

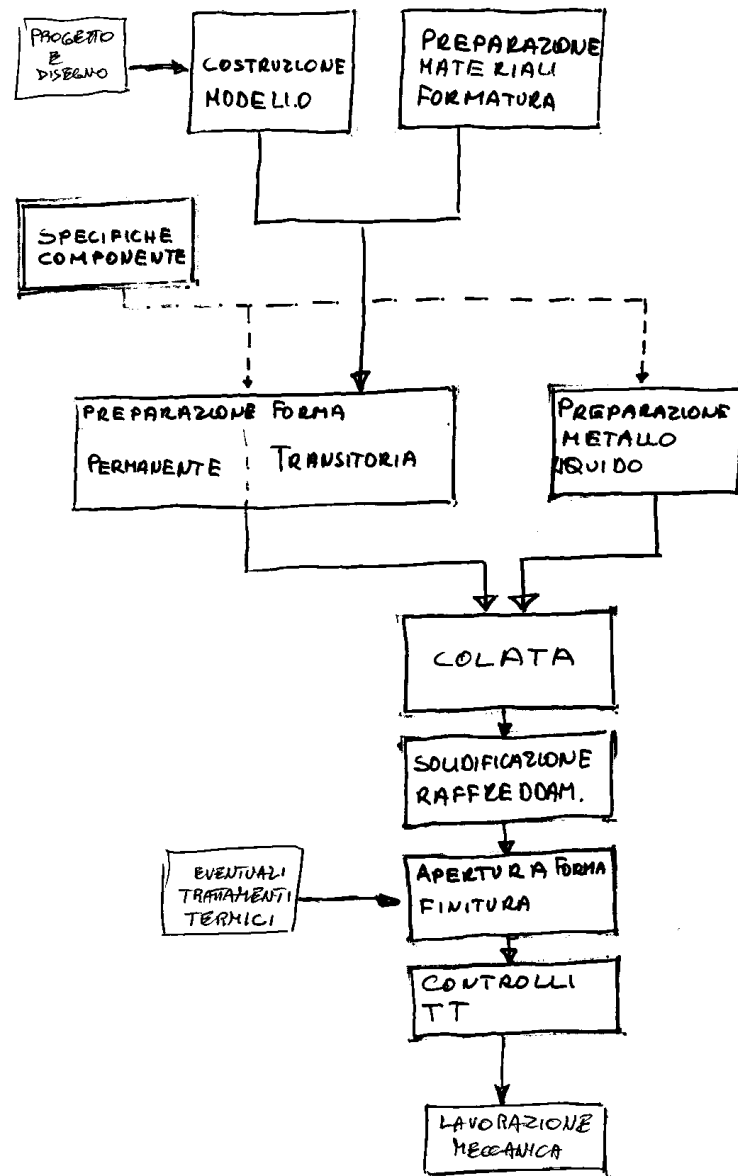


Processo di fonderia



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

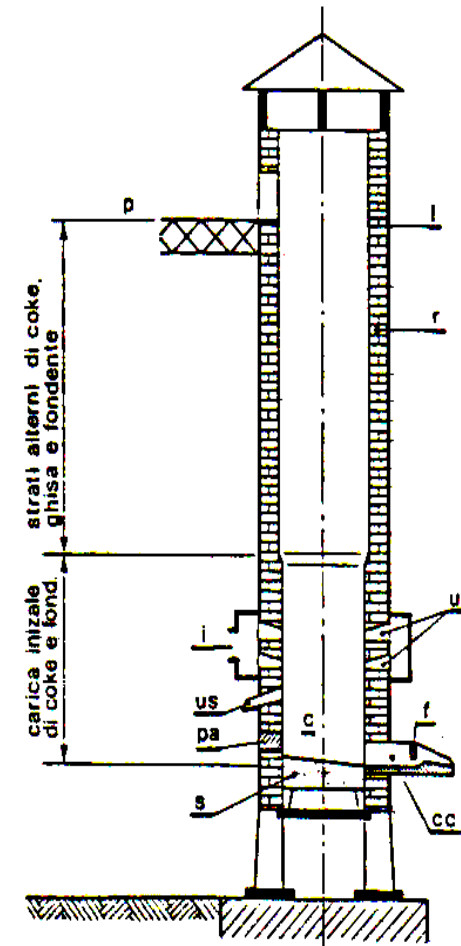
Cubilotto

- 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.





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

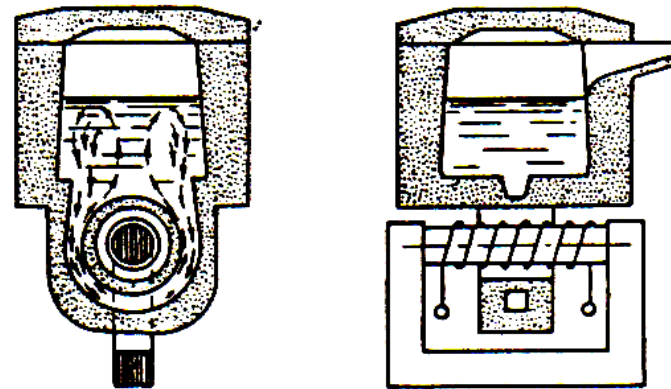
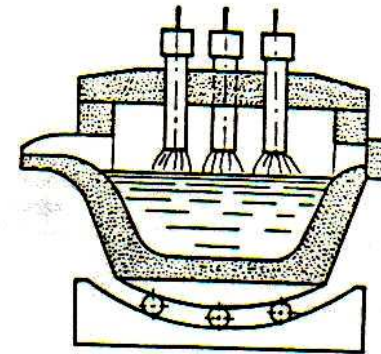


Fig. 2.85 - Schema di un forno ad induzione a bassa frequenza.

Forno 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

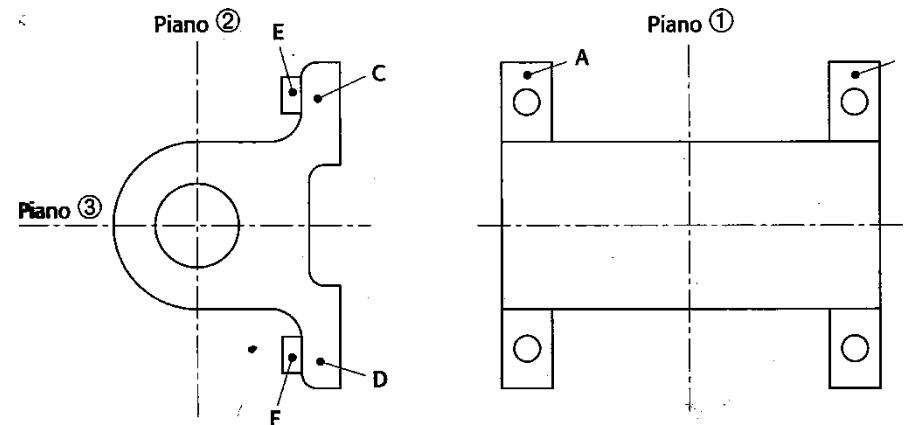
Fig. 2.87
Schema di un forno ad arco.





Il modello

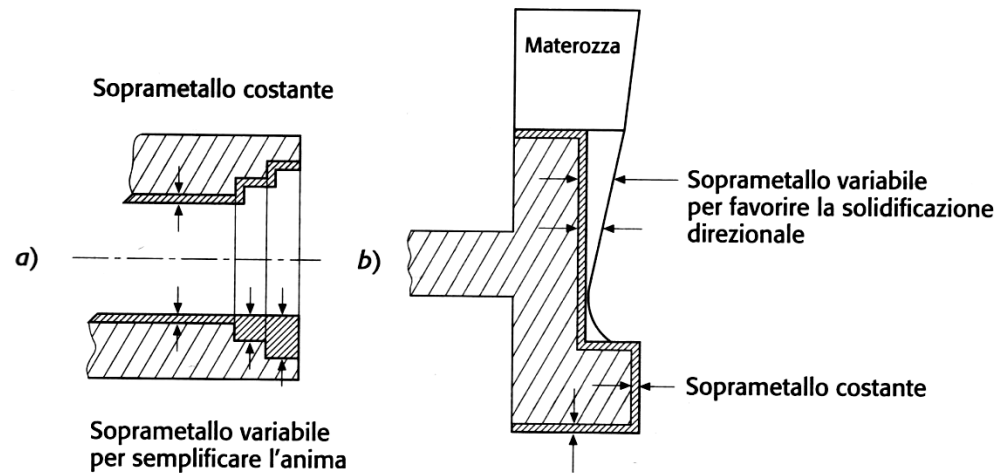
Progettazione del modello



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

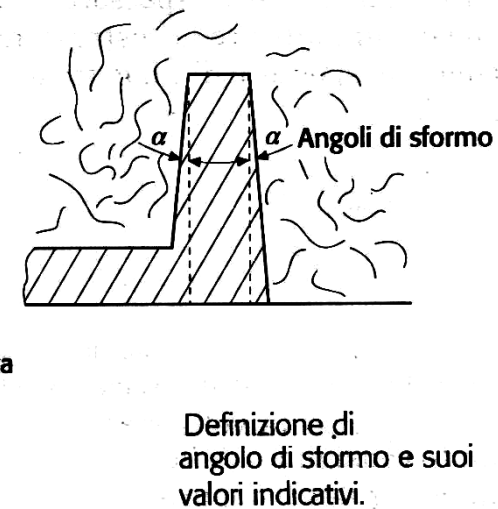
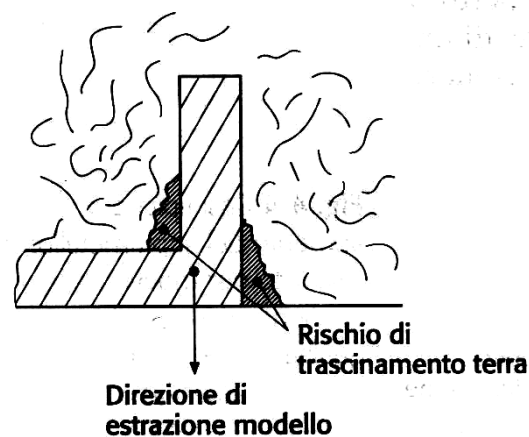


Casi tipici di aumento del sovrametallo: calcolato per motivi economici *a)* e per la qualità del getto *b)*.

