



# Processo di fonderia



# Forme permanenti



# Fusioni in forma permanente

- La forma è realizzata in lega metallica (acciai legati o ghise speciali) e viene chiamata conchiglia.
- Tale processo è adatto alla produzione di grande serie in quanto:
  - È necessario sostenere grandi costi per la conchiglia
  - Vi è una grande possibilità di automazione
  - E' possibile spingere la produzione a grandi livelli di produttività
  - La qualità dimensionale e di finitura è decisamente elevata
- Altre avvertenze:
  - Prevedere canali di sfogo per i gas onde evitare soffiature
  - Determinare accuratamente la temperatura di colata
  - Conoscere la fluidità dei materiali
  - Molto diffusa per pezzi di dimensione medio-piccola in quanto al crescere delle dimensioni crescono molto i costi delle attrezzature e di produzione



# Conchiglia

- È realizzata in due valve con materiale metallico avente le seguenti caratteristiche:
  - Buona lavorabilità alle macchine utensili
  - Elevata resistenza all'usura
  - Elevata resistenza agli shock termici
  - Limitata dilatazione termica
  - Buona conducibilità termica



# Conchiglia

- La conchiglia ha una lunga durata nel tempo e per un elevato n° di fusioni:
  - 5.000 in acciaio
  - 20.000 in ghisa
  - 30.000 in rame
  - 150.000 in alluminio
- Altre qualità:
  - Tolleranze e finitura ottimi
  - Sovrametalli bassi



# Colata in conchiglia a gravità

- Spessore minimo intorno ai 4 mm
- Angoli di sformo di circa 3°
- Diametro minimo per fori: 2mm
- I sottosquadri vengono in genere risolti con tasselli mobili
- Presenza di anime a perdere (cold-box o CO<sub>2</sub>) oppure anime permanenti scomponibili
- Qualità dipendente da:
  - Lubrificazione delle parti mobili
  - Temperatura della conchiglia
  - Superficie interna della conchiglia
  - Presenza materozze
  - Canali di colata



# Conchiglie permanenti

- La verniciatura interna è opportuna per:
  - Controllare il trasferimento del calore
  - Controllare lo scorrimento della lega
  - Consentire un semplice distacco del pezzo una volta solidificato
  - Consentire un miglioramento della finitura superficiale
  - Aumentare la durata della conchiglia
- Estrazione dei getti intorno agli 800 °C con raffreddamento in olio per evitare eccessiva usura della conchiglia e ridurre i tempi morti



# Conchiglie permanenti

- Sistemi di colata a gravità possibili
  - In sorgente
    - Consente poca turbolenza
    - Buona evacuazione aria
    - Necessita di tragitti lunghi
    - Presenta molti sfridi
  - Laterale
    - Adatta per pezzi alti presenta però una dissimmetria nella distribuzione della temperatura
  - Dall'alto
    - Consente una solidificazione direzionale
    - Permette di avere materozze ridotte
    - Presenta il pericolo di spruzzi e gocce fredde





# Colata in conchiglia meccanizzata

- Si fonda sul principio che il metallo liquido è portato in pressione in apposite camere di compressione mediante pistoni o aria compressa
- Da qui viene iniettato a forte velocità nella conchiglia
- Tale tipo di processo è adatto e giustificabile economicamente per produzioni di grande serie considerando che è possibile:
  - Ottenere elevate finiture superficiali
  - Ridurre al minimo le lavorazioni successive
- Tecnologie
  - Colata centrifuga
  - Pressofusione a bassa pressione
  - Iniettofusione (o pressofusione ad alta pressione a camera calda)
  - Pressofusione (o pressofusione a bassa pressione a camera fredda)



# Colata centrifuga

- Il sistema consiste nel sottoporre il metallo fuso a forze centrifughe all'interno di una conchiglia rotante per produrre getti di forma anulare o tubolare senza utilizzo di anime
- La densità del getto risulta uniforme ed eventuali disuniformità si manifestano sulla superficie interna della cavità dove generalmente sono accettabili

# Colata centrifuga

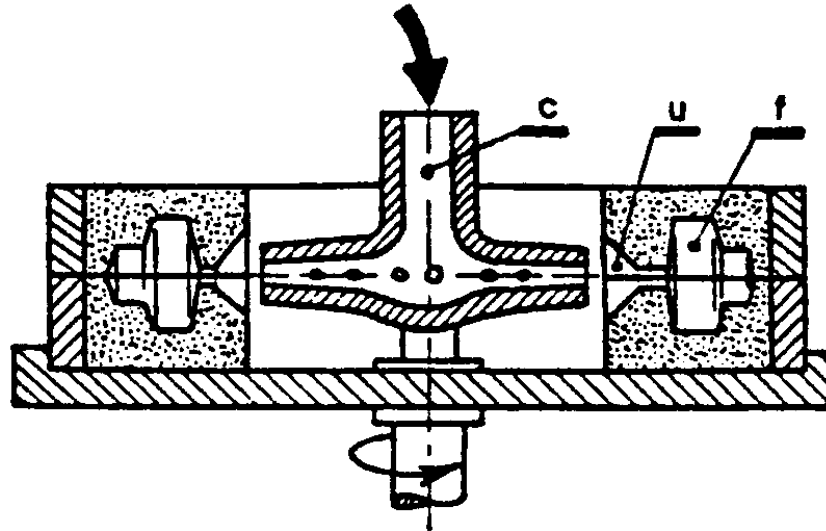


Fig. 2.69 - Colata centrifuga in terra di getti di piccole dimensioni.

c = canale di colata,  
u = ugelli,  
f = forma.

In Fig. 2.70 e' riportato un esempio di colata in conchiglia di un getto assialsimmetrico.

# Colata centrifuga

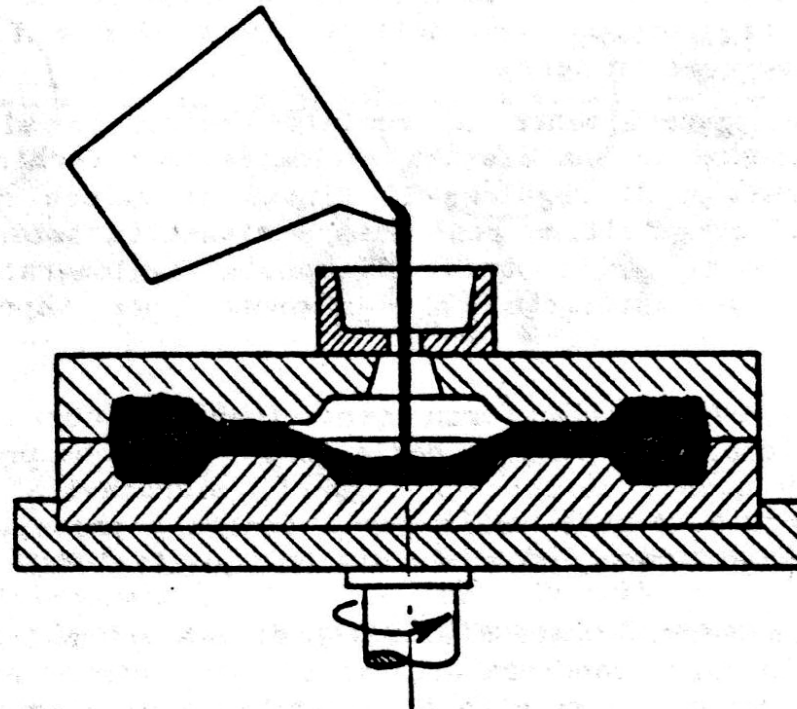
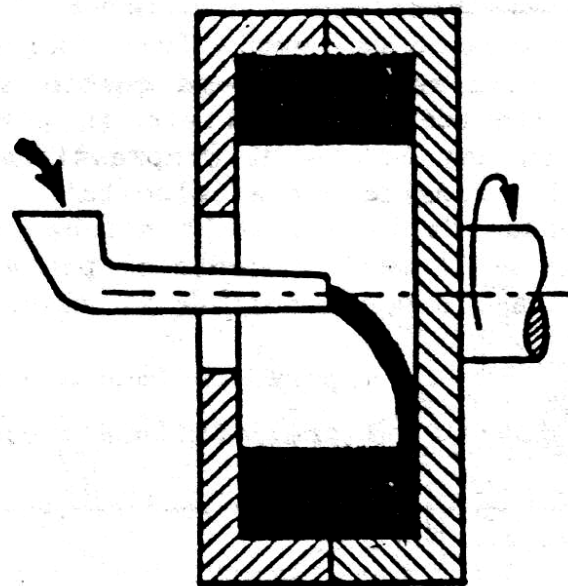


Fig. 2.70 - Colata centrifuga in conchiglia.

In Fig. 2.71 e' illustrato un esempio di colata di un anello in conchiglia con asse di rotazione orizzontale.

# Colata centrifuga

Fig. 2.71  
Colata centrifuga ad asse  
orizzontale.



# Colata centrifuga

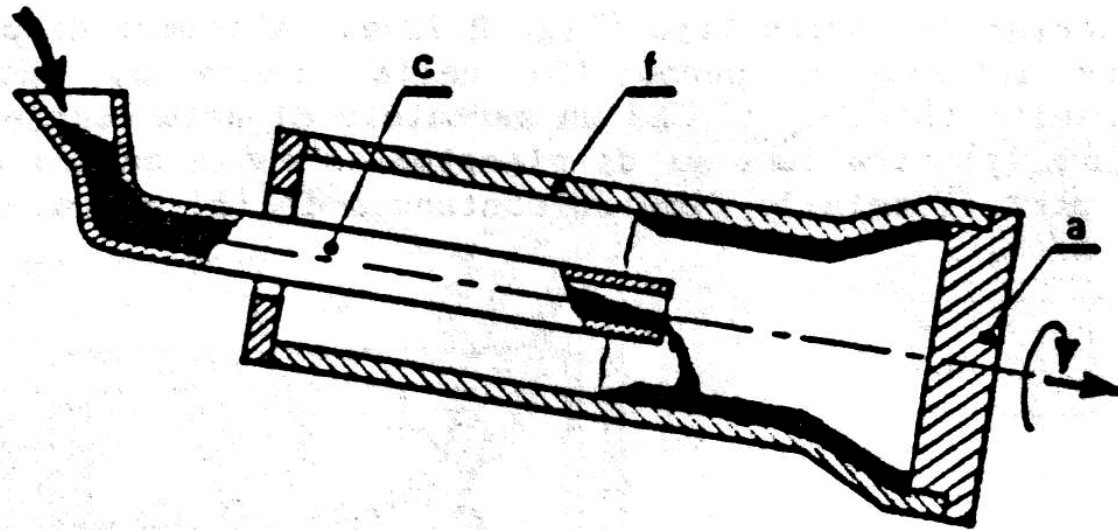


Fig. 2.72 - Applicazione della colata centrifuga nella produzione dei tubi.

f = conchiglia,  
c = canale di colata,  
a = tappo.



# Pressofusione a bassa pressione

- Caratterizzata da macchine ad asse verticale
- Forno posizionato nella parte bassa della macchina ed iniezione in sorgente a bassa pressione
- Caratteristiche del getto: grossi spessori, scarsa finitura superficiale
- Tecnologia ormai obsoleta e surclassata dalla pressofusione ad alta pressione



# Colata in conchiglia sotto pressione o pressofusione

- Vengono utilizzate macchine apposite robotizzate
- E' evidente l'economicità del getto ma anche la necessità di alti costi di investimento
- Presenta l'indiscusso vantaggio di tolleranze ridotte
- Presenta anche un'ottima finitura superficiale
- Necessita di bassi sovrametalli





# Presse per fusione

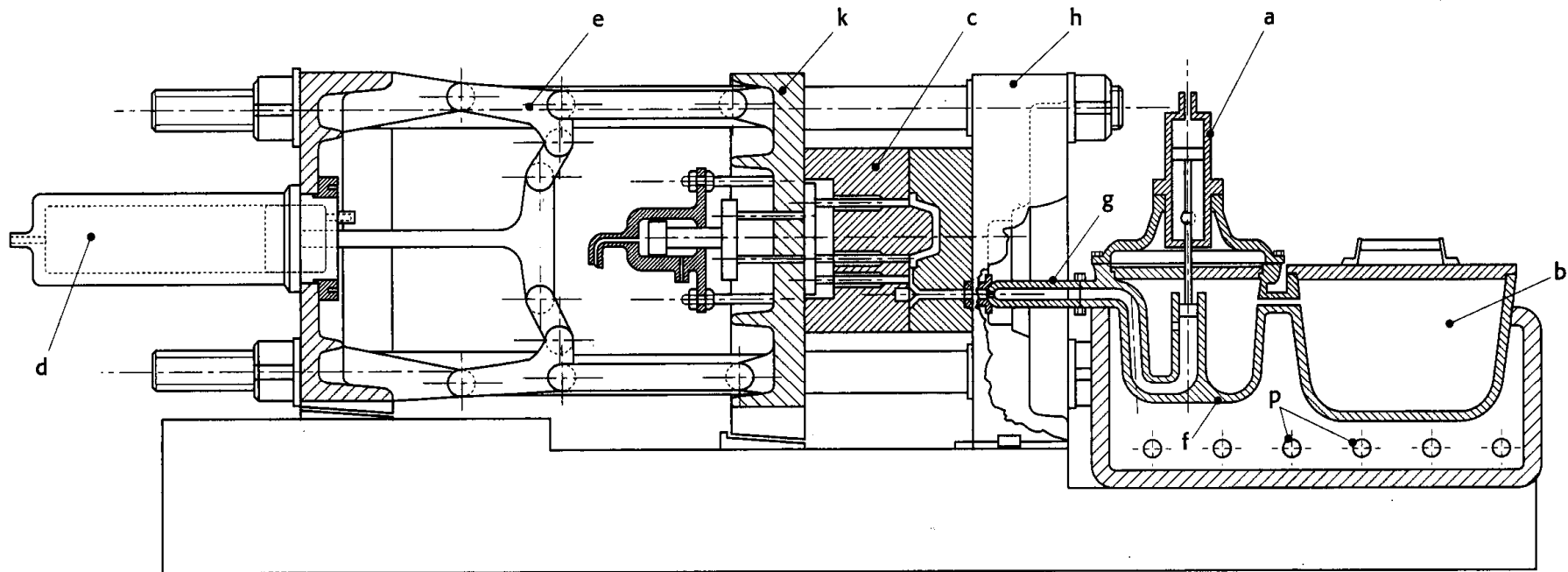
## ■ Elementi:

- Sistema di chiusura, apertura su 4 colonne fisse
- Piastra fissa e mobile a cui sono applicate le due parti dello stampo
- Movimento tramite pistone oleodinamico con sistema a ginocchiera per garantire la resistenza alla spinta metallostatica
- Sistema di iniezione della lega all'interno mediante due sistemi:
  - A camera calda (iniettofusione) utilizzata per leghe di zama che hanno il problema dell'ossidazione anche ad elevata temperatura
  - A camera fredda (pressofusione) generalmente utilizzata per le leghe in genere (alluminio, ....)



