



## Fonderia

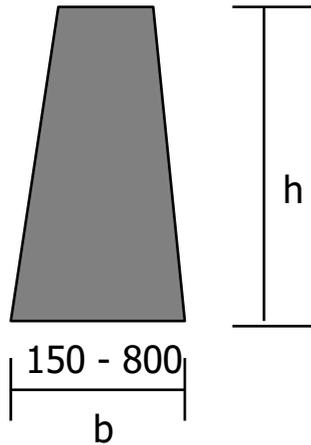
Ottenimento di un componente nella sua forma 'finale'  
attraverso la colata di metallo liquido in un 'adeguato' contenitore

- lingotti
- colata continua
- in forma - transitoria  
- permanente

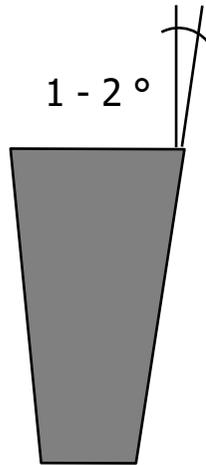


## Lingotti

Blocchi di metallo destinati sempre a successive lavorazioni

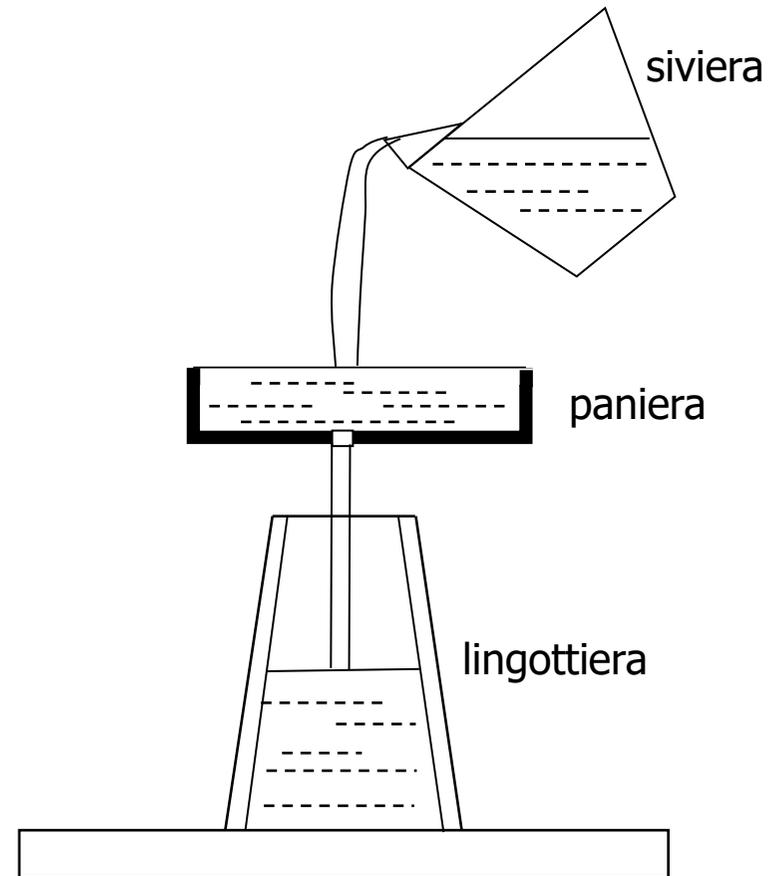


conicità diretta



conicità inversa

- sistema di colata
- diretto
  - in sorgente
  - con bacino intermedio





## La "vita" di un lingotto

Colata

Raffreddamento/solidificazione

Estrazione dalla lingottiera

Riscaldamento

Sgrossatura

Semifinitura

Finitura

Vendita



## Colata



## Estrazione



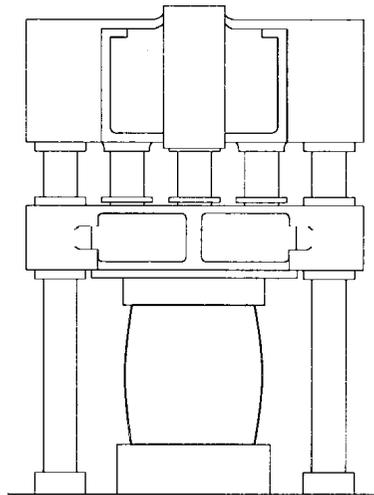


Riscaldamento



Forno a spinta

Sgrossatura

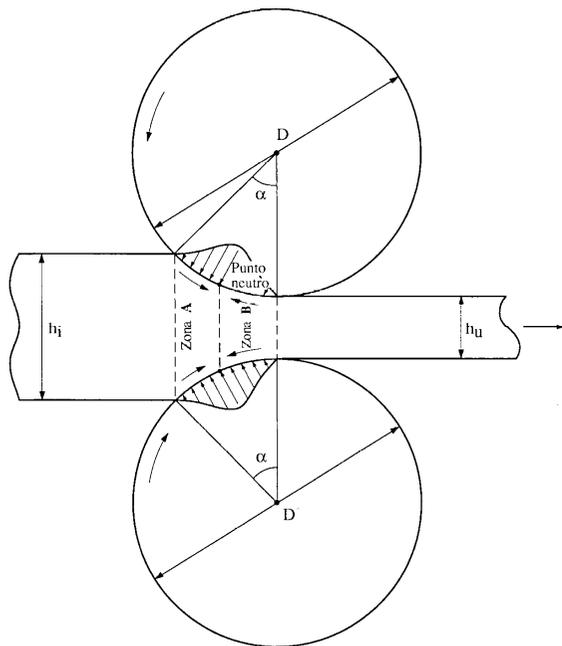


Pressa  
idraulica



## Semifinitura

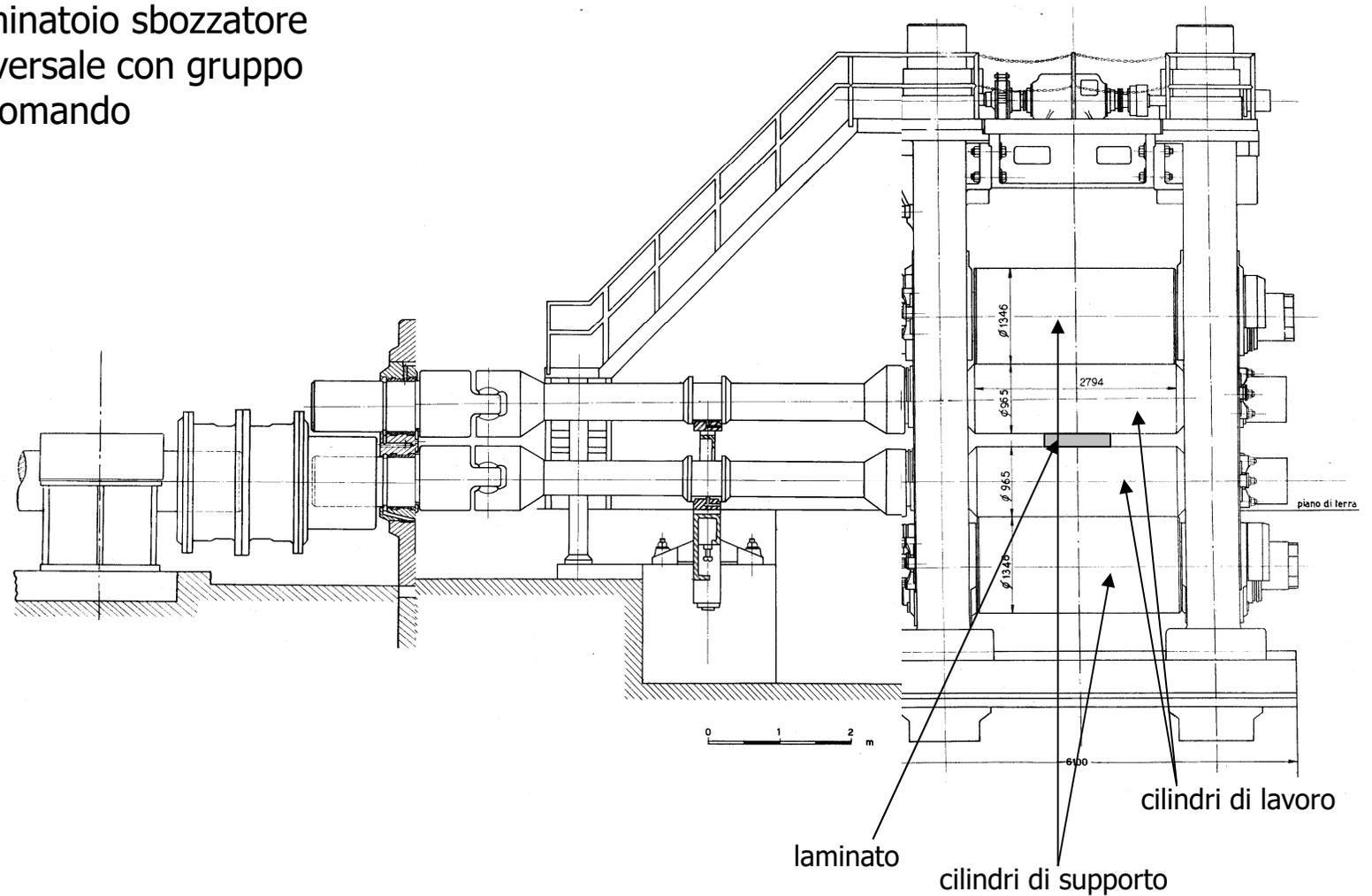
Laminatoio  
a caldo



Laminazione



Laminatoio sbozzatore  
universale con gruppo  
di comando





## Finitura

Laminazione a freddo

tolleranze (ritiro, deformazioni)  
finiture (picchi e valli)  
qualità del prodotto (ossidazione)

Asportazione di truciolo

tolleranze  
finiture  
versatilità

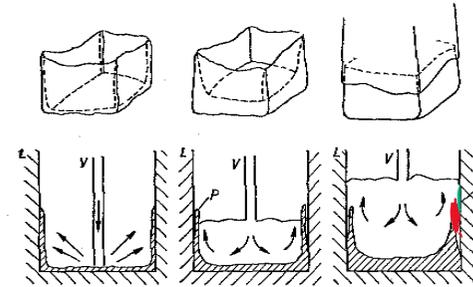
Saldatura

tubi  
aghi

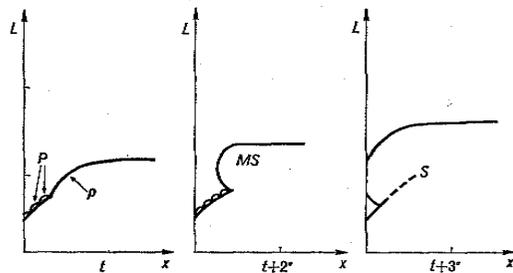


## Tipici difetti in un lingotto

- gocce fredde
- doppia pelle
- tacconi
- riprese di colata
- lesioni superficiali

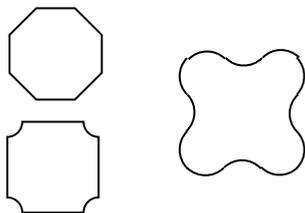
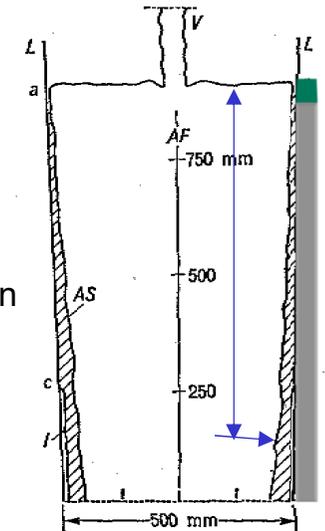


Spruzzi e formazione della doppia pelle



Formazione della ripresa di colata

Distacco del lingotto dalla lingottiera con pericolo di rottura e traboccamento del metallo (formazione di tacconi)



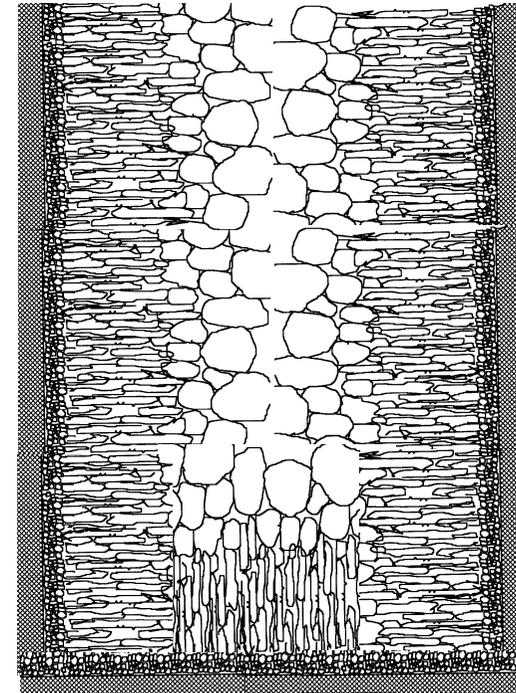
La tendenza a formare cricche è valutabile dal rapporto:  
 velocità di aumento pressione / velocità di asportazione del calore =  
 portata/sezione / perimetro/sezione =  $Q/S / P/S = Q/P$   
 Quindi, per ridurre il pericolo dei cretti si impiega una sezione ondulata (quadrangolare, ottagonale, ecc.).

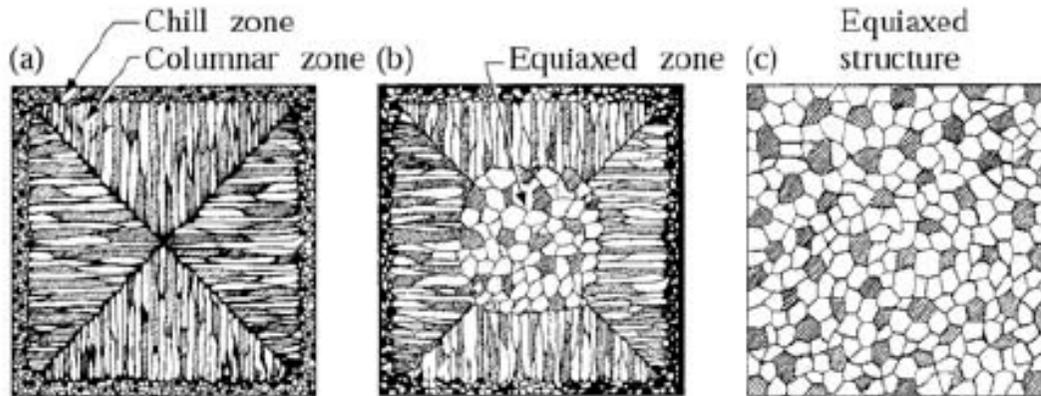


## Tipica struttura finale di un lingotto

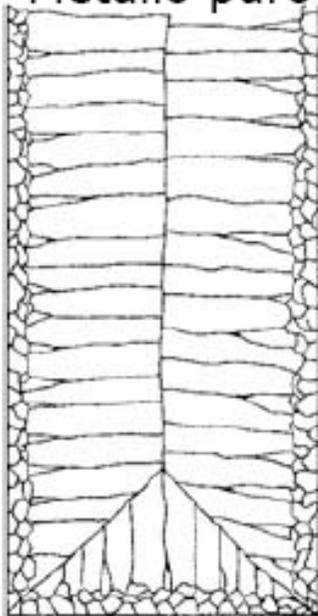
È auspicabile avere:

- elevata velocità di raffreddamento
- spessori ridotti
- aggiunta di elementi nucleanti (nucleazione eterogenea)
- rugosità della forma “ “

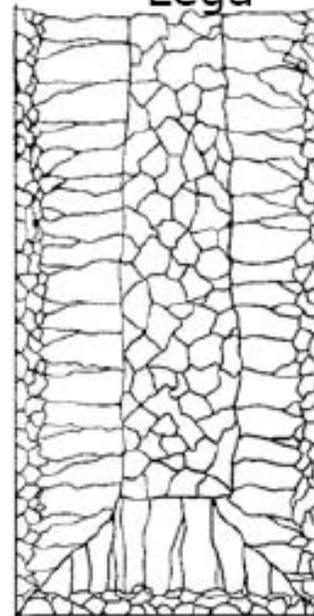




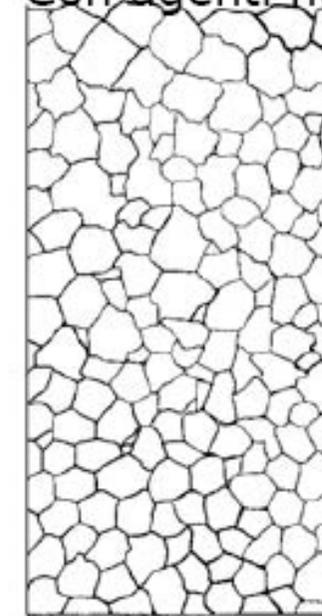
Metallo puro



Lega



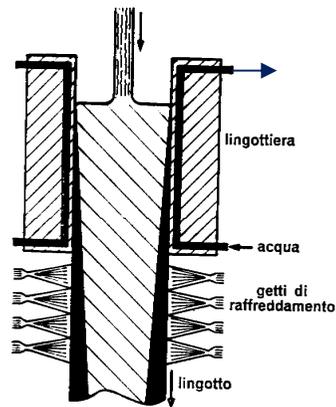
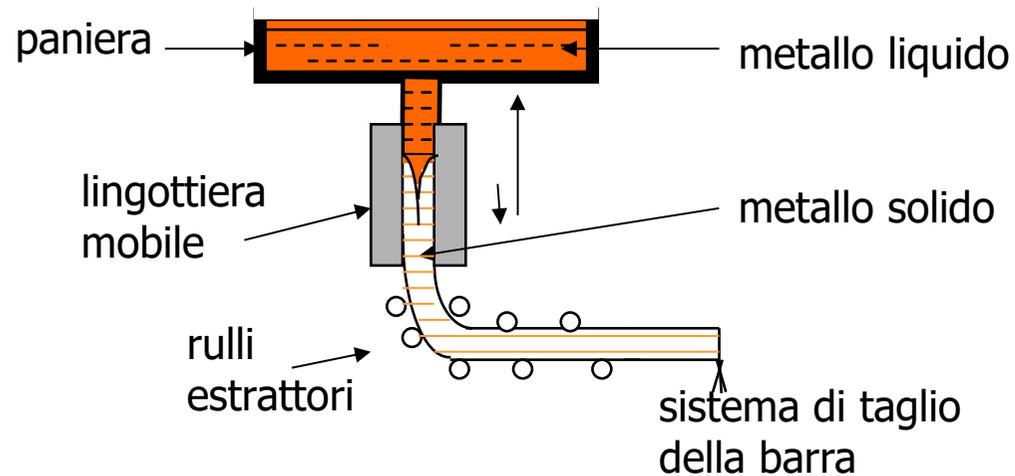
Con agenti nucleanti



Con diverse composizioni chimiche è comunque possibile influenzare la struttura microcristallina e quindi il comportamento macroscopico

## Colata continua

Glifo oscillante



Lingottiera:  
sistema di raffreddamento  
andamento della solidificazione

Ottenimento di semilavorati  
destinati (sempre) a successive lavorazioni  
per deformazione plastica

in alcuni casi anche prodotti finiti

Ottimizzazione della produzione:

