

**Laboratorio di**  
**Tecnologie Biomediche**  
Lavorazione per fusione e  
progettazione degli stampi

[carmelo.demaria@unipi.it](mailto:carmelo.demaria@unipi.it)

# Fabbricazione per fusione

- Preparare una cavità detta forma, che ricopia al negativo il pezzo che si desidera realizzare, nella quale si cola il materiale scelto per il pezzo, allo stato fuso
- A solidificazione avvenuta ciò che si estrae dalla forma è detto greggio di fusione

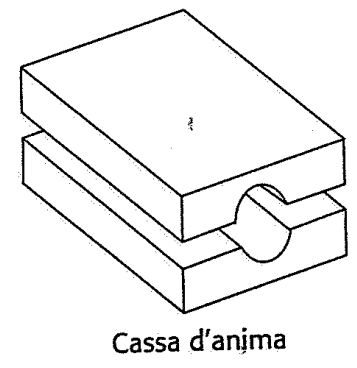
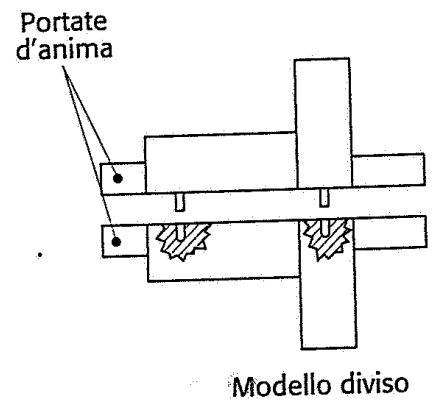
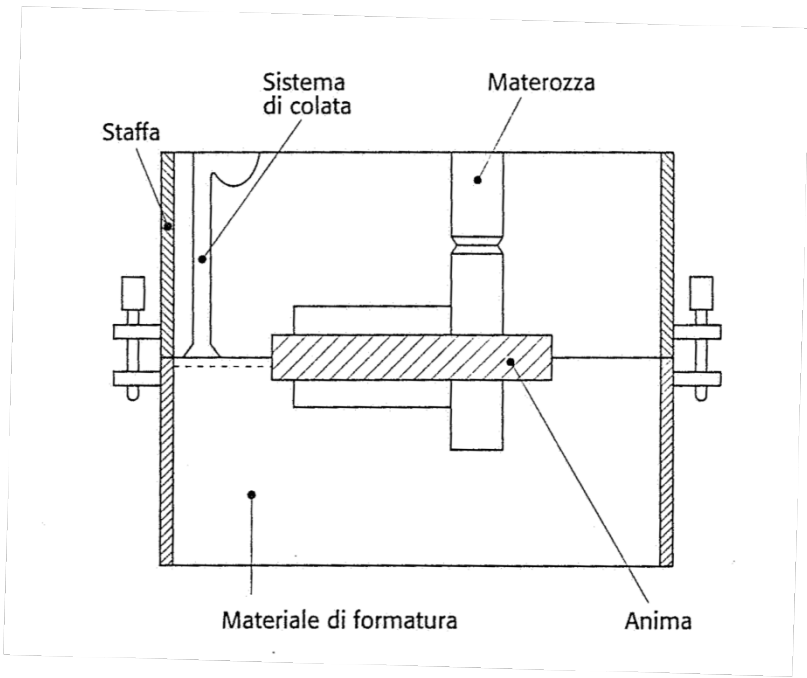
# Fabbricazione per fusione

- Versatilità
  - Pezzi di peso variabile, da pochi grammi a centinaia di tonnellate
  - Forma semplice e complessa
  - Pezzo finito a meno dei soprametalli, le parti che sono asportate con le macchine utensili

# Fabbricazione per fusione

- Formatura in forma transitoria: ogni forma può essere utilizzata per una sola colata e viene distrutta al momento dell'estrazione del greggio
- Formatura in forma permanente (o in conchiglia), nei quali la forma viene progettata e realizzata in modo da poter essere utilizzata per un numero elevato di colate

# Formatura in forma transitoria



- Modello: ha la funzione di generare nella forma le superfici corrispondenti a quelle esterne del greggio
- Anime: hanno lo scopo di creare nel greggio le cavità previste dal progetto
- Materiale da formatura – staffe – casse d'anima –

- Sistema di colata: sistema attraverso il quale il materiale fuso entra nella forma
- Materozza: compensare il ritiro del getto durante la solidificazione

# Progettazione di uno stampo



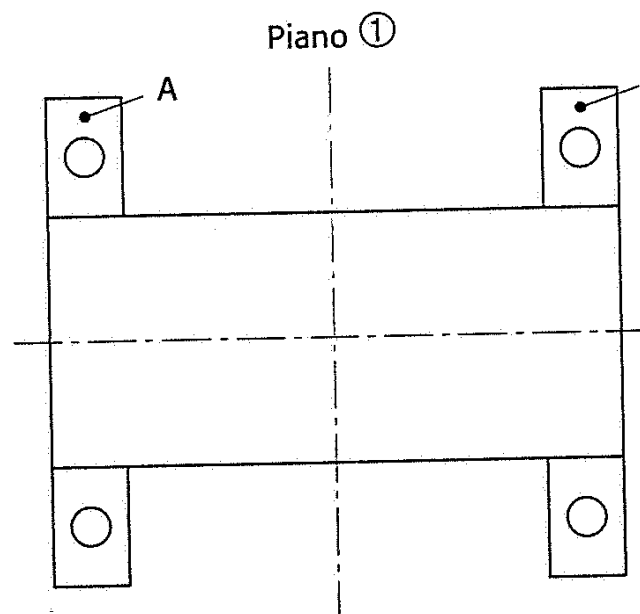
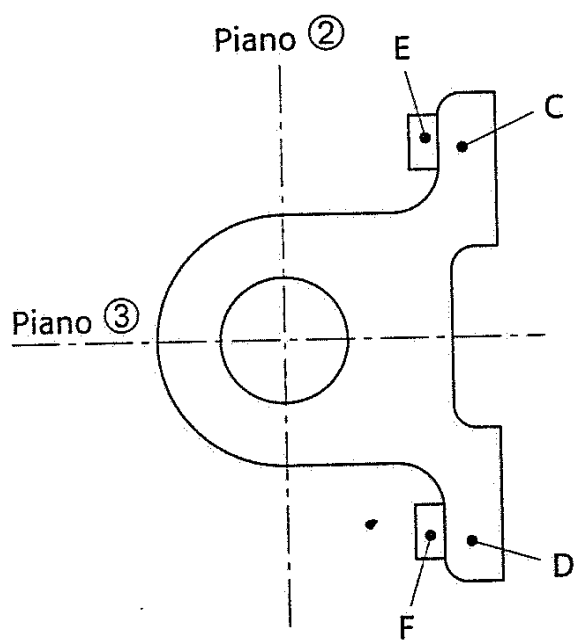
# Estraibilità del modello

- Forma transitoria:
  - Dopo aver svolto la sua funzione di premettere la costruzione della forma, il modello deve poter essere estratto dalla forma stessa senza danneggiarla
- Forma permanente
  - Il getto deve poter essere estratto dalla conchiglia
- Sottosquadro (o controsformo): parti del modello che durante l'estrazione rovinerebbero la forma
- Soluzione dei sottosquadri.

# Soluzione dei sottosquadri

- Esistono infinite soluzioni, tante quanti sono i possibili piani di divisione di un modello
- Se non esiste questa soluzione, si può ricorrere a diversi metodi (con costi diversi)

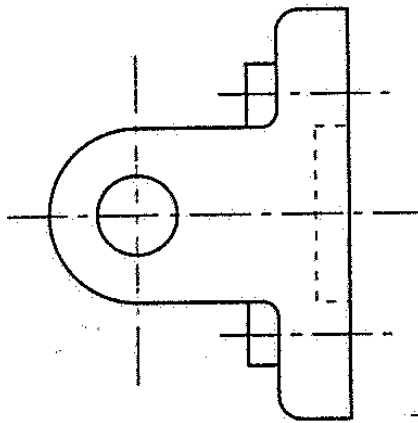
# Soluzione dei sottosquadri



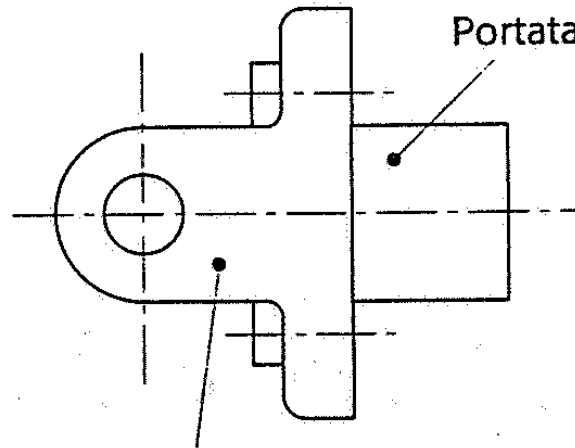
# Soluzione dei sottosquadri

- Modifica del progetto
  - Attenzione alla modifica di spessore
  - Cavità di ritiro
- Uso di tesselli e di portate d'anima

# Soluzione dei sottosquadri



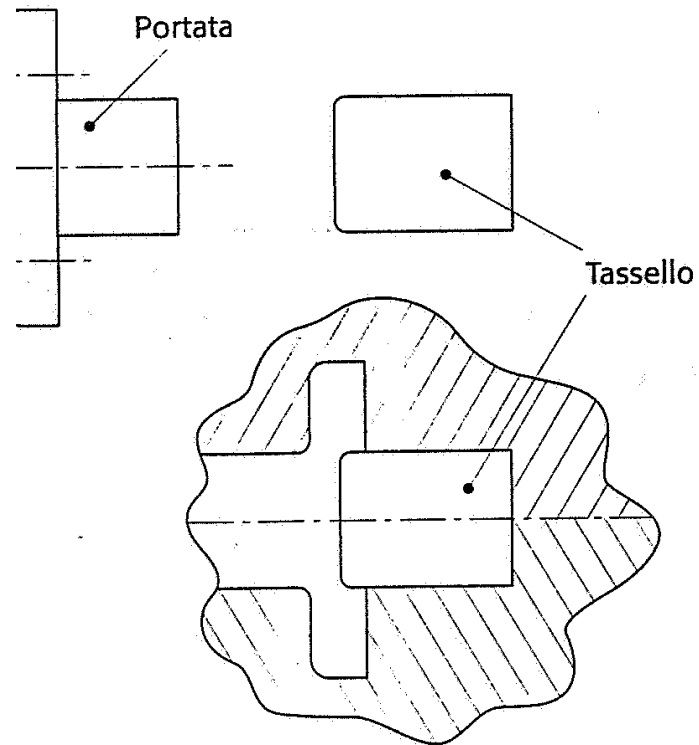
*Soluzione a:* Formaggelle alla francese ed eliminazione parte tratteggiata