# Camera calda

- Sono così definite le macchine con il forno fusorio integrato
- Produttività altissima: anche 1000 pz/h per particolari molto piccoli
- Le parti a contatto con il metallo fuso tendono ad usurarsi, ecco perché è indicata per leghe di zinco o piombo che presentano basse temperature di fusione ( $<450^{\circ}\text{C}$ )
- 2 tipologie di macchine:
  - A camera di pressione oscillante ove la camera si riempie basculando attorno ad un perno mentre il pezzo viene estratto dalla conchiglia per essere poi riposizionata in contatto con l'ugello della conchiglia ed il metallo è spinto in quest'ultima dall'azione di aria compressa
  - A pistone tuffante ove la camera, fissa, è riempita attraverso un foro in comunicazione con il forno fusorio lasciato libero dal pistone in posizione di attesa. La discesa del pistone mette in pressione il liquido che viene iniettato nella conchiglia



Esempio di macchina a camera calda.

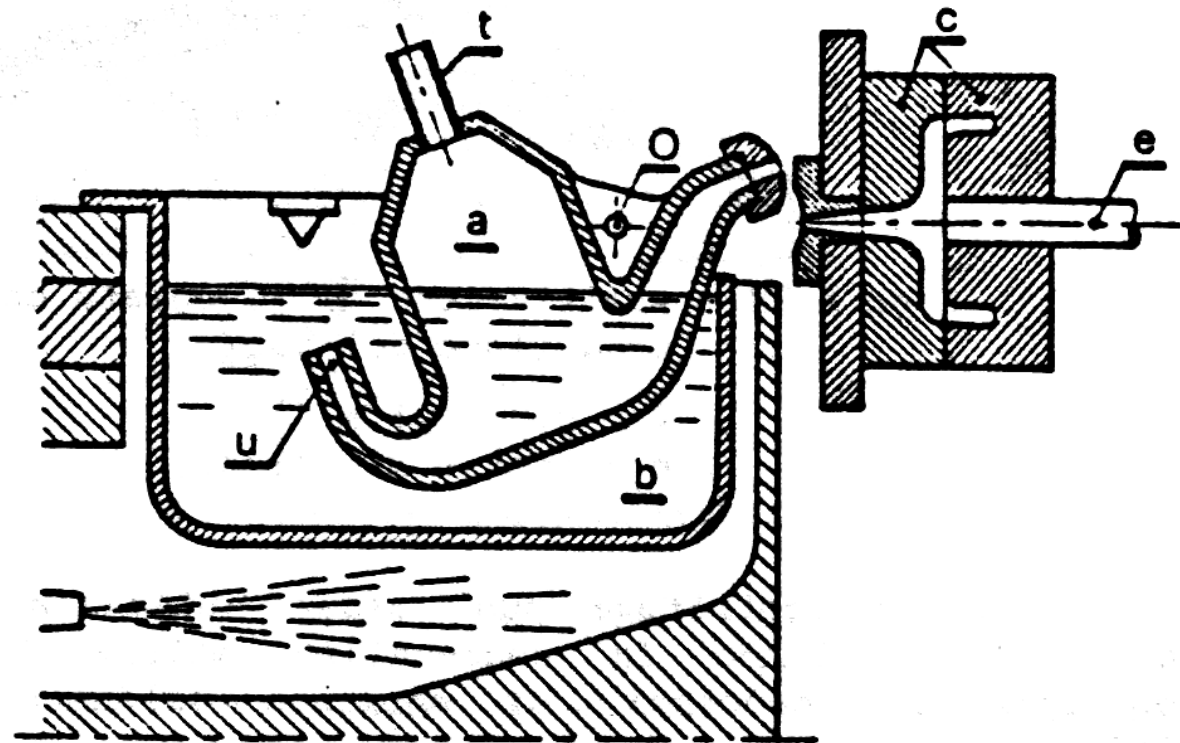
- a: cilindro di iniezione
- b: crogiolo di attesa
- c: conchiglia
- d: cilindro per apertura e chiusura della conchiglia
- e: leve a ginocchiera
- f: crogiolo principale
- g: ugello per iniezione lega liquida
- h: piastra porta conchiglia fissa
- k: piastra porta conchiglia mobile
- p: bruciatori di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

# Iniettofusione a camera oscillante

Fig. 2.73-a

Macchina per iniettofusione a camera oscillante.

Fase di riempimento.

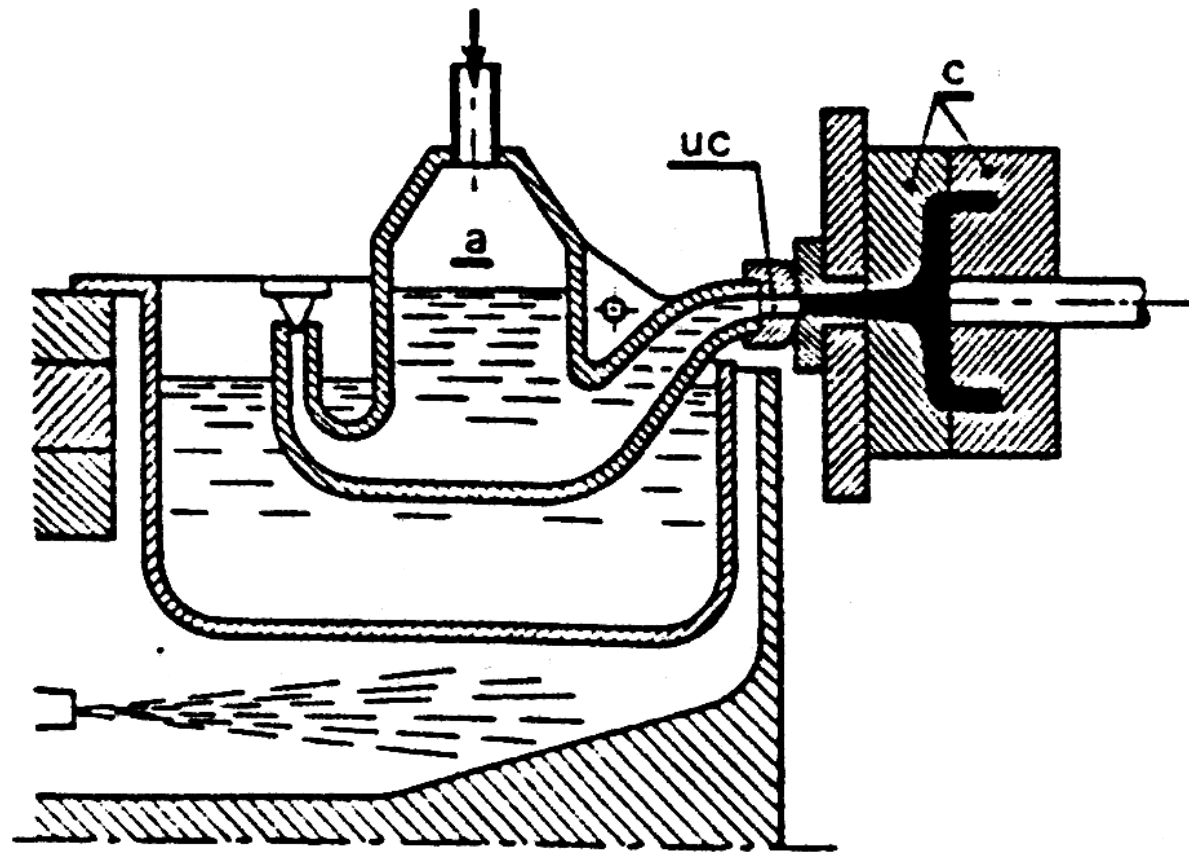


# Iniettofusione a camera oscillante

Fig. 2.73-b

Macchina per iniettofusione a camera oscillante.

Fase di iniezione.



# Iniettofusione a camera oscillante

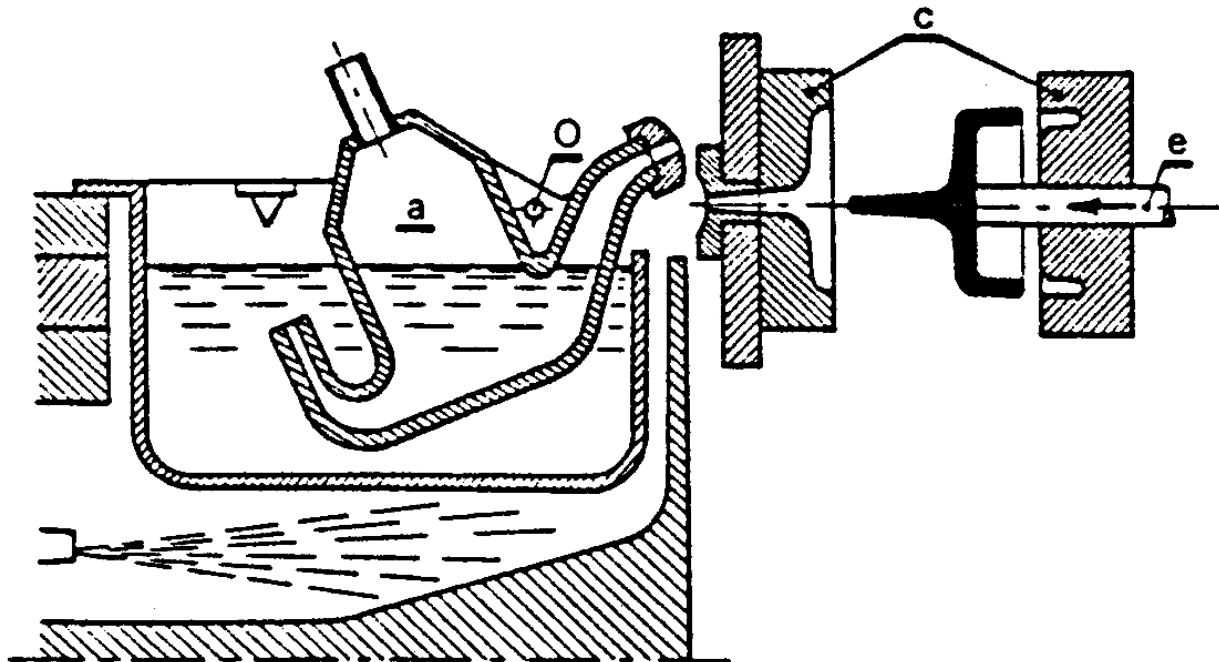


Fig. 2.73-c - Macchina per iniettofusione a camera oscillante.  
Fase di estrazione.