+ produttività  
qualità dei prodotti

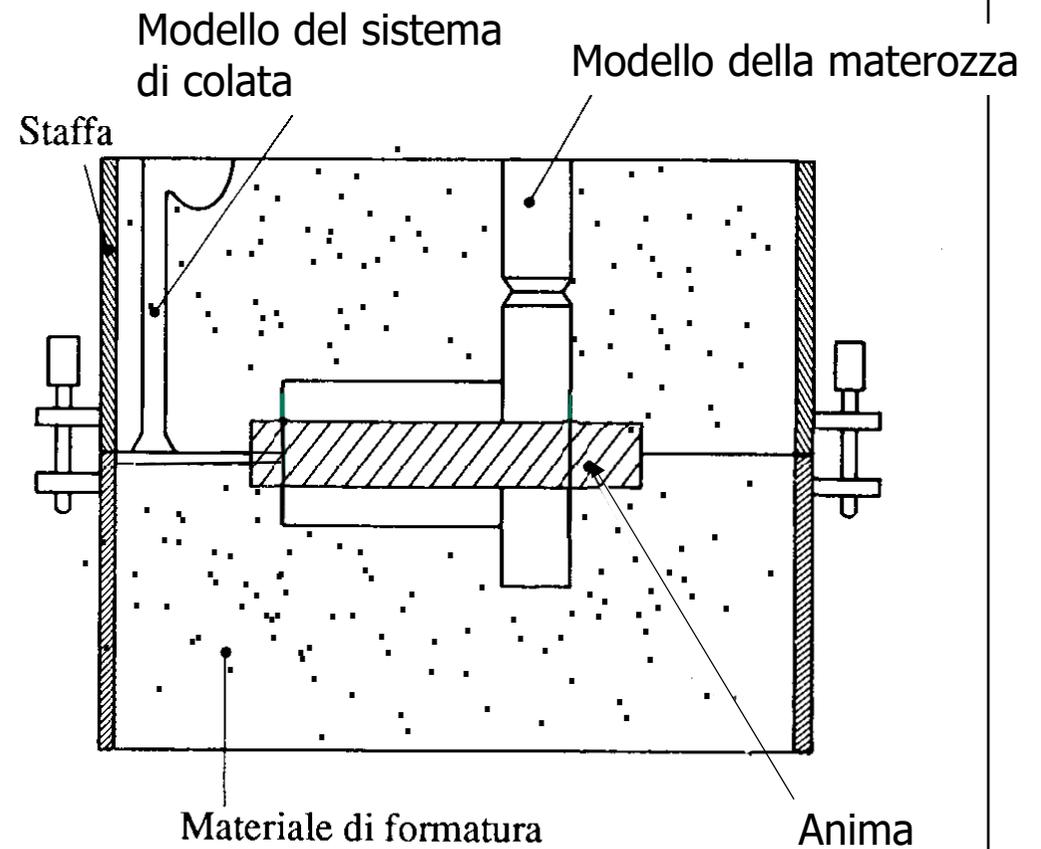
- costi di impianti  
- know-how importante



Colata  
continua









## Colata in terra (cont.)

1: progettazione e costruzione del modello

il modello OGGETTO FISICO è uguale (quasi) al pezzo  
a meno di specifiche necessità  
fisiche  
chimiche  
tecnologiche

2: progettazione e costruzione della forma

la forma è la cavità all'interno della forma  
è uguale (quasi) al negativo del pezzo  
viene costruita usando il modello

3: effettuazione della colata

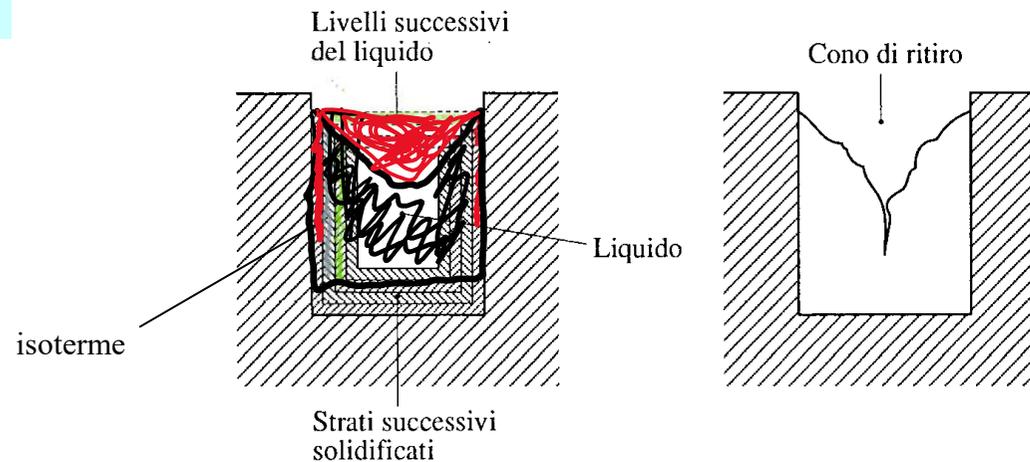
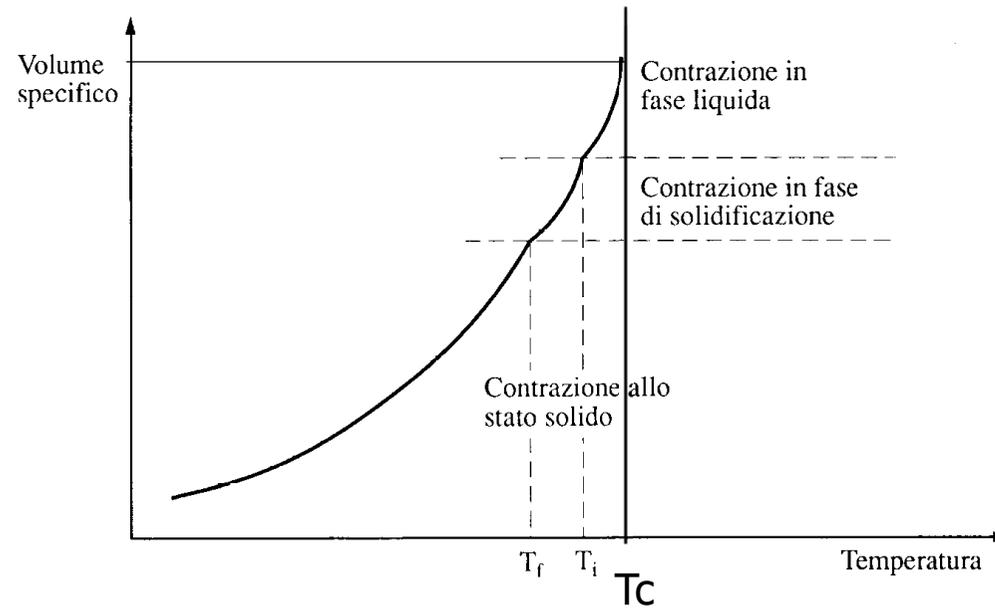
fusione del metallo  
sistema di colata

## PROGETTAZIONE DEL MODELLO

### Il ritiro

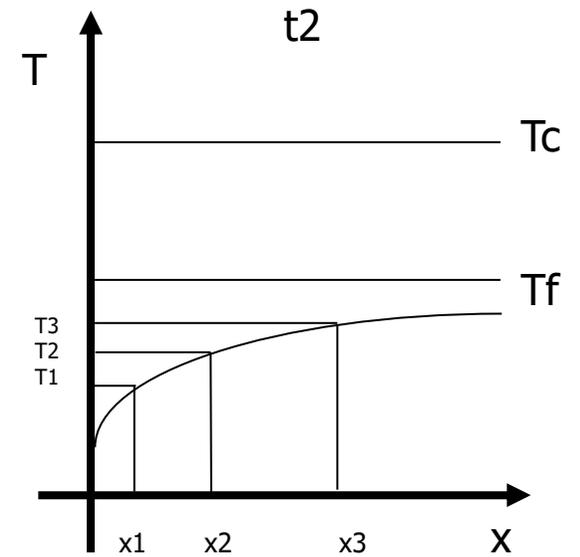
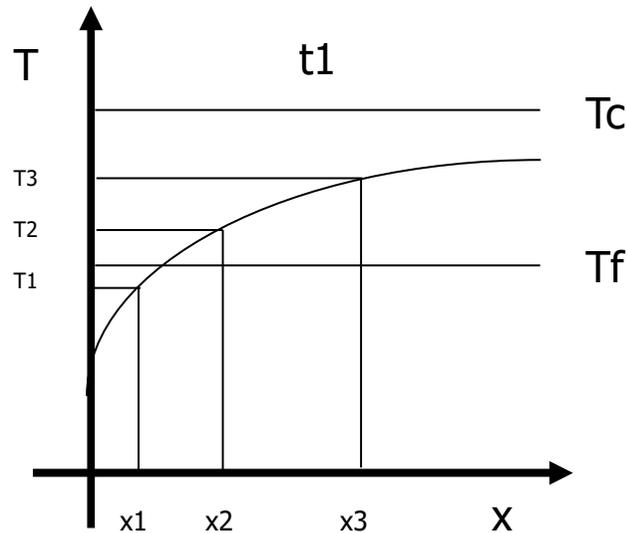
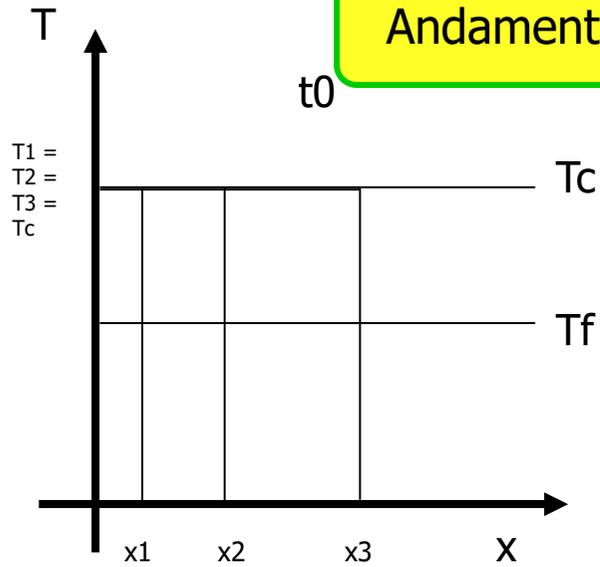
Se ne tiene conto con:

- alimentatori (materozze) fase liquida e passaggio liquido-solido
- aumento dimensioni del modello fase solida





Andamento della temperatura nel tempo e nello spazio

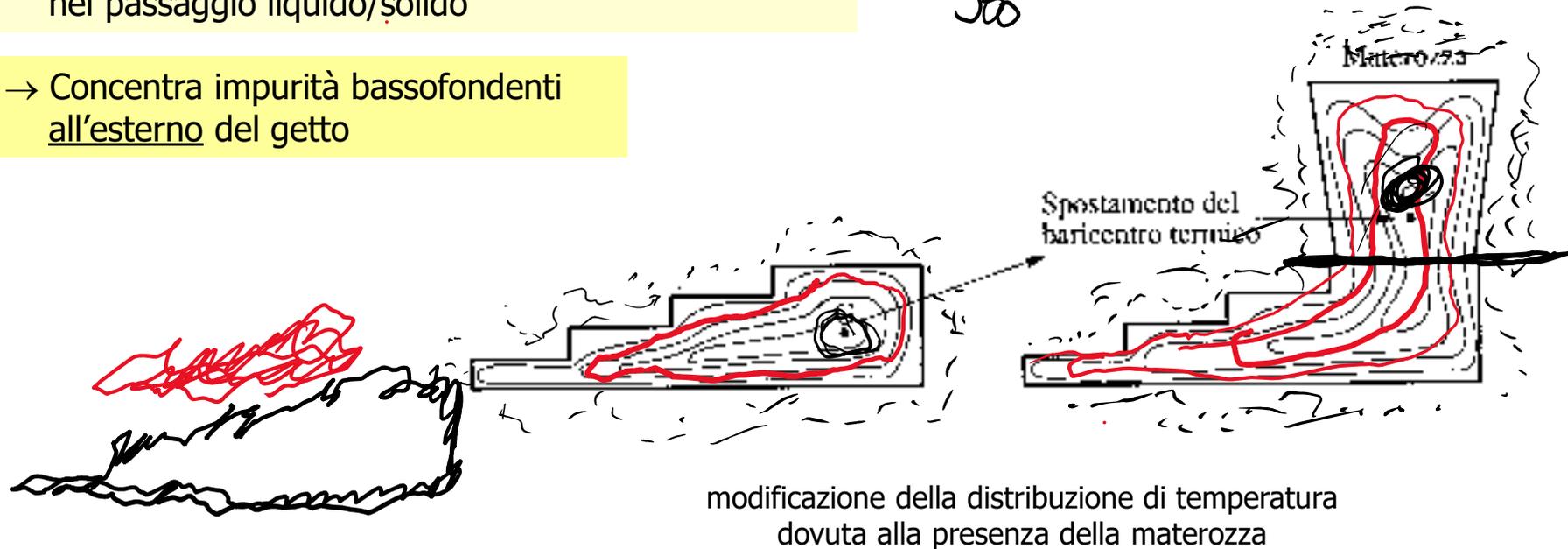
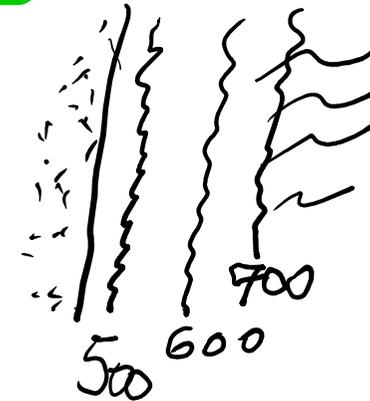


## Materozza

→ Evita la formazione del cono di ritiro  
all'interno del getto

→ Compensa la contrazione di volume esclusivamente  
nel raffreddamento in fase liquida e  
nel passaggio liquido/solido

→ Concentra impurità bassofondenti  
all'esterno del getto





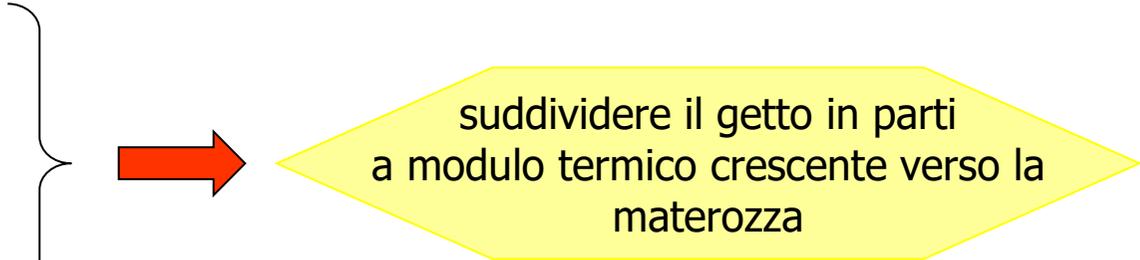
### Solidificazione direzionale

- Formula empirica di Chorinov per determinare il tempo di solidificazione:

$$t_s = k (V / S)^n \quad n = 1.5 - 2$$

$$k = 0.8 - 1.1$$

- Modulo termico:  $V / S = M$

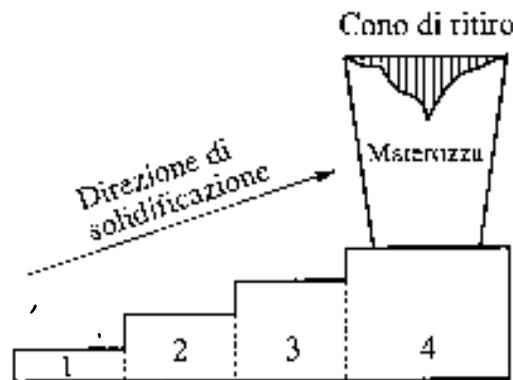
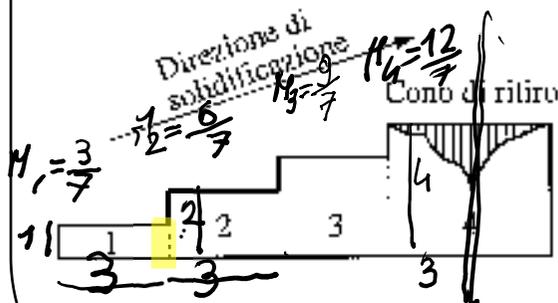


$$M_2 = 1,1 M_1$$

$$M_3 = 1,1 M_2$$

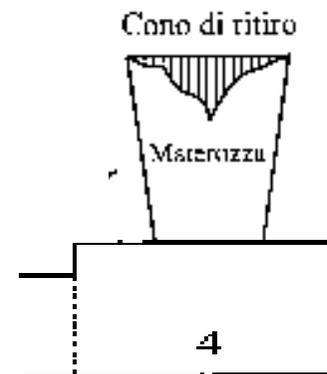
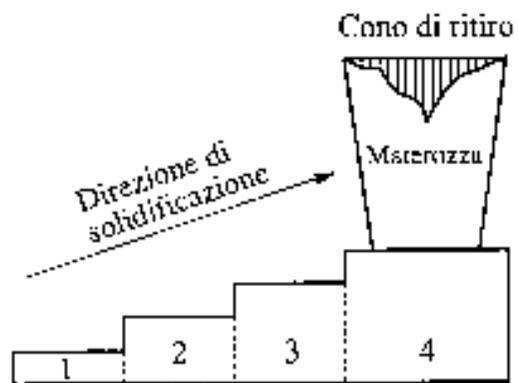
$$M_4 = 1,1 M_3$$