Modello



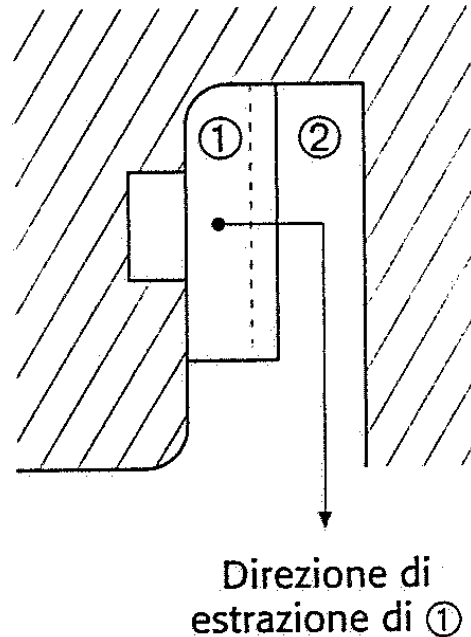
# Soluzione dei sottosquadri



*Soluzione b: Uso di tasselli*

# Soluzione dei sottosquadri

- Modelli scomponibili



*Soluzione c: Modello  
scomponibile in ① e ②*

# Sovrametallo

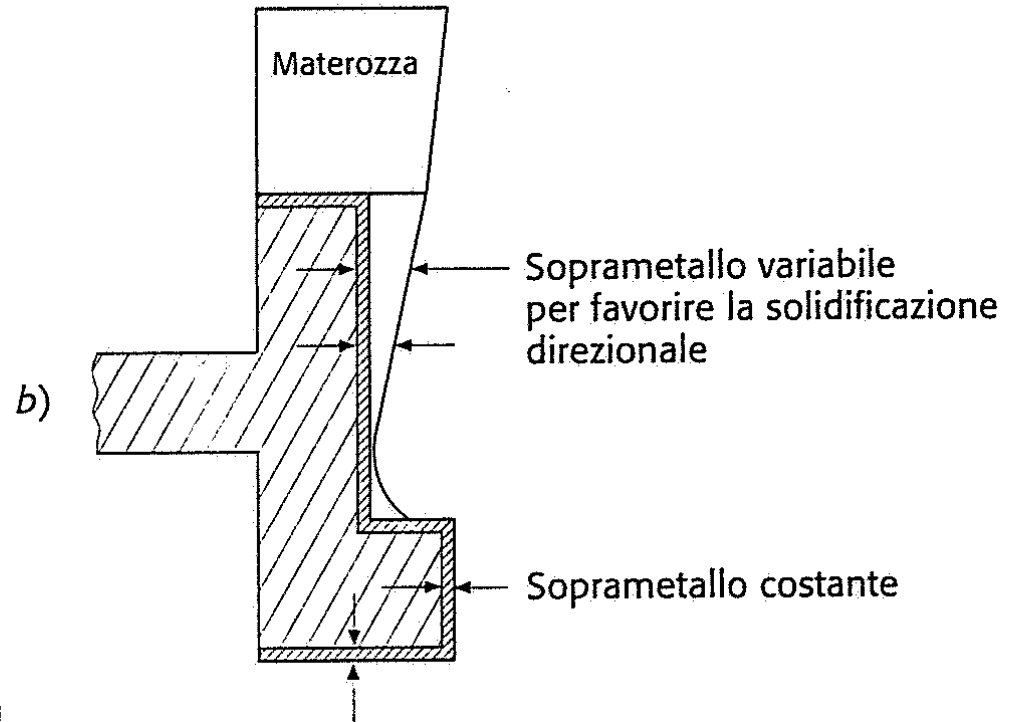
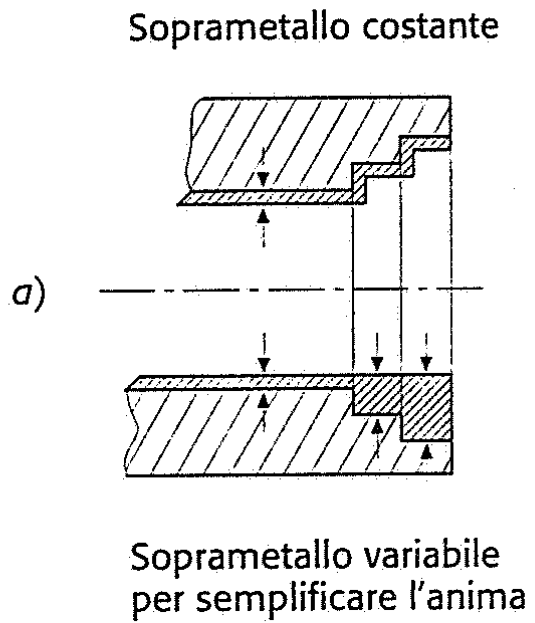
- La maggior parte dei procedimenti di fusione in metallo non permette di ottenere superfici con una qualità macro e micro geometrica tale da soddisfare in pieno le esigenze funzionali del progetto
- Tale qualità deve essere ottenuta mediante lavorazione alle macchine utensili per asportazione di truciolo
- Spessore di materiale da asportare: sovrmetal



# Sovrametallo

- Fattori che influenzano lo spessore di sovrmetalto
  - Dimensioni del pezzo (in particolare la superficie in esame)
  - Tipo di lega
  - Qualità della superficie richiesta
  - Tipo di formatura

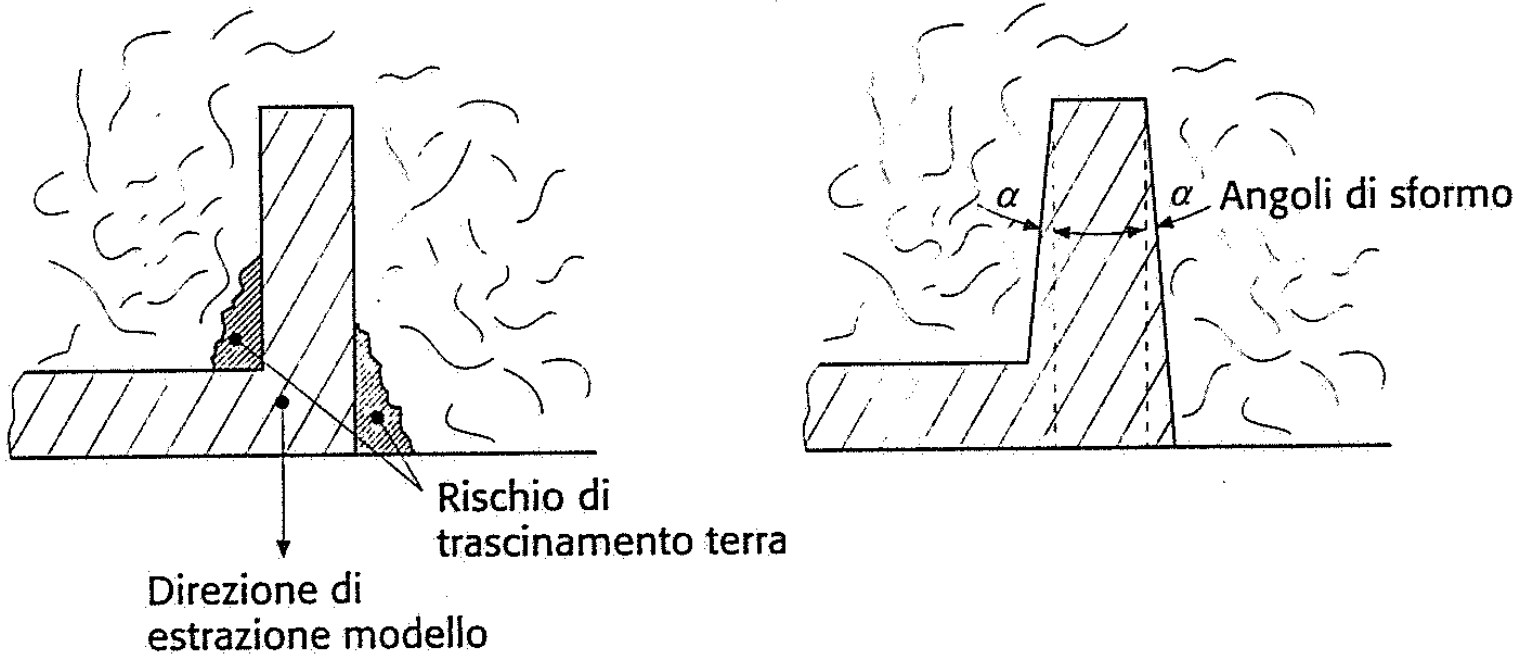
# Sovrametallo



# Angoli di sformo

- Sformatura: estrazione del modello dalla forma
- Eliminare o ridurre al minimo le superfici perpendicolari al piano di divisione
- Inclinare le superfici di un piccolo angolo (angolo di sformo), evitando così che nel movimento di estrazione del modello la superficie trascini via il materiale di formatura

# Angoli di sformo



---

---

**Valori indicativi dell'angolo di sforno**

---

Modelli in legno  $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$

---

Modelli metallici 30'

---

Portate d'anima verticali  $10^{\circ}$ - $12^{\circ}$

---

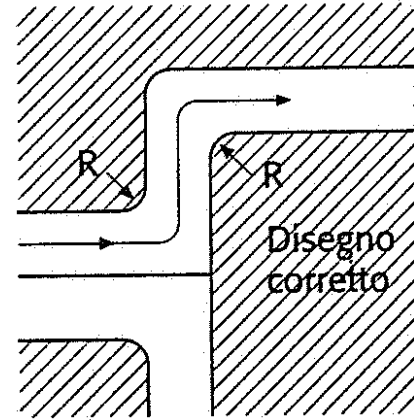
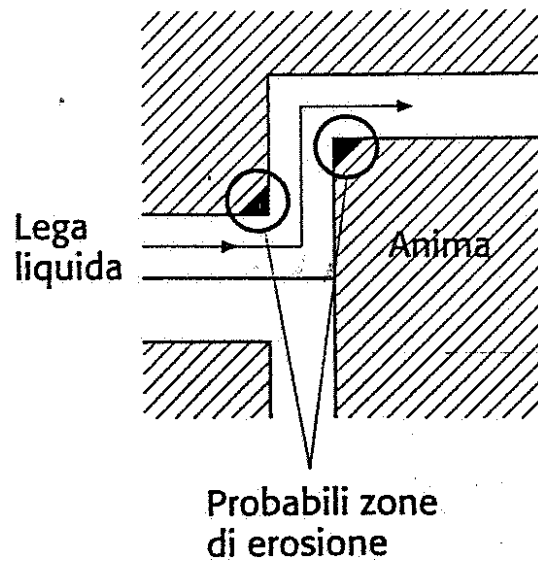
Nervature sottili 1'-2'

---

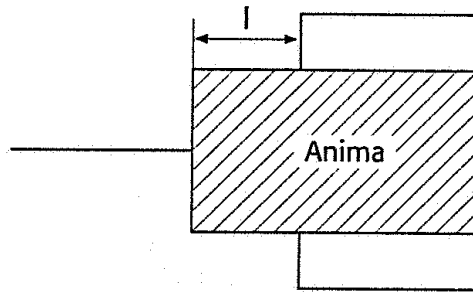
# Raccordi

- Gli spigoli vivi devono essere eliminati mediante raggi di raccordo
  - Non resisterebbero all'azione erosiva della lega (inclusioni non metalliche nel getto)
  - Rovina degli stampi in forma permanente
  - Possibile formazione di cristalli colonnari (punto di frattura)