- 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

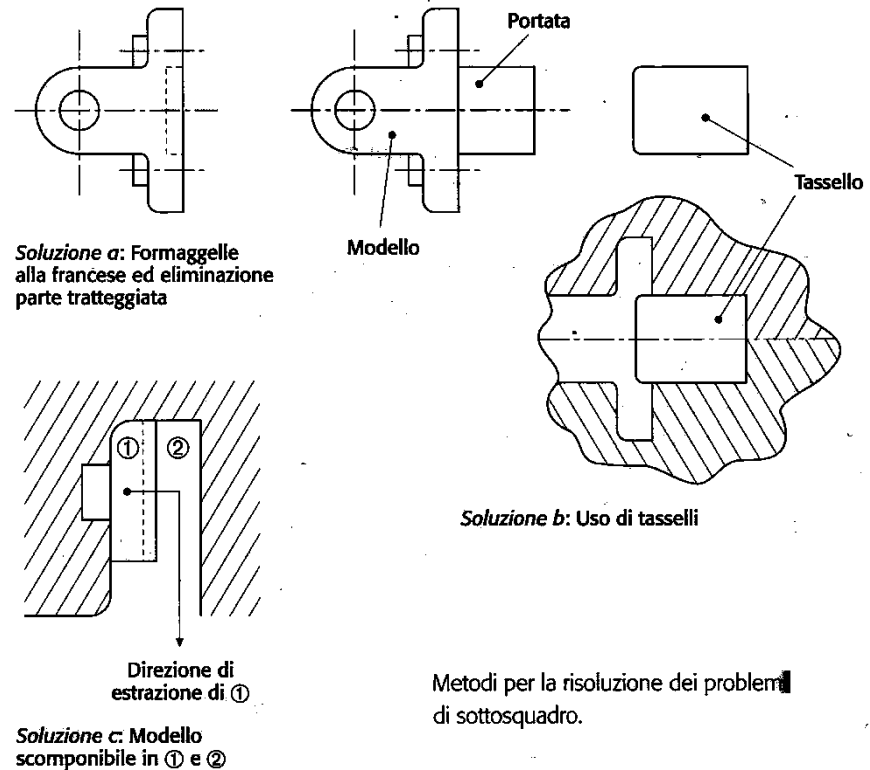
Angoli di sformo

- 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



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

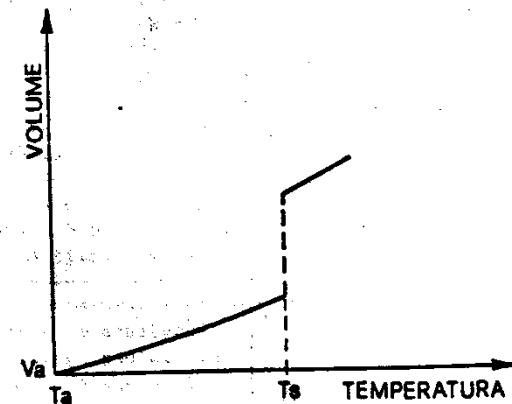


Ritiro

- 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.

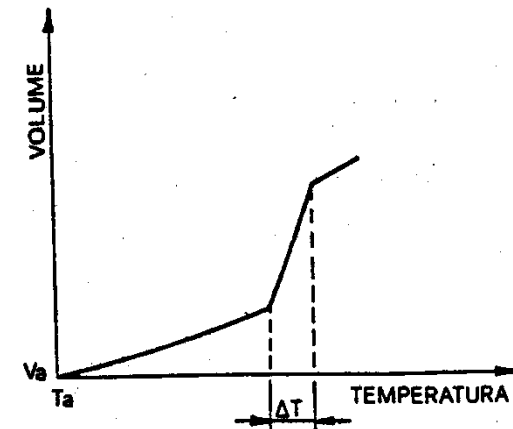
Variazione del volume in funzione della temperatura per un metallo puro.

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



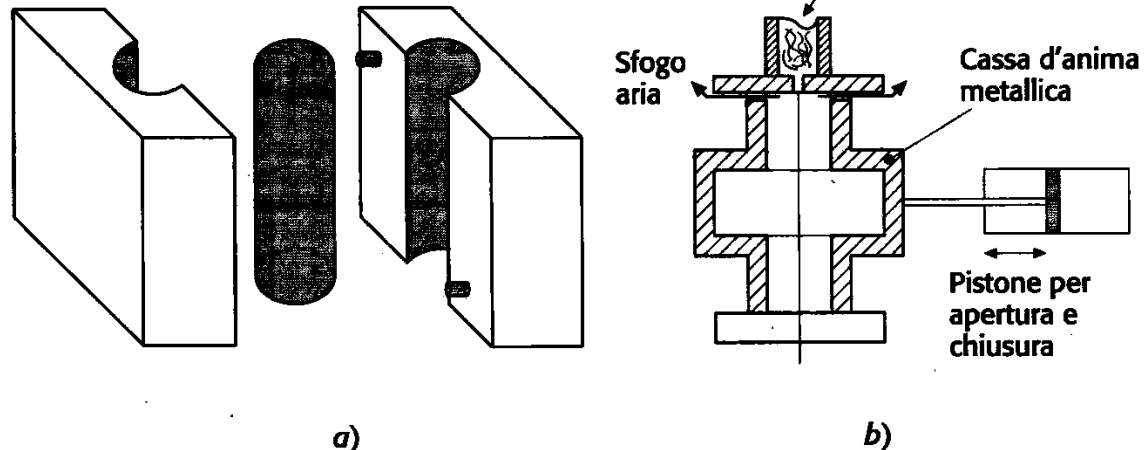
Variazione del volume in funzione della temperatura per una lega metallica.

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



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)

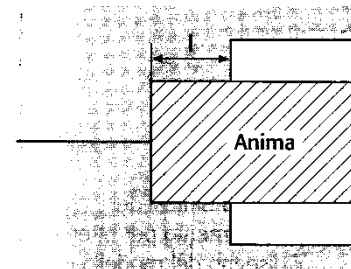


Casse d'anima

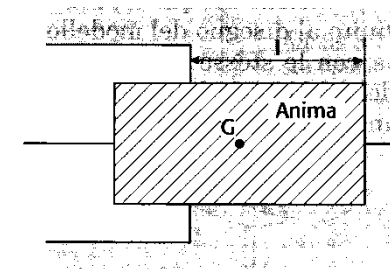
- Così come per le normali forme, anche le anime devono essere prodotte tramite un modello, in questo caso detto cassa d'anima, che riproduce in negativo l'anima stessa
- Le casse d'anima, generalmente in legno o in materiale metallico sono costituite da due matrici che, una volta chiuse, riproducono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

Portate d'anima

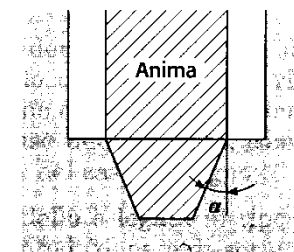
- Occorre prevedere apposite sedi nella forma per sorreggere le anime, a loro volta destinate a prevedere i vuoti necessari all'interno dei getti
- Considerazioni:
 - Le portate d'anima possono essere cilindriche nel caso di asse dell'anima coincidente al piano di separazione delle staffe
 - Prevederle 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.



Il processo di formatura



Allestimento della forma

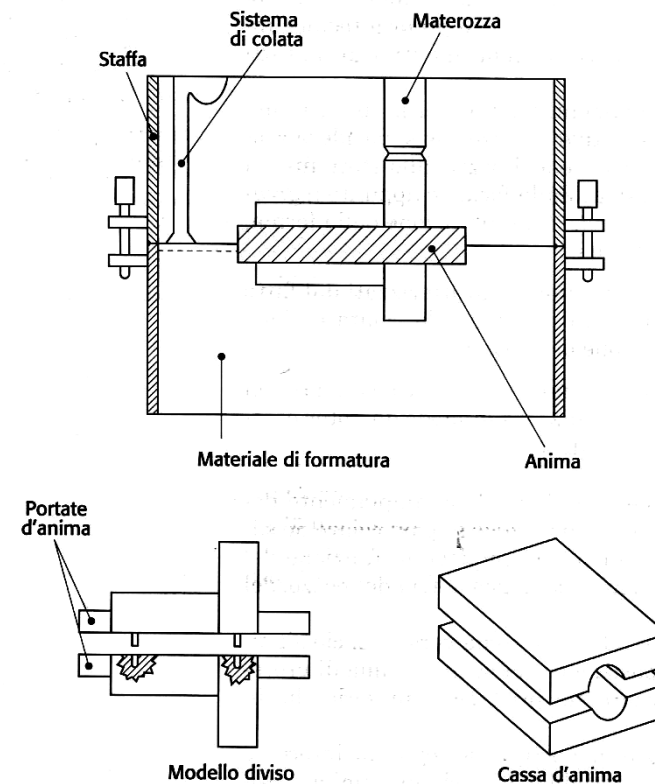
- Elementi necessari per l'allestimento della forma sono:
 - Staffe

 - 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.

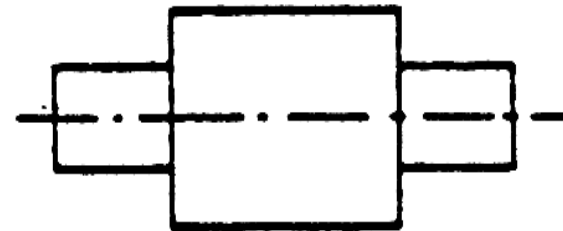


Formatura in terra con staffe: elementi principali.

Ciclo di formatura in terra

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

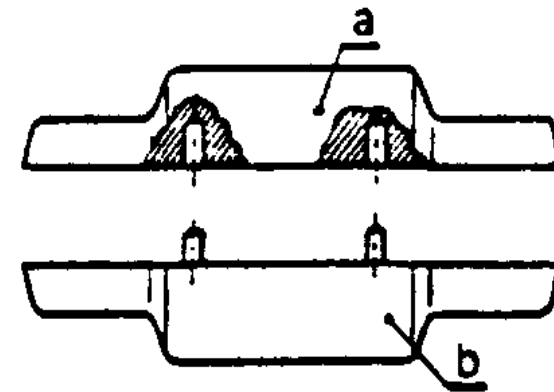
Si debba realizzare per fusione il pezzo illustrato a destra.



Ciclo di formatura - 1

- 1 -

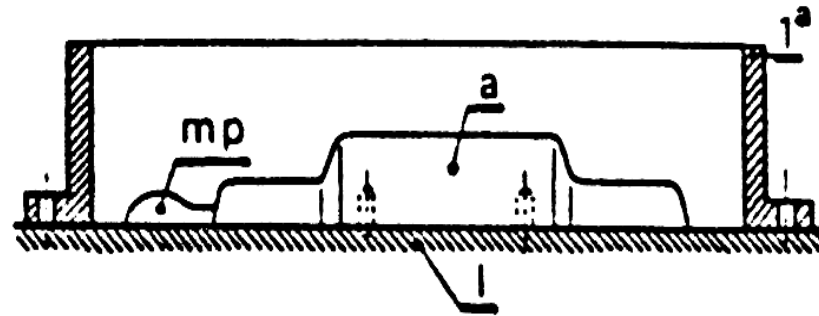
Tenendo conto del ritiro e degli eventuali sovrametalli, si realizza il modello illustrato a fianco e scomponibile in due meta' delle quali una (a) presenta dei fori di riferimento entro i quali andranno ad infilarsi i relativi perni dell'altra meta' (b). Tale scomposizione serve, come vedremo nelle 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 -

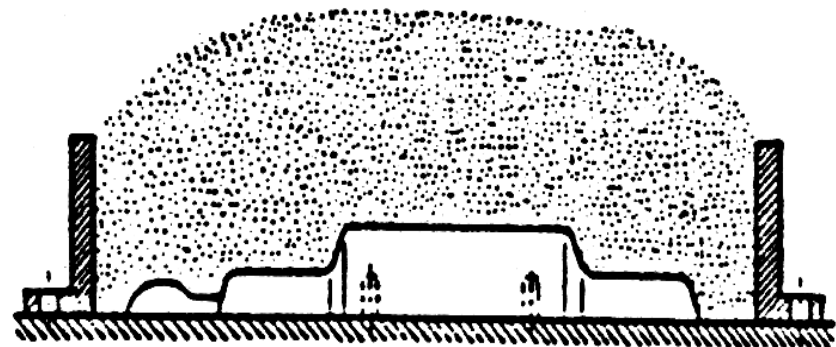
Si appoggia il semimodello con i fori di riferimento (a) su un piano di lavoro (l) disponendo accanto a questo il modello del piede di colata (mp); quindi intorno si dispone la 1^a staffa che, a forma allestita, sarà quella inferiore.



