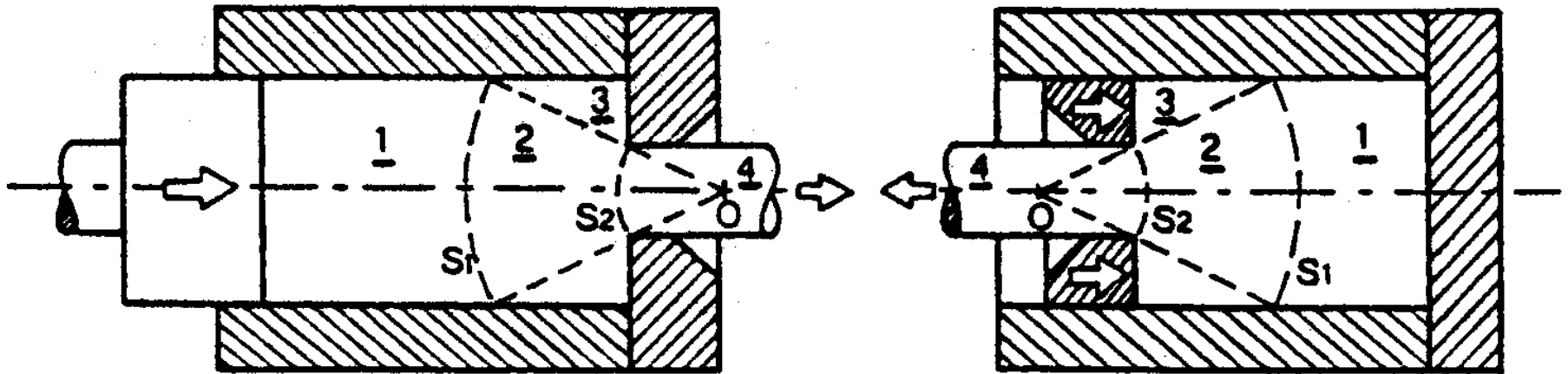


a) estrusione diretta



b) estrusione inversa

Stato di sollecitazione nel massello.



