



Fonderia

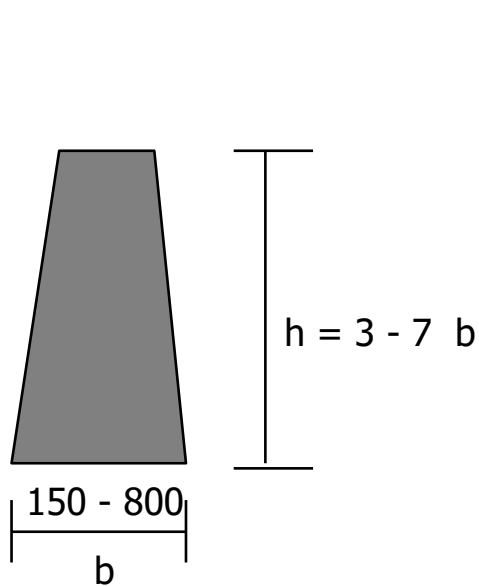
Ottenimento di un componente nella sua forma 'finale'
attraverso la colata di metallo liquido in un 'adeguato' contenitore

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

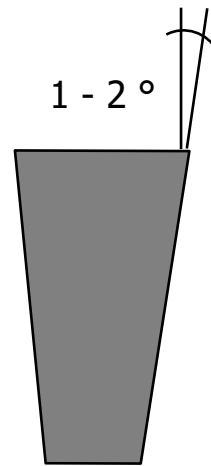


Lingotti

Blocchi di metallo destinati sempre a successive lavorazioni

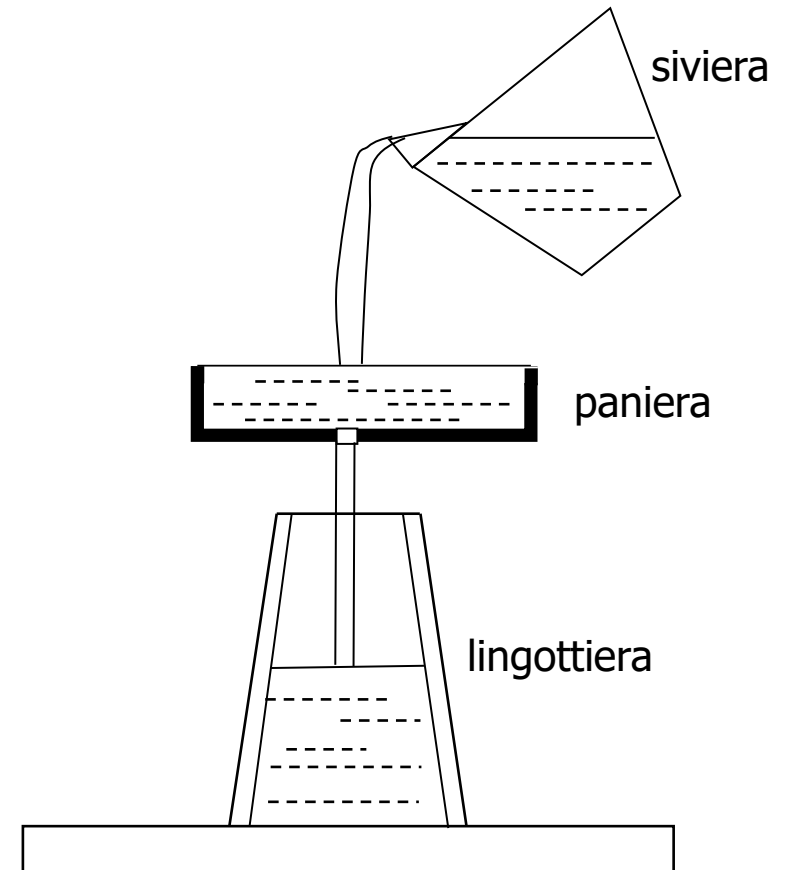


conicità diretta



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



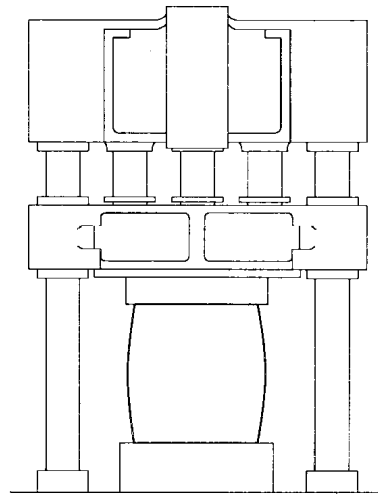


Riscaldamento



Forno a spinta

Sgrossatura

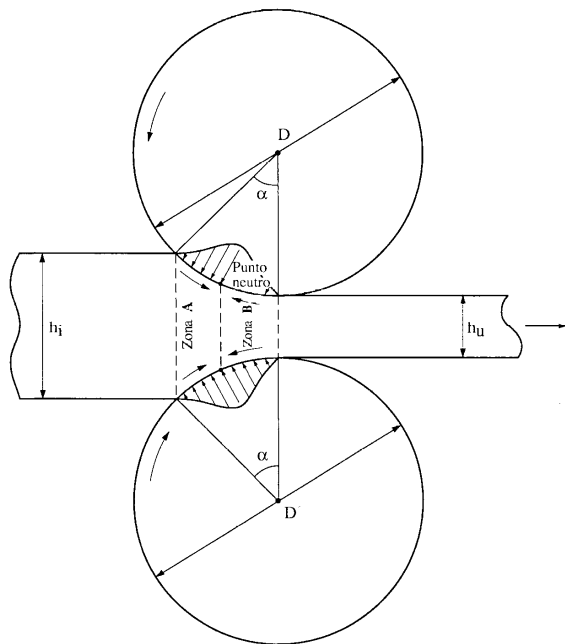


Pressa
idraulica



Semifinitura

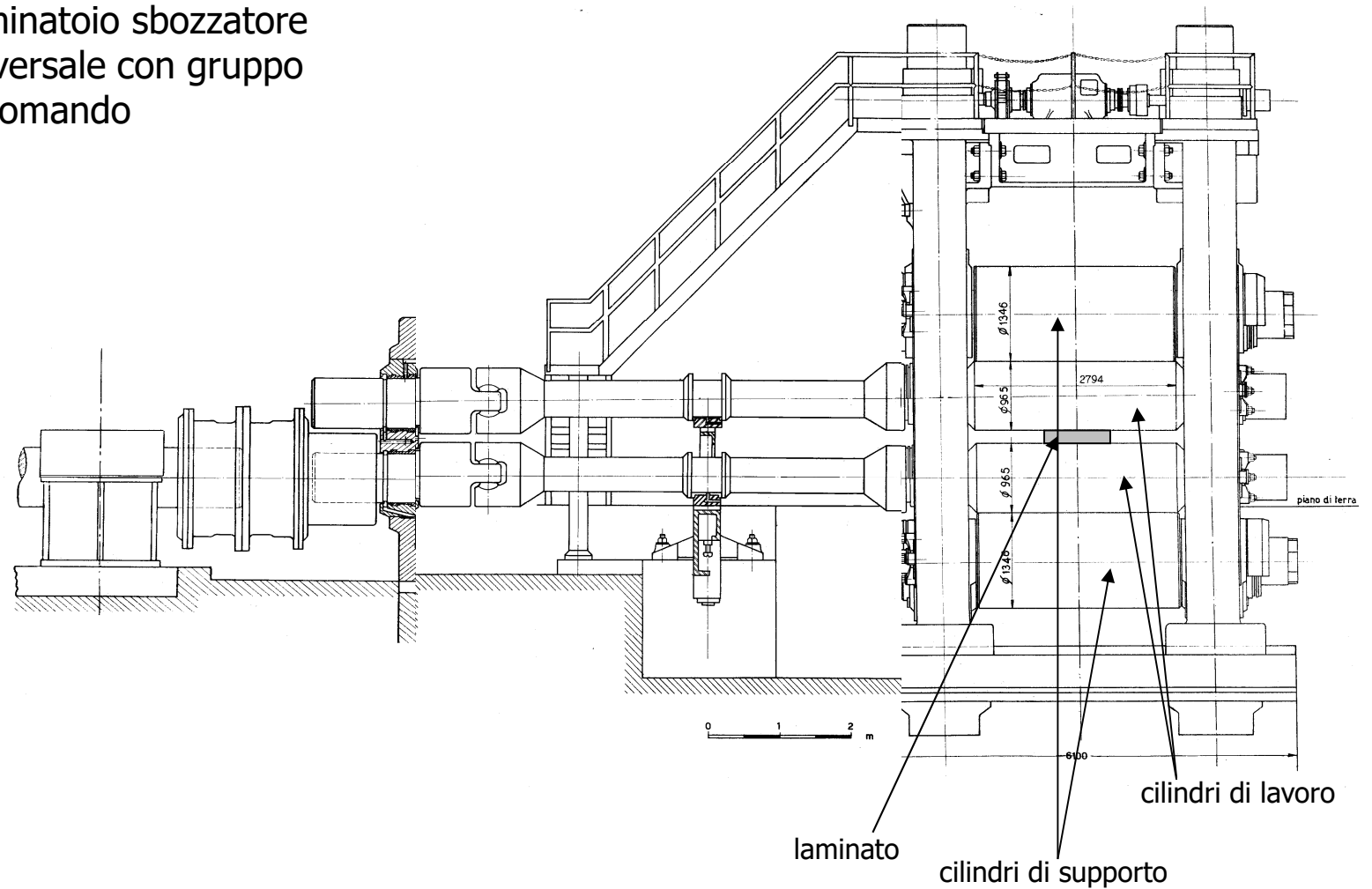
Laminatoio
a caldo



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

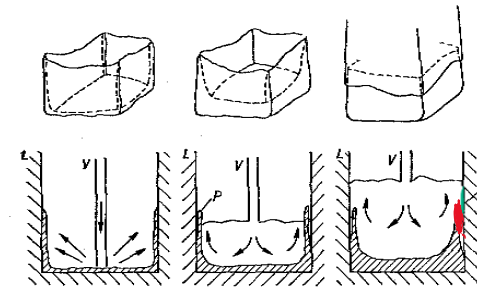
Saldatura

tubi
aghi

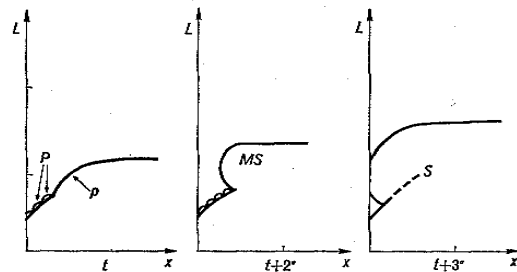


Tipici difetti in un lingotto

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

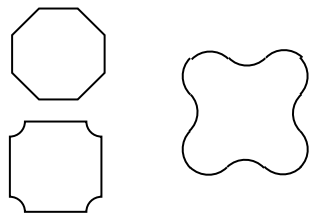
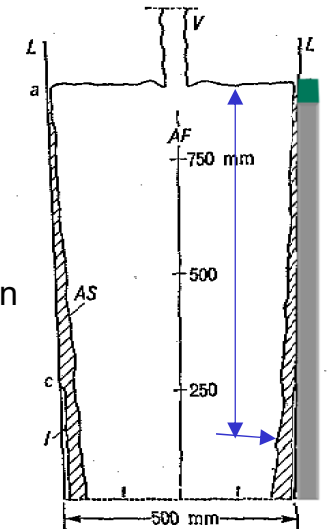


Spruzzi e formazione della doppia pelle



Formazione della ripresa di colata

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



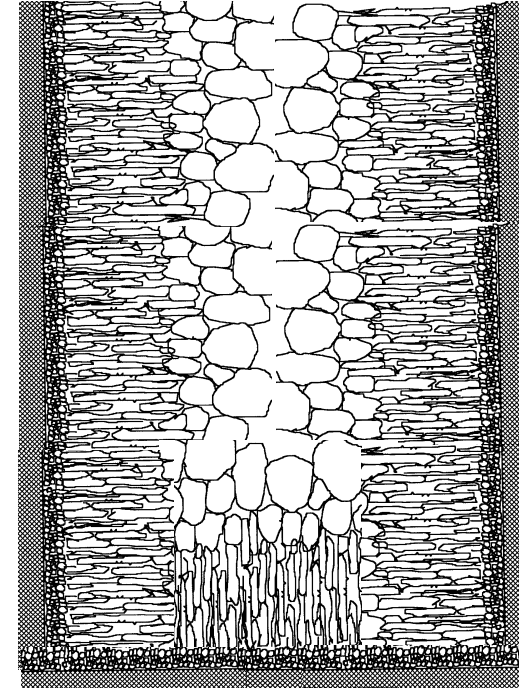
La tendenza a formare cricche è valutabile dal rapporto:
 velocità di aumento pressione / velocità di asportazione del calore =
 $\text{portata/sezione} / \text{perimetro/sezione} = Q/S / P/S = Q/P$
 Quindi, per ridurre il pericolo dei cretti si impiega una sezione ondulata (quadrangolare, ottagonale,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

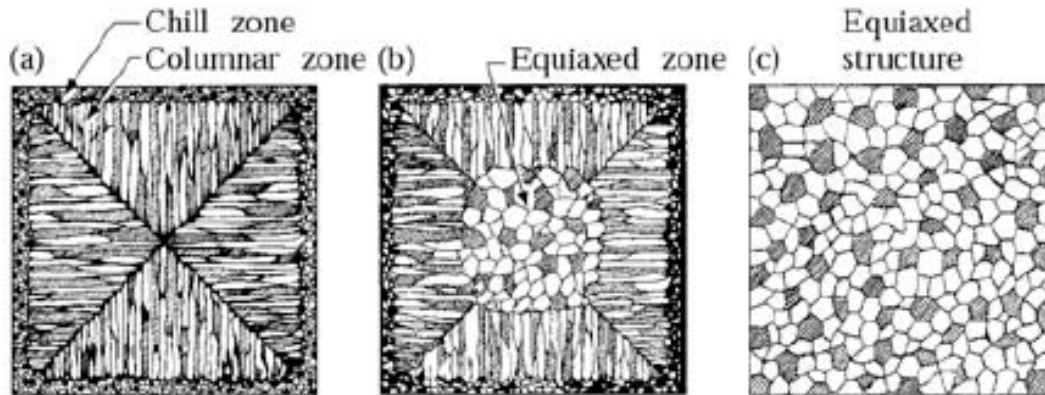


Tipica struttura finale di un lingotto

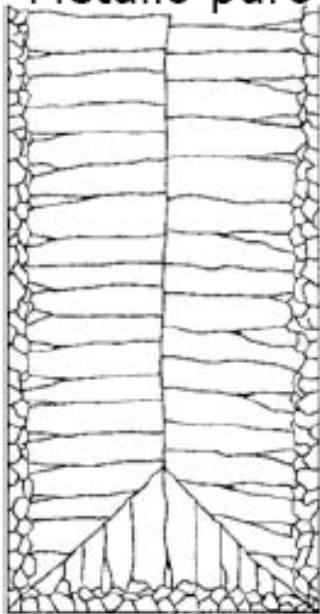
È auspicabile avere:

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

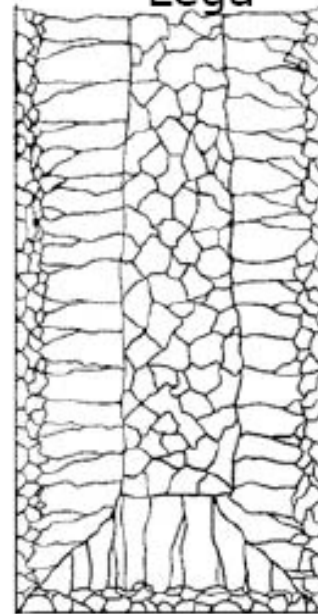




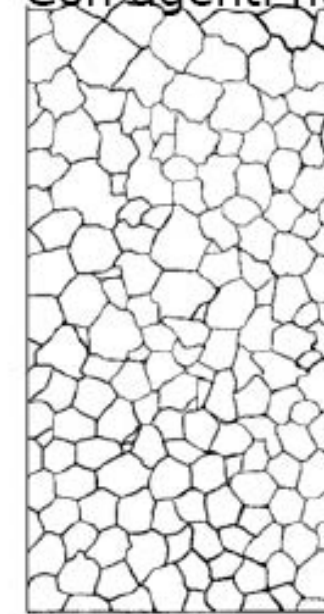
Metallo puro



Lega



Con agenti nucleanti

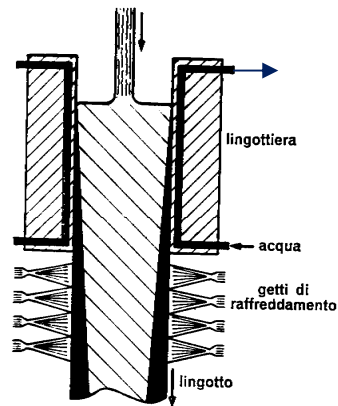
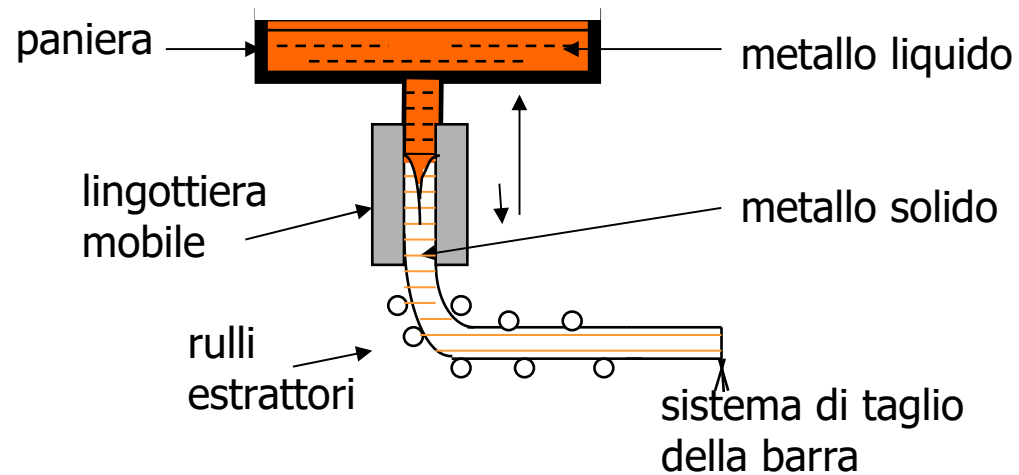