# Iniettofusione a pistone tuffante

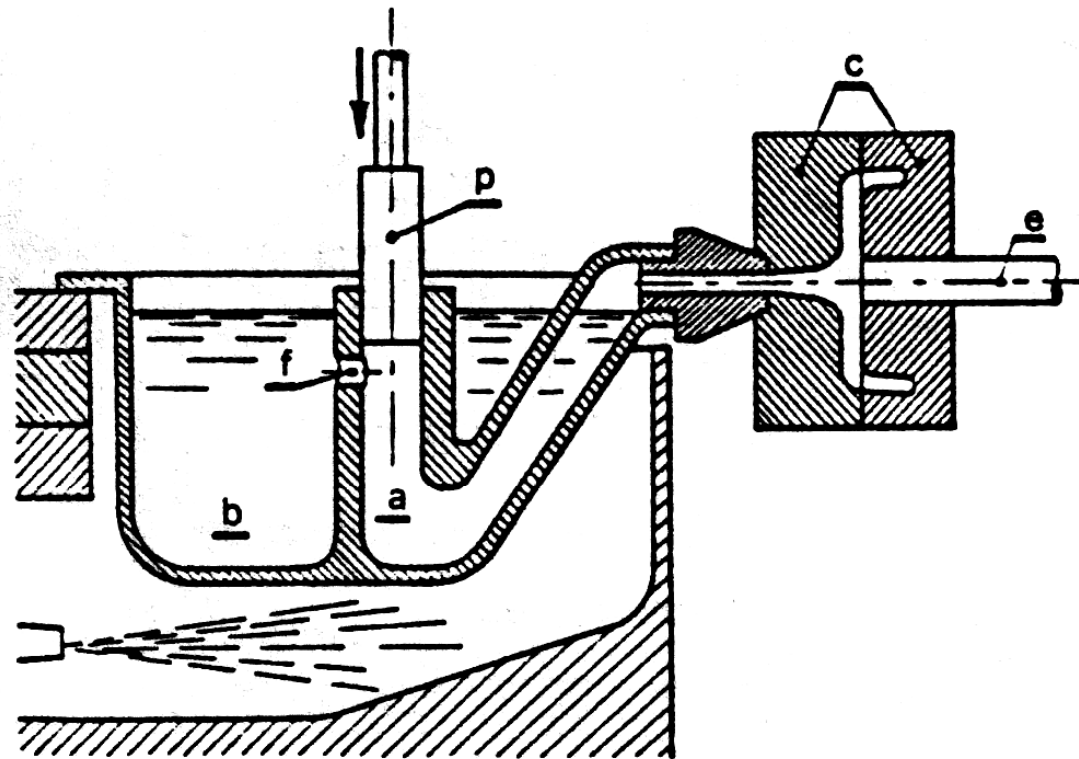


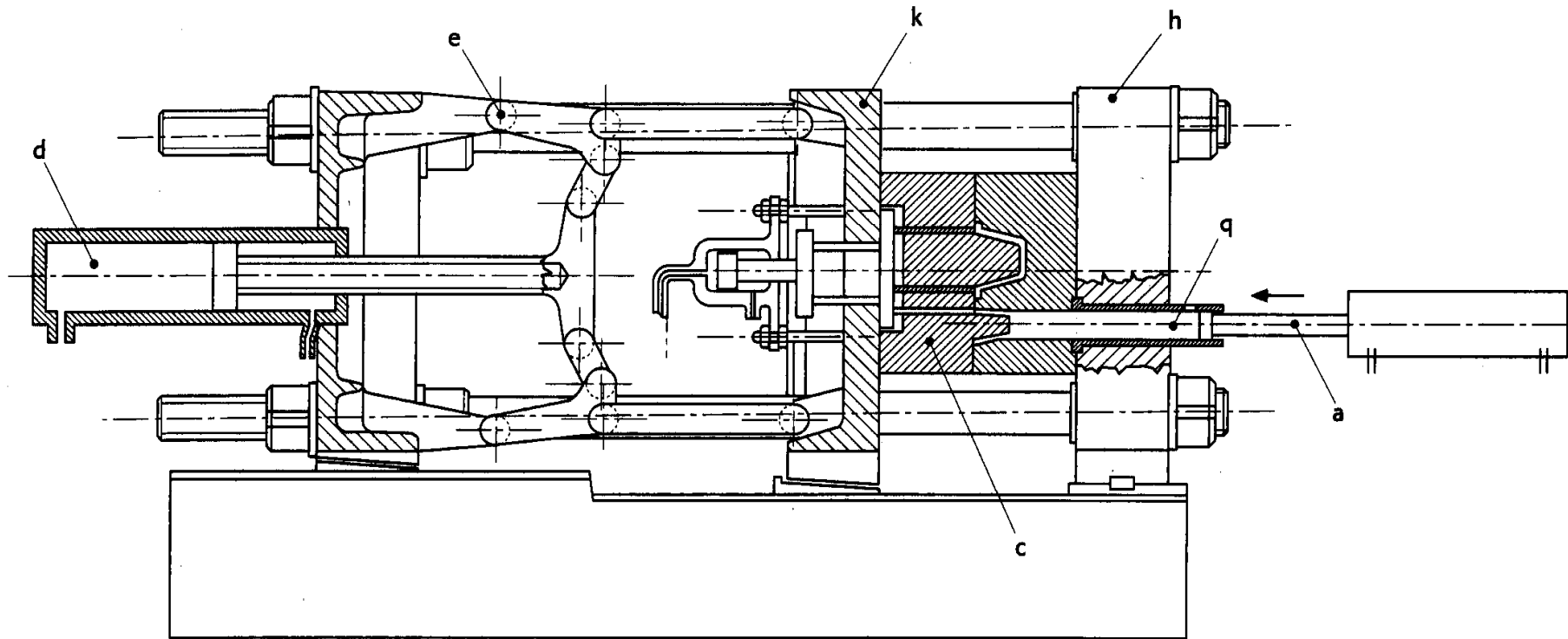
Fig. 2.74 - Macchina per iniettofusione a camera calda a pistone tuffante.



# Camera fredda

- Sono così definite le macchine con il forno fusorio a lato, separato dalla macchina
- Produttività inferiore alla camera calda: al massimo 20-200 pz/h
- Molto utilizzata per leghe di alluminio e rame con temperature di fusione da 640 a 980 °C
- Funzionamento:
  - Le presse presentano un funzionamento dato da un camera di compressione che viene riempita con metallo fuso da un forno esterno al momento dell'estrazione del pezzo dalla conchiglia. Un pistone comprime il metallo fuso nella camera di compressione spingendo un contropistone che lascia libero l'ugello di iniezione nella conchiglia permettendo l'iniezione del materiale





Esempio di macchina a camera fredda.

a: cilindro di iniezione

c: conchiglia

d: cilindro per apertura e chiusura della conchiglia

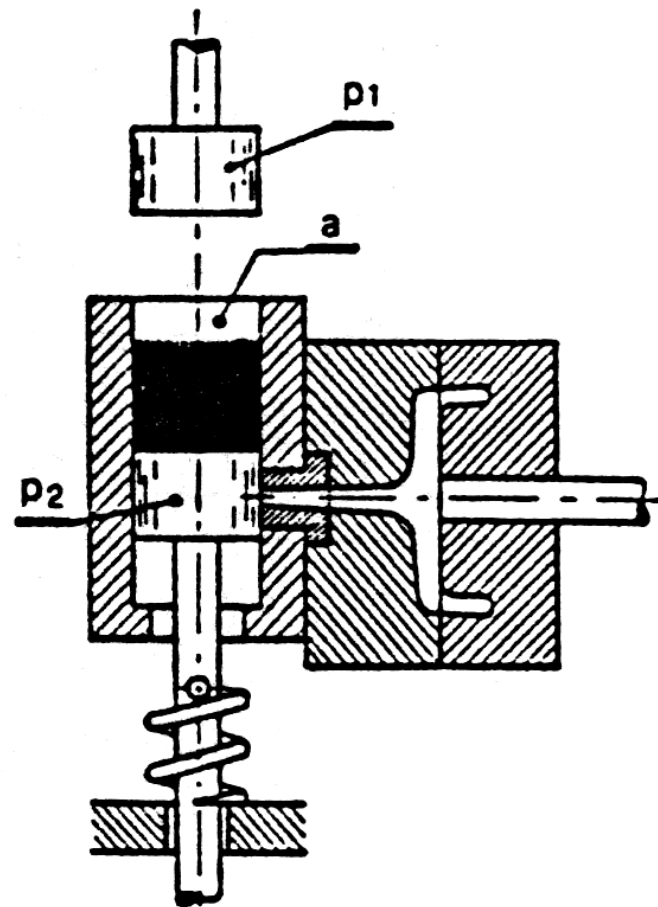
e: leva a ginocchiera

h: piastra porta conchiglia fissa

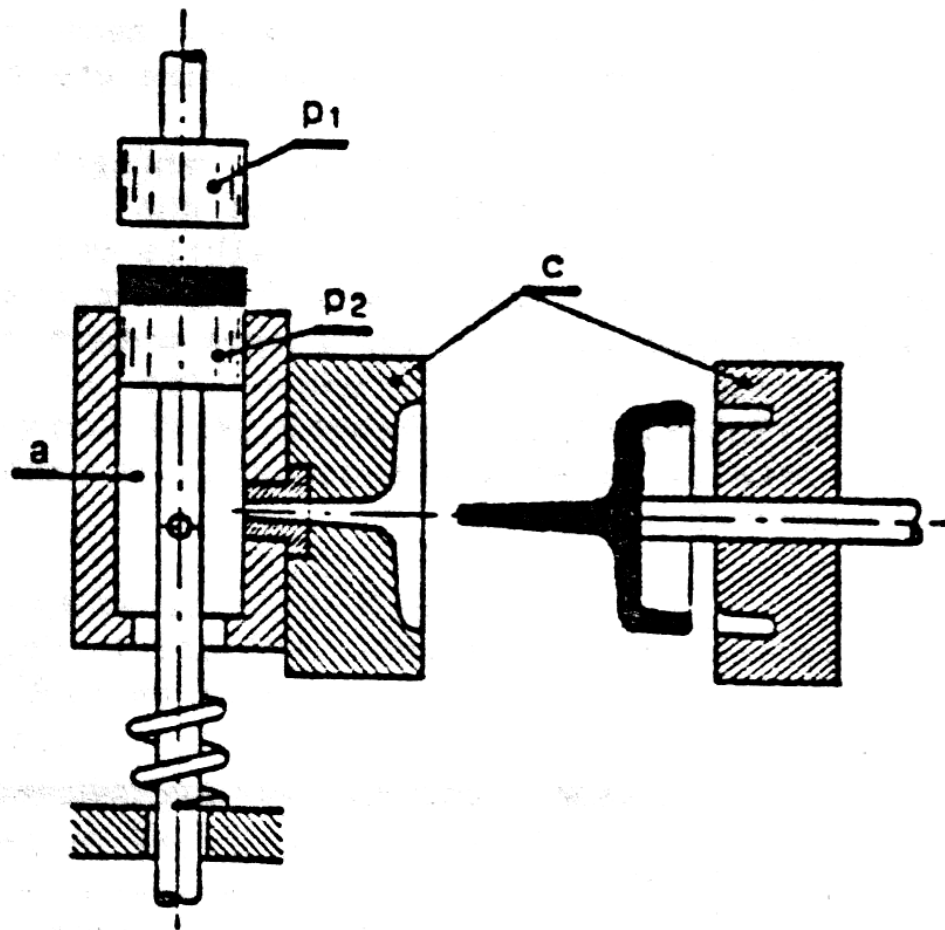
k: piastra porta conchiglia mobile

q: zona di caricamento della lega liquida

# Pressofusione



# Pressofusione





# Progettare per pressofusione

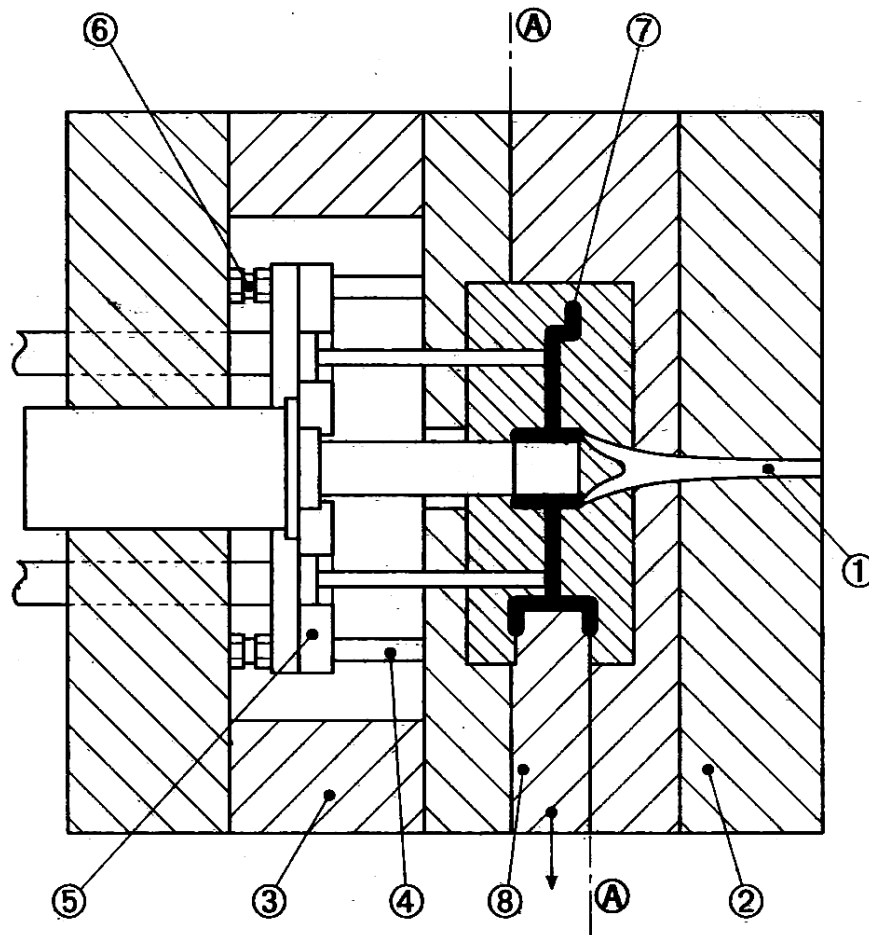
- Durata degli stampi 100.000 – 200.000 pezzi
- Pesì massimi e spessori minimi:
  - Leghe di magnesio 1-5 kg - 1,5-2 mm
  - Leghe di alluminio 1-10 kg – 1,5-2 mm
  - Leghe di rame 3-5 kg – 2,5-3 mm
  - Leghe di stagno, piombo e zinco 5-10 kg – 0,6-1 mm
- Il progetto del pezzo deve prevedere spessori uniformi e minimi per ridurre il peso ed evitare deformazioni, facendo uso di nervature per avere nel contempo alta resistenza meccanica



# Progettare per pressofusione

- Eventuali sottosquadri possono essere risolti con interventi progettuali, se possibili, oppure tasselli mobili che fanno lievitare il costo del getto a causa dell'incremento dei tempi di ciclo.
- L'estrazione del pezzo è generalmente automatica ed effettuata mediante l'uso di estrattori
- Evitare fori di diametro troppo piccolo: è possibile prevedere l'inserimento di inserti di altro materiale da posizionare nello stampo prima della chiusura

# Conchiglia per pressofusione



Schema di una conchiglia per colata sotto pressione.

A-A superficie di separazione delle semiconchiglie

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

# Sovrametalli di pressofusione

Tabella 2.12 - Valori indicativi dei sovrametalli necessari per getti ottenuti mediante pressofusione.