**estrusione diretta**

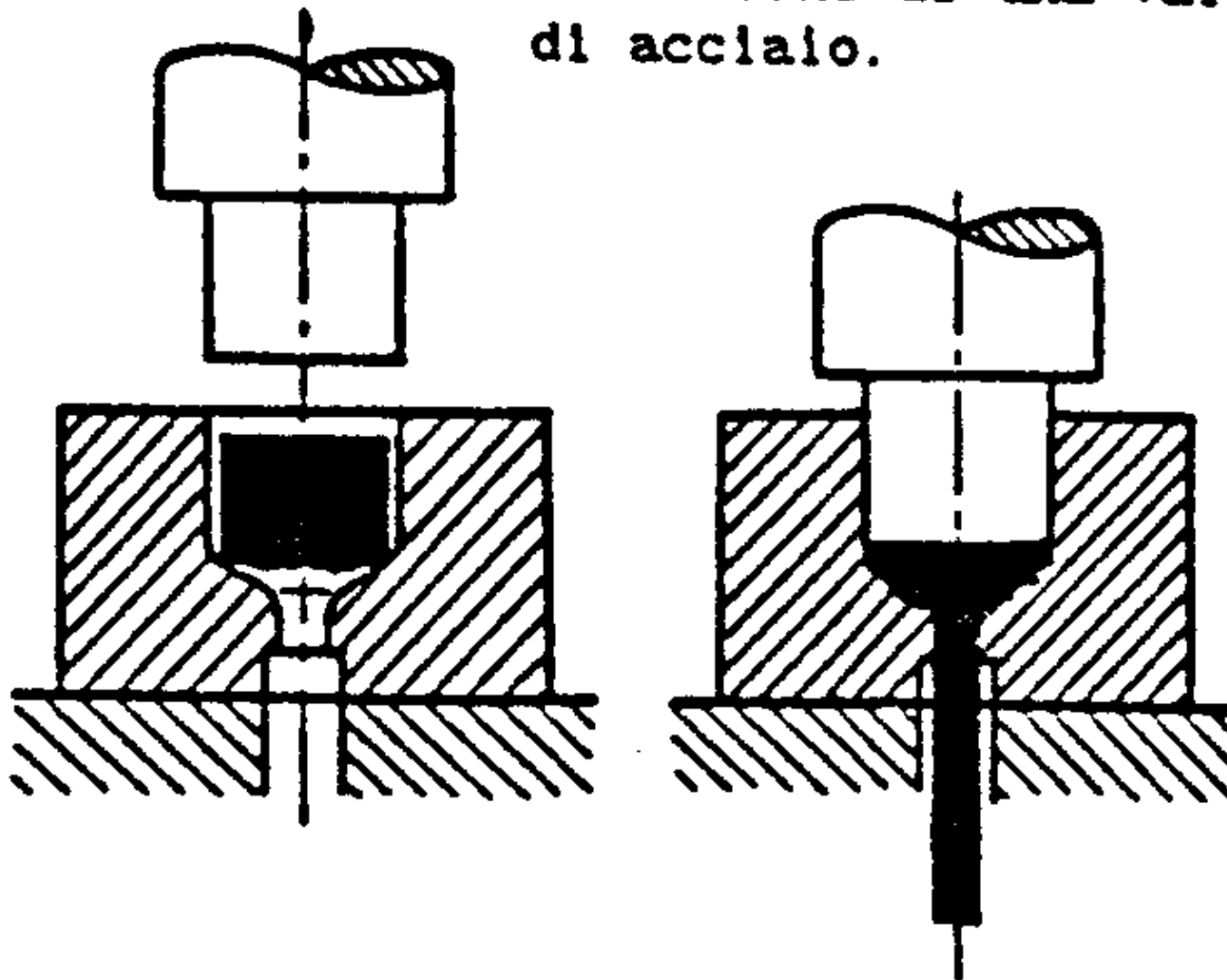
**estrusione inversa**

**Suddivisione del materiale in deformazione in varie zone.**

# Ambiti applicativi

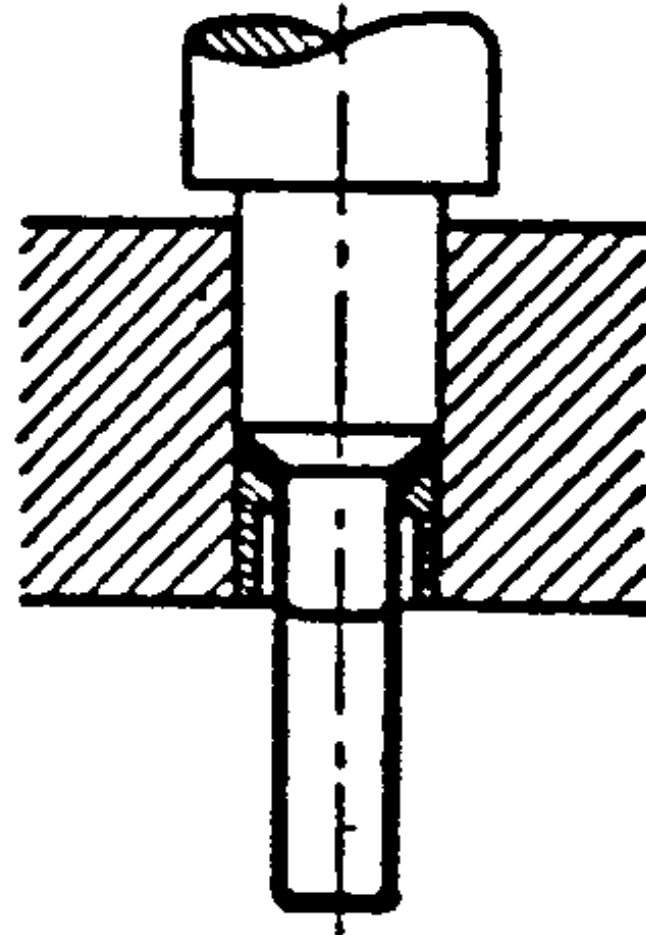
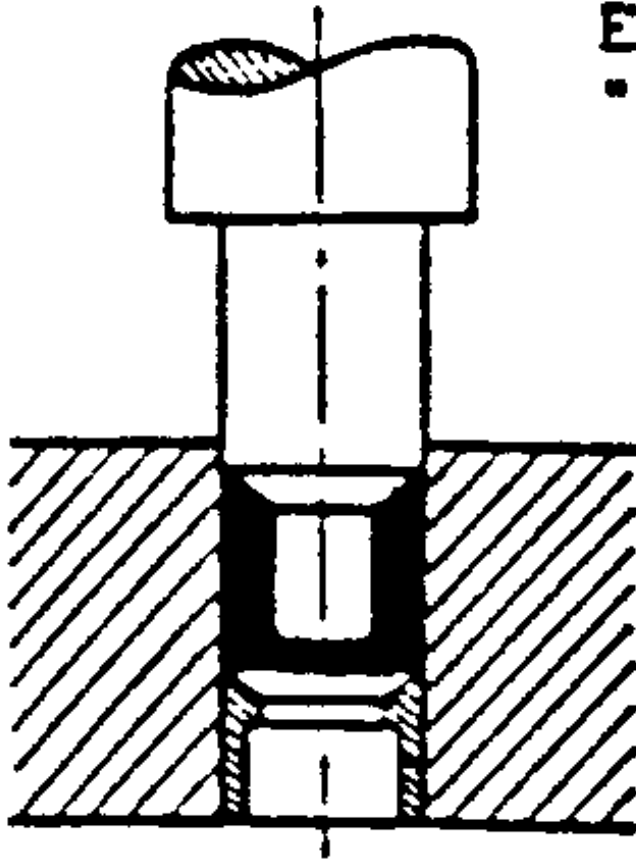
- E un processo per leghe di acciaio, leghe di alluminio, ottone
- Consente di ottenere profili anche complessi e di lunghezza indefinita
- Macchine
  - Presse meccaniche: con sistema biella-manovella, consentono alte velocità di estrusione
  - Presse idrauliche: con sistema cilindro-pistone, consentono oggi anch'esse elevate velocità e pressioni più uniformi