Con diverse composizioni chimiche è comunque possibile influenzare la struttura microcristallina e quindi il comportamento macroscopico



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

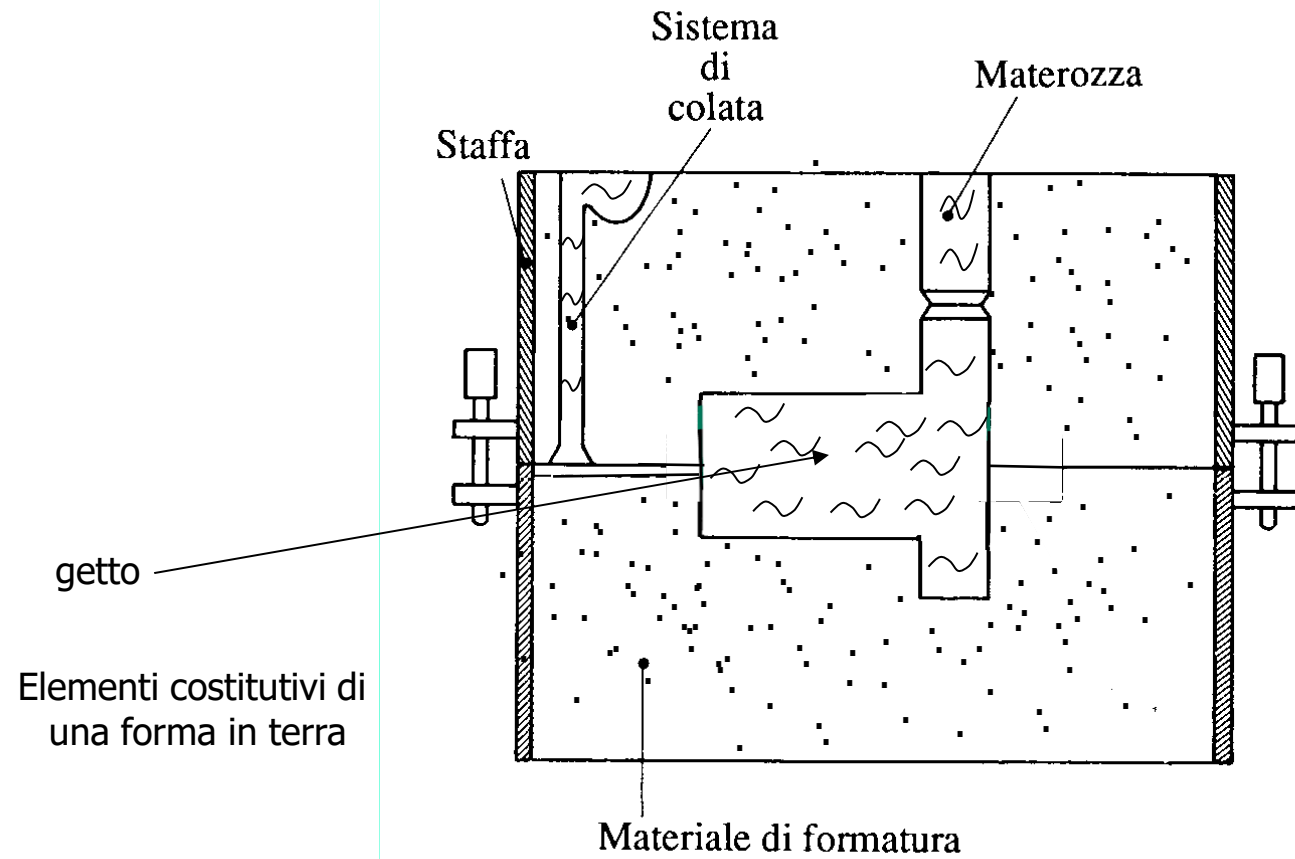


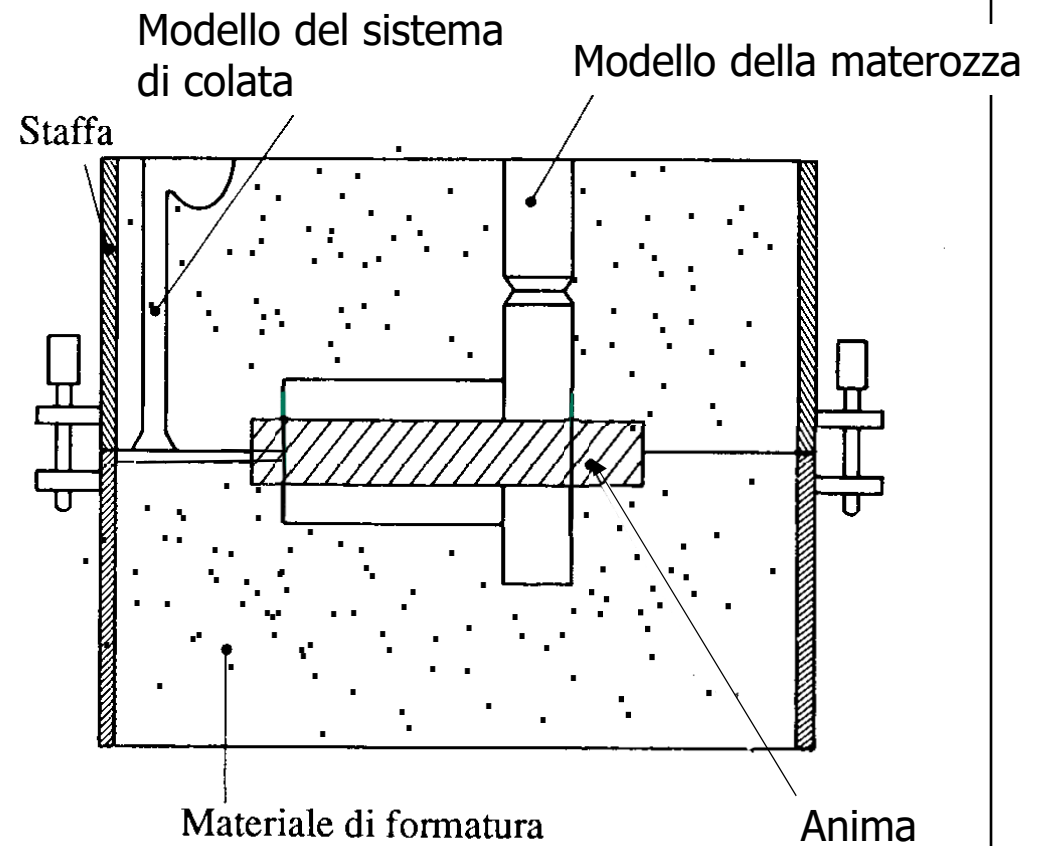


Colata in terra (forma transitoria)

Getti finiti a meno di:

- trattamenti termici
- lavorazioni di finitura







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

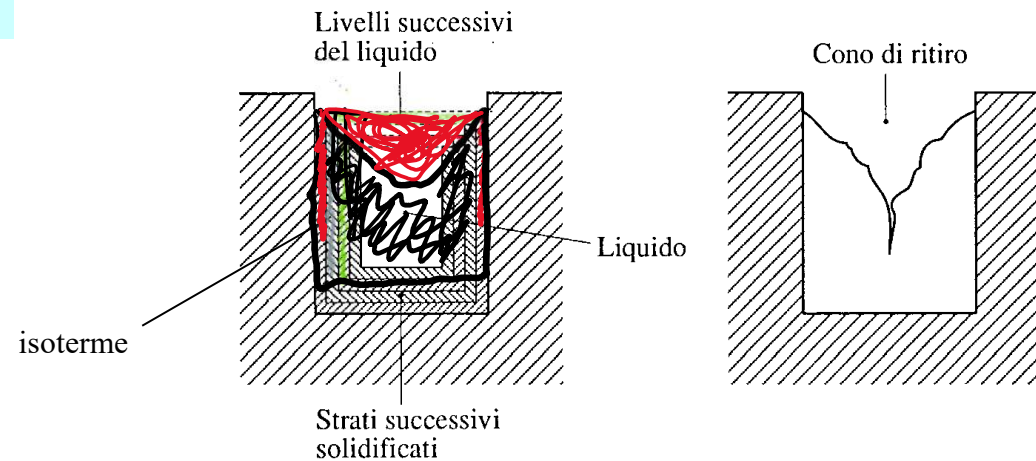
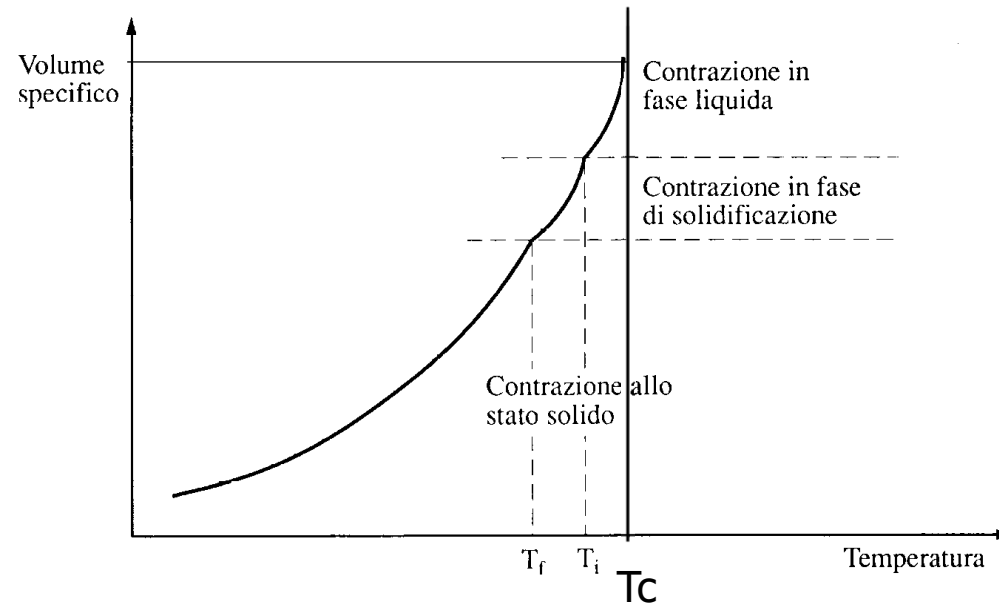
fusione del metallo
sistema di colata

PROGETTAZIONE DEL MODELLO

Il ritiro

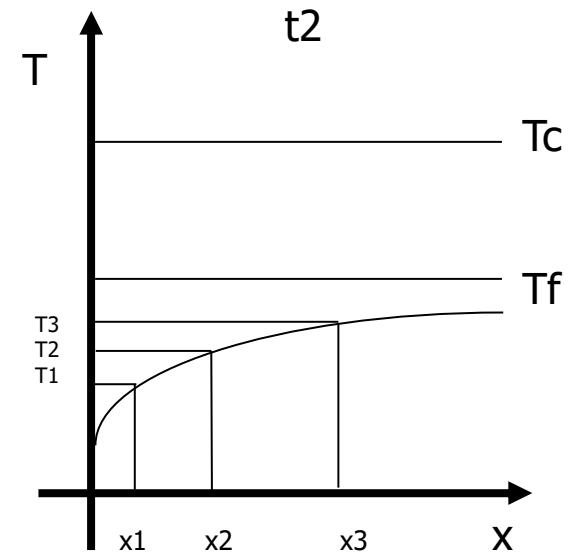
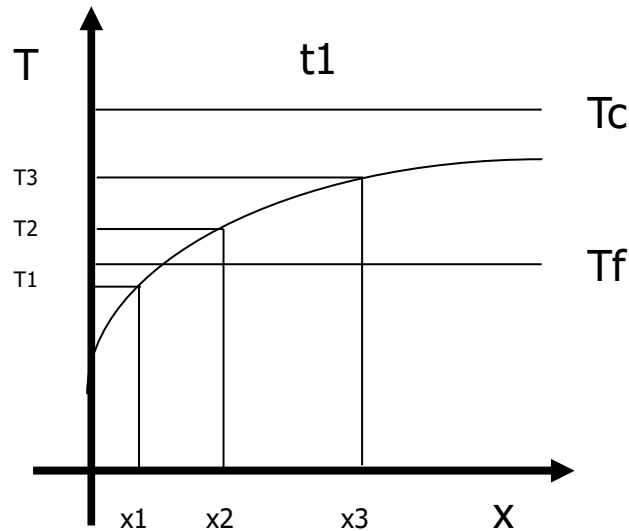
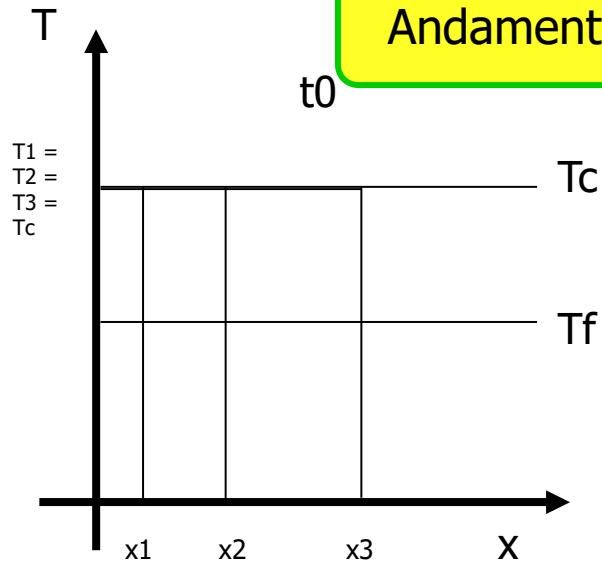
Se ne tiene conto con:

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





Andamento della temperatura nel tempo e nello spazio

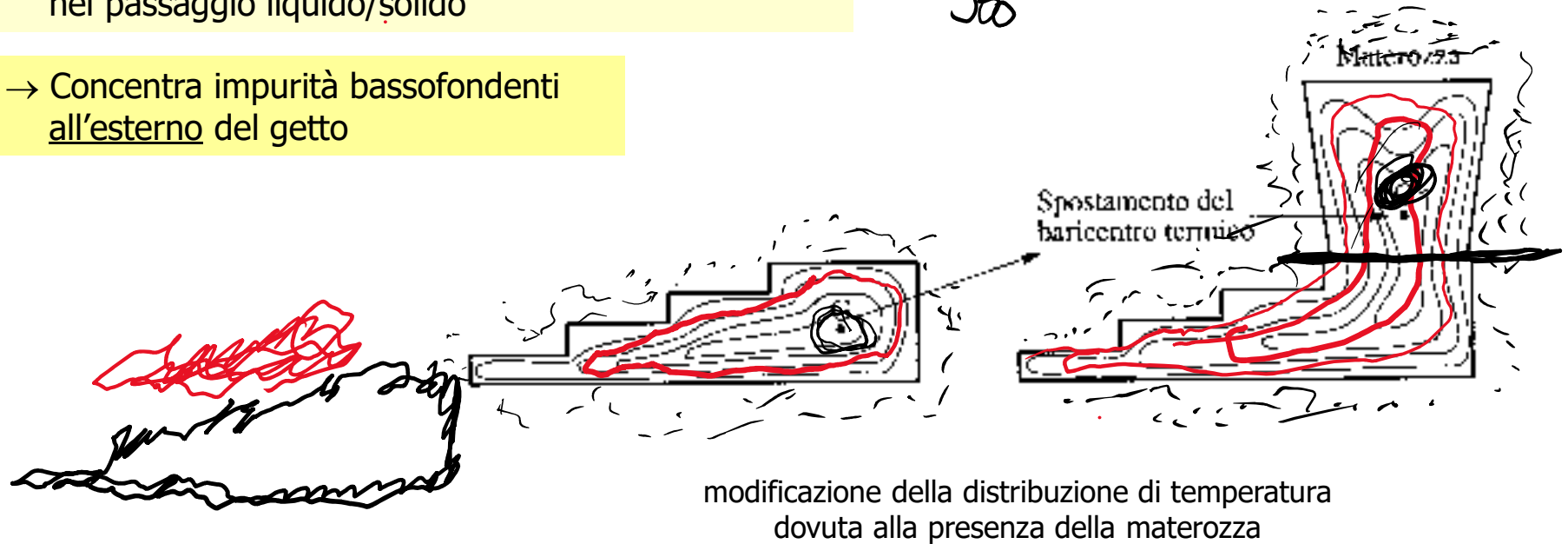
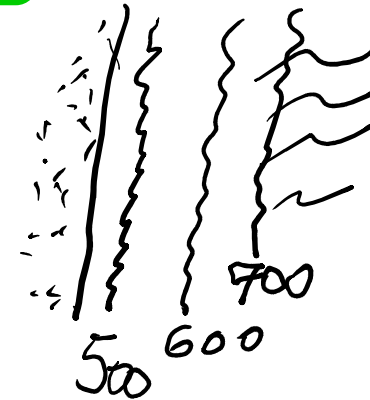


