

# Fonderia

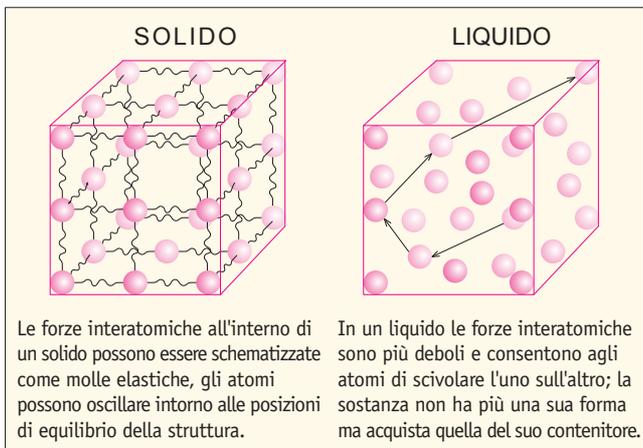
## FUSIONE

La fusione è il passaggio di una sostanza dallo stato solido allo stato liquido per somministrazione di calore.

### • Perché si verifica

Gli atomi di una sostanza allo stato solido sono ordinati secondo strutture reticolari caratterizzate da gradi di simmetria cui corrispondono determinate forze di legame. Per effetto dell'energia interna che possiedono gli atomi, questi hanno la possibilità di scostarsi, oscillando, dalla posizione di equilibrio imposta dalle forze di legame nella struttura cristallina.

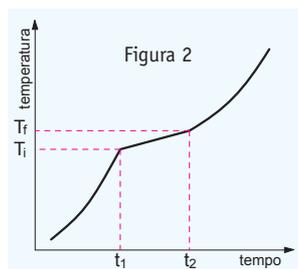
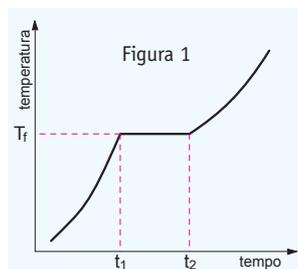
Somministrando calore aumenta l'energia cinetica degli atomi e quindi aumenta lo scostamento dall'equilibrio; quando l'energia interna raggiunge valori tali da vincere le forze di legame reticolare, gli atomi sono in condizione di allontanarsi dalla posizione rigida imposta dalla struttura cristallina e di assumere una configurazione disordinata tipica dello stato liquido.



### • Quando si verifica

La temperatura alla quale un solido fonde è detta **punto o temperatura di fusione** e si mantiene costante sino a quando tutto il corpo non è passato allo stato liquido. La quantità di calore che bisogna fornire all'unità di massa, alla temperatura di fusione, è detta **calore latente di fusione**.

L'andamento della temperatura di una sostanza pura durante il riscaldamento è rappresentato dal diagramma in figura 1. In essa con  $t_1$  e  $t_2$  sono indicati i tempi di inizio e fine della fusione e con  $T_f$  la temperatura di fusione. Nel caso di sostanze non pure, e in particolare leghe metalliche, le curve di riscaldamento possono pre-



sentare andamenti diversi in funzione della composizione chimica; inoltre, come accade per le sostanze amorfe o vetrose, spesso esse non presentano un punto di fusione, bensì un intervallo di temperature in cui la fusione si realizza (vedi figura 2).

Queste due grandezze variano da materiale a materiale, ma, in condizioni di pressione costante, sono ben definite per ognuno di essi.

### TEMPERATURA E CALORE LATENTE DI FUSIONE DEI PRINCIPALI METALLI (a pressione atmosferica)

Elemento	Temperatura di fusione (°C)	Calore latente di fusione (kcal/kg)
alluminio	660,0	94,6
argento	960,5	25,3
cadmio	320,9	13,0
cobalto	1495,0	62,0
cromo	1880,0	67,0
ferro	1535,0	65,0
magnesio	650,0	79,0
molibdeno	2622,0	69,0
nichel	1453,0	73,8
oro	1063,0	15,8
piombo	327,4	5,9
platino	1773,0	26,5
rame	1083,0	48,9
stagno	231,9	14,3
titanio	1670,0	100,0
zinco	419,5	24,4

### • Cosa si verifica dopo la fusione

I metalli sottoposti a riscaldamento aumentano le proprie dimensioni. Il valore della dilatazione termica è caratteristico dei materiali, ma è variabile a seconda delle temperature. Il cosiddetto **coefficiente di dilatazione termica** si misura pertanto in condizioni particolari: si calcola il valore medio dell'allungamento di una barretta di 1 m sottoposta a un incremento di di 1 °C entro precisi intervalli di temperature.

La dilatazione termica di un materiale portato al punto di fusione può essere notevole, specialmente per masse di dimensioni ragguardevoli. Di essa si dovrà tenere conto durante il raffreddamento, perché lo stesso materiale sarà soggetto al fenomeno del ritiro.

Il **ritiro lineare percentuale**, che riguarda in particolar modo i materiali lavorati in fonderia, si misura sui diversi materiali nell'intervallo tra la temperatura di fusione e la temperatura ambiente (20 °C).

Nelle lavorazioni di fonderia si deve tener conto del ritiro lineare per le dimensioni finali del pezzo (il cosiddetto **getto**). Quindi le dimensioni della cavità che il metallo fuso andrà a riempire, dovranno essere maggiorate rispetto a quelle desiderate per il getto.

Ma il ritiro è anche causa di notevoli inconvenienti durante il raffreddamento; le tensioni tra parti esterne più fredde e nucleo ancora caldo possono creare rotture, incrinature, cavità e risucchi interni al getto.

Pertanto alcuni materiali sono più adatti alle lavorazioni di fonderia, mentre altri lo sono di meno: *un minore ritiro percentuale caratterizza i materiali da fonderia.*

### RITIRO LINEARE PERCENTUALE DI ALCUNI MATERIALI

Acciaio (C = 0,3 %)	1,67%
Acciaio (C = 0,8 %)	1,54%
Ghisa bianca	1,50%
Ghisa grigia	1,00%
Bronzo (Sn = 10%)	0,77%
Bronzo (Sn = 18%)	1,30%
Ottone (Zn = 30%)	1,60%
Leghe leggere	1,25 ÷ 1,55 %
Stagno	0,70%
Zinco	1,60%
Piombo	1,10%

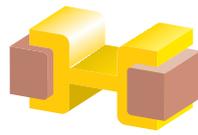
## LA FONDERIA

La fonderia è la tecnologia che consente di creare manufatti industriali o artistici (detti **GETTI**) portando a fusione i materiali, colandoli in forme di materiale refrattario e facendoli raffreddare in modo da far loro acquisire la forma desiderata.