# Estrusione di una valvola di acciaio.

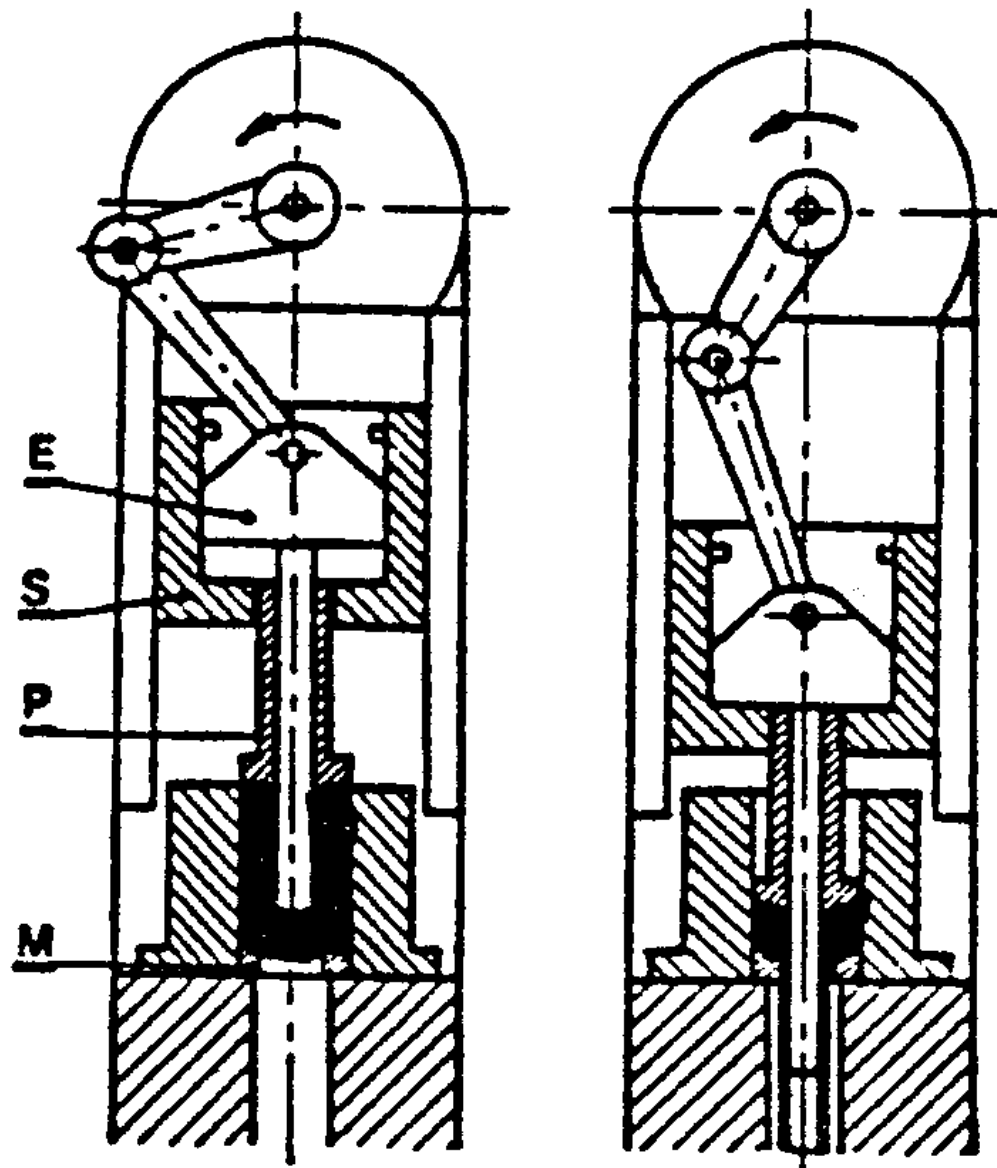




Estrusione di un pezzo a  
"bicchiere".



Pressa meccanica per estrusione di tubi.



# Estrusione a caldo

- E' adatto per materiali con una certa resistenza alla deformazione quali acciai, ottoni e leghe di alluminio
- Richiede minori forze di deformazione ma è soggetto ad altri problemi quali:
  - l'ossidazione della superficie del pezzo che è risolubile utilizzando un bastone di diametro inferiore al cilindro così che l'ossido aderisca a quest'ultimo e vi rimanga
  - e la lubrificazione per via della temperatura:
    - Leghe di alluminio 400-500 °C
    - Acciai 900-1300 °C
    - Leghe di rame 650-1000°C

In tal caso si può utilizzare vetro come lubrificante per materiali ferrosi, grafite per i non ferrosi

Lubrificanti impiegati nell'estrusione a caldo e a freddo.

Tipo di estrusione	Materiale da lavorare				
	acciai a basso tenore di carbonio.	acc. a medio tenore di C. acc. poco legati.	acciai inossidabili, leghe di Ni.	leghe di Al, leghe di Mg.	Rame e sue leghe.
a caldo	Grafite spray Grasso grafitato Bitume con grafite	Grasso grafitato Bitume con grafite Vetro	Vetro Grafite con MoS <sub>2</sub>	Senza lubrificanti Grafite spray Teflon	Grafite in olio o grasso
a freddo	Oli minerali Saponi Sego	Sego Grafite o MoS <sub>2</sub> in olio Fosfati Saponi	Oli clorurati Bagni di ossalati Resine metacriliche	Oli Lanolina Stearato di Zn	Fluoruri Fosfati Saponi Oli

# Estrusione a freddo

- È adatto per materiali con bassa resistenza alla deformazione come leghe di stagno e piombo
- Il processo a freddo consente di ottenere:
  - Migliori caratteristiche meccaniche
  - Migliore finitura superficiale
  - Migliore precisione dimensionale

# Rapporto di estrusione

- Si definisce rapporto di estrusione il rapporto

$$\rho = S_0 / S_f$$

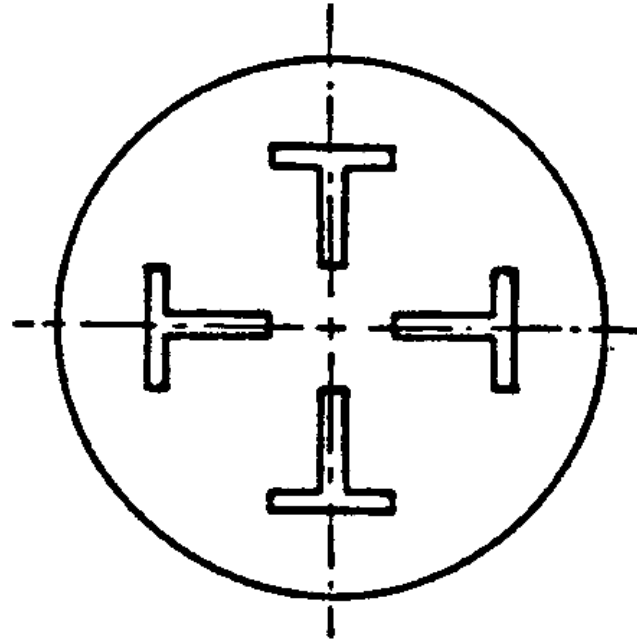
ove

$S_0$  è la sezione iniziale del massello

$S_f$  è la sezione finale dell'estruso

- Il massello proviene da un processo di fonderia e, nel caso, può essere possibile ottenere più profilati contemporaneamente