Materozza

→ 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





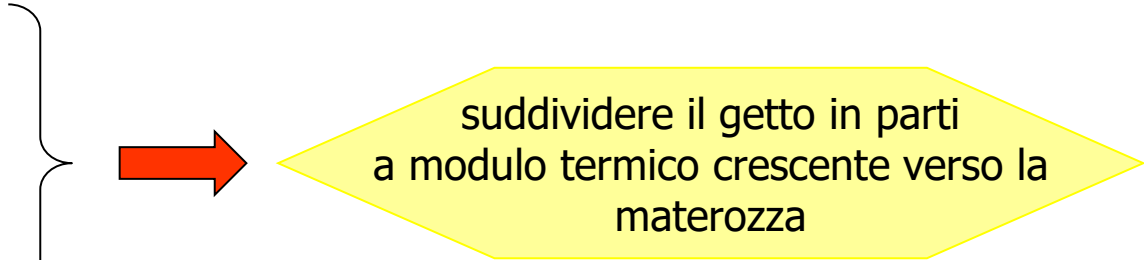
Solidificazione direzionale

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

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

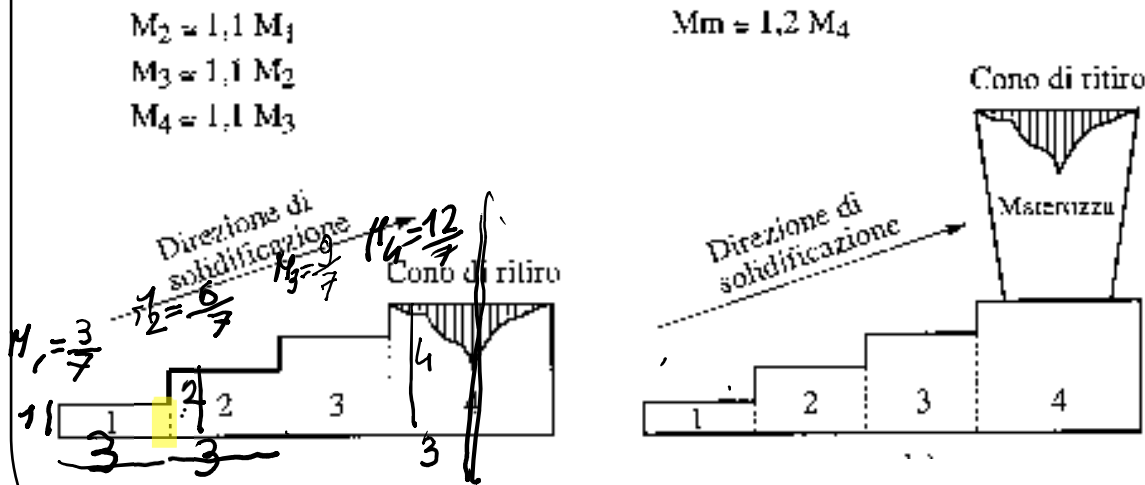
$$k = 0.8 - 1.1$$

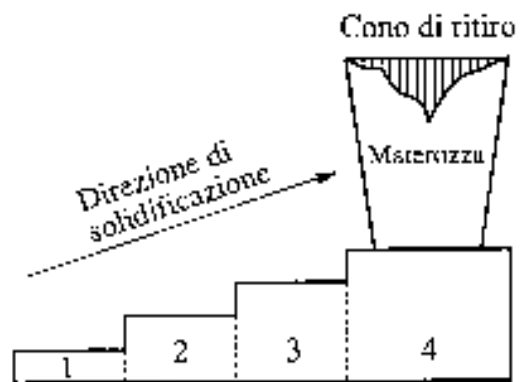
- Modulo termico: $V / S = M$

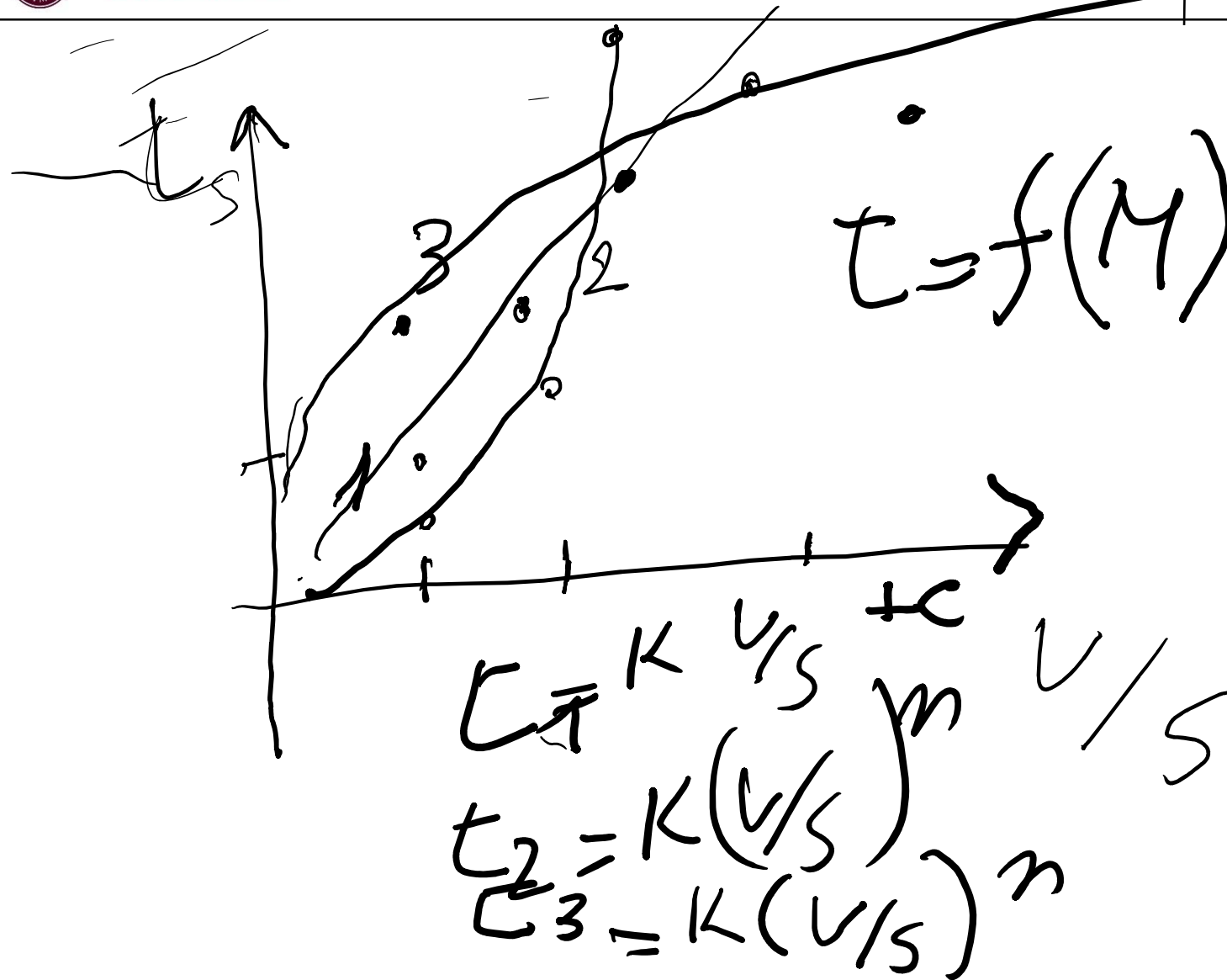


Regola empirica:

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

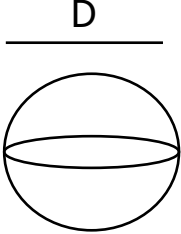
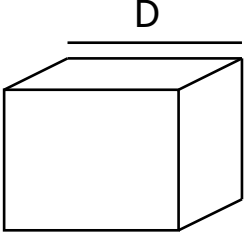
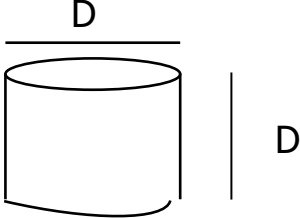






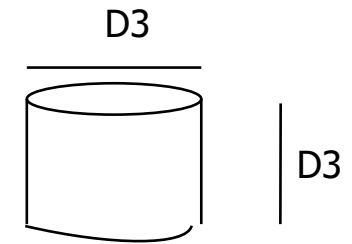
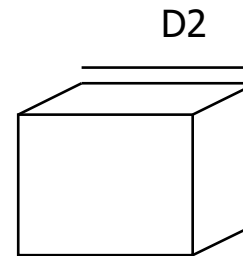
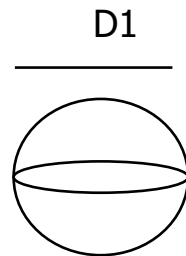


..alcuni esempi:

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



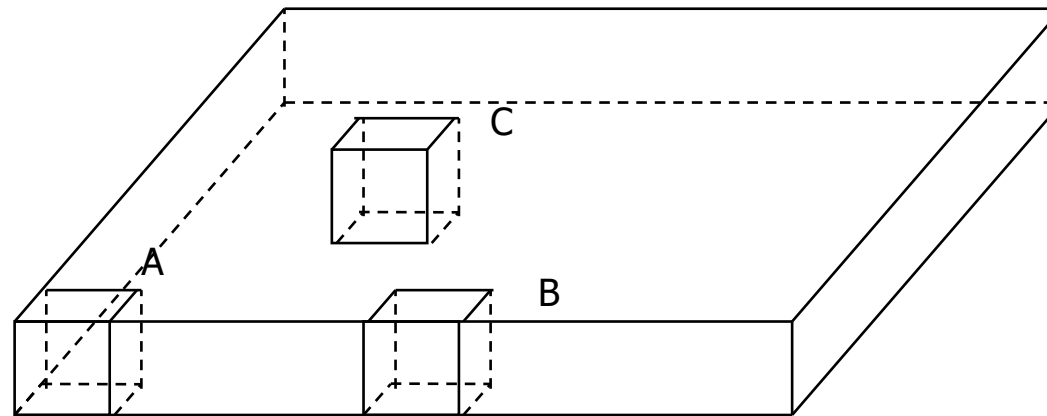
..ancora:



V	1	1	1
Di	1.2	1	1.1
S	4.5	6	5.5
M	0.22	0.16	0.18



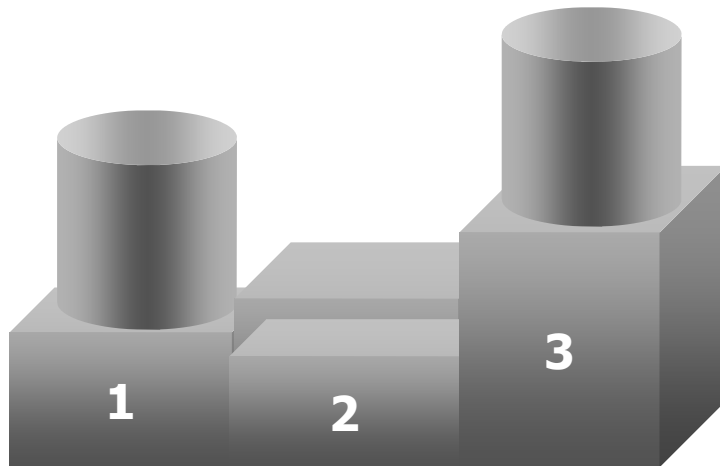
un altro esempio:



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

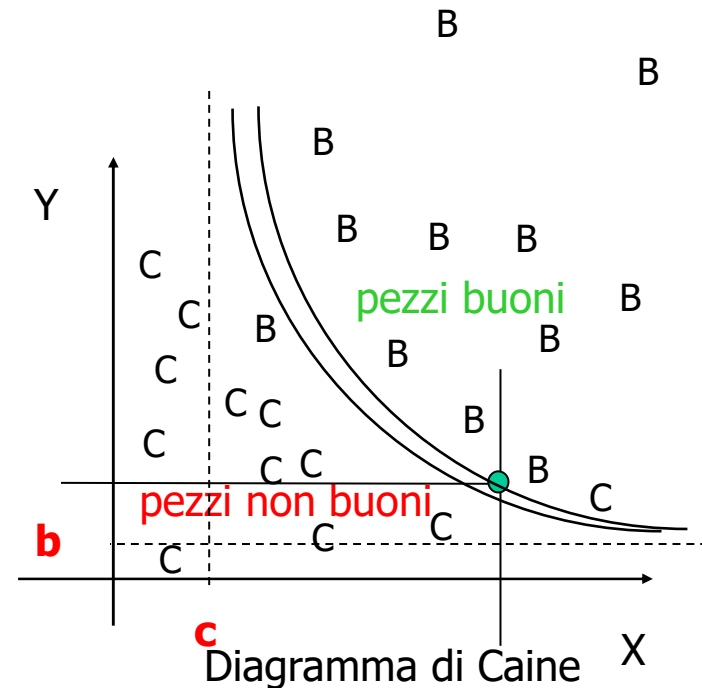
Modulo dell'ultima parte a solidificare prima della materozza

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

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

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

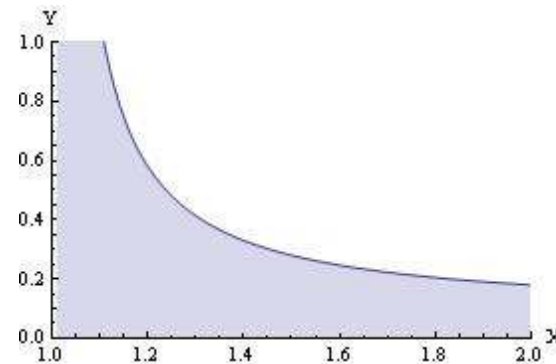
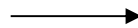
b = ritiro in fase di solidificazione liquida / solido: rappresenta il minimo valore di y quando $x \rightarrow \infty$

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 (≈ 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

