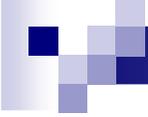


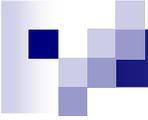


Processo di fonderia



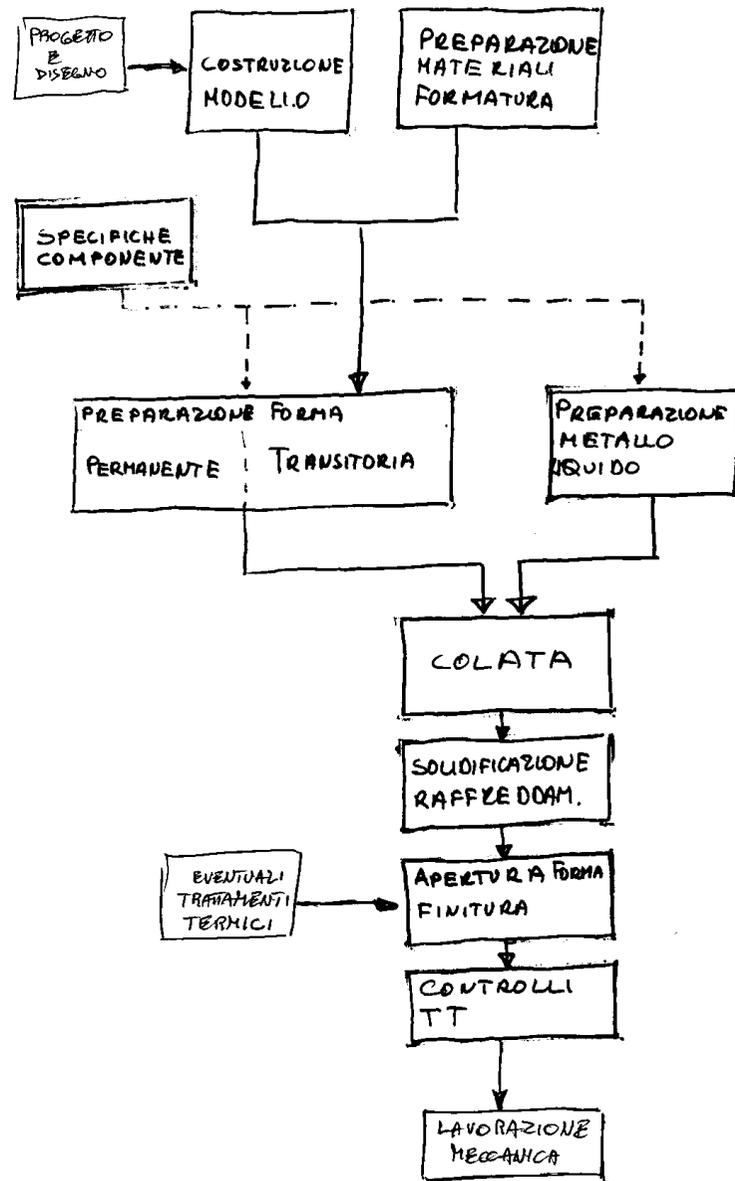
Materiali e caratteristiche

- Proprietà dei metalli e leghe ferrose:
 - Fondere a temperature relativamente basse (limite superiore 1500-1600 °C)
 - Possedere una buona fluidità per riempire completamente le forme. La fluidità cresce con la temperatura di colata, l'energia cinetica della colata e la capacità della forma di non disperdere il calore
 - Mantenere una certa omogeneità strutturale durante la solidificazione



Processo di fonderia

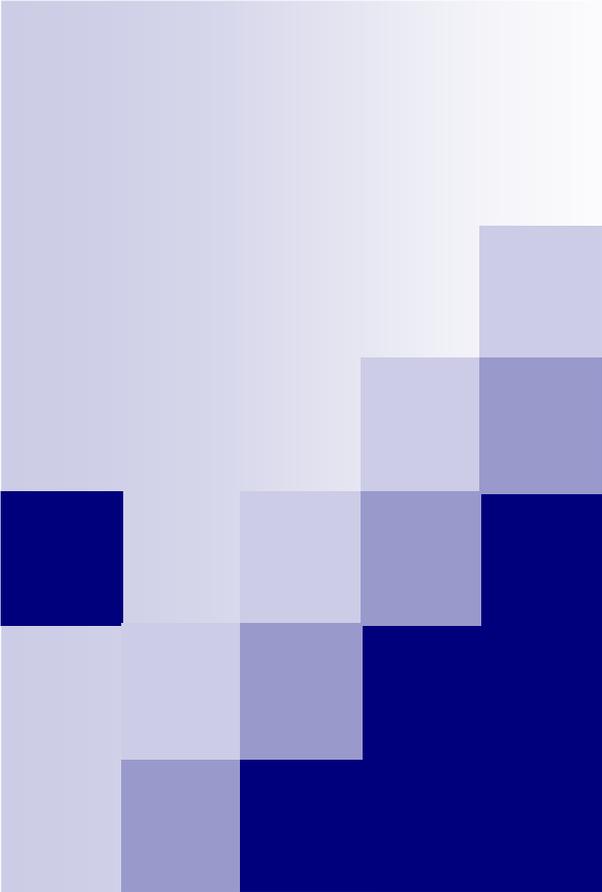
1. Progettazione del getto ottenibile per fusione
 - Esistono una serie di indicazioni specifiche per questo particolare processo tecnologico (raccordi, angoli di sforno, sovrametalli, calcolo dei ritiri, sottosquadri, spessori)
2. Preparazione di un negativo del pezzo detto “forma” mediante due metodi base:
 - Creazione di una forma transitoria in terra distrutta al momento dell'estrazione del getto. Per creare tale forma è necessario disporre di una copia del getto detta “modello”
 - Creazione di una forma permanente in materiale metallico (conchiglia) utilizzabile per più colate
3. Portare il materiale prescelto per il getto allo stato fuso e colarlo all'interno della forma:
 - Esistono allo scopo diverse tecnologie per effettuare la colata
4. Consentire alla colata di solidificare e provvedere quindi all'estrazione del getto
5. Provvedere alle operazioni di finitura del getto:
 - Smaterozzatura, sbavatura, sabbiatura,



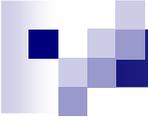


Definizioni

- Modello: copia in “positivo” del pezzo utilizzato per la formatura delle forme ove realizzare la colata
- Anima: modello delle cavità presenti nel pezzo finito. Inserita nella forma durante la colata consente di ottenere le cavità volute
- Cassa d'anima: contenitore per la realizzazione delle anime
- Materiale da formatura: terre di fonderia e additivi utilizzati per la realizzazione delle forme
- Staffe di formatura: contenitori in acciaio per il materiale di formatura
- Canale di colata: sistema di canalizzazioni da predisporre a ridosso della forma per consentire al materiale di colata di fluire all'interno
- Materozza: serbatoio per l'accumulo del materiale fuso in eccesso da prevedersi per la compensazione dei ritiri e per motivi tecnici (spostamento del baricentro termico) che condizionano il risultato



Forni fusori



Forni fusori

- Nei forni fusori il metallo è fuso e surriscaldato così da renderlo sufficientemente liquido per farlo fluire con semplicità nella forma.
- Tipi di forni:
 - Cubilotto
 - Forno rotativo
 - Forno elettrico ad induzione
 - Forno elettrico ad arco

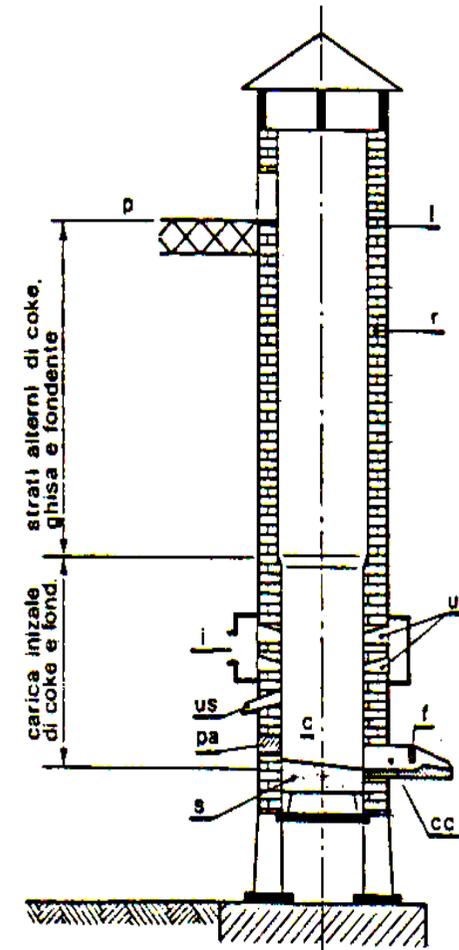
Cubilotto

- Struttura cilindrica in acciaio rivestita internamente da materiale refrattario
- Miscela di carica:
 - Coke (combustibile)
 - Ghisa di prima fusione o rottame di ghisa
 - Fondente (castina e fluoruro di calcio per inglobare lo zolfo)
- Elementi:
 - Camera a vento da dove viene insufflata l'aria
 - Crogiolo dove si addensano in alto le scorie, in basso la ghisa
 - Suola per svuotare il forno

Fig. 2.81

Schema di un cubilotto.

p = piano di carica,
l = lamiera,
r = refrattario,
i = ingresso aria,
u = ugelli,
us = uscita scorie,
pa = porta di accensione,
s = suola,
c = crogiolo
cc = canale di colata,
f = fermascorie.



Cubilotto con avancrogiolo

- La presenza di un avancrogiolo consente di accumulare la ghisa ed eventualmente “correggerla” con altri elementi prima di immetterlo nella siviera e dunque nelle forme

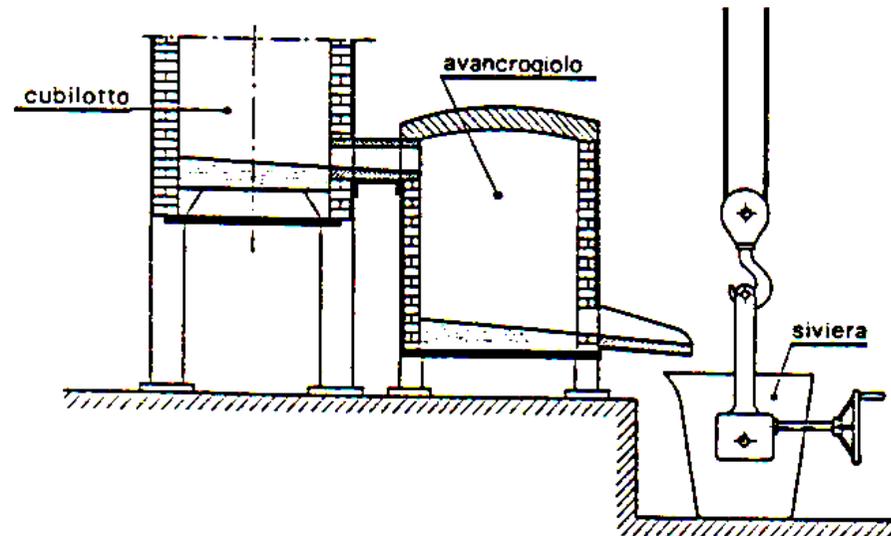


Fig. 2.82 - Cubilotto con avancrogiolo.



Forni elettrici

■ Vantaggi

- Facilità di regolazione
- Temperature elevate fino a 3500 °C
- Assenza dei prodotti di combustione

■ Funzionamento

- Sfruttano l'induzione elettromagnetica che crea nella massa metallica sottoposta a campo magnetico delle correnti indotte che riscaldano il materiale

Forno ad induzione

- Il campo magnetico è creato da un avvolgimento primario e da uno secondario che avvolge il materiale da fondere
- Il crogiolo è rivestito da materiale refrattario circondato da tubi di rame a spirale ove circola la corrente alternata ed è raffreddato ad acqua

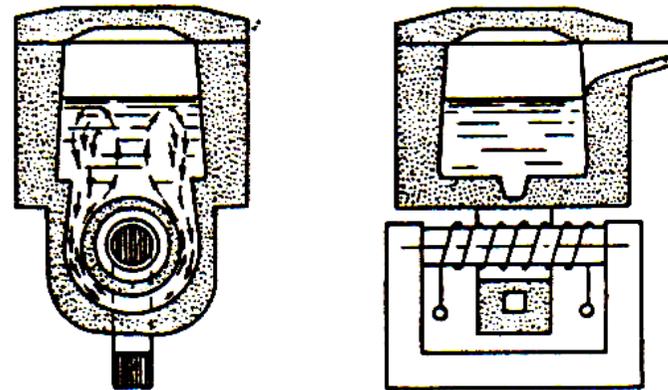


Fig. 2.85 - Schema di un forno ad induzione a bassa frequenza.

Forno rotativo

- Dei combustibili vengono bruciati in un bruciatore posto sulla bocca del forno che fornisce il calore necessario alla fusione
- Procedendo con la rotazione e la progressiva inclinazione la ghisa viene continuamente estratta

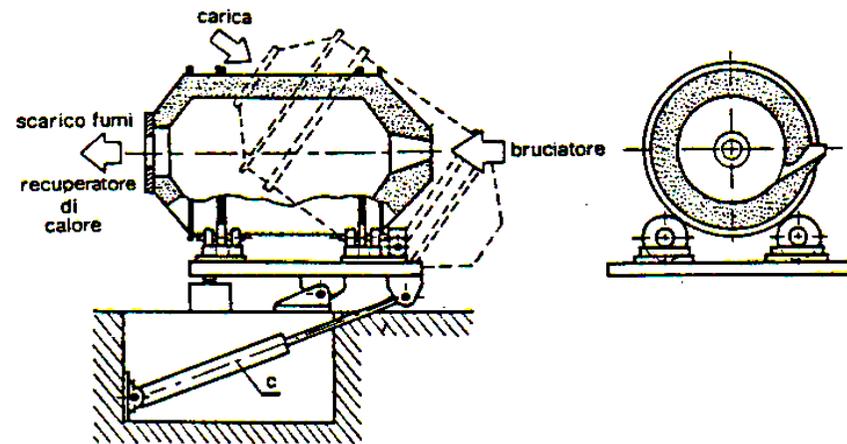


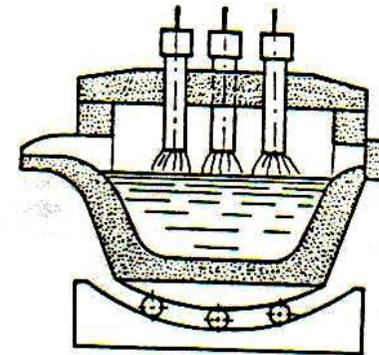
Fig. 2.B3 - Forno rotativo a tamburo.

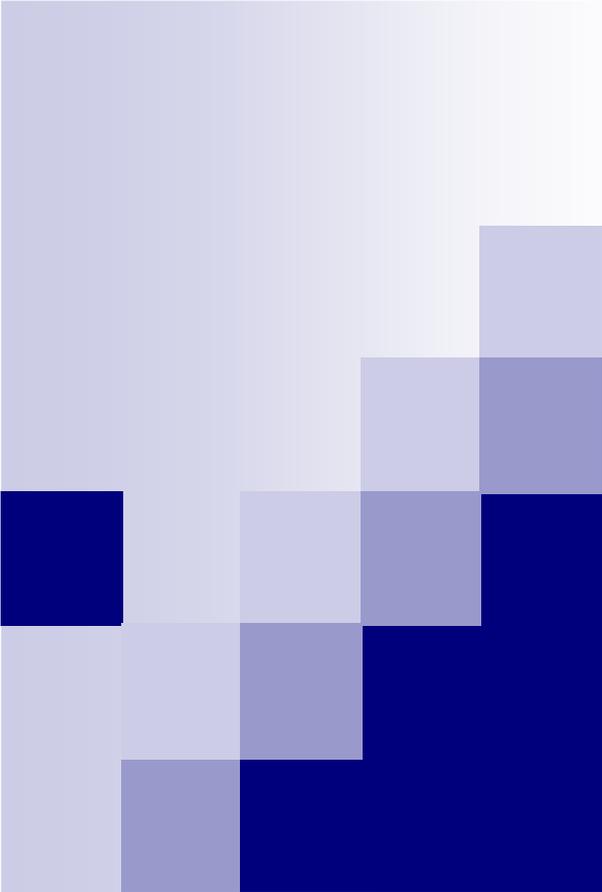
- - - forno in posizione di carica.
c = cilindro idraulico per inclinazione del forno.

Forno ad arco

- Il calore è generato dall'innesco di archi voltaici tra elettrodi di grafite che vengono calati dall'alto e la massa metallica contenuta nel crogiolo rivestito di refrattario

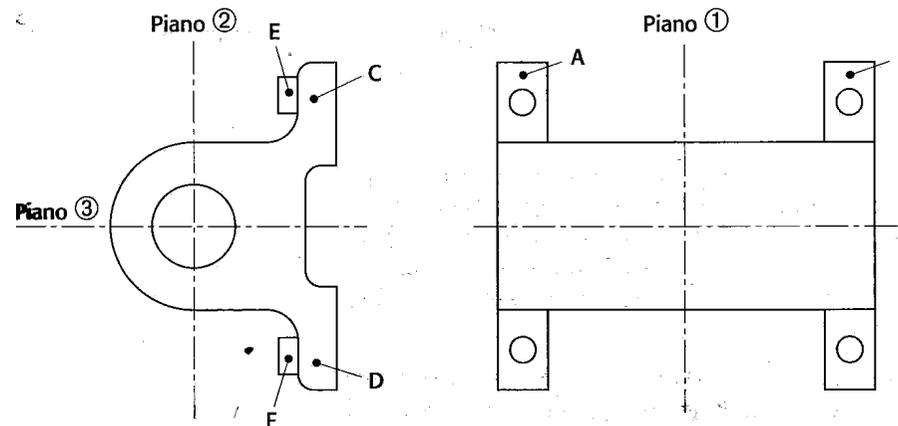
Fig. 2.87
Schema di un forno ad arco.





Il modello

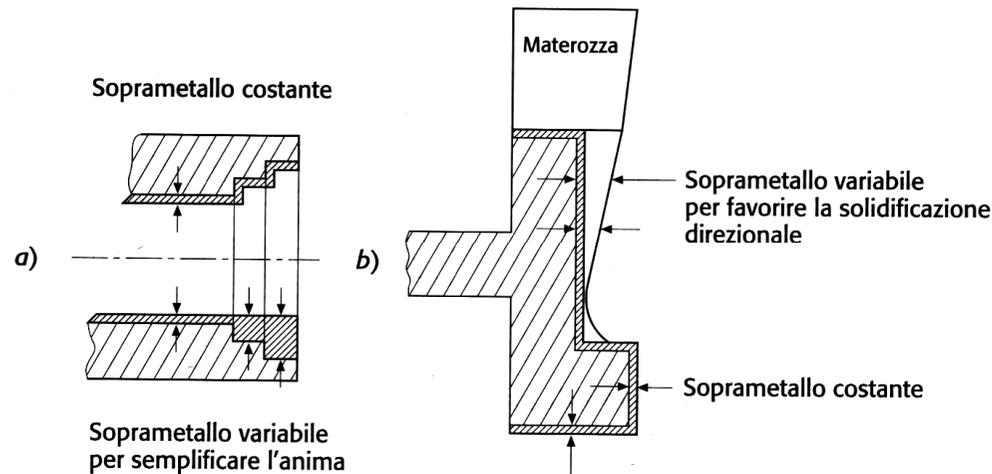
Progettazione del modello



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.

- Scelta del piano di divisione della forma
- Verificare l'estraibilità del modello dalla forma
- Risolvere il problema di eventuali sottosquadri.
 - Modifica del progetto
 - Prevedere dei tasselli riportati su apposite portate d'anima opportunamente previste
 - Prevedere un modello scomponibile o ricorrere alla tecnica dei "movimenti"

Sovrametalli



Casi tipici di aumento del sovrametallo: calcolato per motivi economici *a)* e per la qualità del getto *b)*.

- Il modello, e di conseguenza il getto, dovrà presentare delle dimensioni maggiori rispetto al pezzo finito quando il pezzo dovrà essere finito con lavorazioni per asportazione di truciolo
- Fattori influenzanti il dimensionamento dei sovrametalli sono:
 - Dimensione della superficie del getto
 - Tipo di lega utilizzata per la fusione
 - Qualità della superficie e grado di finitura richiesto
 - Tipo di formatura prescelto
 - Le dimensioni dei fori

Sovrametalli - dimensioni non critiche (acciaio)

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)		
	≤250	250 ÷ 1000	≥1000
≤ 40	4	4	5
40 ÷ 65	4	4	5
65 ÷ 100	4	4	5
100 ÷ 160	4	5	5
160 ÷ 250	6	6	7
250 ÷ 400	-	6,5	7
400 ÷ 630	-	7	8
630 ÷ 1000	-	8	9

Il sovrametallo delle superficie di partenza si considera uguale a 3 mm per pezzi con dimensione massima ≤ 160 mm e uguale a 4 mm per pezzi con dimensione max >160 mm.

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni non critiche» di getti in acciaio ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

Sovrametalli - dimensioni critiche (acciaio)

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)		
	≤250	250 ÷ 1000	≥1000
≤ 40	6	6	8
40 ÷ 65	6	6	9
65 ÷ 100	6	7	10
100 ÷ 160	7	7	10
160 ÷ 250	8	8	10
250 ÷ 400	–	9	11
400 ÷ 630	–	10	12
630 ÷ 1000	–	11	14
1000 ÷ 1800	–	–	17
1800 ÷ 2500	–	–	20

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti in acciaio ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

Il sovrametallo della superficie di partenza si considera uguale a 4 mm.

Sovrametalli (ghisa grigia)

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)				
	≤100	100 + 160	160 + 250	250 + 630	630 + 1000
≤16	2,5	2,5	2,5	3,5	4
16 + 25	2,5	2,5	2,5	3,5	4
25 + 40	2,5	2,5	2,5	4	4,5
40 + 63	3	3	3	4	4,5
63 + 100	3	3	3	4	4,5
100 + 160	-	3	3	4,5	5
160 + 250	-	-	3,5	4,5	5
250 + 400	-	-	-	5	5,5
400 + 630	-	-	-	5,5	6
630 + 1000	-	-	-	-	6,5

Il sovrametallo delle superficie di partenza si considera uguale a 3 mm per pezzi con dimensione massima ≤160 mm e uguale a 4 mm per pezzi con dimensione max ≥160 mm.

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni non critiche» di getti in ghisa grigia ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)			
	≤250	250 + 630	630 + 1600	>1600
≤16	4	4,5	5	7
16 + 25	4	4,5	5	7
25 + 40	4,5	4,5	5,5	7
40 + 63	4,5	5	5,5	7,5
63 + 160	5	5	6	8
160 + 250	6	6	7	8,5
250 + 400	-	7	7,5	9,5
400 + 630	-	7,5	8,5	10,5
630 + 1000	-	-	9,5	11,5
1000 + 1600	-	-	11,5	13,5
1600 + 2500	-	-	-	15,5
2500 + 4000	-	-	-	19

Il sovrametallo delle superficie di partenza si considera uguale a 2 mm per pezzi con una dimensione massima inferiore a 250 mm; si considera uguale a 3 mm per pezzi con dimensione massima maggiore di 250 mm.