Dimensioni nominali (mm)	Leghe di Al	Leghe di Zn	Leghe di Sn	Leghe di Cu
	Sovrametallo (mm)	Sovrametallo (mm)	Sovrametallo (mm)	Sovrametallo (mm)
< 100	0,5 + 0,8	0,5 + 0,6	0,5	0,5 + 1,0
100 + 300	0,8 + 1,5	0,6 + 1,0	0,5 + 0,8	1,0 + 2,0
300 + 500	1,5 + 2,0	1,0 + 1,6	0,8 + 1,5	

# Sovrametalli in pressofusione di leghe di zinco

<b>Dimensioni nominali (mm)</b>	<b>Sovrametalli di lavorazione (mm)</b>	<b>Tolleranze (mm)</b>
≤25	0,5	± 0,02 ÷ 0,07
25 ÷ 50	0,5	± 0,04 ÷ 0,10
50 ÷ 100	0,5 ÷ 0,6	± 0,06 ÷ 0,15
100 ÷ 200	0,6 ÷ 0,8	± 0,10 ÷ 0,25
200 ÷ 300	0,5 ÷ 1	± 0,18 ÷ 0,35
300 ÷ 400	1 ÷ 1,5	± 0,26 ÷ 0,45
400 ÷ 500	1 ÷ 1,6	± 0,34 ÷ 0,55

Valori indicativi dei sovrametalli di lavorazione e delle tolleranze realizzabili su getti di leghe di zinco col procedimento di fusione sotto pressione.



# Sovrametalli in pressofusione di leghe di alluminio

<b>Dimensioni nominali (mm)</b>	<b>Sovrametalli di lavorazione (mm)</b>	<b>Tolleranze (mm)</b>
≤25	0,5	± 0,03 ÷ 0,10
25 ÷ 50	0,6	± 0,06 ÷ 0,13
50 ÷ 100	0,5 ÷ 0,8	± 0,08 ÷ 0,21
100 ÷ 200	0,6 ÷ 1,2	± 0,13 ÷ 0,36
200 ÷ 300	0,1 ÷ 1,5	± 0,23 ÷ 0,51
300 ÷ 400	1,1 ÷ 1,9	± 0,33 ÷ 0,61
400 ÷ 500	1,1 ÷ 1,2	± 0,41 ÷ 0,71

Valori indicativi dei sovrametalli di lavorazione e delle tolleranze realizzabili su getti di leghe di alluminio col procedimento di fusione sotto pressione.

# Sovrametalli in pressofusione di leghe di rame

<b>Dimensioni nominali (mm)</b>	<b>Sovrametalli di lavorazione (mm)</b>	<b>Tolleranze (mm)</b>
≤25	0,5 ÷ 0,5	± 0,07 ÷ 0,17
25 ÷ 50	0,5 ÷ 0,7	± 0,11 ÷ 0,22
50 ÷ 100	0,6 ÷ 1	± 0,15 ÷ 0,32
100 ÷ 200	0,8 ÷ 1,5	± 0,22 ÷ 0,52
200 ÷ 300	1,2 ÷ 2	± 0,37 ÷ 0,72

Valori indicativi dei sovrametalli di lavorazione e delle tolleranze realizzati su getti di leghe di rame col procedimento di fusione sotto pressione.

# Profondità dei fori in pressofusione

Diametro dei fori (mm)	Profondità max per getti (mm)			
	Lega di zinco	Lega di alluminio	Lega di magnesio	Lega di rame
3	10	7,5	7,5	–
4	15	10	10	–
5	20	13	13	–
6	25	15	15	12
9	35	25	25	23
12	50	35	35	32
16	80	60	60	50
19	115	80	80	80
25	150	125	125	125

Nota: Per diametri > 25 mm la max profondità del foro può essere considerata uguale a 6 volte il diametro.

Profondità massime dei fori, in relazione al diametro, in getti ottenuti per fusione sotto pressione.



# Finitura



# Smaterozzatura

- È la prima operazione da compiere al momento della distaffatura del pezzo e consiste nel distacco del canale di colata con quanto annesso
- È un'operazione quasi esclusivamente manuale utilizzando diversi attrezzi in funzione del tipo di getto:
  - Martello o martello pneumatico
  - Sega circolare
  - Cannello ossiacetilenico
  - Arco voltaico



# Sterratura

- È l'operazione che consente di eliminare la terra dai getti dopo averli tolti dalla forma
- Come tutte le attività di finitura si cerca oggi di automatizzare il più possibile tale operazione per 2 ragioni:
  - Alto costo della manodopera anche non specializzata
  - Condizioni di lavoro pesanti ed insalubri
- Soluzioni possibili:
  - Getti medio-grandi: spazzole, martelli pneumatici, griglie mobili
  - Getti piccoli: burattatura con frammenti di ghisa



# Sbavatura

- È l'operazione che consente di eliminare le bave create a fronte di filtrazioni sul piano di divisione oppure in corrispondenza di portate d'anima o inserimento tasselli
- È indispensabile in quanto le bave impedirebbero successive operazioni di lavorazione per asportazione di truciolo
- Sbavatura manuale:
  - Utilizzando mole portatili o scalpelli
- Sbavatura meccanizzata:
  - Mediante barilatura ovvero introducendo i pezzi in tamburi rotanti insieme a frammenti di materiale caratterizzato da elevata durezza

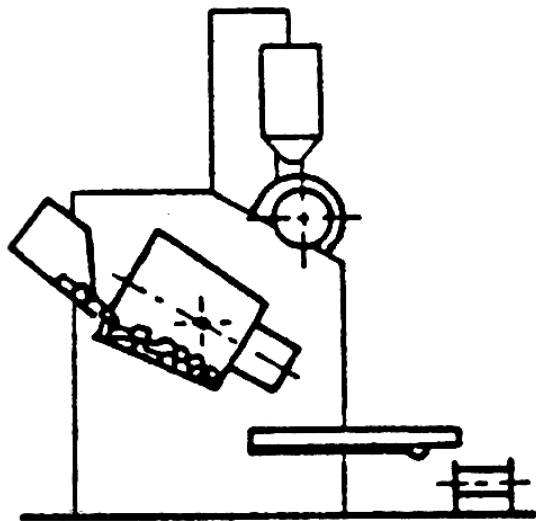


# Sabbiatura

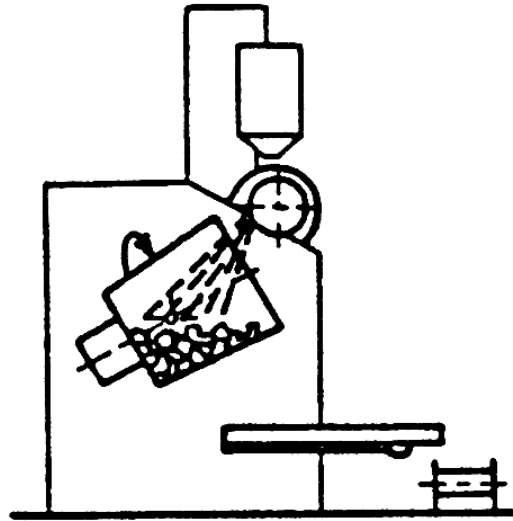
- È un'operazione dal duplice scopo:
  - Rimuovere anche i granelli di sabbia più fine dalla superficie
  - Eliminare eventuali ossidazioni superficiali a seguito di trattamenti diversi
- Esistono due macchine (sabbiatrici) di base:
  - Sabbiatrici cicliche
  - Sabbiatrici continue
- Il funzionamento della sabbiatrice è uguale per quel che concerne il lancio della graniglia sul pezzo che avviene per forza centrifuga attraverso delle giranti che consentono di lanciare 200-300 kg di graniglia al minuto a 80 m/s



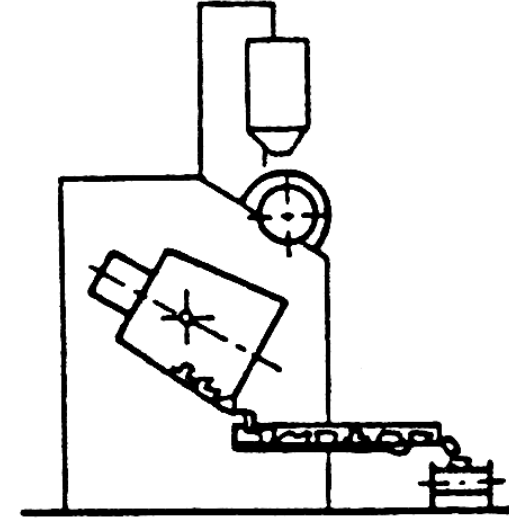
# Sabbiatura ciclica



introduzione getti

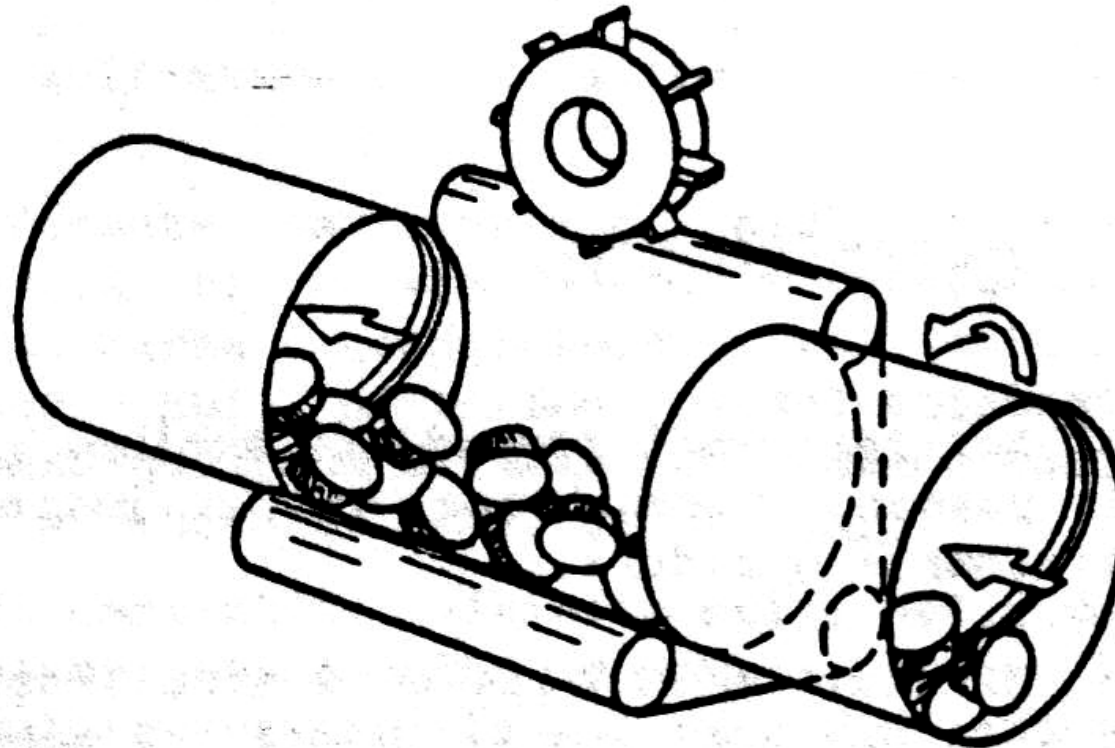


lancio graniglia



scarico getti

# Sabbiatura continua



# Difetti di fonderia



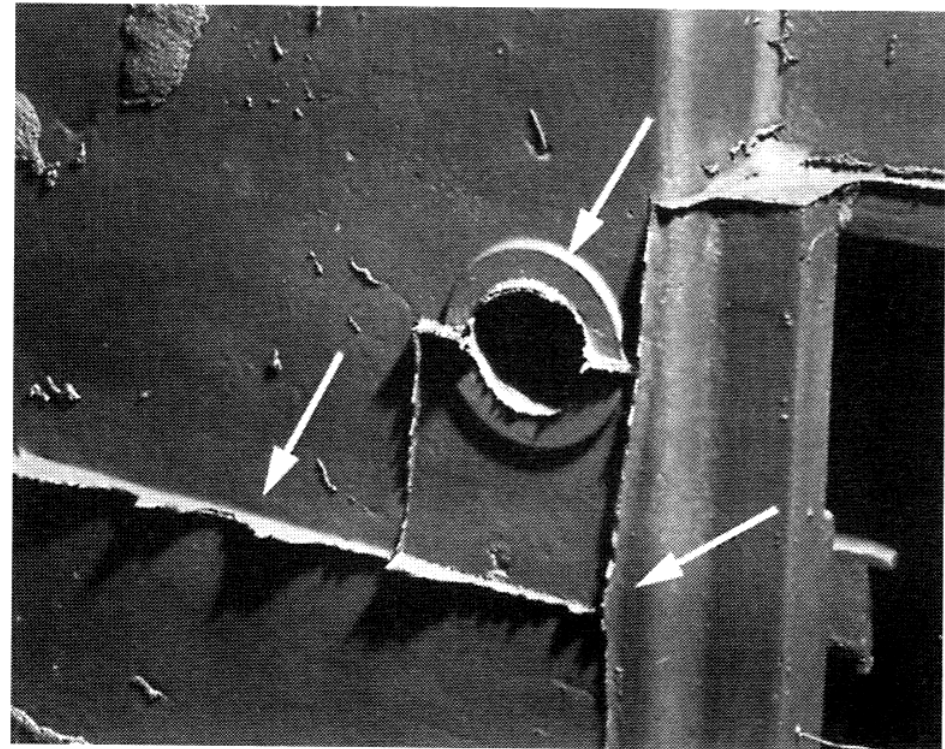
# Difetti di fonderia

- Escrescenze metalliche
- Cavità
- Soluzioni di continuità
- Superfici difettose
- Pezzo incompleto
- Deformazioni o forme scorrette
- Inclusioni o anomalie strutturali