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

$$V_g = 6949$$

$$N_{mat} = 2$$

$$H_{staffa} = 160$$

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

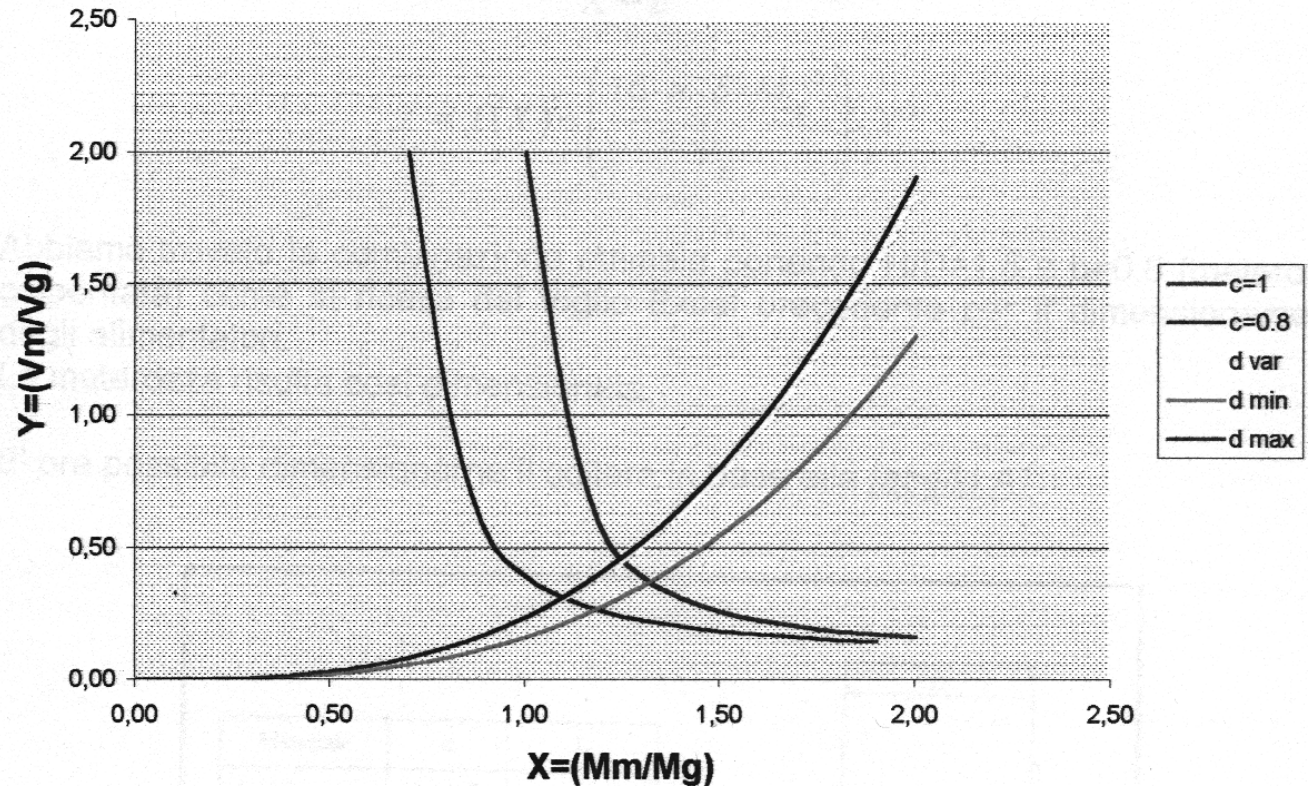
coibentate

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





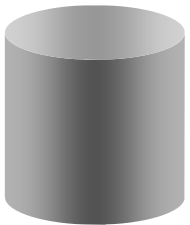
Soluzione semplificata e approssimata

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

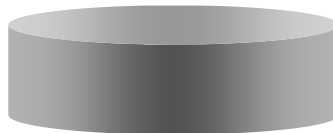
Il volume si stabilisce con Cain

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

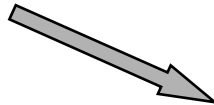
Tfs → Ta

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

La forma ha modificato le
sue dimensioni

Il metallo si ritira in modo
dipendente anche
dalla configurazione geometrica

Le anime funzionano
da vincoli



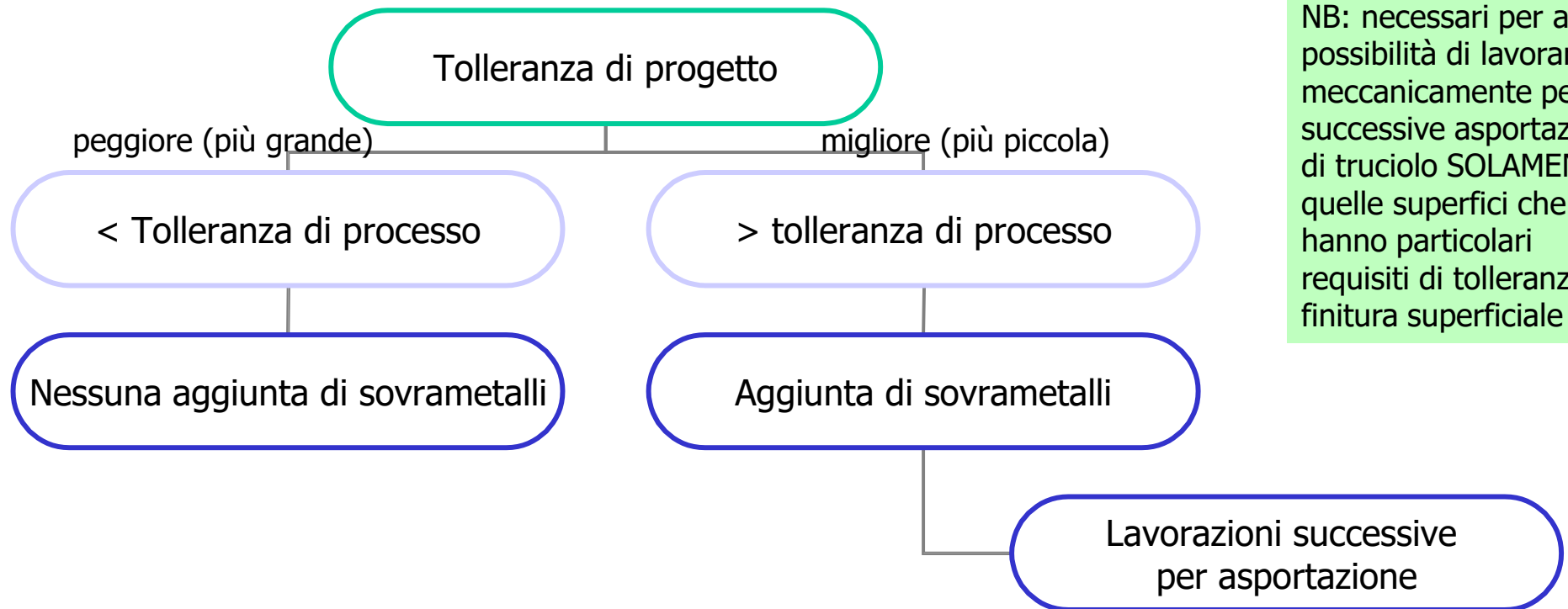
Ritiri lineari per getti colati in sabbia (valori indicativi)

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 μm

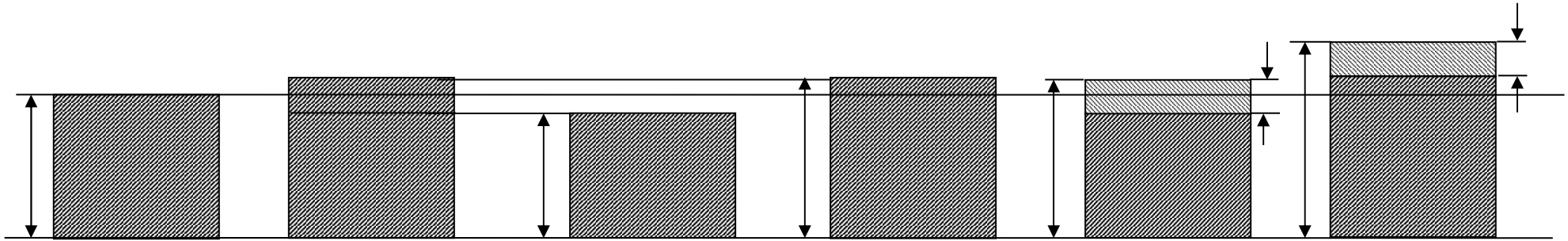


Sovrametalli nominali in mm

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

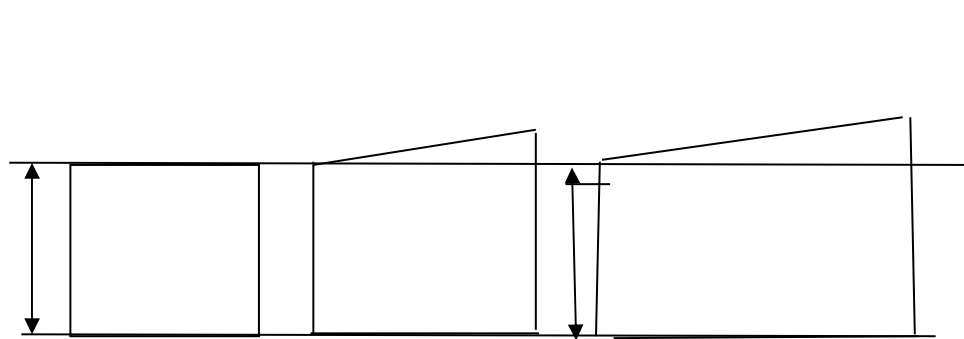
Tolleranza
intrinseca
del processo

Caso 1

Caso 2

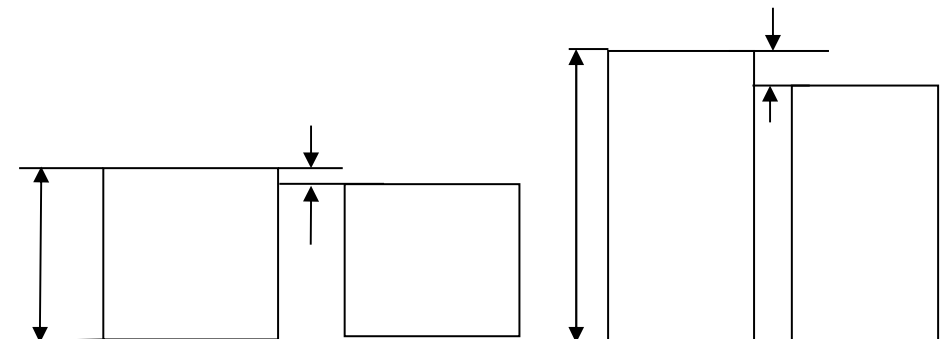
Caso 1 con
sovrametallo

Caso 2 con
sovrametallo



Effetto dimensioni massime

errore = 1° di inclinazione



Effetto della dimensione da lavorare

errore = 1% sul ritiro

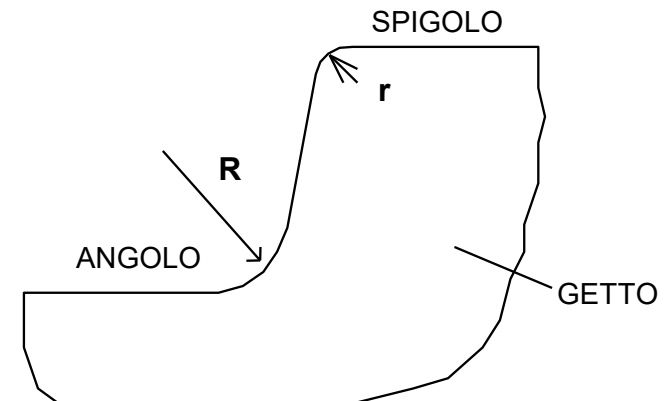
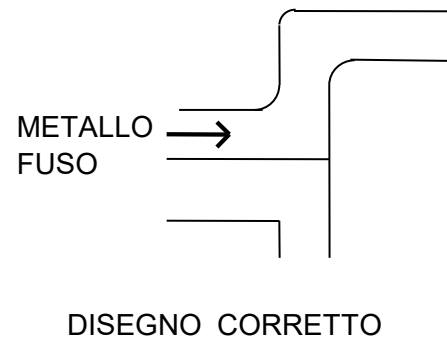
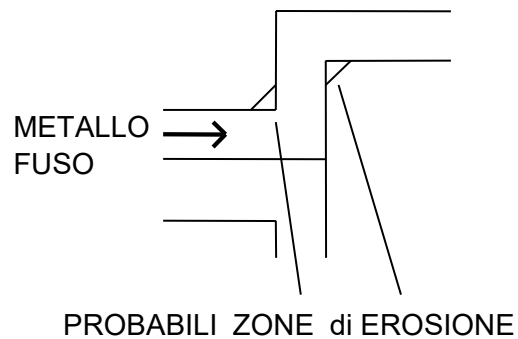


Raggi di raccordo

per ridurre erosione della forma
durante la colata

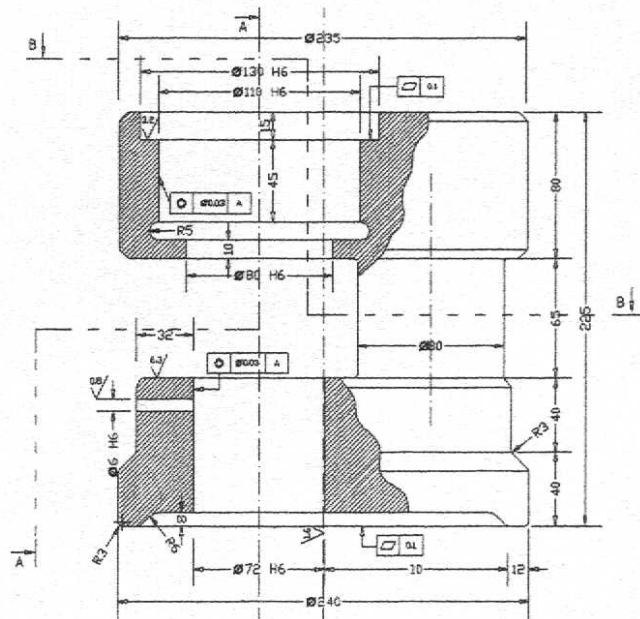
per ridurre rischi di rottura
durante la solidificazione

per ridurre concentrazioni
di tensioni durante l'uso



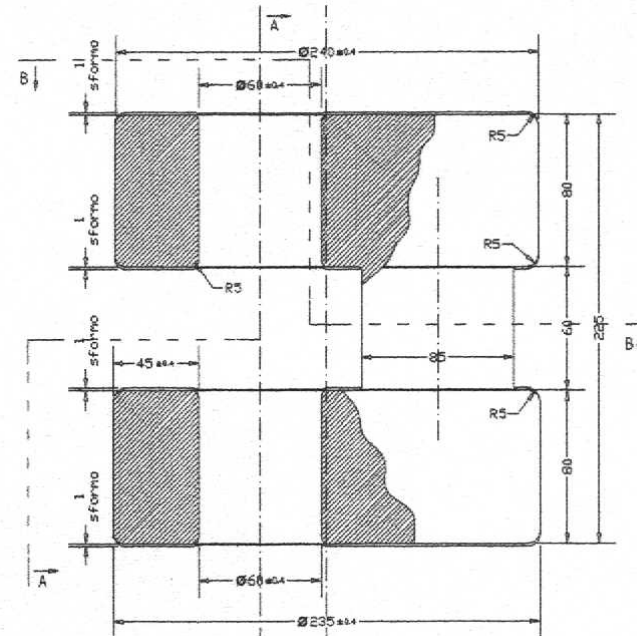
Diverse condizioni per angoli e spigoli

finito



12.5/ (✓)

modello



Il modello è «quasi» uguale al getto.

Ne differisce per tener conto di:

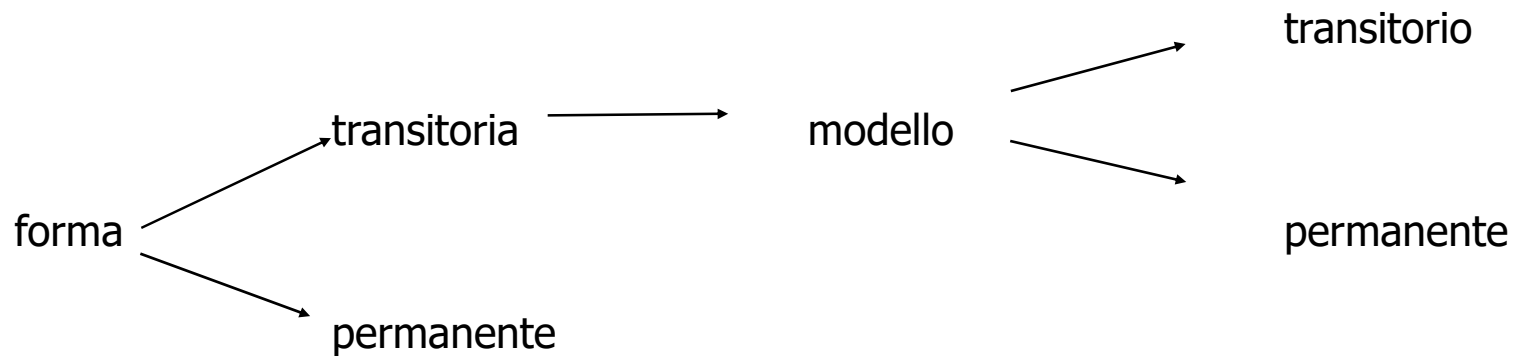
- solidificazione direzionale
- ritiro in fase solida
- sovrametalli di lavorazione
- raggi di raccordo
- piano di separazione (vedi in seguito)
- portate d'anima (vedi in seguito)

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

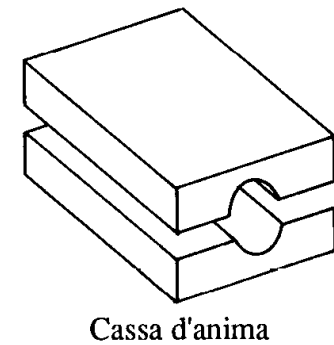
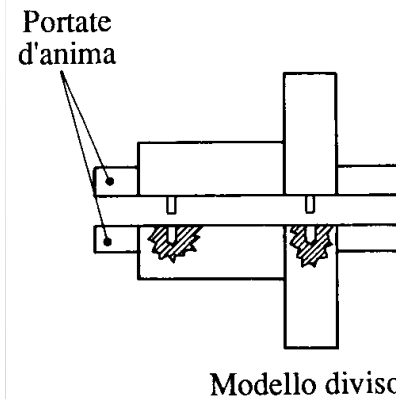
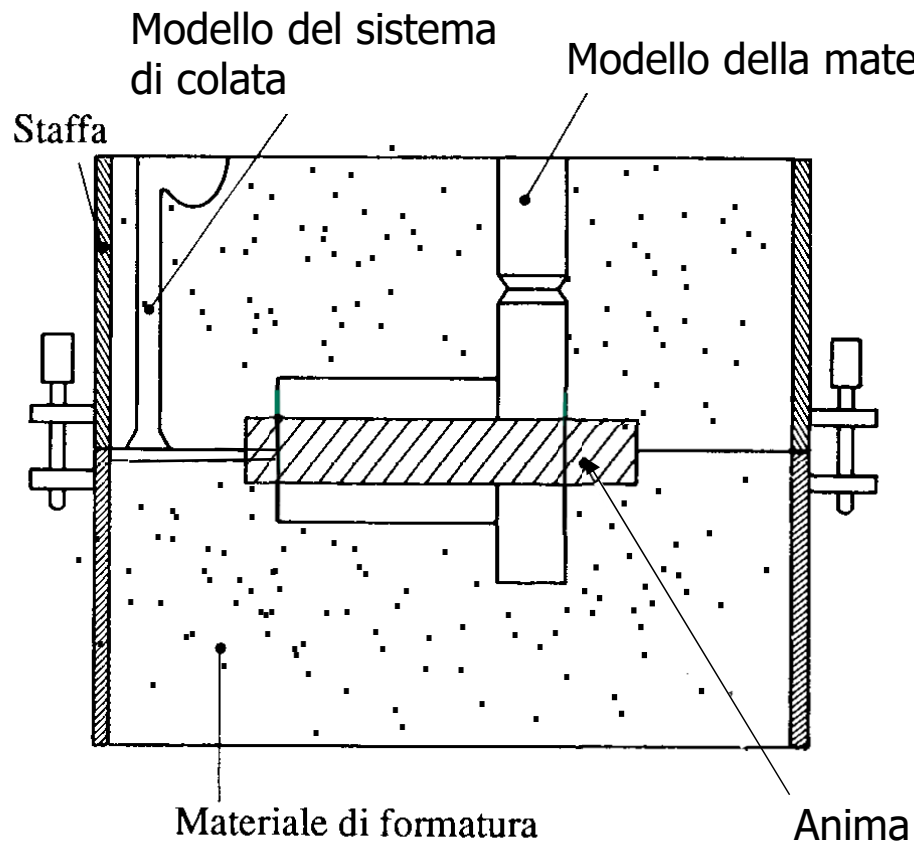
materiali: terra di fonderia
piano di separazione

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

materiale metallico
angoli di sforno



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.