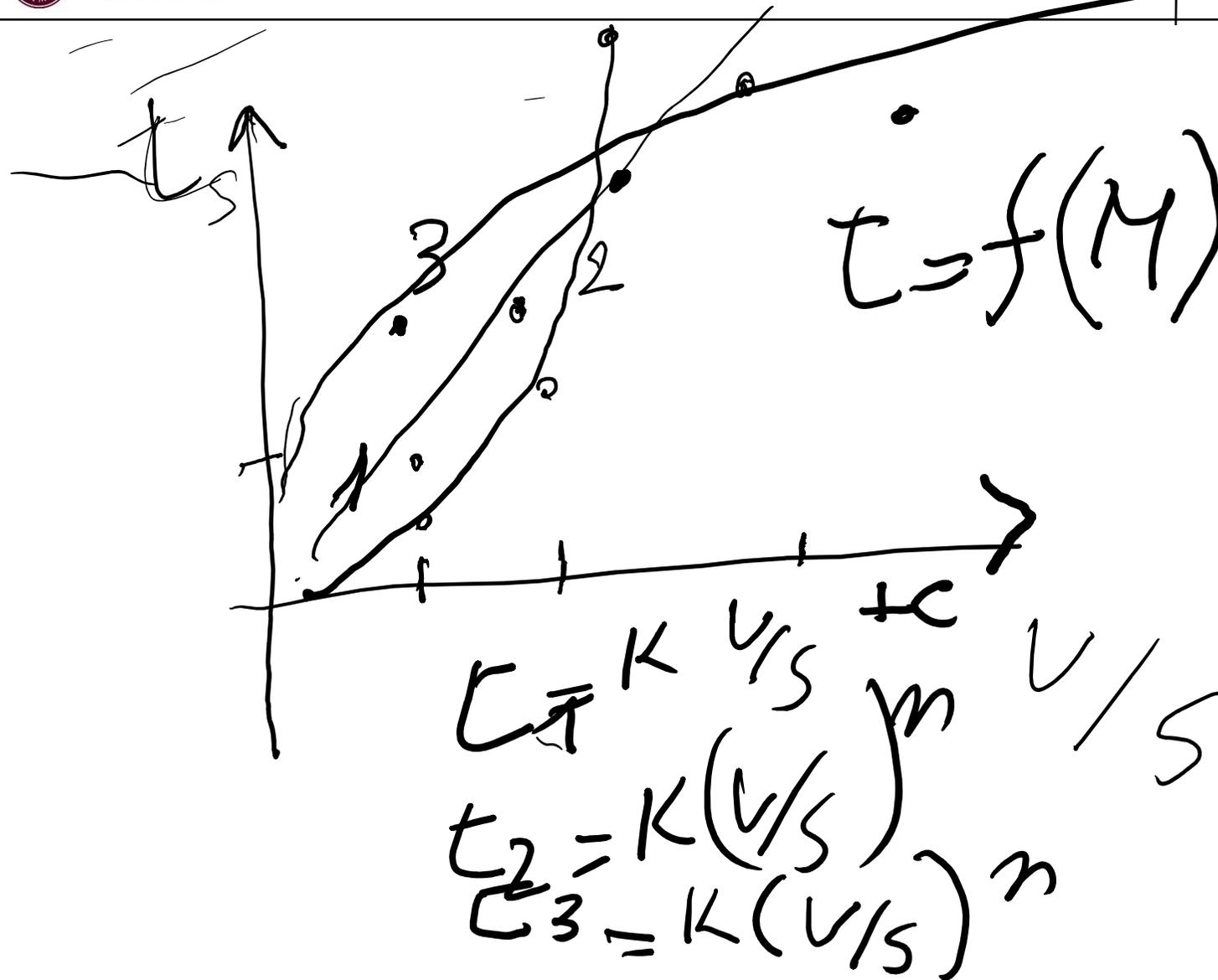
$$M_m = 1,2 M_4$$



Regola empirica:

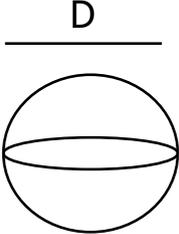
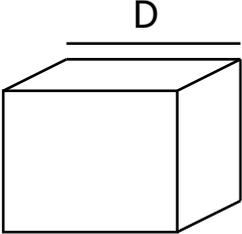
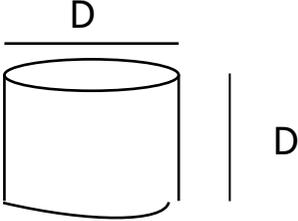
$$M_{i+1} = 1.1-1.2 M_i$$





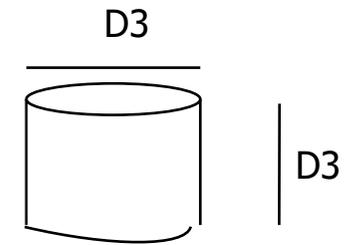
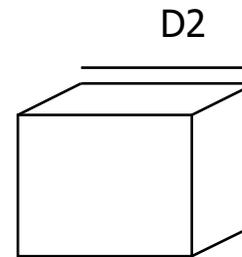
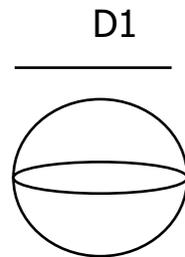


**..alcuni esempi:**

			
<b>V</b>	$4 / 3 \pi (D/2)^3$	$D^3$	$\pi (D/2)^2 D$
<b>S</b>	$4 \pi (D/2)^2$	$6 D^2$	$2 \pi (D/2)^2 + \pi D * D$
<b>M</b>	$D / 6$	$D / 6$	$D / 6$
<b>V</b>	0.5	1	0.8



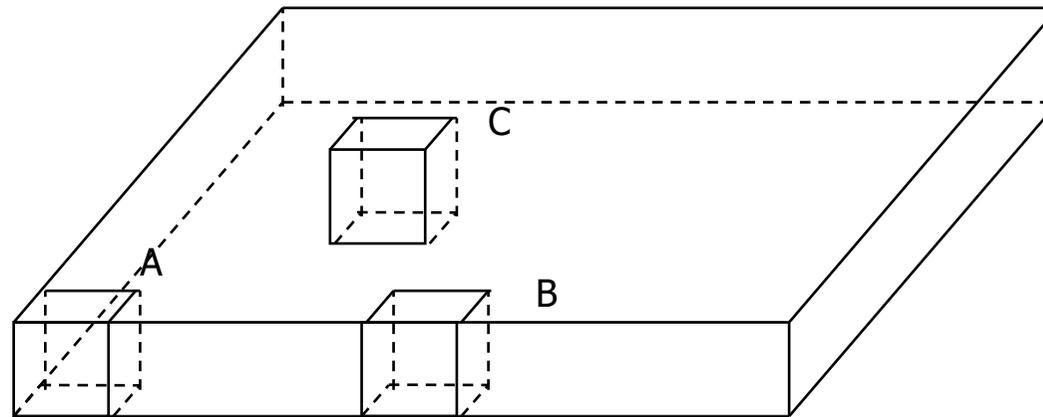
**..ancora:**



<b>V</b>	1	1	1
<b>Di</b>	1.2	1	1.1
<b>S</b>	4.5	6	5.5
<b>M</b>	0.22	0.16	0.18



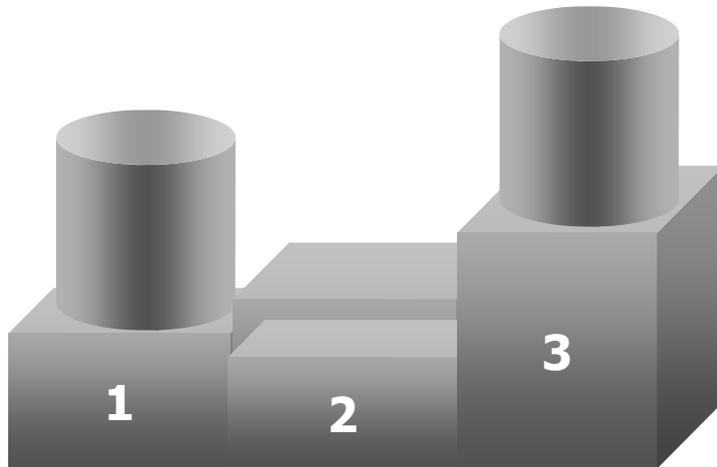
**un altro esempio:**



$V_a$	=	$V_b$	=	$V_c$	=	$L^3$				
$S_a$	=	$4 L^2$		$S_b$	=	$3 L^2$		$S_c$	=	$2 L^2$
$M_a$	=	$L / 4$		$M_b$	=	$L / 3$		$M_c$	=	$L / 2$



## Inconvenienti e rimedi



### Problema di solidificazione

Soluzioni:

Diminuire spessore di 1

Aumentare spessore di 2

Aggiungere materozza in 1

Aggiungere raffreddatore in 1

Aggiungere coibente in 2



### Dimensionamento del sistema di alimentazione

Obiettivo: determinare forma e dimensioni della materozza

si usa il diagramma di Caine (sperimentale)

$$X = \frac{M_m}{M_g}$$

tempo di solidificazione relativo

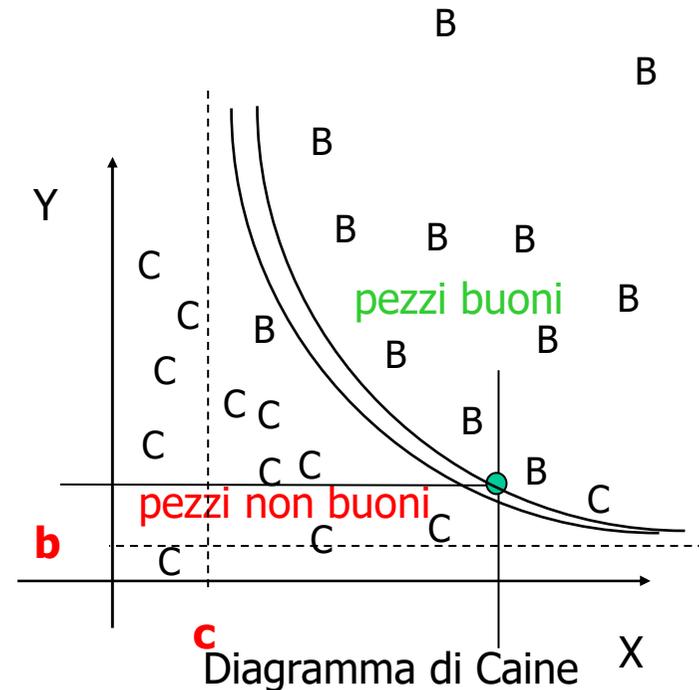
Modulo dell'ultima parte a solidificare prima della materozza

$$M_g = \text{Max}_i M_i$$

$$Y = \frac{V_m}{V_g}$$

volume relativo

Volume del getto



$$Y = V_m / V_g = 0.08 \rightarrow V_m = 0.08 V_g$$

Al minimo la materozza deve fornire al getto una quantità uguale al suo ritiro



analiticamente  $Y \geq \frac{a}{X-c} + b$

oppure  $X \geq \frac{a}{Y-b} + c$

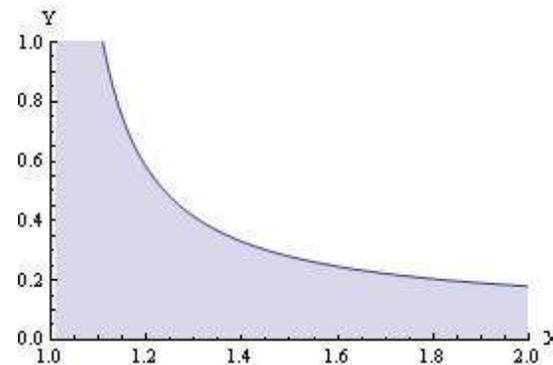
$b$  = ritiro in fase di solidificazione liquida / solido: rappresenta il minimo valore di  $y$  quando  $x \rightarrow \infty$

$c$  = costante che dipende dalle condizioni relative di smaltimento di calore fra getto e materozza (=1 se uguali)

$a$  = costante sperimentale dipendente dal materiale da colare ( $\approx 0.1$ )

Per gli acciai

$$\begin{cases} a = 0.1 \\ c = 1.0 \\ b = 8\% \end{cases}$$





## Dimensionamento alimentatori

Relazione di Caine

$$Y \geq \frac{a}{x - c} + b$$

$$0.5 \leq \frac{H}{D} = \delta \leq 1.5$$

$$c = 1$$

$$c = 0.6 - 0.8 \text{ (coibentata)}$$

$$b = 0.06$$

$$a = 0.1$$

Modulo della materozza ->

$$M_m = \frac{V_m}{S_m} = \left( \pi \cdot H \cdot \frac{D^2}{4} \right) / (\pi \cdot D \cdot H) = \frac{D}{4}$$

Volume della materozza ->

$$\begin{aligned} V_m &= Y \cdot V_g = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \delta \cdot D = \frac{\pi \cdot \delta \cdot D^3}{4} = \\ &= \frac{\pi \cdot \delta}{4} \cdot (4 \cdot M_m^3) = 16 \cdot \pi \cdot \delta \cdot M_m^3 = \\ &= 16 \cdot \pi \cdot \delta \cdot X^3 \cdot M_g^3 \end{aligned}$$



$$Y \geq Y_{MIN} = \frac{0.1}{X - c} + 0.06$$

cioè

$$Y = f(X) = \left( \frac{16 \cdot \pi \cdot \delta \cdot M_g^3}{V_g} \right) \cdot X^3$$

Condizioni al contorno

$$M_{gi=imax} = 2.38$$

$$V_g = 6949$$

$$N_{mat} = 2$$

$$H_{staffa} = 160$$

$$H_{getto} = 140 \text{ (non serve in} \\ \text{quanto la materozza} \\ \text{è laterale)}$$

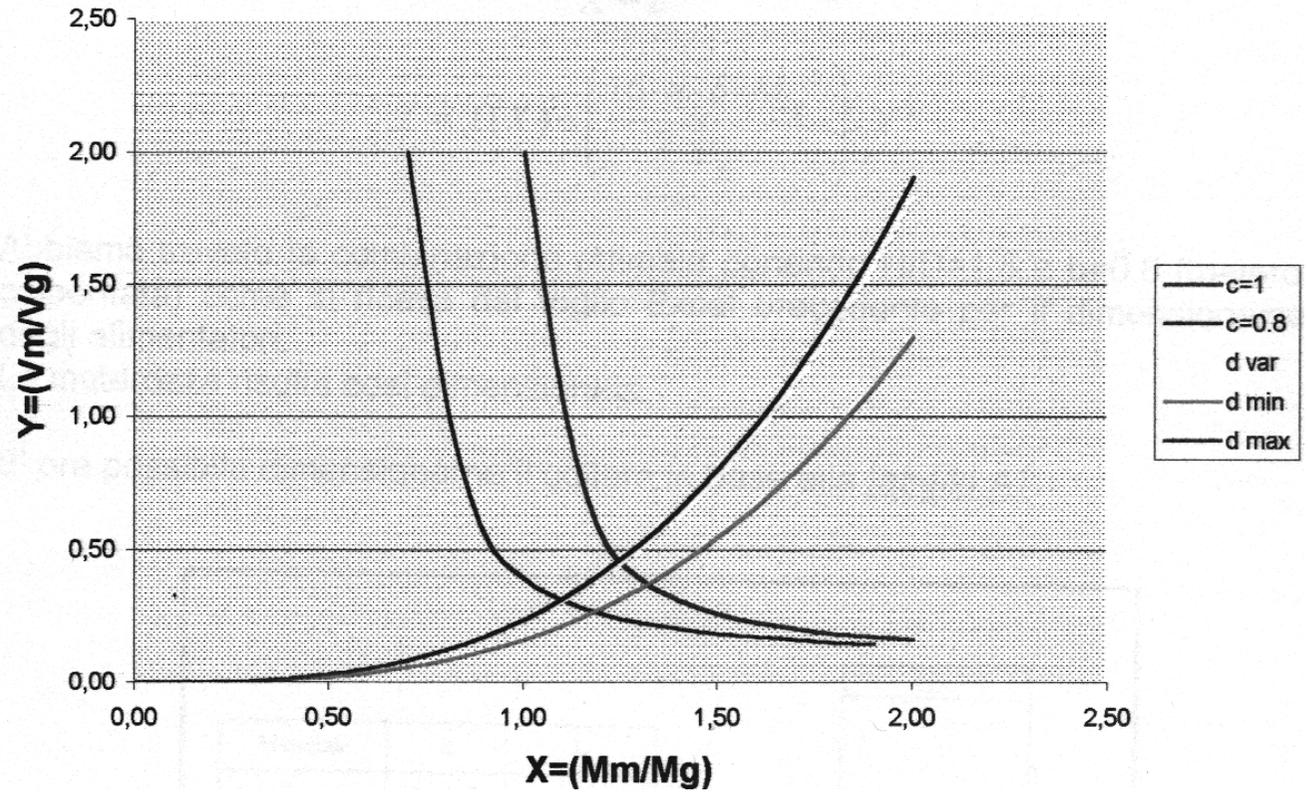
coibentate

Tale sistema viene risolto con i vincoli indicati e si sceglie una materozza secondo il dimensionamento indicato nel foglio di lavoro allegato



Soluzione grafica

### DIAGRAMMA DI CAINE





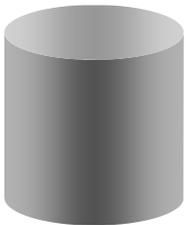
## Soluzione semplificata e approssimata

Il modulo si calcola come  $M_m > 1,2 M_{g,i=i_{max}}$

Il volume si stabilisce con Cain

H e D si calcolano dal volume e fissando il loro rapporto che deve essere non molto differente da 1

$$H / D = 1$$



$$H / D = 0,5$$



$$H / D = 2$$





Ritiro in fase solida

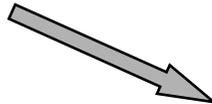
Tfs → Ta

$$L_f = L_i (1 - \alpha \Delta T)$$

La forma ha modificato le  
sue dimensioni

Il metallo si ritira in modo  
dipendente anche  
dalla configurazione geometrica

Le anime funzionano  
da vincoli



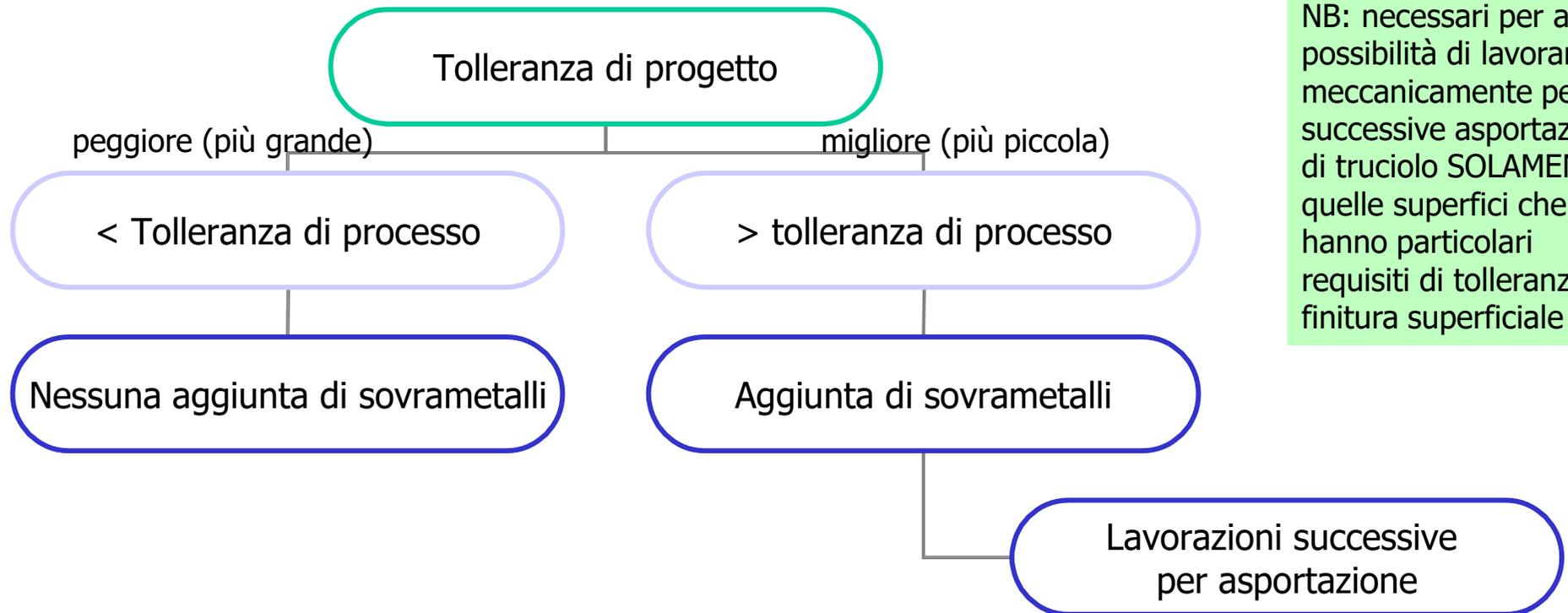
Ritiri lineari per getti colati in sabbia (valori indicativi)

MATERIALI	RITIRO (%)		
	Getti piccoli	Getti medi	Getti grandi
GHISE GRIGIE	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



## Sovrametalli di lavorazione

In base alle tolleranze ottenibili dal processo è possibile stabilire se è necessario aggiungere materiale per ottenere le tolleranze richieste successivamente per asportazione di materiale





Tolleranze dimensionali ottenibili (mm)

Massima dimensione del getto grezzo  (mm)	Dimensione nominale (mm)																							
	fino a 80 mm			oltre 80 fino a 180			oltre 180 fino a 315			oltre 315 fino a 500			oltre 500 fino a 800			oltre 800 fino a 1250			oltre 1250 fino a 1600			oltre 1600 fino a 2500		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
fino a 120	6	4	3	7	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oltre 120 fino a 500	7	5	4	8	5	5	10	6	6	14	8	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oltre 500 fino a 250	8	5	5	9	6	6	11	7	7	15	9	8	18	11	9	20	13	-	-	-	-	-	-	-
oltre 1250 fino a 2500	9	6	6	10	7	7	12	8	8	16	10	9	20	12	10	22	14	11	25	15	-	30	17	-

E se è richiesta una qualità migliore (= tolleranze più spinte)?