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti in ghisa grigia ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

Sovrametalli (rame-alluminio)

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)			
	≤ 100	100 ÷ 300	300 ÷ 500	500 ÷ 1000
≤ 50	2	2,2	2,6	4
50 ÷ 100	2,5	2,5	2,8	4,5
100 ÷ 400	3	3,5	4	5
400 ÷ 800	4,5	5	5,5	6
800 ÷ 1000	5	5,5	6	7

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti in lega di alluminio ottenuti per fusione in terra (valori medi indicativi).

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)			
	≤ 100	100 ÷ 300	300 ÷ 500	500 ÷ 1000
≤ 50	2	2	2,5	3
50 ÷ 100	2	2	2,5	3,5
100 ÷ 400	3	3	3,5	4,5
400 ÷ 800	4	4,5	5	5,5
800 ÷ 1000	4,5	5	5,5	6,5

Sovrametalli (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti di rame ottenuti per fusione in terra (valori medi indicativi).

Spessori

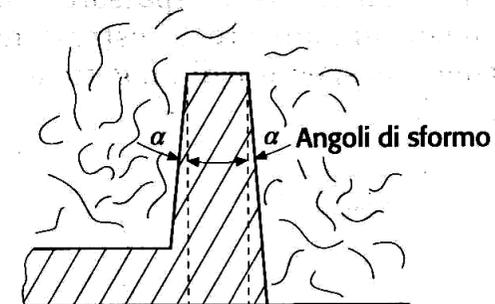
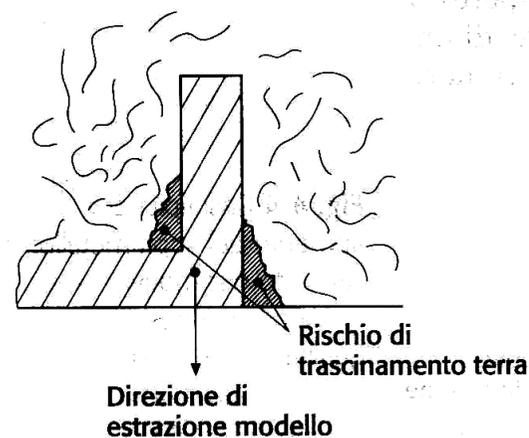
- La scelta degli spessori del getto è influenzata dalle dimensioni del pezzo, dal processo di fusione, dal materiale del getto e dal tipo di formatura
- Esistono spessori minimi e massimi consentiti

MATERIALE DEL GETTO	DIMENSIONE MAX DEL GETTO (mm)						
	≤200	200 + 500	500 + 800	800 + 1000	1000 + 1400	1400 + 1700	1700 + 2000
Ghisa	8	10	12	15	19	24	30
Acciaio	6	8	10	13	16	18	24
Lega di alluminio	4	6	8	10	12	14	20

Spessori minimi (in mm) realizzabili nei getti colati in terra, in funzione delle dimensioni e del materiale del getto.

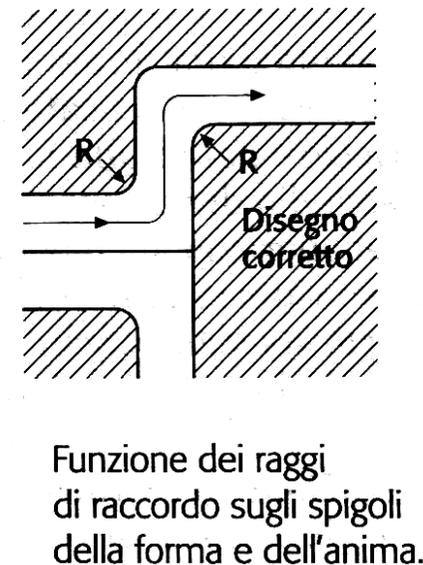
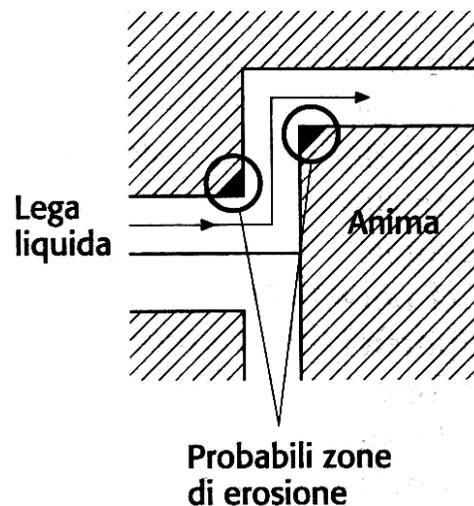
Angoli di sformo

- È necessario risolvere il problema dell'estrazione (sformatura) del modello senza danneggiare la forma prima di effettuare la colata:
 - Evitare le superfici perpendicolari al piano di divisione prevedendo degli appositi angoli di sformo che possono essere compresi tra 3° e 30°
 - Prevedere la verniciatura dei modelli di legno con vernici apposite
 - Utilizzare lubrificanti specifici nel caso di modelli metallici
 - L'ampiezza dell'angolo di sformatura è legata a diversi fattori tra cui:
 - Materiale del modello,
 - Uso di lubrificanti
 - Metodo di sformatura
 - Altezza del modello



Definizione di angolo di sformo e suoi valori indicativi.

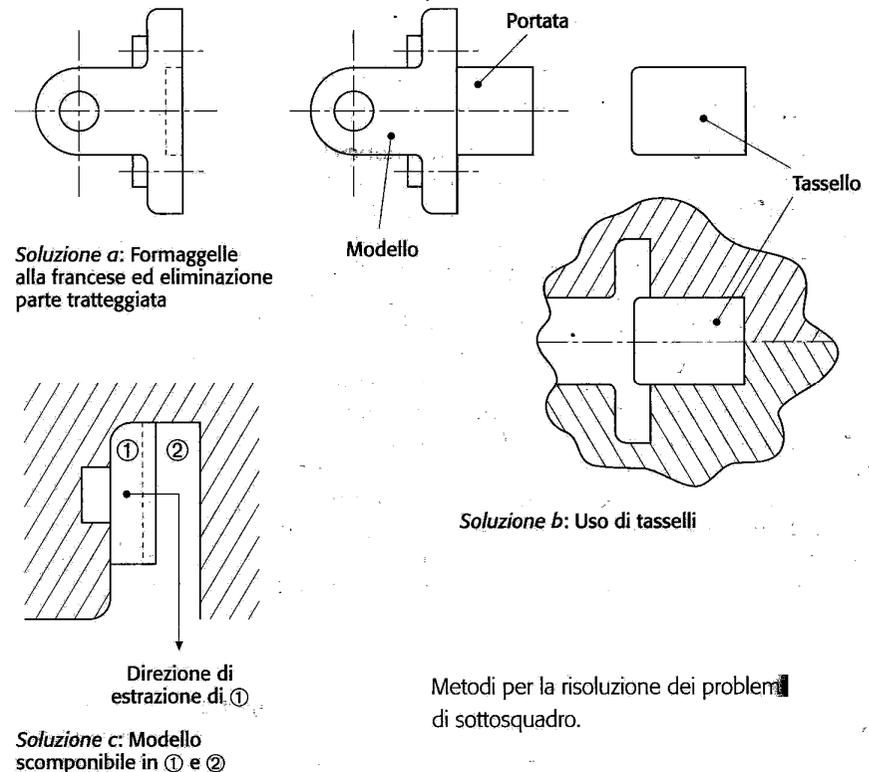
Raccordi



- Provvedere all'eliminazione degli spigoli vivi dei getti mediante l'uso di ampi raggi di raccordo.
- Ciò si rende necessario in quanto:
 - Nelle forme transitorie gli spigoli vivi non resistono all'erosione del metallo fuso
 - Nelle forme permanenti gli spigoli vivi sono origine di tensioni in fase di solidificazione e possono dare luogo a rotture
- Occorre tuttavia prestare attenzione che raccordi troppo ampi possono provocare problemi di eccessivo sovrametalli da asportare oppure mancanza di materiale
- Esistono opportune tabelle di riferimento

Sottosquadri

- Sono quelle parti del pezzo che, se riportate nel modello, comporterebbero la rottura della forma al momento dell'estrazione del modello
- Possibili soluzioni:
 - Modifiche del disegno progettuale
 - Inserimento di anime con le corrispondenti portate
 - Scomposizione del modello in più parti estraibili
 - Diversa divisione delle staffe della forma
 - Asportazione del materiale eccessivo per eliminare il sottosquadro mediante lavorazioni aggiunte di asportazione di truciolo

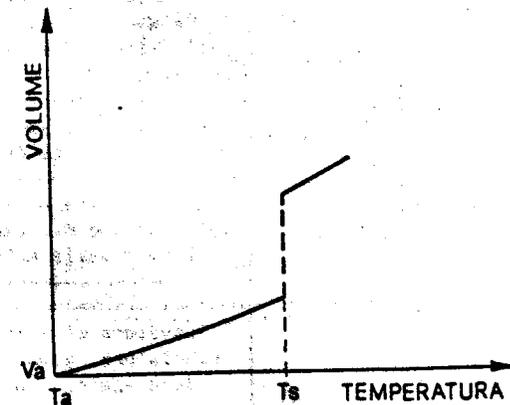


Ritiro

- Nel passaggio dalla temperatura di colata a quella ambiente, tutte le leghe di fusione subiscono una contrazione volumetrica più o meno pronunciata in funzione della lega utilizzata.
- La forma, e di conseguenza il modello, devono essere dunque di dimensioni opportunamente maggiorate rispetto a quelle del pezzo di fusione.
- Per definire le dimensioni del modello si deve utilizzare un coefficiente di ritiro lineare medio.

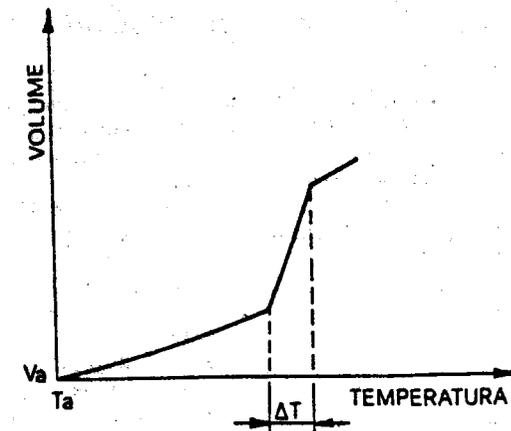
Variatione del volume in funzione della temperatura per un metallo puro.

V_a = volume a temp. ambiente
 T_a = temperatura ambiente
 T_s = temp. di solidificazione



Variatione del volume in funzione della temperatura per una lega metallica.

V_a = volume a temp. ambiente
 T_a = temperatura ambiente
 ΔT = intervallo di solidificazione



Ritiro dei materiali

- È altresì noto che ogni materiale ha un coefficiente di ritiro diverso da altri
- Non è quindi detto che il modello costruito per un materiale vada bene per un altro, pur mantenendo lo stesso ciclo produttivo

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)		
	≤250	250 + 1000	≥1000
≤ 40	± 1	± 1	± 2
40 + 65	± 1	± 1	± 2
65 + 100	± 1	± 1	± 2
100 + 160	± 1	± 2	± 2
160 + 250	± 2	± 2	± 3
250 + 400	-	± 2,5	± 3
400 + 630	-	± 3	± 4
630 + 1000	-	± 4	± 5

Tolleranze (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti in acciaio ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)		
	≤250	250 + 1000	≥1000
≤ 40	± 2	± 2	± 4
40 + 65	± 2	± 2	± 5
65 + 100	± 2	± 3	± 6
100 + 160	± 3	± 3	± 6
160 + 250	± 4	± 4	± 6
250 + 400	-	± 5	± 7
400 + 630	-	± 6	± 8
630 + 1000	-	± 7	± 10
1000 + 1800	-	-	± 13
1800 + 2500	-	-	± 16

Tolleranze (in mm) sulle «dimensioni non critiche» di getti in acciaio ottenuti per fusione in terra.

Tolleranze dimensionali

Quote nominali di riferimento (mm)	MASSIMA DIMENSIONE DEL PEZZO (mm)				
	≤100	100 + 160	160 + 250	250 + 630	630 + 1000
≤16	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 1
16 + 25	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 1
26 + 40	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 1	± 1,5
40 + 63	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1,5
63 + 100	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1,5
100 + 160	-	± 1	± 1	± 1,5	± 2
160 + 250	-	-	± 1,5	± 1,5	± 2
250 + 400	-	-	-	± 2	± 2,5
400 + 630	-	-	-	± 2,5	± 3
630 + 1000	-	-	-	-	± 3,5

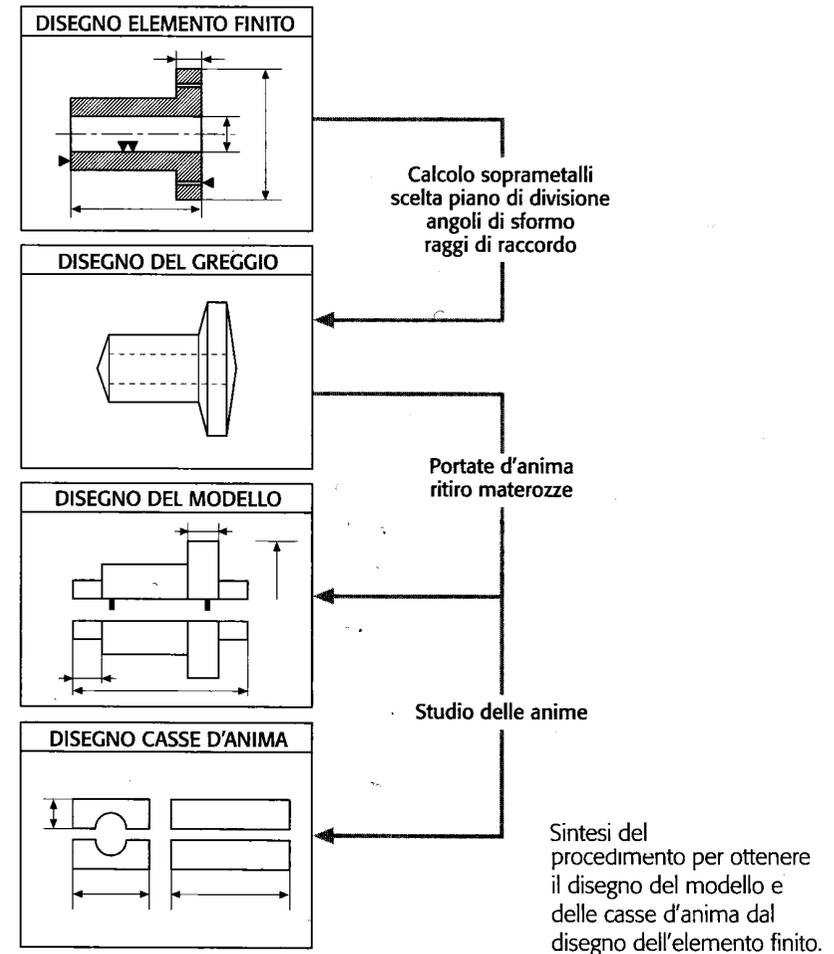
Tolleranze (in mm) sulle «dimensioni critiche» di getti in ghisa grigia ottenuti per fusione in terra (AFNOR).

	GETTI PICCOLI (con una dimensione max ≤500 mm)	GETTI MEDI (con una dimensione massima compresa tra 500 e 1000 mm)
FORMATURA A MANO	± 0,75 + 1	± 1 + 1,5
FORMATURA A MACCHINA CON ANIME	± 0,6 + 0,75	± 0,9 + 1,3
FORMATURA A MACCHINA	± 0,5 + 0,6	± 0,75 + 1

Tolleranze (in mm) realizzabili sulle «dimensioni critiche» di getti colati in terra (valori medi per leghe di zinco, alluminio, magnesio, rame).

Modelli da fonderia

- Funzionalità:
 - Verniciatura con diversi colori per facilitare l'immagazzinamento
 - Prevedere spine di riferimento nel caso di pezzi componibili
- Precisione
 - Quote
 - Tolleranze
 - Scelta del materiale
 - Umidità
- Durata nel tempo
 - Usura durante la colata
 - Deformazioni di immagazzinamento



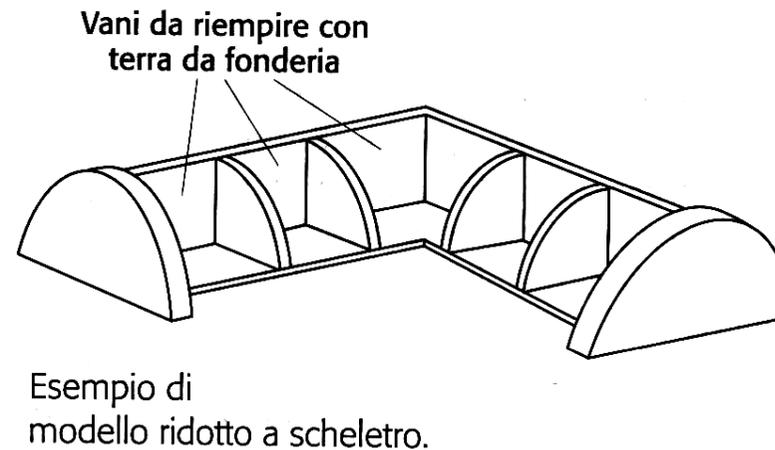
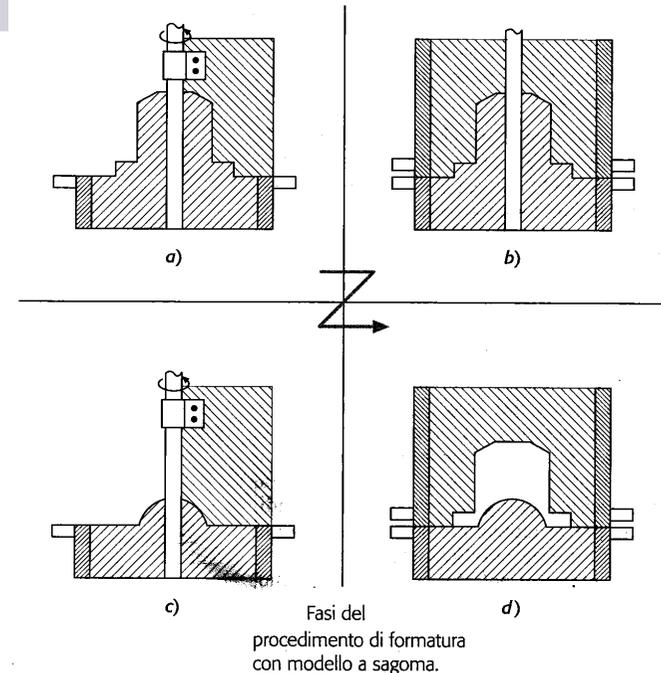


Materiali per modelli

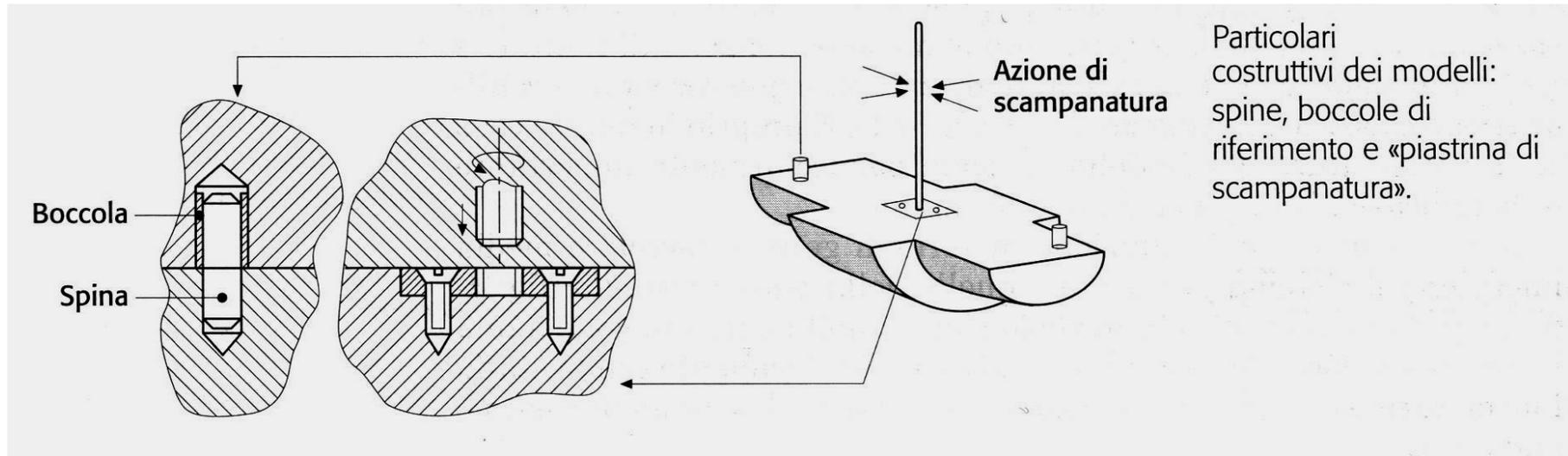
- **Legno**
 - Facilmente lavorabile
 - Economico
 - Molto sensibile all'umidità
 - Da verniciare
- **Leghe metalliche**
 - Costose
 - Per produzioni di serie con la creazione di placche modello
- **Materie plastiche**
 - Facilmente lavorabili
 - Insensibili all'umidità
 - Relativamente economiche
- **Cera e polistirolo**
 - Molto economici
 - Utilizzati solo per modelli a perdere