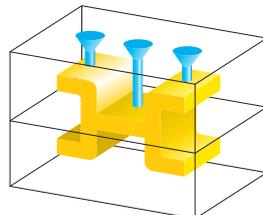
### • Il processo tecnologico

In modo molto essenziale il processo consiste in:

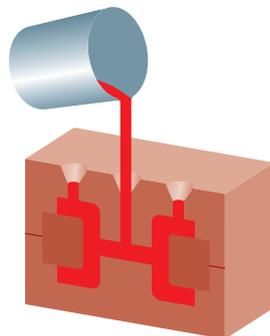
1. Realizzazione del **modello** del manufatto in materiali facilmente lavorabili (legno, gesso, cera, resine). Talvolta, oltre al modello vero e proprio, si costruiscono in materiale refrattario le **anime** che vengono inserite nella forma per occupare il posto delle eventuali cavità presenti nel pezzo fuso.
2. Creazione della **forma** ottenuta per calco dal modello e che ospiterà nelle sue cavità il materiale fuso; dovendo la forma resistere al calore rilasciato dal materiale fuso, essa viene realizzata in materiali refrattari, quali terre e sabbie (per metalli ad alto punto di fusione), o metallici (per materiali a basso punto di fusione). Al suo interno si creano anche delle cavità per l'immissione e la fuoriuscita del materiale fuso.
3. **Colata** del materiale fuso nella forma e suo raffreddamento.
4. Liberazione del getto dalla forma (**distaffatura**) e sua **finitura** (eliminazione di bavature, levigatura e trattamento delle superfici).



Modello con anime



Formatura



Colata

### SCHEMA DEL CICLO DI FONDERIA

Progettazione e disegno

Esecuzione modello e anime

Preparazione della forma

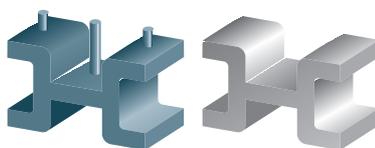
Ricomposizione della forma

Colata

Raffreddamento e solidificazione

Distaffatura e finitura

Controllo



Getto grezzo

Getto finito



Finitura del getto con rimozione dei canali di fusione.

5. **Controllo** del getto con procedimenti di laboratorio (chimico, meccanico-tecnologico, ecc.).



Controllo dei getti allo spettro-fotometro.

### • Lo stabilimento di fonderia

La complessità del ciclo di lavorazione di un getto, le differenti tecniche di fonderia adatte al manufatto da realizzare, l'apporto di attrezzature e figure professionali molto specializzate hanno determinato una articolazione degli stabilimenti in vari reparti che prendono il nome dalla lavorazione che in essi viene svolta. Pertanto nelle fonderie di tipo industriale si trovano i reparti principali e secondari elencati di seguito.

#### REPARTI DI UNO STABILIMENTO DI FONDERIA

REPARTI PRINCIPALI	REPARTI SECONDARI
Modellatura	Falegnameria
Formatura	Deposito modelli
Fusione	Laboratorio materiali da formatura
Finitura	Laboratorio chimico-fisico
Controllo	Laboratorio meccanico-tecnologico

A seconda del tipo di produzione le fonderie possono essere, in diversa misura, *meccanizzate* ed anche *automatizzate*; la meccanizzazione si ritrova soprattutto nel reparto fusione, in quello di preparazione delle terre ed anche nei trasporti delle terre stesse ai singoli posti di lavorazione.

Le fonderie si distinguono in funzione del tipo di materiali da fondere.

#### Fonderie per acciaio

Oltre ai reparti tipici delle fonderie, queste spesso posseggono laboratori per prove non distruttive sui getti mediante raggi X, isotopi radioattivi, ultrasuoni e metodi per il rilevamento delle "cricche" (difetti o incrinature dei getti).

#### Fonderie per ghisa

Sono provviste di forni di fusione che raggiungono alte temperature, quali forni elettrici e cubilotti (forni per rottami ferrosi); spesso presentano reparti per trattamenti termici dei getti.

#### Fonderie per metalli non ferrosi pesanti

Fondono materiali (quali piombo, zinco, rame, stagno, nichel) in leghe varie (quali bronzo, ottone, alpacca, ecc.). Sono distinte in *fonderie a pressione*, in *conchiglia* e a *colata centrifugaa* seconda del processo impiegato.

#### Fonderie per leghe leggere

Trattano pani di leghe di alluminio ed altri elementi, fusi in forni elettrici a resistenza o preferibilmente in *forni ad induzione a bassa frequenza*, più agevoli ed economici.



Colata in un reparto di fonderia completamente automatizzato. Questi reparti lo sono spesso a causa delle condizioni di lavoro particolarmente difficili.

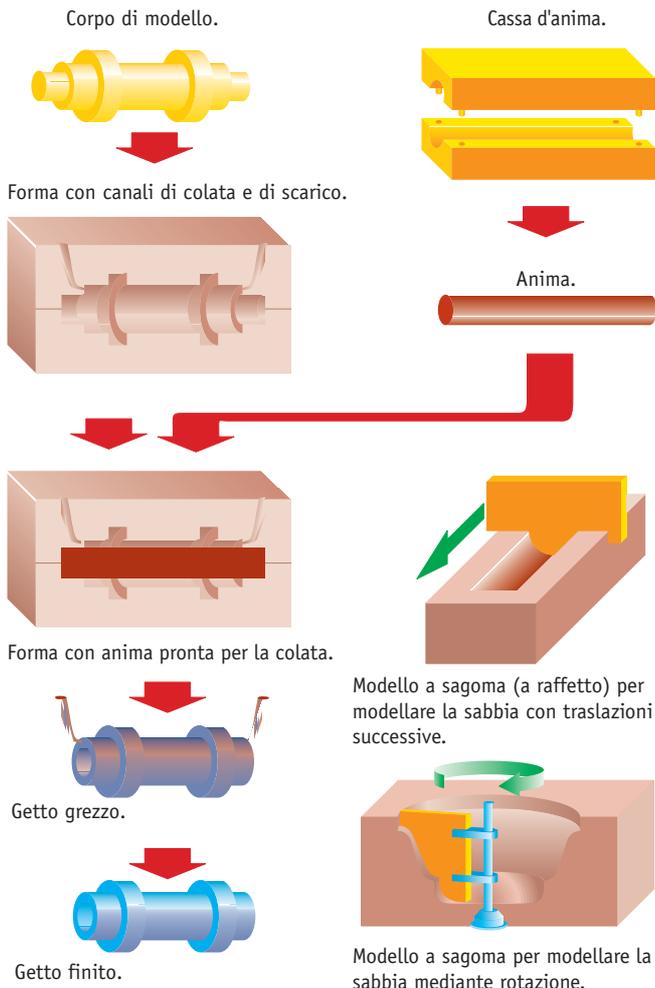
## PROGETTAZIONE DEL MODELLO

### • Modello

Per *modello* s'intende il complesso delle parti necessarie a realizzare la forma di fusione. Esse possono essere:

- **corpo di modello**, che riproduce la forma esterna dell'oggetto da fondere;
- **casce d'anima**, per le cavità da ottenere nel getto;
- **sagome**, per ottenere la forma in terra o sabbia mediante traslazione o rotazione.

Si dice inoltre **modello di lavoro** quello usato per realizzare direttamente la forma; mentre viene chiamato **primo modello** quello che serve per realizzare altri modelli.



### • Progettazione dei modelli

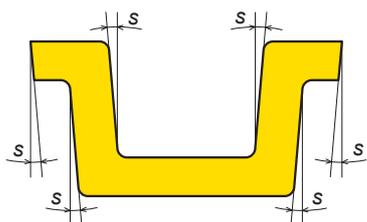
Il pezzo da realizzare, deve essere concepito e disegnato in modo da favorire le seguenti condizioni:

#### Facilità di colata

Il materiale fuso presenta spesso difficoltà a fluire negli spigoli, pertanto è opportuno fornire gli spigoli vivi di **raccordi** e **smussi**.

#### Facilità di estrazione

Senza modificare sostanzialmente la forma del pezzo si possono evitare difficoltà alla fuoriuscita del modello dalla forma. Se si hanno superfici parallele alla direzione di sformatura,



Profilo di modello con gli angoli di sformo.

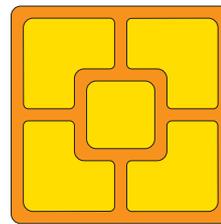
esse devono presentare un'inclinazione opportuna detta **spoglia** o **sformo**. L'angolo di inclinazione delle pareti con sformo è limitato a  $1^\circ \div 1^\circ 30'$ ; alle pareti interne di cavità e fori si dà una maggiore inclinazione: l'angolo raggiunge in questo caso i  $15^\circ$ .

#### Raffreddamento regolare

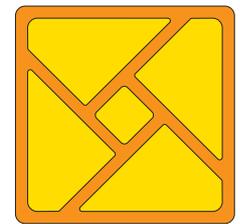
Un raffreddamento diseguale nelle diverse parti di un getto può essere causa di rotture, cricche e deformazioni, per via di un ritiro irregolare. Pertanto si devono raccordare pareti di spessore differente, ridurre parti massicce che solidifichino in tempi molto diversi dalle parti sottili.

#### Riduzioni delle tensioni di ritiro

Nervature perpendicolari e contrapposte ad una parete, durante il raffreddamento possono generare forti tensioni opposte; disponendo le nervature in posizione obliqua si facilita lo scarico delle tensioni e si evitano rotture.



Nella figura a sinistra è errata la disposizione delle nervature, mentre a destra è corretta.



In fase di progettazione del modello si deve tenere conto molto accuratamente di altri due fattori:

#### Il ritiro in fase di raffreddamento

Il metallo raffreddandosi nel vano lasciato libero dal modello, subisce una riduzione delle dimensioni;

L'entità del ritiro, diversa per ogni metallo, è data dalla seguente tabella: Per ottenere getti con le dimensioni prescritte si dovrà dunque maggiore le dimensioni del modello di una percentuale uguale al ritiro. In pratica il modellatore fa uso di metri speciali, che

#### RITIRO DEI METALLI DA FONDERIA

Ghisa grigia	1,00%
Ghisa bianca	1,50%
Ghisa sferoidale	0,80%
Acciaio	1,60%
Bronzo (Sn = 20%)	1,54%
Ottone (Zn = 30%)	1,58%
Alluminio	1,70%
Leghe leggere	1,40%

riportano le indicazioni già maggiorate secondo il metallo da fondere; per esempio il metro per la ghisa grigia è di 1010 mm diviso in 1000 parti, per l'alluminio è di 1017 mm diviso in 1000 parti.

#### Il sovrammetallo

Le superfici che dovranno sottostare ad una ulteriore lavorazione alle macchine utensili sono provviste, a cura dello stesso modellatore, di un sovrammetallo, cioè dello spessore che si dovrà asportare in lavorazione a mano o a macchina. Lo spessore del sovrammetallo è un dato suggerito dalla pratica e dipende dal genere di metallo fuso e dalla estensione della superficie da lavorare: può andare da 1,5 a 8 mm.

Tenendo conto del ritiro e del sovrammetallo, si prepara un disegno del modello in scala 1:1. Tale disegno è punto-base per la costruzione del modello, per la *collatura* (evita distorsioni al modello), per la messa a punto delle casce d'anima, per l'esecuzione delle *portate d'anima*, per il posizionamento del modello nella forma.

## COSTRUZIONE DEL MODELLO

### • Materiali da costruzione per modelli

Determinanti per la scelta del materiale sono numero e conformazione delle fusioni da produrre, e i procedimenti di formatura prescelti.

Oltre ai materiali tradizionalmente più diffusi, quali il legno e i metalli, si usano anche materiali di recente adozione come le plastiche e le resine.

**LEGNO.** Sempre ben stagionato, se ne usano le seguenti essenze:

- tenere      tiglio, ontano, abete (sono preferite nei grandi modelli e nei modelli economici);
- dure         noce, quercia, pero, melo, bosso (si impiegano per modelli di grande durata).

**METALLO.** Per la formatura di grandi serie si costruiscono anche modelli in metallo, praticamente indistruttibili; i metalli più usati sono:

- leghe pesanti (ottone, leghe di zinco o di piombo);
- ghisa;
- leghe leggere.