Sovrametalli di lavorazione

NB: le tolleranze ottenibili in fonderia in forma transitoria sono sempre abbastanza scadenti, dell'ordine dei millimetri, così come le rugosità, che sono dell'ordine delle decine di  $\mu\text{m}$

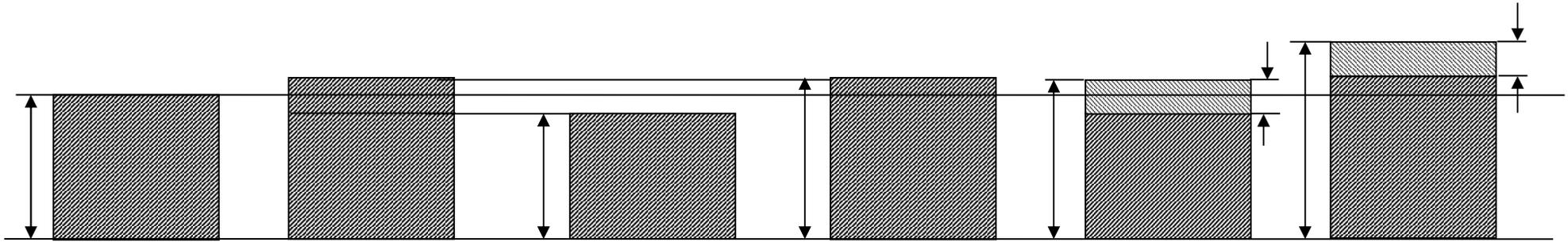


## Sovrametalli nominali in mm

Nella tabella **UNI 6225-73** sono precisate le tolleranze dimensionali e i sovrametalli per la lavorazione meccanica dei getti di acciaio non legato (UNI 3150-68), colati in sabbia. Le tolleranze dimensionali sono riferite alle dimensioni lineari nominali dei getti grezzi (per le quali non siano precisate nel disegno le tolleranze); per le superfici da sottoporre a lavorazione meccanica sono indicati i sovrametalli. Agli effetti delle tolleranze dimensionali e dei sovrametalli, si distinguono 3 gradi di precisione, detti **A (tolleranza ampia, getti singoli)**, **B (tolleranza media, getti ripetuti)**, **C (tolleranza stretta, getti di serie)**. Le tolleranze sono disposte a cavallo della linea dello zero; si tratta cioè di tolleranze bilaterali. Nelle tabelle che seguono sono riportate, per i tre gradi A, B, C, le tolleranze dimensionali e i sovrametalli di precisione, limitatamente ai getti con massima dimensione nominale di 2500 mm.

Massima dimensione del getto grezzo (mm)	Dimensione nominale (mm)																							
	fino a 80 mm			oltre 80 fino a 180			oltre 180 fino a 315			oltre 315 fino a 500			oltre 500 fino a 800			oltre 800 fino a 1250			oltre 1250 fino a 1600			oltre 1600 fino a 2500		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
fino a 120	6	3	3	7	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
oltre 120 fino a 500	6	4	4	7	5	5	8	6	6	10	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
oltre 500 fino a 250	7	5	5	8	6	6	9	7	7	11	8	8	12	9	8	13	10	-	-	-	-			
oltre 1250 fino 2500	8	7	6	9	7	7	10	9	8	12	10	9	13	10	19	14	12	10	15	13	-	17	14	-

NB: i sovrametalli da aggiungere devono «coprire» gli errori dimensionali dovuti alla tecnologia di fonderia. Quindi, devono avere valori «corrispondenti»



Quota  
nominale  
del grezzo

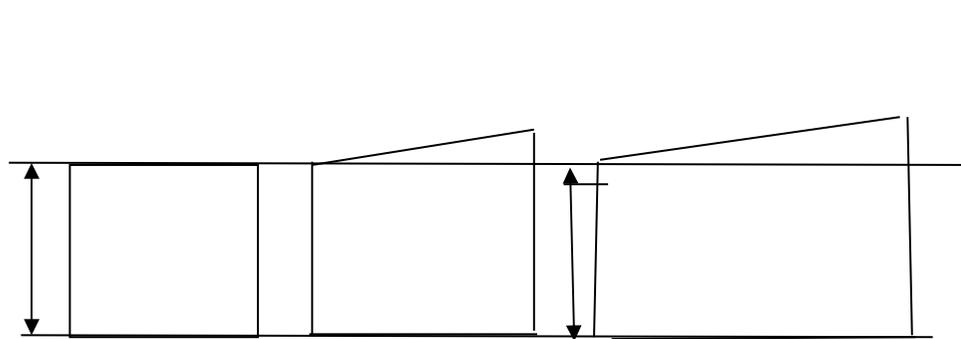
Tolleranza  
intrinseca  
del processo

Caso 1

Caso 2

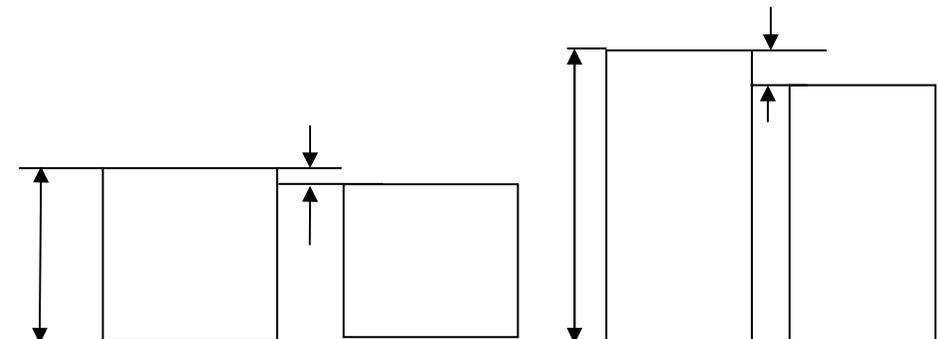
Caso 1 con  
sovrametallo

Caso 2 con  
sovrametallo



Effetto dimensioni massime

errore = 1° di inclinazione



Effetto della dimensione da lavorare

errore = 1% sul ritiro

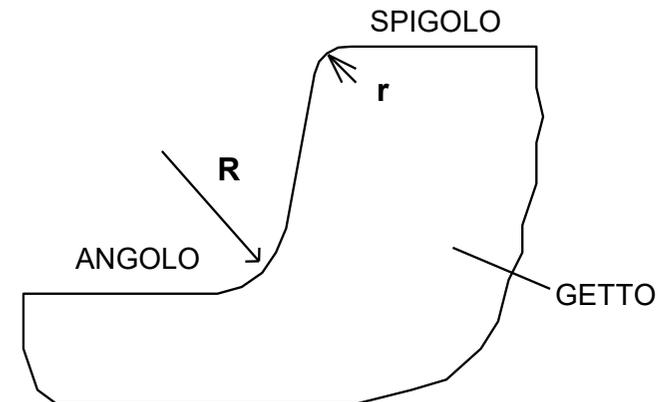
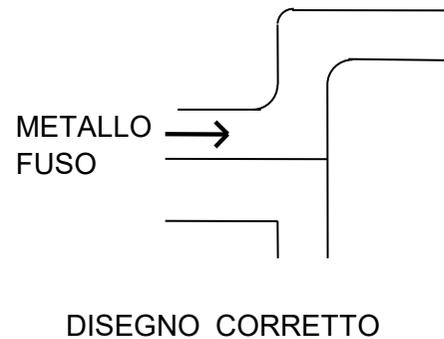
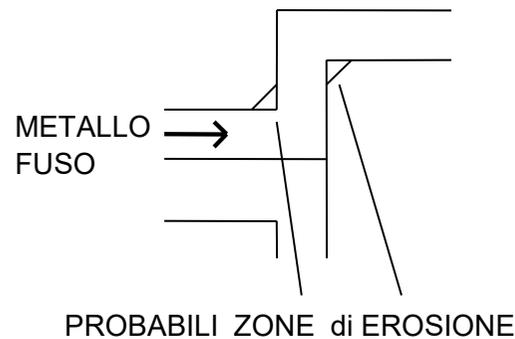


## Raggi di raccordo

per ridurre erosione della forma  
durante la colata

per ridurre rischi di rottura  
durante la solidificazione

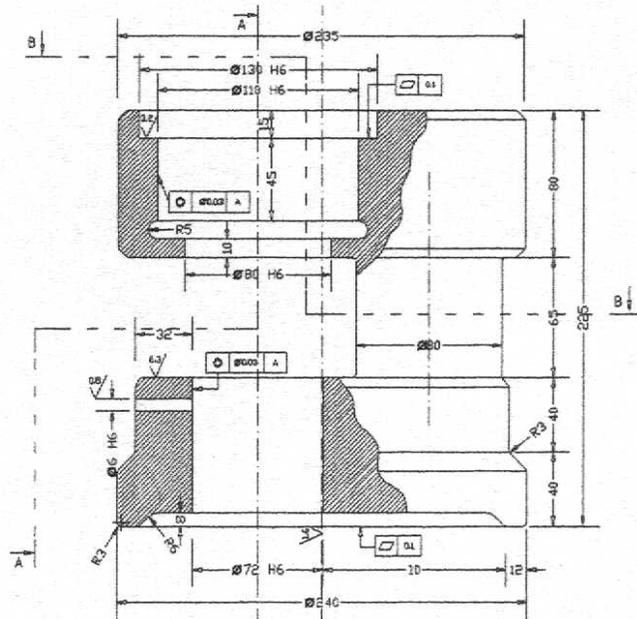
per ridurre concentrazioni  
di tensioni durante l'uso



Diverse condizioni per angoli e spigoli

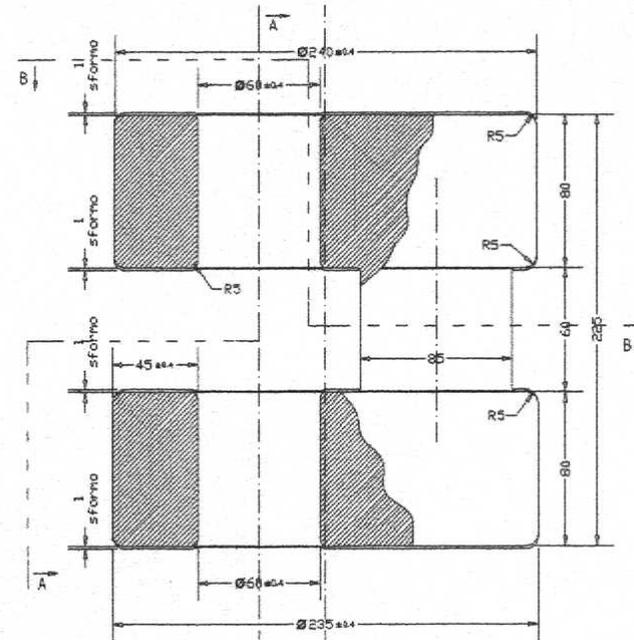


finito



12.5' (✓)

modello



Il modello è «quasi» uguale al getto.

Ne differisce per tener conto di:

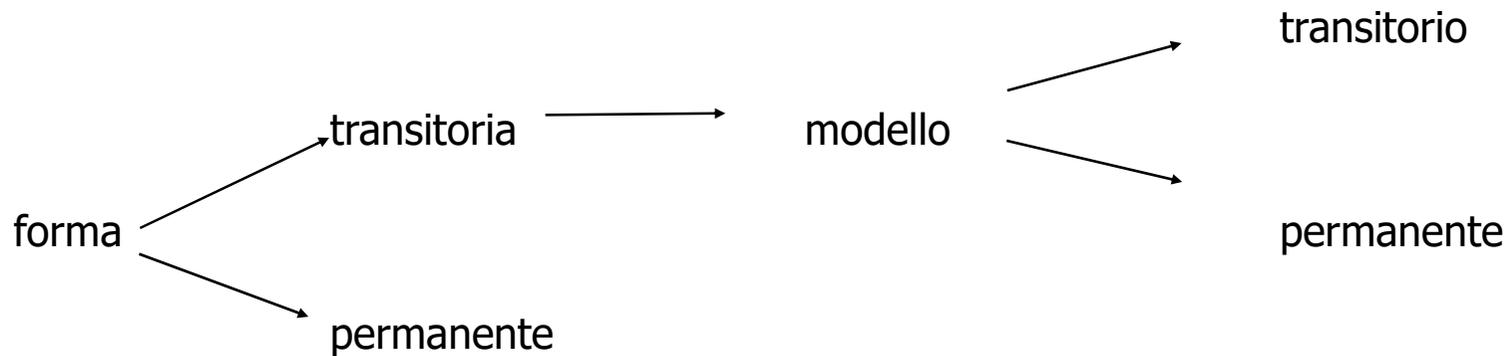
- solidificazione direzionale
- ritiro in fase solida
- sovrametalli di lavorazione
- raggi di raccordo
- piano di separazione (vedi in seguito)
- portate d'anima (vedi in seguito)

NB: non confondere forma e modello:  
La forma è l'oggetto fisico che  
contiene la cavità dentro cui viene  
colato il metallo liquido  
Il modello è l'oggetto fisico che serve  
a predisporre la cavità all'interno della  
forma.



## PROGETTAZIONE DELLA FORMA

realizzazione della cavità all'interno della forma  
nella quale verrà colato il metallo liquido



forme transitorie - possono essere distrutte dopo la colata  
- devono permettere l'estrazione del modello

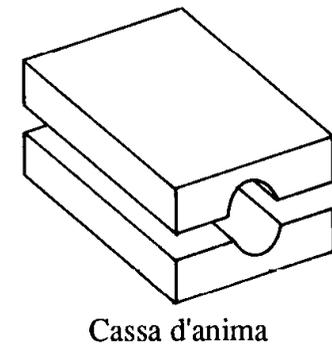
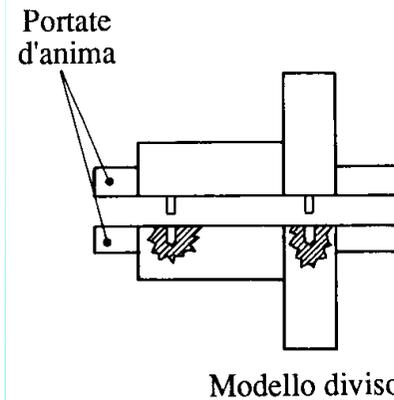
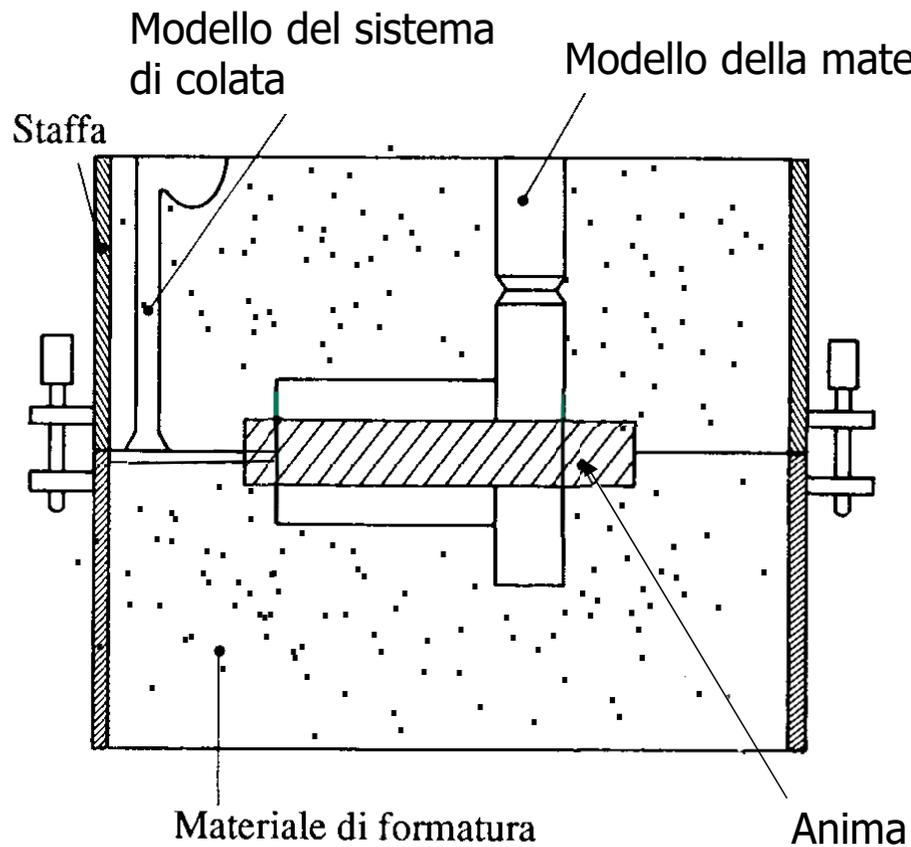
materiali: terra di fonderia  
piano di separazione

forme permanenti - devono essere resistenti e durature  
- devono permettere estrazione del pezzo

materiale metallico  
angoli di sformo



Forma e modello



NB: non confondere forma e modello:  
La forma è l'oggetto fisico che contiene la  
cavità dentro cui viene colato il metallo liquido  
Il modello è l'oggetto fisico che serve a  
predisporre la cavità all'interno della forma.



## Scelta del piano di separazione

modello  
dell'oggetto  
da produrre

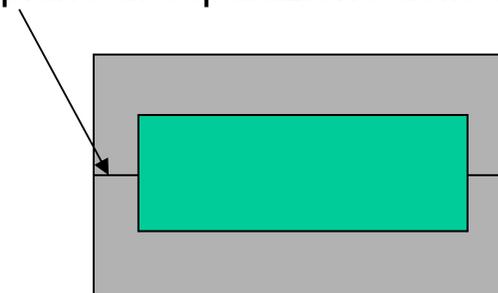


modello all'interno della staffa



dal momento che il modello deve essere riutilizzato (modello permanente)  
come si fa ad estrarlo senza danneggiarlo?