Altri modelli

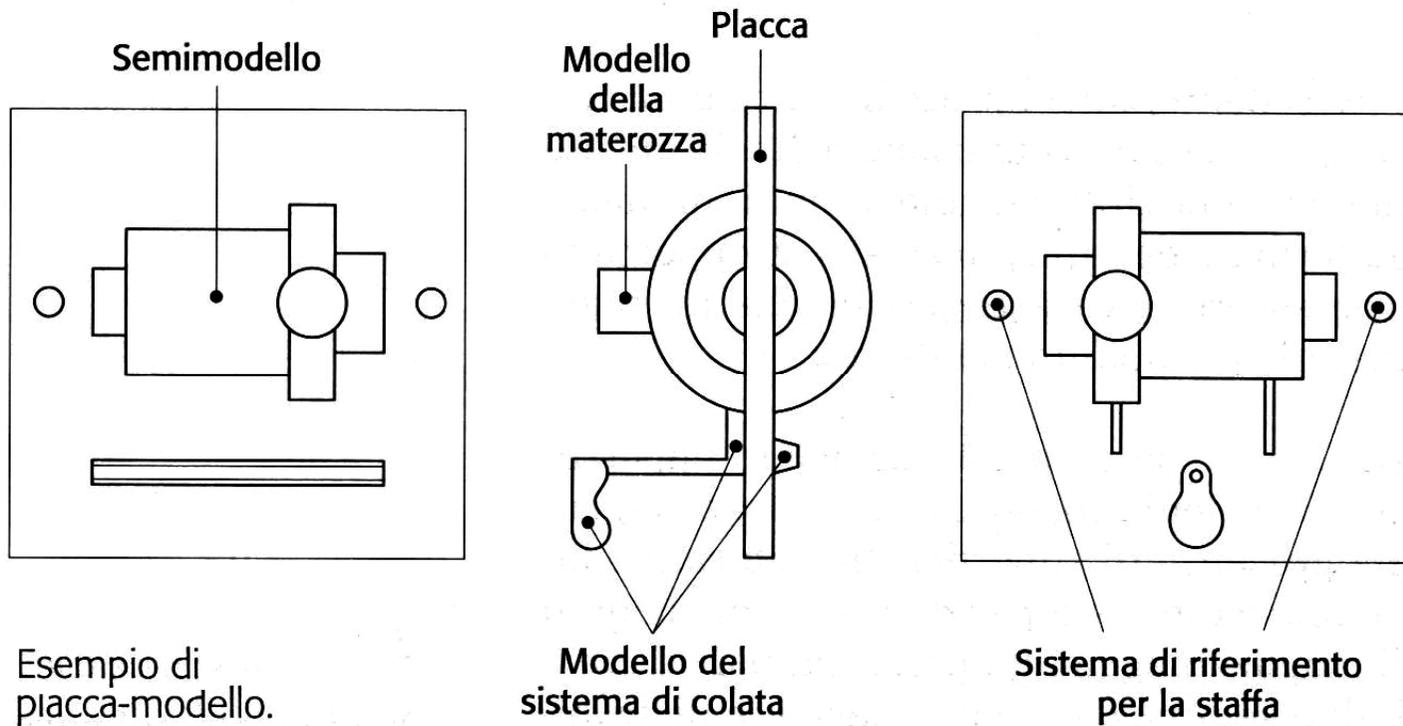
- **Modelli a sagoma:**
 - sono modelli consistenti in una sagoma ruotante attorno ad un asse di simmetria verticale quando il getto lo prevede
- **Modelli a scheletro:**
 - Sono modelli costruiti generalmente in legno con una armatura interna rivestita al fine di ridurre il peso complessivo del modello. Sono utilizzati per getti di grosse dimensioni



Costruzione di modelli

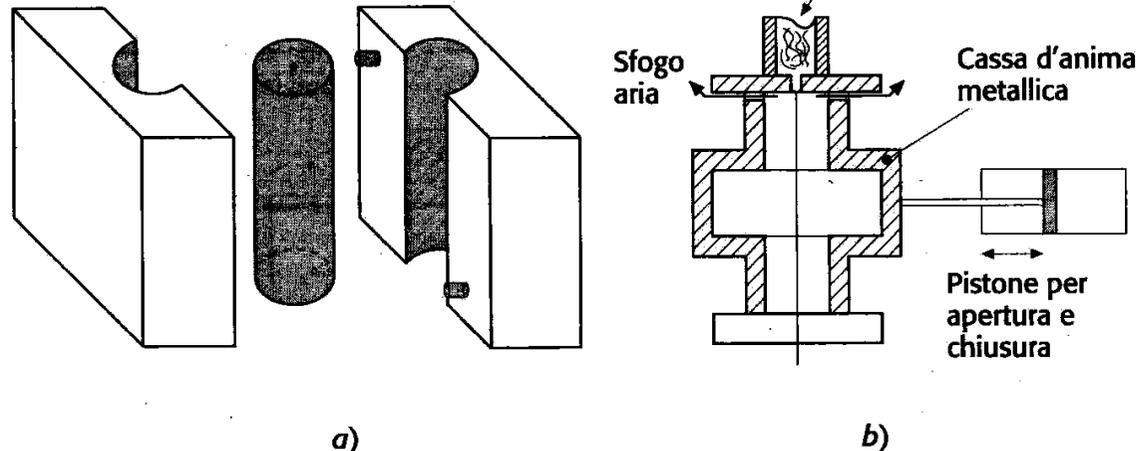


Placca - modello

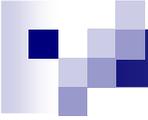


Anime

Metodi di costruzione di anime in terra: con cassa d'anima *a)*, con macchina spara-anime *b)*.



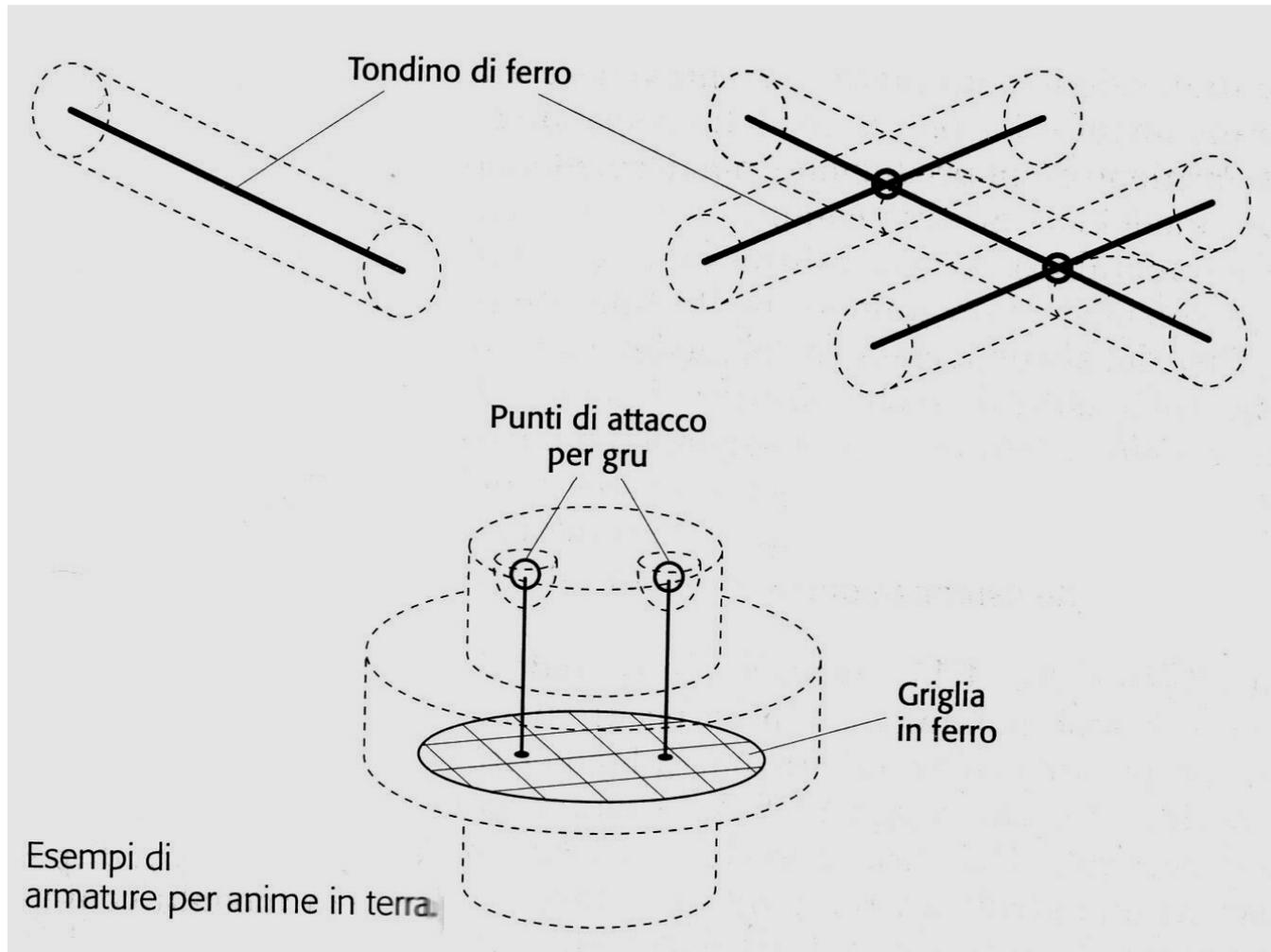
- Devono essere realizzate in materiale refrattario in quanto completamente immerse nella colata e sottoposte a forti sollecitazioni
- Sono appoggiate sulle portate d'anima che il modello deve creare nella forma
- Caratteristiche essenziali:
 - Resistenza meccanica
 - Permeabilità
 - Cedevolezza durante il ritiro
 - Sgretolabilità solo dopo il raffreddamento (utilizzano a tal fine leganti che vengono bruciati nella fase di solidificazione del materiale fuso lasciando libera la sabbia)



Casse d'anima

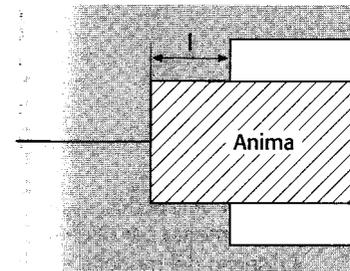
- Così come per le normali forme, anche le anime devono essere prodotte tramite un modello, in questo caso detto cassa d'anima, che riproduce in negativo l'anima stessa
- Le casse d'anima, generalmente in legno o in materiale metallico sono costituite da due matrici che, una volta chiuse, riproducono la cavità corrispondente all'anima.
- Sono dotate di perni di riferimento per garantire un corretto accoppiamento

Costruzione di anime

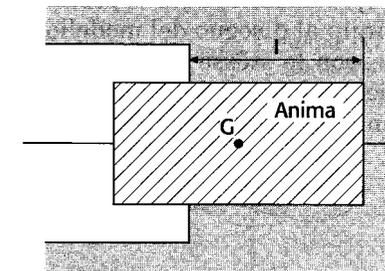


Portate d'anima

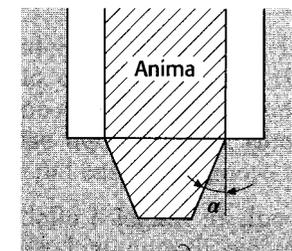
- Occorre prevedere apposite sedi nella forma per sorreggere le anime, a loro volta destinate a prevedere i vuoti necessari all'interno dei getti
- Considerazioni:
 - Le portate d'anima possono essere cilindriche nel caso di asse dell'anima coincidente al piano di separazione delle staffe
 - Prevederle di forma tronco-conica nel caso di asse d'anima perpendicolare al piano di divisione
 - Nel caso di anime a sbalzo prevedere che il baricentro di queste ultime cada all'interno della sezione della portata d'anima al fine di garantire la stabilità durante la colata



Portata d'anima cilindrica per anima orizzontale su due appoggi

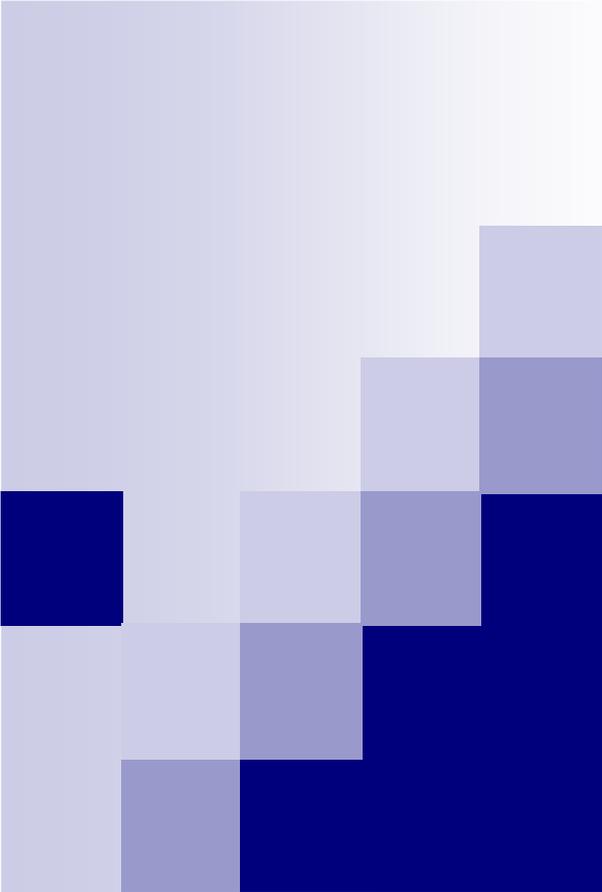


Anima a sbalzo



Portata d'anima per anima verticale

Esempi di portate d'anima.



Dimensionamento del modello

1° step

DIMENSIONAMENTO DEL MODELLO

1) Disegno del finito

Definire:

- a) materiale (ghisa grigia)
- b) peso specifico (73 N/dm^3)
- c) sovrasmetallo (tabella di riferimento)
ghisa grigia

Disegno del finito

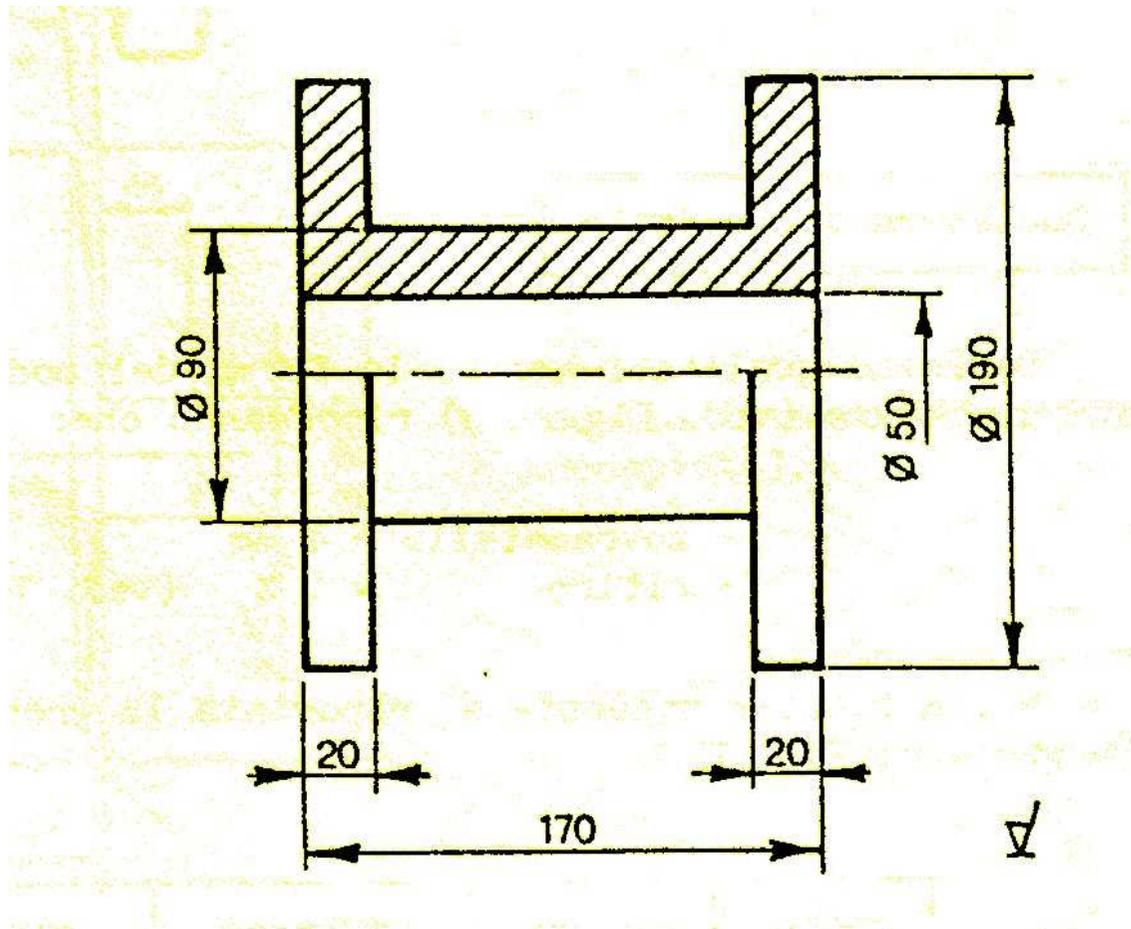


Tabella sovrametalli

Valori indicativi del sovrametallo (in mm) per getti in ghisa realizzati mediante fusione in terra.

Quota nominale (mm)	Dimensione massima del getto (mm)		
	< 250	250 + 1000	1000 + 2500
< 40	2,5 + 4,5	4,0 + 5,0	4,5 + 7,0
40 + 65	3,0 + 4,5	4,0 + 5,0	4,5 + 7,5
65 + 100	3,0 + 5,0	4,0 + 6,0	4,5 + 8,0
100 + 160	3,0 + 6,0	4,5 + 6,5	5,0 + 8,0
160 + 250	3,5 + 6,5	4,5 + 7,0	5,0 + 8,5
250 + 400	-	5,0 + 7,5	5,5 + 9,5
400 + 630	-	5,5 + 8,5	6,0 + 10,5
630 + 1000	-	6,5 + 10,0	6,5 + 11,5
> 1000	-	-	9,0 + 16,0



Step 2

2) Scelta del piano di divisione delle staffe

Tenere conto di:

a) evitare sottosquadri

b) verificare se gli angoli di spalla da prevedere possono dar luogo a problemi sulla geometria del pezzo finito

Tabella angoli di spoglia

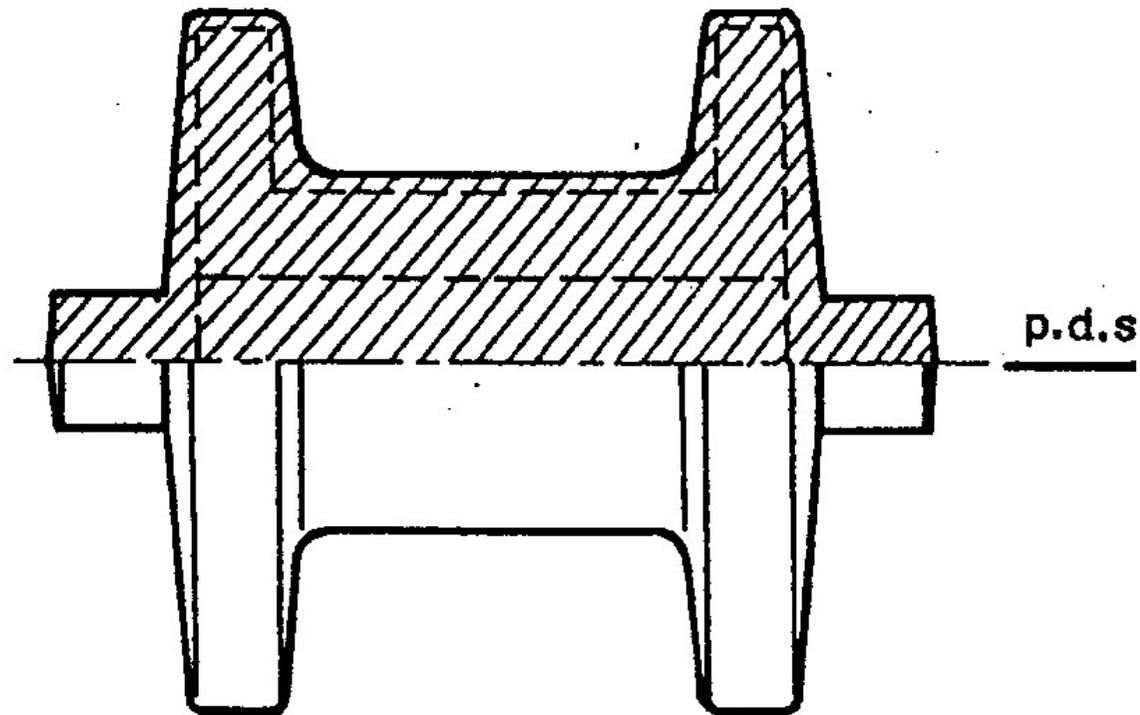
Valori indicativi dell'angolo di spoglia (in gradi e corrispondente pendenza) in funzione dell'altezza dell'elemento che si considera.

Altezza (mm)	Mod. in legno	Mod. metall.
≤ 20	4° 00' - 7,0%	2° 00' - 3,5%
20 + 50	3° 00' - 5,0%	1° 30' - 2,6%
50 + 80	2° 00' - 3,5%	1° 00' - 1,7%
80 + 120	1° 30' - 2,6%	0° 45' - 1,3%
120 + 220	1° 00' - 1,7%	0° 40' - 1,1%
≥ 220	1° 00' - 1,7%	0° 30' - 0,9%

Step 3

- 3) Realizzare il disegno del modello a livello qualitativo, ovvero senza quotature, tenendo conto di mettere in evidenza:
- a) gli angoli di spoglia
 - b) i sovrametalli
 - c) le pontate d'anima (se necessarie)

Disegno qualitativo del modello



Step 4

4) Realizzare i calcoli per la quotatura del modello tenendo conto che:

a) sovrametallo necessario: 4 mm

b) - ritiro materiale: 1%

desunti dalle tabelle riportate.

Si evidenzia altresì:

c) - raggi di raccordo spigoli: $r = 4 \text{ mm}$

d) - raggi di raccordo angoli: $R = 10 \text{ mm}$
($H_p \approx 28 \text{ mm}$)

e) - angoli di spoglia: $\alpha = 2^\circ$ (in legno)

Tabella ritiro del materiale

Valori medi di ritiro lineare (UNI 473).

Materiale	Ritiro (%)	Materiale	Ritiro (%)
Acciai non legati	1,80	Ghise malleabili nere	0,50
Acciai legati (esclusi quelli al Mn e inossid.)	1,80	Leghe Al (basso Si)	1,35
Acciai al manganese	2,30	Leghe Al (alto Si)	1,20
Acciai inossidabili	2,00	Leghe Cu-Sn	1,50
Ghise grigie	1,00	Leghe Cu-Zn	1,20
Ghise sfer., perlitiche	1,20	Leghe Cu-Sn-Zn	1,30
Ghise sfer., ferritiche	0,50	Leghe Cu-Zn (Mn, Fe, Al)	2,00
Ghise austenitiche	2,00	Leghe Cu-Al (Ni, Fe, Mn)	1,90
Ghise bianche	2,00	Leghe di Zn	1,30
Ghise malleabili bianche	1,60	Leghe antifrizione (metalli bianchi)	0,50

Tabella raggi di raccordo

Raccordo fra due pareti parallele di spessore differente (S e s) con e senza una superficie in comune.

	$R = 10$ $A = 0,7 \cdot S + 10$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S \leq 30 \text{ mm}$
	$R = 0,33 \cdot S$ $A = S$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S > 30 \text{ mm}$
	$R = 10$ $A = s + 10$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S \leq 30 \text{ mm}$
	$R = 0,33 \cdot S$ $A = s + 0,33 \cdot S$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S > 30 \text{ mm}$
	$R = 10$ $A = 0,7 \cdot S + 20$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S \leq 30 \text{ mm}$
	$R = 0,33 \cdot S$ $A = 1,4 \cdot S$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S > 30 \text{ mm}$
	$R = 10$ $A = s + 20$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S \leq 30 \text{ mm}$
	$R = 0,33 \cdot S$ $A = s + 0,7 \cdot S$	$\left. \begin{matrix} \text{RN} \\ \text{RN} \end{matrix} \right\} S > 30 \text{ mm}$

Tabella raggi di raccordo

Raccordo fra due pareti (di spessore s) che si incontrano secondo un angolo retto, ottuso o acuto (R e s sono espressi in mm).

Nel caso la funzionalità del pezzo permetta di arrotondare anche lo spigolo valgono i dati riportati nel riquadro di sinistra. Se le pareti fossero di spessore differente, tali valori sono ancora validi qualora si ponga s pari allo spessore massimo.