**GESSO.** Materiale tradizionale per modelli d'arte.

**CERA.** Anch'essa materiale per modelli d'arte e di oreficeria.

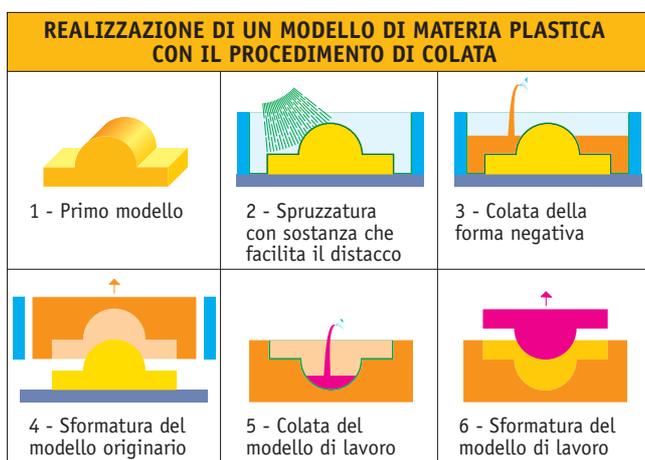
**MATERIE SINTETICHE.** Le materie plastiche sono molto usate in campo automobilistico per i modelli a perdere (utilizzati cioè una sola volta). Tra esse figurano:

- resine epossidiche, poliuretaniche, polistirolo
- multistrato resinato (strati sottili di legno duro impregnati con resine).

### • Preparazione dei modelli

Nella preparazione dei **modelli di materia plastica** si usano due procedimenti: **colata** e **laminazione**.

Il primo è praticamente uguale al procedimento praticato per la preparazione dei modelli metallici. Per ottenere getti con superficie migliore, la forma non è in terra, come nel caso dei modelli metallici, ma in *resina sintetica*; in tal modo risulta superflua una successiva lavorazione del modello ottenuto.



Nel processo per **laminazione** si rinforza la materia plastica, inglobandovi tessuti di fibra di vetro. Variando le aggiunte di indurente nei singoli strati si possono produrre modelli molto resistenti all'usura ed elastici.

I **modelli in gesso** si usano come primi modelli e per **placche-modello**. Si dicono **placche-modello** certi dispositivi,

nei quali su un fondo piano sono fissati per costipazione i modelli, in modo che ne sporga una metà (o delle metà di modello) coi corrispondenti attacchi di colata infissi in modo stabile. Si distinguono **placche-modello scomponibili** ove i modelli sono intercambiabili e fissati su una piastra di acciaio o ghisa e **placche-modello** ove piastra e modello formano un pezzo solo (per produzioni in grande serie).

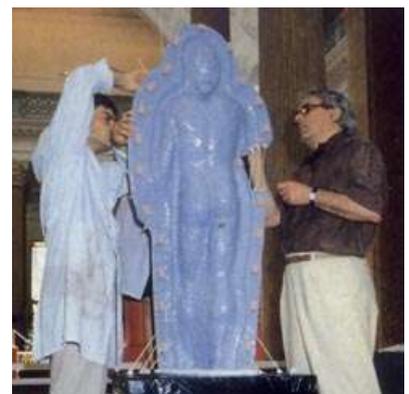
Le **placche modello** sono usate in prevalenza nella formatura meccanica. Le loro dimensioni si stabiliscono sempre in base alle possibilità delle macchine formatrici disponibili. Si possono avere **placche-modello a doppia faccia** (una faccia con le parti del modello corrispondenti alla staffa superiore, l'altra faccia con quelle della staffa inferiore), ma si preparano altresì **placche separate** per le staffe inferiore e superiore.



Placche modello a una faccia (sopra) e a due facce (sotto).



Placca modello in gesso e cera per una fusione d'arte.



Realizzazione di una forma negativa in resina; da essa si ricava il modello di lavoro.

### • Classificazione dei modelli

I modelli per fonderia si possono classificare in:

- modelli per esterni (a tutta vista, transitori, su placca, a sagoma, a raffetto);
- modelli per interni (o casse d'anima).

I modelli si distinguono con colori diversi in funzione del materiale da usare nella fusione.

### COLORAZIONE DEI MODELLI

Ghisa	Rosso cinabro
Acciaio e ghisa malleabile	Azzurro oltremare
Bronzo ed ottone	Giallo arancio
Leghe leggere	Grigio chiaro
Parti del getto da asportare	Strisce nere sul colore corrispondente
Portate d'anima	Nero
Altri metalli	Senza colore

## TERRE DA FONDERIA

Realizzato il modello, si eseguono le **forme** entro le quali si effettua la colata. Esse si realizzano mediante le **terre di fonderia**, cioè un impasto di sabbia quarzosa e argilla.

Il quarzo è un *materiale refrattario*, cioè che non fonde alla temperatura dei metalli durante la colata. L'argilla invece ha la funzione di agglomerare il quarzo rendendo plasmabile e compatto l'impasto.

Queste terre vengono preparate mediante un prolungato rimescolamento con l'aggiunta di acqua, che conferisce all'argilla il caratteristico potere legante.

### PROPRIETÀ DELLE TERRE DA FONDERIA

<b>Refrattarietà</b>	Resistenza a rammollire o fondere a contatto col metallo fuso.
<b>Plasticità</b>	Attitudine ad assumere e mantenere la forma impressa dal modello nei minimi particolari.
<b>Permeabilità</b>	Attitudine ad assorbire i gas disciolti nel metallo (CO, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> ), l'aria e l'umidità contenute nella forma, evitando difetti del getto.
<b>Finezza</b>	Ridotte dimensioni dei grani che danno al getto superfici lisce.
<b>Consistenza</b>	Coesione dei grani in grado di resistere alle operazioni di formatura e di colata.

Solo le terre formate da sabbia e argilla, mescolate nel giusto rapporto, posseggono le proprietà suddette.

All'impasto di sabbia e argilla si aggiungono anche discrete quantità di:

- **polvere di carbon fossile**, che rende più lisce le superfici del getto;
- **polvere di carbon coke**, che aumenta la permeabilità e la refrattarietà;
- **agglomeranti** (bentonite, cemento, silicati, resine, ecc.) che aumentano la consistenza della forma.