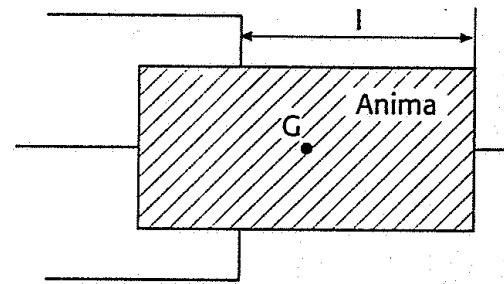
# Raccordi



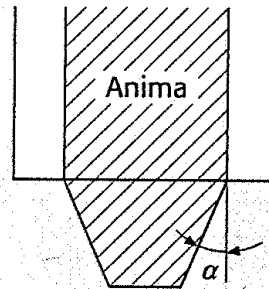
# Portata d'anima



Portata d'anima cilindrica per anima orizzontale su due appoggi



Anima a sbalzo



Portata d'anima per anima verticale

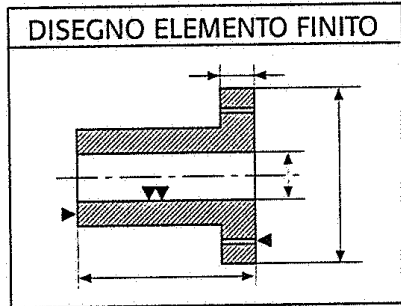


# Fenomeno del ritiro

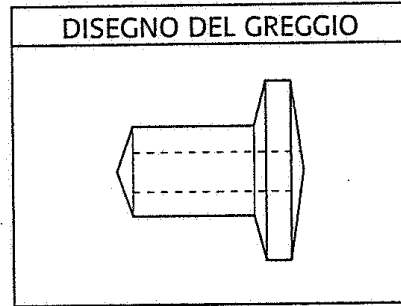
MATERIALI	RITIRO % <sup>(2)</sup>		
	Getti piccoli <sup>(1)</sup>	Getti medi <sup>(1)</sup>	Getti grandi <sup>(1)</sup>
Ghise grige	1	0,85	0,7
Ghise malleabili	1,4	1	0,75
Ghise legate	1,3	1,05	0,35
Acciaio	2	1,5	1,2
Alluminio e leghe	1,6	1,4	1,3
Bronzi	1,4	1,2	1,2
Ottoni	1,8	1,6	1,4
Leghe di magnesio	1,4	1,3	1,1

(1) I «getti piccoli» comprendono getti con una dimensione max < 500 mm; i «getti medi» comprendono getti con una dimensione massima compresa tra 500 e 1000 mm; i «getti grandi» comprendono getti con una dimensione massima < 1000 mm.

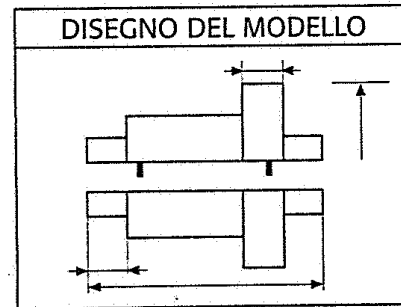
(2) Il ritiro delle cavità è in genere un po' minore (5-10%) rispetto a quello delle superfici esterne a causa della resistenza che oppongono le anime alla libera contrazione del metallo.



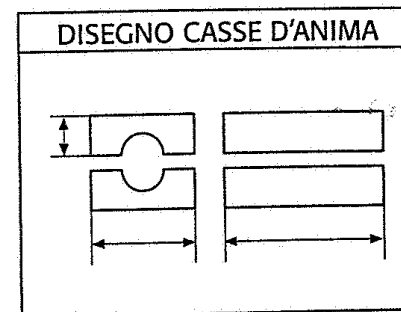
Calcolo soprametalli  
scelta piano di divisione  
angoli di sforno  
raggi di raccordo



Portate d'anima  
ritiro materozze

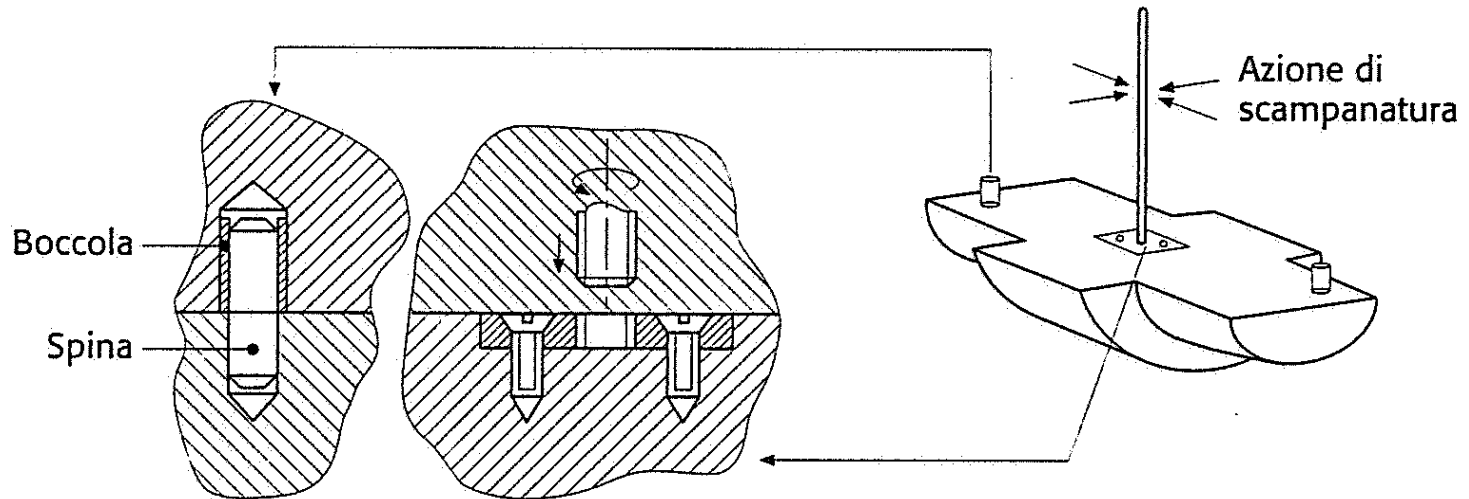


Studio delle anime



# Caratteristiche costruttive

- Spine di riferimento



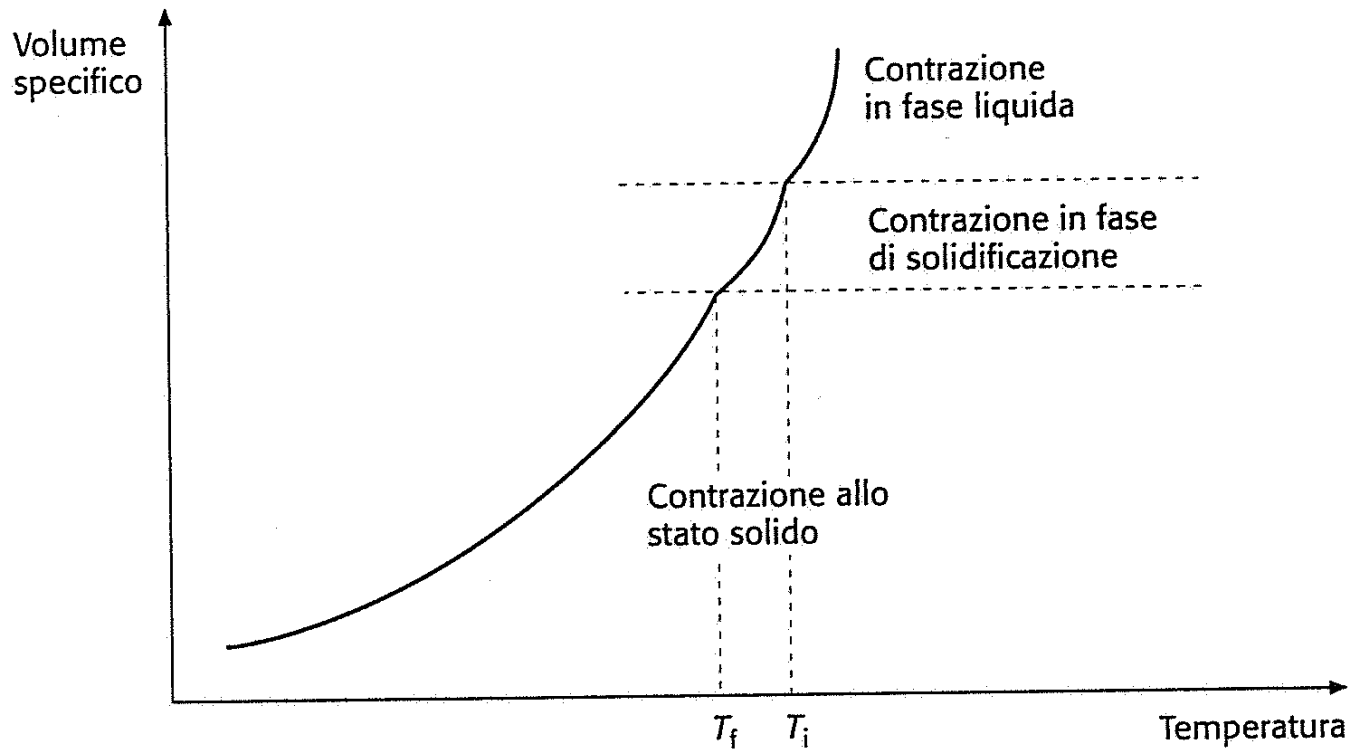
# Caratteristiche costruttive

- Materiali per il modello
  - Legno
  - Leghe metalliche
  - Materie plastiche
  - Cera
  - Polistirolo

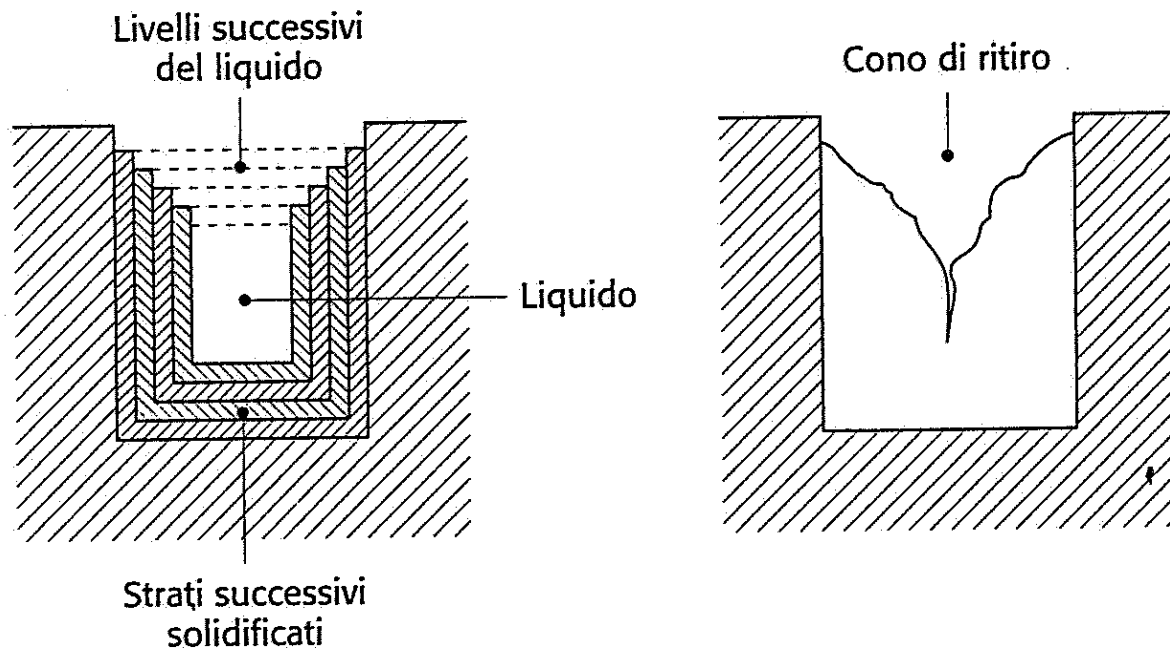
# La solidificazione dei getti

- Solidificazione dei materiali metallici
  - Ritiro in fase liquida
  - Ritiro in fase di solidificazione
  - Ritiro in fase solida