Nel caso la funzionalità del pezzo non permettesse di arrotondare lo spigolo (raccordato comunque con un raggio pari al sovrametallo) valgono i dati riportati nel riquadro di destra.

Caso	R	Caso	R		
			$s < 10$	$10 < s < 30$	$s > 30$
	$1,25 s$		s	10	$0,33 s$
	s		$0,75 s$	7,5	$0,25 s$
	$1,5 s$		$1,2 s$	12	$0,4 s$

Calcolo quotatura

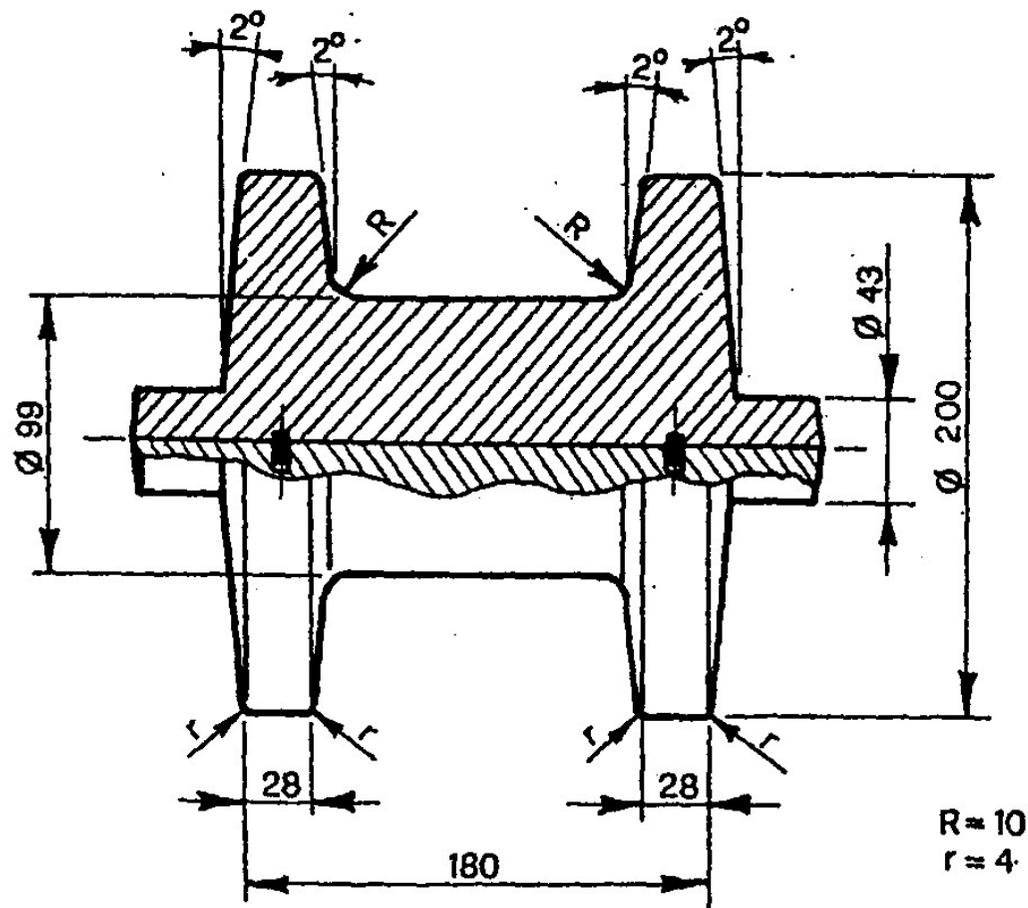
quota pezzo (mm)	ritiro (mm)	sovrame=tallo (mm)	quota modello (mm)	quota arrotondata (mm)
ϕ 50	0,5	- 2·4	42,5	43
ϕ 90	0,9	+ 2·4	98,9	99
ϕ 190	1,9	+ 2·4	199,9	200
20	0,2	+ 2·4	28,2	28
170	1,7	+ 2·4	179,7	180



Step 5

- 5) Provvedere, a partire dalla tabella di quotatura del modello alla quotatura del disegno qualitativo del modello mettendo in evidenza eventuali incongruenze.

Disegno del modello quotato



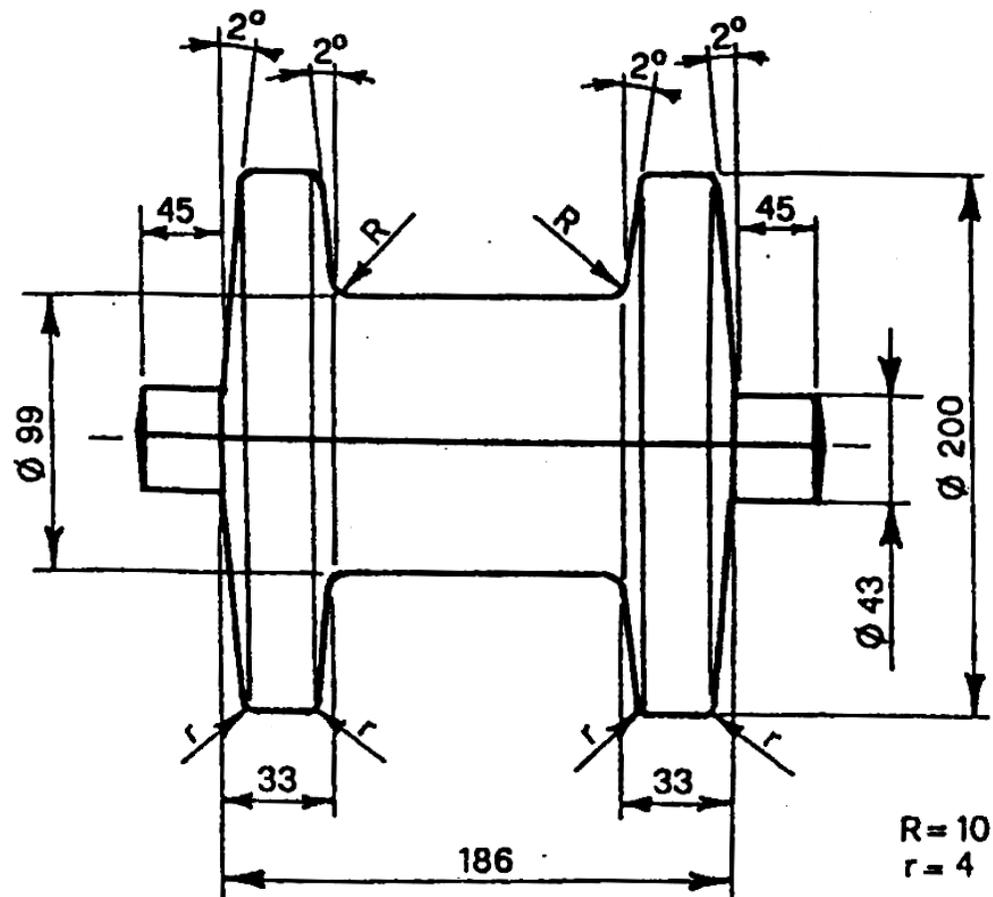
Step 6

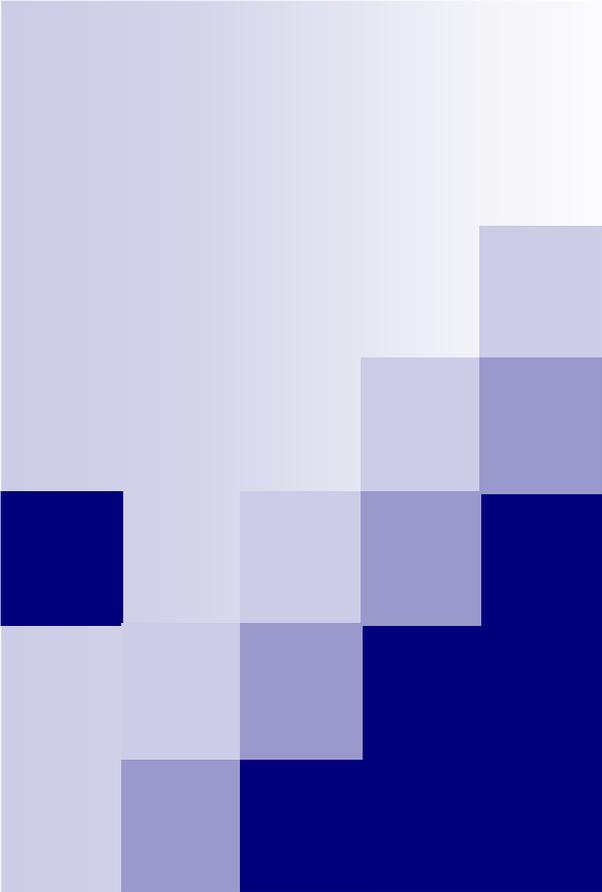
6) Realizzare il disegno definitivo del modello completo di tutte le quotature.

Tale disegno costituirà
* tutti gli effetti il progetto
con cui sarà realizzato il
modello -

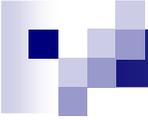
Tenere conto della modifica di
Talune quote per gli singoli di spoglia

Disegno definitivo del modello





Il processo di formatura



Tipi di formatura in terra

■ Formatura a verde

- Economica in quanto non prevede l'essiccazione
- Minore resistenza alle spinte metallostatiche a causa del mancato indurimento
- Per pezzi di piccole dimensioni

■ Formatura a secco

- Più costosa
- Sterratura impegnativa
- Migliore finitura del getto
- Limitata formazione di gas durante la colata
- Maggiore permeabilità



Allestimento della forma

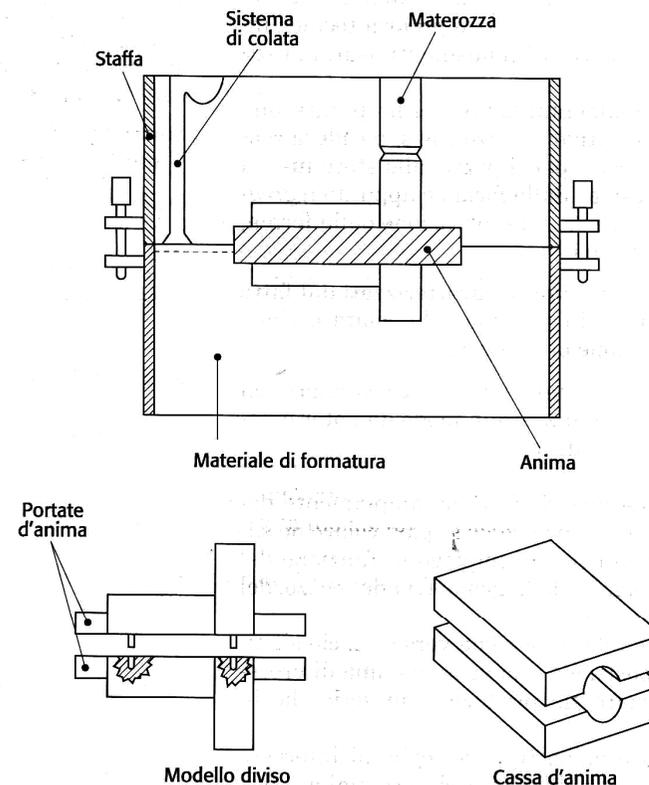
- Elementi necessari per l'allestimento della forma sono:
 - Staffe

 - Sistema di colata:
 - Bacino, filtri, trappole

 - Sistema di solidificazione
 - Materozze, raffreddatori

Staffe

- Sono dei telai metallici utilizzati per contenere la terra di formatura durante la composizione della forma e durante la colata
- Possono avere solo le pareti laterali od essere a graticcio
- Hanno apposite “orecchie” laterali per potere essere allineate in fase di composizione della forma.

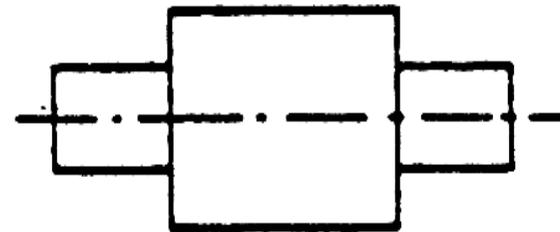


Formatura in terra con staffe: elementi principali.

Ciclo di formatura in terra

- Analisi delle fasi di un ciclo di formatura in terra partendo da un pezzo dato

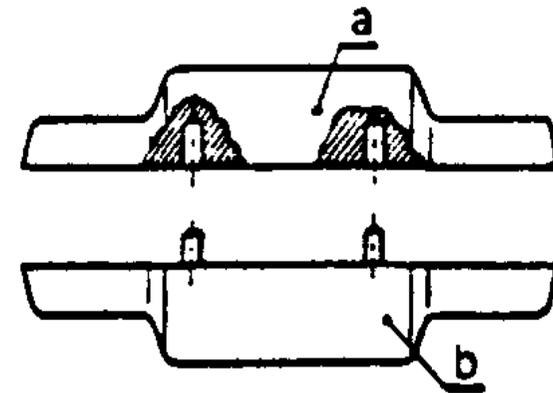
Si debba realizzare per fusione il pezzo illustrato a destra.



Ciclo di formatura - 1

- 1 -

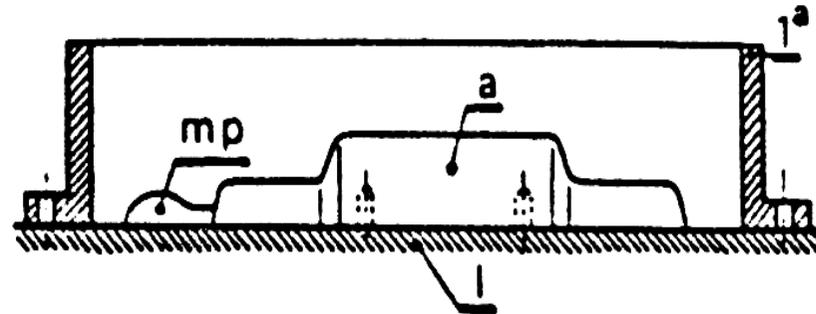
Tenendo conto del ritiro e degli eventuali sovrametalli, si realizza il modello illustrato a fianco e scomponibile in due meta' delle quali una (a) presenta dei fori di riferimento entro i quali andranno ad infilarsi i relativi perni dell'altra meta' (b). Tale scomposizione serve, come vedremo nelle fasi seguenti, per disporre di un piano di appoggio del modello, piano che coincide con quello di divisione delle staffe.



Ciclo di formatura - 2

- 2 -

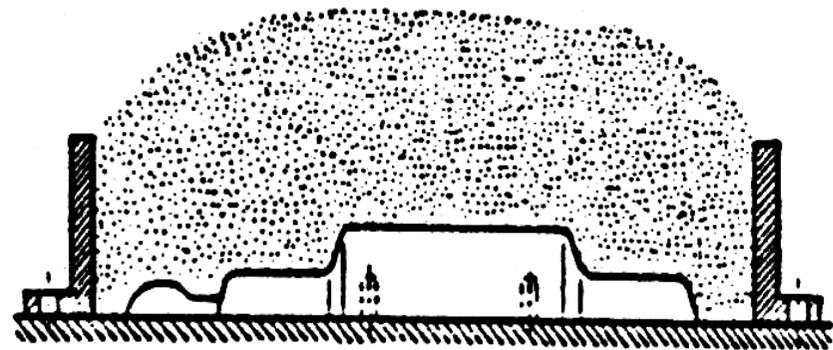
Si appoggia il semimodello con i fori di riferimento (a) su un piano di lavoro (l) disponendo accanto a questo il modello del piede di colata (mp); quindi intorno si dispone la 1^a staffa che, a forma allestita, sarà quella inferiore.



Ciclo di formatura - 3

- 3 -

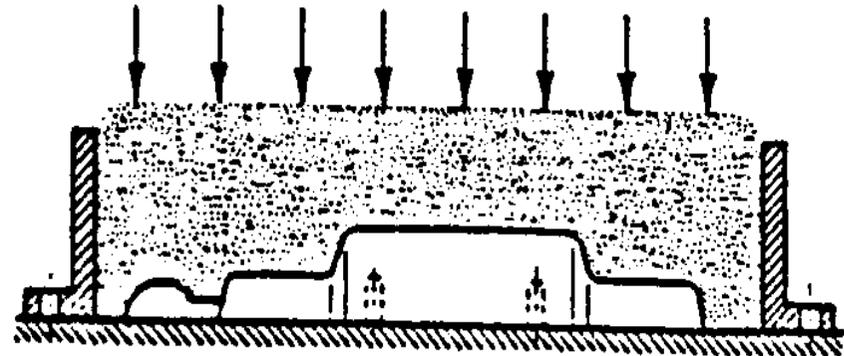
Si riempie la staffa con terra da fonderia dopo aver eventualmente spolverato il modello con polveri opportune per impedire l'incollaggio della terra sul modello e per facilitare l'estrazione di questo ultimo.



Ciclo di formatura - 4

- 4 -

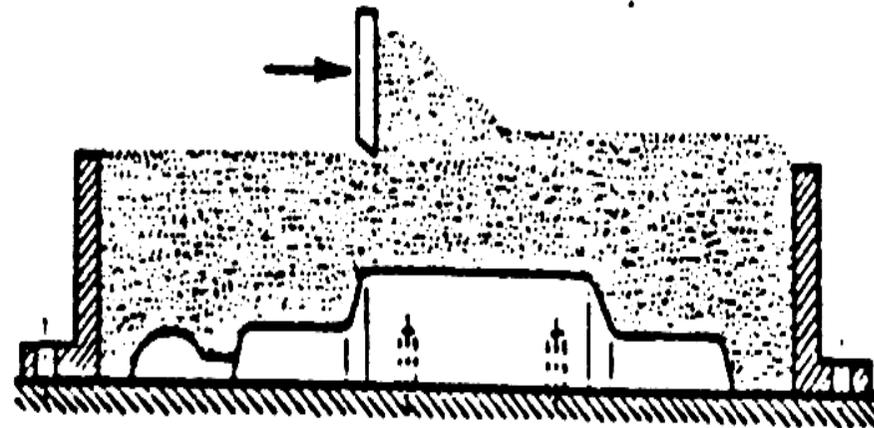
Si comprime, utilizzando pestelli pneumatici, la terra. Al fine di ottenere una pressatura uniforme si consiglia di riempire la staffa gradualmente, aggiungendo, man mano che lo stipamento procede, la terra necessaria.



Ciclo di formatura - 5

- 5 -

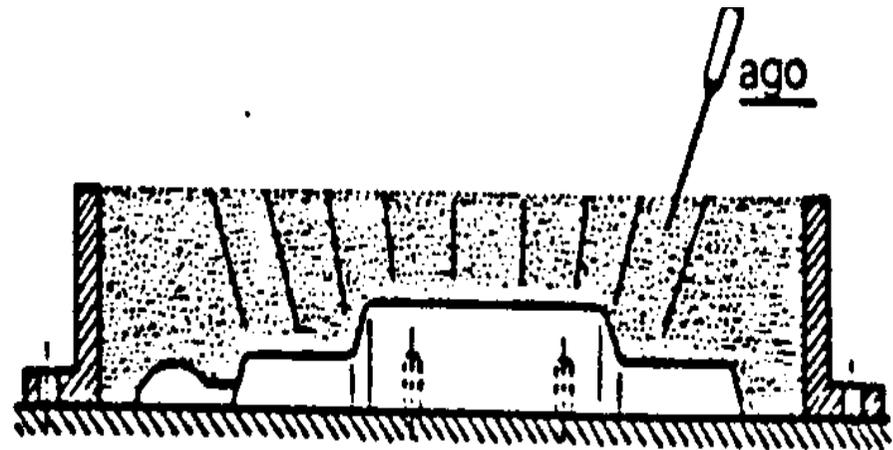
Si spiana la superficie superiore, asportando la terra in eccesso facendo scorrere una riga sui bordi della staffa.



Ciclo di formatura - 6

- 6 -

Si fora con aghi la forma in vari punti per favorire la fuoriuscita del gas, facendo attenzione di non danneggiare il modello.

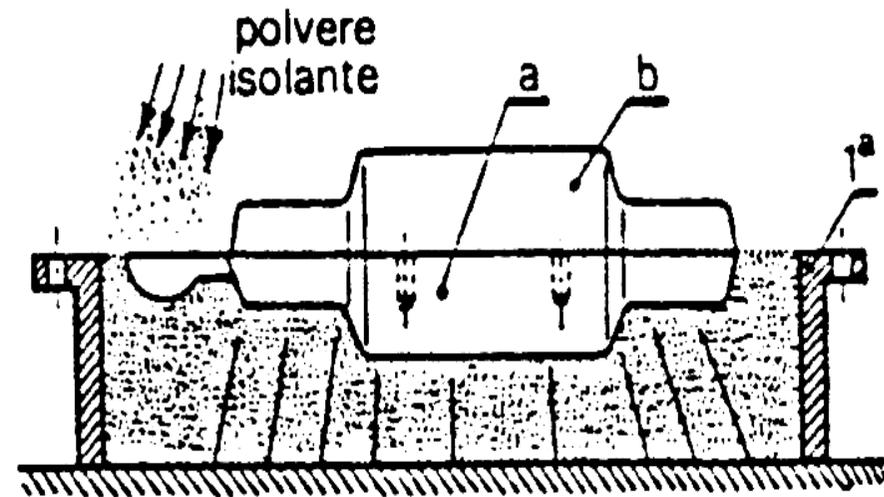


Ciclo di formatura - 7

- 7 -

Si capovolge la 1^a staffa, si sovrappone al semimodello (a) il semimodello (b), sfruttando; per un esatto posizionamento relativo delle due meta', i fori e i pioli di riferimento. Con tale operazione si crea un piano di lavoro per l'allestimento della 2^a staffa.

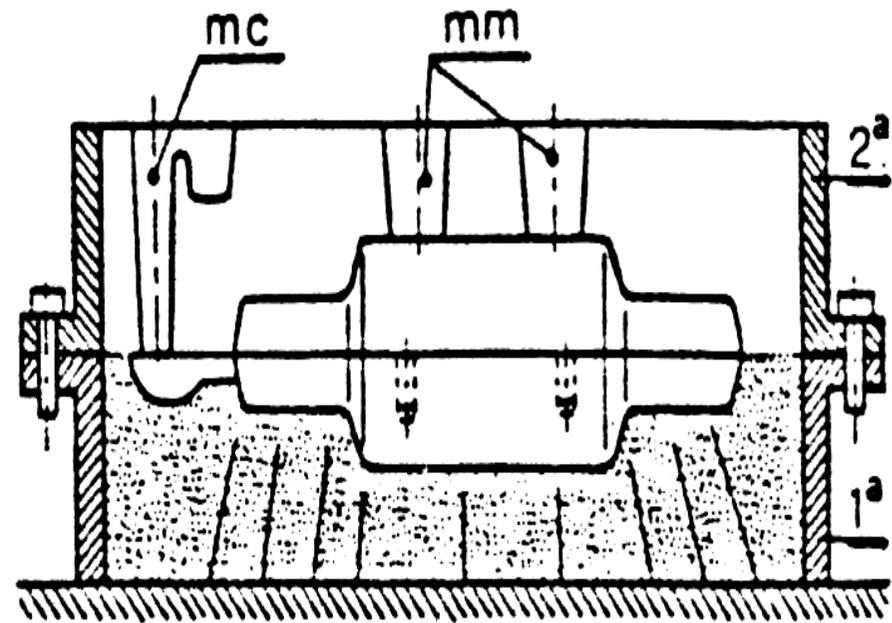
Si spolvera il piano di separazione con polveri isolanti.