# Escrescenze metalliche

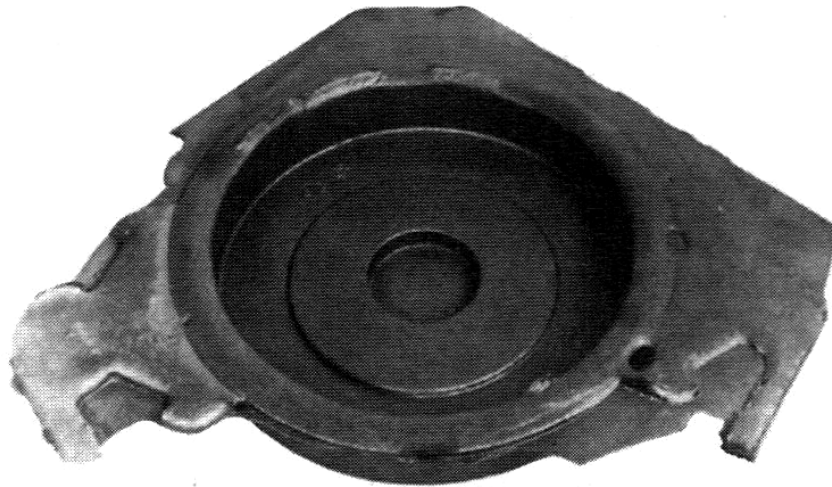
- Bave sul piano di apertura a causa di:
  - Giochi
  - Spinta metallostatica
- Distacchi di sabbia dalla forma a causa di:
  - Erosione di parti non raccordate
  - Scarsa coesione
  - Scarsa permeabilità

Bave



# Bave e distacchi di sabbia

Bave

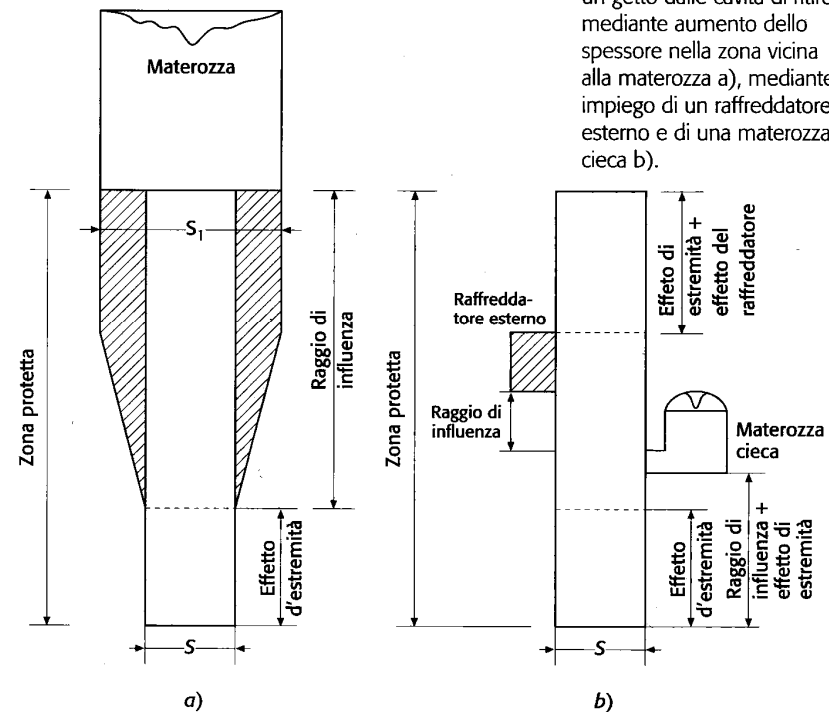


Distacco di sabbia

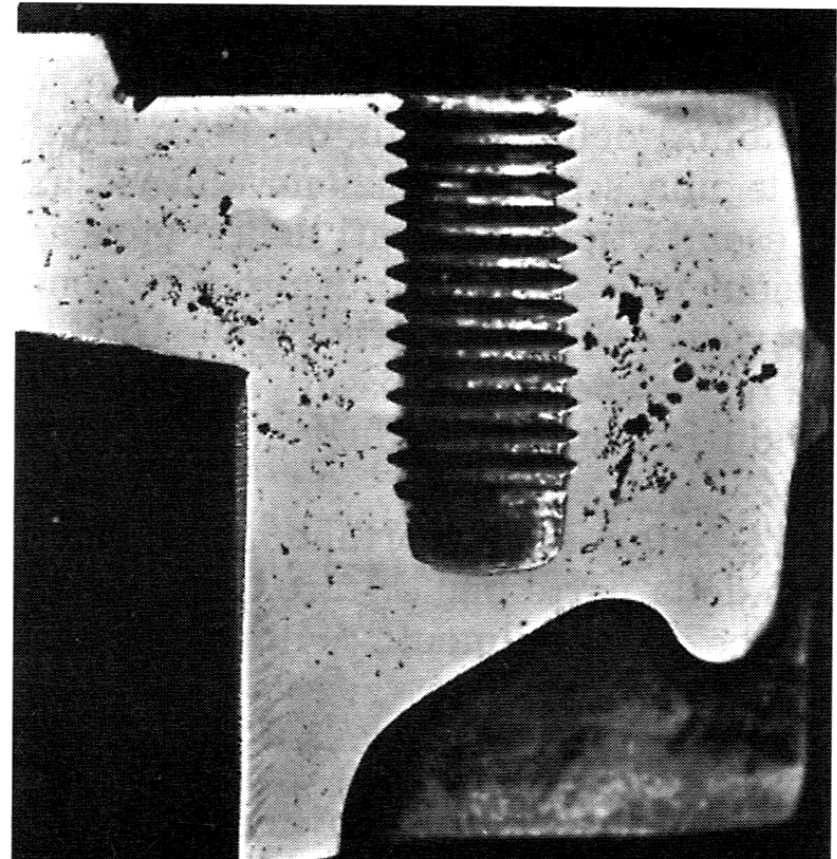
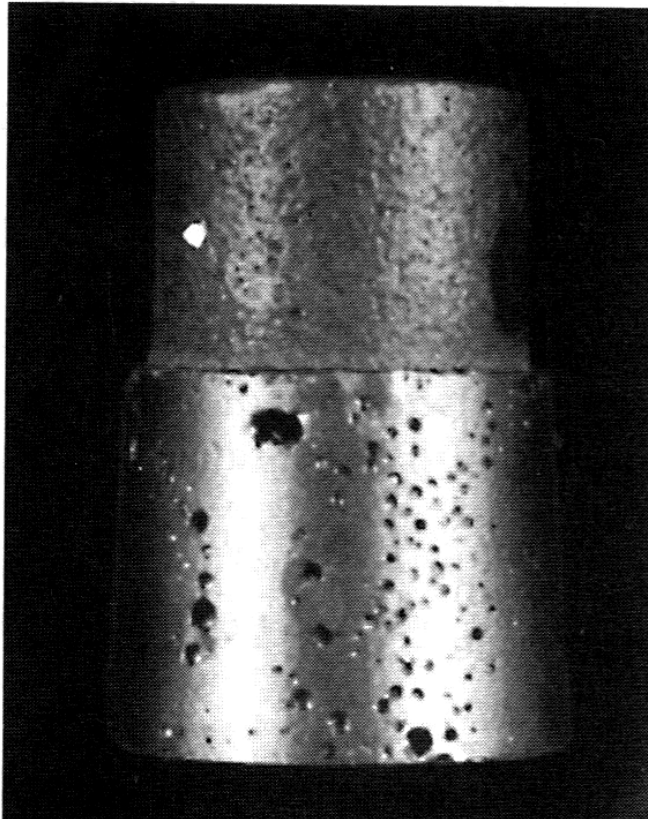


# Cavità

- Soffiature: sono cavità interne tondeggianti causate da gas non sfiatati a causa di scarsa porosità o mancanza di canali di sfogo
- Cavità di ritiro: sono interne o esterne, di forma frastagliata causate da mancata alimentazione da parte di materozze di parti con alto modulo di raffreddamento

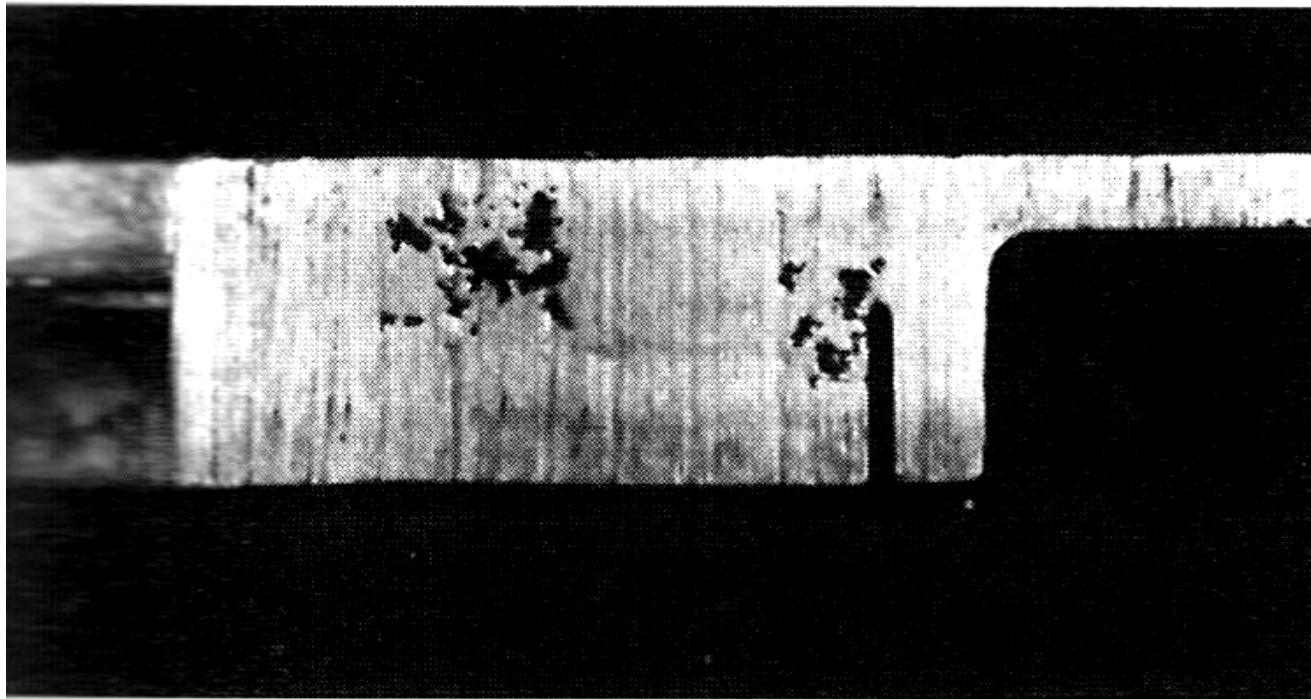
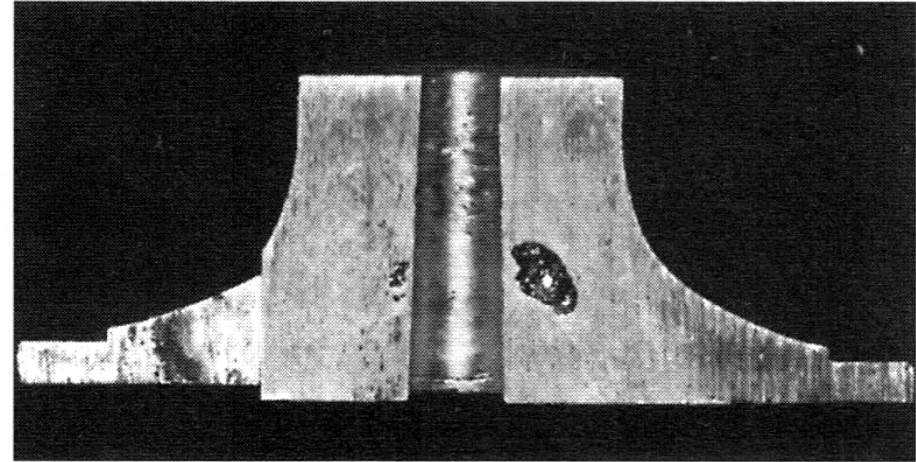


# Soffiature





# Cavità di ritiro





# Soluzioni di continuità

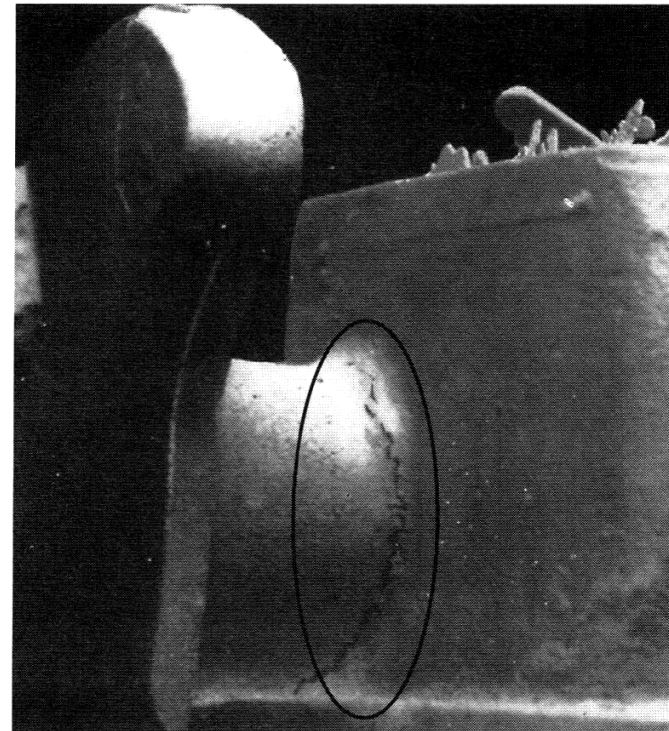
- Fratture a freddo: si determinano nell'ultima fase del raffreddamento a causa di tensioni di trazione tra zone vicine caratterizzate da moduli di raffreddamento molto diverso
- Cricche: discontinuità superficiale dovute a cattivi raggi di raccordo tra zone a spessore molto diverso
- Riprese: sono giunzioni di materiale ormai freddo proveniente d ugelli diversi e causate da percorsi troppo lunghi della colata, temperature troppo basse o tempi di iniezione troppo lunghi