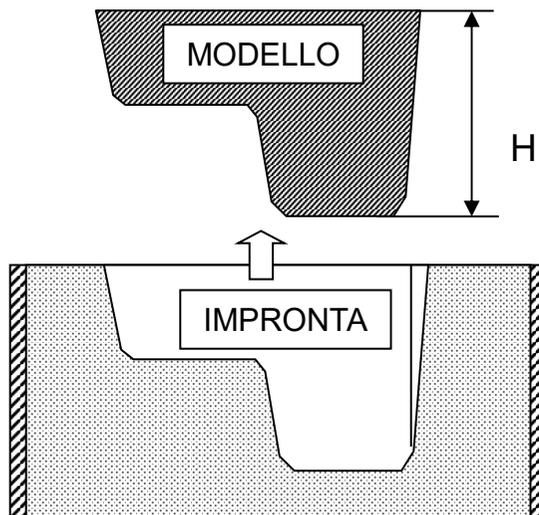
piano di separazione delle staffe



## Angoli di sformo

VALORI DELLO SFORMO  $s$  in mm e in %  
dell' ANGOLO di SFORMO  $\beta$

per permettere  
estrazione del modello



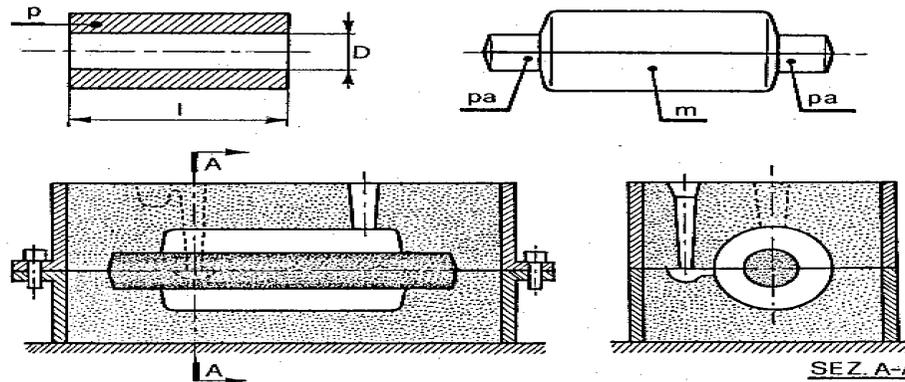
ALTEZZA del MODELLO (mm)	SFORMO		Angolo di sformo $\beta$
	$s$ (mm)	(%)	
fino a 40	0.5	1.25	1'30"
40 - 59	0.75	1.8 - 1.2	1'
60 - 119	1	1.7 - 0.8	40"
120 - 159	1.5	1.7 - 0.8	40"
160 - 199	1.75	1.1 - 0.9	40"
200 - 249	2	1.0 - 0.8	30"
250 - 299	2.5	1.0 - 0.8	30"
300 - 399	3	1.0 - 0.75	30"
400 - 499	3.5	0.9 - 0.8	30"
$\geq 500$	4	$\leq 0.8$	30"

I valori di questa tabella sono di preferenza da adottare per modelli METALLICI, lavorati a macchina, possibilmente fissati su placche e ben finiti. La sformatura dovrà essere fatta con vibrator e con guide o, meglio, su macchine a sformare.

Il modello deve essere modificato per una necessità tecnologica



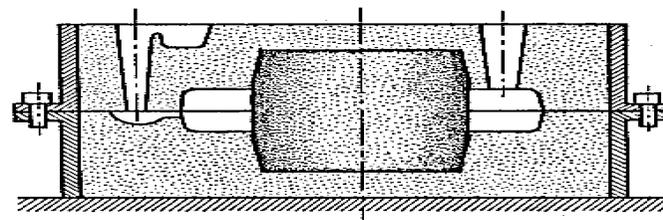
Disposizione dell'impronta nella forma



$L/D \gg 1$



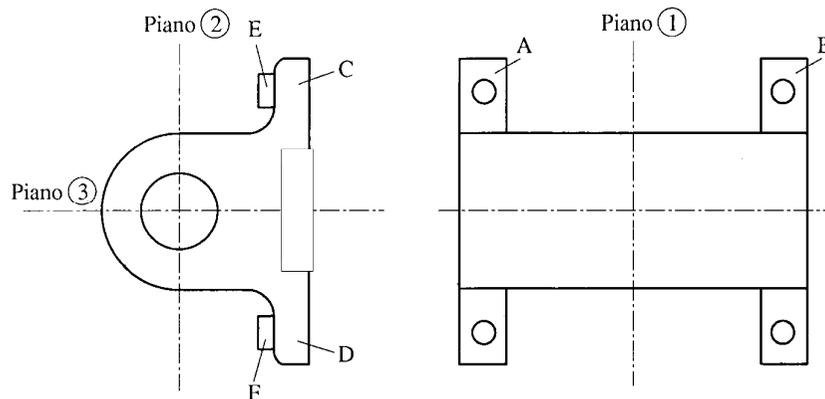
$L/D \ll 1$



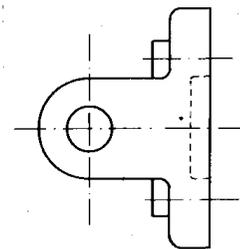


# Eliminazione sottosquadri

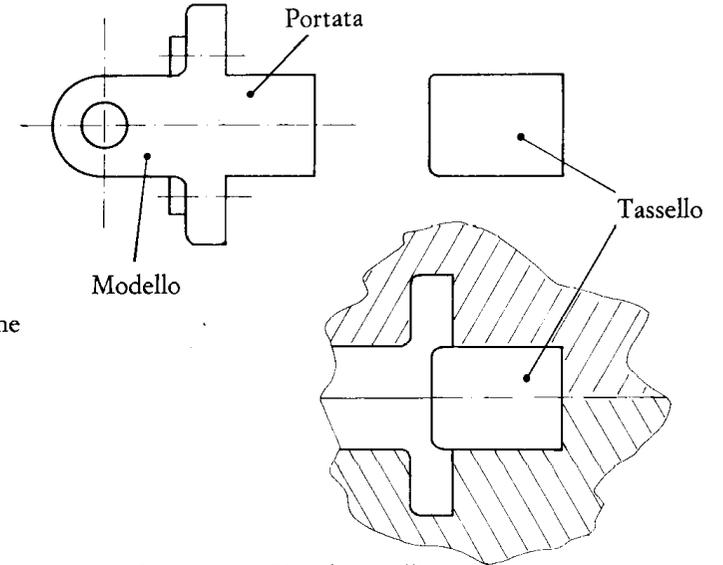
problema



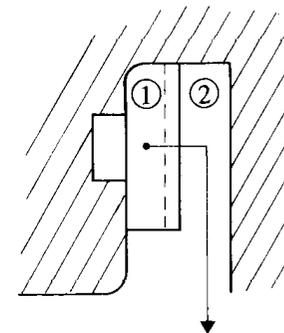
soluzioni



Soluzione a: Formaggele alla francese ed eliminazione parte tratteggiata



Soluzione b: Uso di tasselli

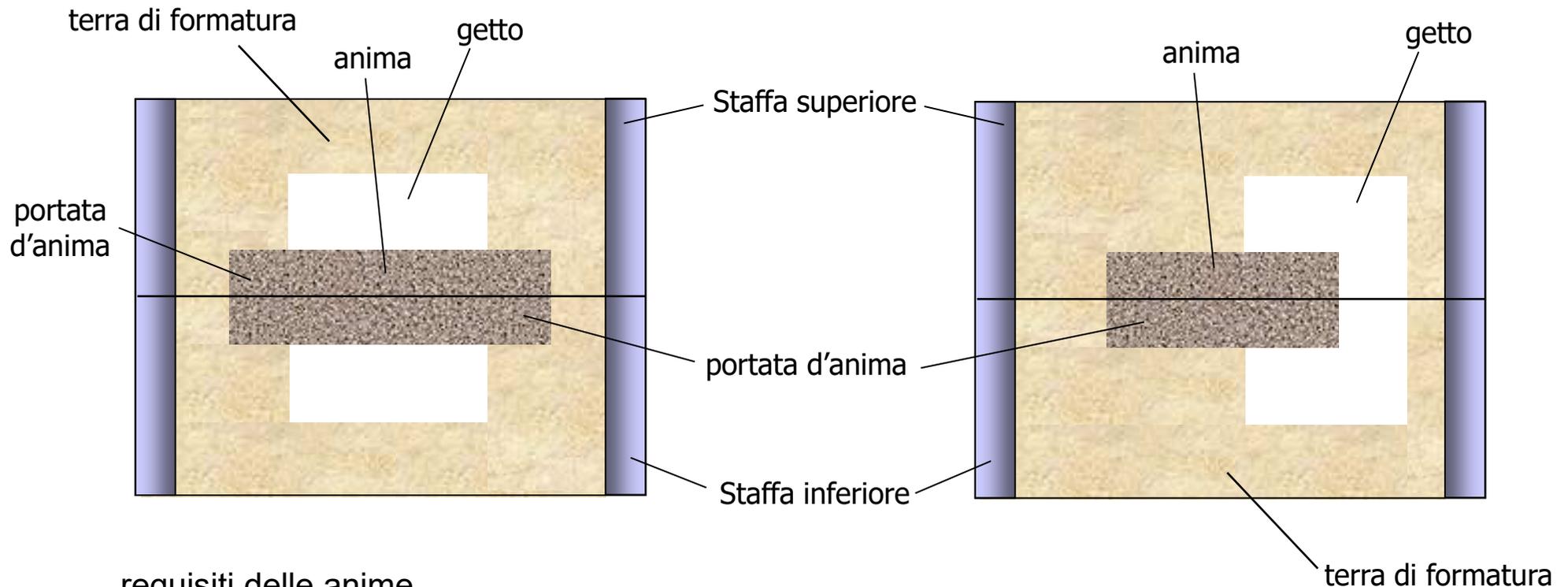


Soluzione c: Modello scomponibile in 1 e 2

Scelta del piano di divisione per l'eliminazione dei sottosquadri: il piano 1 trova il sottosquadro in A e B, il piano 2 trova il sottosquadro in C e D, il piano 3 trova il sottosquadro in E, C, D, F.

## Anime

Realizzazione di fori ciechi o passanti per mezzo di occupazione di una parte del getto con materiale di formatura



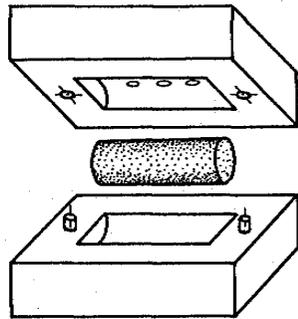
requisiti delle anime

- **maggiore refrattarietà**
- **elevata resistenza meccanica fino al termine della solidificazione**
- **friabilità**

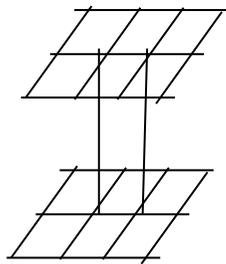
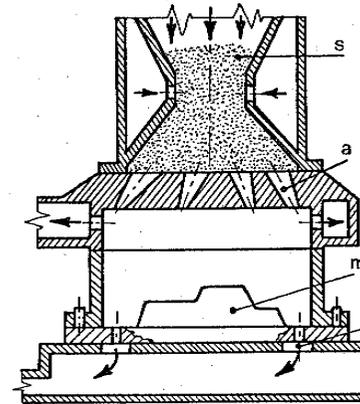


### realizzazione delle anime

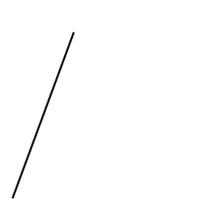
#### cassa d'anima



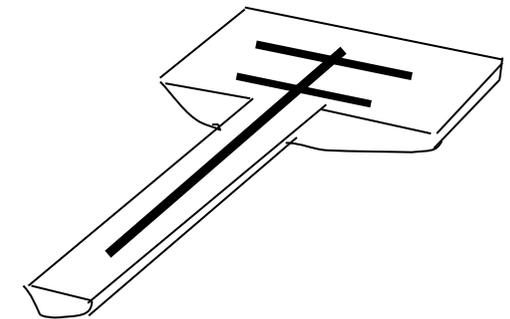
#### soffiaggio delle anime



armatura



armature semplici



tirate d'aria interne  
all'anima



### dimensionamento delle anime

In funzione di

- diametro
- lunghezza
- spessore della parete del getto

$$D < 2S$$

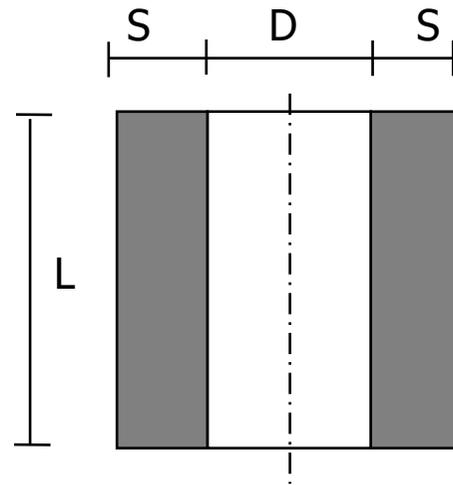
se  $L \leq D$

$$2S \leq D \leq 3S$$

se  $L \leq 3D$

$$3S \leq D$$

se  $L \leq 5D$

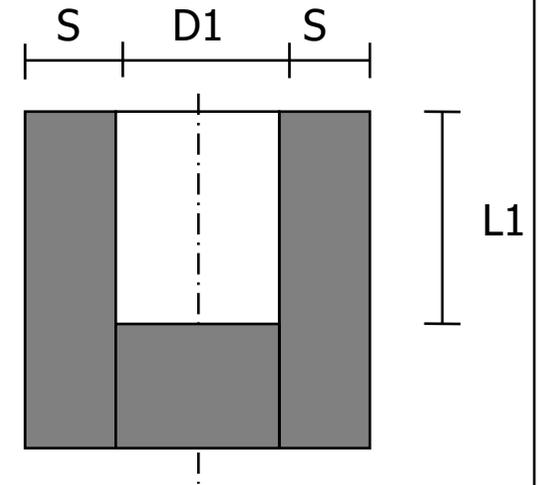


fori passanti

se  $L1 \leq D1 / 2$

se  $L1 \leq 2D1$

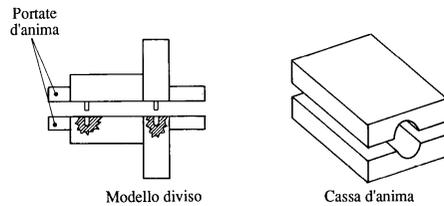
se  $L \leq 3D$



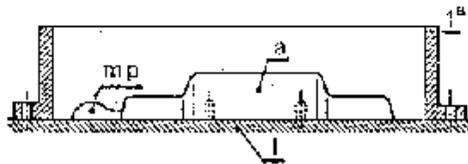
fori ciechi



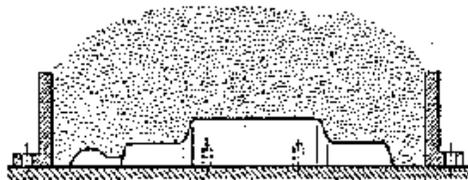
## Preparazione della forma



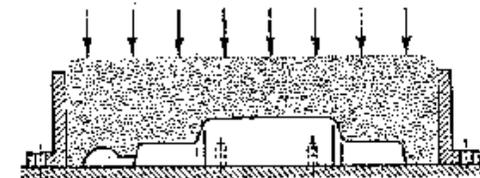
0: preparazione del modello



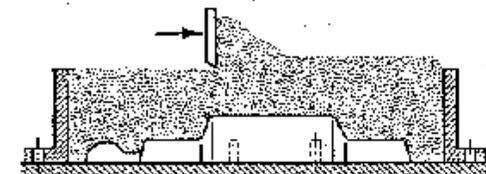
1. Semimodello con i fori di riferimento appoggiato su un piano



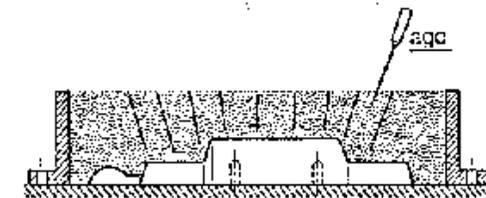
2. Riempimento



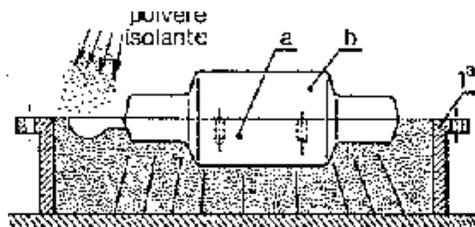
3. Compressione



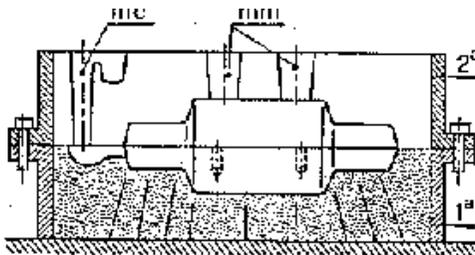
4. Eliminazione terra in eccesso



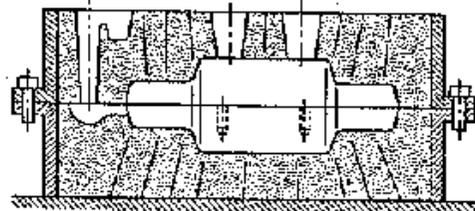
5. Realizzazione tirate d'aria



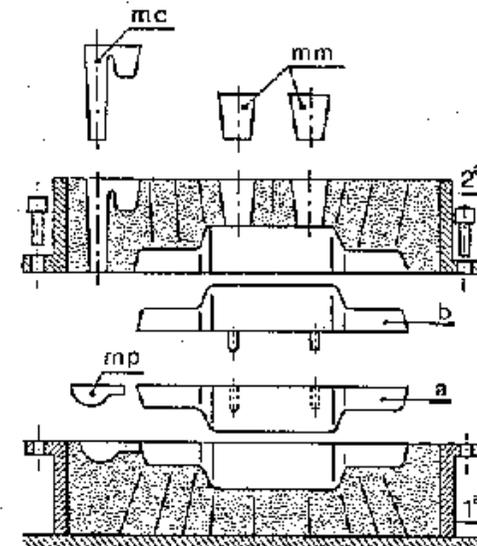
6. Staffa rovesciata, applicazione seconda parte del modello, polvere di carbone (distaccante).