# Matrice a più fori



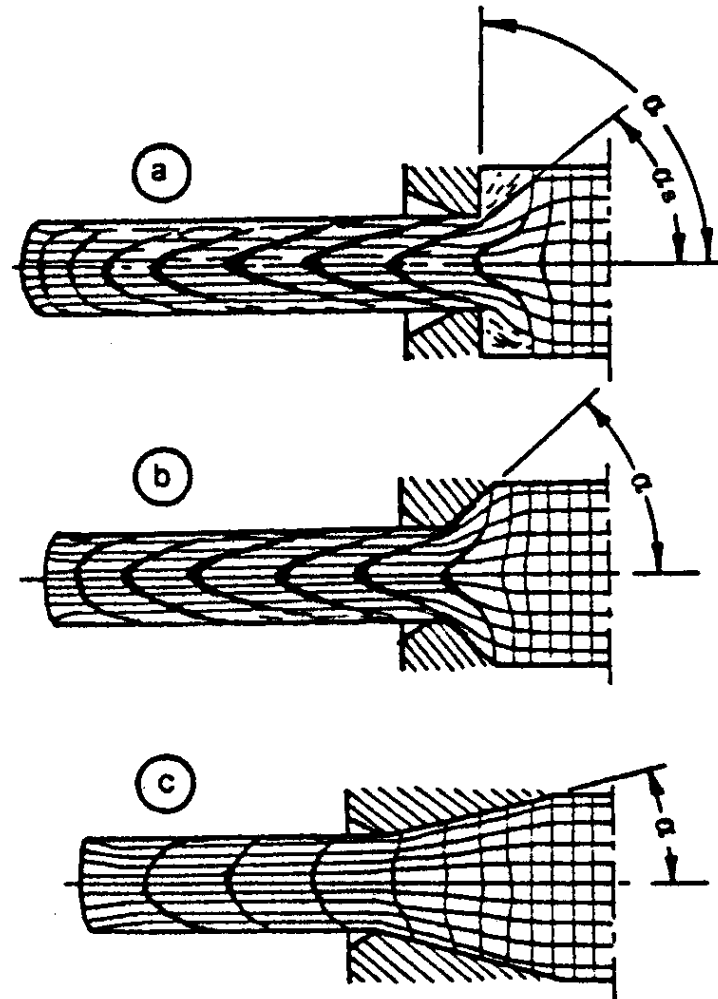
**Esempio di matrice con più  
fori.**

# Matrici di estrusione

- Lo stato di deformazione è complesso, specie in prossimità della matrice per i bruschi cambi di direzione del materiale
- La matrice è l'elemento più importante del processo di estrusione
- Realizzata con acciai lavorati a caldo o con carburi sinterizzati
- E' composta da due parti:
  - Sezione conica di imbocco
  - Sezione cilindrica di calibratura
- È fondamentale la relazione tra angolo di apertura della matrice ed angolo di scorrimento del materiale per evitare angoli "morti" nel contenitore



# Angolo di apertura e di scorrimento



Distorsione del materiale nella estrusione diretta per differenti valori dell'angolo  $\alpha$  di semiapertura del foro nella matrice.

$\alpha_s$  = angolo di scorrimento del materiale.

# Forza di estrusione

- La forza di estrusione necessaria ha due componenti:
  - Operare la deformazione
  - Vincere gli attriti
- Andamento della forza
  - E' diversa tra estrusione diretta ed estrusione inversa
  - Diventa elevatissima in concomitanza della fine del processo a causa del complicarsi del flusso di materiale
- In generale l'estrusione diretta richiede macchine più grandi ma il pistone per l'estrusione inversa è più costoso
- La temperatura influenza grandemente la forza di estrusione

# Andamento della forza di estrusione

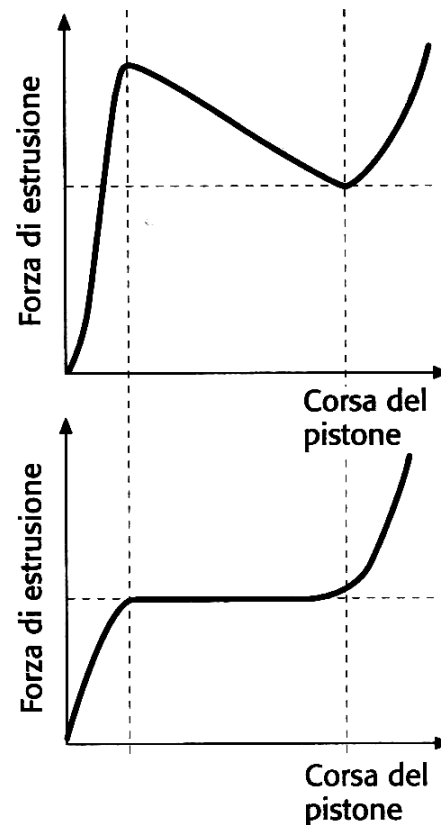
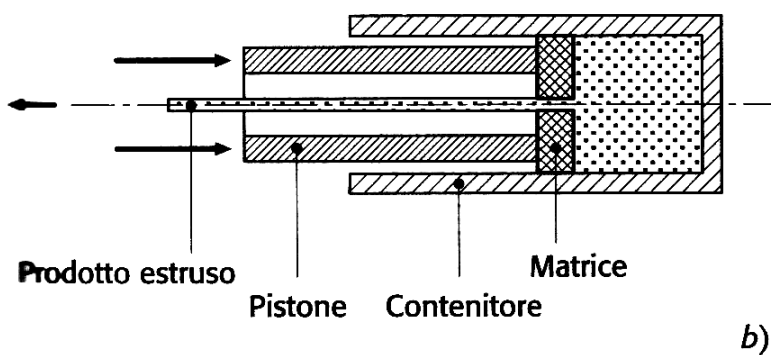
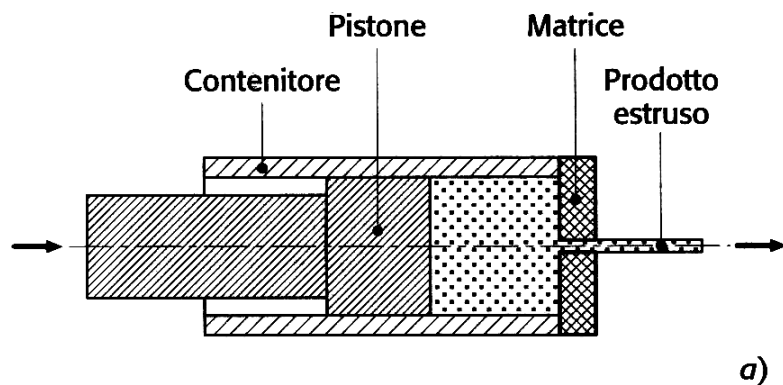
## ■ Estrusione diretta

- La forza è massima all'inizio per la sovrapposizione delle forze di attrito e di deformazione
- Si riduce con il progredire del processo al decrescere della forza di attrito
- Torna a crescere alla fine in concomitanza della formazione di angoli morti nel massello

## ■ Estrusione inversa

- La forza è massima all'inizio per via del processo di deformazione
- La componente di attrito ha un valore costante e minimo non essendoci moto tra massello e contenitore
- La forza aumenta alla fine per le stesse ragioni già viste

# Processo di estrusione



Principio dell'operazione di estrusione, diretta a) e inversa b) e relativi diagrammi qualitativi dell'andamento della forza di estrusione in funzione della corsa del pistone premente.