# Fratture a freddo e cricche

Frattura a freddo



Cricca



# Riprese

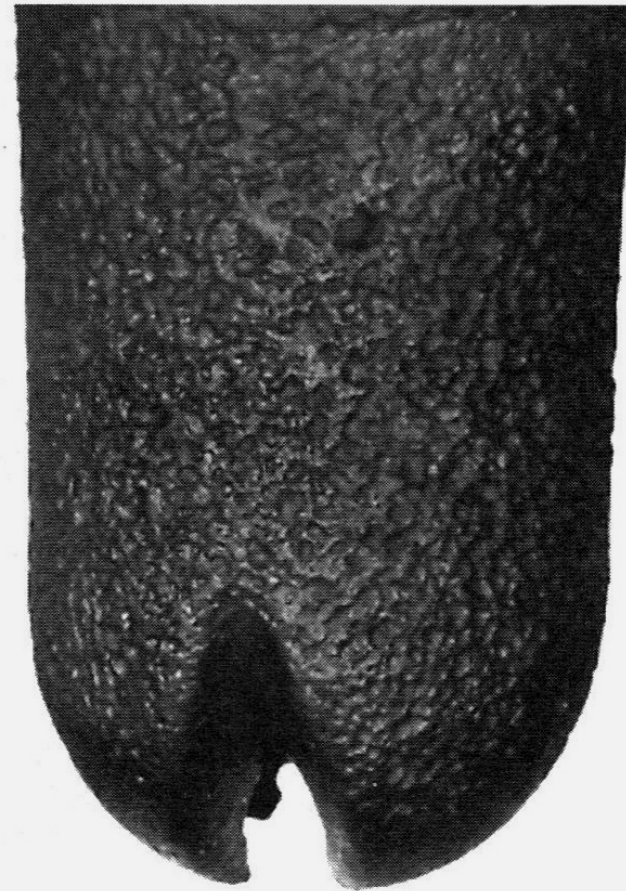
Ripresa



# Superfici difettose

- La più classica è la buccia di arancia: caratterizza zone superficiali di cattiva qualità a causa di reazioni della lega fusa con additivi o leganti presenti nella forma oppure ad impurità dovute a terre non ben rigenerate

Superficie a «buccia d'arancia»



# Pezzi incompleti

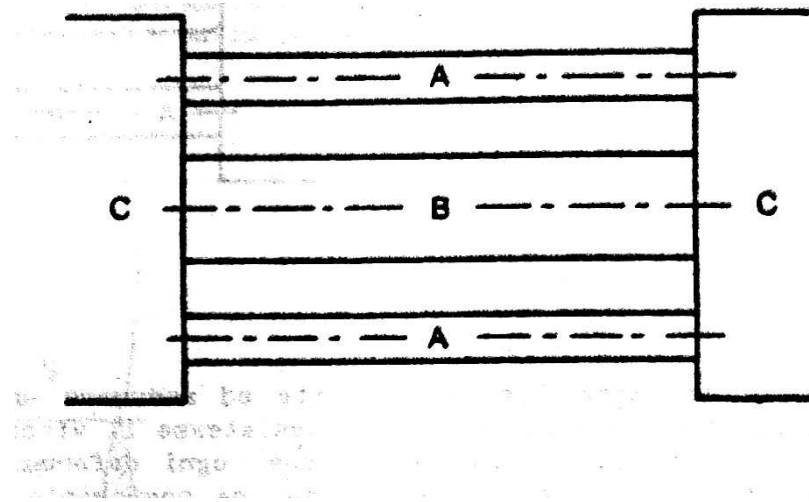
- Sono difetti dovuti a forme non completamente riempite spesso a causa di temperature di colata troppo basse, spessori non uniformi, errata progettazione del sistema di colata

Pezzo incompleto



# Deformazioni o forme scorrette

- Dovuto a forme non bilanciate del pezzo di fusione che ingenerano tensioni di trazione tali da deformare il pezzo solidificato





# Inclusioni o anomalie strutturali

- Non metalliche:

- Inclusioni di scorie non filtrate durante la colata
- Parti di sabbia distaccate dalla forma

- Metalliche:

- Gocce fredde, ovvero spruzzi della colata che al contatto delle superfici fredde della forma solidificano per prime e costituiscono poi delle parti non amalgamate con il resto della fusione
- Tempra localizzata ovvero struttura ricca di  $Fe_3C$  o grafite che solidifica rapidamente e risulta dura e poco lavorabile alle macchine utensili



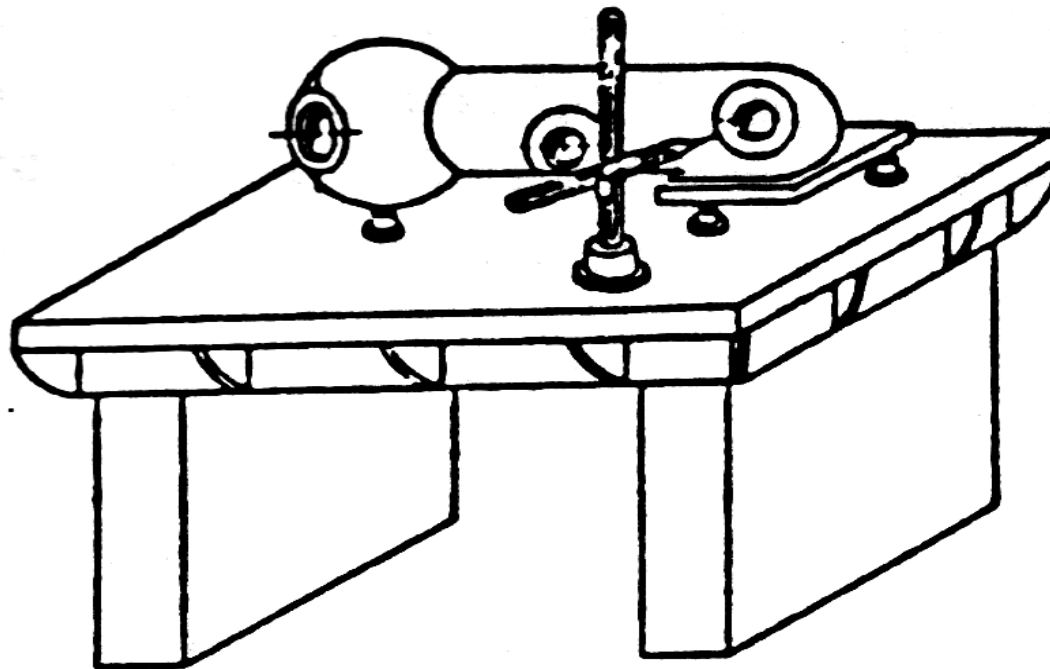
## CLASSIFICAZIONE DEI DIFETTI DI FONDERIA

DIFETTI CAUSE: + PRINCIPALI ° SECONDARIE	DIFETTI PALESI										DIFETTI NASCOSTI																
	CHE INTERESSANO LA FORMA DEL GETTO				CHE INTERESSANO LA SUPERFICE DEL GETTO				CHE INTERESSANO IL COMPLESSO DEL GETTO				CAVITA INTERNE		DIFETTI DI COMPOSIZIONE E DI STRUTTURA				INCLUSIONI								
	Deformazioni e svergolamenti	Schiacciamenti e cedimenti	Forzamenti e bave	Sportamenti - fuoristaffa	Aspetto grossolano	Emiosità	Penetrazioni e vetrificazioni	Tacconi o sfoglie	Tacconi falsi	Cadute di sabbia	Saldature e riprese	Incompletezze e discontinuità	Asportazioni	Fughe di metallo	Mancanza di metallo	Incrinate crepe o rotture	Porosità	Bolle	Soffiature	Risucchi e ricalli	Durezza diffusa	Durezza localizzata	Tempra inversa	Struttura aperta o grossolana	Segregazione di grafite o nidi	Goce fredde	Scorie, sabbia neri
Disegno . . . . .	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Modello . . . . .	°	°	°	+	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Staffe . . . . .	°	+	°	°	°	°	°	°	+	°	°	°	°	°	+	°	°	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°
Colata e carico	°	°	°	+	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	+	+
Terre e sabbie .	°	°	+	°	°	+	+	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°	+	+	°	°	°	°	°	°	+	°
Anime . . . . .	°	°	°	°	°	°	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°	°	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°
Formatura . . .	°	+	+	°	°	+	+	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°	+	+	°	°	°	°	°	°	°	°
Metallo . . . . .	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	+	°	°	°	°	°	°
Fusione . . . . .	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Operaz. di colata	°	°	°	°	°	°	+	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Cause diverse .	°	+	°	+	°	°	°	°	+	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°



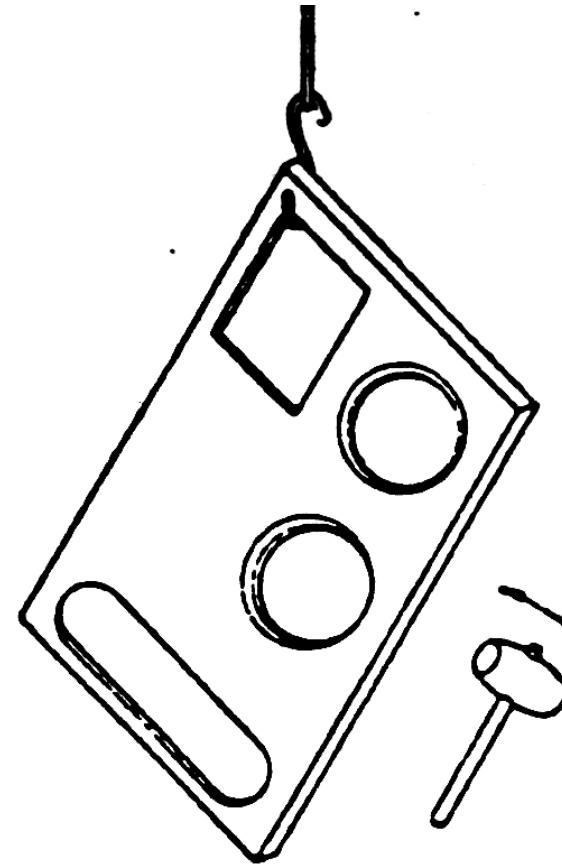
# Controlli

# Tracciatura



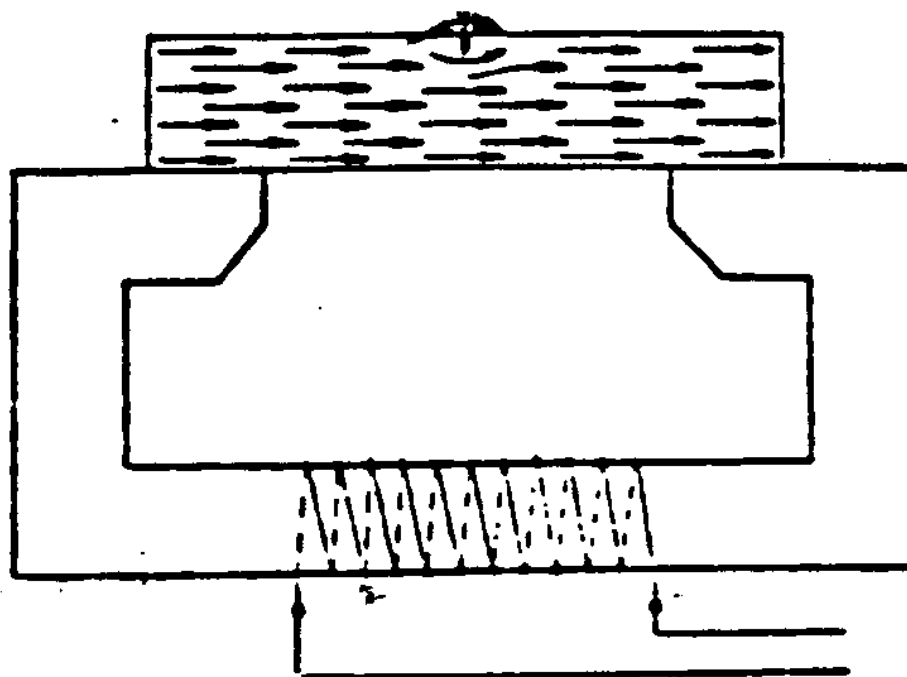
**Fig. 494. - Verifiche dimensionali di un getto mediante tracciatura.**

# Percussione



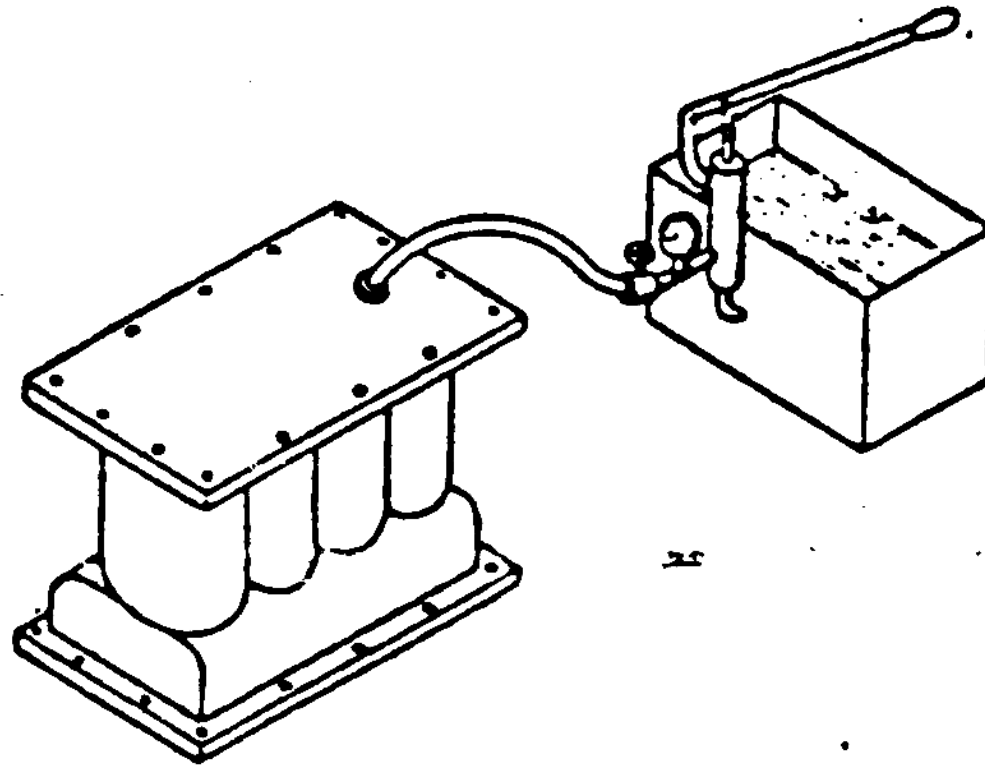
**Fig. 495. - Verifica alla percussione di un getto: il suono non chiaro indica rotture.**