Ciclo di formatura - 8

- 8 -

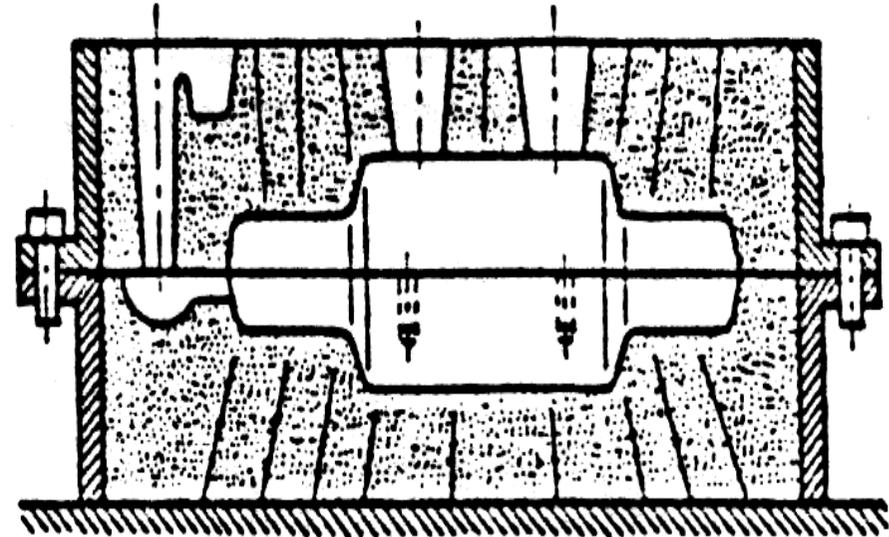
Si sovrappone la 2^a staffa centrandola, rispetto alla 1^a, con i perni di riferimento, e si dispongono i modelli del canale di colata (mc) e delle materozze (mm).



Ciclo di formatura - 9

- 9 -

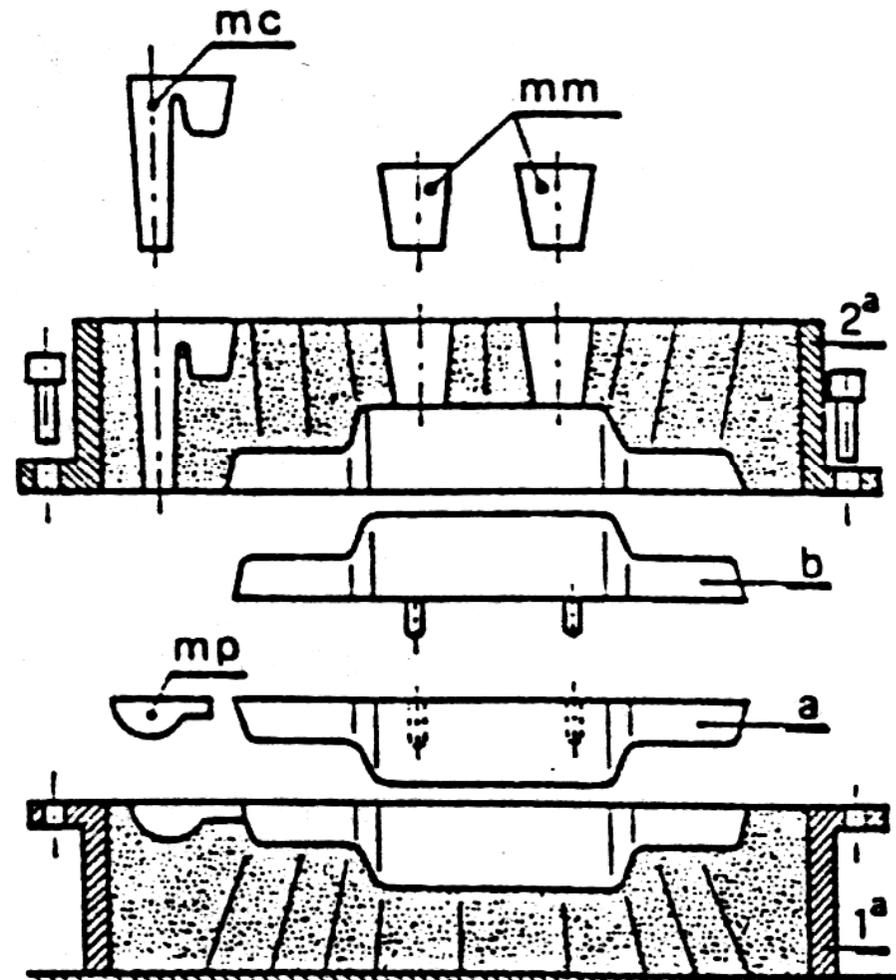
Si procede come ai punti 3, 4, 5, 6 sino ad ottenere la configurazione illustrata a fianco.



Ciclo di formatura - 10

- 10 -

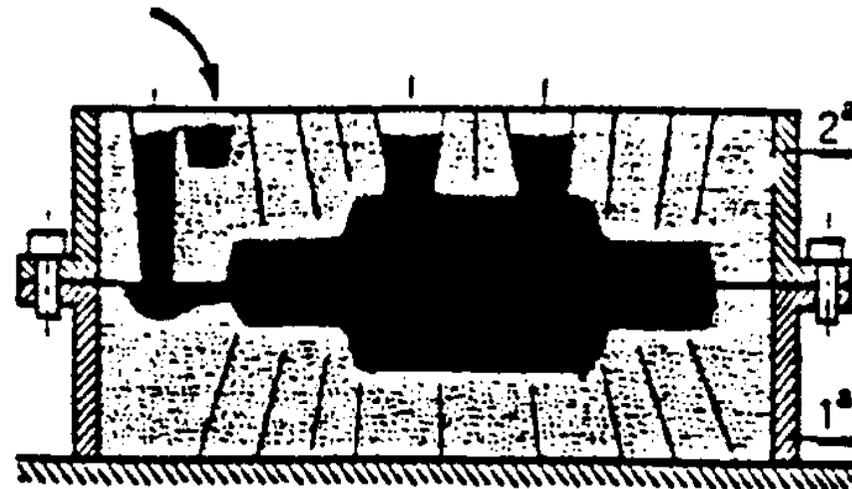
Si separano le due staffe, si estraggono tutti i modelli con molta cura per non rovinare la forma e con opportune spatole si toglie la terra eventualmente inframezzatasi fra i vari modelli. Infine si ripara la forma che puo' essersi danneggiata durante le varie operazioni.



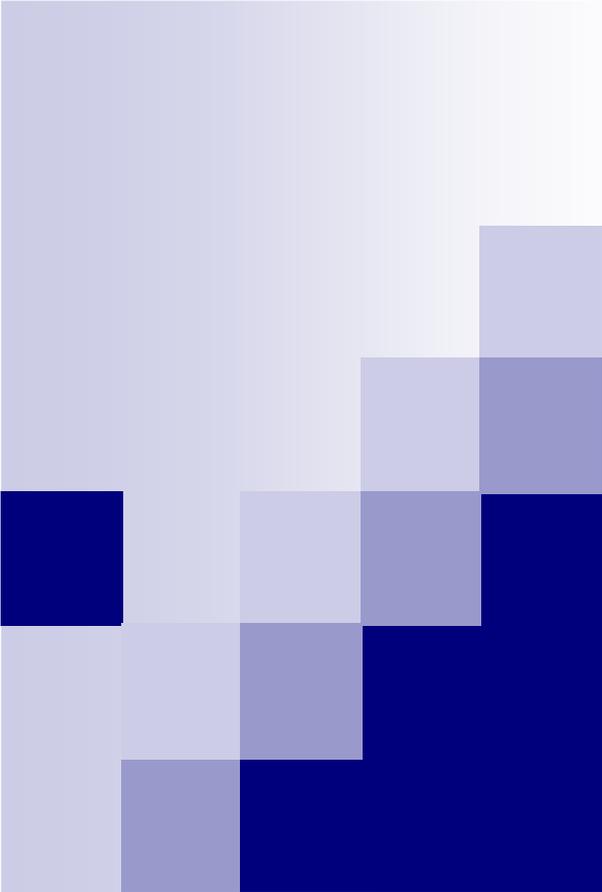
Ciclo di formatura - 11

- 11 -

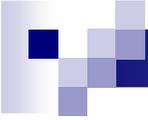
Si sovrappongono, sempre centrando con i perni di riferimento, le staffe 1^a e 2^a che sono così pronte per la colata. Ovvio che, se fossero previste delle anime, queste verrebbero collocate nella forma prima della chiusura delle staffe.



Se è lo stesso pezzo a presentare una superficie piana, il ciclo di formatura può essere quello illustrato brevemente in Fig. 2.49 nella quale si nota che tale superficie viene presa come appoggio del modello sul piano di lavoro e come piano di divisione delle due staffe. La successione delle varie fasi di formatura è del tutto analoga a quella vista nell'esempio precedente.

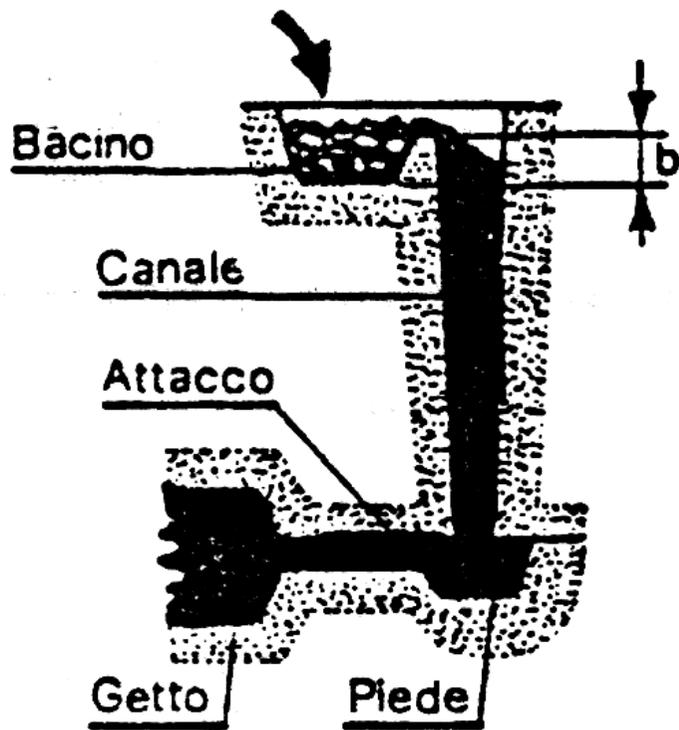


Il sistema di colata

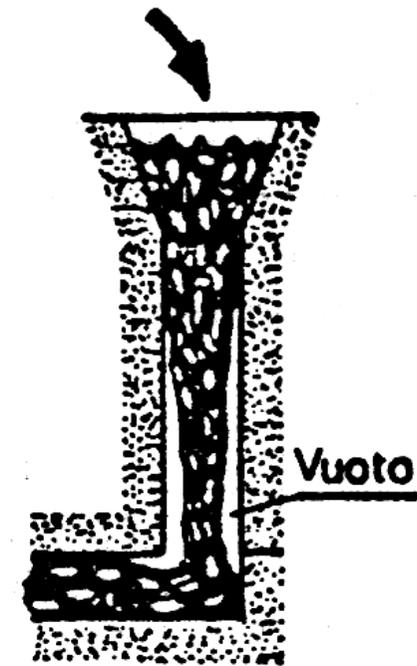


Il sistema di colata

- E' definito tale l'insieme delle canalizzazioni che permettono alla lega liquida di riempire la forma
- Non esistono metodi teorici per la progettazione del canale di colata: è fondamentale l'esperienza accumulata
- Esistono invece delle regole pratiche:
 - La forma deve essere riempita il più velocemente possibile
 - Occorre evitare forti velocità e turbolenze che potrebbero creare erosioni, spruzzi e inglobamento di aria
 - Evitare che la scoria possa dare luogo ad inclusioni nel getto tenendola all'esterno della forma mediante filtri e labirinti
 - Il gradiente termico, una volta terminato il riempimento deve essere adatto ad una corretta solidificazione direzionale
 - Occorre distribuire la lega liquida in modo contemporaneo in tutte le parti del getto per evitare che possa solidificare prematuramente specie in presenza di spessori fini



(a) Disposizione corretta



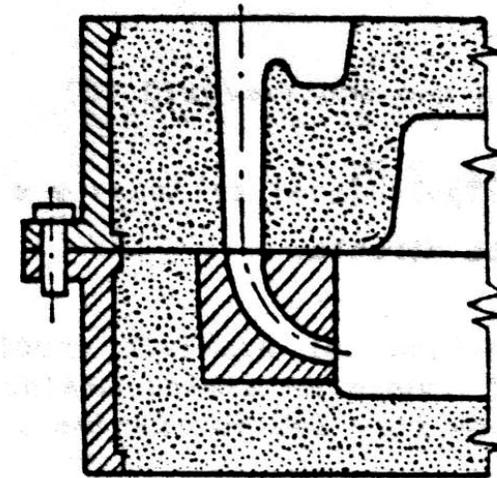
(b) Disposizione non corretta

Canale di colata e relativa terminologia.

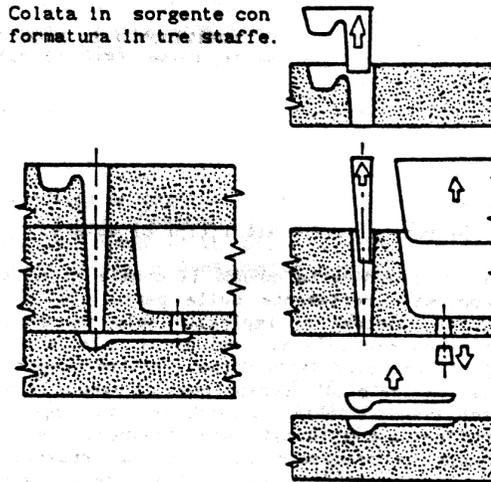
Sistemi di colata

- Classico, ovvero “dall’alto” con una serie di controindicazioni legate alla possibile turbolenza
 - Pericoloso specie per pezzi alti a causa del possibile formarsi di gocce fredde
- “Dal basso” o “in sorgente” per evitare turbolenze con il problema però di ottenere tempi di colata ridotti
- “A pettine” specie per pezzi molto alti

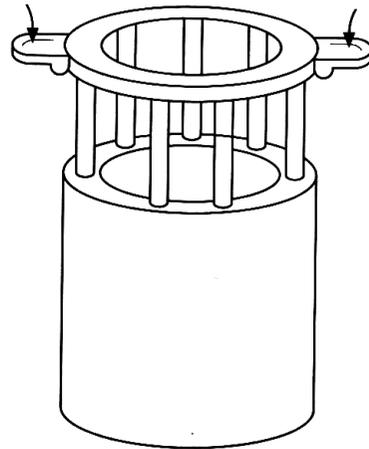
Colata in sorgente con utilizzo di elemento riportato (attacco).



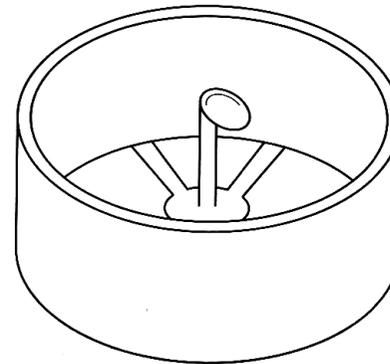
Colata in sorgente con formatura in tre stoffe.



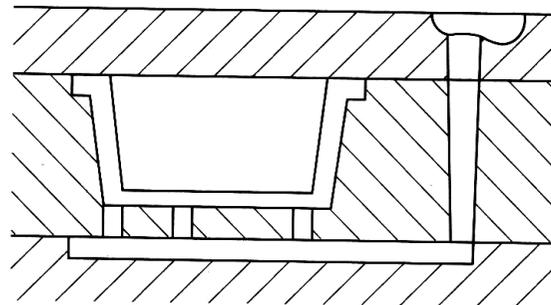
Sistemi di colata



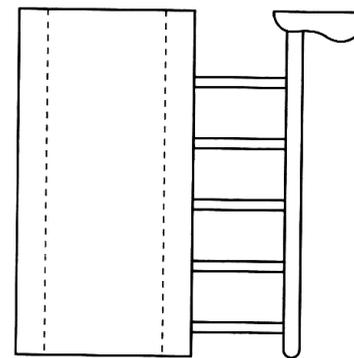
Colata dall'alto a pioggia



Dal basso a stella



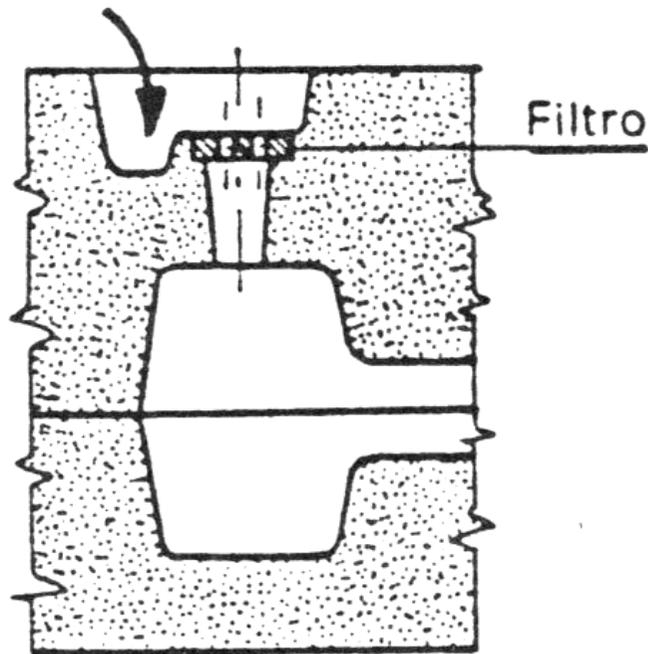
Dal basso a sorgente



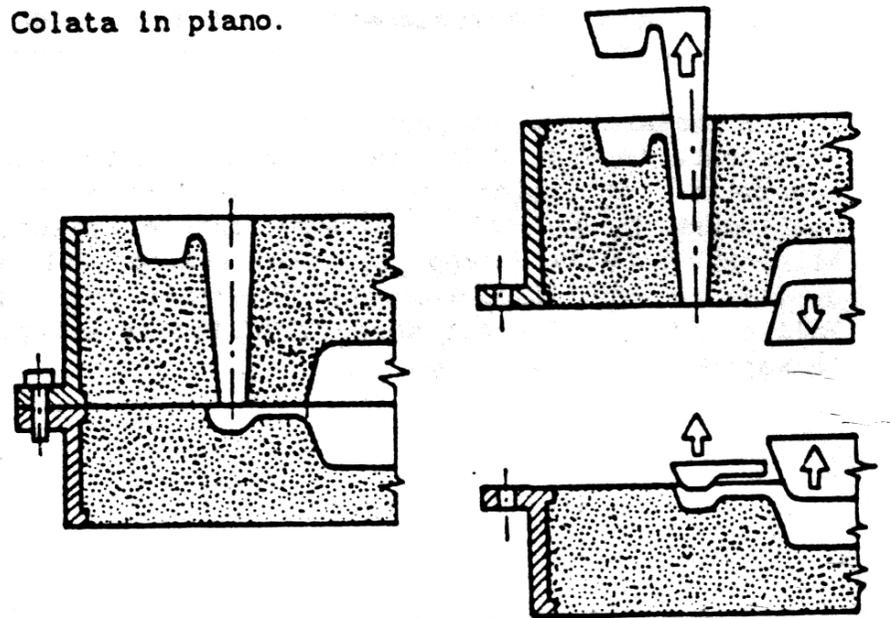
Colata a pettine

Sistemi di colata

Colata diretta.

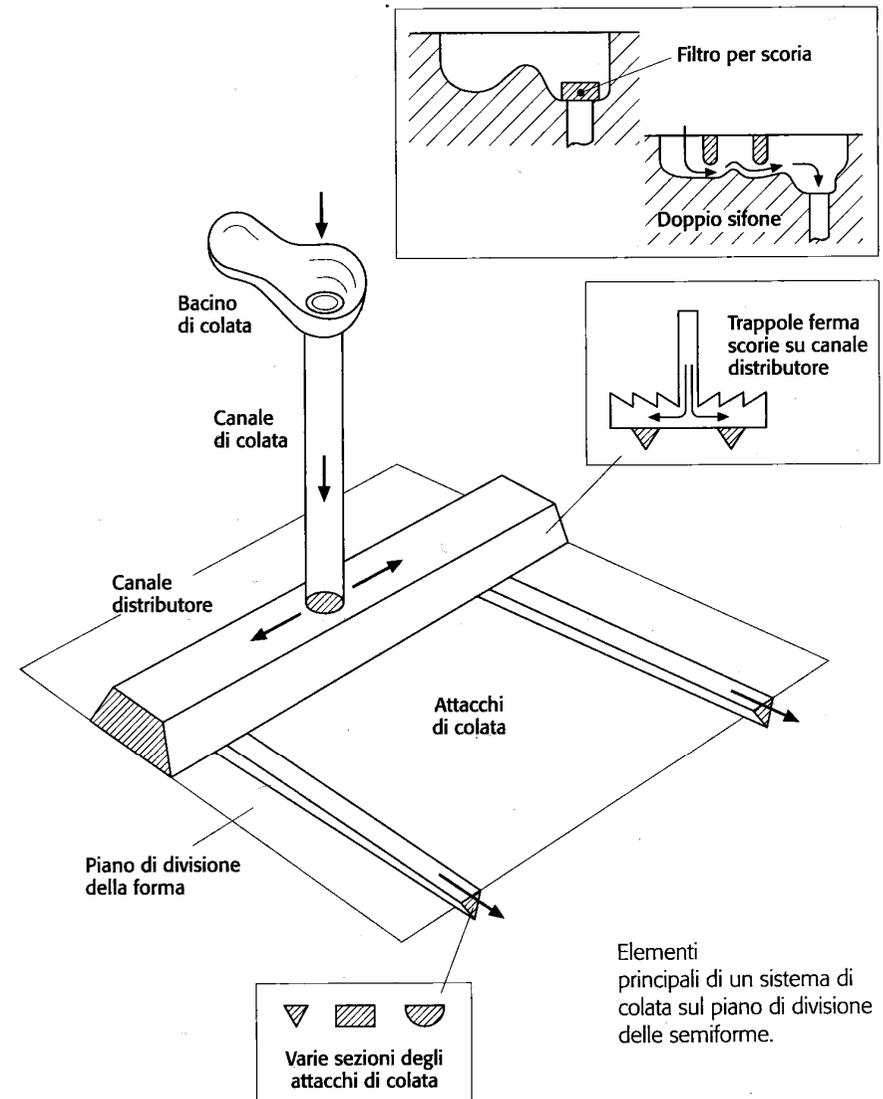


Colata in piano.