# Forza di estrusione

- La forza necessaria per estrudere un materiale è quindi variabile in funzione di.
  - Metodo di estrusione utilizzato
  - Angolo di apertura della matrice
  - Deformazioni interne del materiale
  - Temperatura a cui avviene il processo

# Calcolo della forza di estrusione

- La forza necessaria per estrudere un materiale è esprimibile con la seguente espressione:

$$F_{tot} = F_{def} + F_{1att} + F_{2att} + F_{3att} + F_{1dis} + F_{2dis}$$

ove

$F_{def}$  = forza per deformare il materiale

$F_{1att}$  = forza di attrito tra massello contenitore

$F_{2att}$  = forza di attrito tra piani interni del massello

$F_{3att}$  = forza di attrito tra materiale e matrice

$F_{1dis}$  = distorsione del materiale da cilindro a cono

$F_{2dis}$  = distorsione del materiale da cono a cilindro

# Calcolo della forza di estrusione

- Formula pratica per il calcolo della forza di estrusione necessaria:

$$F_{tot} = F_{def} / \eta = S_0 \cdot \sigma_0 \cdot \ln(S_0 / S_f) / \eta$$

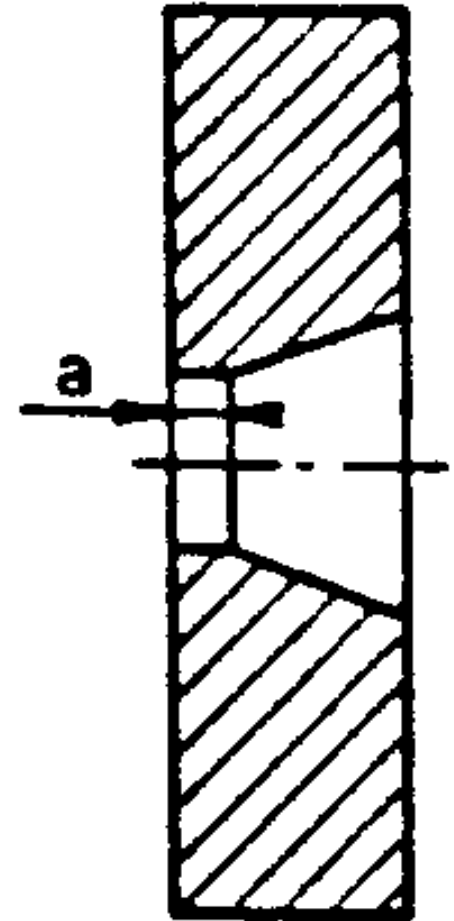
ove:

$\eta$  rendimento di deformazione pari a 0,5 - 0,8

$\sigma_0$  è il flow stress del materiale

# Matrice di estrusione

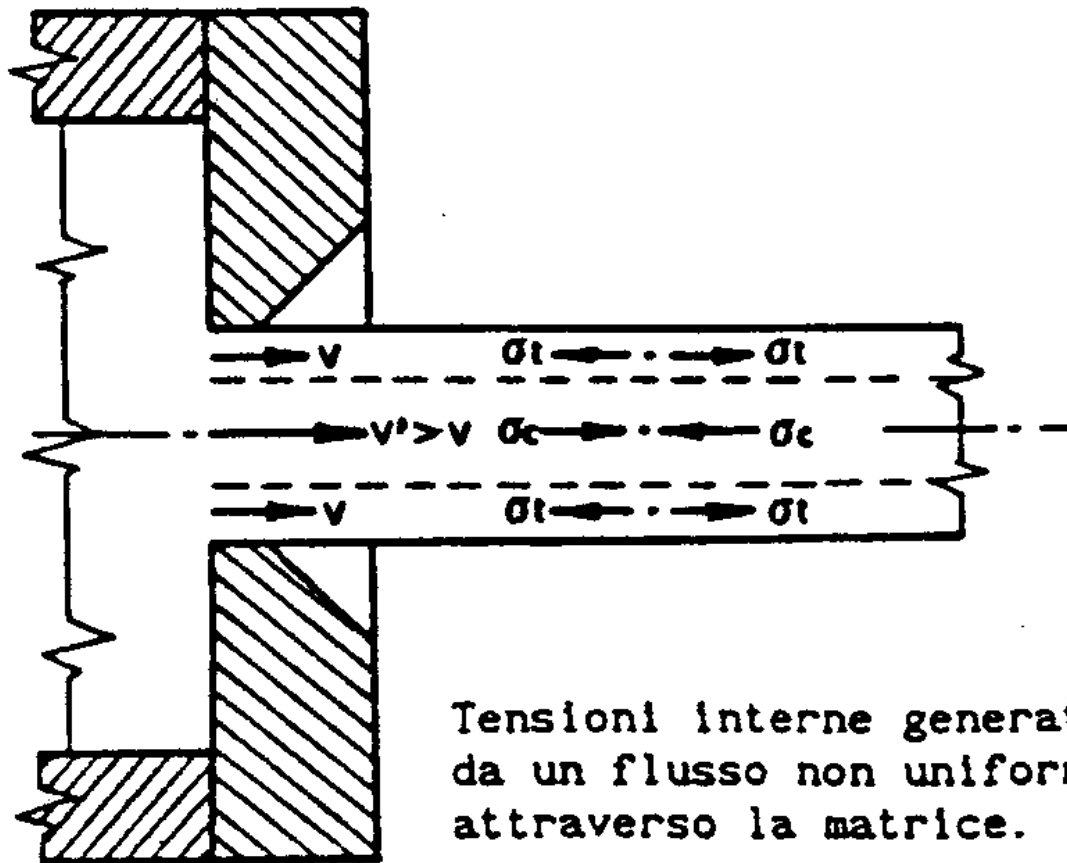
- Il foro presenta un collare calibrato con duplice funzione:
  - Rifinire e stabilizzare la superficie del profilato
  - Evitare la rapida usura della matrice
- Il collare non deve essere eccessivamente esteso per non creare troppo attrito



**Matrice.**

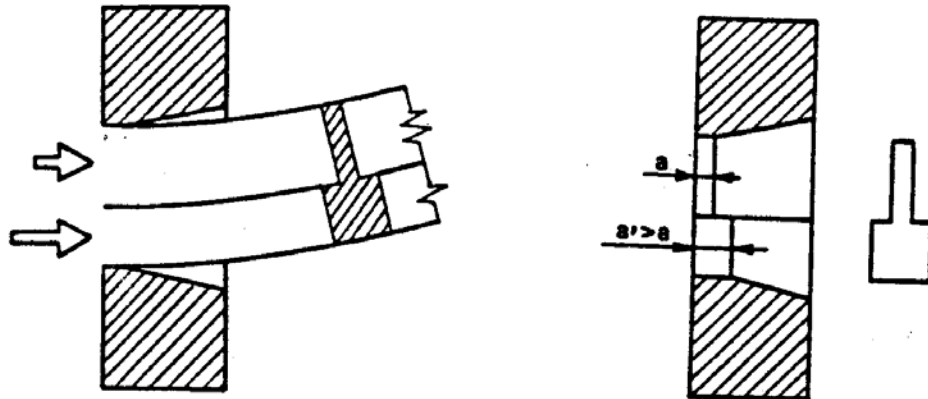


# Distribuzione delle tensioni



# Difetti di estrusione

- Occorre evitare che gli attriti sulle diverse sezioni del profilato possano innescare tensioni e deformazioni a causa di diverse velocità di efflusso
- A tal fine è opportuno dimensionare diversamente le lunghezze del colare in funzione della sezione interessata



Difetti sul prodotto dovuti alle tensioni interne (a sinistra) e matrice con collari di lunghezza differente per uniformare il flusso del materiale (a destra).