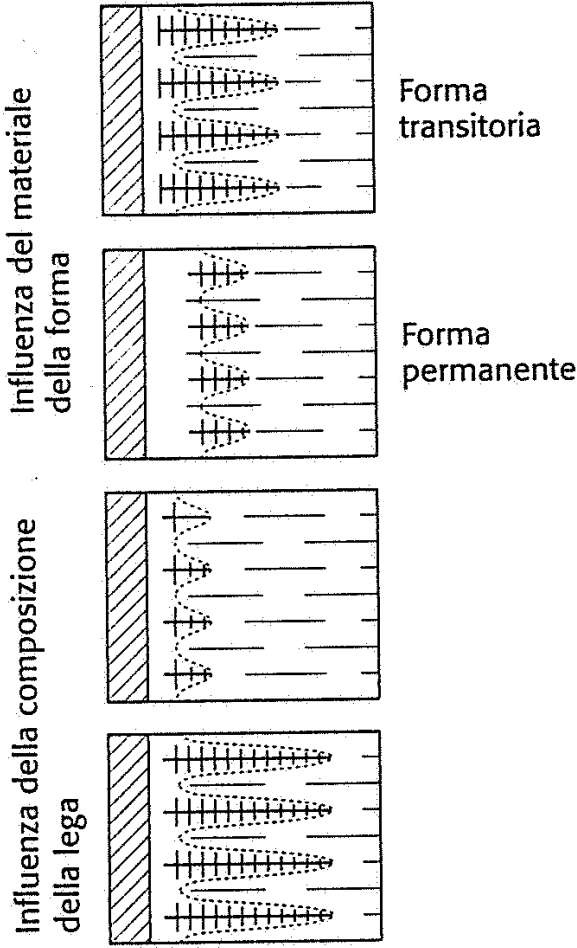
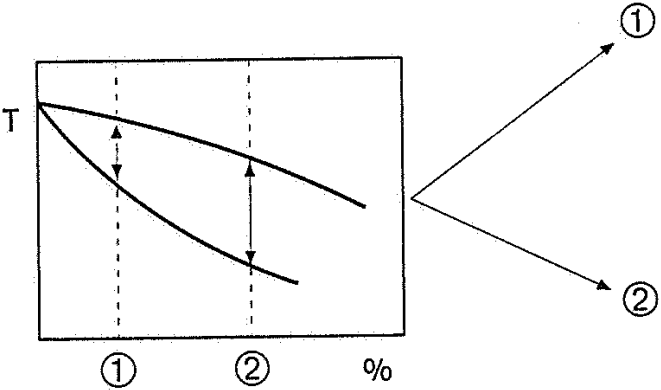
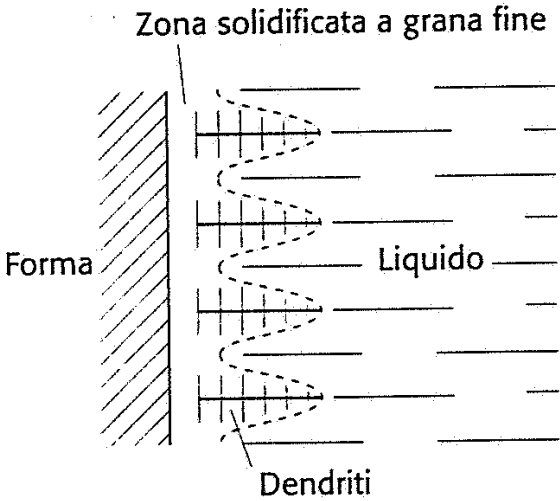
# Fenomeno del ritiro



# Fenomeno del ritiro



# Fenomeno del ritiro





# Velocità di solidificazione

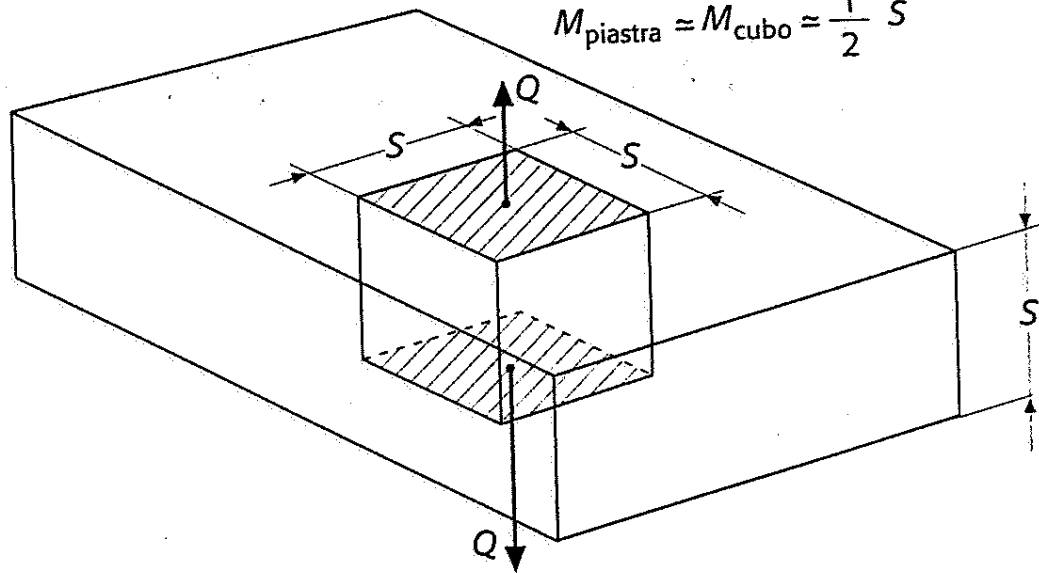
- Studi di Chvorinov: il rapporto tra il volume di un getto e la sua superficie influisce sul tempo di solidificazione
- Modulo di raffreddamento  $M$
- Maggiore è il modulo di raffreddamento, maggiore è il tempo di solidificazione
- Due oggetti con lo stesso modulo, solidificano nello stesso tempo

# Modulo di raffreddamento

- Piastra di grandi dimensioni

$$M_{\text{cubo}} = \frac{S^3}{2S^2} = \frac{1}{2} S$$

$$M_{\text{piastra}} \approx M_{\text{cubo}} \approx \frac{1}{2} S$$



# Modulo di raffreddamento

- Lo spessore dello strato solidificato  $x$  in un tempo  $T$  segue una legge del tipo

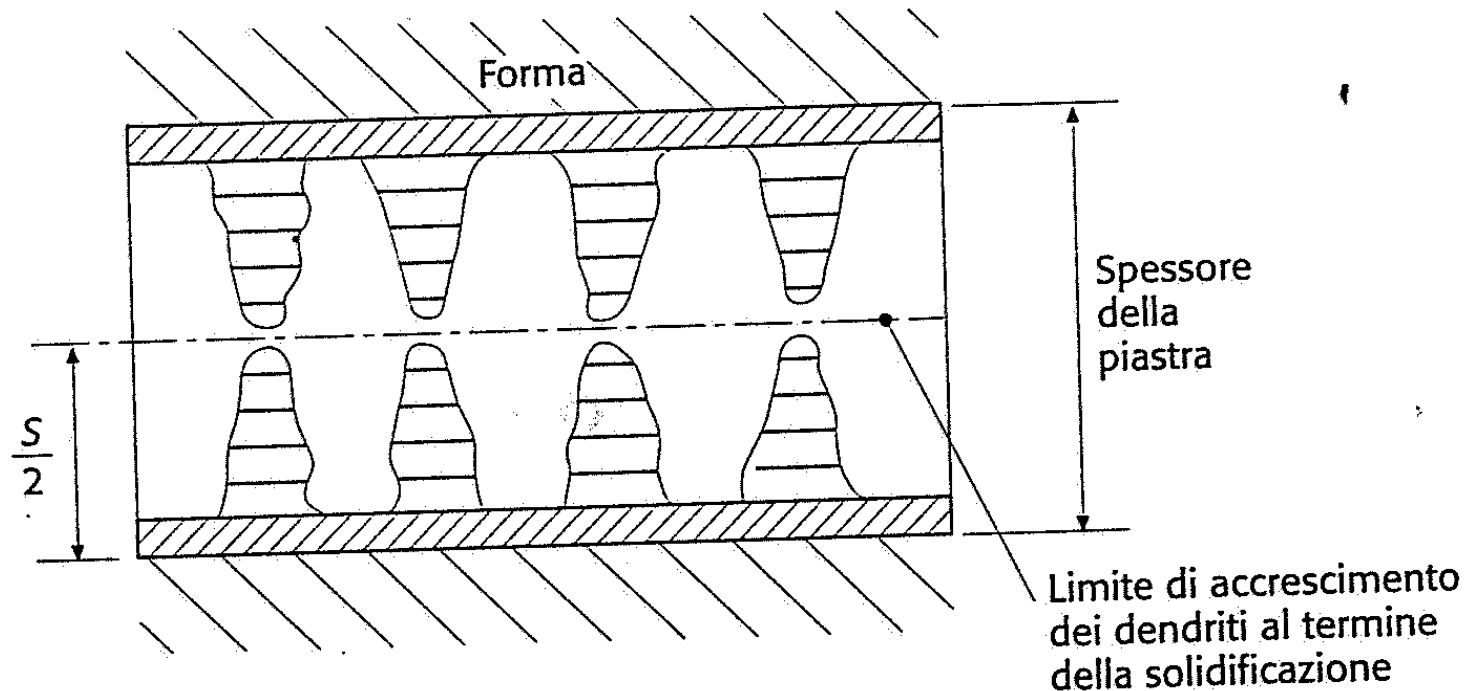
$$x = k\sqrt{T}$$

- Dove  $k$  ( $\text{cm T}^{-1/2}$ ) vale ad esempio 0.0115 per le leghe leggere