Ciclo di formatura - 3

- 3 -

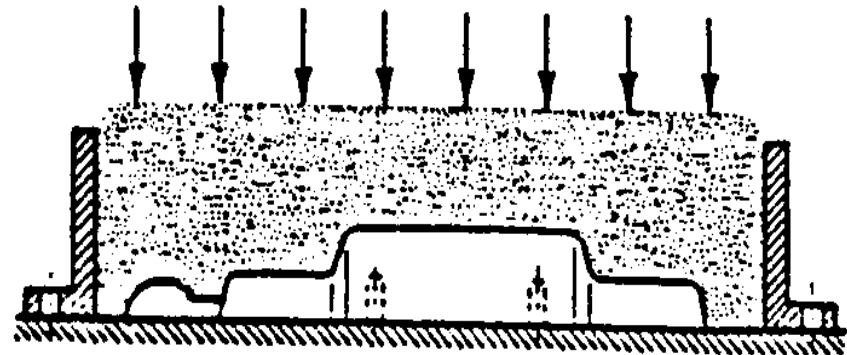
Si riempie la staffa con terra da fonderia dopo aver eventualmente spolverato il modello con polveri opportune per impedire l'incollaggio della terra sul modello e per facilitare l'estrazione di questo ultimo.



Ciclo di formatura - 4

- 4 -

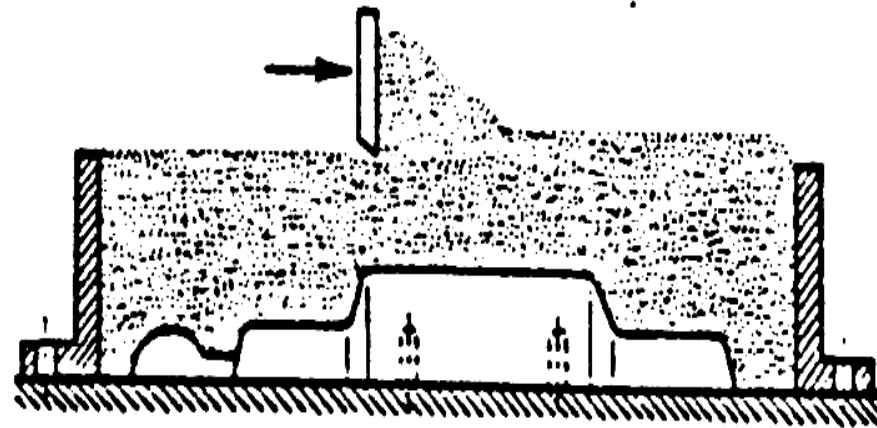
Si comprime, utilizzando pestelli pneumatici, la terra. Al fine di ottenere una pressatura uniforme si consiglia di riempire la staffa gradualmente, aggiungendo, man mano che lo stipamento procede, la terra necessaria.



Ciclo di formatura - 5

- 5 -

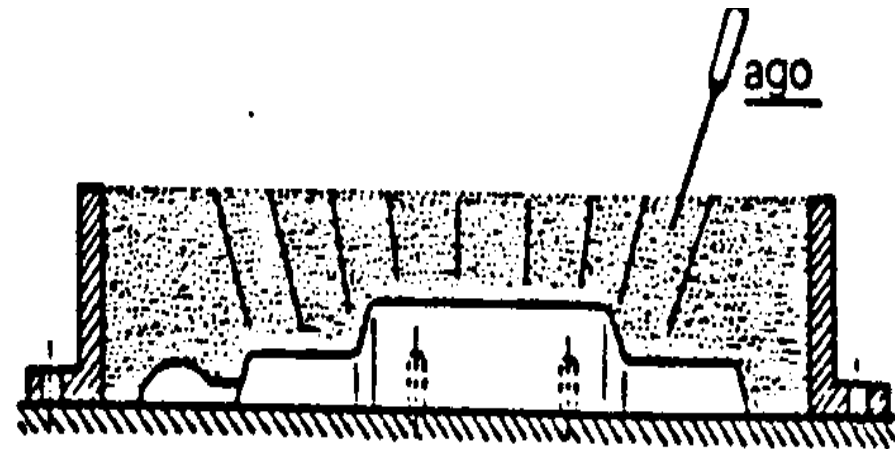
Si spiana la superficie superiore, asportando la terra in eccesso facendo scorrere una riga sui bordi della staffa.



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.

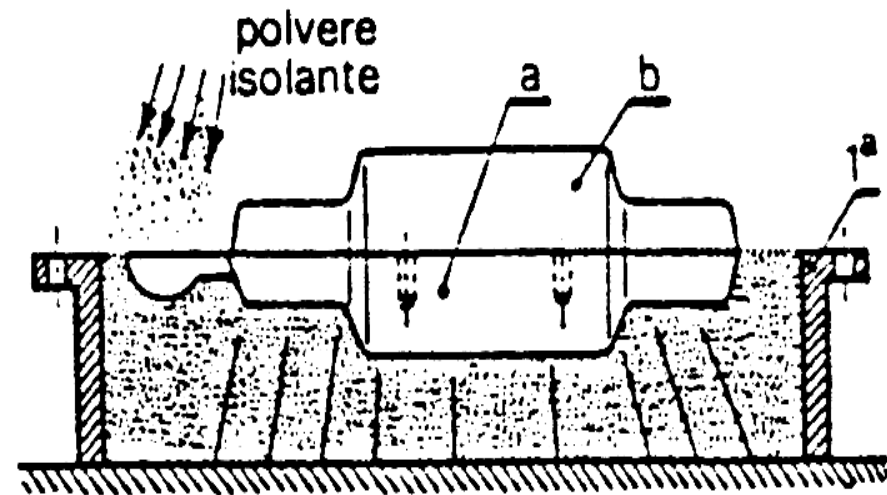


Ciclo di formatura - 7

- 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.

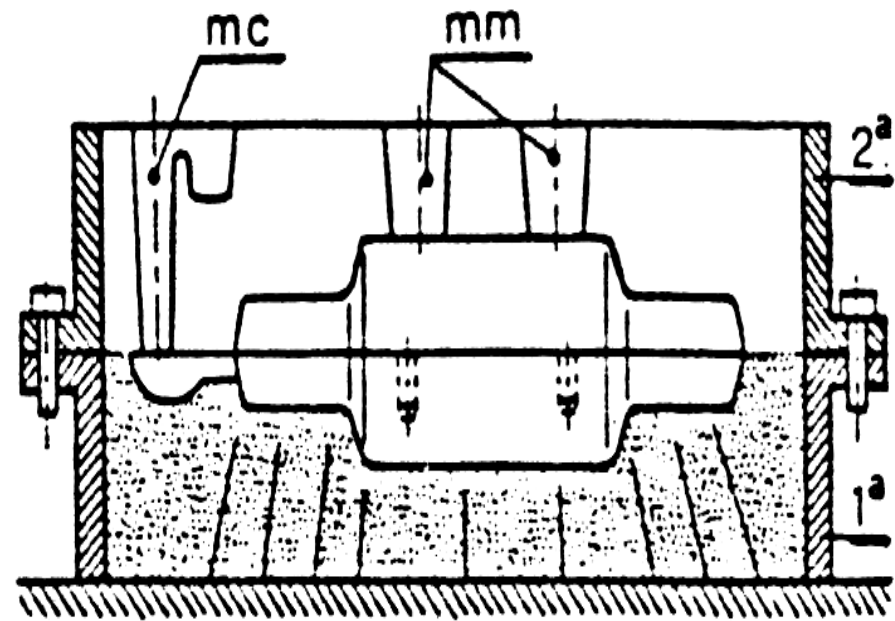
Si spolvera il piano di separazione con polveri isolanti.



Ciclo di formatura - 8

- 8 -

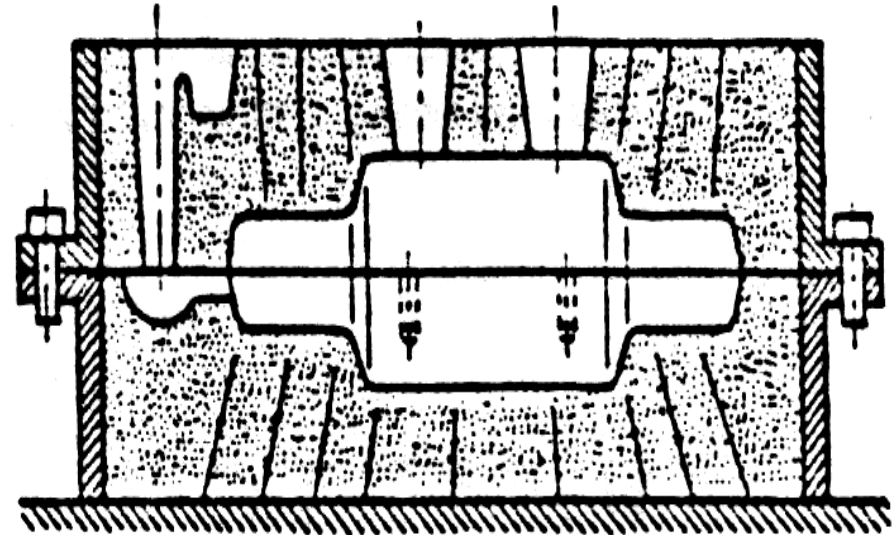
Si sovrappone la 2^a staffa centrandola, rispetto alla 1^a, con i perni di riferimento, e si dispongono i modelli del canale di colata (mc) e delle materozze (mm).