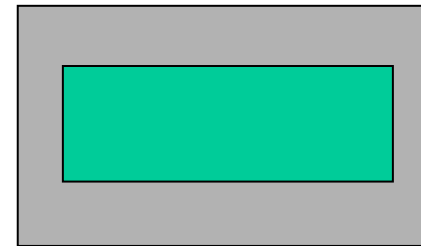


Scelta del piano di separazione

modello
dell'oggetto
da produrre

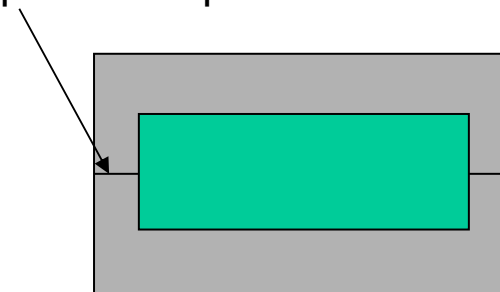


modello all'interno della staffa



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

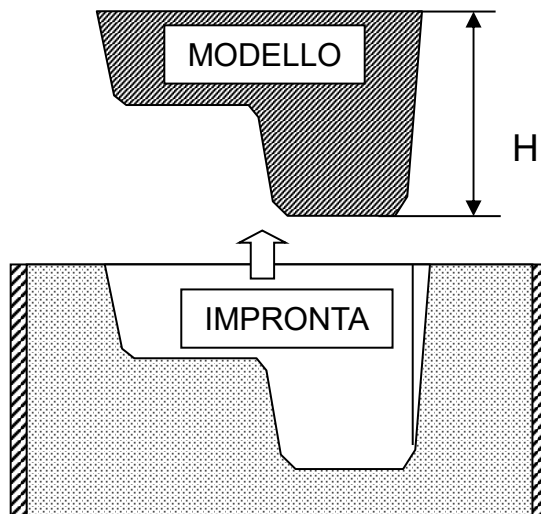
piano di separazione delle staffe



Angoli di sformo

VALORI DELLO SFORMO s in mm e in %
dell' ANGOLO di SFORMO β

per permettere
estrazione del modello



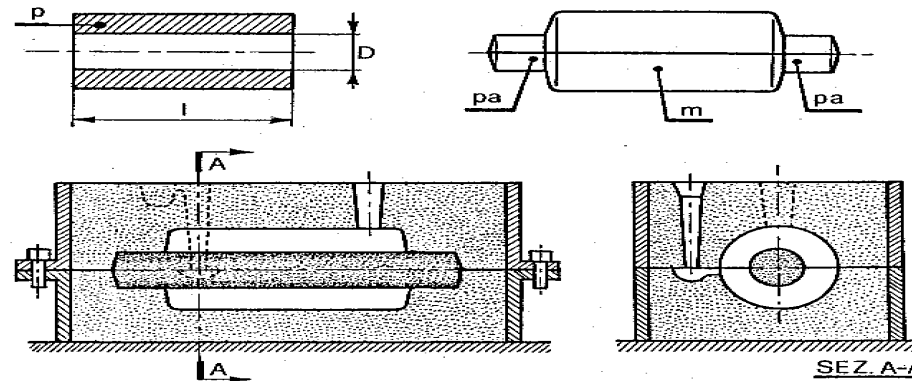
ALTEZZA del MODELLO (mm)	SFORMO		Angolo di sformo β
	s (mm)	(%)	
fino a 40	0.5	1.25	1'30"
40 - 59	0.75	1.8 - 1.2	1'
60 - 119	1	1.7 - 0.8	40"
120 - 159	1.5	1.7 - 0.8	40"
160 - 199	1.75	1.1 - 0.9	40"
200 - 249	2	1.0 - 0.8	30"
250 - 299	2.5	1.0 - 0.8	30"
300 - 399	3	1.0 - 0.75	30"
400 - 499	3.5	0.9 - 0.8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

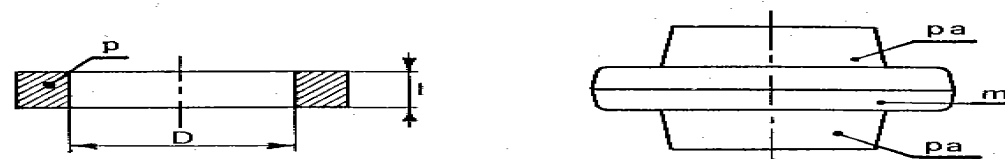
Il modello deve essere modificato per una necessità tecnologica



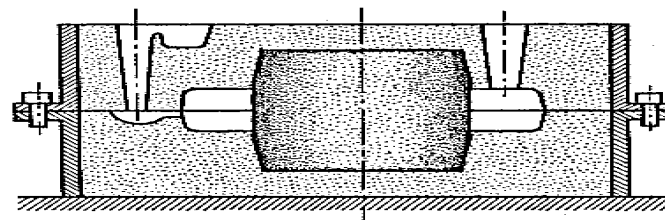
Disposizione dell'impronta nella forma



$L/D \gg 1$



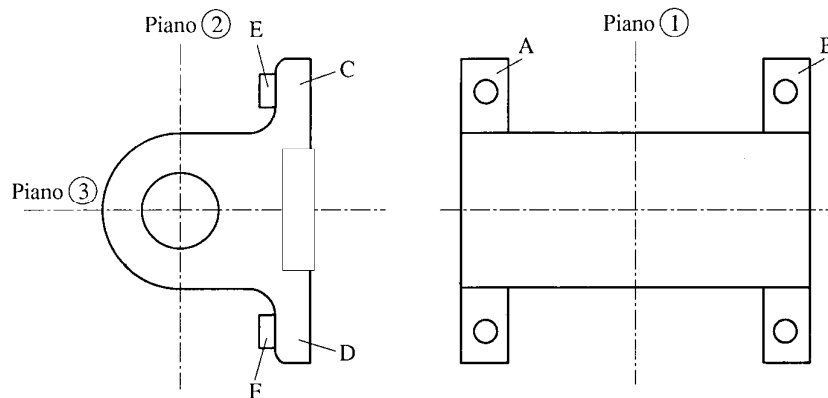
$L/D \ll 1$



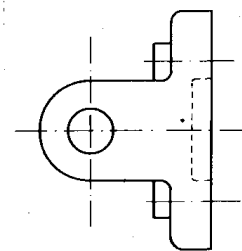


Eliminazione sottosquadri

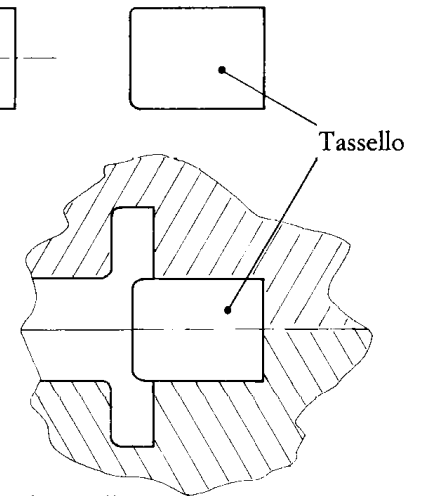
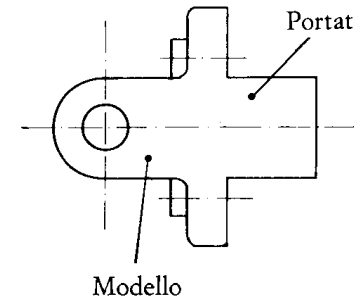
problema



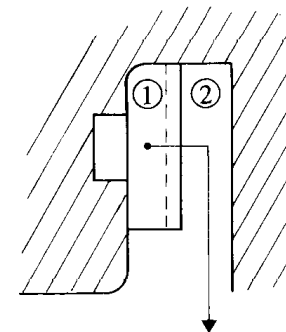
soluzioni



Soluzione a: Formaggele alla francese ed eliminazione parte tratteggiata



Soluzione b: Uso di tasselli



Direzione di estrazione di 1

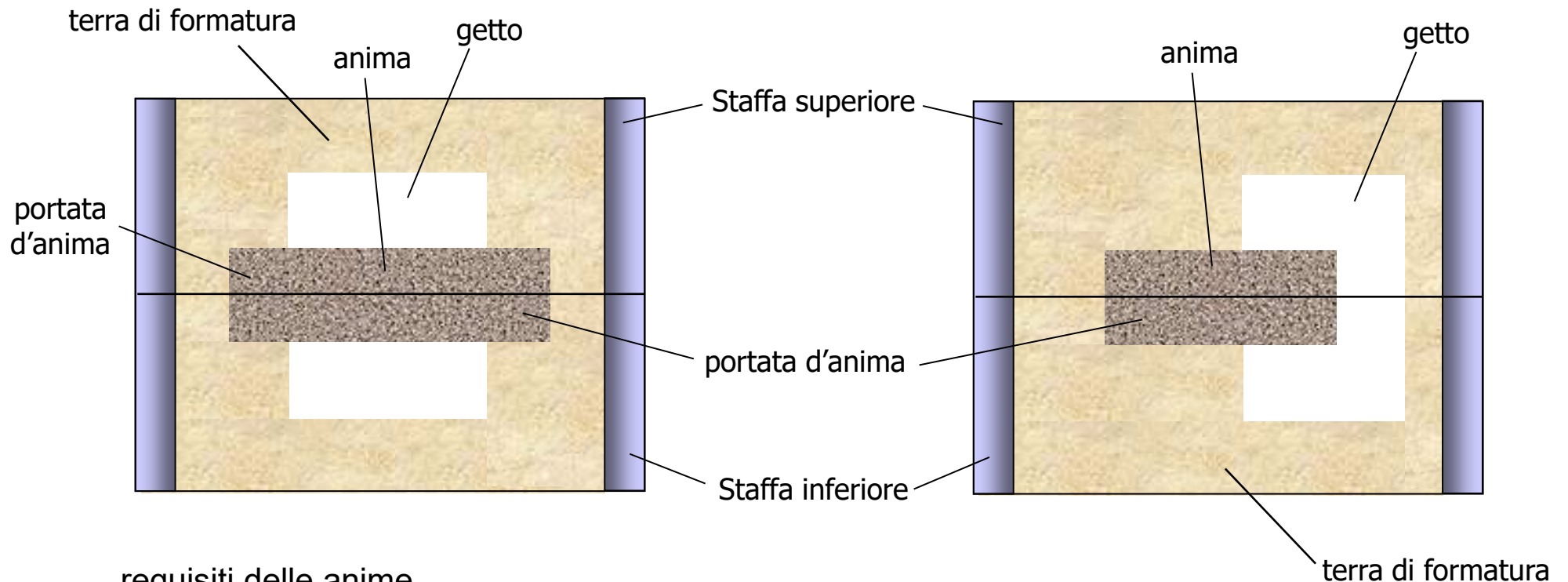
Soluzione c: Modello scomponibile in 1 e 2

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



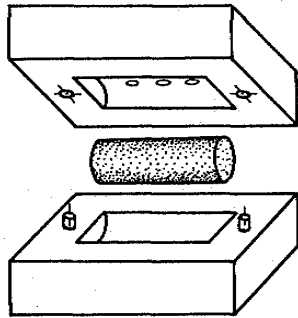
requisiti delle anime

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

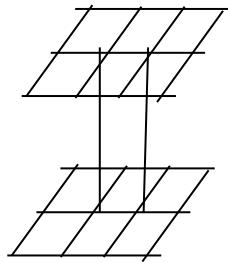
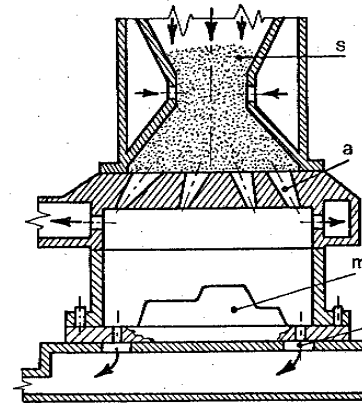


realizzazione delle anime

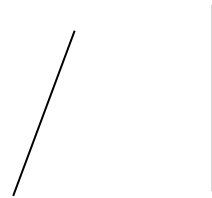
cassa d'anima



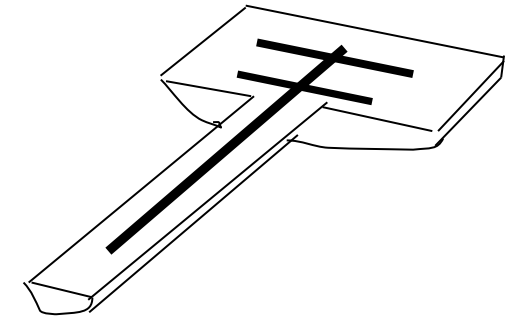
soffiaggio delle anime



armatura



armature semplici



tirate d'aria interne
all'anima



dimensionamento delle anime

In funzione di

- diametro
- lunghezza
- spessore della parete del getto

$$D < 2S$$

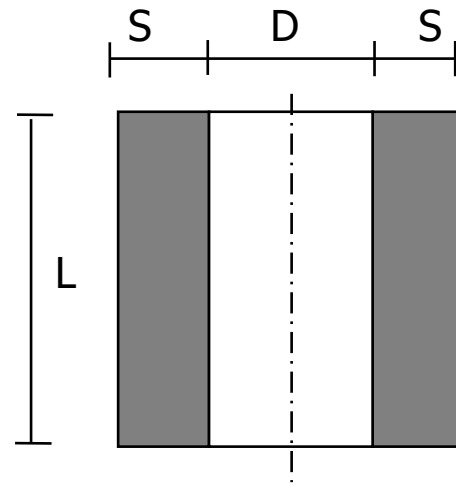
se $L \leq D$

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

se $L \leq 3D$

$$3S \leq D$$

se $L \leq 5D$

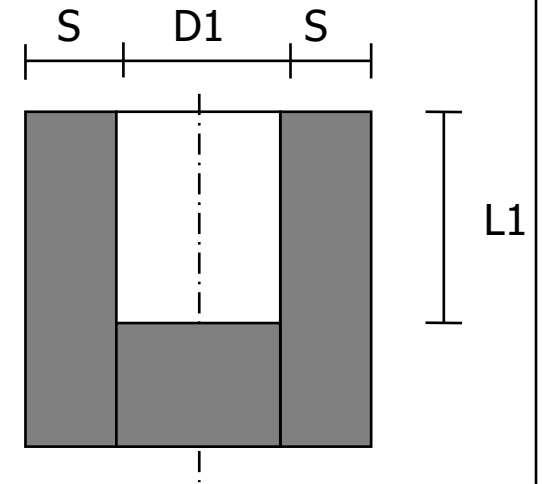


fori passanti

se $L1 \leq D1 / 2$

se $L1 \leq 2D1$

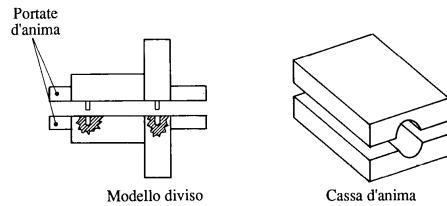
se $L \leq 3D$



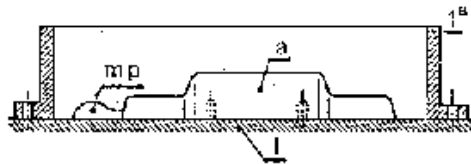
fori ciechi



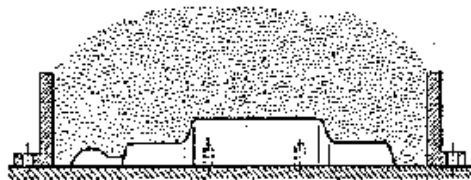
Preparazione della forma



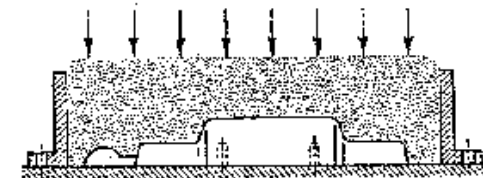
0: preparazione del modello



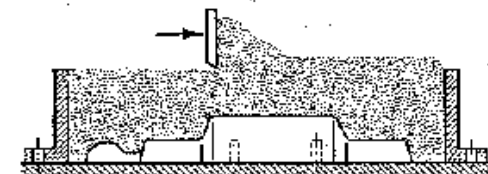
1. Semimodello con i fori di riferimento appoggiato su un piano



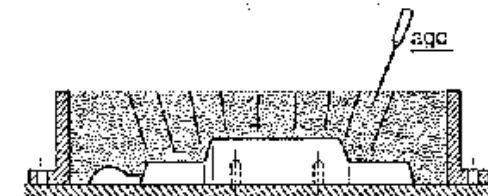
2. Riempimento



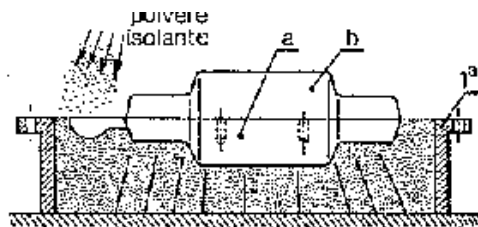
3. Compressione



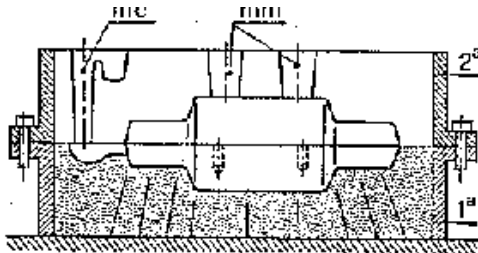
4. Eliminazione terra in eccesso



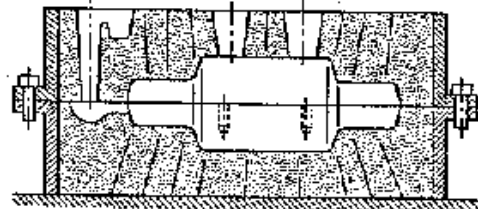
5. Realizzazione tirate d'aria



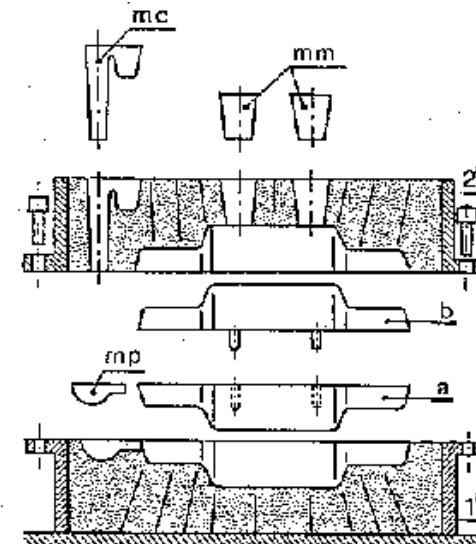
6. Staffa rovesciata, applicazione seconda parte del modello, polvere di carbone (distaccante).