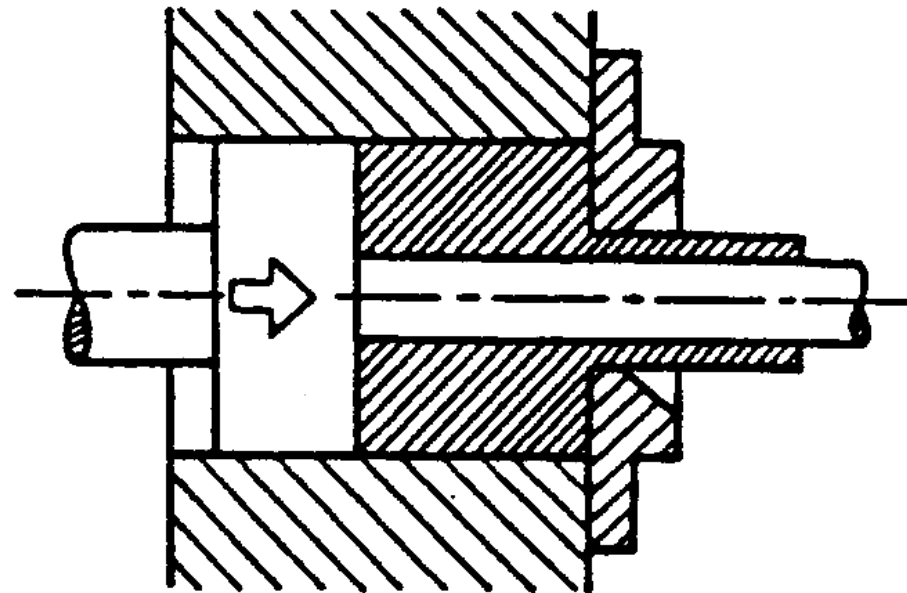
# Estrusione di tubi

- L'estrusione è un processo utilizzato anche per la produzione di tubi, partendo:
  - Da un forato utilizzando l'estrusione diretta
  - Da un pieno utilizzando l'estrusione inversa ed ottenendo un estruso “a bicchiere”

# Estrusione da forato

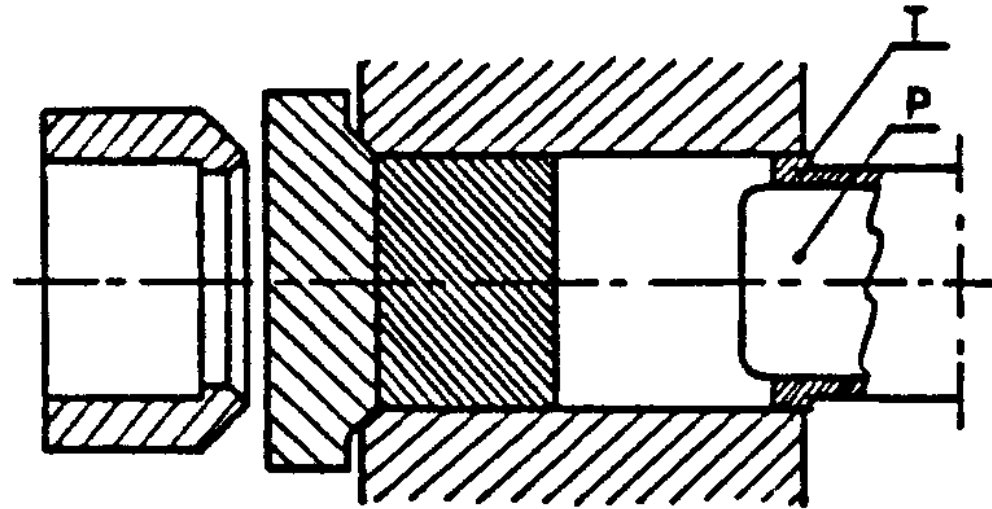
- Il forato viene inserito nel contenitore ove il pistone è munito di mandrino con diametro pari al diametro interno del tubo da ottenere
- Il materiale deve fluire tra la matrice ed il mandrino ottenendo il profilo richiesto

Estrusione di tubi partendo da un forato.



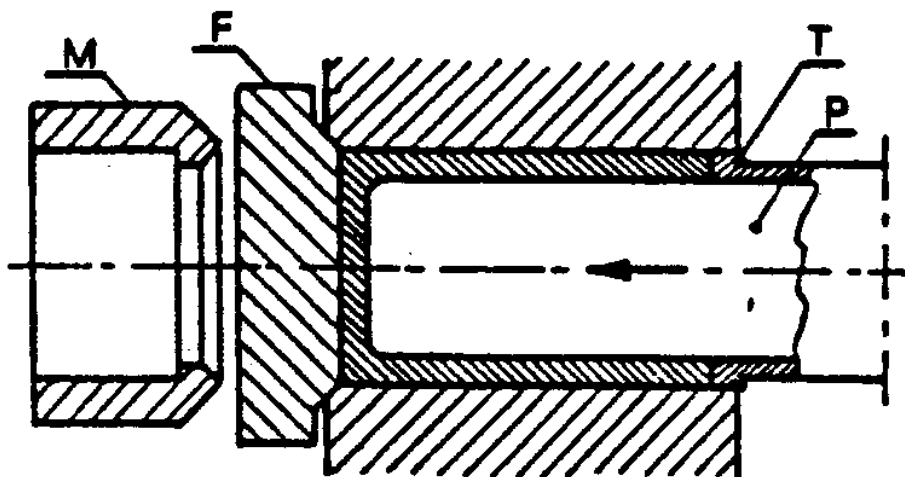
# Estrusione da pieno

- Il pistone estrude “a bicchiere” il massello cilindrico
- Il tappo viene tolto e sostituito da una matrice con il diametro richiesto