Canale di colata

- È la cavità attraverso la quale viene introdotto il metallo liquido nella forma
 - Il bacino di colata nella parte superiore consente il travaso del metallo fuso lungo le pareti del canale centrale senza distacco dalle pareti
 - Il canale centrale presenta una diminuzione progressiva della sezione
 - Termina con un piede di colata che evita l'ingresso della vena fluida nella forma con moti turbolenti

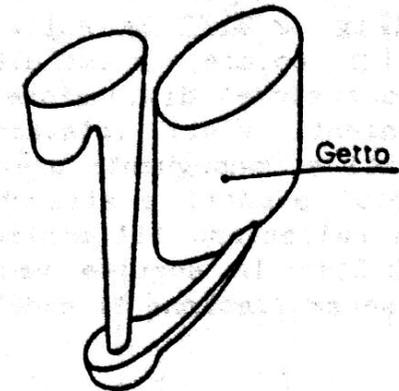


Tipologia di canali di colata

- Colata:
 - diretta
 - sorgente
- Attacco di colata:
 - Perpendicolare
 - Tangenziale



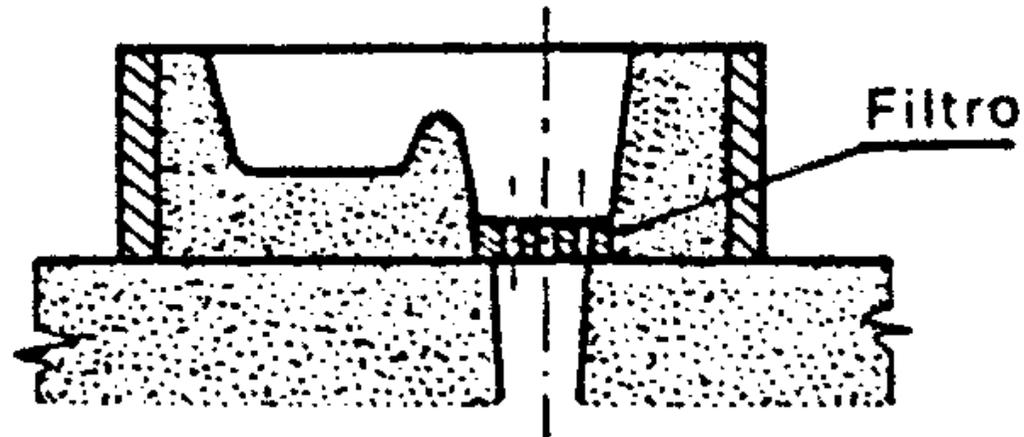
Attacco di colata normale alla parete del getto.



Attacco di colata tangenziale.

Filtri

Bacino di colata riportato
(con filtro).



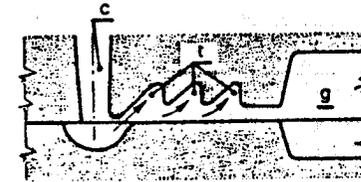
- Sono composti da dischetti di ceramica e materiale refrattario
- Hanno la funzione di ridurre i moti turbolenti e la creazione di gocce fredde
- Servono anche a trattenere le scorie nel bacino

Trappole

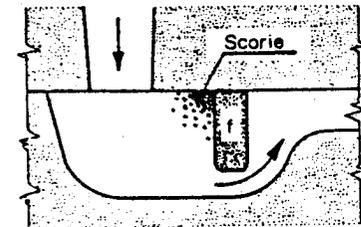
- Servono ad impedire che le scorie entrino nella forma
- Sono di diverso tipo:
 - A denti di sega
 - Con fermascorie
 - Di separazione per forza centrifuga

Trappola a denti di sega.

c = canale di colata
g = getto
t = trappole

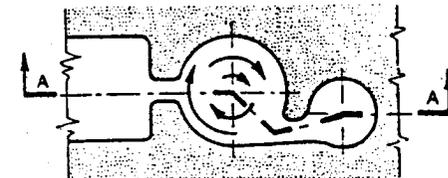
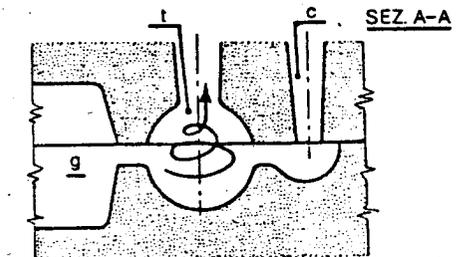


Fermascorie f nel piede di colata.



Trappola per separazione delle scorie per forza centrifuga.

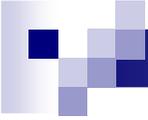
c = canale di colata
g = getto
t = trappola





Elementi del sistema di colata

- Bacino di colata: riceve la colata, regola la velocità di efflusso, trattiene le scorie se dotato di opportuni filtri
- Canale di colata: porta il materiale dal bacino esterno al piano di divisione della forma
- Canale distributore: generalmente di forma trapezoidale, porta il materiale agli ingressi del getto, presenta trappole ferma scorie
- Attacchi di colata: sono gli ingressi di colata del getto ricevono il metallo fuso dal canale distributore e lo convogliano nelle zone prescelte del getto



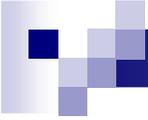
Dimensionamento del sistema di colata

- Il sistema di colata può essere progettato secondo due sistemi:
 - Pressurizzato o convergente
 - Non pressurizzato o divergente
- I due sistemi variano in funzione del diverso dimensionamento di:
 - S_c sezione del canale di colata
 - S_d sezione del canale distributore
 - S_a sezione totale degli attacchi di colata



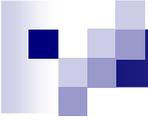
Sistemi non pressurizzati o divergente

- Prevede un progressivo aumento delle sezioni di passaggio del metallo liquido
- Ad esempio: $S_c/S_d/S_a = 1/2/4$
- Vantaggi:
 - Basse velocità di efflusso e dunque scarsa turbolenza
 - Moto laminare adiacente alle pareti della forma
 - Utilizzato per materiali presentanti problemi di ossidazione e formazione di scorie



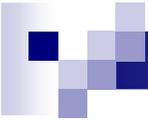
Sistemi pressurizzati o convergenti

- Prevede una sezione del canale di colata maggiore di quella di attacco
- Ad esempio: $S_c/S_d/S_a = 4/8/3$ oppure $4/3/2$
- Vantaggi:
 - Evita il distacco del liquido dalle pareti e dunque il possibile risucchio di aria all'interno del getto



Tempo di riempimento

- Il tempo di riempimento è legato al dimensionamento del sistema di colata tenendo conto che:
 - Sezioni elevate comportano minori tempi di riempimento ma anche maggiori sfridi
 - Sezioni modeste comportano maggiori tempi di riempimento e dunque anche dei rischi:
 - Inizio della solidificazione prima del completo riempimento della forma (allo scopo si prevede di surriscaldare il materiale di colata)
 - Collasso della terra di formatura a seguito di shock termico di irraggiamento nelle zone non ancora raggiunte dal metallo liquido e quindi non ancora sottoposte a spinta metallostatica



Determinazione del tempo di riempimento

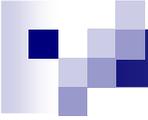
- Il tempo di riempimento T_r deve soddisfare a due condizioni:

$$T_r < T_s ; T_r < T_c$$

Ove:

T_s = tempo di solidificazione intercorrente tra l'inizio della colata e l'inizio della solidificazione

T_c = tempo critico massimo di esposizione della terra della forma all'irraggiamento senza collassare



Tempo di solidificazione

- Il tempo di solidificazione T_s può essere determinato mediante due formule approssimative e sperimentali:

$$T_s = K_M \cdot M^{1,71}$$
$$T_s = K_S \cdot S^{1,71}$$

Ove

M è il modulo di raffreddamento del getto, ovvero rapporto tra volume e superficie

S è lo spessore della zona più sottile ed estesa verticalmente

K_M e K_S sono due costanti sperimentali

Surriscaldamento

Tabella 2.7 - Valori indicativi delle costanti K_M e K_S per acciai, ghise e bronzi in funzione del surriscaldamento del metallo liquido (colata in sabbia silicea).

Materiale	Surriscaldamento							
	50 °C		100 °C		150 °C		200 °C	
	K_M	K_S	K_M	K_S	K_M	K_S	K_M	K_S
Acciai	2	0,6	8	3	18	6	30	10
Ghise malleabili bronzi	3	0,9	12	3,5	25	7,5	45	14
Ghisa grigia e sferoidale	4	1,3	16	5	38	12	65	20

Tempo critico

Tabella 2.8 - Valori indicativi del tempo critico t_c (in secondi).
Questi tempi dipendono dalla granulometria della sabbia (aumentano con le dimensioni del grano) dal tipo di legante, nonché dalla forma del getto.

Forme in terra (a verde)	Forme e anime agglomerate con leganti sintetici
4 + 25	fino a 60

- Il tempo critico è un valore sperimentale disponibile in tabella



Calcolo della sezione minima

- Noto il tempo di riempimento, è possibile calcolare la portata media di riempimento con la formula

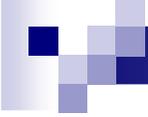
$$Q_m = V / T_r$$

Ove V è il volume del getto

- La sezione minima S_{\min} è quindi determinabile con la formula

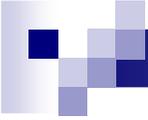
$$S_{\min} = Q_m / v$$

Ove v è la velocità del metallo liquido da valutare



Calcolo della velocità

- Il calcolo della velocità del metallo liquido è reso complesso da una serie di aspetti quali:
 - Gli attriti
 - Le deviazioni
 - Le variazioni di sezione
- È possibile stabilire un valore approssimativo assumendo delle ipotesi

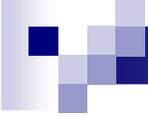


Calcolo della velocità

- Trascurando le perdite di carico la velocità può essere espressa da:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Ove l'altezza h è da valutarsi in funzione di diversi tipi di colata

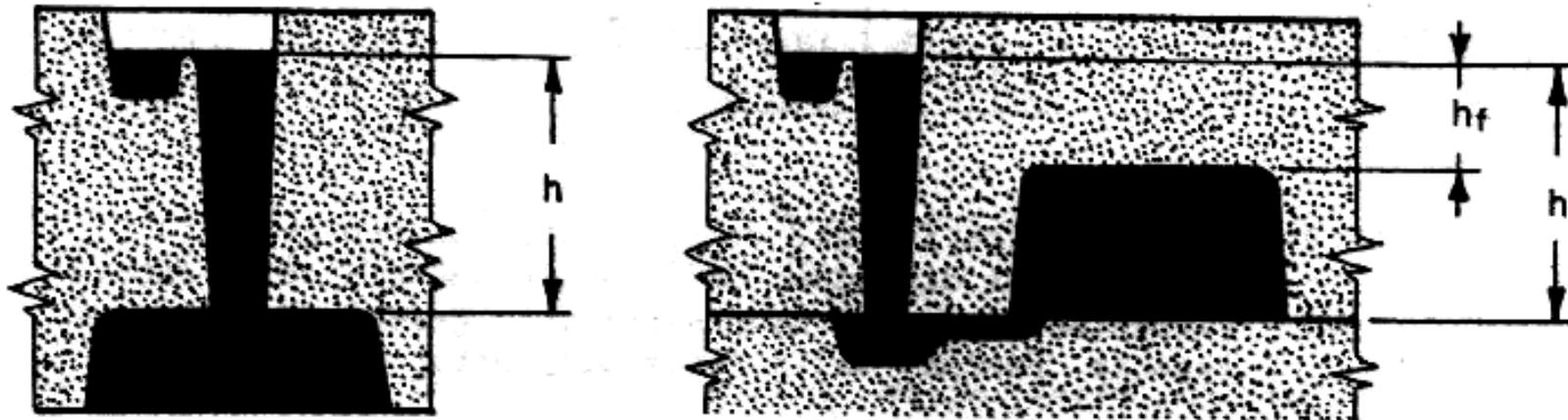


Altezza di colata

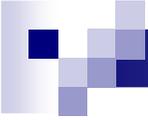
- Colata diretta dall'alto: h è l'altezza piezometrica di caduta tra il bacino e l'attacco di colata
- Colata in sorgente: occorre tenere conto di una contropressione che si crea man mano che la forma si riempie. In tal caso occorre considerare un'altezza approssimata pari a:

$$h = \frac{(\sqrt{h_i} + \sqrt{h_f})^2}{4}$$

Altezza di colata



Colata diretta e colata in sorgente: dimensioni utili per la valutazione della velocità di discesa del metallo liquido.



Dimensionamento del sistema di colata

- In fine è possibile dimensionare il canale di colata assumendo:

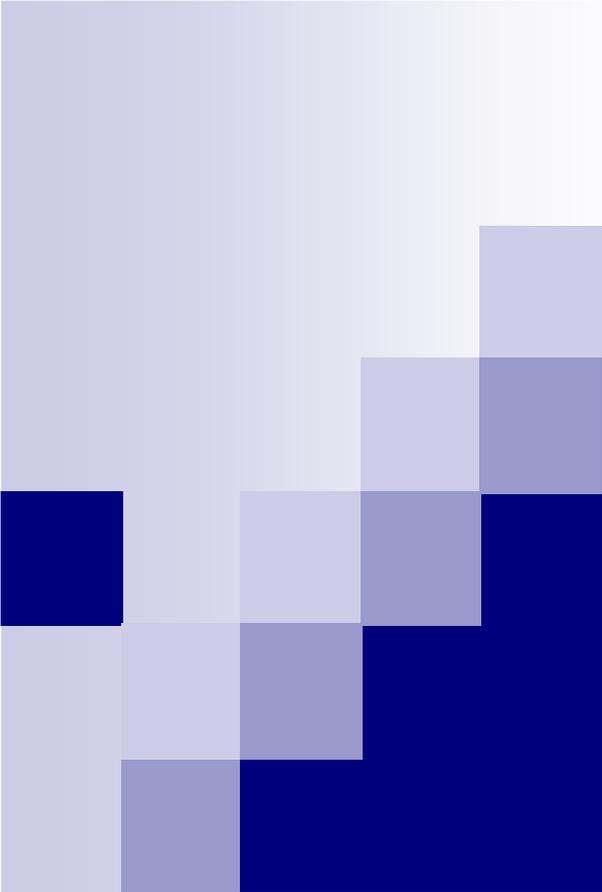
- Nel caso di sistema pressurizzato:

$$S_{\min} = S_a$$

- Nel caso di sistema non pressurizzato:

$$S_{\min} = S_c$$

- Le altre sezioni saranno rapportate a queste ultime.

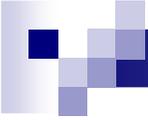


Fusione in forme transitorie



Fusione in forme transitorie (fusione in terra)

1. Preparazione della forma con modello
2. Costruzione delle anime
3. Composizione della forma
4. Colata
5. Solidificazione
6. Estrazione del getto



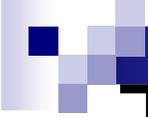
Fusione in terra

■ Terre di fonderia:

- Silice granulare quale elemento refrattario e resistente alle sollecitazioni termiche e meccaniche
- Argilla o altro elemento legante (oggi molto utilizzati leganti sintetici) per evitare lo sfaldamento a seguito delle sollecitazioni
- Additivi vari quali correttivi di vario genere per la temperatura, la scorrevolezza,

■ Caratteristiche

- Refrattarietà: Resistenza alle elevate temperature senza fondere
- Coesione: resistenza alle sollecitazioni meccaniche
- Permeabilità: ovvero capacità di lasciare defluire i gas evitando soffiature e vuoti
- Scorrevolezza: per facilitare il riempimento della forma
- Sgretolabilità: per sformare il getto senza difficoltà



Tecniche di formatura in forme transitorie

Le tecniche di formatura si distinguono per il tipo di indurimento delle forme.

■ Meccanico:

- In terra sintetica
 - A verde
 - A secco
- In fossa

■ Termico

- Shell molding*
- microfusione

■ Chimico

- Processo al CO₂
- Processo sabbia-cemento
- Processo *cold-box*
- Processo *hot-box*



Tecniche di formatura in forme transitorie

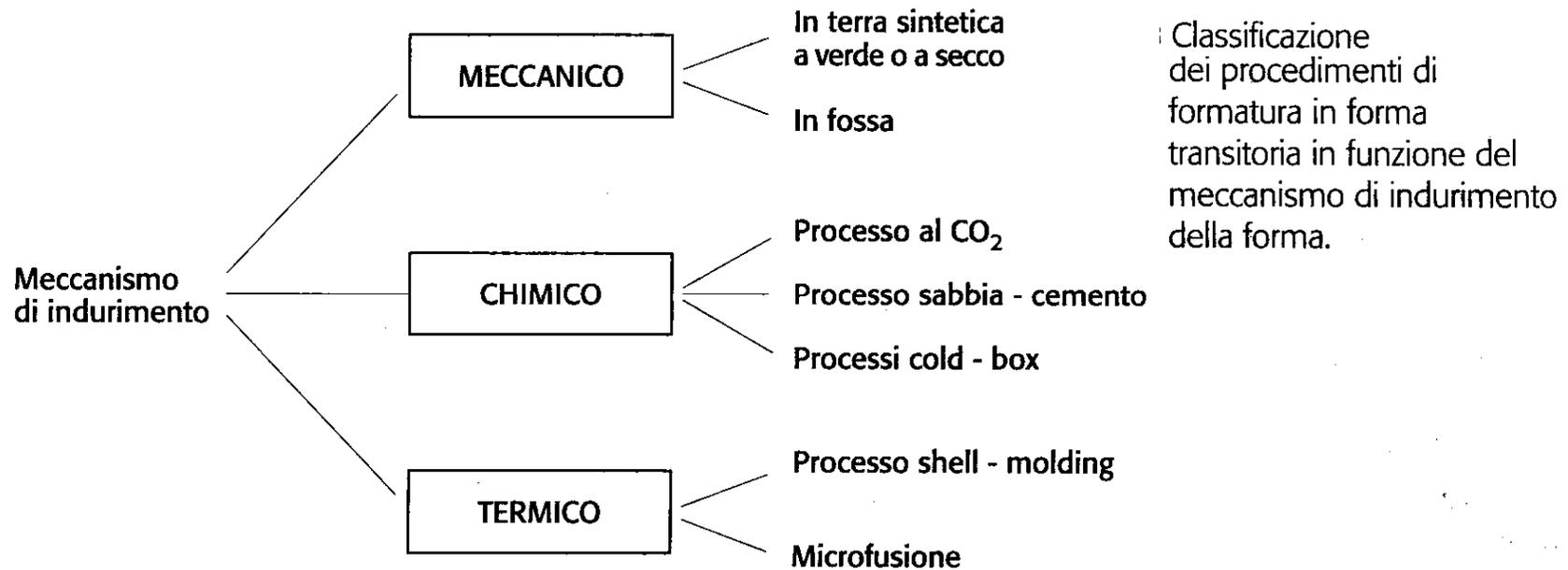
Le tecniche di formatura si distinguono per il tipo di indurimento delle forme. L'indurimento può essere meccanico, chimico o termico. In funzione del tipo di indurimento variano anche i processi di formatura

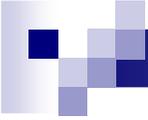
Le tecniche di formatura a indurimento meccanico sono: in terra sintetica e in fossa.

Le tecniche di formatura a indurimento chimico sono: Fusione in terra: si possono impiegare per la formatura diverse terre di fonderia (terre sintetiche, sabbia-silicato, *hot-box*, *cold-box*, sabbia e cemento, ..) e diverse tecniche di formatura (in fossa, a vibrocompressione, in motta, ..)

Shell-molding

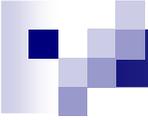
Sistemi di formatura per tipo di indurimento





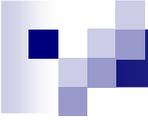
Formatura con terra sintetica

- La terra è normalmente costituita da sabbia argillosa legata con olii animali e vegetali che induriscono a 180°C – 240°C
- Nel caso di terra sintetica la sabbia è di tipo quarzifero alla quale si aggiunge come legante della bentonite, versione sintetica dell'argilla
- Vengono quindi aggiunti additivi a guisa di plastificante che si gonfiano in presenza di acqua: amido, farina di cereali, pece
- Tipica terra di fonderia:
 - 100 kg di sabbia quarzifera
 - 2,5 kg di olii
 - 1 kg di bentonite
 - 1 kg di plastificante
 - 2 kg di acqua



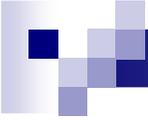
Formatura con terra sintetica

- La vibrazione e compattazione di modello, placca-modello, terra e staffa avviene mediante un'apposita macchina o manualmente.
- Nel caso di anime la sabbia viene “sparata” all'interno della cassa d'anima
- La forma può poi essere cotta in forno o procedere direttamente per la colata
- Caratteristiche del getto:
 - Pesi ammessi: fino a 100 Kg
 - Precisione superficiale: scarsa
- Produttività: bassa , max 20 pz/h
- Rigenerazione della terra: possibile fino al 70-80%



Formatura in fossa

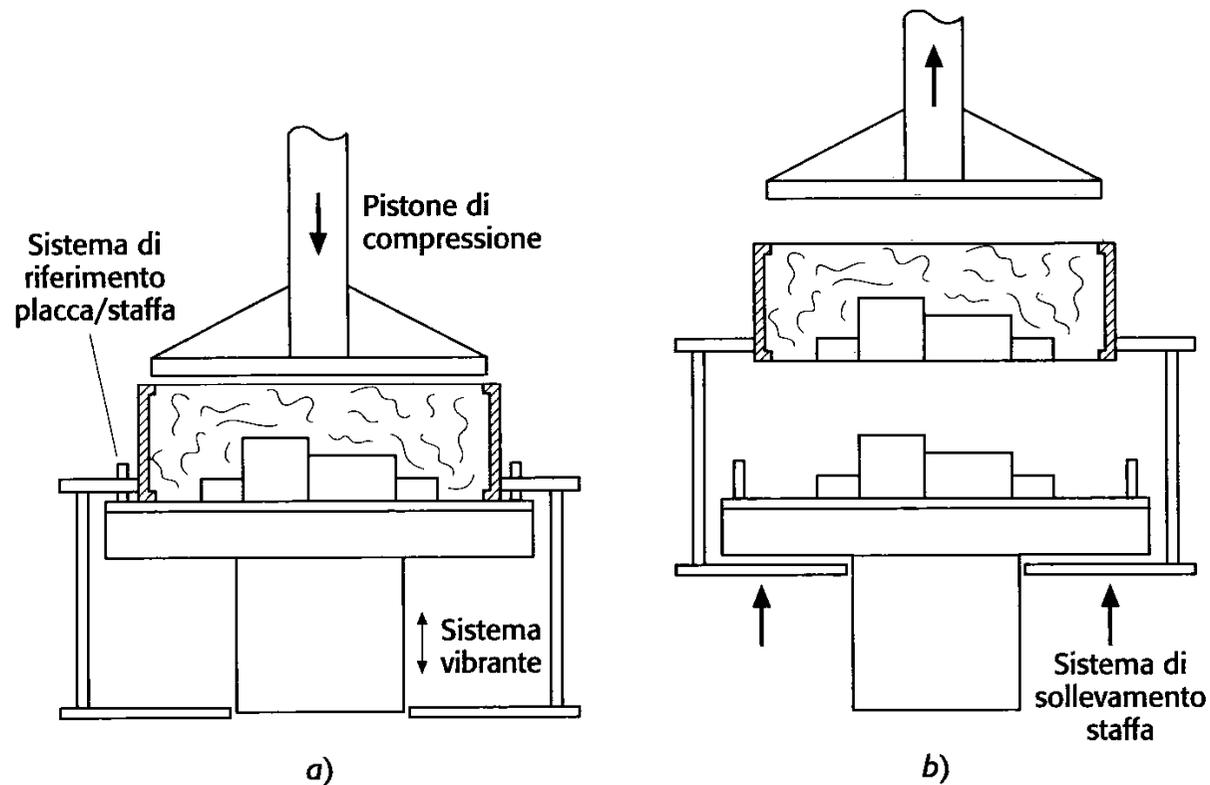
- La miscela della terra è la stessa, la vera differenza consiste nell'utilizzare il pavimento della fonderia e le fosse presenti quali grosse staffe
- I leganti utilizzati possono essere diversi ad indurimento chimico anziché termico
- Per la formatura in fossa si fa largo uso di modelli a sagoma e a scheletro oppure creati mediante tasselli componibili
- Processo manuale, uso di riscaldatori portatili per favorire l'indurimento della miscela
- Caratteristiche del getto:
 - Pesi: fino a 100t
 - Finitura: come per la formatura in terra sintetica
- Svantaggi:
 - Processo molto lento e dunque bassa produttività