# Modulo di solidificazione

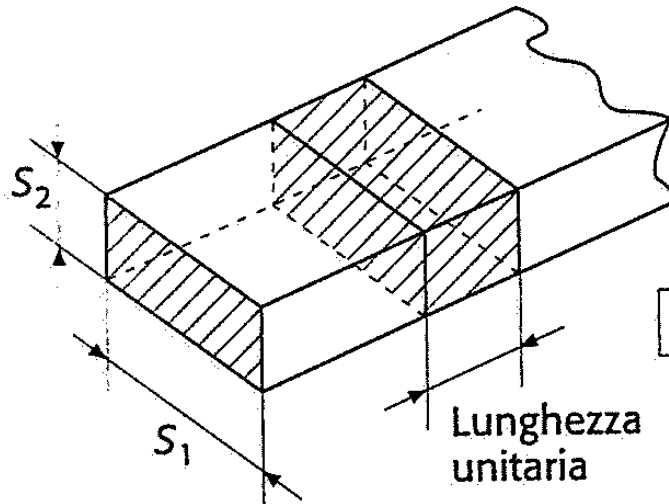
- Tempo di solidificazione di una piastra

$$T = (x/k)^2 = (M/k)^2 = \frac{1}{k^2} M^2$$

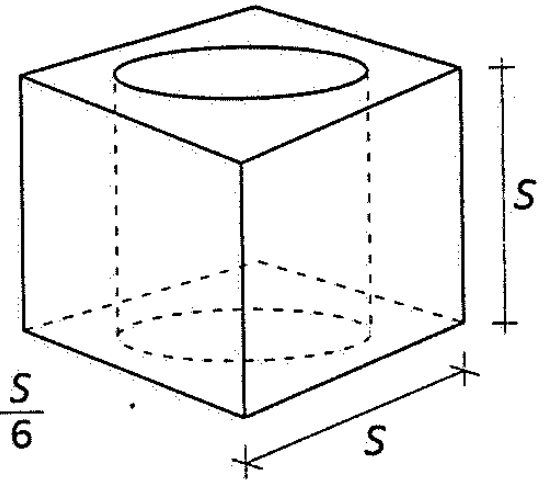


# Modulo di solidificazione

$$V = S_1 \cdot S_2 \cdot l$$
$$S = 2(S_1 + S_2) \cdot l$$
$$M = \frac{S_1 \cdot S_2}{2(S_1 + S_2)} = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro}}$$



BARRE

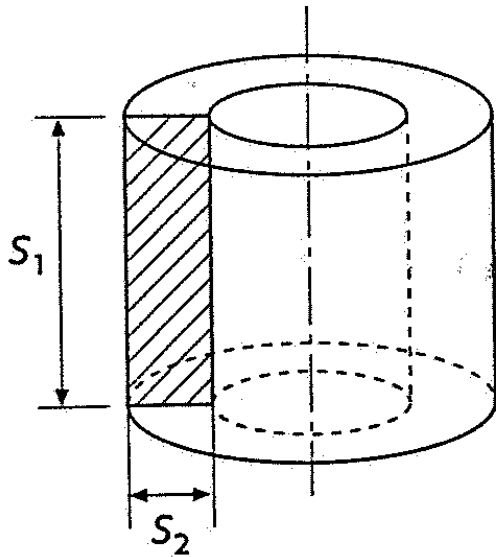


$$M = \frac{S}{6}$$

CUBI, CILINDRI, SFERE

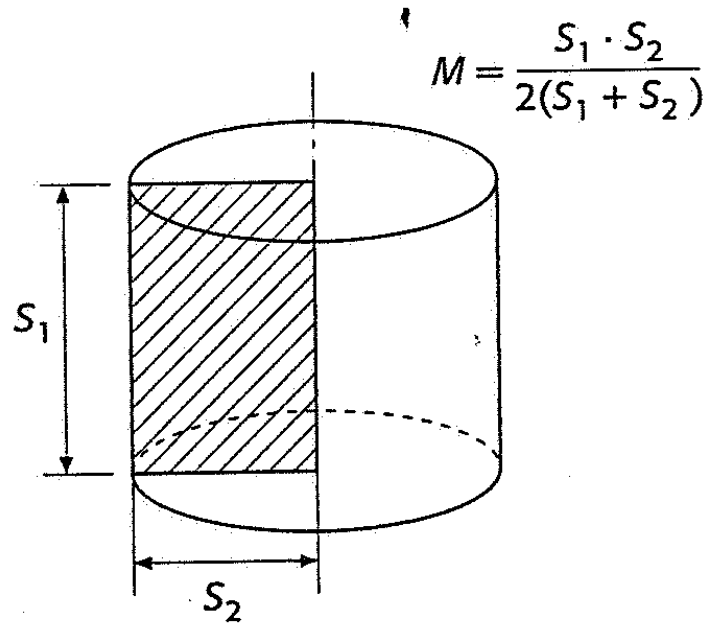
# Modulo di solidificazione

CORPI TOROIDALI



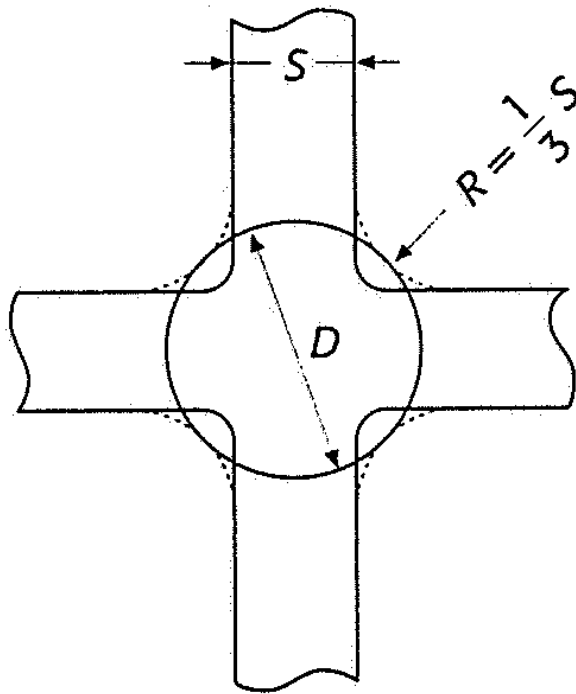
$$M = \frac{S_1 \cdot S_2}{2(S_1 + S_2)}$$

Caso limite  
→



$$M = \frac{S_1 \cdot S_2}{2(S_1 + S_2)}$$

# Modulo di solidificazione



Raccordo tra piastre

$$M = \frac{D}{2}$$

Raccordo tra barre di spessore  $S$

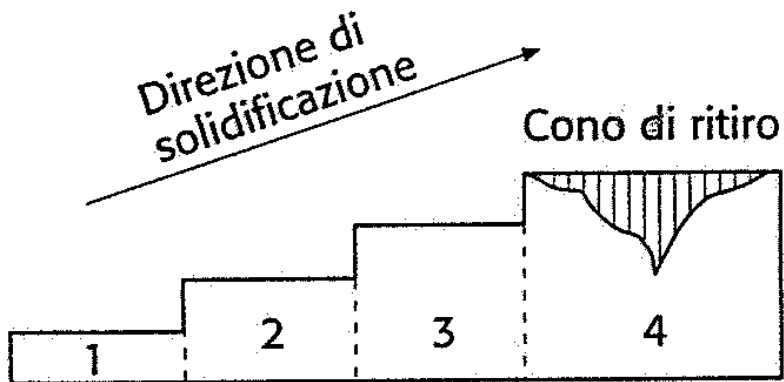
$$M = \frac{D \cdot S}{2(D + S)}$$

# Modulo di raffreddamento

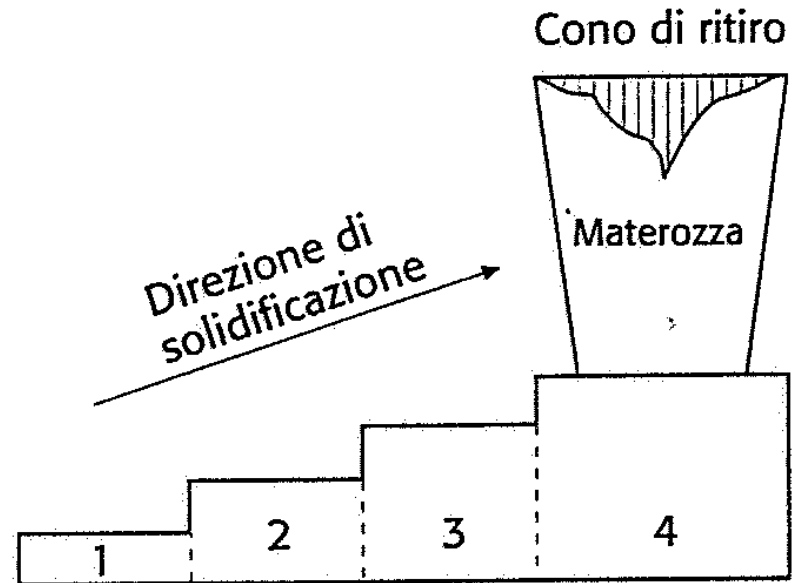
$$M_2 \approx 1,1 M_1$$

$$M_3 \approx 1,1 M_2$$

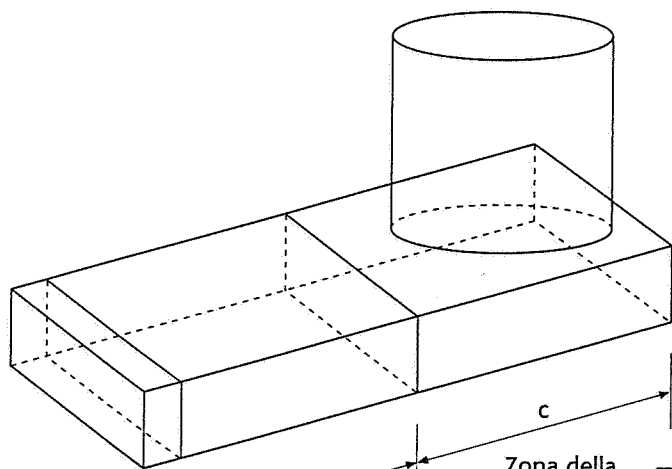
$$M_4 \approx 1,1 M_3$$



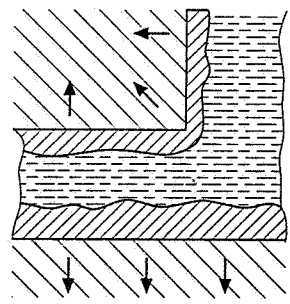
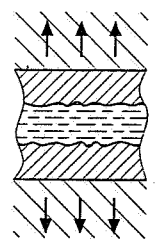
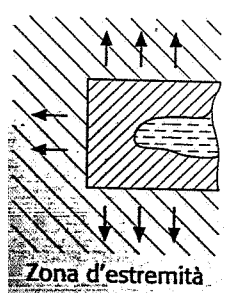
$$M_m \approx 1,2 M_4$$