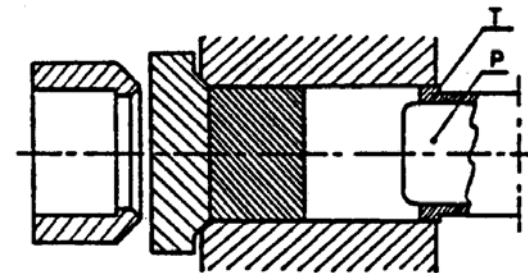


**a - Fase iniziale.**

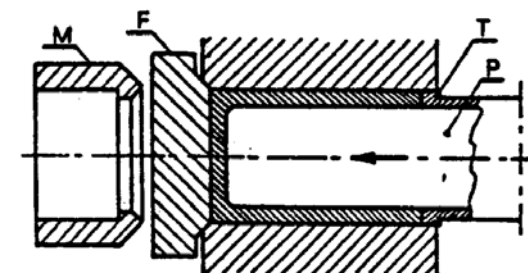
# Estrusione da pieno



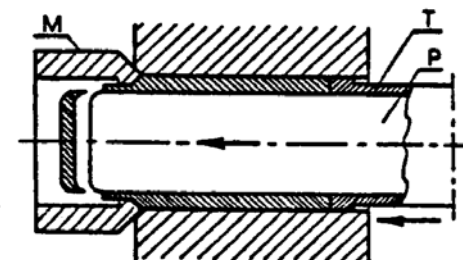
**b - Fase di estrusione inversa.**



**Fig. 5.12-a - Fase iniziale.**



**Fig. 5.12-b - Fase di estrusione inversa.**

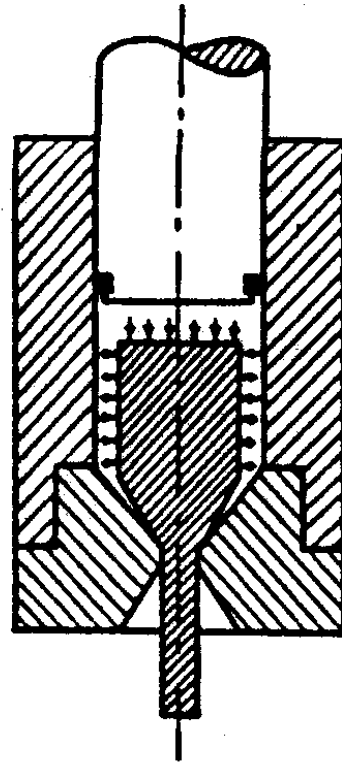


**c - Fase di tranciatura e di estrusione diretta.**

# Estrusione idrostatica

- La forza viene esercitata da un fluido ad alta pressione che, evitando il contatto massello-contenitore, evita le resistenze di attrito
- La forza necessaria risulta simile a quella del processo inverso
- Come fluido sono utilizzabili i lubrificanti del processo di estrusione tradizionale come sostanze vetrose che fondono a contatto con il massello a  $T^\circ$  di circa  $1200^\circ\text{C}$
- Problemi:
  - Preparazione del contenitore per renderlo ermetico al fluido
  - Lo stesso dicasi per le fasi di apertura-chiusura del contenitore
- Una soluzione intermedia è il processo Hydrafilms ovvero apponendo il lubrificante sul solo massello ed utilizzando un impianto normale

# Estrusione idrostatica



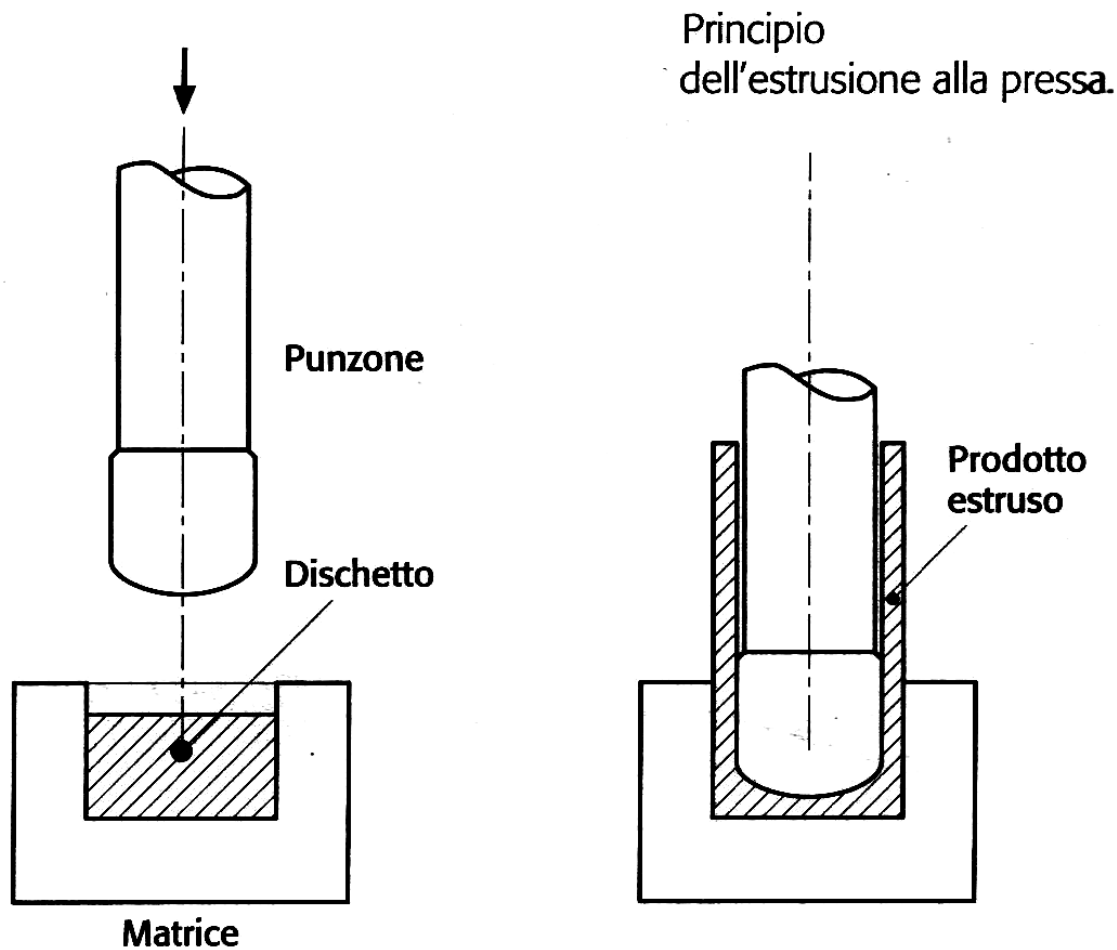
**Schema dell'estrusione  
idrostatica.**