7. Seconda staffa sovrapposta, sistemazione modelli canali di colata e materozze



8. Riempimento, compressione, tirate d'aria



9. Separazione staffe, estrazione modello, ramolaggio anime, ricomposizione

## FUSIONE E COLATA

### Fusione

#### Forni

##### A combustibile

- solido
- liquido
- gassoso

##### Elettrici

- a resistenza
- ad arco
  - indiretto (radiante)
  - diretto
- ad induzione
  - bassa frequenza
  - alta frequenza

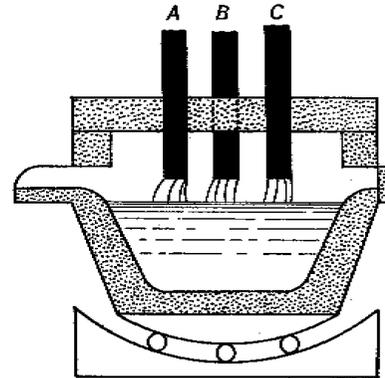


Fig. 161.

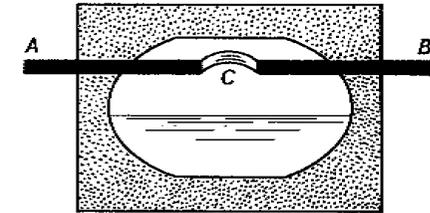


Fig. 162.

Fig. 161. — Schema di forno elettrico ad arco diretto.

Fig. 162. — Schema di forno elettrico ad arco radiante.

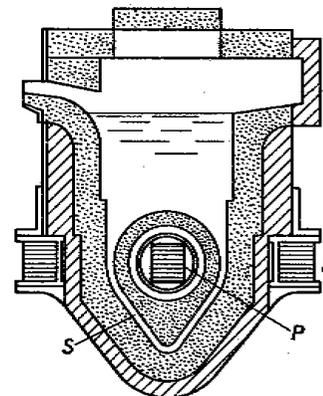


Fig. 163.

Fig. 163. — Schemi di forno ad induzione a bassa frequenza.  
*N*, nucleo magnetico; *P*, avvolgimento primario; *S*, spina secondaria.

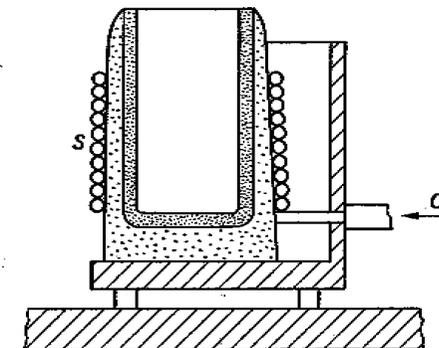


Fig. 164.

Fig. 164. — Schema di forno ad induzione ad alta frequenza.  
*C*, acqua di circolazione; *S*, spirale induttrice.



## Colata

### gravità

sfrutta la pressione dovuta  
al peso del metallo liquido

grande versatilità

tolleranze generalmente scadenti

forme transitorie

### centrifuga

forma messa in  
rotazione, si genera  
forza centrifuga sul  
metallo

pezzi relativamente semplici

buone finiture / tolleranze

conchiglie metalliche  
permanenti

### sotto pressione

pompe alternative

pezzi complicati

ottime finiture

conchiglie metalliche  
permanenti, costose  
costi di impianto  
automazione

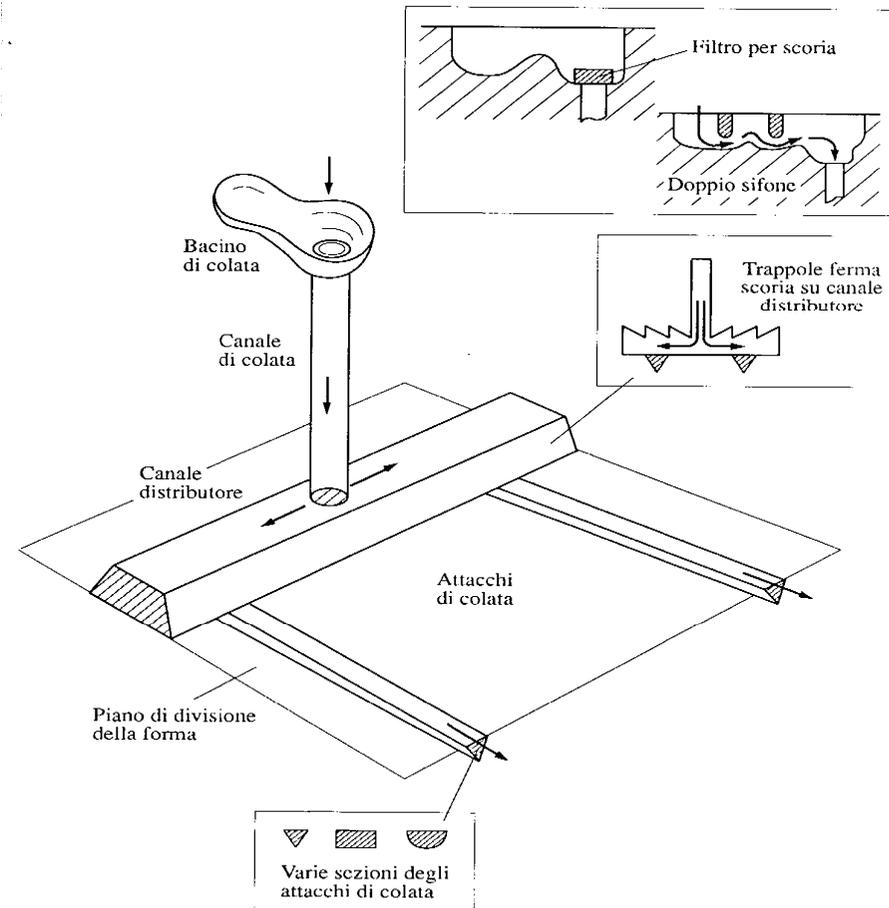
## Sistema di colata per fonderia in terra

Sistema principale - bacino di colata

- canale di colata
- canale orizzontale
- attacco di colata

Altri elementi

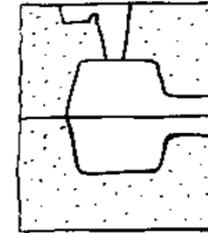
- filtri
- pozzetti
- sfiati
- trappole





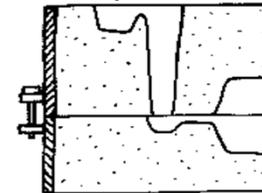
Sistemi di colata

diretta



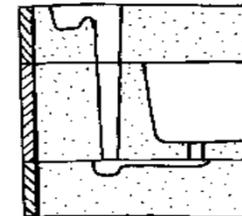
- DANNI ALLA FORMA
- GOCCE FREPDE

sul piano di  
separazione



- FACILE DA REALIZZARE

con tre staffe



- FORMA IN 3 PARTI

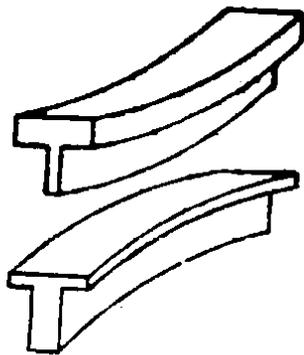
dimensionamento

il dimensionamento del sistema si realizza  
 a partire da            quantità di materiale da colare  
                                  tempo ammissibile (produttività, resistenza termica della forma)  
                                  velocità del fluido (danneggiamenti per erosione)

per ottenere            le sezioni dei canali di colata

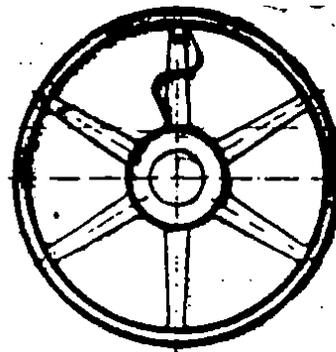


## Difetti di fonderia



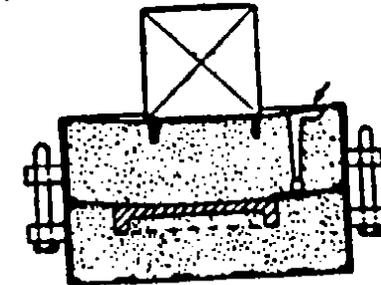
Deformazione (incurvamento) dell'asse principale di un getto causato da irregolarità di spessori: i getti presentano la concavità dalla parte dello spessore maggiore.

Incurvamento



Criccature e rotture delle razze di un volante causate da eccessive differenze degli spessori tra mozzo, corona e razze, e dalle razze in numero pari disposte radialmente.

cricche

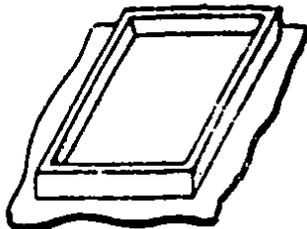
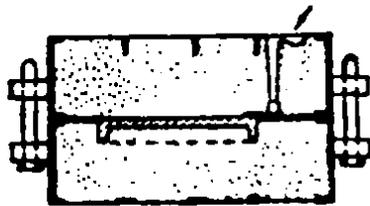


Riduzione dello spessore di un getto causata da cedimento della mezza staffa superiore troppo caricata

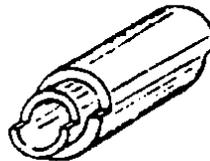
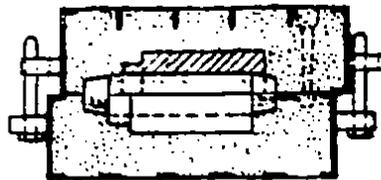
schacciamento staffa



Difetti di fonderia

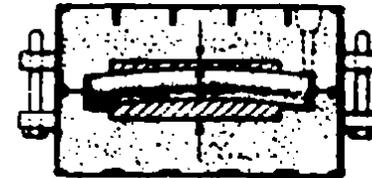


sollevamento staffa



Variazione di staffa provocata  
da eccessivo gioco tra perni di riferiman-  
to e fori delle staffe.

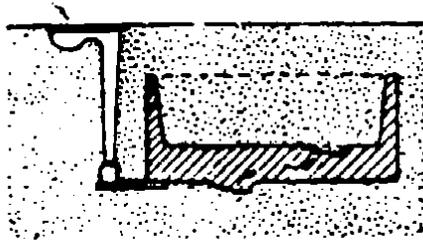
disallineamento forma



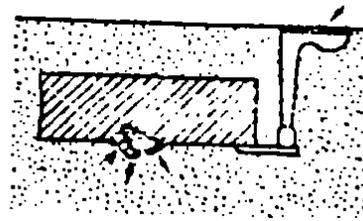
Irregolarità dello spessore in  
un tubo a causa dello spostamento del-  
l'anima dovuto alla spinta metallostatica.

disallineamento anima

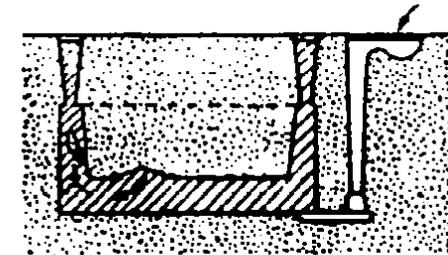
## Difetti di fonderia



**Taccone:** una zolla di sabbia si stacca dalla parte inferiore (a causa della scarsa permeabilità) e va a galleggiare contro la superficie superiore della forma: il getto quindi presenta in basso una protuberanza e sopra una cavità con inclusione di sabbia.



**Taccone falso o scatola:** difetto dovuto alla stessa causa; la zolla però non si stacca del tutto e rimane imprigionata nella protuberanza.



Altre difetti analoghi ai precedenti: la zolla si stacca da una parete superiore e, trascinata dal metallo liquido, rimane imprigionata in una nervatura.

Rottura della forma, distacco di zolle



## Inclusioni non metalliche

Fasi non metalliche o composti intermetallici (specialmente nelle leghe non ferrose)

Nelle leghe ferrose sono di solito: *ossidi, solfuri, nitruri*

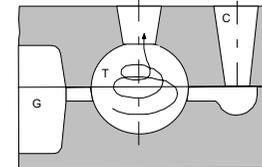
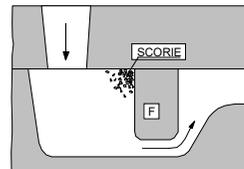
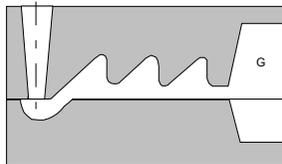
Effetti:

- riduzione  $R_m$
- riduzione duttilità



natura  
forma  
quantità  
distribuzione  
orientazione

Metodi per l'eliminazione: FILTRI, TRAPPOLE



## Formatura in guscio

Shell Molding o processo Crowning

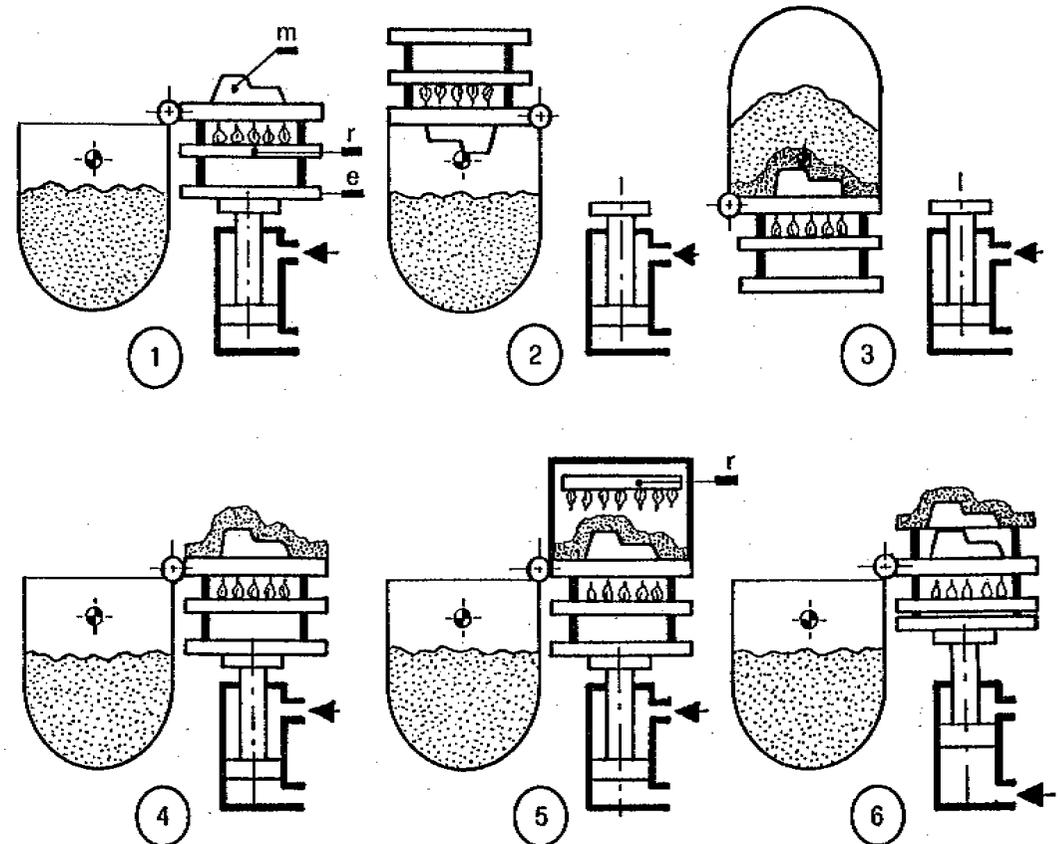
- sabbia di quarzo a grani tondi prerivestita
- resina termoindurente (es fenolica)

### Vantaggi

- buone tolleranze
- buona finitura
- spessori sottili ( min 2.5 - 1.5 mm)  
(Il guscio presenta > isolamento termico rispetto alla forma in terra)
- impiegato anche per la fabbricazione delle anime
- applicazioni in medie e grandi serie

### Limitazioni

- getti di limitate dimensioni ( < 20 kg )

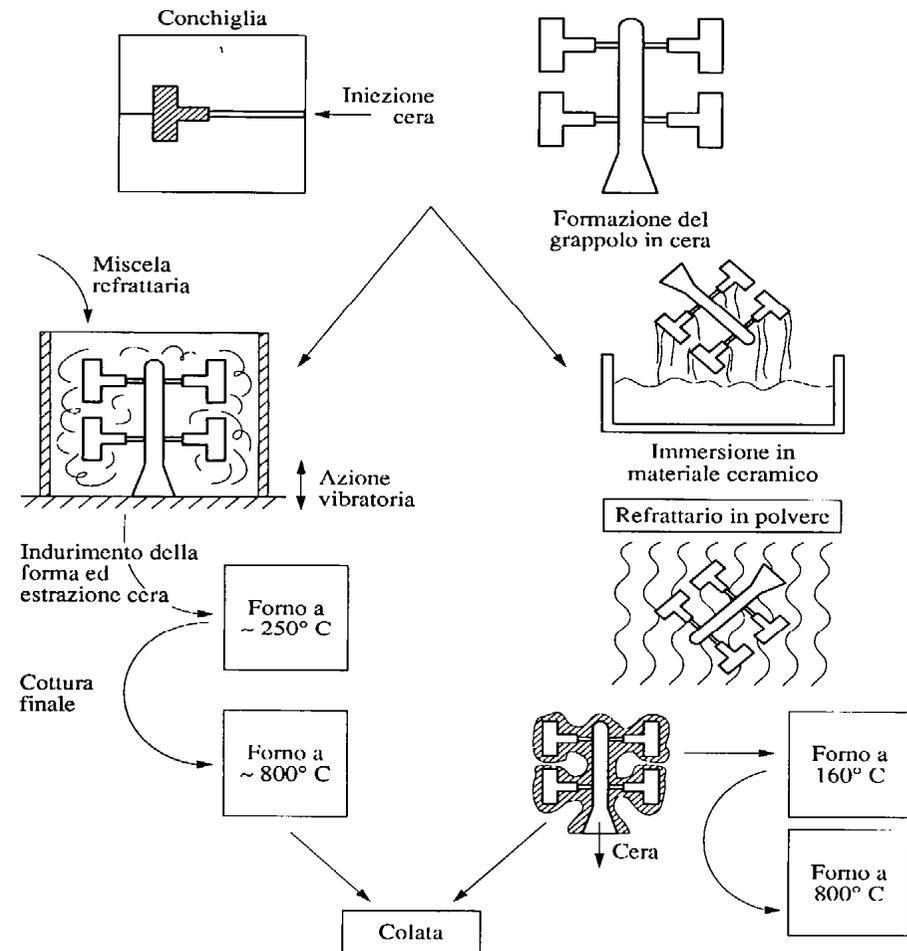


## Formatura in cera persa o microfusione

Modello transitorio  
Forma transitoria

Precisione dimensionale molto buona  
Finitura superficiale molto buona  
Spessori minimi 1.5 mm  
Pezzi piccoli medi grandi  
Produzione di piccola media grande serie