# Esame magnetico



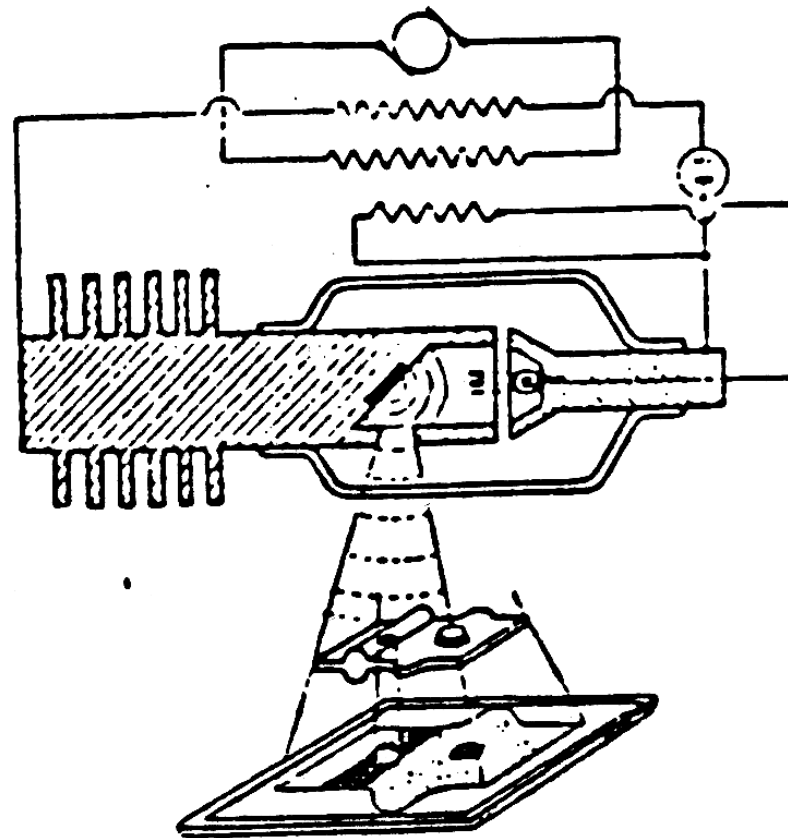
**Fig. 497. - Esame magnetico di un getto, per mettere in evidenza cricche, crepe o soluzioni di continuit  superficiali.**

# Controllo idraulico a pressione



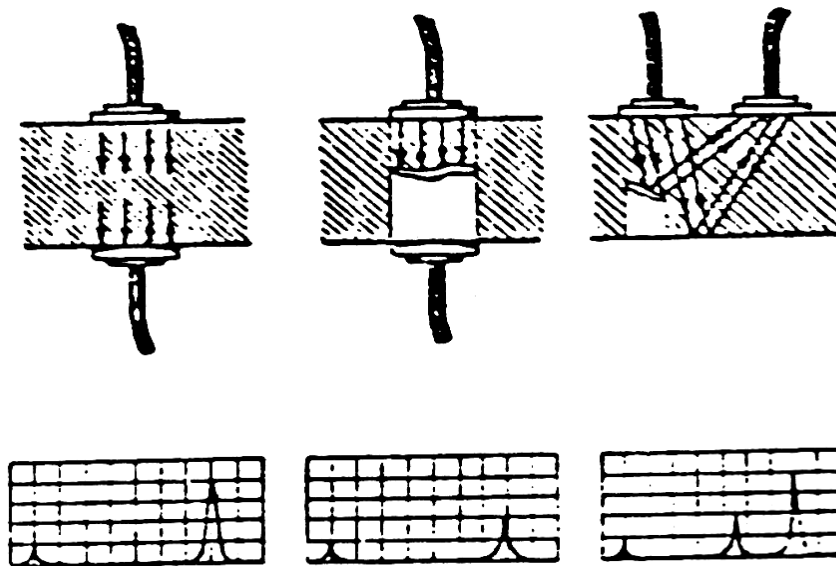
**Fig. 496. - Prova alla pressione idraulica di un getto.**

# Esame ai raggi X



**Fig. 498. - Esame di un getto ai raggi X.**

# Controllo ad ultrasuoni



**Fig. 499. - Esame di un getto con gli ultrasuoni: a sinistra, esame col metodo ad ombra: il getto è sano, e la recezione non è attenuata; al centro, esame col metodo ad ombra: esiste una soffiatura e la recezione è attenuata; a destra, esame col metodo a eco, con trasmettitore e ricevitore sullo stesso lato del getto: il ricevitore segnala un eco attenuato.**





# Spinta metallostatica



# Spinta metallostatica

- Per tutto il tempo nel quale la lega si mantiene liquida, ogni punto della forma è soggetto, secondo il principio di Stevino ad una pressione che dipende:
  - Dalla densità della lega
  - Dalla profondità del punto considerato rispetto al pelo libero del fluido
- Tale pressione esercita su tutte le superfici della forma una spinta detta appunto “metallostatica”
- La componente verticale della spinta assume un’importanza particolare in quanto tende a sollevare la parte superiore della forma lasciando fuoriuscire il metallo fuso dal piano di divisione creando bave e getti incompleti
- Tale spinta può essere compensata dall’apposizione di pesi sopra la staffa superiore



# Calcolo della spinta metallostatica

- La spinta metallostatica può essere calcolata su ogni superficie di contatto tra il getto e la forma. Essa è calcolabile come la pressione  $p$  perpendicolare alla superficie in ogni punto per la superficie stessa e risulta dipendente dalla distanza di quel punto dalla superficie libera del liquido e dal peso specifico  $\gamma$  del liquido

$$F = S p = S h \gamma$$

ove

- $p$  è detta pressione metallostatica
  - $S$  è l'area della superficie considerata
  - $h$  è la profondità del baricentro del metallo fuso rispetto al pelo libero
  - $\gamma$  è il peso specifico della lega liquida
- Nella pratica la spinta metallostatica si calcola come la componente diretta verso l'alto al fine di assicurare la perfetta chiusura delle staffe



# Superficie piana orizzontale

- Tutti i punti della superficie  $S$  si trovano alla stessa distanza dalla superficie libera del liquido, quindi la forza risultante sarà

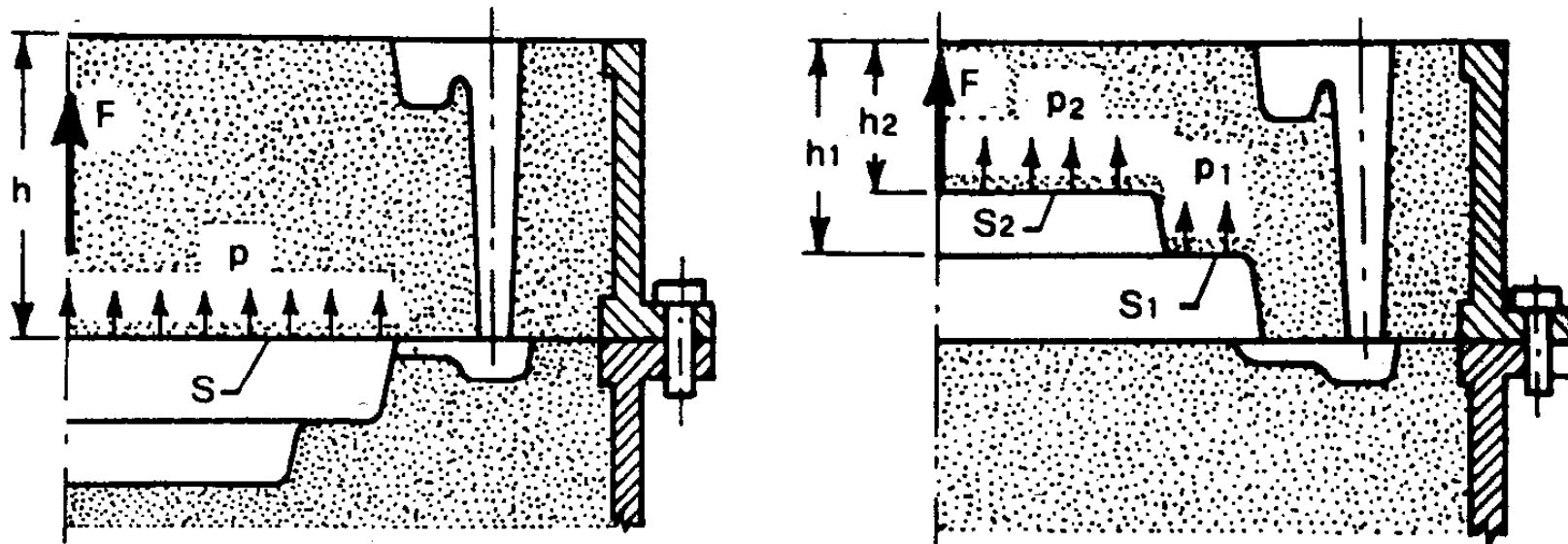
$$F = S p = S h \gamma$$

- Se la forma presenta diverse superfici piane, la forza totale sarà:

$$F = \sum F_i = \sum S_i h_i \gamma$$

- Possono trascurarsi le componenti verticali insistenti sulle superfici inclinate connesse dagli angoli di spoglia

# Superficie piana orizzontale



getto realizzato nella  
staffa inferiore

getto realizzato nella  
staffa superiore

Fig. 2.76 - Spinta metallostatica agente sulla staffa superiore.



# Superficie cilindrica

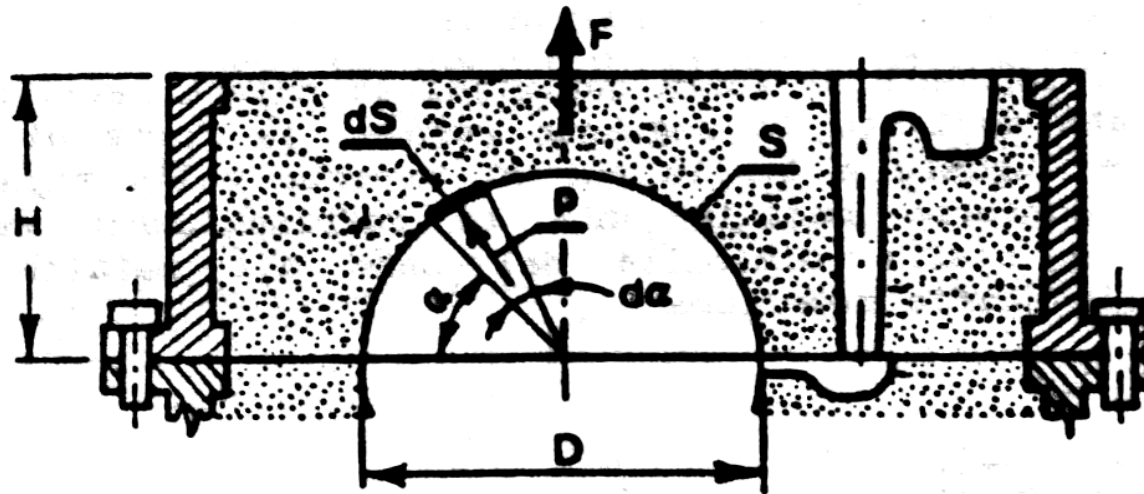
- In caso di superficie cilindrica la pressione cambia in ogni punto, dunque, considerando una lunghezza unitaria, e sviluppando i calcoli si avrà:

$$F = \gamma D (H - \pi D/8)$$

Ove

- D è il diametro della superficie cilindrica
- H è l'altezza della staffa superiore
- $\gamma$  è il peso specifico della lega liquida

# Superficie cilindrica



Calcolo della spinta verticale su una superficie cilindrica.

$$\begin{aligned}
 F &= \int_S p \cdot \sin(\alpha) \cdot dS = 2 \cdot \int_0^{\pi/2} p \cdot \sin(\alpha) \cdot r \cdot d\alpha = \\
 &= 2 \cdot \gamma \cdot r \cdot \int_0^{\pi/2} [H - r \cdot \sin(\alpha)] \cdot \sin(\alpha) \cdot d\alpha = \gamma \cdot D \cdot (H - \pi \cdot D/8)
 \end{aligned}$$



# Presenza di anime

- La presenza di anime costituisce un ulteriore contributo alla spinta di sollevamento della staffa superiore
- Per il principio di Archimede sulle anime agirà una forza pari a:

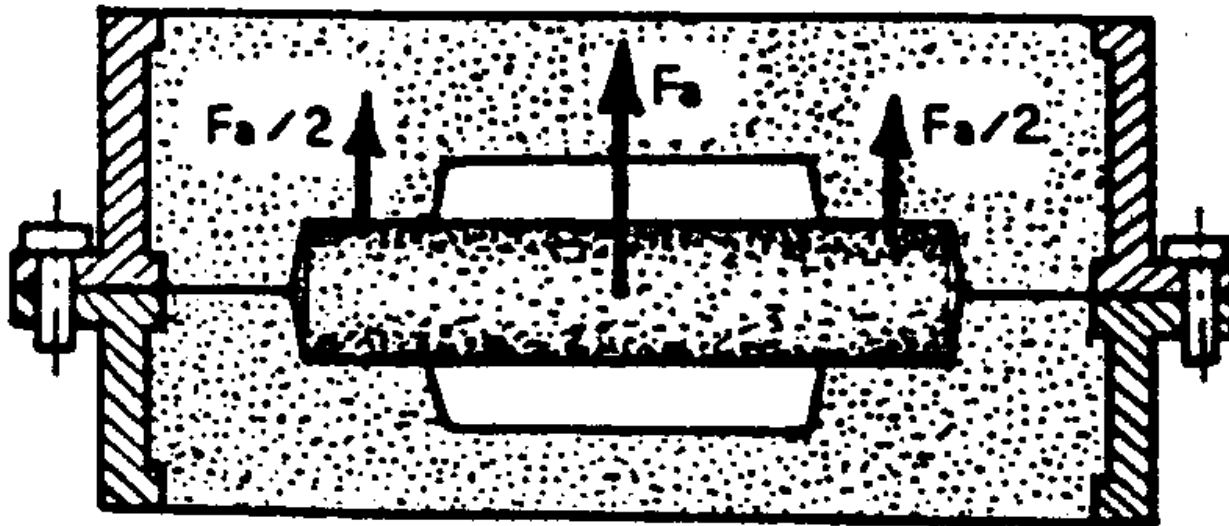
$$F_a = V\gamma - V_t\gamma_a$$

Ove

- $V$  = volume dell'anima circondata dal metallo liquido
- $\gamma$  = peso specifico del metallo liquido
- $V_t$  = volume totale dell'anima con le portate d'anima
- $\gamma_a$  = peso specifico dell'anima



# Spinta sulle anime



- Spinta verso l'alto agente sulla staffa superiore dovuta alla presenza di un'anima.