Ciclo di formatura - 9

- 9 -

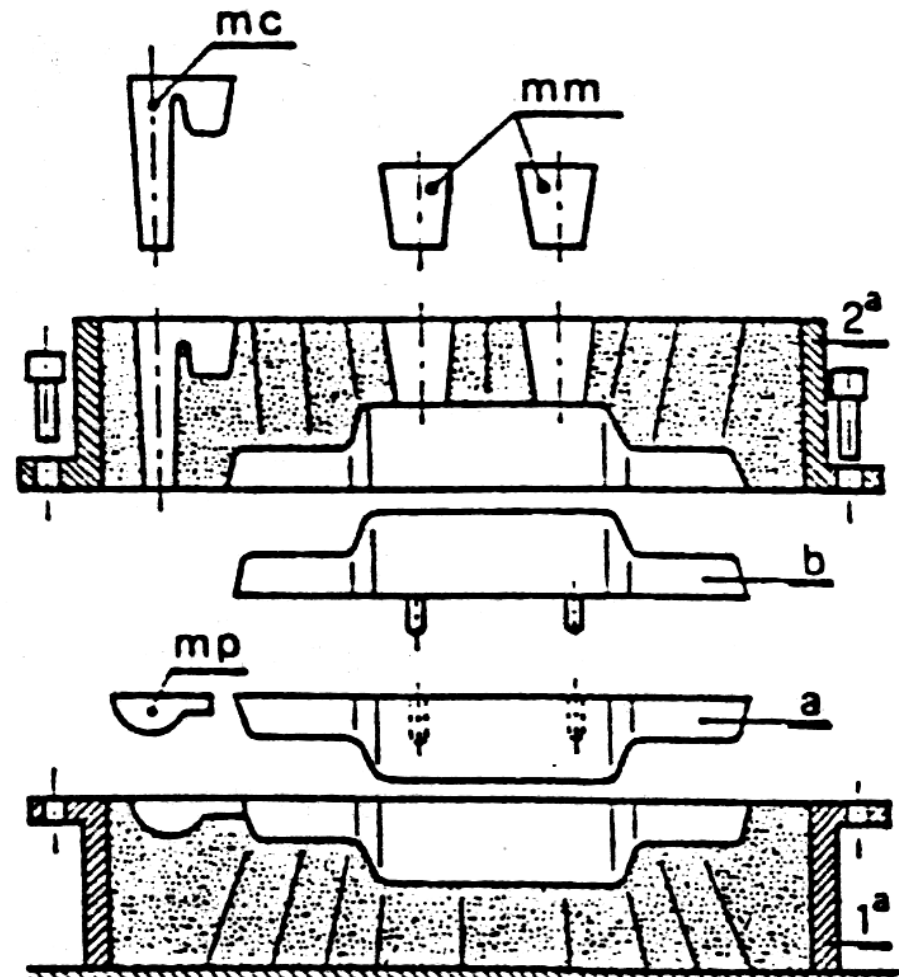
Si procede come ai punti 3, 4, 5, 6 sino ad ottenere la configurazione illustrata a fianco.



Ciclo di formatura - 10

- 10 -

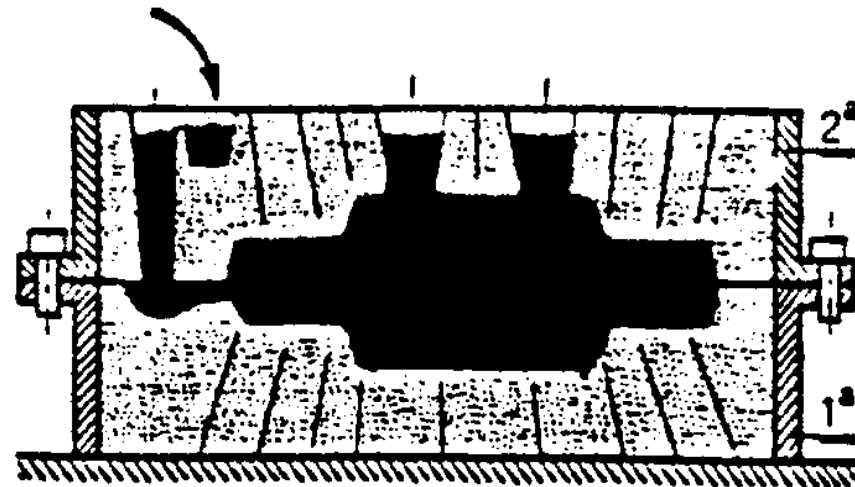
Si separano le due staffe, si estraggono tutti i modelli con molta cura per non rovinare la forma e con opportune spatole si toglie la terra eventualmente inframezzatasi fra i vari modelli. Infine si ripara la forma che puo' essersi danneggiata durante le varie operazioni.



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.

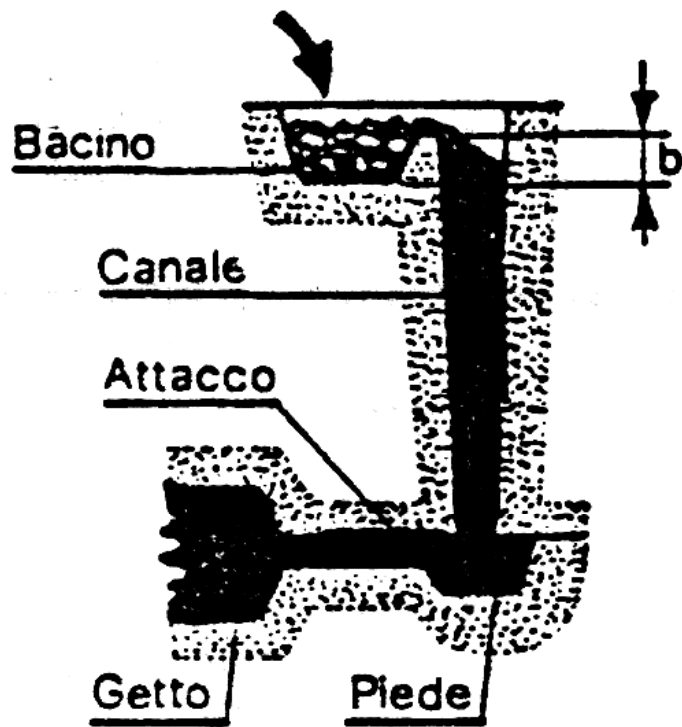


Il sistema di colata

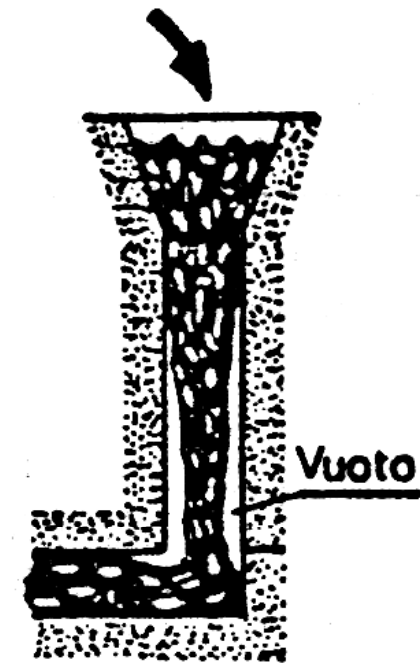


Il sistema di colata

- E' definito tale l'insieme delle canalizzazioni che permettono alla lega liquida di riempire la forma
- Per la progettazione del canale di colata: è fondamentale l'esperienza accumulata
- Regole pratiche per progettare il sistema di colata:
 - 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 quasi contemporaneamente in tutte le parti del getto per evitare che possa solidificare prematuramente specie in presenza di spessori fini



(a) Disposizione corretta

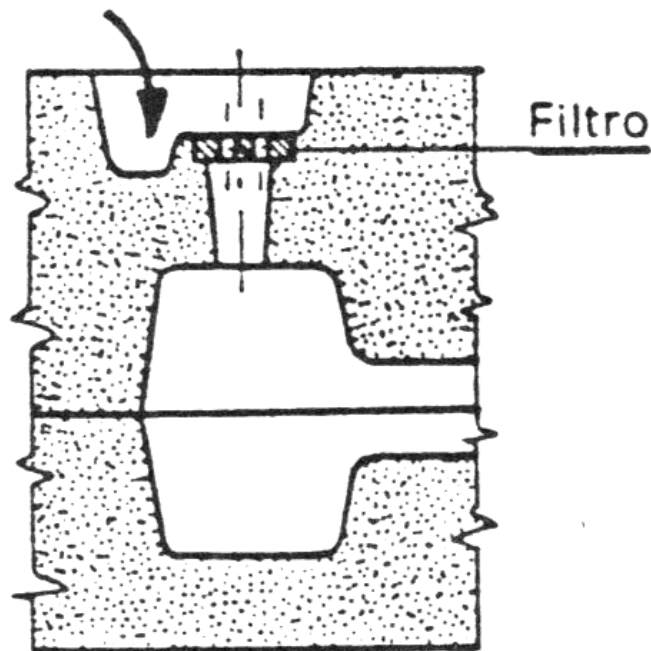


(b) Disposizione non corretta

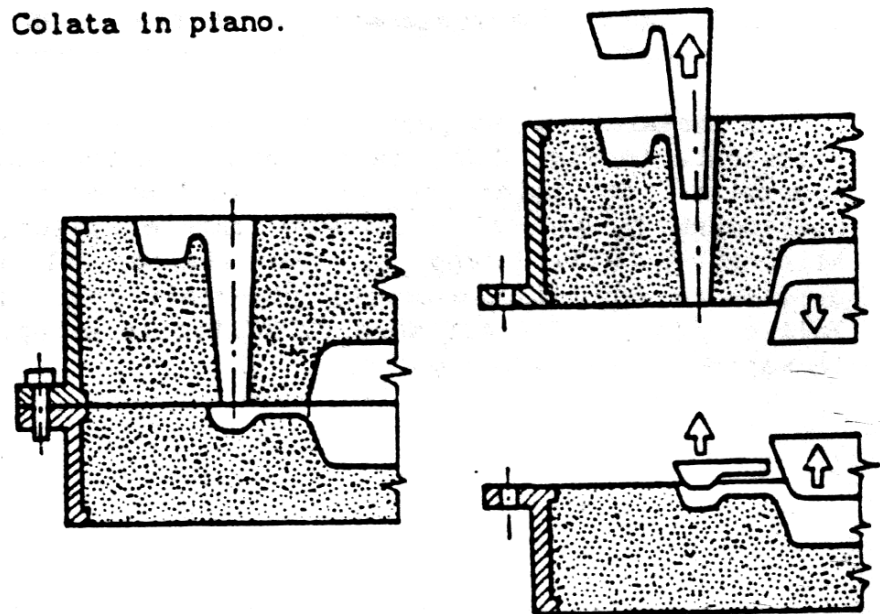
Canale di colata e relativa terminologia.

Sistemi di colata

Colata diretta.