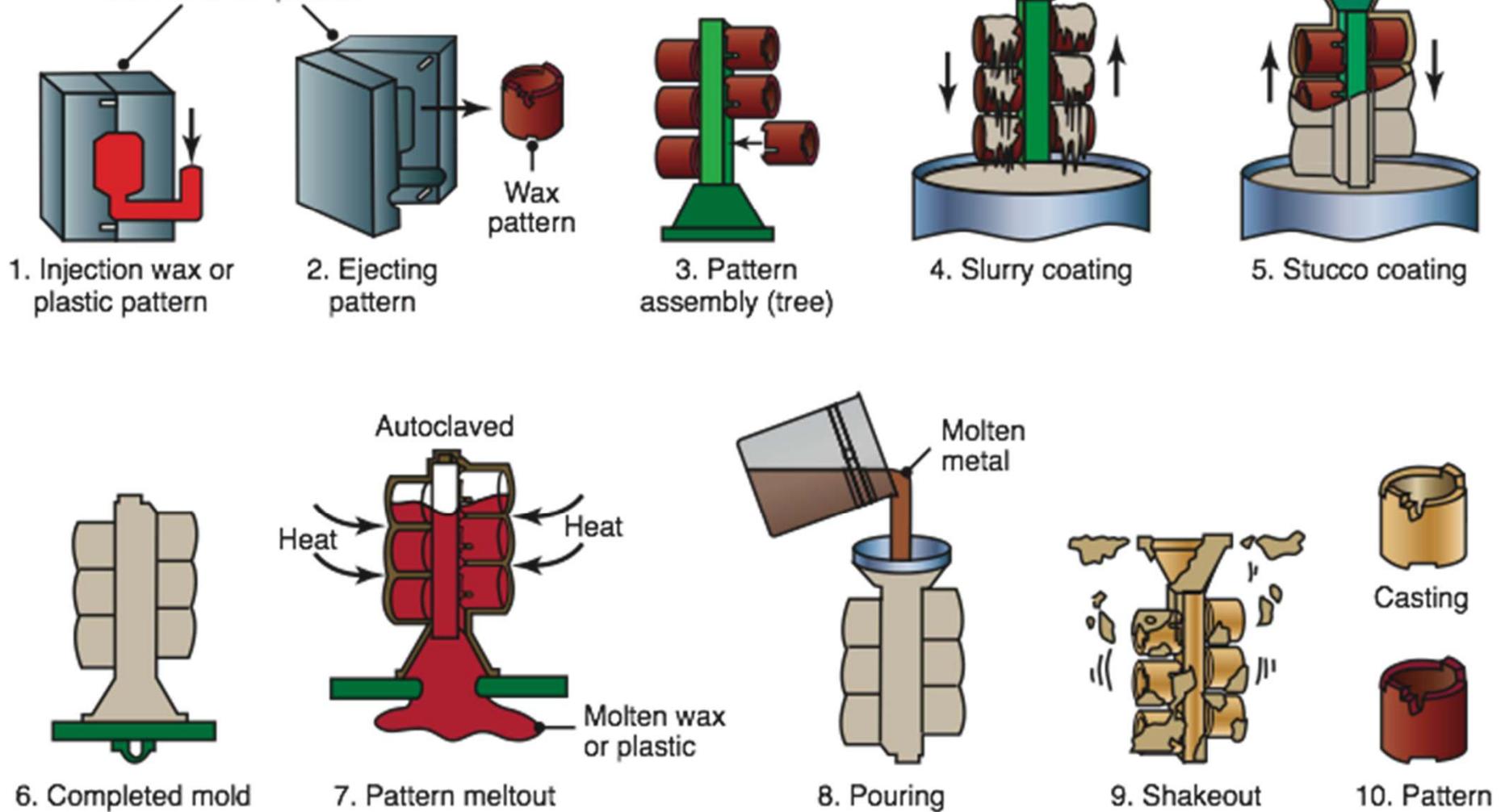
I modelli possono essere comunque complessi,  
non essendoci problemi di estrazione. Ovviamente  
la conchiglia per fare i modelli diventa molto costosa.



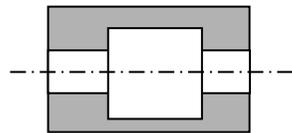


### Investment casting

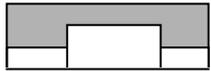
Mold to make pattern



## Polycast

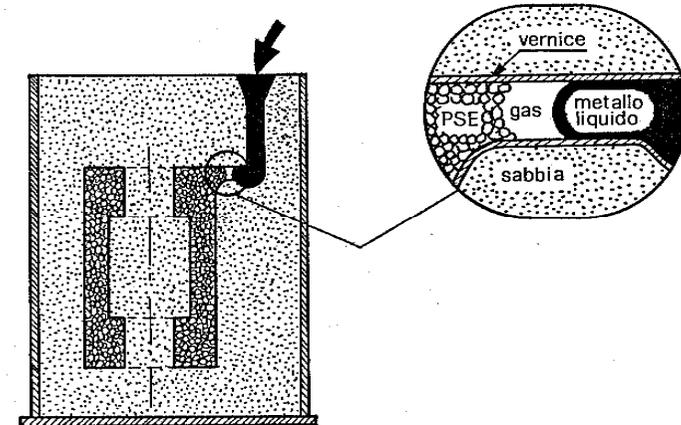


Pezzo



Preparazione modello

- stampaggio ad iniezione
- incollaggio delle diverse parti
- verniciatura con polvere di quarzo/allumina



Colata in forma ottenuta con polistirene espanso

### Vantaggi:

- forma in un'unica staffa
- assenza di bave
- parti in sottosquadro
- assenza di anime
- assenza di angoli di spoglia
- riciclo totale della sabbia

### Svantaggi:

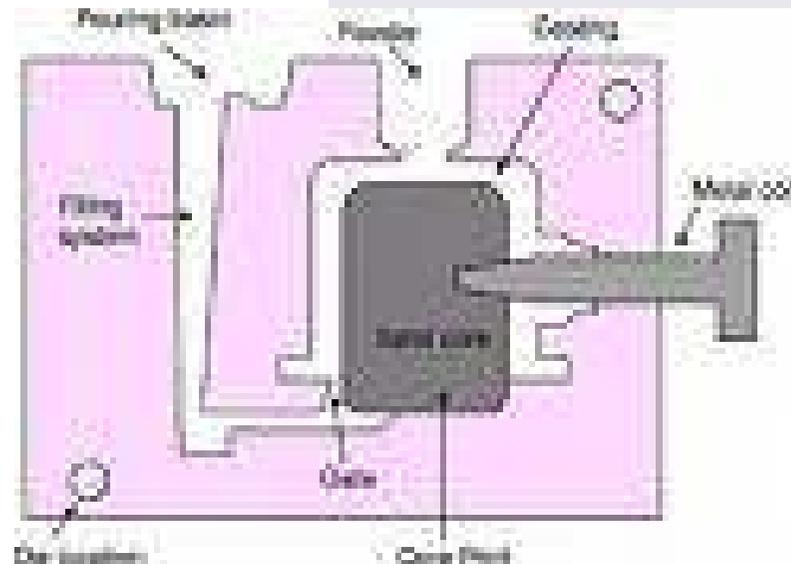
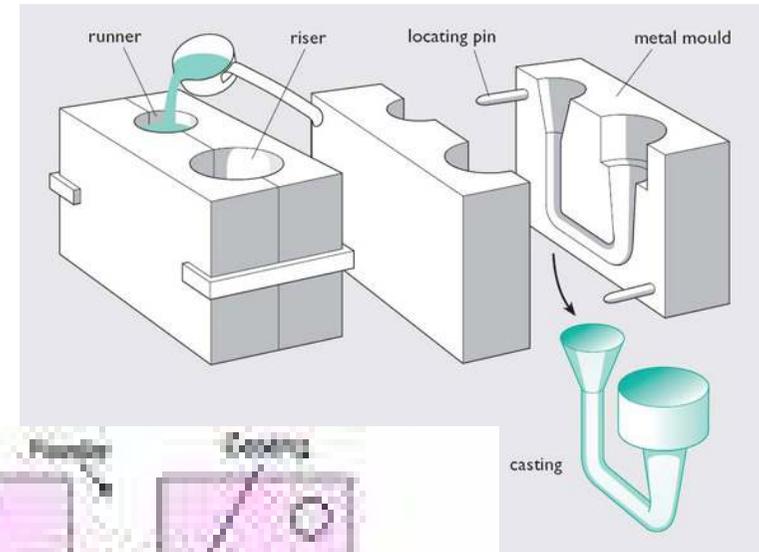
- possibile porosità
- finitura superficiale modesta

## Colata in conchiglia permanente

Conchiglie metalliche

leghe leggere  
struttura fina dei grani  
finitura superficiale e tolleranze buone

gas disciolti  
fluidità del metallo liquido  
estraibilità del getto  
colata veloce per evitare premature  
solidificazioni in parti sottili ( 4 mm)



Anima in sabbia

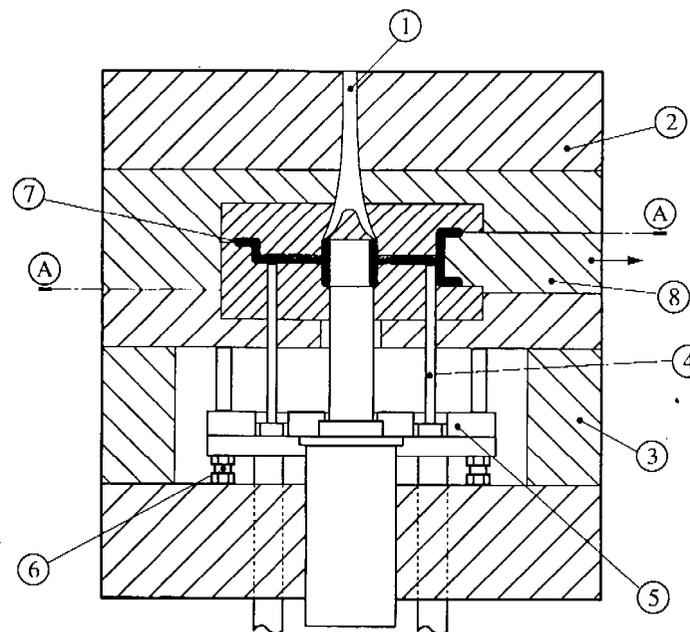
Anime metalliche

## Colata sotto pressione

Costi di impianto  
Costo delle conchiglie  
acciaio al W / Cr  
durate anche 100.000 pezzi

Anime metalliche  
Grandi serie  
Ottime finiture / tolleranze

Pezzi piccoli  
Spessori 2.5 mm  
Forme semplici  
(anime metalliche )



A-A superficie di separazione delle semi-  
conchiglie

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



### 1. Camera di pressione CALDA: INIETTOFUSIONE

#### Materiali (leghe)

Piombo / Stagno 250 - 300 °C

Zinco 500 - 600 °C

Magnesio 600 - 700 °C

#### Compressione

Gas in pressione 2 - 6 MPa

Pistone tuffante 4 -15 MPa

### 2. Camera di pressione FREDDA: PRESSOFUSIONE

#### Materiali (leghe)

Alluminio 650 - 700 °C

Rame 1000 - 1100 °C

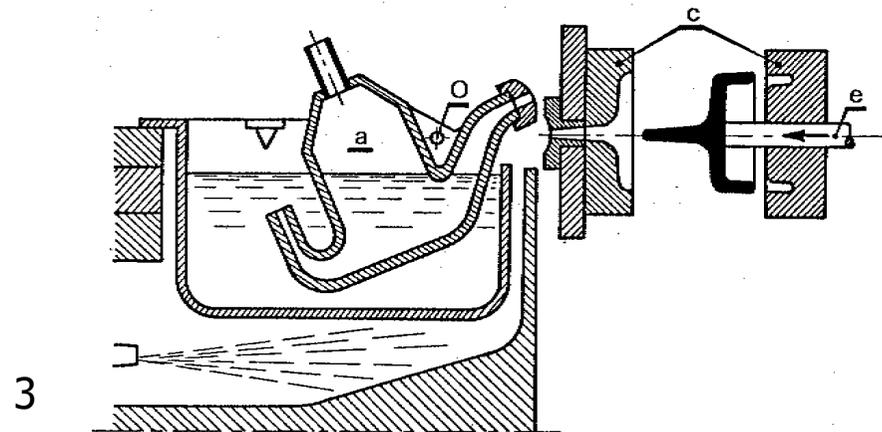
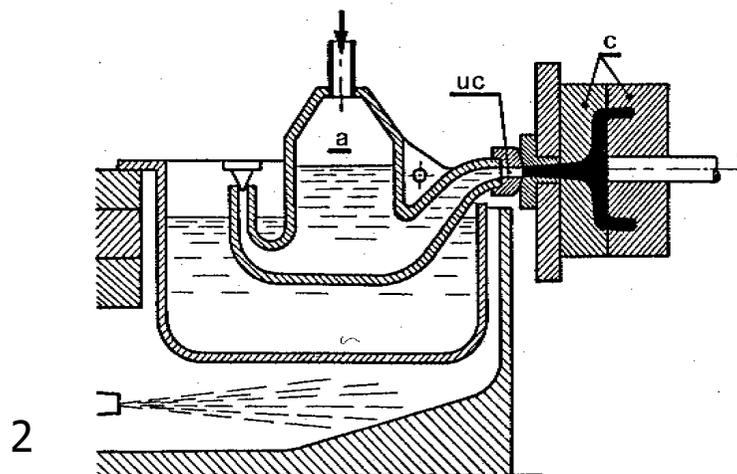
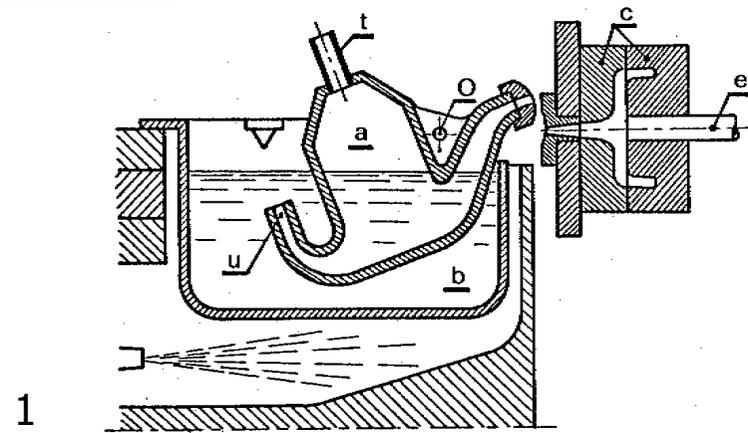
Compressione: cilindro-stantuffo 150 MPa

Il metallo viene introdotto nella camera di pressione ad una temperatura compresa nell'intervallo di fusione.

## Iniettofusione

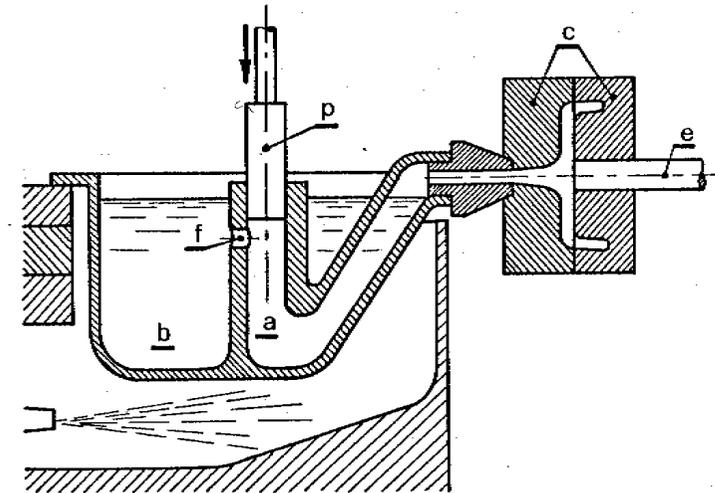
### (I) Macchina a camera oscillante:

- riempimento
- compressione
- estrazione



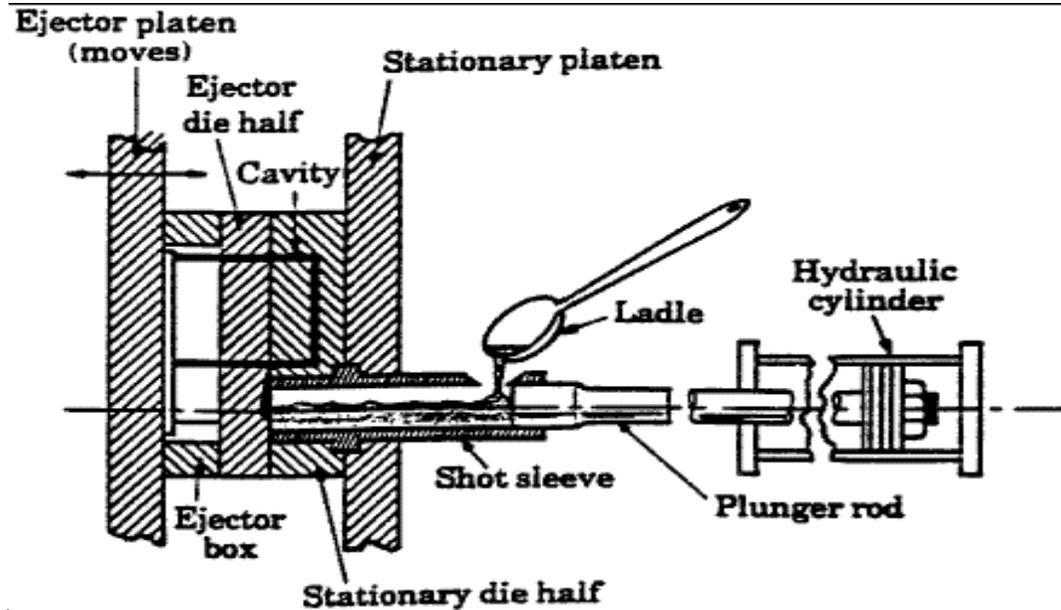


**(II)** Macchina a pistone tuffante

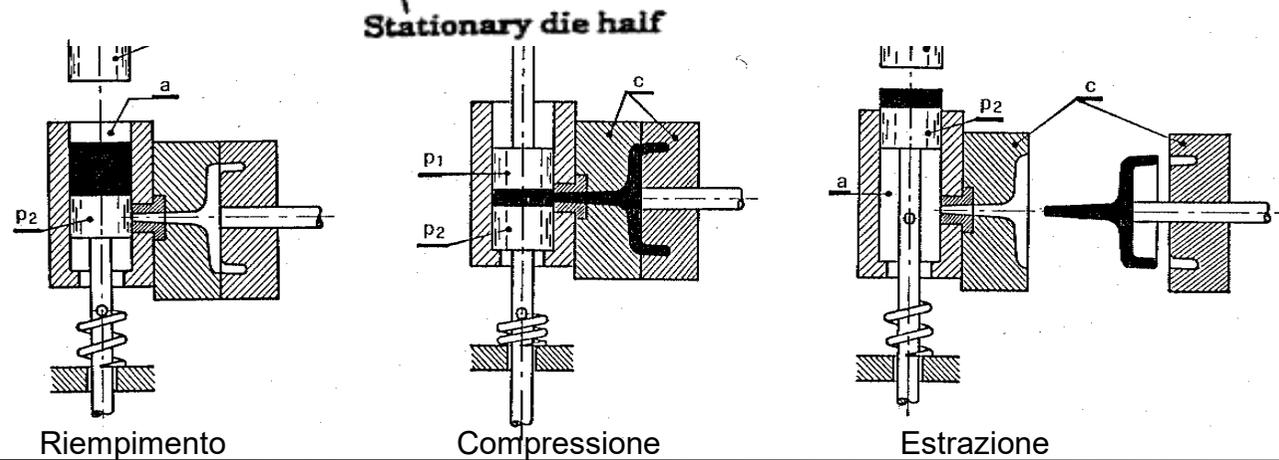


Pressofusione

Macchina a camera orizzontale



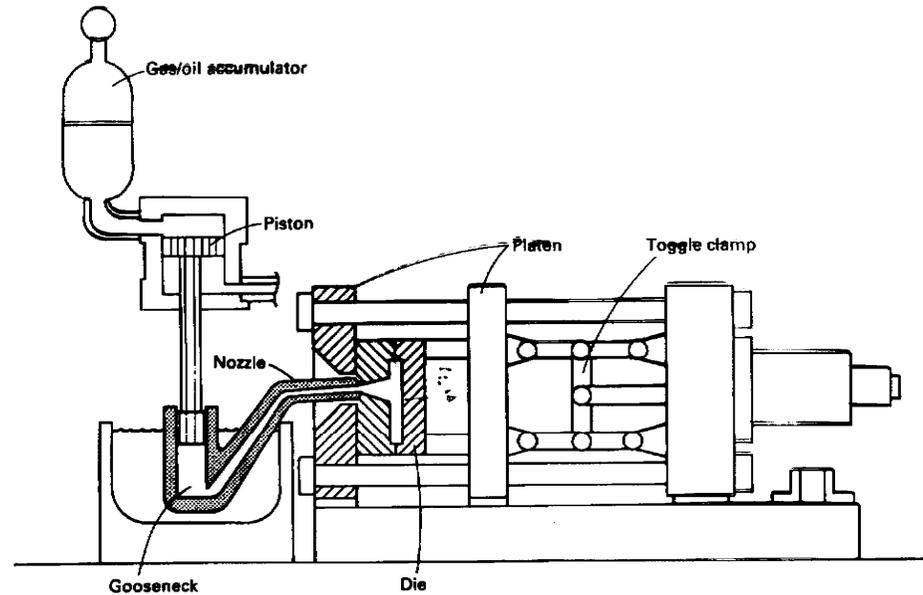
Macchina a camera verticale





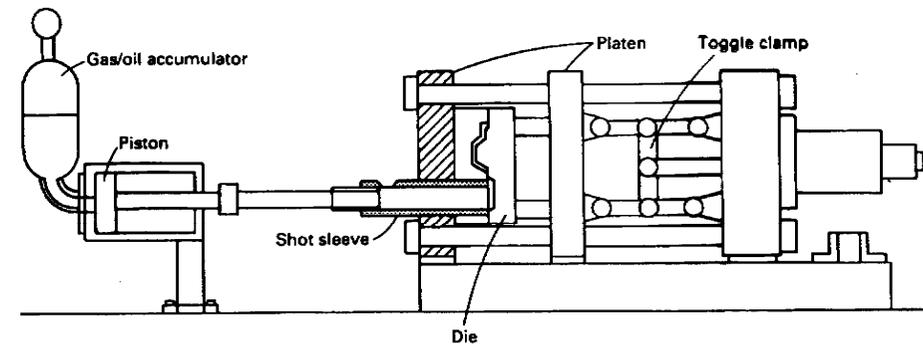
Struttura macchine

camera calda



Schematic showing the principal components of a hot chamber die casting machine

camera fredda



Schematic showing the principal components of a cold chamber die casting machine



## Colata centrifuga

Getti semplici e complicati

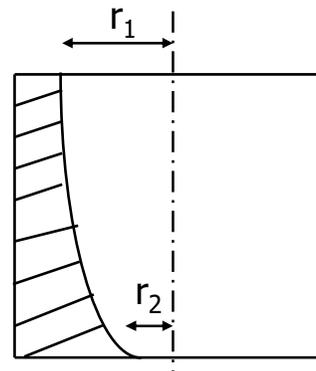
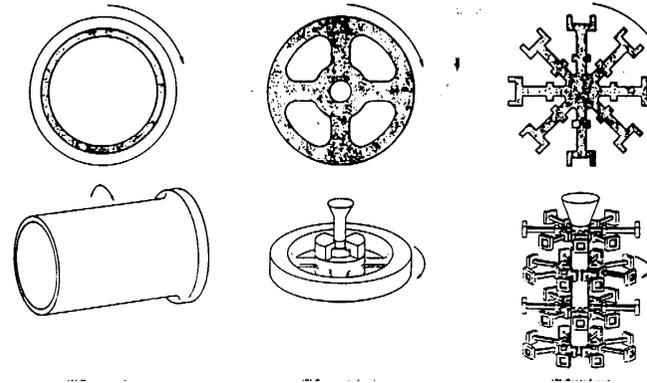
buone caratteristiche meccaniche  
buone finiture / tolleranze

velocità di rotazione:

$$\omega = 2 \pi n / 60 \quad a = \omega^2 r$$

$$\rightarrow n = 60 / 2 \pi \text{ SQR} ( a / r )$$

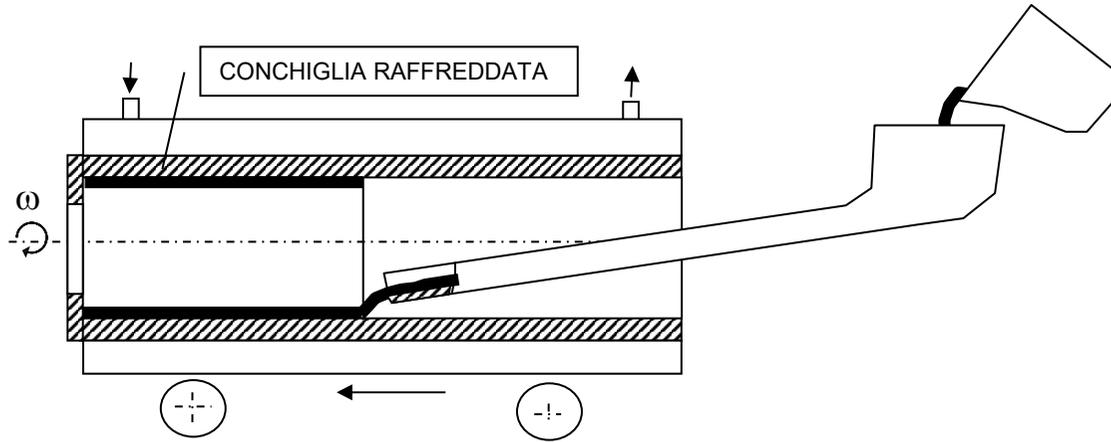
$$a \in [ 70 - 200 ] g$$



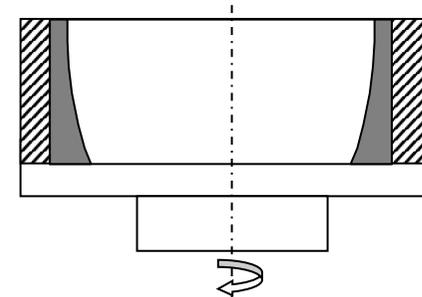
difetto di forma  
in colata verticale

relazione sperimentale:

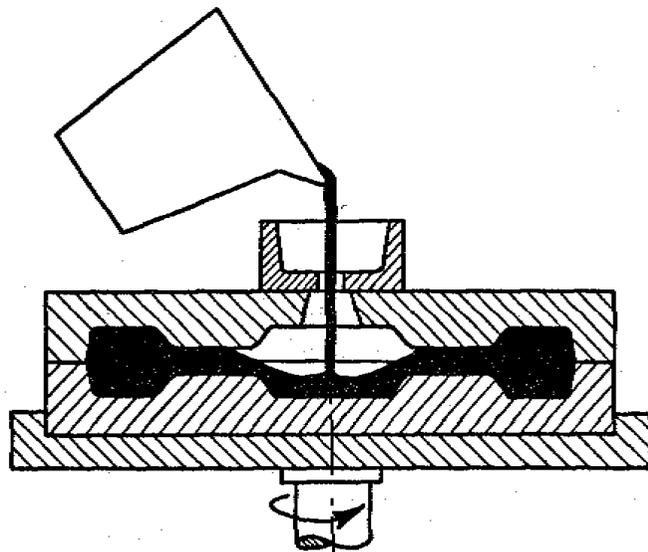
$$n = 42 \text{ SQR} [ h ( r_1^2 - r_2^2 ) ]$$



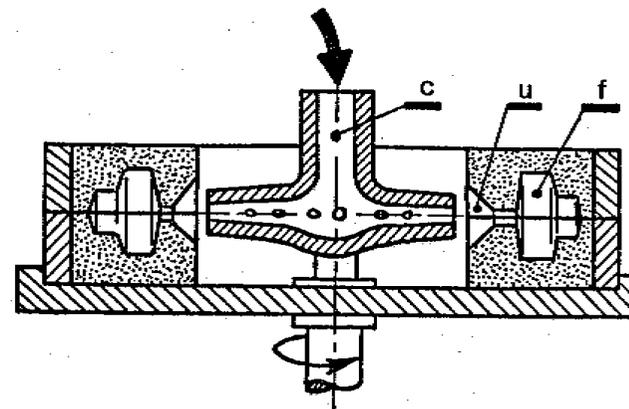
Colata centrifuga orizzontale



Colata centrifuga verticale



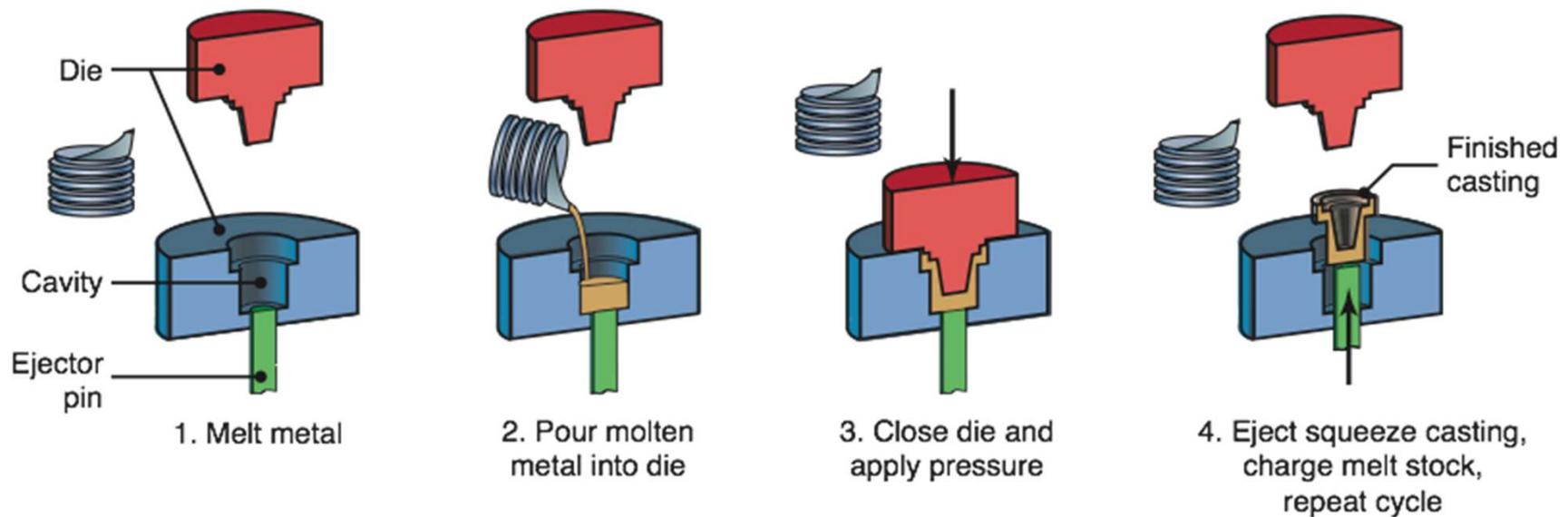
Colata semicentrifuga



con centrifugazione

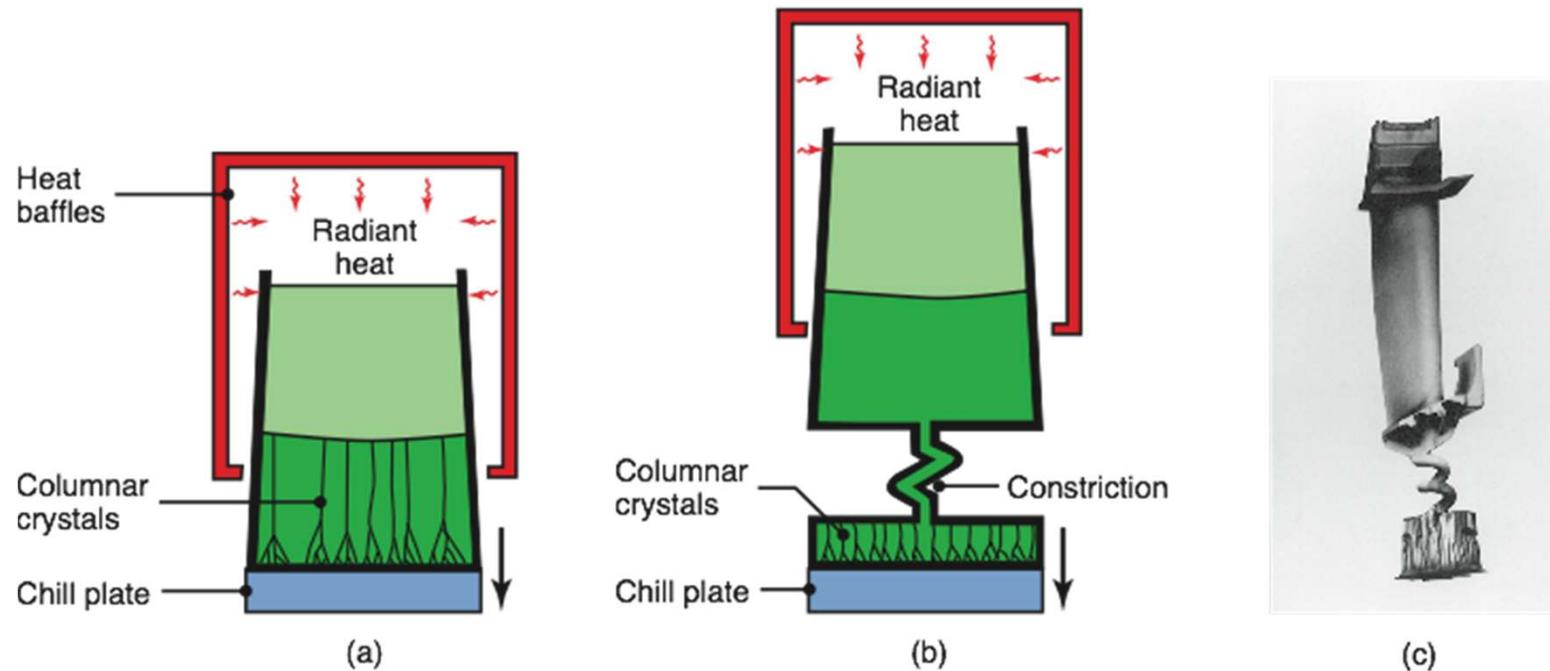


## Squeeze-Casting



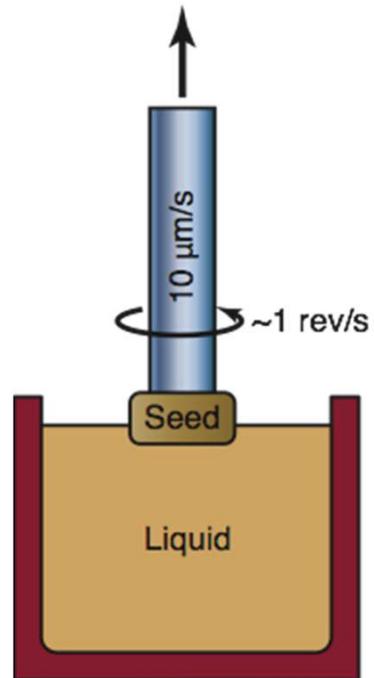
Sequenza delle operazioni nello squeeze casting, che combina i vantaggi della colata e della forgiatura

## Turbine Blade Casting

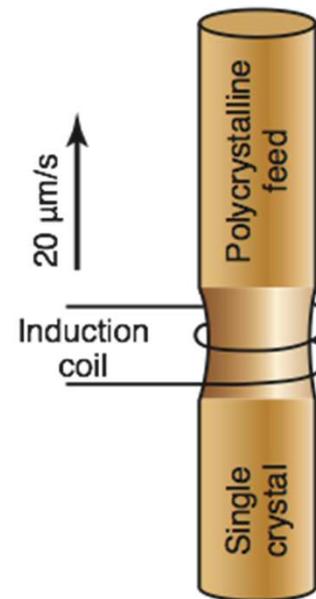


- a) solidificazione con direzione preferenziale di crescita
- b) metodo per produrre palette monocristalline

## Crescita monocristallina



(a)



(b)



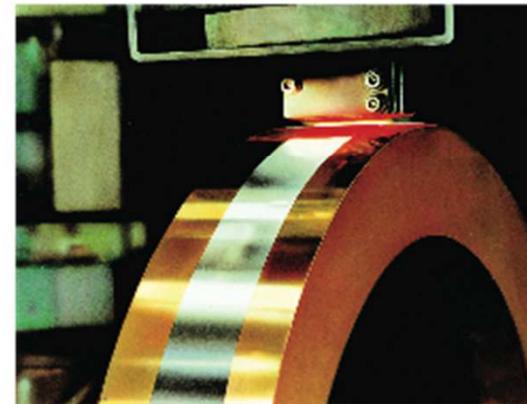
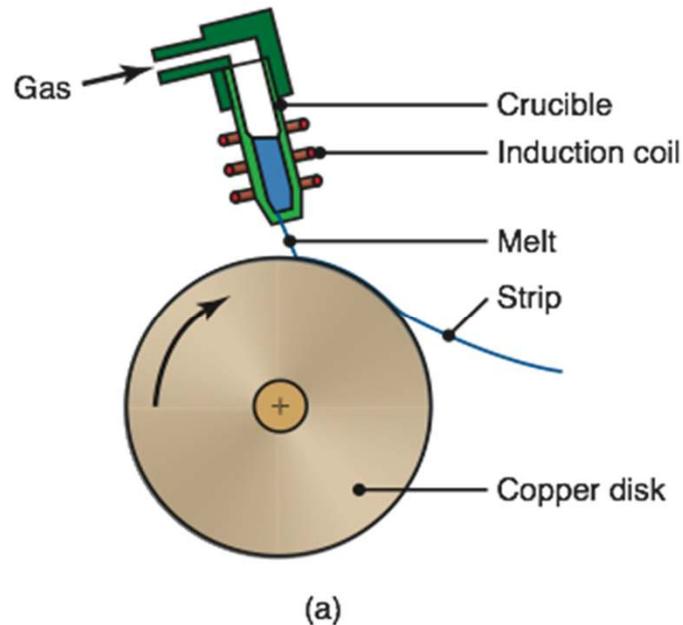
(c)

- a) Metodo Czochralski
- b) Metodo zona fusa flottante
- c) monocristallo di silicio

Questi metodi sono particolarmente usati nell'industria dei semiconduttori



## Melt-Spinning Process



L'elevatissima velocità di raffreddamento ( $10^5$ - $10^7$  °C/s) produce materiali amorfi (vetri metallici)