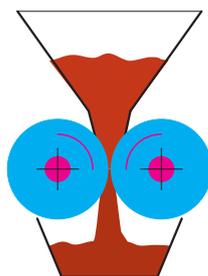
#### • Terre rigenerate

Le terre già usate perdono le loro qualità sotto l'effetto dell'alta temperatura. Queste terre "invecchiate", dopo opportuno trattamento, sono riutilizzabili. La rigenerazione è effettuata con separatori magnetici, che eliminano i frammenti di metallo ferroso, e con setacci che selezionano la grossezza dei grani. Con l'aggiunta di terre "nuove" si ottiene una miscela riutilizzabile nel ciclo produttivo.

#### • Lavorazione delle terre

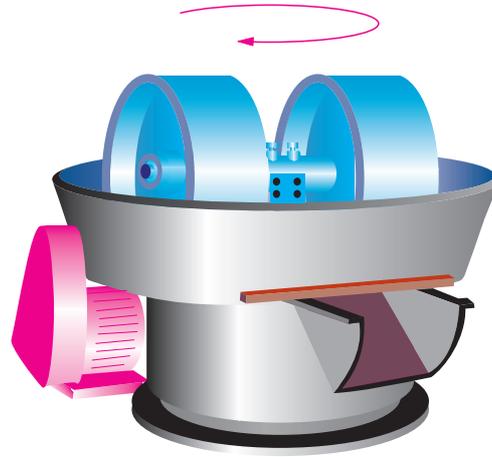
Le terre nuove e quelle rigenerate con l'aggiunta di correttivi (carbone in polvere, sostanze organiche, ecc.) passano alle macchine operatrici che provvedono alla molazzatura, alla disintegrazione e alla setacciatura.

La terra viene anzitutto passata nel **tritratore**, che ne spezza i grani, poi nella **molazza**, che la impasta e fa aderire un velo di allumina su ogni grano;

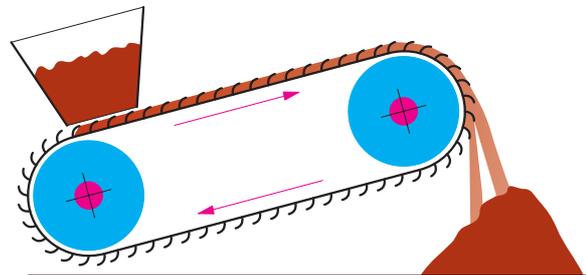


Tritratore a cilindri

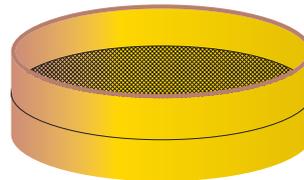
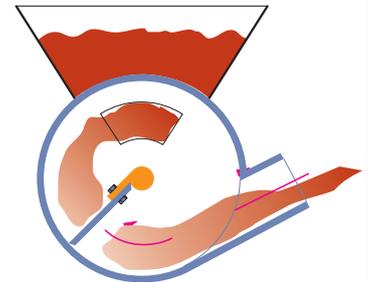
quindi viene immessa nel **disintegratore**, che ha il compito di separare i grumi. Infine la terra viene passata attraverso **crivelli** e **setacci** di vari tipi, dal più semplice (una rete metallica fissata su un telaio di legno) a quelli rotativi.



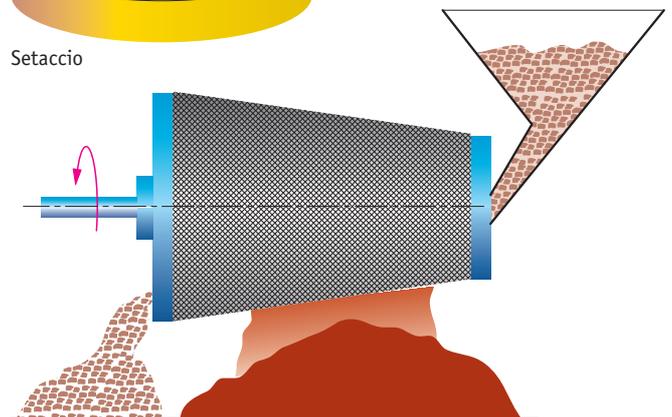
La molazza consiste in una vasca metallica in cui ruotano due grossi cilindri di ghisa durissima, posti a una certa distanza dal loro asse di rotazione. La terra immessa nella vasca viene energeticamente tritata, mescolata, agglomerata.



I **disintegratori a nastro** (sopra) separano i grani di terra molazzata spingendoli in aria ed operando anche una utile aerazione. Analoga funzione compiono i **disintegratori a paletta** (a destra).



Setaccio



Setaccio rotativo

Con questa preparazione si ottengono le **terre da modello**, che si usano per il primo strato di copertura del modello e che vengono a contatto col metallo fuso.

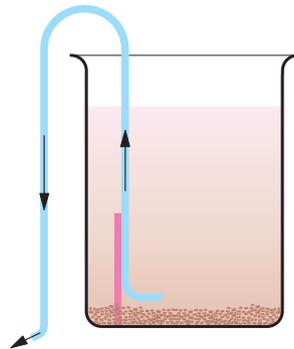
Per completare il riempimento della forma si utilizzano invece le **terre da riempimento**, ottenute da terre vecchie setacciate e depolverate.

## PROVE FISICHE SULLE TERRE

### • Determinazione del contenuto di argilloide

Si considera **argilloide** (tabella UNI 4628) la parte fine della terra con diametro dei grani  $< 0,02$  mm e velocità di sedimentazione pari a 25 mm/min; l'argilloide ricopre come una malta, i granelli di silice, cementandoli fra loro. La sua determinazione, sfruttando la diversa velocità di deposito rispetto ai granelli di silice di dimensioni maggiori, si effettua con le seguenti fasi:

- distacco dell'argilloide dalla silice;
- separazione mediante sedimentazione;
- eliminazione mediante sifonatura.

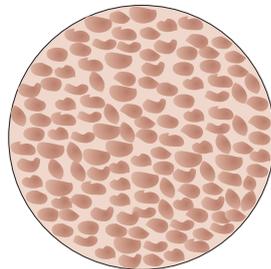


Sifonatura dell'argilloide sedimentato

### • Esame della forma dei grani di silice

Il rilievo della forma dei grani di silice si effettua con il *microscopio binoculare* che, ingrandendo i grani stessi, ne evidenzia il contorno.

Tale microscopio, costituito in realtà da due microscopi inclinati di  $20^\circ$  l'uno rispetto all'altro, dà un'immagine tridimensionale che consente, non solo una buona distinzione tra grano e grano, ma anche la distinzione tra grani tondeggianti e grani appiattiti.