Macchine per formatura

- Formatura a pressione:
 - la compressione della miscela avviene tramite un pistone
 - Dall'alto con la miscela più compressa nella parte alta della forma
 - Dal basso azionando la placca modello contro la miscela
- Formatura a scossa o vibrazione
 - Un dispositivo vibrante, spesso associato ad una compressione agevola la compattezza della forma
- Formatura a lancio
 - La miscela viene lanciata dalla macchina contro il modello accumulandosi contro questo
- Formatura ad aria compressa
 - Simile alla precedente muovendo la sabbia mediante aria compressa

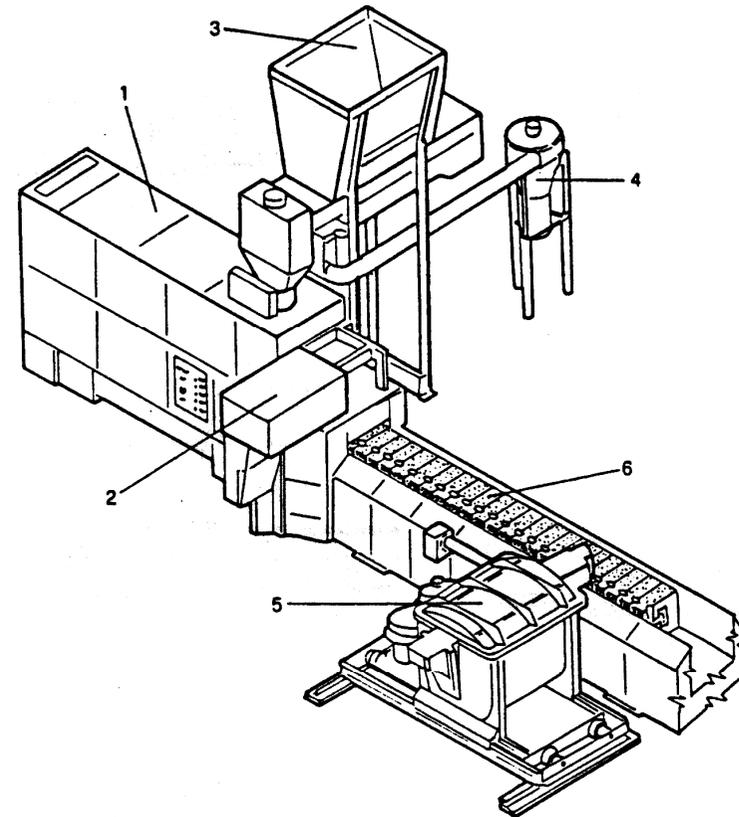
Formatura a vibrocompressione



Schema di principio di funzionamento di una macchina per formatura in terra con staffe: fase di formatura a vibrocompressione a), fase di sformatura b).

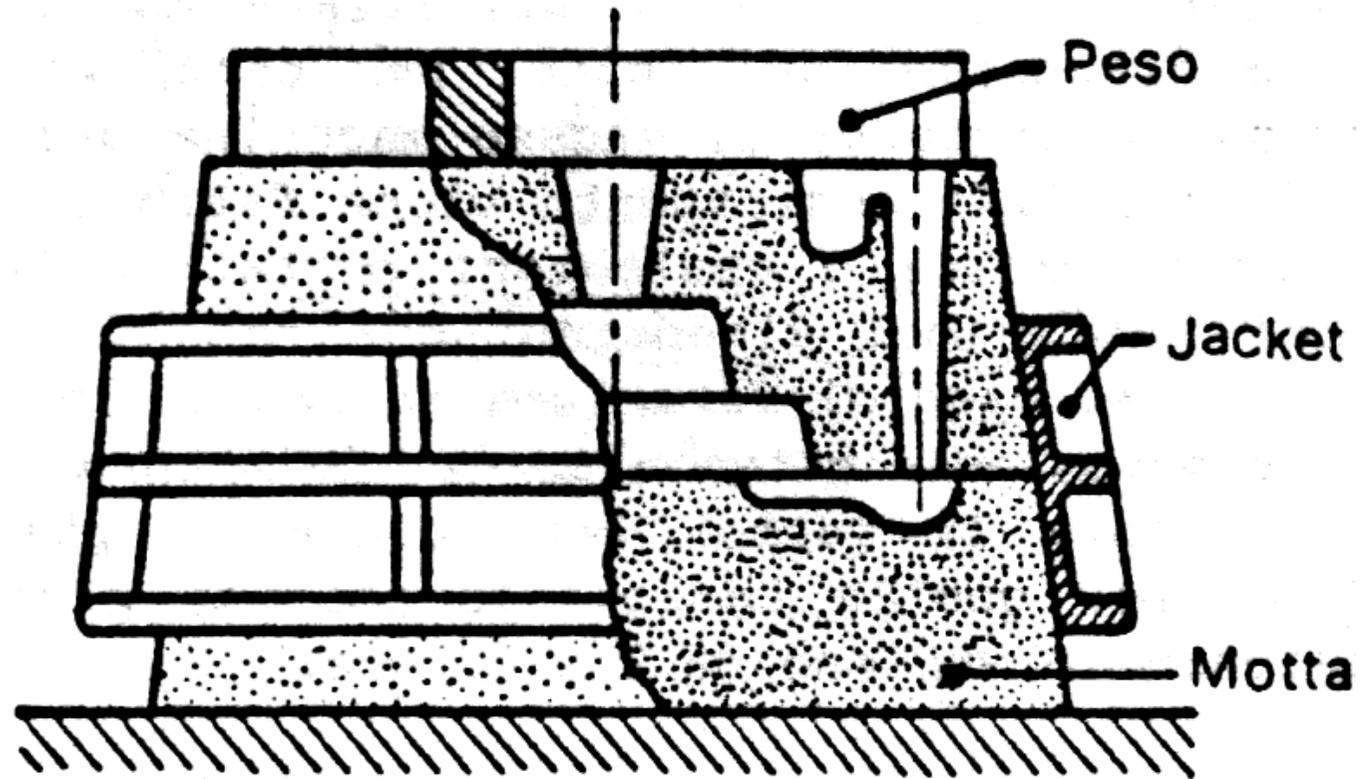
Formatura in motta

- Utilizzata per impianti automatici o a colata continua
- La forma viene ottenuta mediante la pressatura della terra su placche modello che viene quindi rimossa a formare la “motta” successiva
- Vantaggi:
 - Risparmio di manodopera a spazio
 - Elevata produttività oraria
 - Riduzione dell'inquinamento
 - Maggior sicurezza per gli operatori



Impianto automatico di formatura e di colata in motta (sistema DISAMATIC della DISA, Danimarca).

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1 = Macchina di formatura, | 4 = Ciclone, |
| 2 = Posizionatore anime, | 5 = Forno di colata, |
| 3 = Tramoggia terra, | 6 = Motte su trasportatore. |

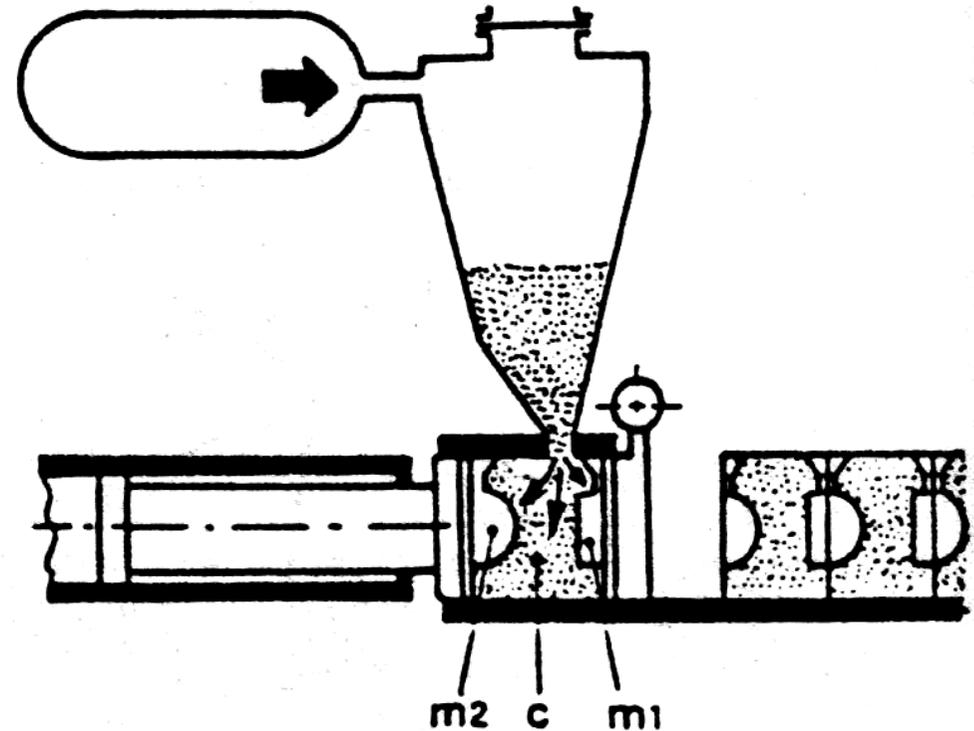


Motta con "jacket" di rinforzo.

Formatura in motta 1° step

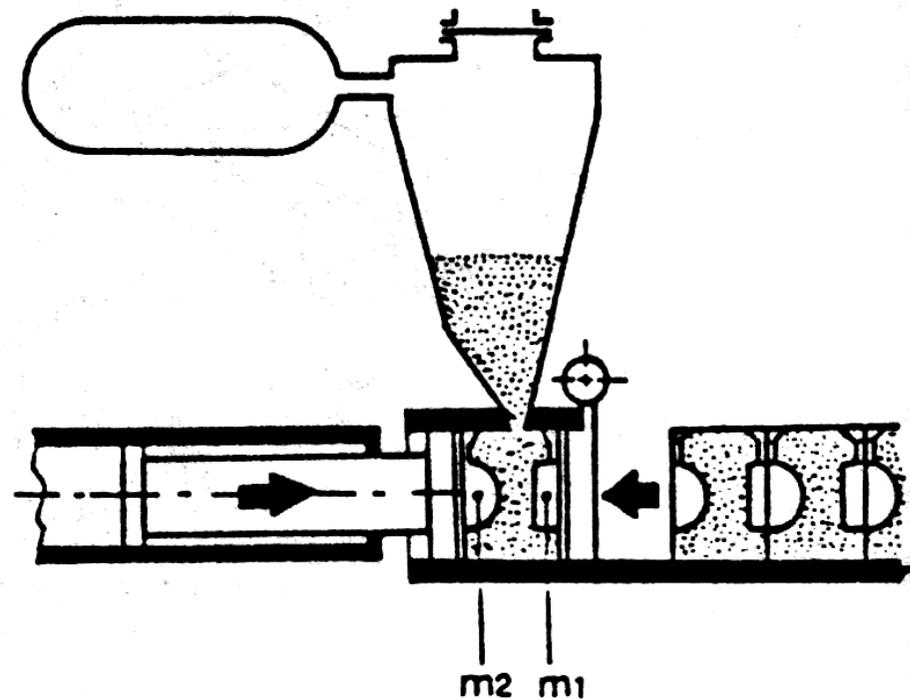
Vediamo dettagliatamente le fasi del processo di formatura.

Le placche modello (m_1 e m_2) sono montate su due pareti mobili della camera di formatura (c). La terra di formatura viene sparata attraverso una feritoia posta nel soffitto della camera.



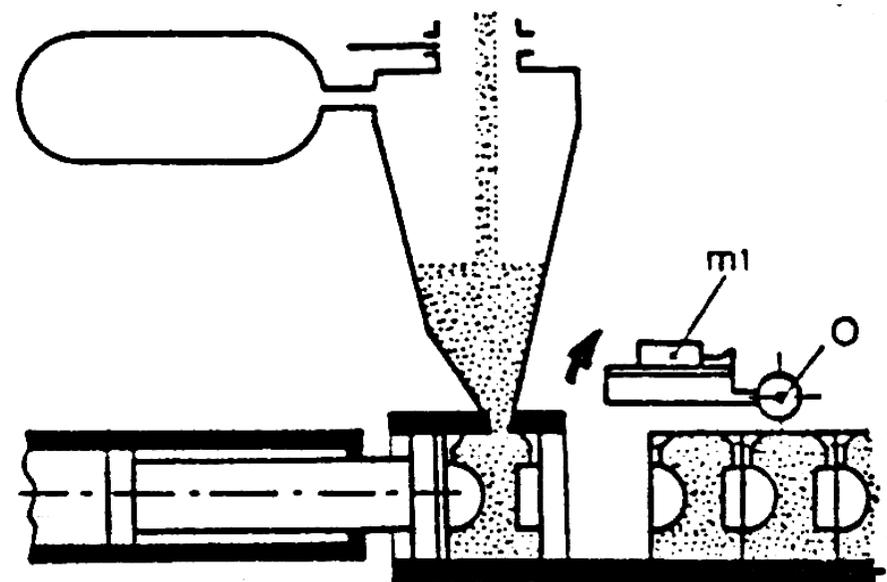
Formatura in motta 2°step

Le placche modello (m_1 e m_2) comprimono la terra (sino a 150 N/cm^2) formando la motta con semi-impronte su ambedue i lati.



Formatura in motta 3°step

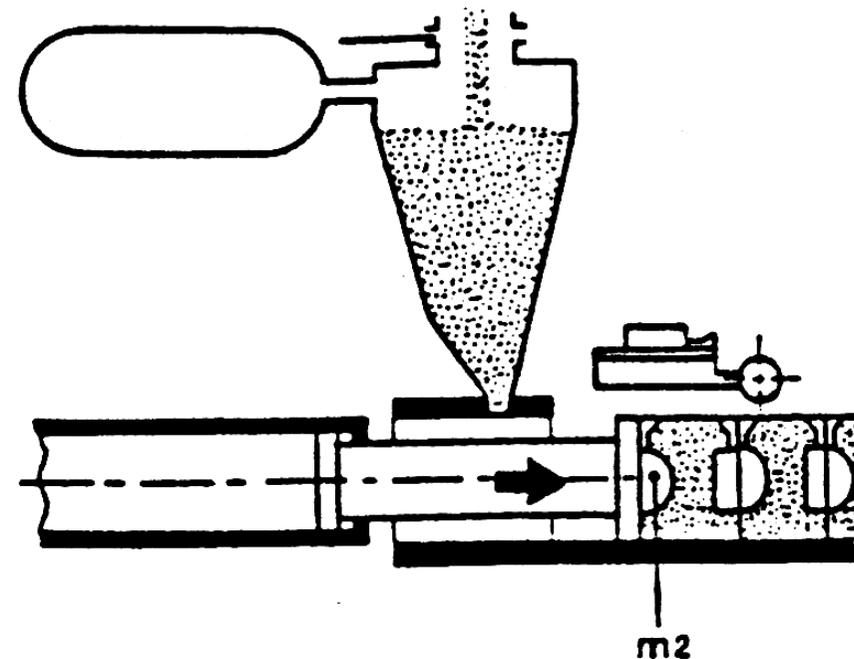
La placca modello (m1) si allontana dalla forma e quindi ruota intorno al perno (O) al fine di aprire la camera di formatura e permettere l'espulsione della motta.



Formatura in motta 4°step

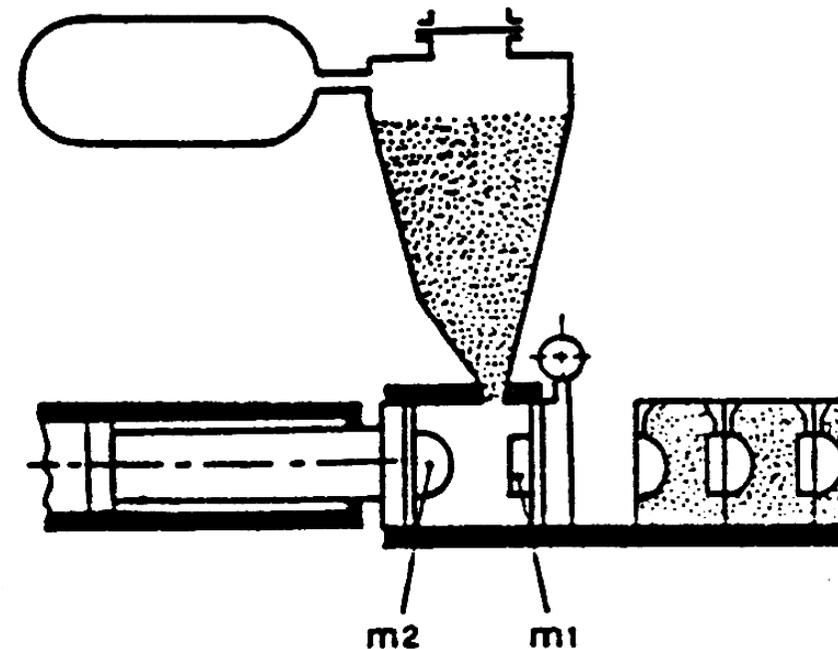
La motta e' portata fuori dalla camera di formatura dalla placca (m2) mediante l'azione di un pistone, e compressa contro quella formata precedentemente: cosi' si realizza l'impronta da riempire con il metallo liquido.

La corsa deve essere tale da provocare l'avanzamento delle motte precedentemente formate di una quantita' pari al loro spessore.



Formatura in motta 5°step

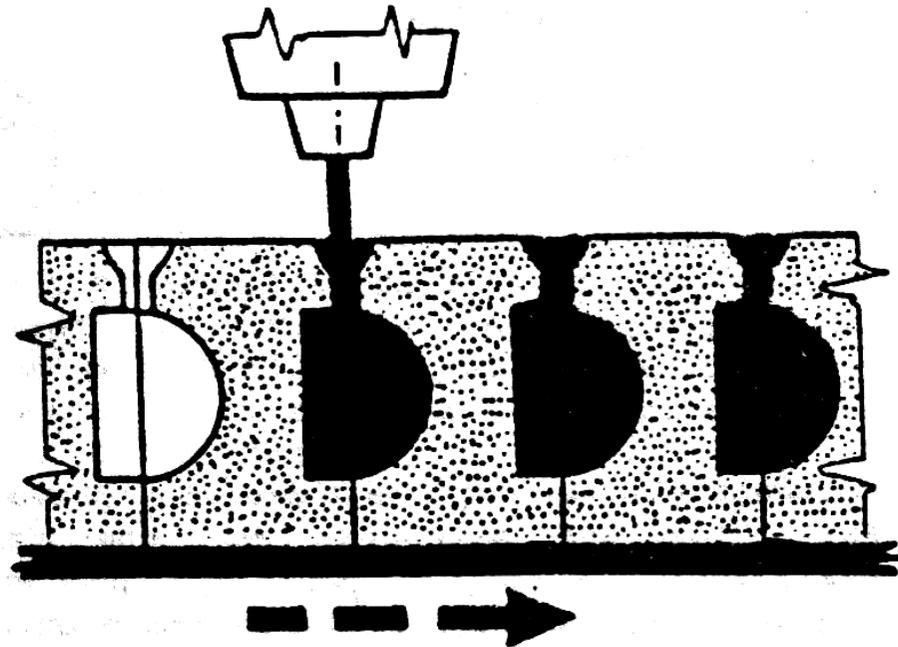
La placca modello (m2) e successivamente la placca (m1) ritornano nella loro posizione iniziale ricomponendo la camera di formatura.

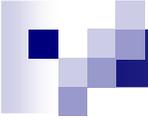


Formatura in motta 6°step

Le motte infine passano alla colata durante il loro avanzamento discontinuo sul trasportatore sincronizzato col pistone.

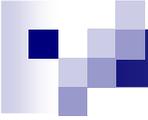
Si noti come il piano di divisione verticale permetta di realizzare le due semi-impronte su ciascuna motta. Quindi per ottenere un numero N di getti sono necessarie solo $N+1$ motte.