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

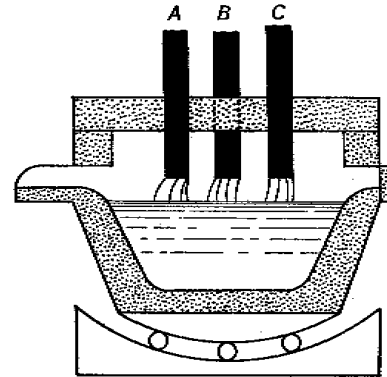


Fig. 161.

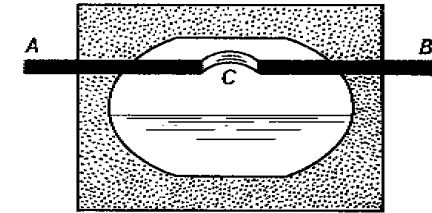


Fig. 162.

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

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

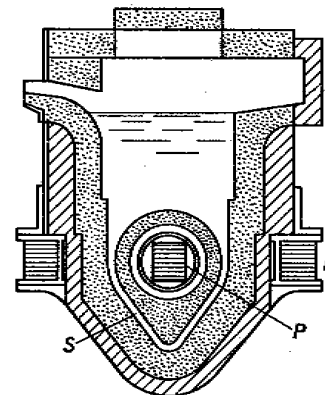


Fig. 163.

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

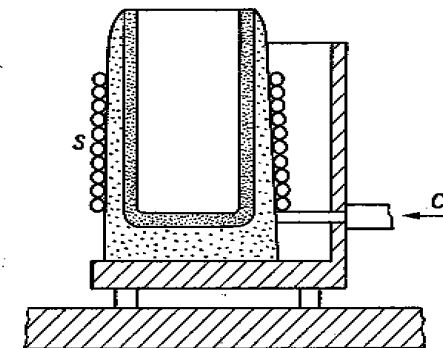


Fig. 164.

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



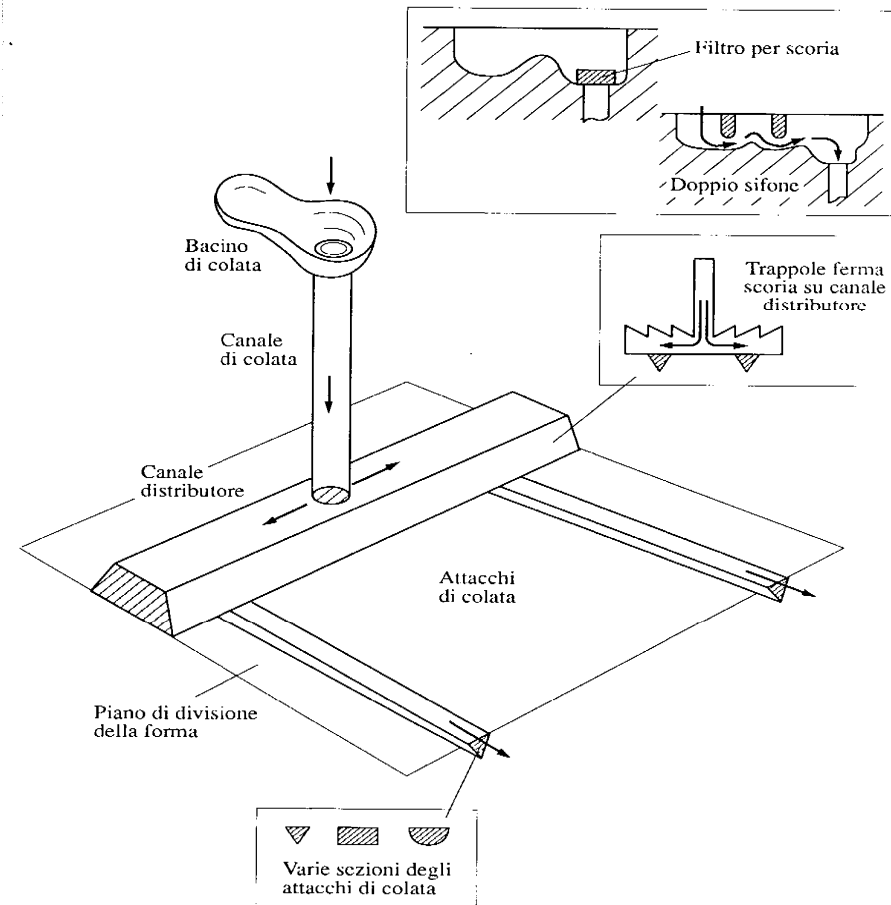
Sistema di colata per fonderia in terra

Sistema principale - bacino di colata

- canale di colata
- canale orizzontale
- attacco di colata

Altri elementi

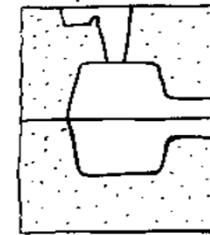
- filtri
- pozzetti
- sfiati
- trappole





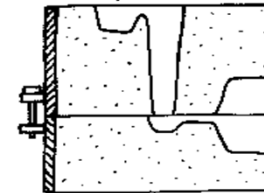
Sistemi di colata

diretta



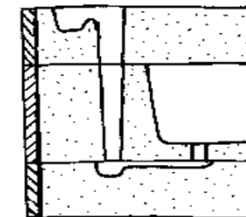
- DANNI ALLA FORMA
- GOCCE FREPDE

sul piano di
separazione



- FACILE DA REALIZZARE

con tre staffe



- FORMA IN 3 PARTI

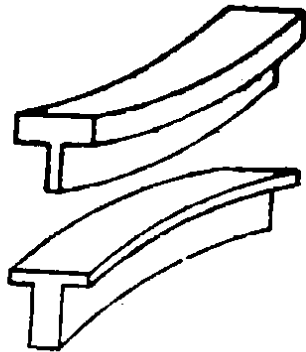
dimensionamento

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

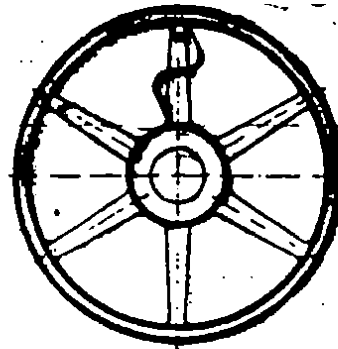


Difetti di fonderia



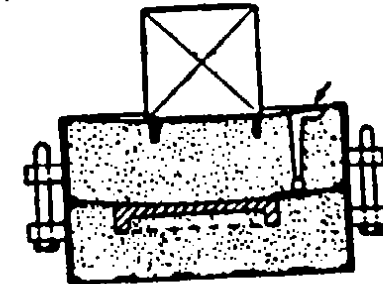
Deformazione (incurvamento) dell'asse principale di un getto causato da irregolarità di spessori: i getti presentano la concavità dalla parte dello spessore maggiore.

Incurvamento



Criccate 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

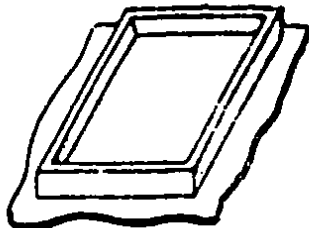
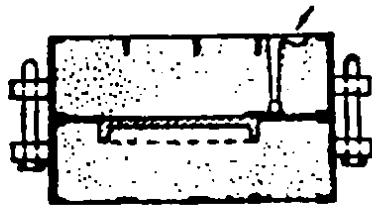


Riduzione dello spessore di un getto causata da cedimento della mezza staffa superiore troppo caricata

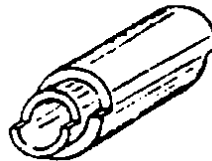
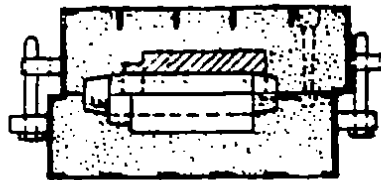
schiacciamento staffa



Difetti di fonderia

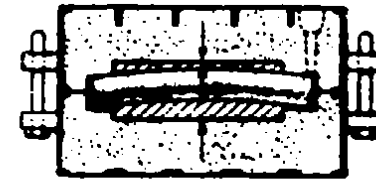


sollevamento staffa



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

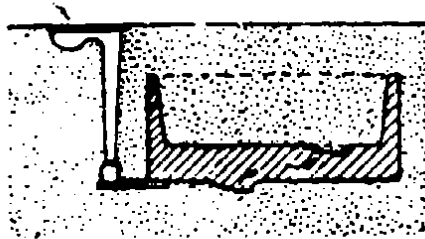
disallineamento forma



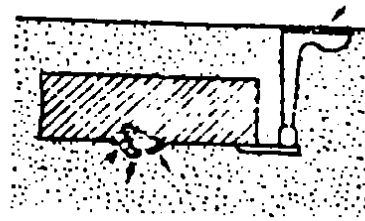
Irregolarità dello spessore in
un tubo a causa dello spostamento del-
l'anima dovuto alla spinta metallostatica.

disallineamento anima

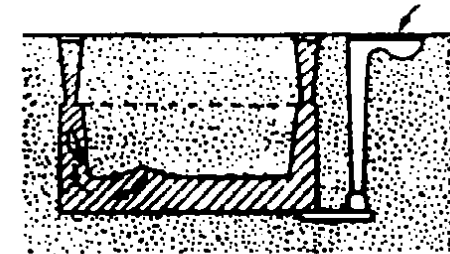
Difetti di fonderia



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*

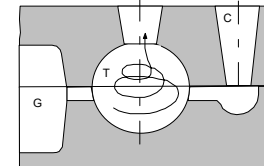
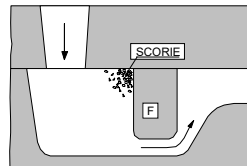
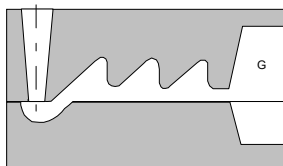
Effetti:

- riduzione R_m
- riduzione duttilità



natura
forma
quantità
distribuzione
orientazione

Metodi per l'eliminazione: FILTRI, TRAPPOLE



Formatura in guscio

Shell Molding o processo Crowning

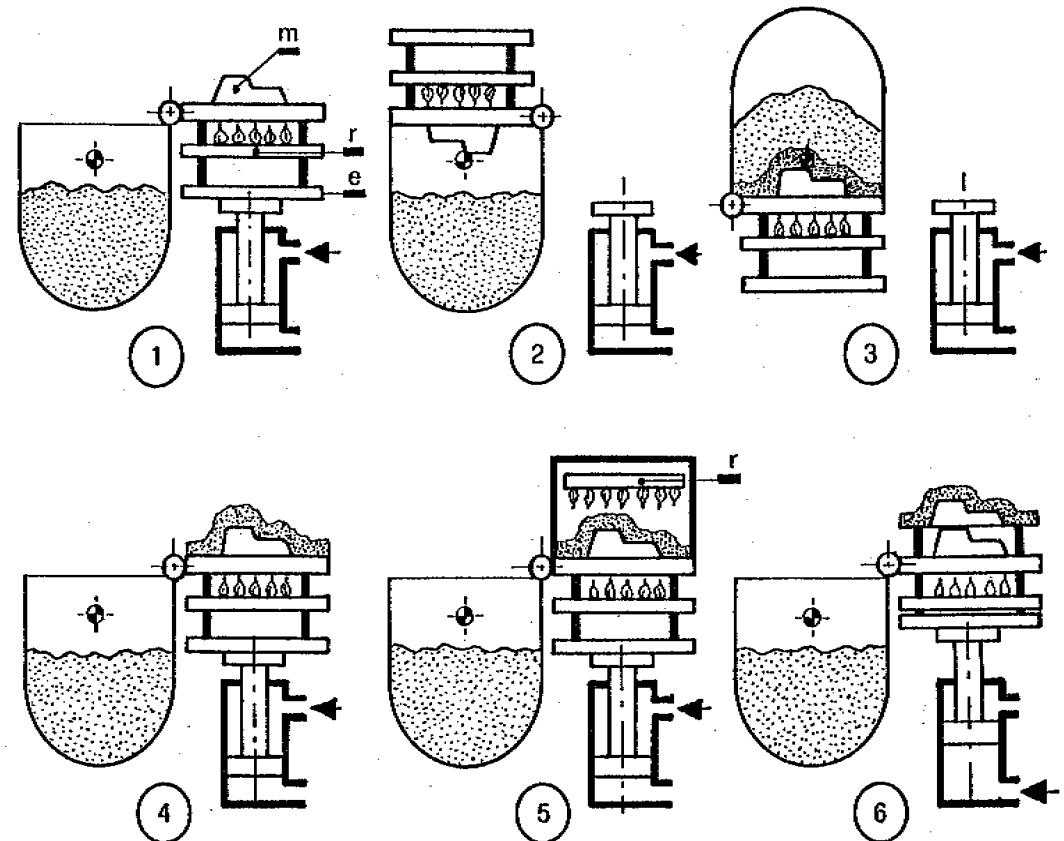
- sabbia di quarzo a grani tondi prerivestita
- resina termoindurente (es fenolica)

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)

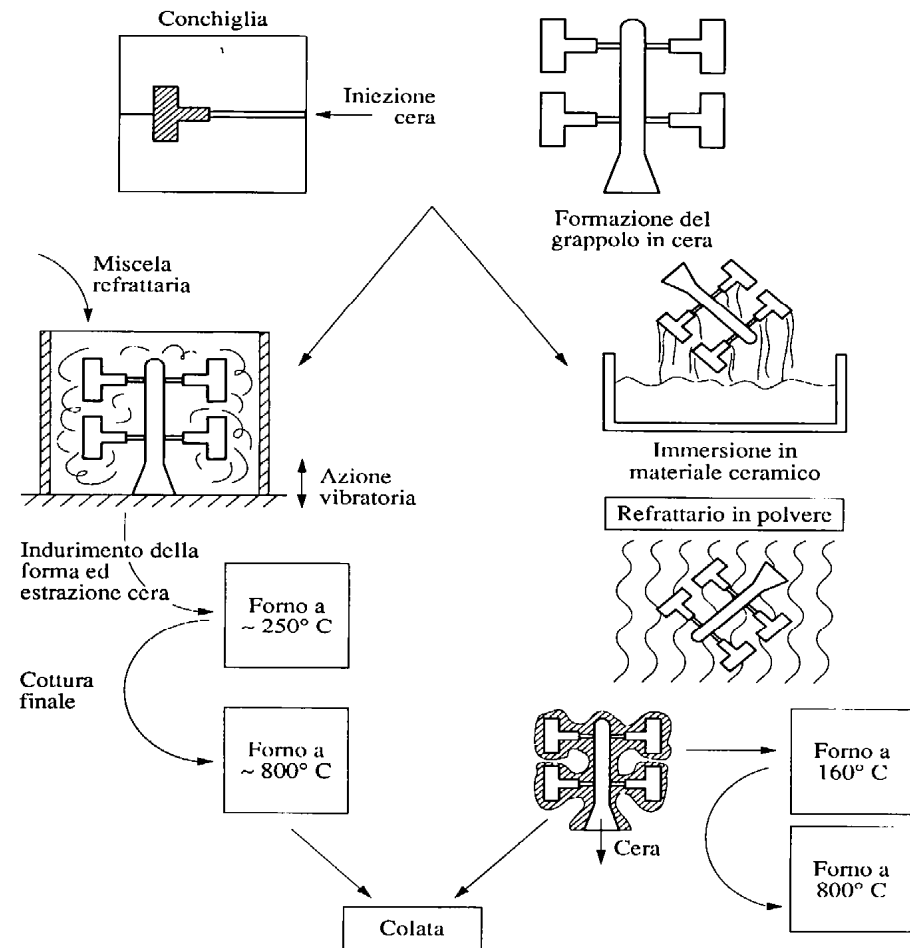


Formatura in cera persa o microfusione

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

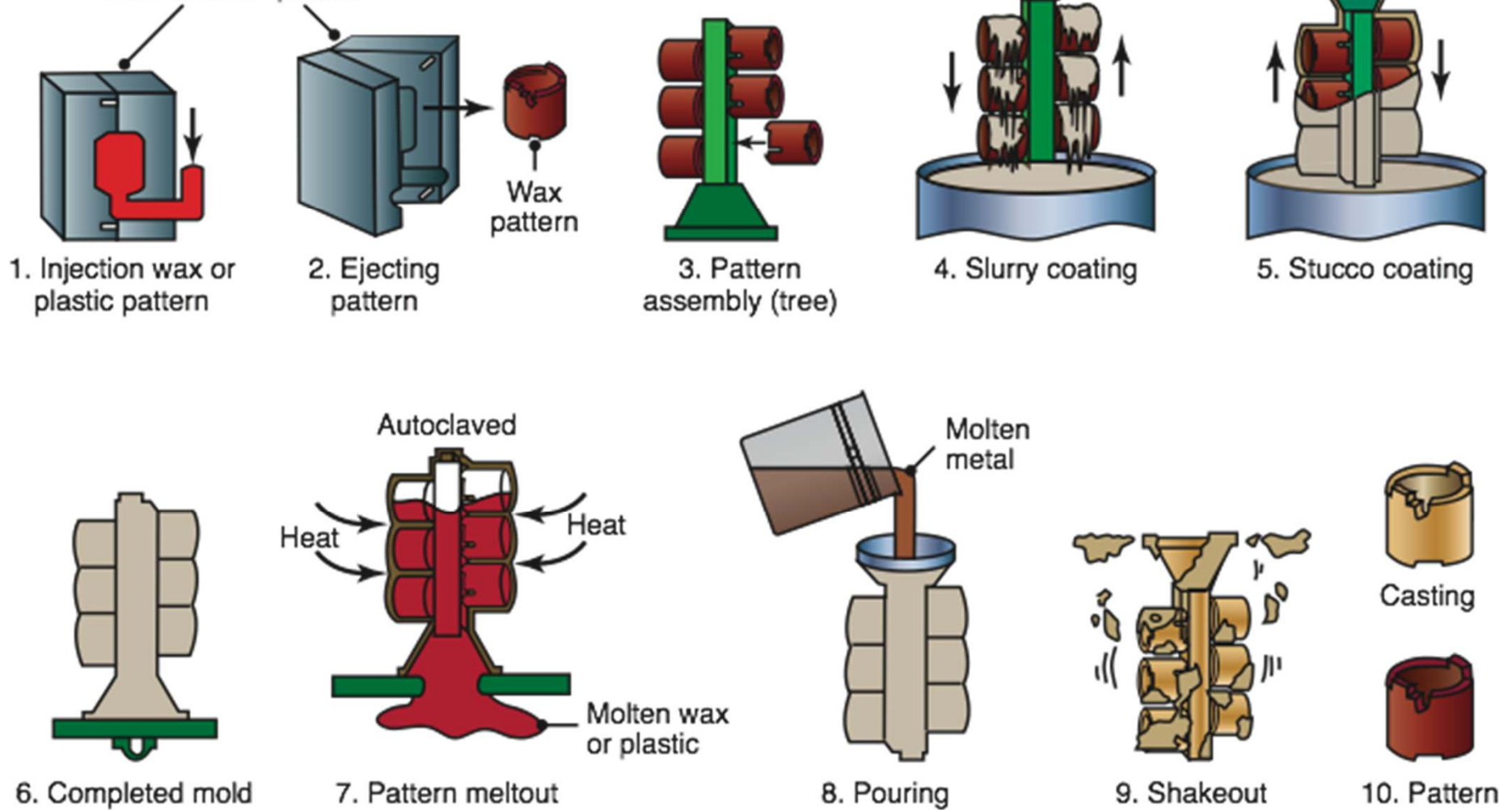
I modelli possono essere comunque complessi,
non essendoci problemi di estrazione. Ovviamente
la conchiglia per fare i modelli diventa molto costosa.