Silice a grani tondeggianti

### • Determinazione dell'indice di finezza

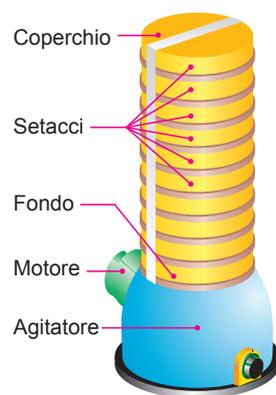
La finezza di una terra viene determinata mediante *analisi granulometrica* del residuo sabbioso proveniente dalla determinazione dell'argilloide.

Per far ciò il residuo, costituito da quel che resta della terra dopo l'eliminazione dell'argilla, viene introdotto in una serie di setacci disposti su un *agitatore*.

Chiude la pila, un recipiente a fondo chiuso, chiamato per questo *fondo*, in cui si raccolgono i prodotti con dimensioni dei grani minori di 0,05 mm.

#### SERIE DI SETACCI UNI 2332

Luce delle maglie	Fattore
3,35	3
1,7	5
0,85	10
0,6	20
0,425	30
0,3	40
0,212	50
0,15	70
0,106	100
0,075	140
0,05	200
Fondo	300



Serie di setacci su agitatore.

La condotta dell'analisi è la seguente:

- si versa il residuo sabbioso, oppure nel caso di una sabbia, un campione di 50 g sul setaccio superiore;
- si dispone sulla pila il coperchio e si avvia l'agitatore, tenendolo in funzione per 15 minuti, ad una frequenza di 300 vibrazioni al minuto;
- trascorso tale tempo, si arresta l'agitatore e si lascia riposare il tutto per 2 minuti;
- si smonta gradualmente la serie di setacci e si raccoglie con cura il residuo rimasto su ogni setaccio, che va pesato su di una bilancia con approssimazione di 0,1 g;
- si pesano i vari residui per calcolare l'indice di finezza.

### • Determinazione delle sostanze scomponibili con il calore

Con l'aggiunta di acido cloridrico sul provino si possono determinare le sostanze, quali carbonato di calcio, carbonato di manganese e carbonato di magnesio, che alla temperatura di colata del metallo, si scompongono per calcinazione liberando anidride carbonica, che sgretolerebbe la forma.

### • Determinazione del punto di sinterizzazione

Si definisce **punto di sinterizzazione** la temperatura alla quale una terra o una sabbia mostra segni di fusione incipiente. La ricerca consiste nel riscaldare la terra in forno, raffreddarla, osservare il residuo e saggiarlo con una punta metallica.

### • Determinazione della permeabilità

La **permeabilità** è l'attitudine di una terra a lasciarsi attraversare dai gas e dai vapori.

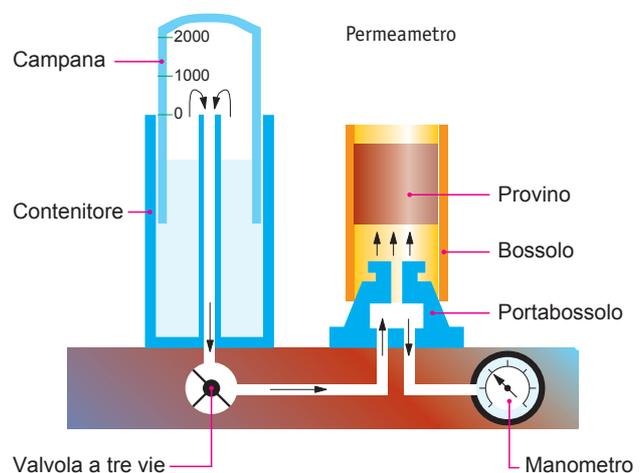
In un materiale da formatura, sia esso terra, oppure sabbia, si possono determinare:

- la permeabilità di base, cioè la permeabilità di una sabbia o di una terra, privata dell'argilloide;
- la permeabilità a verde, ovvero la permeabilità di una terra inumidita con una certa quantità di acqua;
- la permeabilità a secco, cioè la permeabilità di una terra o miscela, formata ad umido e poi essiccata e indurita.

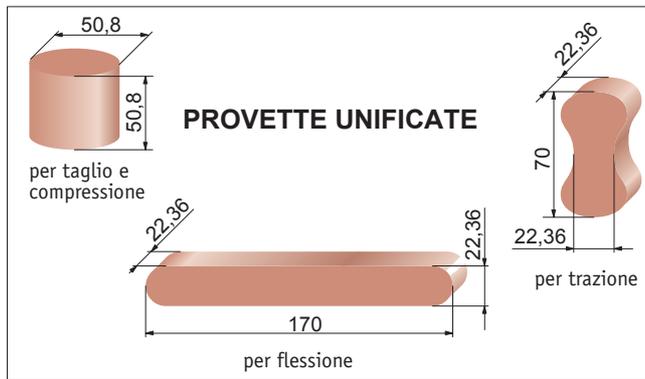
Nel caso di permeabilità a verde la provetta va lasciata nello stampo in cui è stata preparata, mentre per la permeabilità a secco, essa deve essere estratta e quindi essiccata.

La prova si esegue con un apparecchio chiamato **permeometro** con il quale si fa attraversare il provino da un determinato volume di aria (in genere 1000 o 2000 cm<sup>3</sup>), alla pressione massima di 10 cm di colonna d'acqua.

La prova consiste nel misurare il tempo impiegato da un volume d'aria per attraversare un provino di terra, posto in una campana sottovuoto, e la pressione raggiunta dall'aria nella campana.



## PROVE MECCANICHE SULLE TERRE



### • Prova di resistenza a compressione a verde

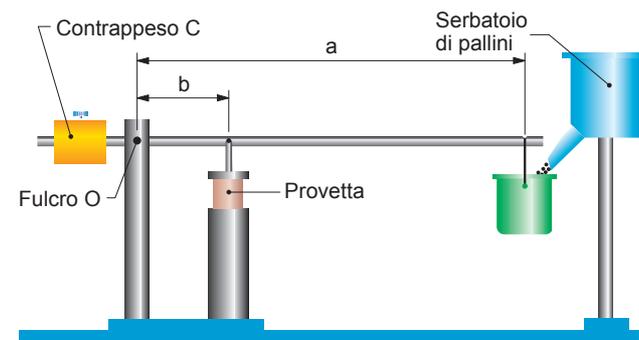
Viene eseguita sulla apposita provetta e tende ad accertare lo sforzo massimo che la terra può sopportare, senza rompersi, quando è sottoposta alla pressione della lega fusa ed agli urti generati dalla caduta del metallo dentro la forma. Si può eseguire con l'apparecchio a leva Zambelli, oppure con l'apparecchio oleodinamico Ficher.