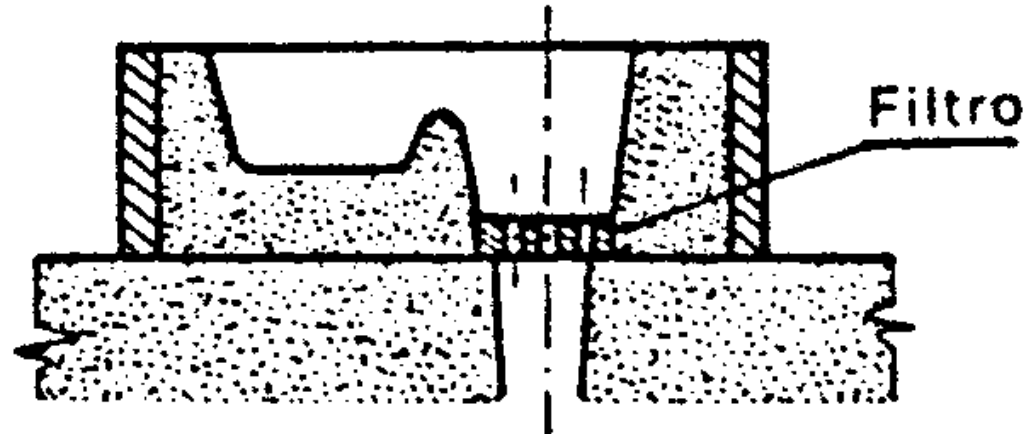


Colata in piano.



Filtri

Bacino di colata riportato
(con filtro).



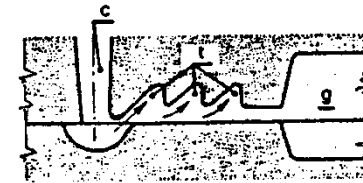
- Sono composti da dischetti di ceramica e materiale refrattario
- Hanno la funzione di ridurre i moti turbolenti e la creazione di gocce fredde
- Servono anche a trattenere le scorie nel bacino

Trappole

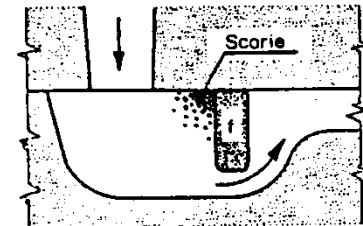
- Servono ad impedire che le scorie entrino nella forma
- Sono di diverso tipo:
 - A denti di sega
 - Con fermascorie
 - Di separazione per forza centrifuga

Trappola a denti di sega.

c = canale di colata
g = getto
t = trappole

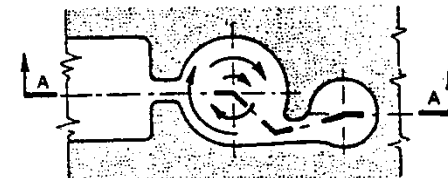
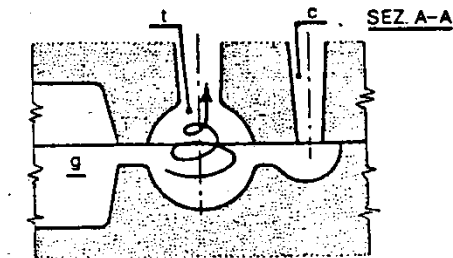


Fermascorie f nel piede di colata.



Trappola per separazione delle scorie per forza centrifuga.

c = canale di colata
g = getto
t = trappola





Fusione in forme transitorie



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



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

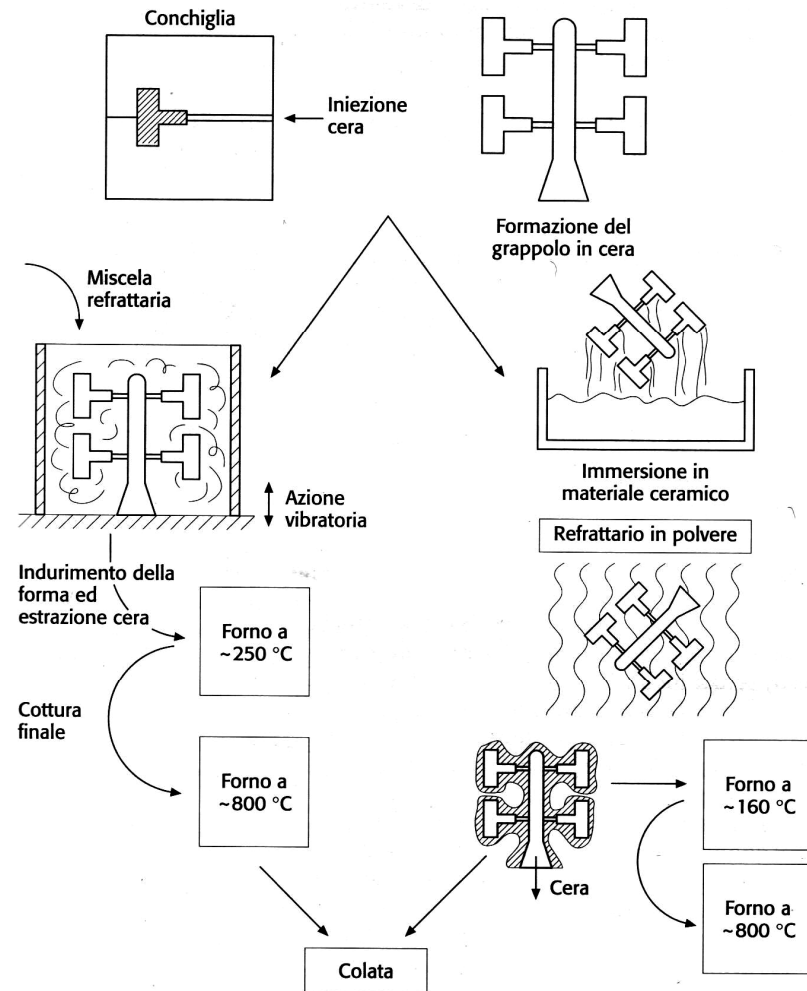


Formatura con modello a perdere in polistirene

- La colata del metallo liquido porta alla gassificazione del polistirene soprattutto per irraggiamento e 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





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

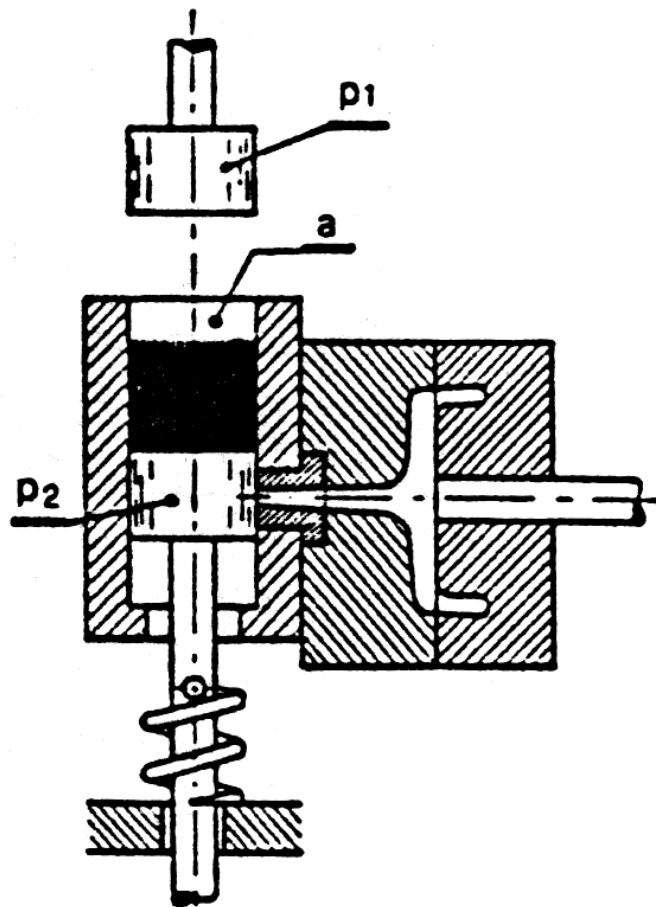
- È realizzata in due valve con materiale metallico avente le seguenti caratteristiche:
 - Buona lavorabilità alle macchine utensili
 - Elevata resistenza all'usura
 - Elevata resistenza agli shock termici
 - Limitata dilatazione termica
 - Buona conducibilità termica



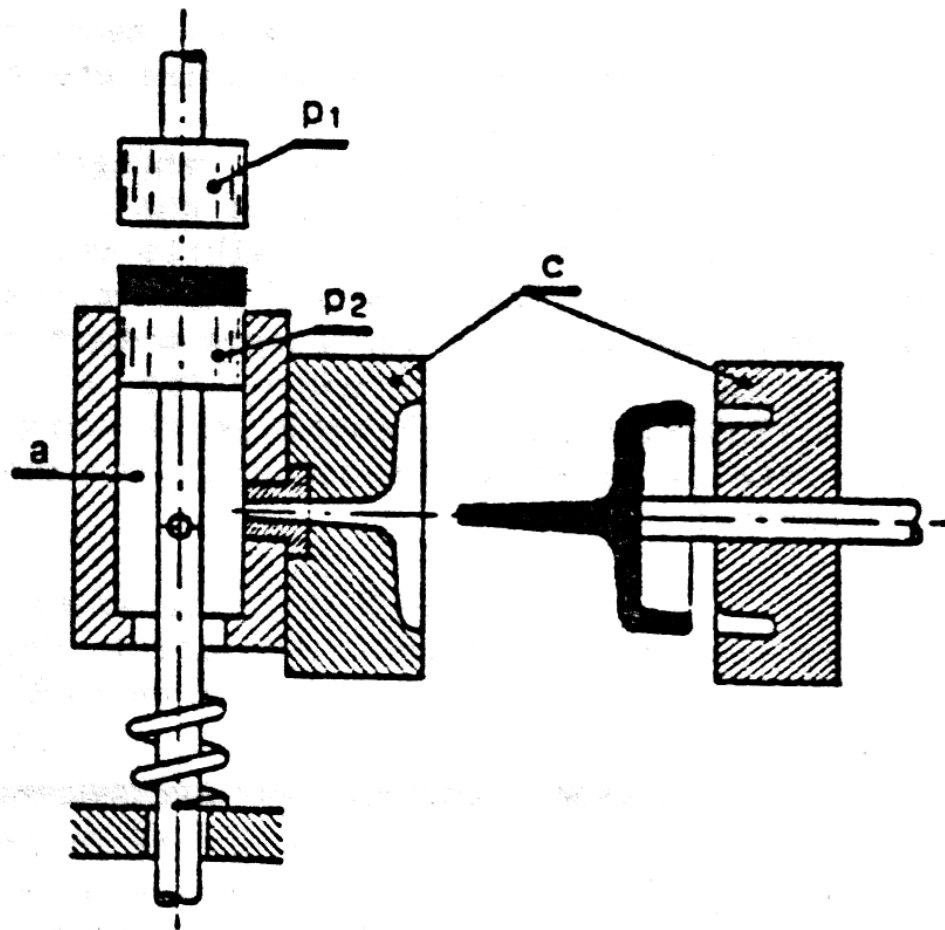
Colata in conchiglia sotto pressione o pressofusione