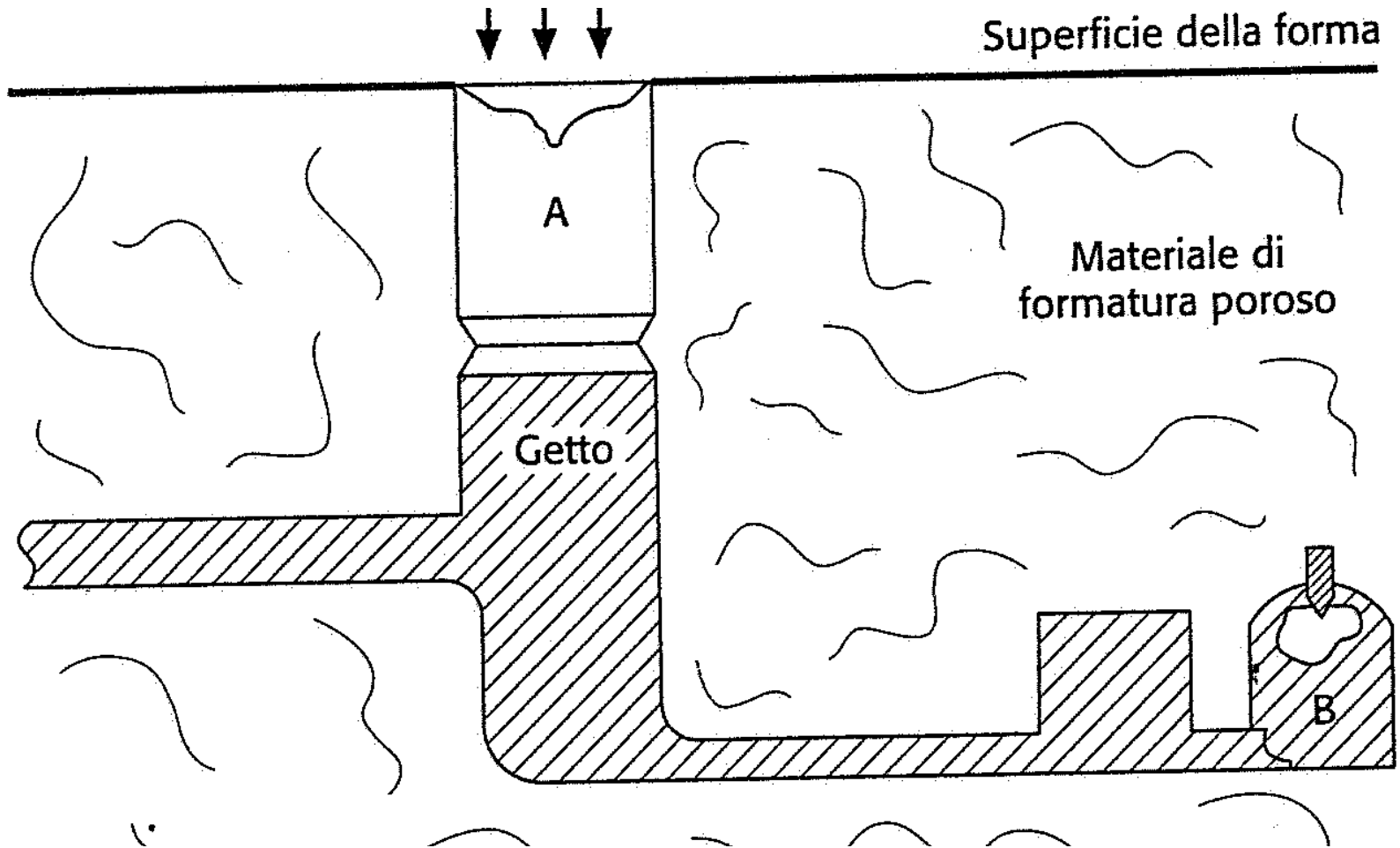




b  
a c  
Zona centrale  
Zona della materozza

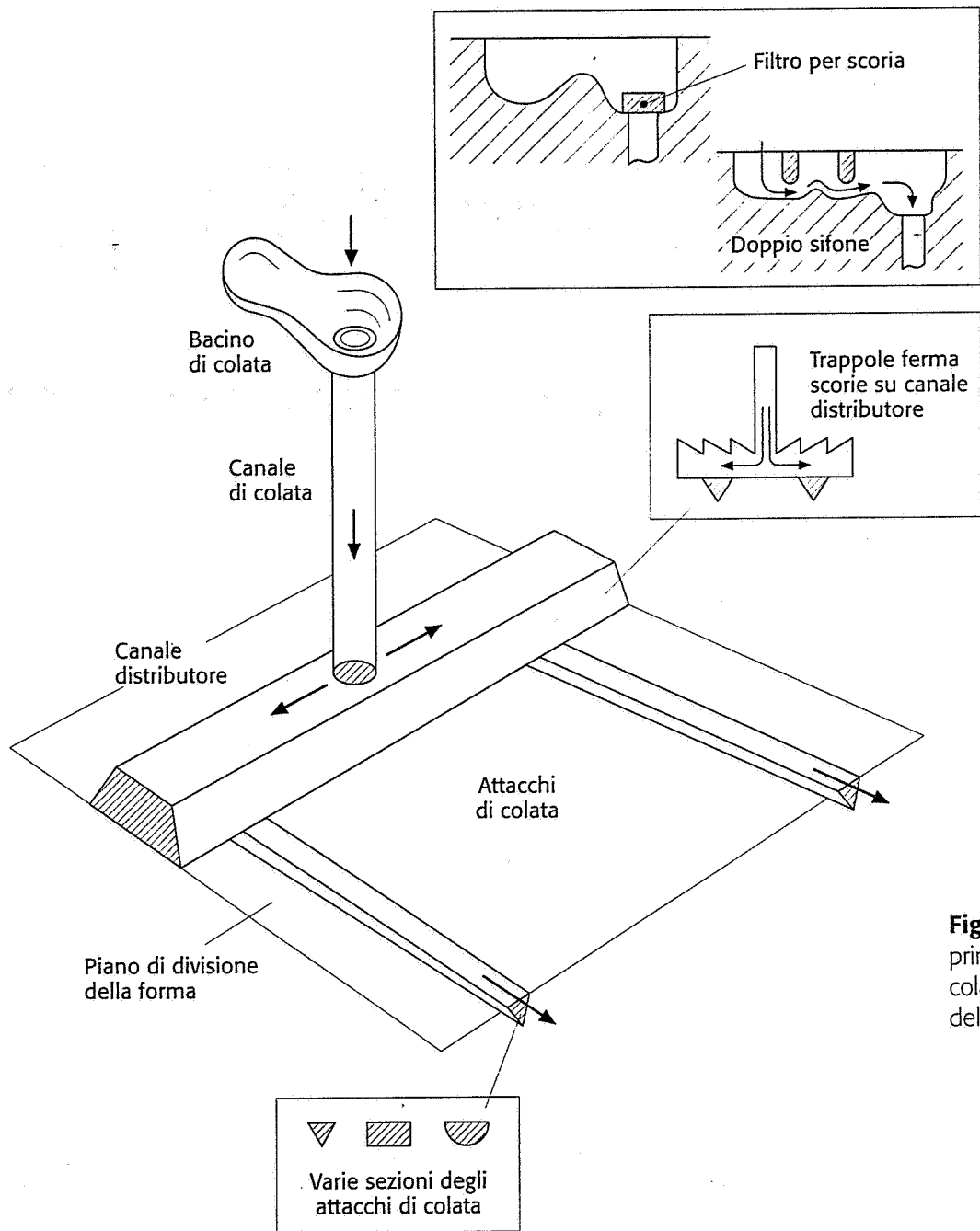


- Materozza: serbatoio di materiale liquido, in grado di alimentare le cavità di ritiro
- Ultima parte a solidificare
- Materozze
  - A cielo aperto
  - cieche

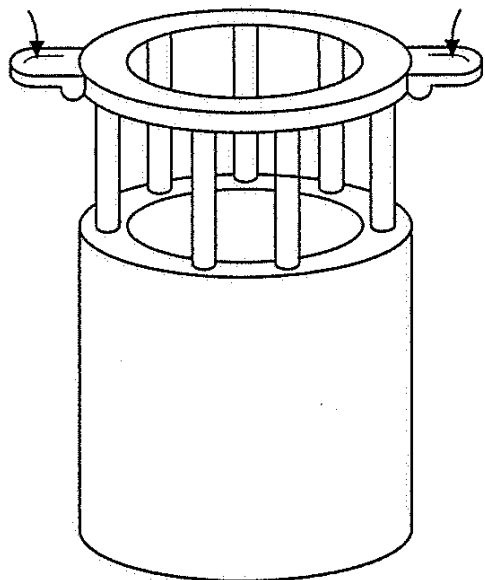


# Sistema di colata

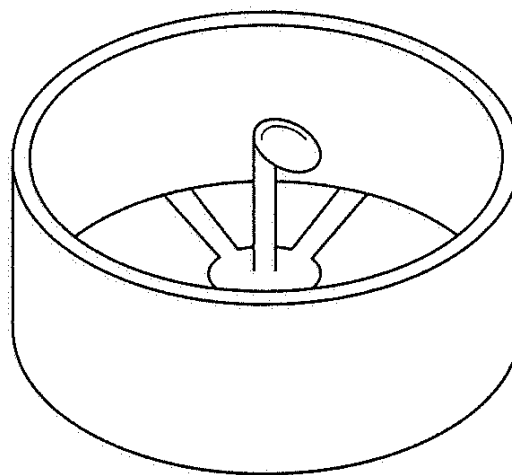
- La forma deve essere riempita rapidamente, prima cioè che sia completata la solidificazione
- Occorre evitare forti velocità o turbolenze che potrebbero rovinare la forma e trascinare aria



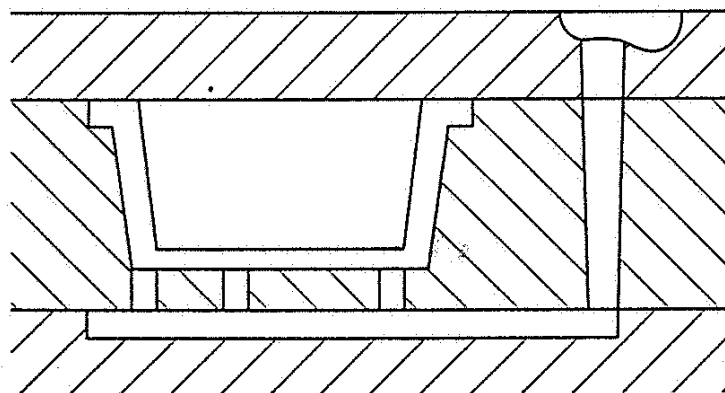
**Fig. 4-36** Elementi principali di un sistema di colata sul piano di divisione delle semiforme.