L'apparecchio Zambelli è costituito da una leva di secondo genere, fulcrata nel punto O ed equilibrata con il contrappeso C; il carico si applica alla provetta mediante pallini di piombo, fatti cadere con gradualità nel secchiello posto all'estremità della leva stessa, sino alla rottura della provetta.

Il carico di rottura F è dato dalla relazione  $F = P \cdot a/b$ , dove P è il peso dei pallini (in newton), mentre a e b sono i bracci delle leve. Di qui si ricava la resistenza a compressione

$$R_c = F / S \quad (\text{N/cm}^2)$$

in cui S è la sezione trasversale della provetta.



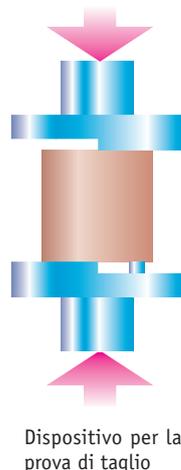
Apparecchio Zambelli per le prove di compressione delle terre

### • Prova di resistenza al taglio a verde

Serve per determinare lo sforzo massimo di taglio che una terra o un materiale di formatura può sopportare senza rompersi.

La prova si esegue con gli stessi apparecchi utilizzati per la prova di compressione, dove però le ganasce a piattelli piani, che serrano il provino, sono sostituite da altre due ganasce, con superfici a risalto.

Con tali piattelli la provetta è serrata solamente per metà della superficie di base, in modo che lo sforzo che si esercita su di essa è tale da provocare lo scorrimento di una metà sull'altra.



Dispositivo per la prova di taglio

La resistenza a taglio si ottiene dividendo il carico di rottura totale per la sezione longitudinale del provino ( $5 \times 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}^2$ ), ossia:

$$R_t = F / 25 \quad (\text{N/cm}^2)$$

### • Prova di resistenza a trazione

La resistenza a trazione di una terra da fonderia è il carico massimo di trazione che la terra può sopportare senza rompersi. Si determina con una provetta di forma particolare formata ad umido mediante uno stampo scomponibile e quindi essicata. Nello stampo la terra viene pressata con lo stesso maglietto usato per la prova di compressione dotato, però, di un pressa-terra di forma uguale alla forma del provino.

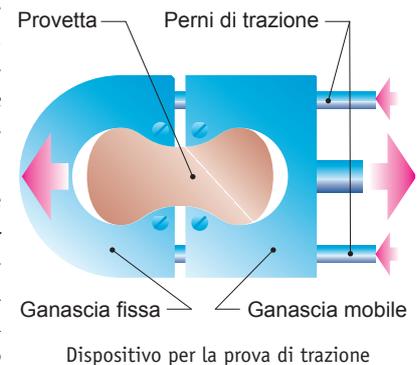
La prova si esegue con l'apparecchio Ficher con cui è possibile applicare alla provetta uno sforzo di trazione azionando manualmente il volantino, sino alla rottura della provetta. si ottiene dalla relazione:

$$R_m = F / S \quad (\text{N/cm}^2)$$

in cui

F = carico di rottura in newton (letto sulla macchina);

S =  $5 \text{ cm}^2$  (sezione intermedia del provino)



Dispositivo per la prova di trazione

### • Prova di resistenza a flessione

La resistenza a flessione di una terra e di una sabbia per fonderia è il carico di rottura di un provino di forma parallelepipedica, sollecitato in mezzeria perpendicolarmente all'asse di simmetria. Generalmente questa prova viene eseguita su provini di materiale per anime, a cui si dà forma ad umido, mediante stampo e maglietto e quindi successivamente essiccati o cotti.

La prova viene eseguita con l'apparecchio Ficher per mezzo di un'attrezzatura con cui è possibile caricare la provetta appoggiata su due cunei posti ad una distanza di 150 mm l'uno dall'altro, con un carico applicato in mezzeria, fino alla rottura.

A rottura avvenuta si legge, sulla scala interna del manometro selezionato, il carico di rottura P (in newton) che ha provocato la rottura della provetta.

Quindi si calcola la resistenza a flessione con la formula:

$$R_f = M_f / W_f \quad (\text{N/cm}^2)$$

dove

$M_f$  (momento flettente) =  $P \cdot 1/4$

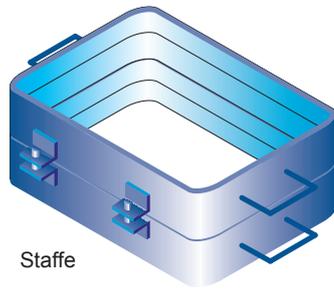
$W_f$  (modulo di resistenza a flessione) =  $bh^2/6 = h^3/6$  (essendo  $b = h$ ).

## FORMATURA DELLE TERRE

### • Formatura a mano

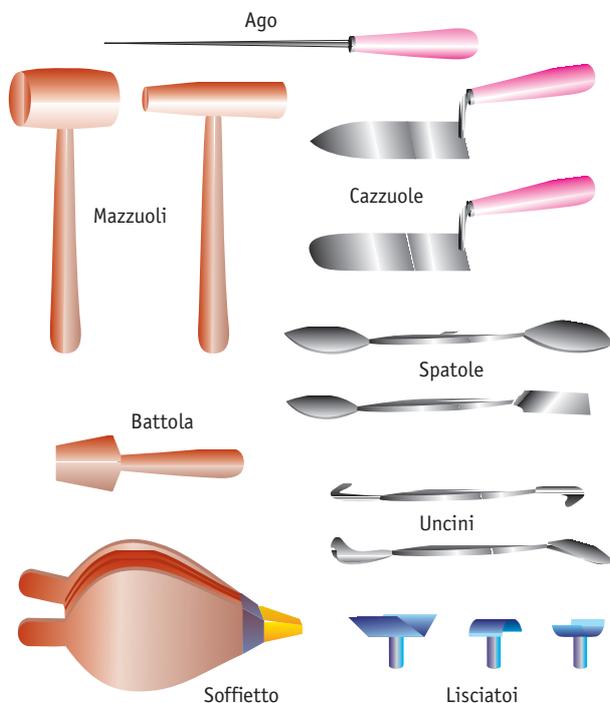
Lunga e costosa, questa formatura viene utilizzata solo per lavorazioni artigianali di pezzi singoli o di piccola serie. Le terre vengono immesse nelle **staffe** (contenitori a forma di cassa) coprendo il modello e vengono pressate mediante pestelli. Mediante aghi si praticano nella terra le **tirate d'aria** (fori per lo sfogo dei gas).