- Presenta il vantaggio di tolleranze ridotte
- Presenta anche un'ottima finitura superficiale
- Necessita di bassi sovrametalli
- Investimenti elevati

Pressofusione



Pressofusione





Finitura



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



Smaterozzatura

- Consiste nel distacco delle materozze e del canale di colata con quanto annesso
- È un'operazione quasi esclusivamente manuale. Si possono utilizzare diversi attrezzi in funzione del tipo di getto:
 - Martello o martello pneumatico
 - Sega circolare
 - Cannello ossiacetilenico
 - Arco voltaico



Sbavatura

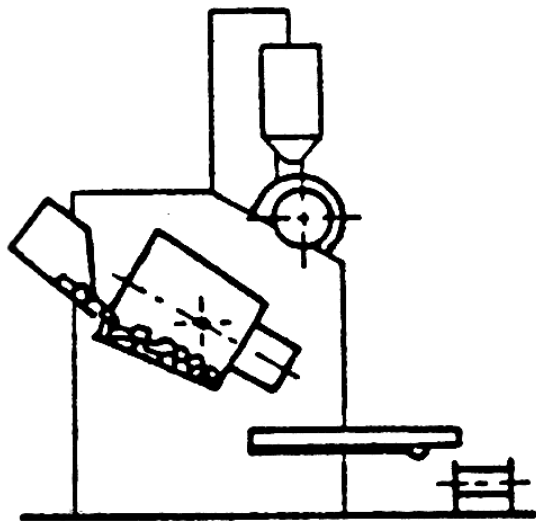
- È l'operazione che consente di eliminare le bave create a fronte di filtrazioni sul piano di divisione oppure in corrispondenza di portate d'anima o inserimento tasselli
- È indispensabile in quanto le bave impedirebbero successive operazioni di lavorazione per asportazione di truciolo
- Sbavatura 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



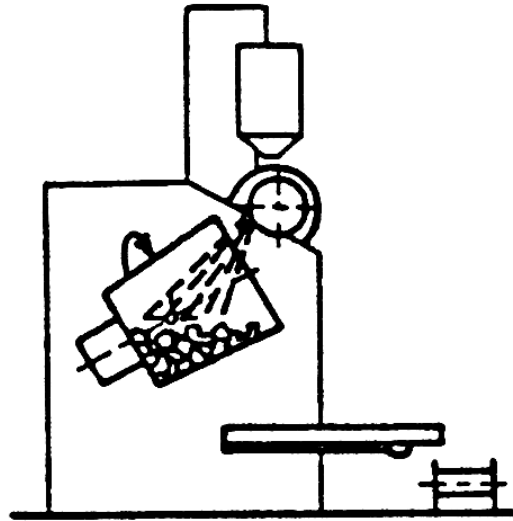
Sabbiatura

- 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
- La sabbiatrice è una macchina chiusa con, nel suo interno, delle giranti che, per forza centrifuga lanciano della graniglia sui getti a velocità molto elevate

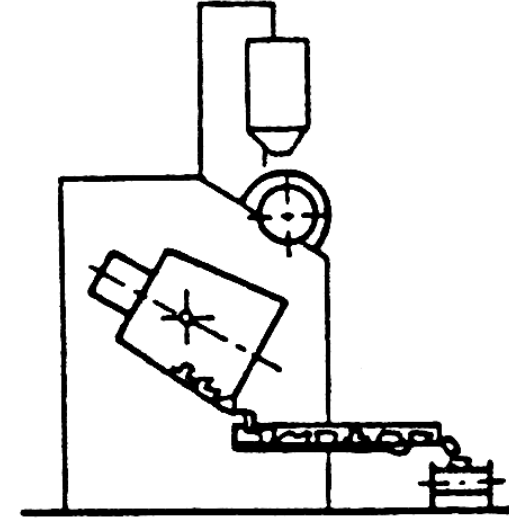
Sabbiatura ciclica



introduzione getti



lancio graniglia



scarico getti

Difetti di fonderia



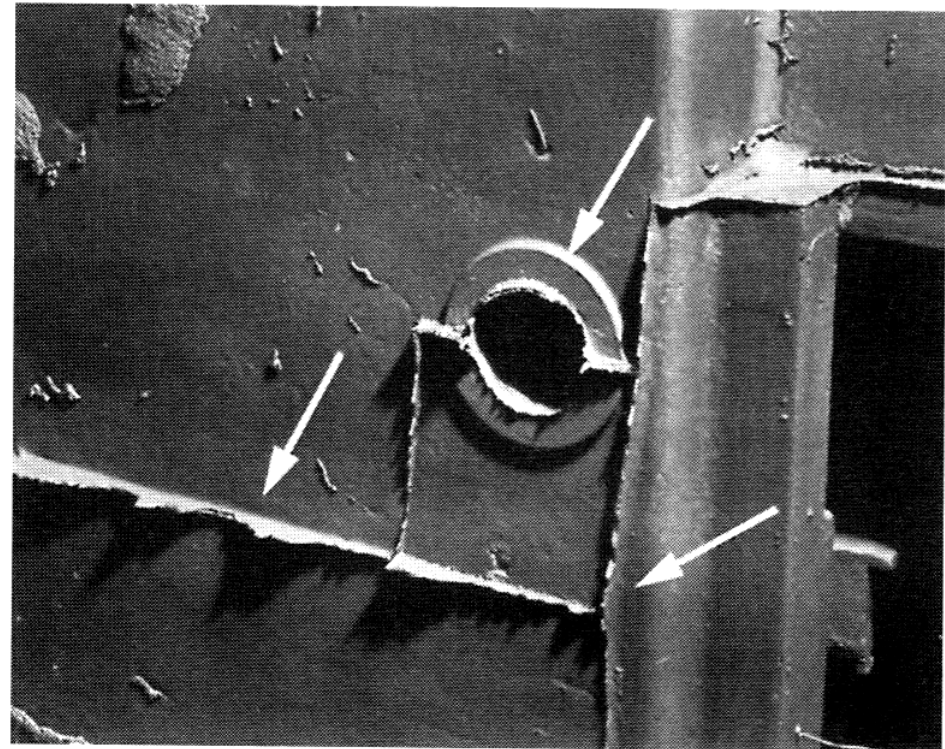
Difetti di fonderia

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

Escrescenze metalliche

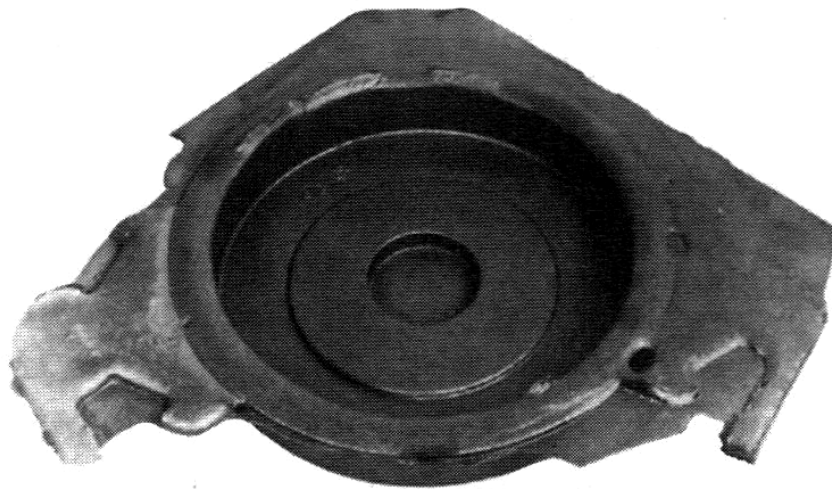
- Bave sul piano di apertura a causa di:
 - Giochi
 - Spinta metallostatica
- Distacchi di sabbia dalla forma a causa di:
 - Erosione di parti non raccordate
 - Scarsa coesione
 - Scarsa permeabilità

Bave



Bave e distacchi di sabbia

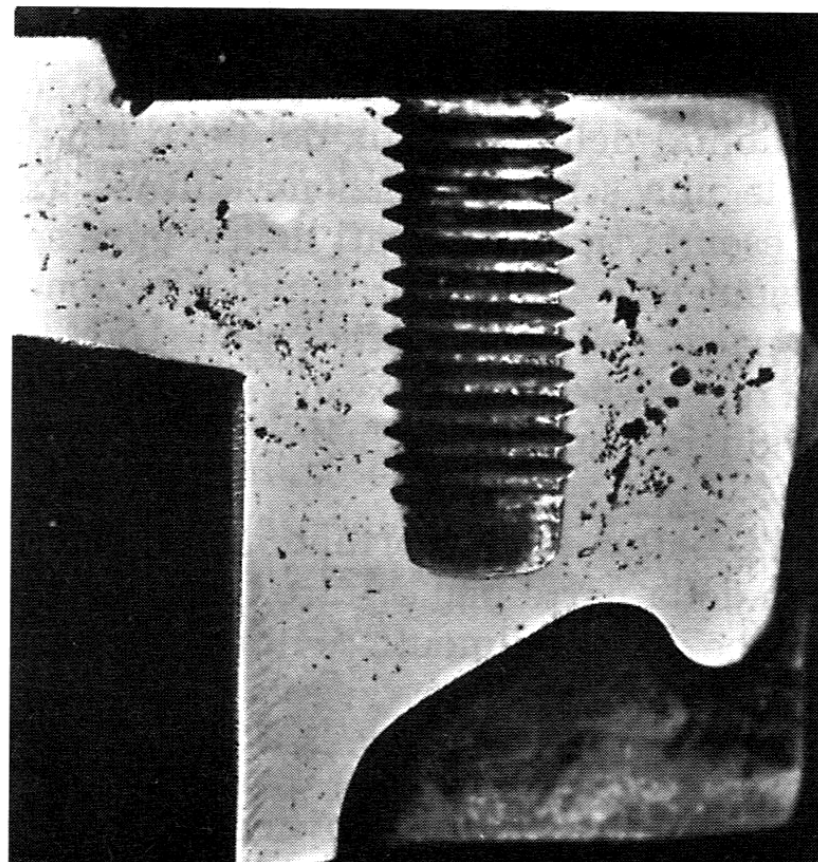
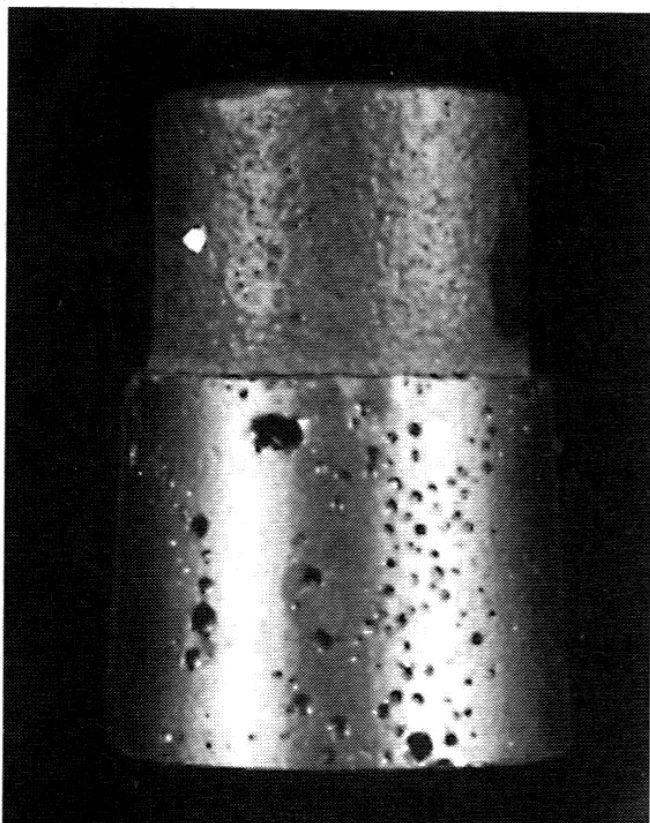
Bave