Formatura di sabbia-silicato (CO₂)

- La miscela è composta da sabbia quarzifera utilizzando quale agglomerante una soluzione liquida di silicati di sodio (2-3%)
- L'indurente è costituito da anidride carbonica gassosa che viene insufflata attraverso la miscela e fa reagire i silicati
- Vengono aggiunti additivi nella forma di resine che facilitano il compattamento durante la colata e la disgregazione successivamente
- Vantaggi:
 - Basso costo
 - Possibile conservare a lungo la miscela
 - Alta resistenza della forma
 - Nessun effetto negativo sull'ambiente
 - Possibile riciclare la miscela



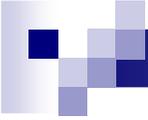
Formatura di sabbia-silicato (CO₂)

- Il processo consiste nel far passare una corrente di anidride carbonica attraverso le staffe formate al fine di compattare la miscela
- Caratteristiche del getto
 - Pesi: dai piccoli pezzi fino a 1000 kg
 - Finitura superficiale: migliore rispetto alla fusione in terra
- Processo utilizzabile anche per produzioni in serie con tempi di realizzo brevi ed operazioni automatizzabili
- Rigenerazione: intorno al 40%



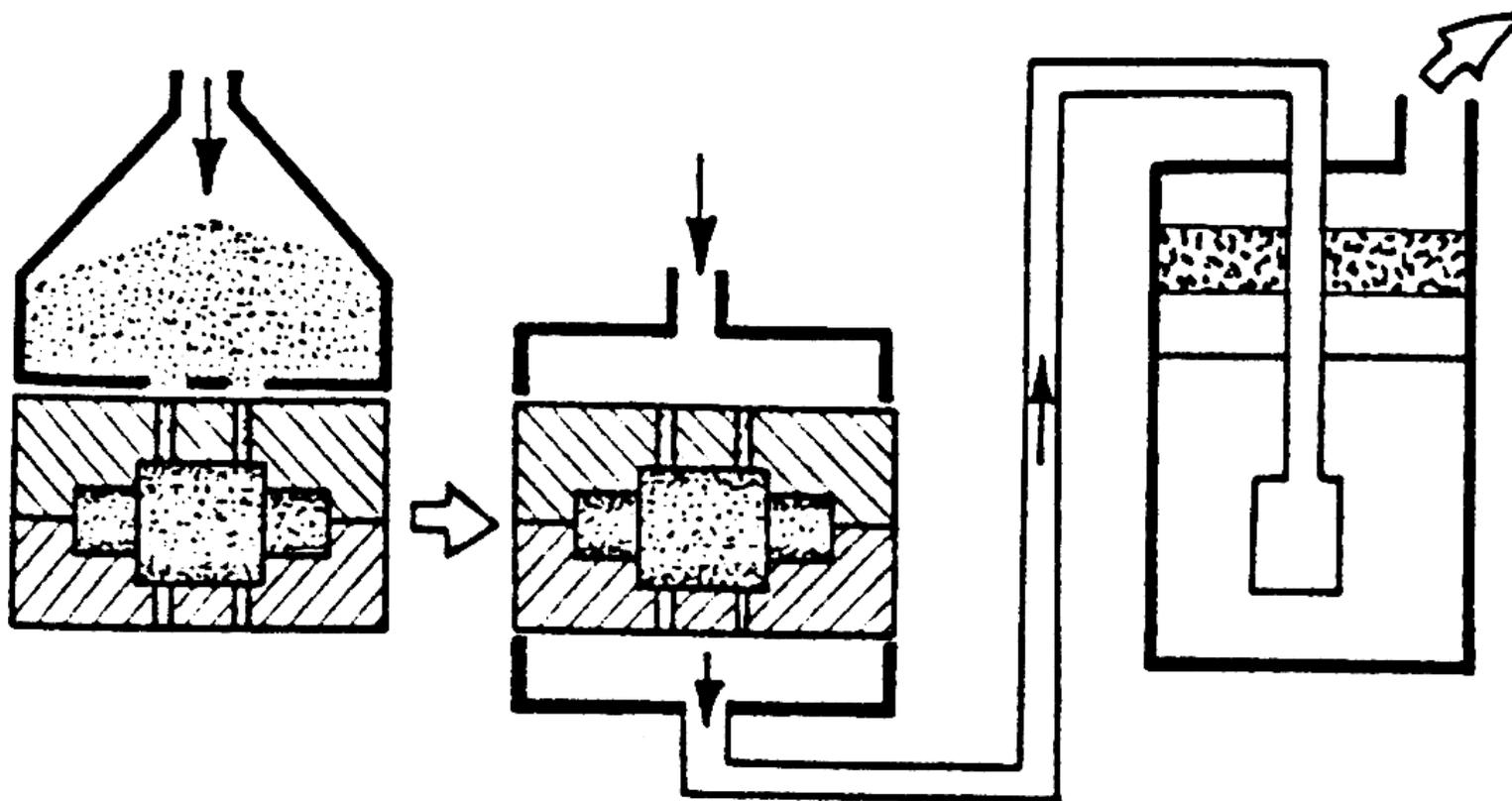
Formatura hot-box

- Utilizza una miscela di sabbia quarzifera e resine sintetiche fluide con un catalizzatore che agisce a caldo
- La miscela viene sparata sul modello o nella cassa d'anima riscaldate a 180°C-250°C e qui si indurisce per polimerizzazione
- L'indurimento finale avviene in seguito
- Caratteristiche getti:
 - Pesì: da 1 a 100 kg
 - Finitura superficiale buona
- Svantaggi:
 - Catalizzatori tossico-nocivi
 - Costi elevati specie per il riscaldamento della forma
- Possibilità di rigenerazione: variabile in funzione del tipo di resina
- Diversi i problemi per l'ambiente e la sicurezza degli operatori



Formatura cold-box

- Miscela di sabbia quarzifera ed un legante bicomponente sparata sul modello
- Si producono forme ed anime a freddo grazie alla polimerizzazione di diverse resine sintetiche che fanno da legante dopo il passaggio di un catalizzatore gassoso a temperatura ambiente
- Consente la realizzazione di forme anche di grosse dimensioni data la possibilità di indurimento senza bisogno di riscaldamento
- Un riscaldamento dell'aria insufflata consente comunque di accelerare il processo di indurimento

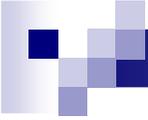


Formatura anima

gasaggio/lavaggio

depurazione gas

Fig. 2.60 - Schematizzazione del processo Cold Box.



Formatura cold-box

Caratteristiche getti:

- Pesì: da 1 a 100 kg
- Finitura superficiale buona

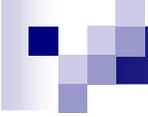
■ Svantaggi:

- Catalizzatori tossici
- Diversi i problemi per l'ambiente e la sicurezza degli operatori

■ Possibilità di rigenerazione: variabile in funzione del tipo di resina

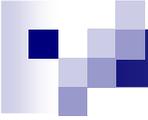
■ Vantaggi:

- Tempi di esecuzione molto brevi



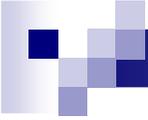
Formatura sabbia e cemento

- È un sistema di formatura adatto per getti di medie e grandi dimensioni
- Utilizza una miscela di sabbia (90%) e cemento (10%) che funge da legante alla quale viene aggiunta acqua
- Il processo è semplice ed economico, adatto per getti di grandi dimensioni.
- È caratterizzato dalla presa in tempi rapidi del cemento che solidifica in 5 ore ma occorre attendere dalle 24 alle 48 ore per estrarre il modello
- È possibile usare tale formatura per qualunque tipo di materiale del getto tranne che per materiali con altissimi punto di fusione in quanto alcune scorie potrebbero bassofondere con le componenti basiche del cemento
- Utilizzo di modelli in polistirolo a perdere



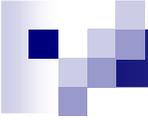
Formatura sabbia e cemento

- Vantaggi:
 - La forma risulta molto resistente
 - È garantita una buona permeabilità
 - Ottima scorrevolezza della miscela sul modello senza bisogno di compressioni
 - Costi di formatura molto bassi
 - Uso di materiali non dannosi per gli operatori
 - Possibilità di rigenerazione ottima, fino al 70%
- Svantaggi:
 - Impossibile dotarsi di miscela pre-preparata
 - Lungo tempo di idratazione
 - Distaffaggio complesso per via della durezza della forma
- Caratteristiche del getto:
 - Pesi: da 1 a 600 tonnellate
 - Finitura superficiale: buona ma non ottimale



Formatura shell-molding (o “a guscio” o “Croning”)

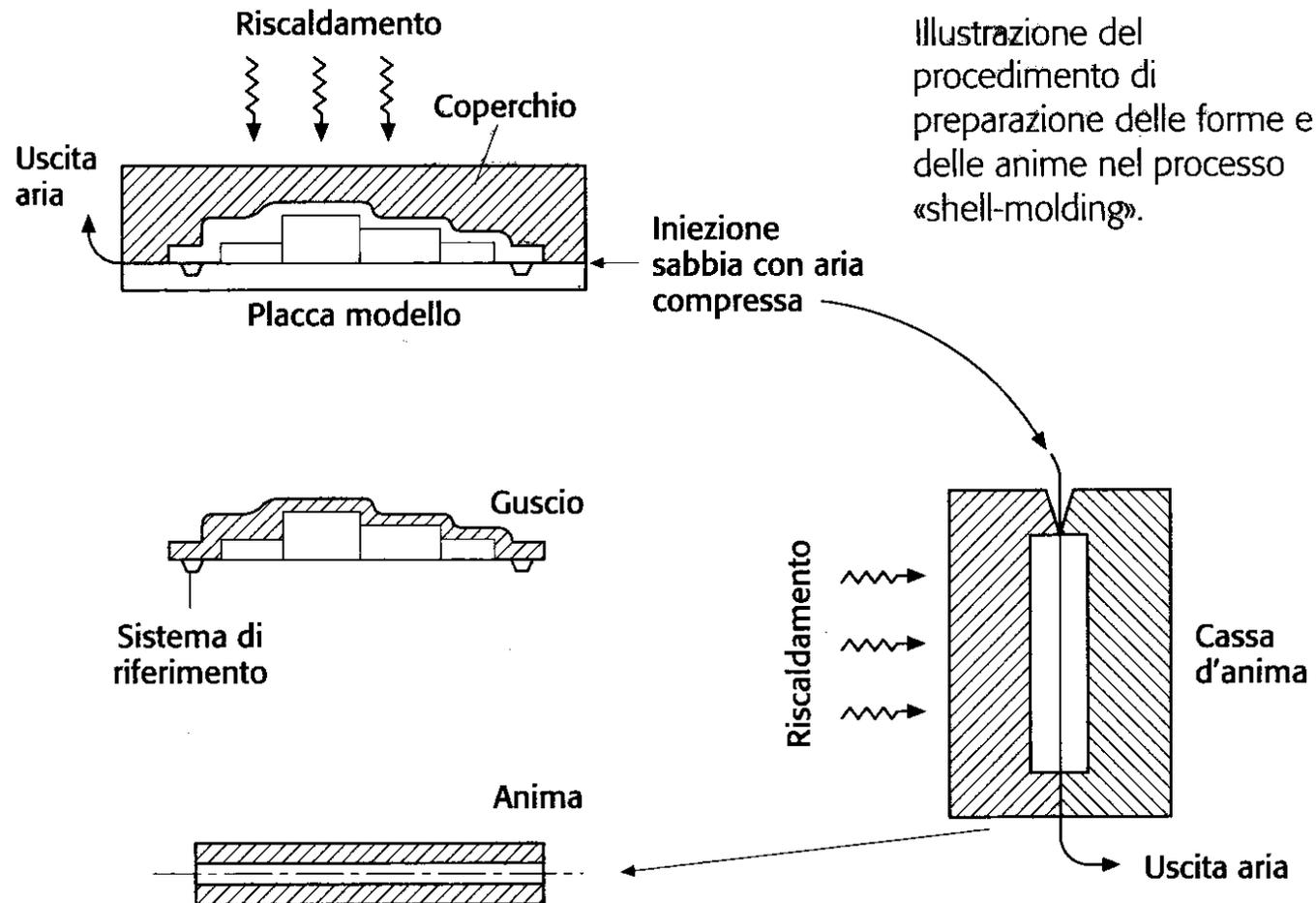
- È' utilizzata per la produzione in serie di anime e forme
- Materiali componenti la miscela:
 - Sabbia di quarzo a grani tondi per la migliore permeabilità
 - Resina sintetica al 2-6% che avvolge i grani silicei fungendo da legante
 - Indurente al 6-10% del legante
- Sono utilizzate delle placche modello e casse d'anima metalliche per poterle pre-riscaldare a 200-300°C
- La miscela di sabbia e resina sintetica è quindi “sparata” da macchine apposite sul modello
- Il calore fa fondere la resina sintetica che indurisce la sabbia e non appena un “guscio” di spessore sufficiente risulta solidificato, la miscela in eccesso viene evacuata



Formatura shell-molding (o “a guscio” o “Croning”)

- La forma è successivamente messa in cottura a 400-600 °C) per indurire la “pelle” esterna di 20 mm attraverso la polimerizzazione della resina grazie all’indurente così che i due gusci vengono quindi staccati dalla placca modello ed uniti
- La forma è così pronta, una volta rinforzata nel caso, ad essere utilizzata nella colata
- Possibili problemi:
 - Un riscaldamento disomogeneo delle placche modello può causare tensioni e rotture nella forma
 - Un’eccessiva temperatura della placca modello può causare bruciatura della resina e distacchi di sabbia durante la colata

Formatura shell-molding (o “a guscio” o “Croning”)



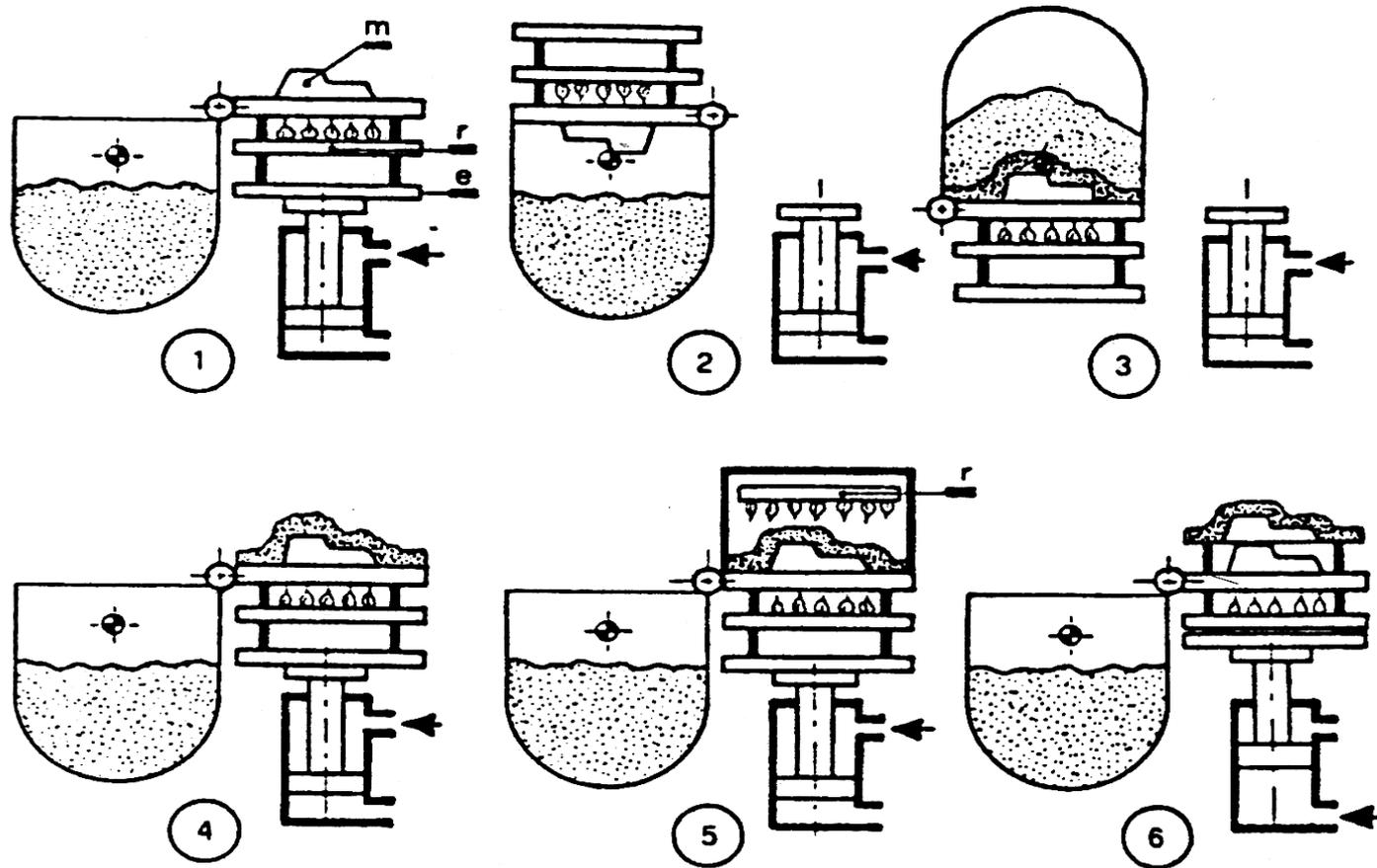
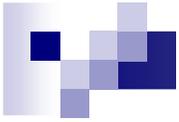
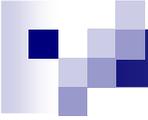


Fig. 2.61 - Schema del processo di formatura a guscio.

m = placca modello,
r = riscaldamento,
e = estrattore,

- 1) riscaldamento della placca modello,
- 2) ribaltamento della placca sul contenitore della miscela,
- 3) contatto placca calda-miscela,
- 4) ribaltamento del contenitore e della placca,
- 5) indurimento mediante riscaldamento del guscio,
- 6) estrazione del guscio.



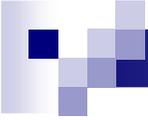
Formatura shell-molding (o “a guscio” o “Croning”)

- **Caratteristiche del getto:**
 - Pesì: max 30 kg
 - Finitura superficiale: buona
- **Vantaggi:**
 - Tolleranza dimensionale buona
 - Grande permeabilità della forma
 - Possibilità di ottenere getti dalle pareti sottili
 - Produzione di grande serie grazie alla placca modello metallica
 - Utilizzabile per tutti i materiali
- **Svantaggi**
 - Rigenerazione: non consentita



Formatura con modello a perdere in polistirene

- Sono sistemi di formatura in cui è necessario un modello per ogni forma, dato che, realizzato in polistirene espanso, va perso durante la colata
- Fasi della formatura:
 - Formazione del modello in PSE che è di solito stampato anche a pezzi poi incollati. Deve essere completo di sistema di colata e materozze. Il modello non deve avere angoli di spoglia o sottosquadri e può essere prodotto con stampi aventi parti mobili
 - Allestimento della forma dopo aver ricoperto il modello con uno strato di materiale refrattario e poroso essiccato a 50°C. Il modello viene quindi ricoperto di sabbia a grani tondeggianti dentro un contenitore

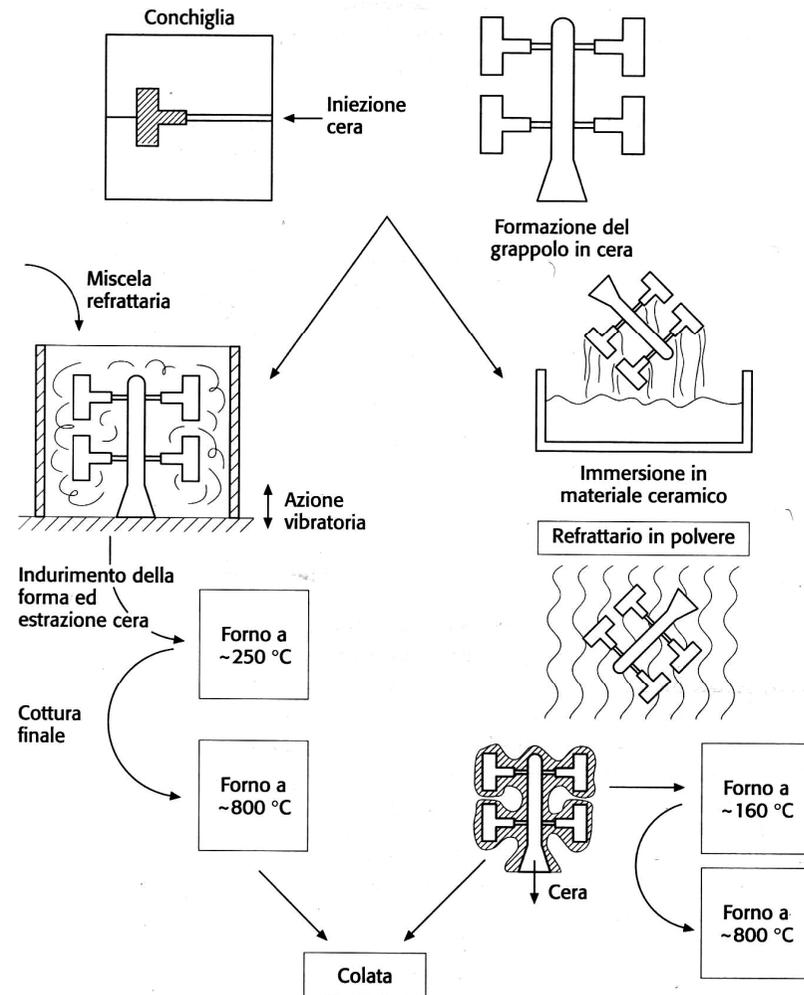


Formatura con modello a perdere in polistirene

- La colata del metallo liquido porta alla gassificazione del polistirene soprattutto per irraggiamento ed alla sua progressiva sostituzione con il metallo. Occorre evitare la combustione del polistirene che porterebbe alla bruciatura del refrattario ed al crollo della sabbia
- Vantaggi:
 - Eliminazione dei leganti nella sabbia e riciclaggio totale di quest'ultima
 - Eliminazione delle anime
 - Assenza di bave

Formatura di microfusione (o “a cera persa”)

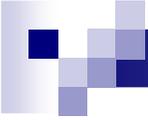
- Si definisce microfusione la derivazione industriale del metodo “a cera persa”
- Vengono realizzati in conchiglia dei modelli a perdere in cera
- Tali modelli vengono quindi composti in grappolo mediante delle bacchette di cera termosaldate
- Non ci sono anime e quindi non vi sono grossi problemi di complessità
- Una miscela refrattaria di materiali a grana fine che viene versato in un contenitore attorno al grappolo
- Il tutto viene posto in vibrazione per allontanare eventuale aria presente
- Viene quindi eseguito un indurimento a bassa temperatura con evacuazione della cera per scioglimento



Formatura di microfusione

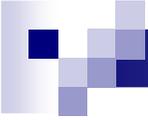
Dimensioni nominali (mm)	Sovrametalli di lavorazione (mm)	Tolleranze (mm)
≤ 25	0,40	$\pm 0,03 \div 0,07$
25 \div 50	0,40 \div 0,50	$\pm 0,07 \div 0,15$
50 \div 75	0,50 \div 0,70	$\pm 0,12 \div 0,20$
75 \div 100	0,60 \div 1	$\pm 0,20 \div 0,30$
100 \div 125	0,70 \div 1,2	$\pm 0,30 \div 0,40$

Valori medi
indicativi dei sovrametalli di
lavorazione e delle
tolleranze realizzabili col
procedimento di
microfusione.



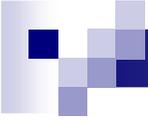
Formatura investment casting

- Procedimento simile al precedente (è anch'esso un metodo di microfusione) che prevede però la formazione del solo guscio attorno al grappolo.
- Il guscio è ottenuto in materiale ceramico che viene poi asciugato con aria calda e messo in autoclave per la cottura e lo scioglimento della cera
- Infine avviene la cottura a 800°C e quindi la colata
- Occorre considerare nel caso della microfusione il doppio ritiro di cera e metallo
- La finitura superficiale è generalmente ottima
- Il peso massimo dei getti deve però non superare i 5 kg
- E' possibile raggiungere uno spessore minimo delle pareti di 1,5 mm. Per i fori è possibile raggiungere un diametro minimo di 3 mm
- E' un processo adatto per produzione di piccola e media serie
- E' possibile utilizzare sovrametalli minimi



Formatura policast

- Metodo che utilizza sabbia silicea senza alcun legante
- I modelli sono realizzati in polistirolo espanso prodotti in stampi mediante scioglimento di sfere di polistirolo mediante l'insufflazione di vapore surriscaldato
- E' da prevedere l'uso di movimenti negli stampi nel caso di modelli complessi
- Successivamente avviene la composizione del grappolo tramite termosaldatura
- La verniciatura del grappolo a spruzzo con vernice refrattaria e successiva essiccazione è un elemento fondamentale per la buona riuscita del processo



Formatura policast

- La colata della lega fusa con il conseguente scioglimento del polistirolo è infatti contenuta nella forma grazie alla vernice refrattaria
- Vantaggi:
 - Recupero della sabbia senza bisogno di alcun processo di rigenerazione
 - No additivi e anime
 - Assenza di bave
- Problemi:
 - Costo della fabbricazione dei modelli a a perdere
 - Delicatezza durante la manipolazione
 - Rischi di deformazione nel compattamento della sabbia
- Produzione di media e grande serie
- Automazione possibile ed auspicabile
- Esempio di un classico utilizzo è a produzione di parti in ghisa nell'azienda motoristica