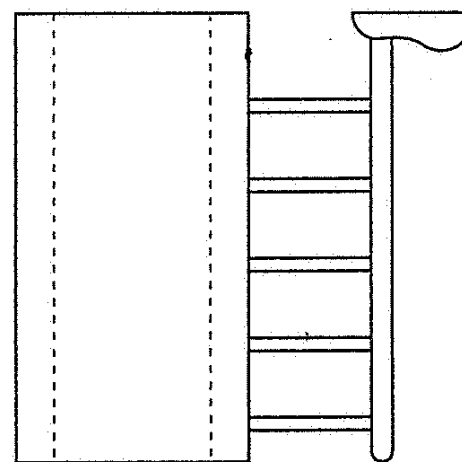
Colata dall'alto a pioggia



Dal basso a stella



Dal basso a sorgente

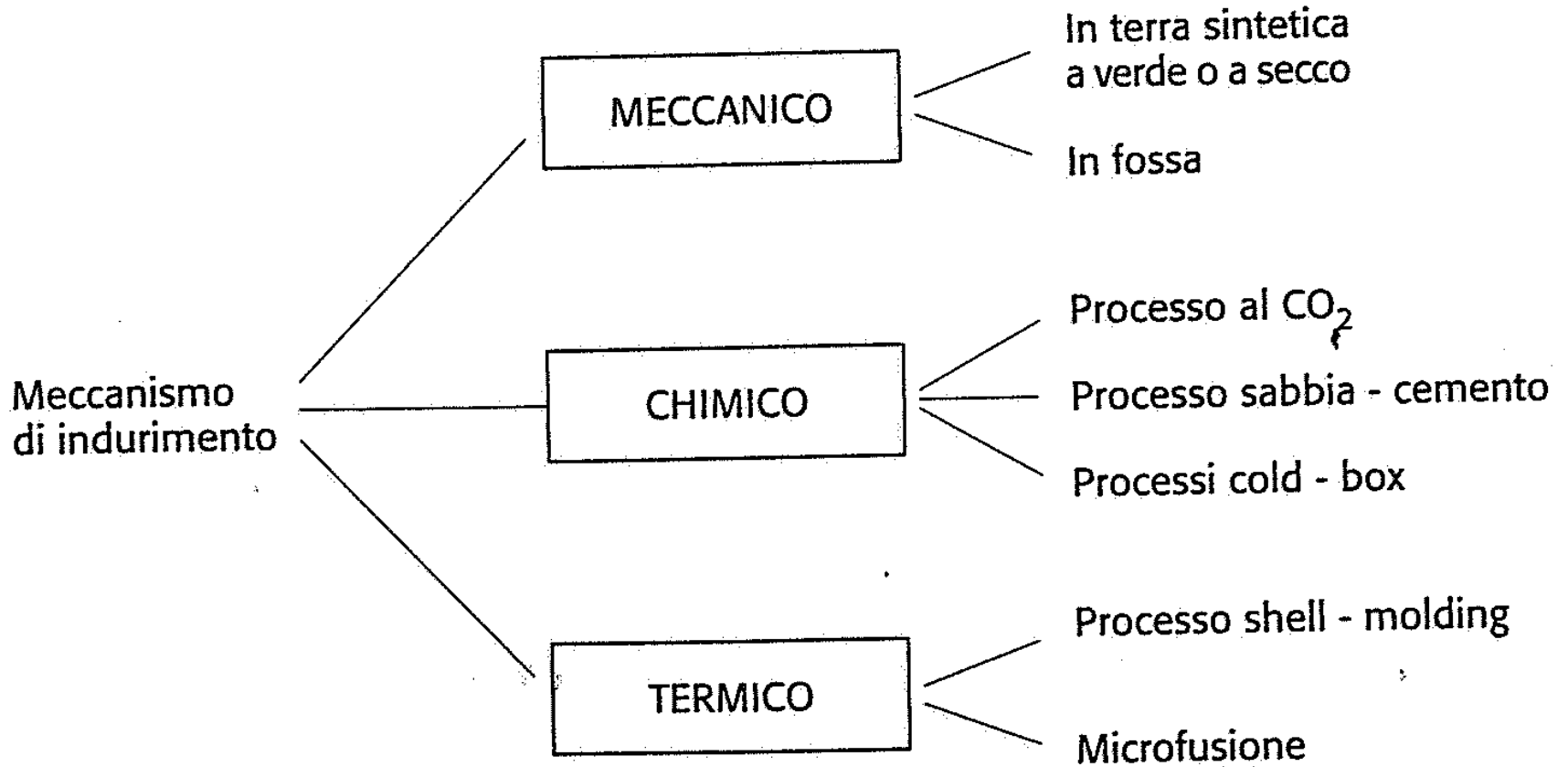


Colata a pettine

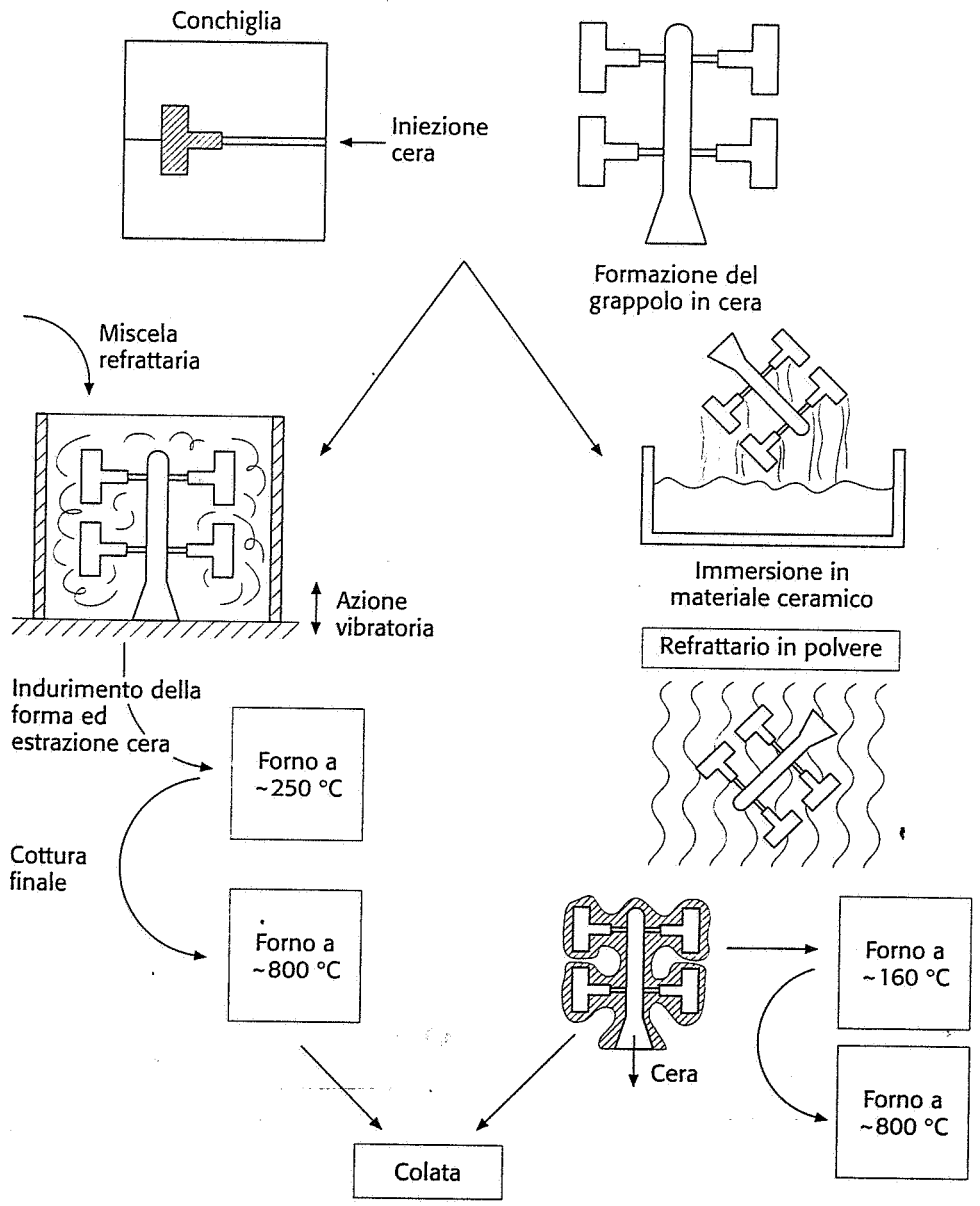
# Materiali per fusione in forma transitoria

- Materiale di formatura
  - Silice granulare (elemento refrattario)
  - Legante (argilloso o di altro tipo), che garantisce coesione alla forma
  - Additivi
- Proprietà
  - Refrattarietà – coesione – permeabilità (ai gas) – scorrevolezza – sgretolabilità
- Indurimento della forma
  - Meccanico – chimico – termico

# Materiali per fusione in forma transitoria



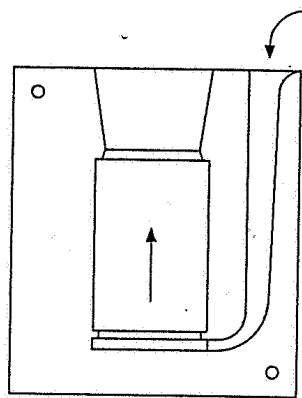




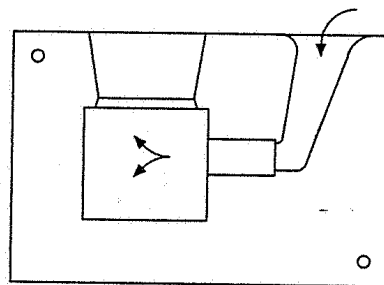
# Colata in conchiglia

- Canali di sfogo per l'aria
- Colata per gravità
- Colata sotto pressione

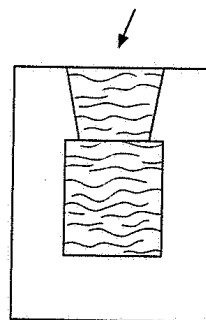
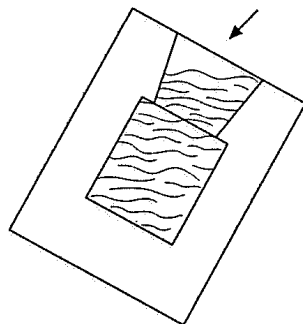
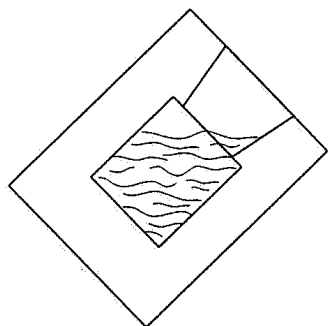
# Colata in conchiglia