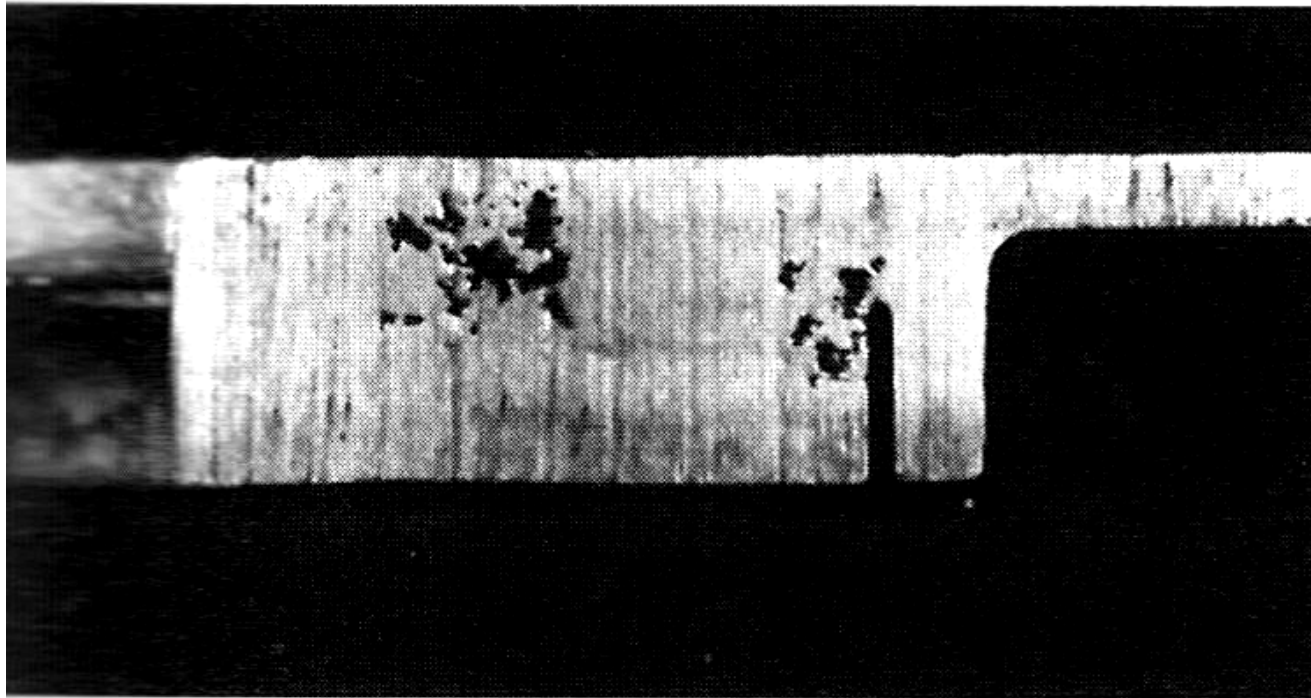
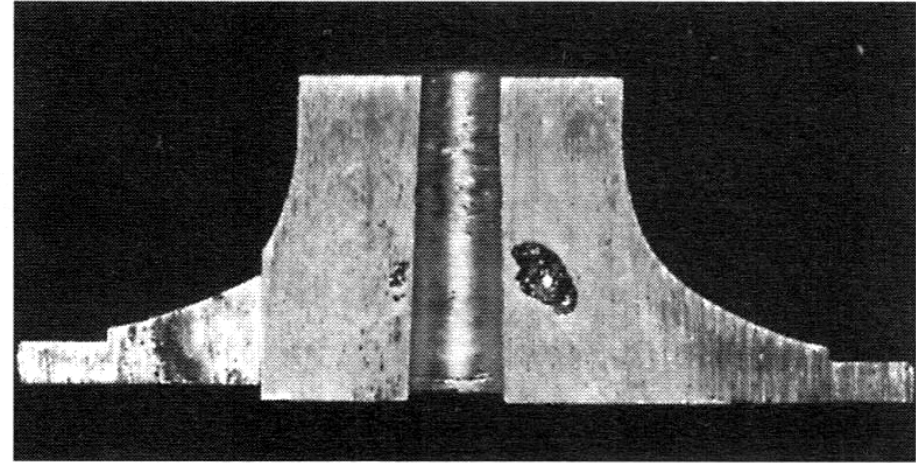
Distacco di sabbia



Soffiature



Cavità di ritiro

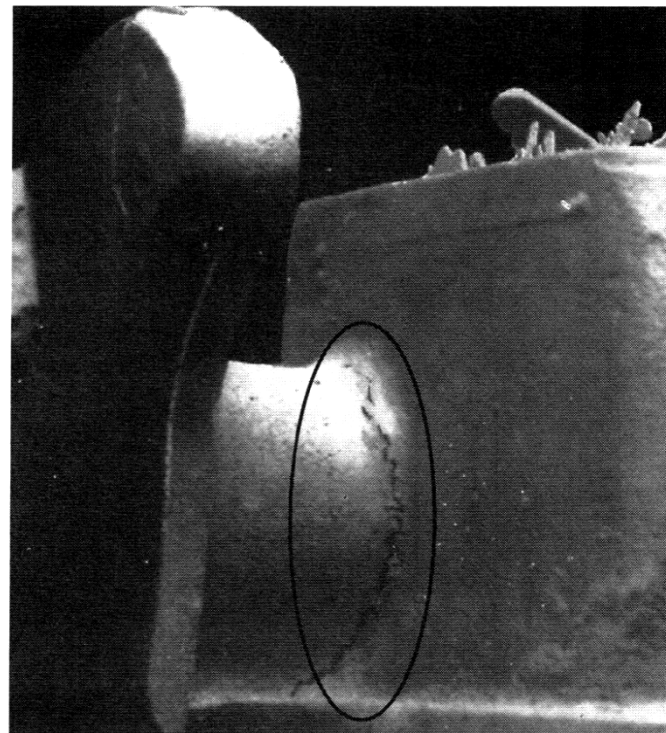


Fratture a freddo e cricche

Frattura a freddo



Cricca



Riprese

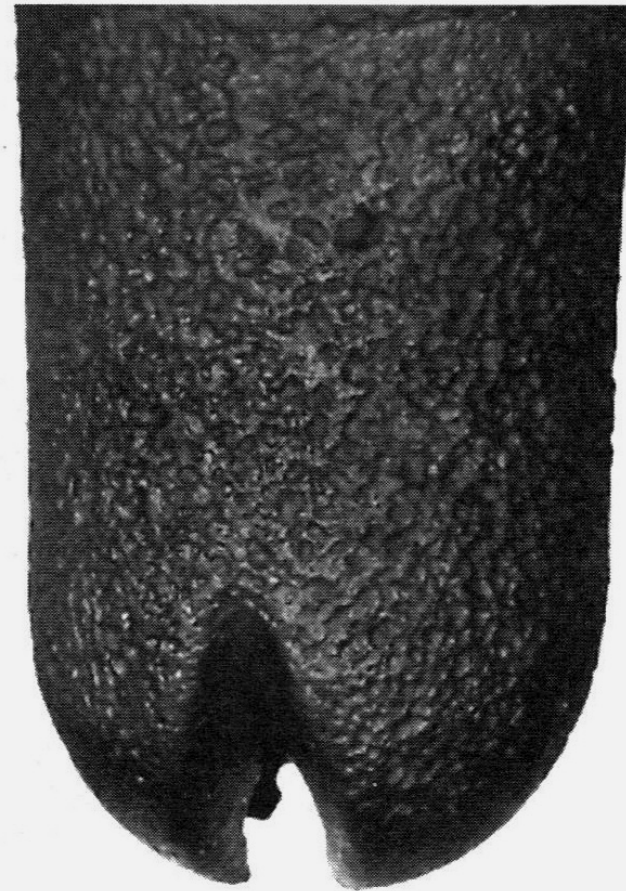
Ripresa



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





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



Controlli

Tracciatura

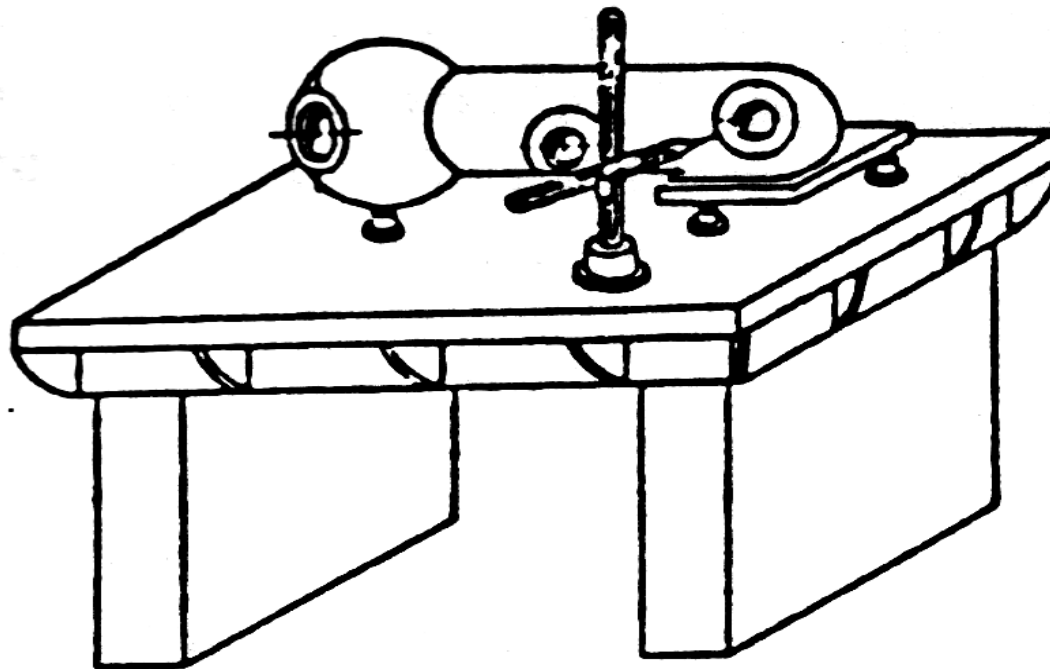


Fig. 494. - Verifiche dimensionali di un getto mediante tracciatura.