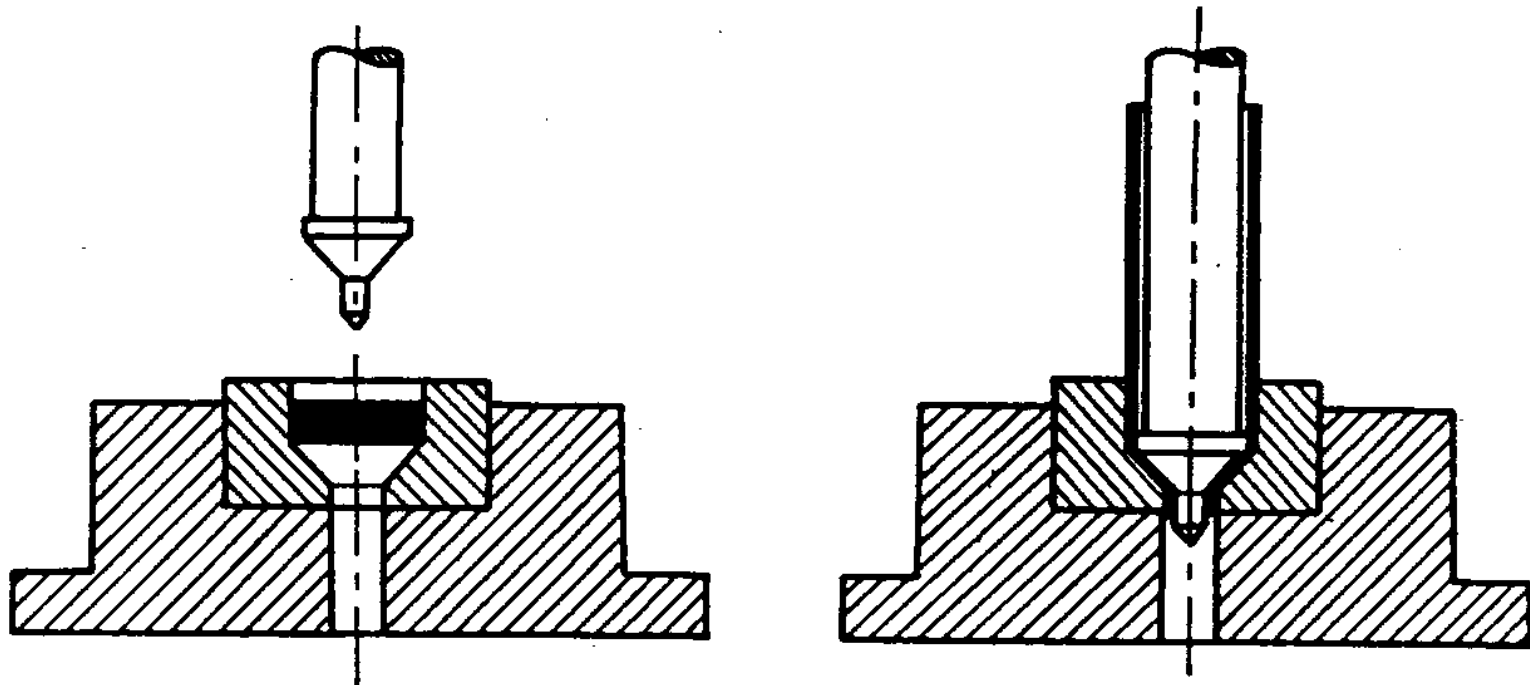
# Estrusione per urto

- Per la realizzazione a freddo di tubetti e contenitori di stagno o alluminio
- Circa il 90% del lavoro di deformazione speso si trasforma in calore che rimane nel pezzo
- Per l'estrusione di acciaio si procede con il riscaldamento del massello utilizzando presse molto veloci
- Le dimensioni massime consentite sono lunghezze di circa 250 mm e larghezze da 10 a 100 mm

# Estrusione per urto

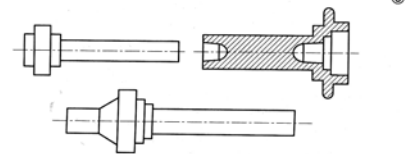
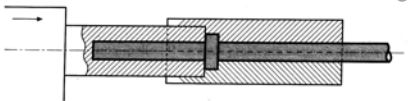
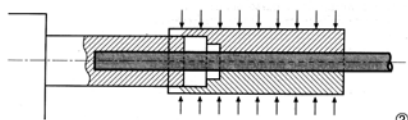
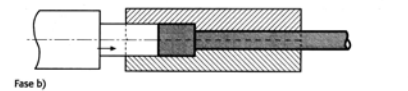
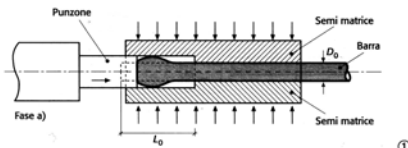


# Estrusione per urto



Esempio di estrusione per urto di tubetti.

# Ricalcatura

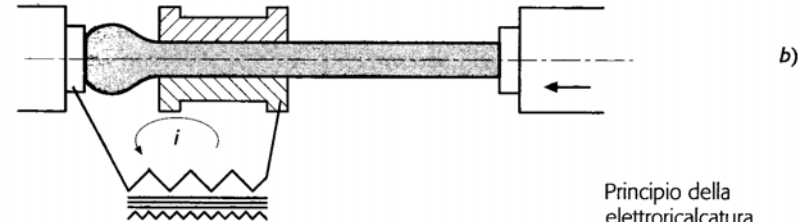
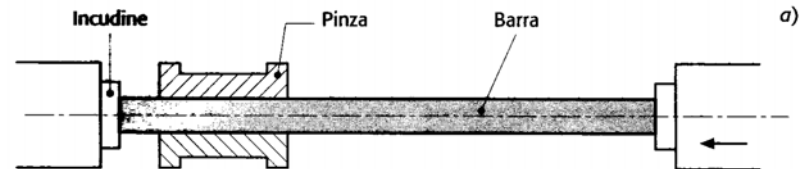


①

- 1) Principio della ricalcatura effettuata per una estremità della barra.
- 2) Lo stesso principio applicato a una parte centrale della barra.
- 3) Esempio di pezzi ottenuti per ricalcatura.

②

③



Principio della elettroricalcatura.