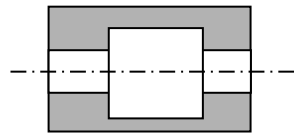
Investment casting

Mold to make pattern

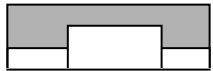




Polycast

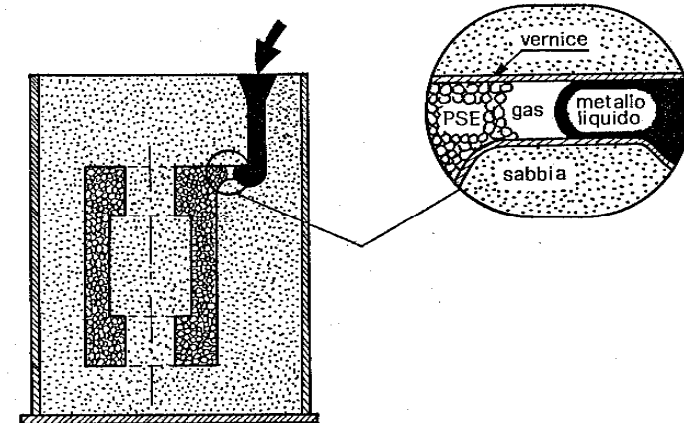


Pezzo



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:

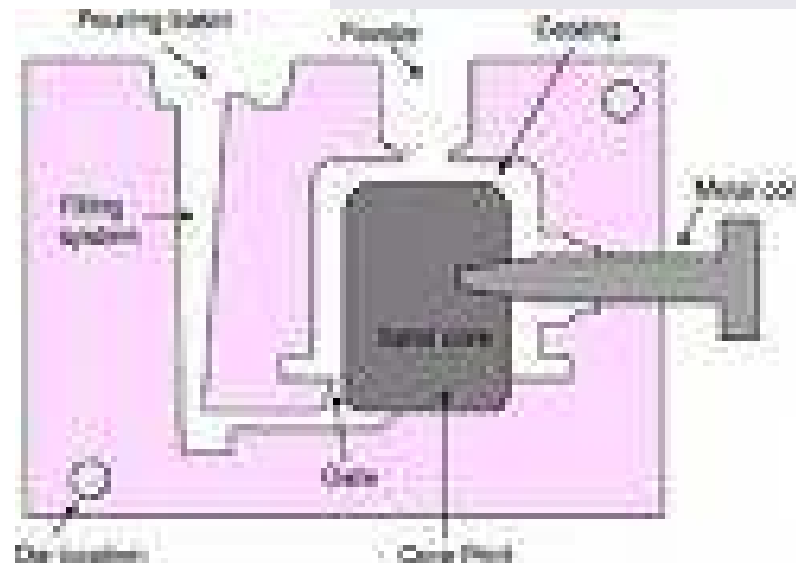
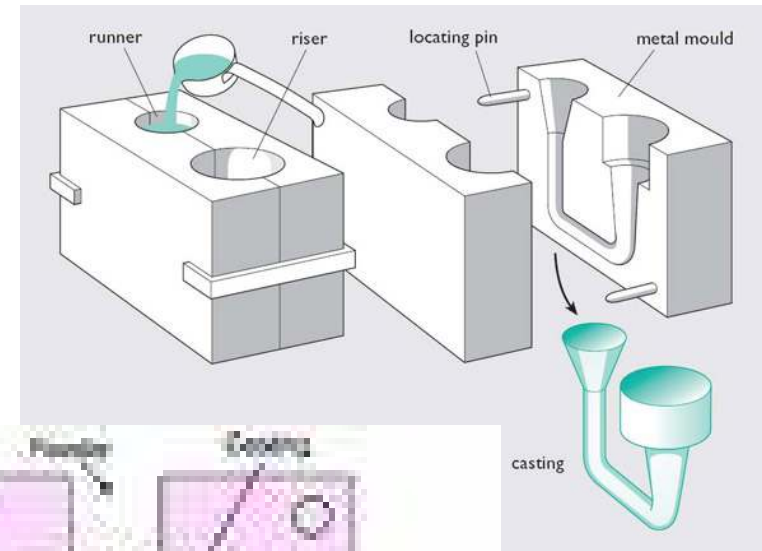
- possibile porosità
- finitura superficiale modesta

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

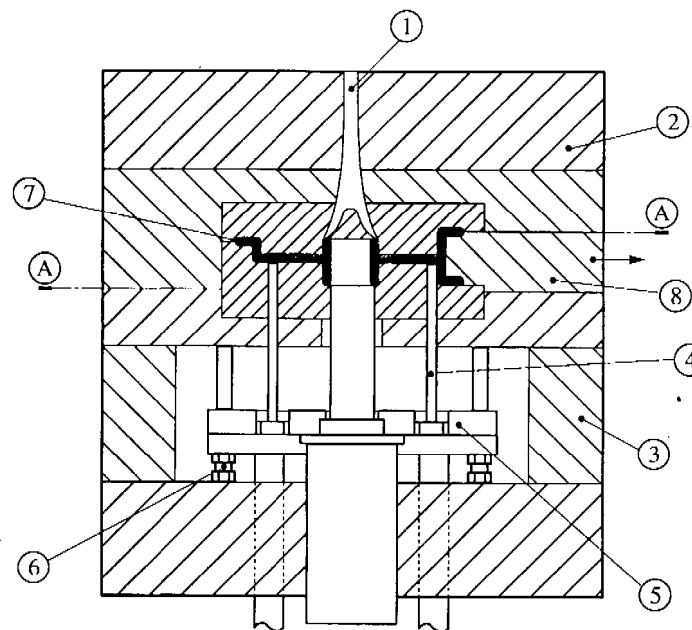
Anime metalliche

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

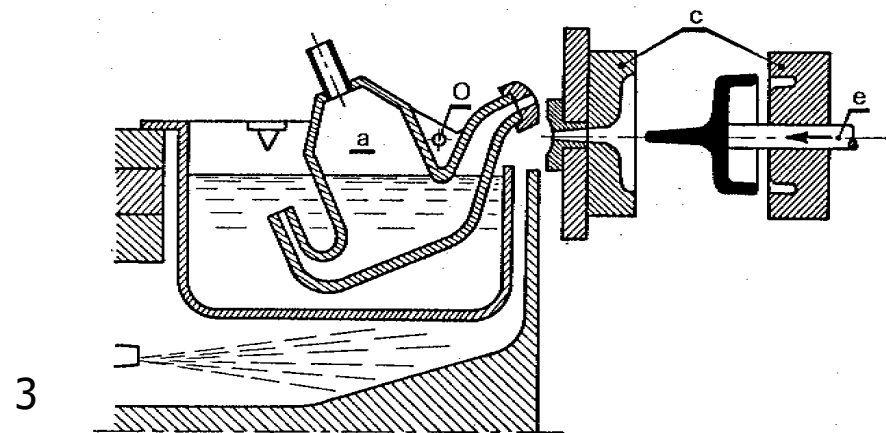
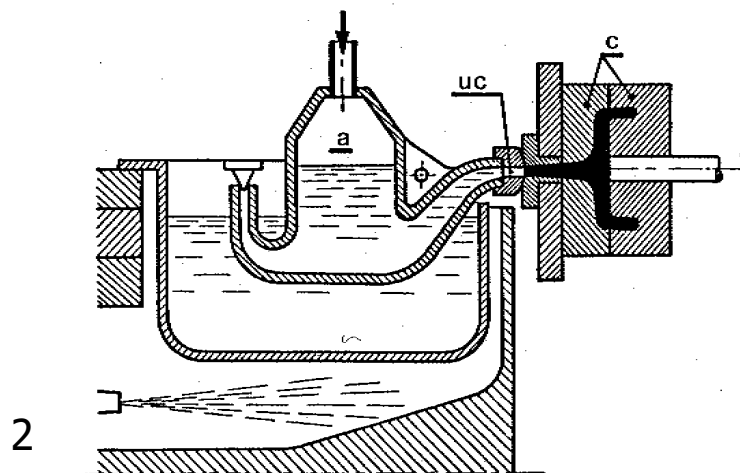
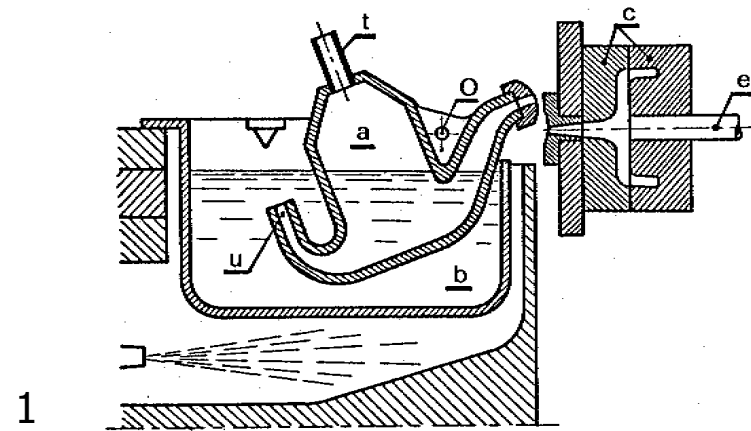
Compressione: cilindro-stantuffo 150 MPa

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

Iniettofusione

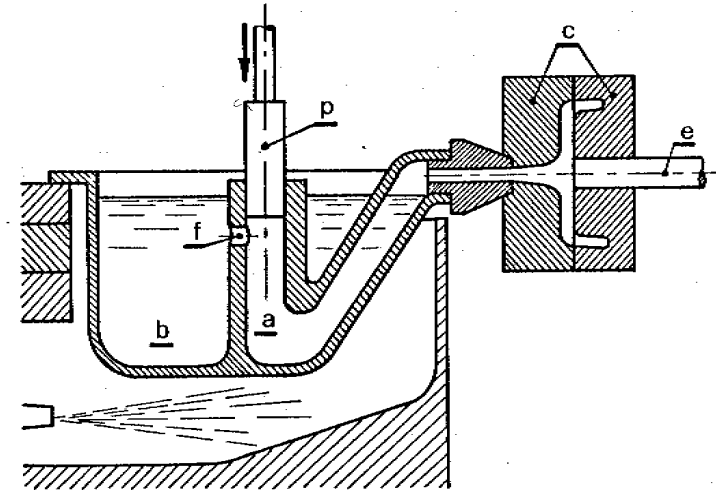
(I) Macchina a camera oscillante:

- riempimento
- compressione
- estrazione





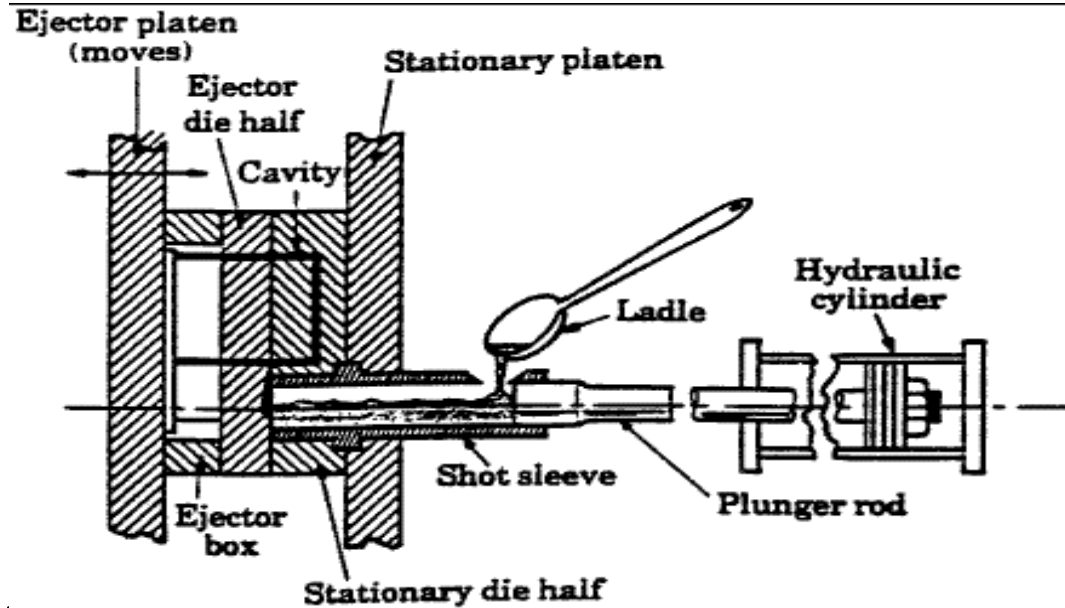
(II) Macchina a pistone tuffante



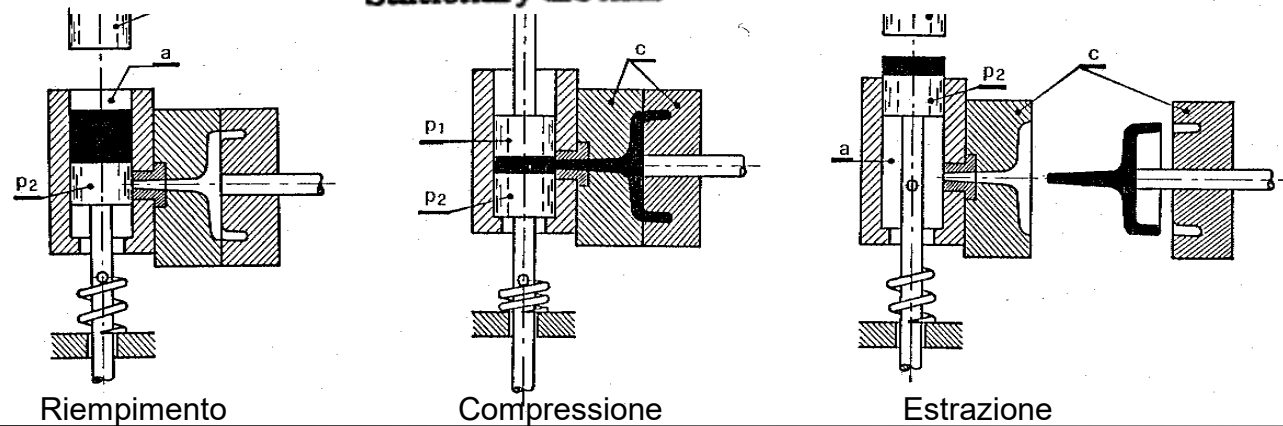


Pressofusione

Macchina a camera orizzontale



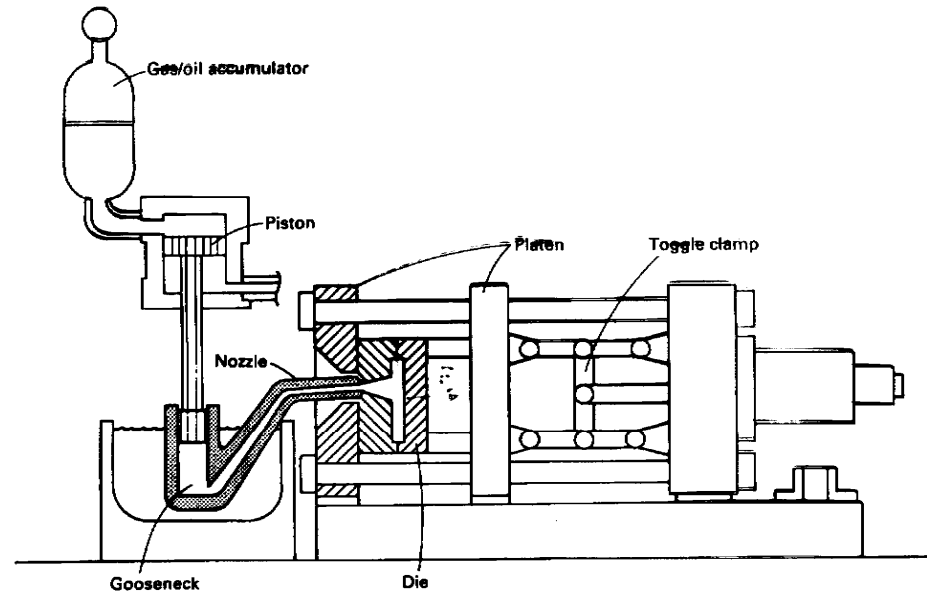
Macchina a camera verticale





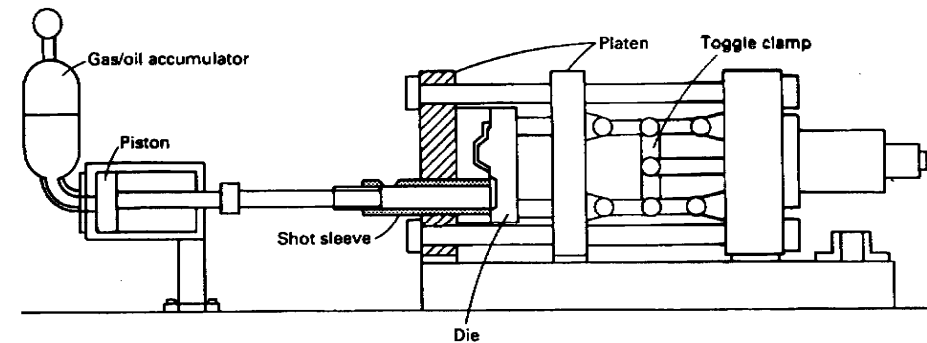
Struttura macchine

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

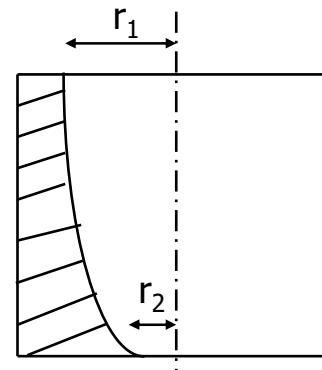
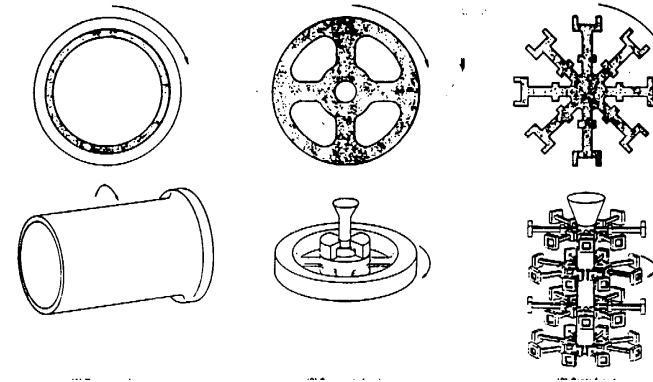
buone caratteristiche meccaniche
buone finiture / tolleranze

velocità di rotazione:

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

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

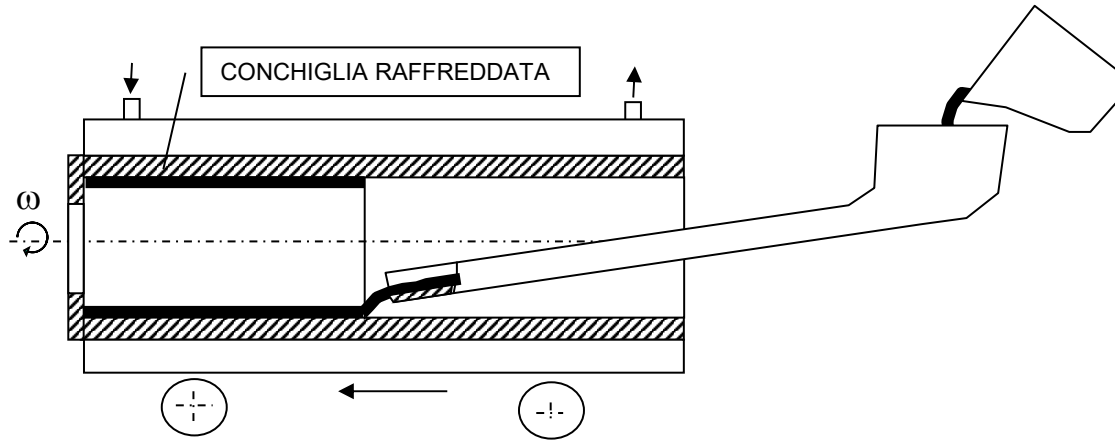
$$a \in [70 - 200] g$$



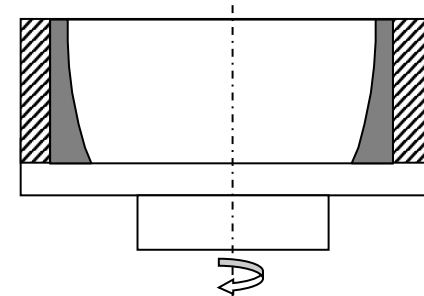
difetto di forma
in colata verticale

relazione sperimentale:

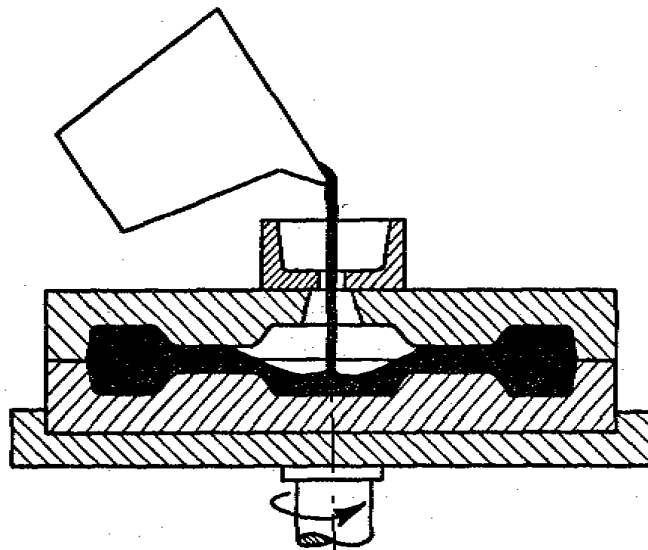
$$n = 42 \text{ SQR} [h (r_1^2 - r_2^2)]$$



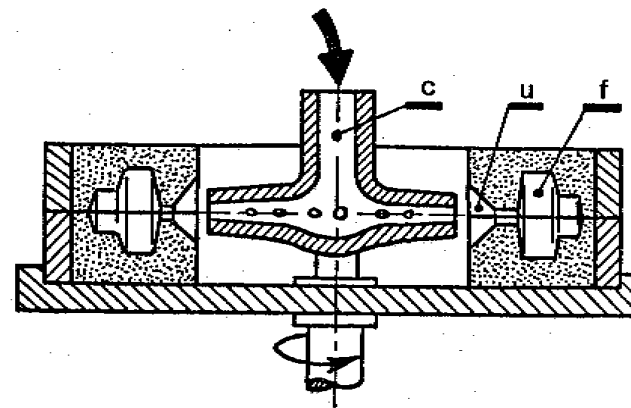
Colata centrifuga orizzontale



Colata centrifuga verticale

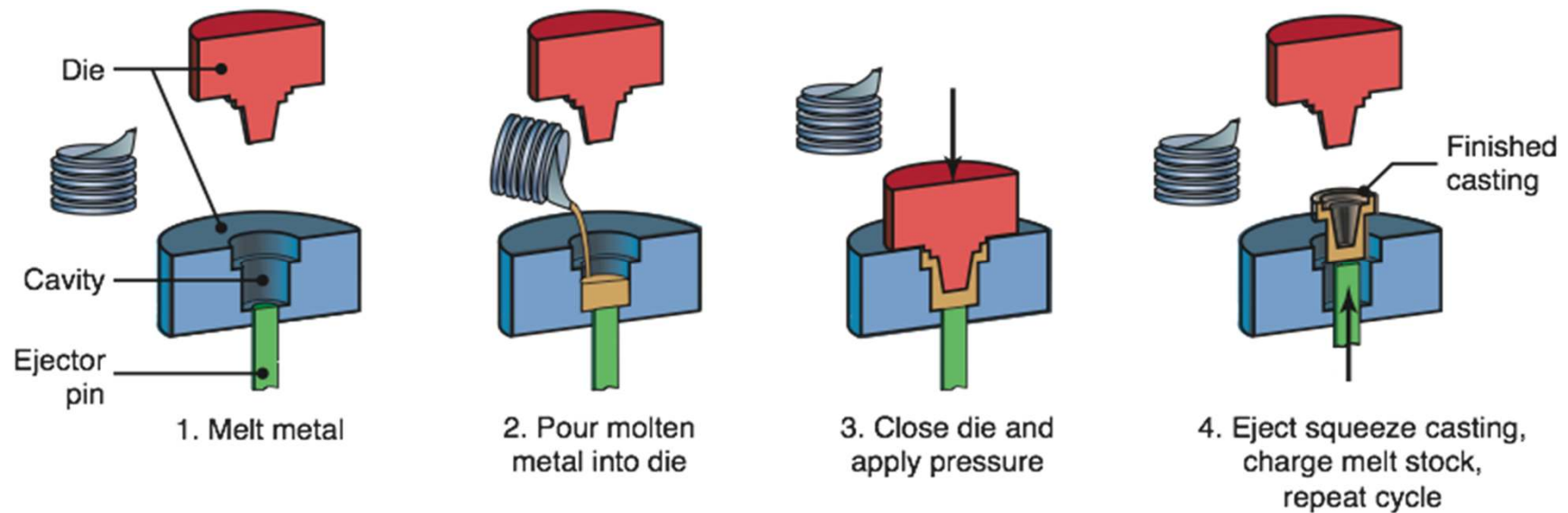


Colata semicentrifuga



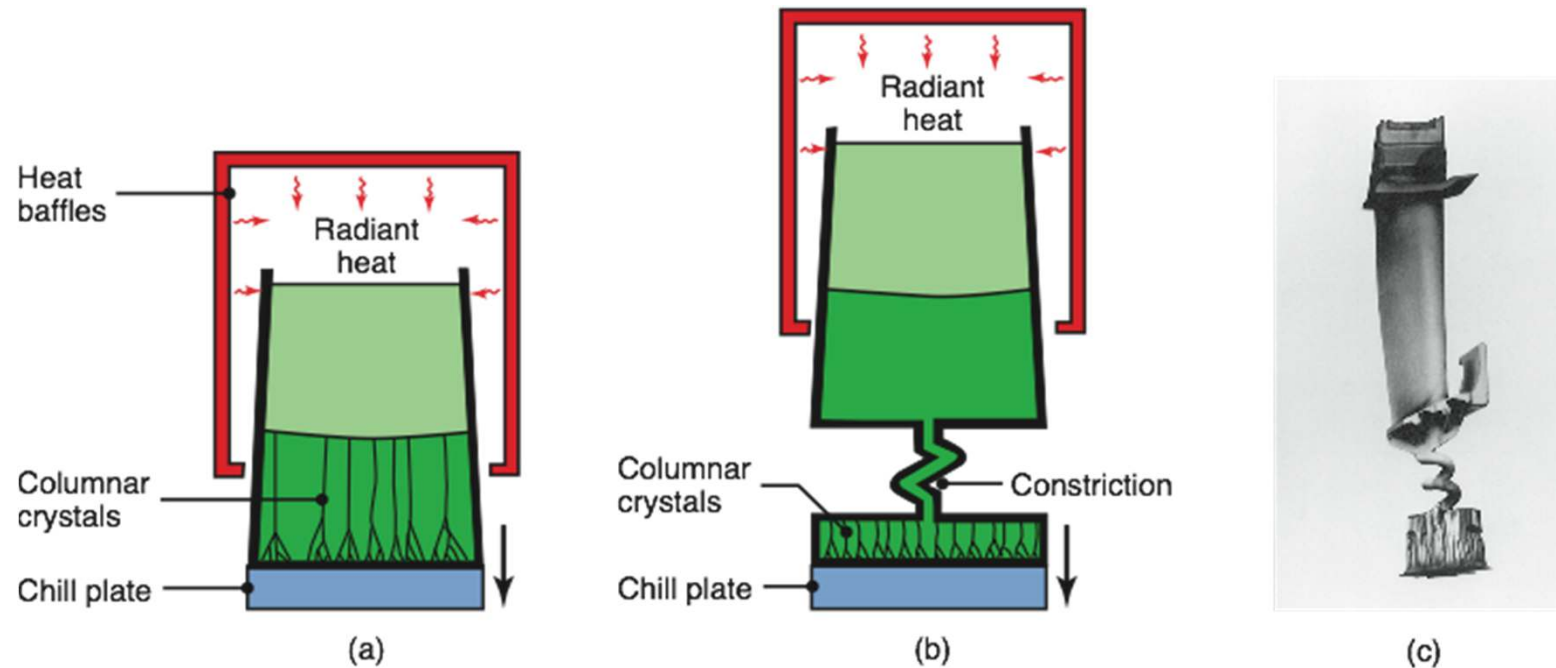
con centrifugazione

Squeeze-Casting



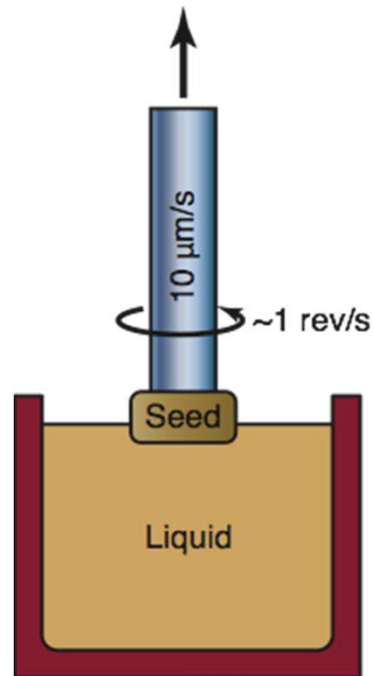
Sequenza delle operazioni nello squeeze casting, che combina i vantaggi della colata e della forgiatura

Turbine Blade Casting

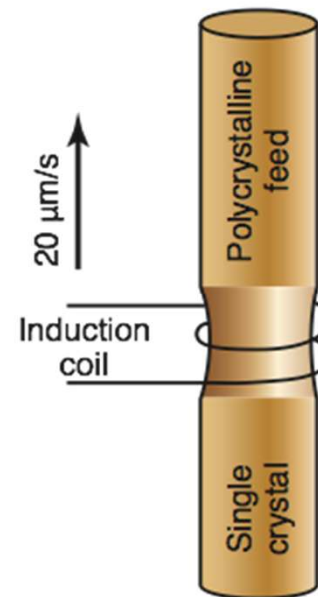


- a) solidificazione con direzione preferenziale di crescita
- b) metodo per produrre palette monocristalline

Crescita monocristallina



(a)



(b)



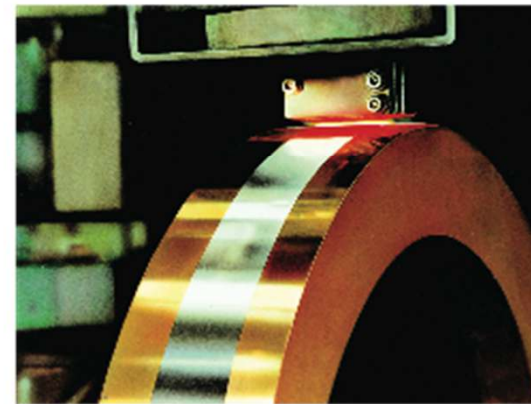
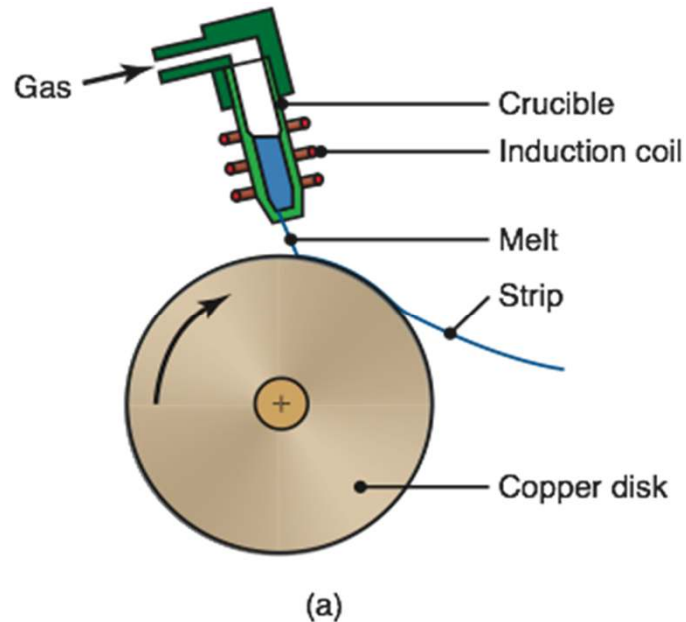
(c)

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

Questi metodi sono particolarmente usati nell'industria dei semiconduttori



Melt-Spinning Process



(b)

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