Percussione

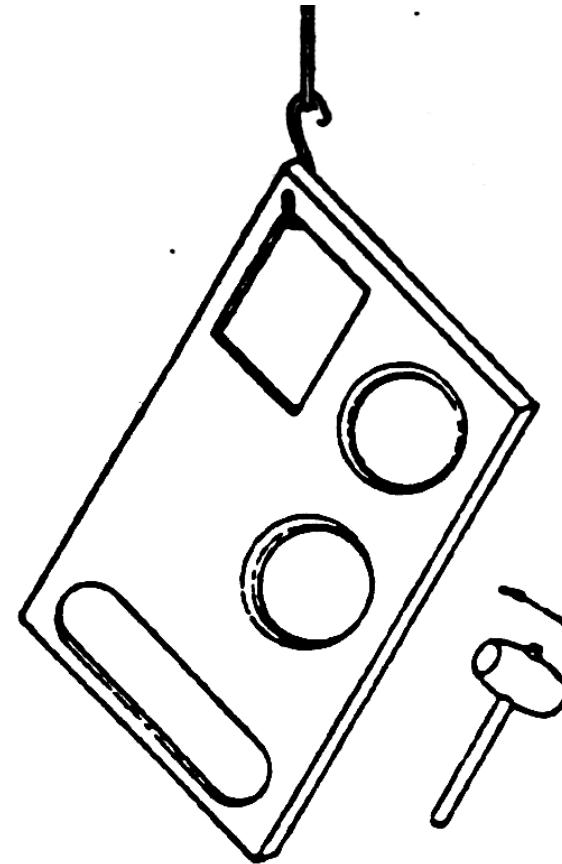


Fig. 495. - Verifica alla percussione di un getto: il suono non chiaro indica rotture.

Esame magnetico

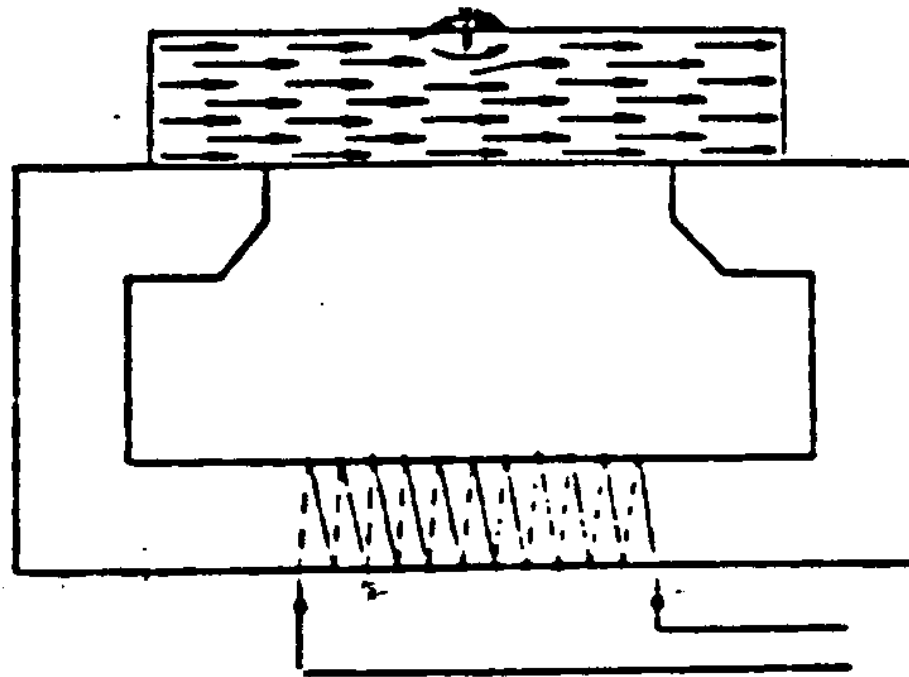


Fig. 497. - Esame magnetico di un getto, per mettere in evidenza cricche, crepe o soluzioni di continuit  superficiali.

Controllo idraulico a pressione

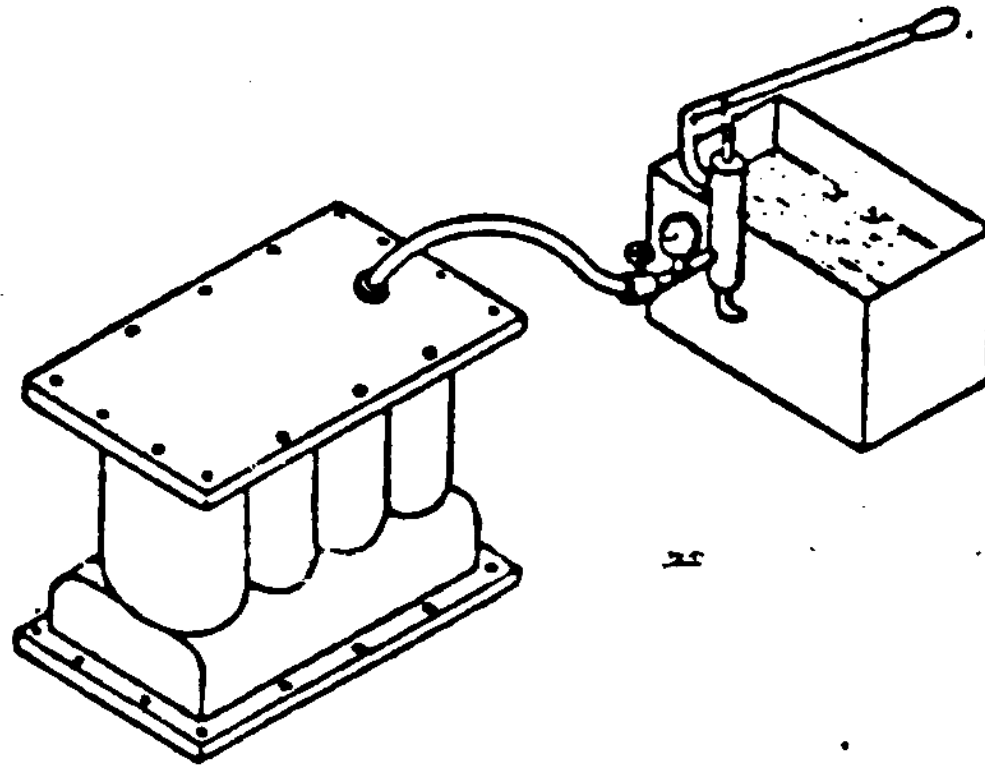


Fig. 496. - Prova alla pressione idraulica di un getto.

Esame ai raggi X

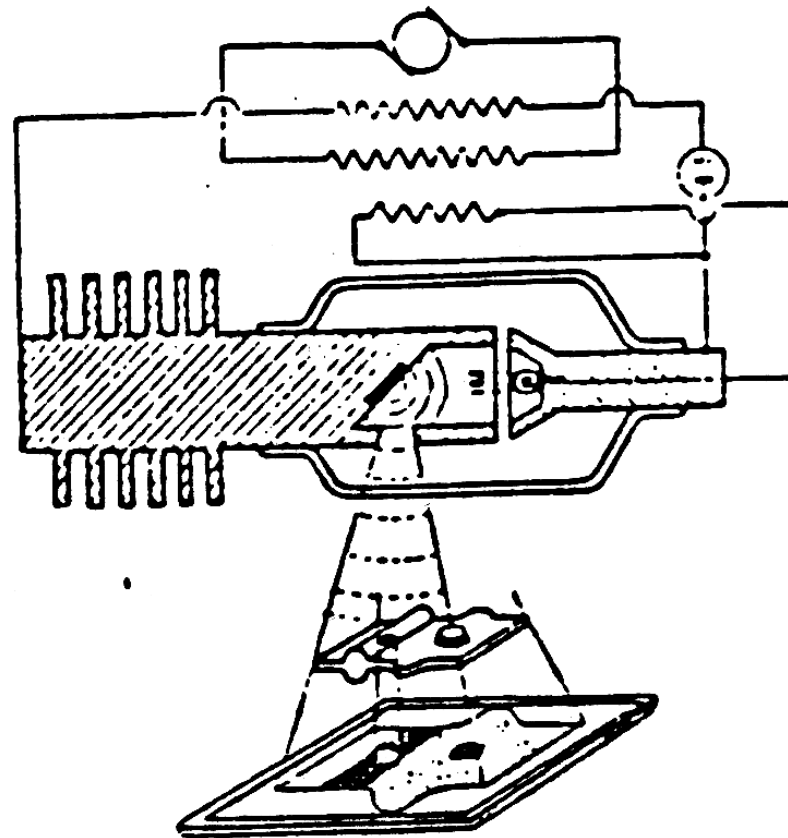


Fig. 498. - Esame di un getto ai raggi X.

Controllo ad ultrasuoni

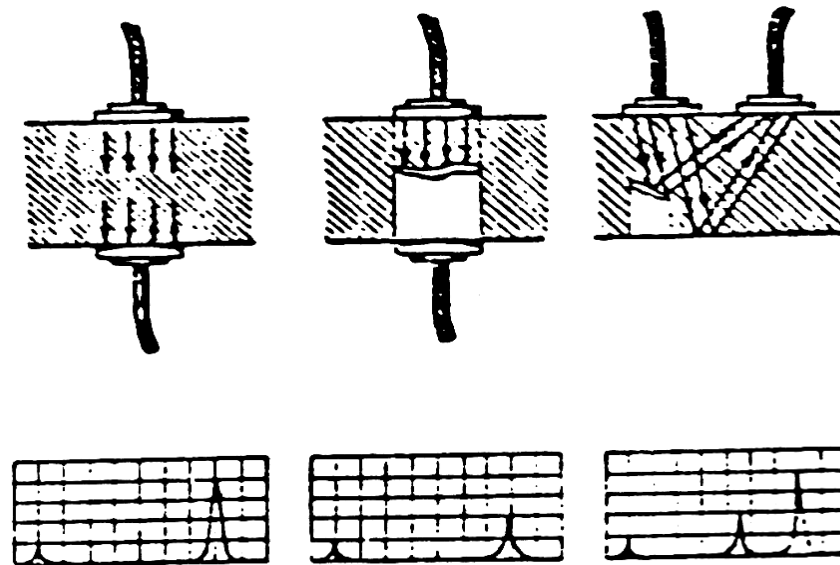


Fig. 499. - Esame di un getto con gli ultrasuoni: a sinistra, esame col metodo ad ombra: il getto è sano, e la recezione non è attenuata; al centro, esame col metodo ad ombra: esiste una soffiatura e la recezione è attenuata; a destra, esame col metodo a eco, con trasmettitore e ricevitore sullo stesso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