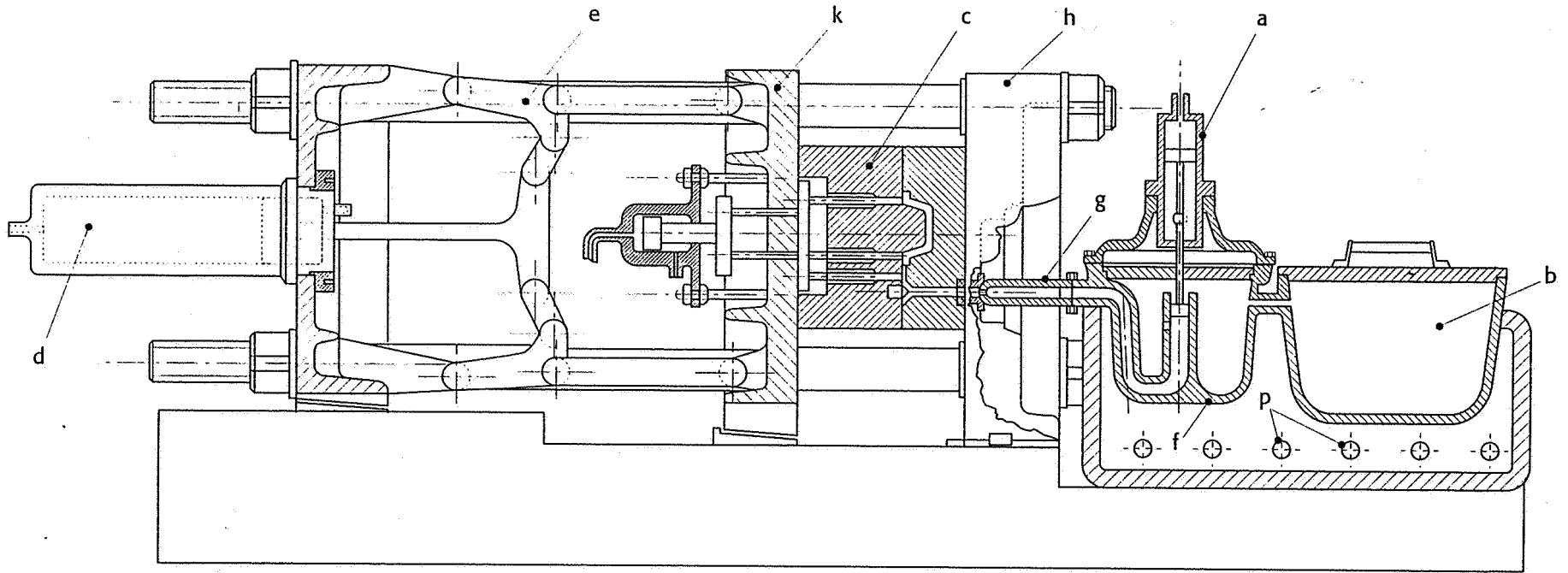
a)



b)

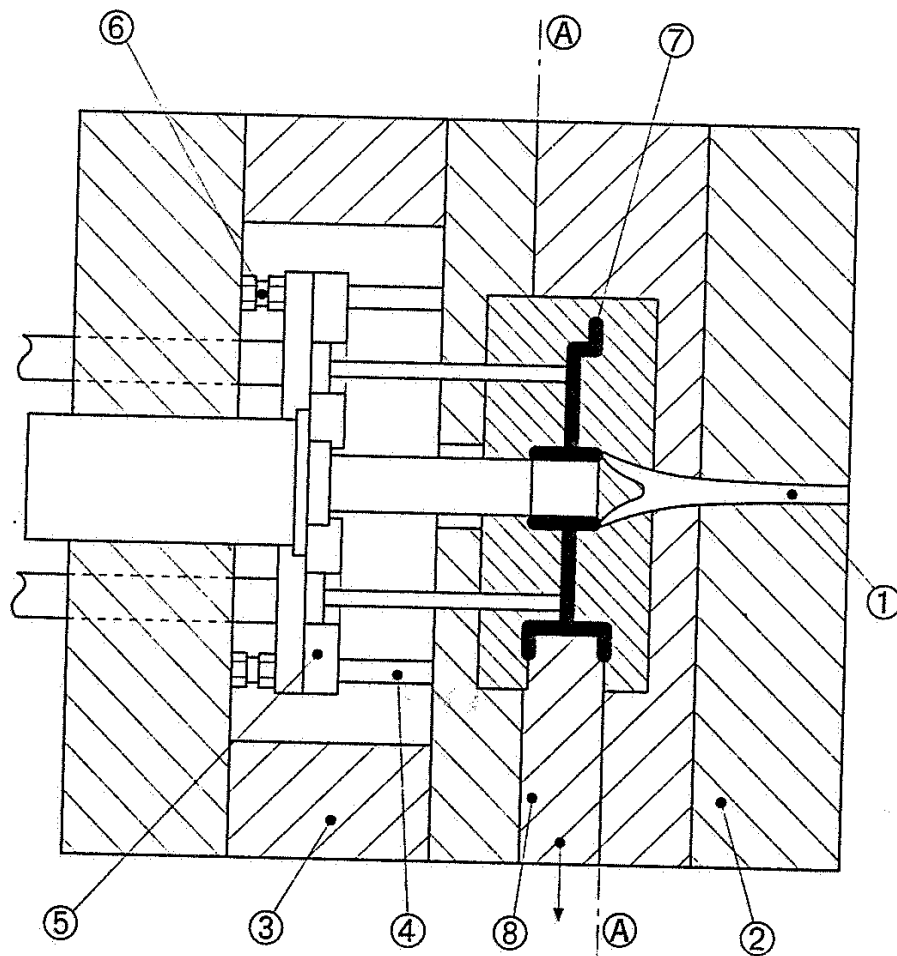


c)



**Fig. 4-45** Esempio di macchina a camera calda.

- a: cilindro di iniezione
- b: crogiolo di attesa
- c: conchiglia
- d: cilindro per apertura e chiusura della conchiglia
- e: leve a ginocchiera
- f: crogiolo principale
- g: ugello per iniezione lega liquida
- h: piastra porta conchiglia fissa
- k: piastra porta conchiglia mobile
- p: bruciatori di riscaldamento.



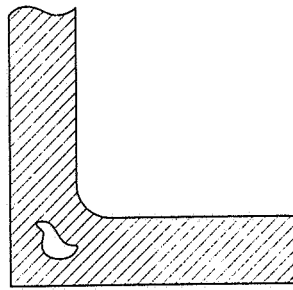
**Fig. 4-47** Schema di una conchiglia per colata sotto pressione.

A-A superficie di separazione delle semiconchiglie

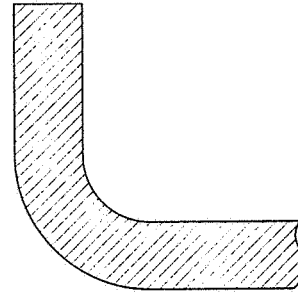
- 1) canale di iniezione della lega liquida
- 2) semiconchiglia fissa
- 3) semiconchiglia mobile
- 4) estrattore
- 5) piastra porta estrattori
- 6) fine corsa regolabile
- 7) getto
- 8) tassello mobile per sottosquadro.

- Difetti

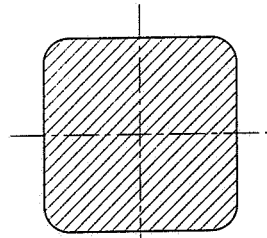
- Escrescenze metalliche
- Cavità
- Soluzioni di continuità
- Superfici difettose
- Pezzi incompleti
- Deformazioni o forme scorrett
- Inclusioni o anomalie strutturali



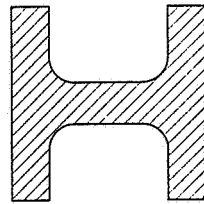
a)



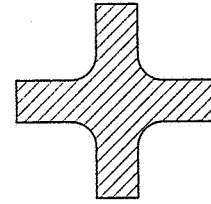
b)



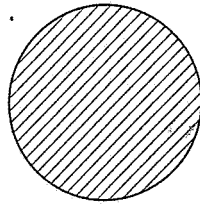
a)



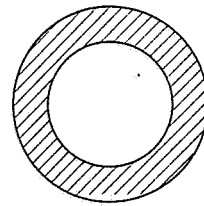
b)



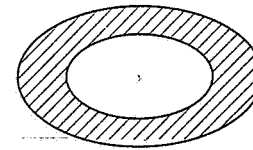
c)



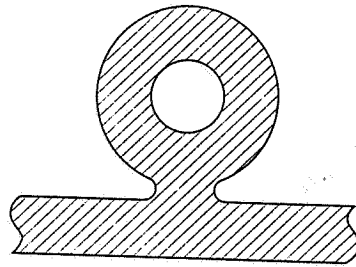
d)



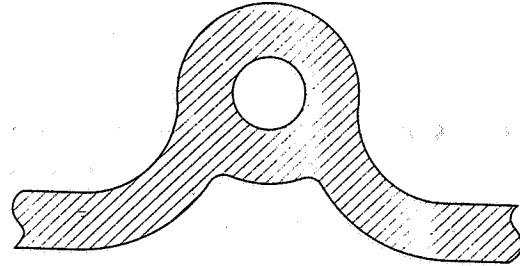
e)



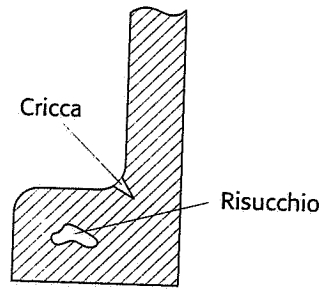
f)



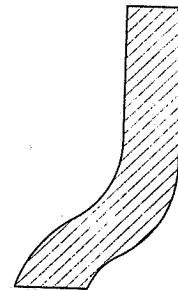
a)



b)

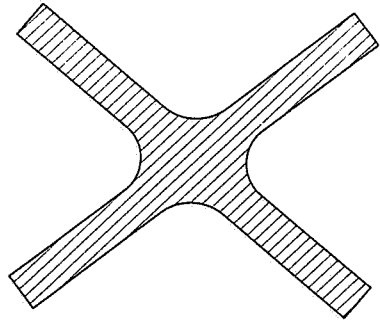


a)

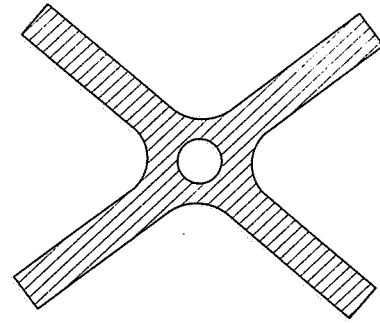


b)

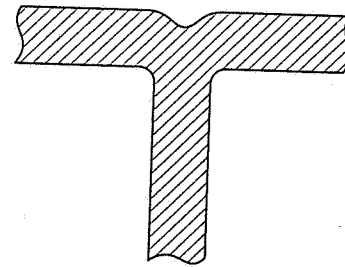
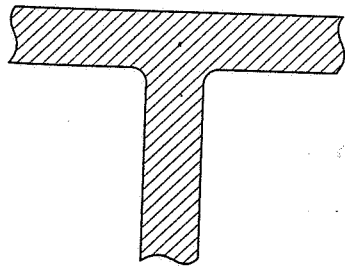


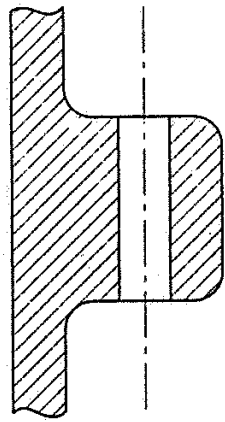


a)

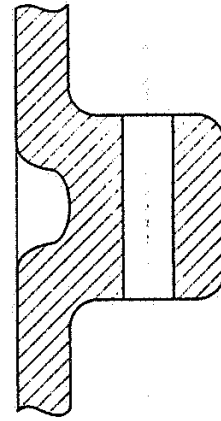


b)





a)



b)