# Superficie di forma qualsiasi

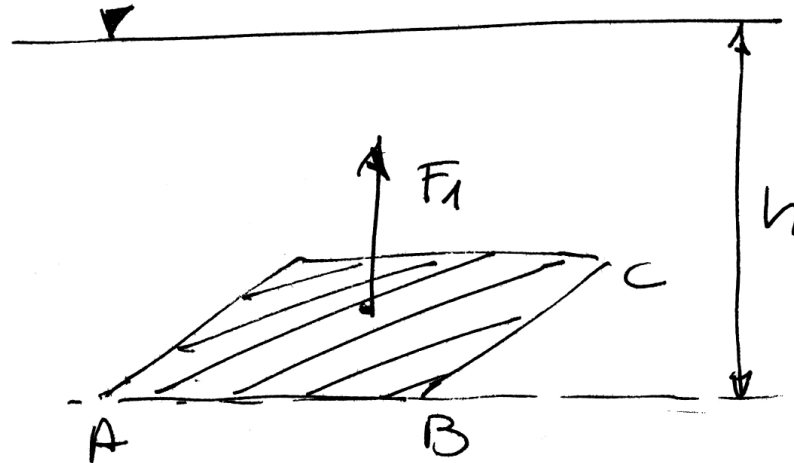
- Nel caso di forme complesse è possibile applicare la seguente regola:
  - La forza di sollevamento della staffa è uguale a quella che si avrebbe sulla superficie piana definita dal contorno dell'impronta in corrispondenza del piano di divisione diminuita del peso del metallo che occupa l'impronta nella staffa superiore



# Calcolo della spinta metallostatica

## ESERCIZIO 1 - PARETE AFFONDATA

Determinare la spinta metallostatica:



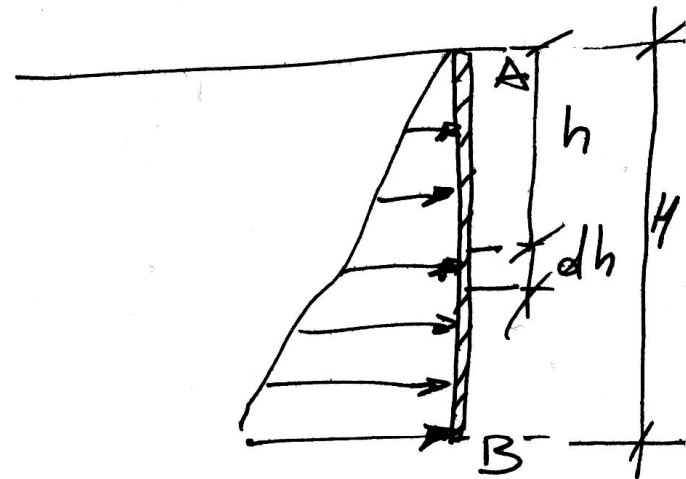
$$F_1 = \rho \cdot S = \gamma h \overline{AB} \cdot \overline{CB}$$

## ESERCIZIO 2 - PARETE VERTICALE AFFIORANTE

Determinare la spinta metallostatica:

$$F = \int_S p dA = \gamma \int_S h dA =$$
$$= \gamma b \int_0^{\overline{AB}=H} h dh = \frac{1}{2} \gamma b H^2$$

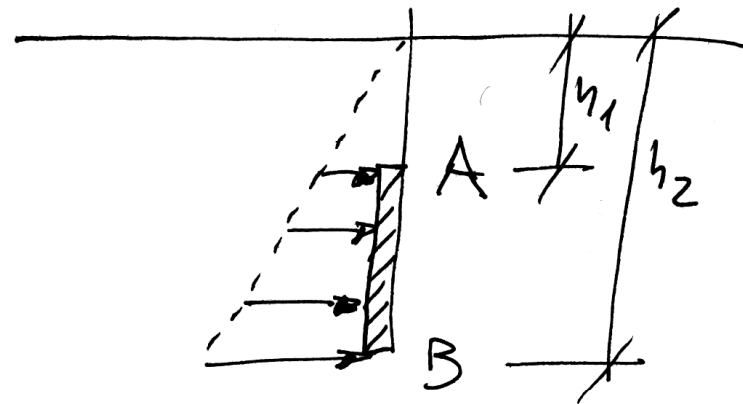
ove  $b$  = profondità della parete



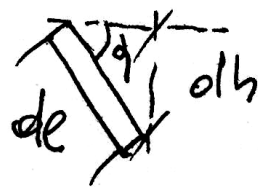
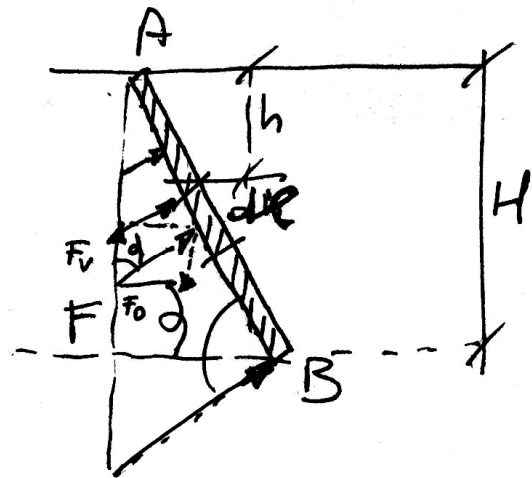
Hp. liquido omogeneo -

# ESERCIZIO 3 - PARETE VERTICALE NON AFFIORANTE

$$F = \frac{1}{2} \gamma b (h_2^2 - h_1^2)$$



# ESERCIZIO 4 - PARETE INCLINATA AFFIORANTE



$$dl \sin \alpha = dh$$

$$F = \gamma \int h dA = \gamma \int h b dl =$$

$$= \frac{\gamma b}{\sin \alpha} \int_0^H h dh = \frac{1}{2 \sin \alpha} \gamma b H^2$$

$$\text{da cui} \begin{cases} F_v = \frac{1}{2} \gamma \frac{b H^2}{\tan \alpha} \\ F_o = \frac{1}{2} \gamma b H^2 \end{cases}$$

# ESERCIZIO 5 - PARETE CILINDRICA

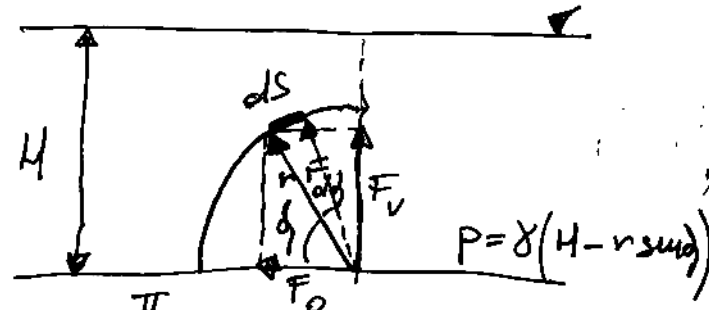
$$F = \int_S p \sin(\alpha) dS =$$

$$= \int_0^{\frac{\pi}{2}} p \sin(\alpha) b r d\alpha = \gamma b r \int_0^{\frac{\pi}{2}} (H - r \sin \alpha) \sin \alpha d\alpha =$$

$$= \gamma b r \left[ \int_0^{\frac{\pi}{2}} H \sin \alpha d\alpha - \int_0^{\frac{\pi}{2}} r \sin^2 \alpha d\alpha \right] = \gamma b r \left[ -H \cos \alpha \right]_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{1}{2} r^2 \left[ \alpha + \sin \alpha \cos \alpha \right]_0^{\frac{\pi}{2}}$$

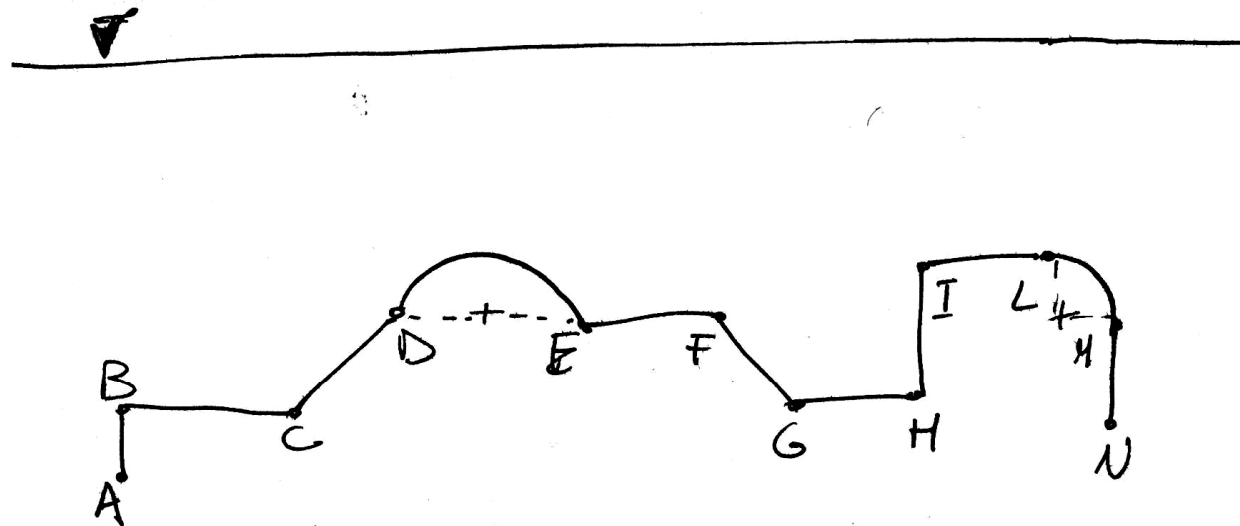
$$= \underbrace{+\gamma b r H}_{\alpha=0} + \underbrace{\frac{1}{4} \pi r^2 \gamma b}_{\alpha=\frac{\pi}{2}}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow F_0 &= H r \gamma b \\ \rightarrow F_V &= \frac{1}{4} \pi r^2 \gamma b \end{aligned}$$





## ESERCIZIO 6 - PARETE QUALSIASI



Determinare componenti  $F_o$  e  $F_v$  della spinta metallostatica.

## CALCOLO DELLA SPINTA METALLOSTATICA

In Fig. E.5 e' illustrata la forma allestita la cui staffa superiore ha una altezza, calcolata in base alle dimensioni delle materozze, pari a:

$$H = 200 \text{ mm}$$


Nota l'altezza H, si puo' valutare la forza (diretta verso l'alto) che tende a sollevare la staffa superiore, trascurando il contributo della componente verticale (in realta' molto piccola) della forza agente sulle superfici inclinate dell'angolo di spoglia  $\alpha = 1,5^\circ$ . Facendo riferimento alle espressioni (2.15) e (2.16) si ha:

sulla superficie cilindrica di diametro  $D = 0,99 \text{ dm}$  si ha (fig. E.4):

$$F_1 = \gamma_g \cdot D \cdot \left[ H - \frac{\pi \cdot D}{8} \right] \cdot L = 73 \cdot 0,99 \cdot \left[ 2,00 - \frac{\pi \cdot 0,99}{8} \right] \cdot 1,22 \approx 142 \text{ N}$$

sulle due superficie cilindriche di diametro  $D = 2 \text{ dm}$  si ha (fig. E.3):

$$F_2 = 2 \cdot \gamma_g \cdot D \cdot \left[ H - \frac{\pi \cdot D}{8} \right] \cdot L = 2 \cdot 73 \cdot 2,00 \cdot \left[ 2,00 - \frac{\pi \cdot 2,00}{8} \right] \cdot 0,28 \approx 100 \text{ N}$$



la presenza dell'anima (peso specifico  $\gamma_a = 16 \text{ N/dm}^3$ ) inoltre causa una spinta verso l'alto pari a:

$$F_3 = V \cdot \gamma_g - V_a \cdot \gamma_a = \frac{\pi}{4} \cdot 0,43^2 \cdot 1,84 \cdot 73 - \frac{\pi}{4} \cdot 0,43^2 \cdot (1,84 + 2 \cdot 0,45) \cdot 16 \approx \\ \approx 13 \text{ N}$$

Di conseguenza la forza totale che tende a sollevare la staffa superiore vale:

$$F_{\text{tot}} = F_1 + F_2 + F_3 = 142 + 100 + 13 = 255 \text{ N}$$

Se  $F_{\text{tot}}$  risulta maggiore o di poco inferiore del peso della staffa superiore, e' necessario appoggiare pesi adeguati sulla staffa stessa.