Dopo l'estrazione del modello dalla terra si compiono riparazioni e lisciature delle superfici della forma.



Staffe

### ATTREZZI PER LA FORMATURA A MANO



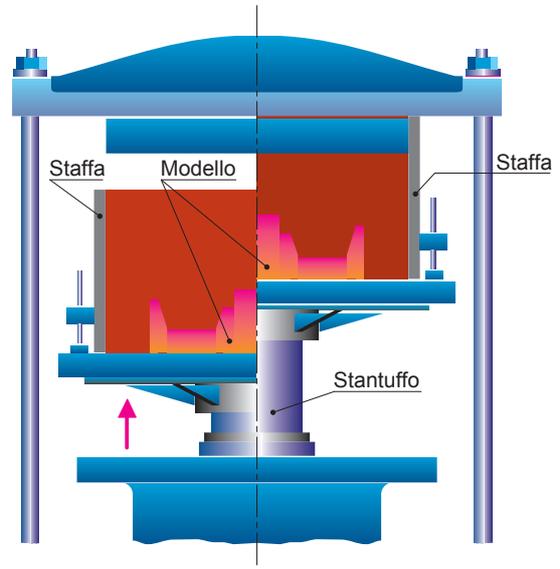
### • Formatura a macchina

È usata nella produzione industriale perché è più veloce ed economica e garantisce una precisione più elevata ai getti. In questo tipo di formatura, a causa delle elevate pressioni, non si usano modelli in legno ma in metallo o plastica, oppure sono impiegate le placche modello.

Le macchine usate per riempire le staffe e comprimere le terre sono:

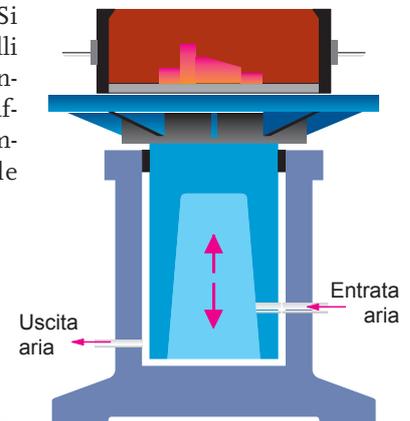
- macchine a compressione;
- macchine a scossa;
- macchine lanciaterre.

**Macchine a compressione.** Sono costituite da un bancone, su cui poggiano modello e staffe, e da un compressore a comando idraulico che compie una corsa; le *macchine a corsa discendente* comprimono dall'alto la terra sul modello, mentre le *macchine a corsa ascendente* comprimono il modello contro la terra.



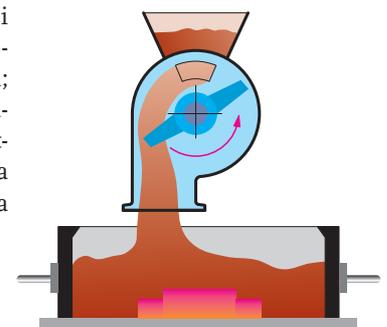
Macchina a corsa ascendente

**Macchine a scossa.** Si usano quando i modelli sono complessi; mediante urti impressi alla staffa, la terra si assesta riempiendo bene tutte le cavità del modello.



Macchina a scossa

**Macchine lanciaterre.** Si adoperano quando i modelli sono molto grandi; sono costituiti da una palette rotante, che per effetto della forza centrifuga spinge con forza la terra entro la staffa.



Macchina lanciaterre

### • Formatura al verde

Si realizza con terre magre, cioè con poca argilla e molta sabbia, che per l'elevata umidità e porosità facilitano la fuoriuscita di gas e vapori.

Questo tipo di formatura è senz'altro più economica perché consente un discreto risparmio di tempo e combustibile.

### • Formatura prosciugata

Richiede terre grasse, cioè ricche di argilla, e pertanto più consistenti, che dopo la formatura debbono essere essiccate con forni o stufe; questa formatura fornisce getti di migliore qualità, ma è più costosa e lunga. L'acciaio e la ghisa si fondono con questo tipo di formatura perché il raffreddamento più lento non altera la struttura del metallo.

## MATERIALI DA FONDERIA

### • Fusibilità

Per fusibilità s'intende l'attitudine di un materiale ad essere lavorato con la tecnica di fusione.

Un materiale che abbia una buona fusibilità deve avere:

- alta fluidità quando è allo stato liquido (*colabilità*), in modo da riempire la forma in tutte le cavità;
- basso coefficiente di ritiro durante il raffreddamento, per evitare rotture o cricche;
- scarso rilascio di gas, per evitare porosità e soffiature (bolle d'aria) nei getti.

Materiali di ottima fusibilità sono il bronzo e la ghisa; le leghe dell'alluminio presentano una buona fusibilità a condizione di adottare durante la fusione particolari accorgimenti per eliminare gas e ossidi. Gli acciai sono invece meno fusibili per l'alta temperatura di fusione e soprattutto per il rilevante ritiro.

### • Leghe del ferro

Senza altro sono le più importanti per gli usi industriali, a causa della loro versatilità, resistenza ed economicità. Il ciclo siderurgico dalla affinazione della ghisa greggia, ottenuta dall'altoforno, produce due tipi di leghe ferrose: la ghisa e l'acciaio.

La **ghisa**, o meglio la *ghisa di seconda fusione*, cioè la ghisa da fonderia, contiene in media il 3,5% di carbonio. È un materiale duro, fragile, particolarmente resistente all'usura, poco dilatabile dal calore e di buona colabilità per l'esteso intervallo di temperatura nel quale si mantiene liquida. Dalla ghisa si ottengono getti sani e compatti, anche di notevole complessità, per realizzare monoblocchi e testate di motori, basamenti di macchine, giranti di turbine, ecc.



Basamento di motore in ghisa.

L'**acciaio**, con percentuale media di carbonio dello 0,8%, è un materiale di straordinaria versatilità; le sue caratteristiche possono variare notevolmente a seconda degli elementi aggiunti alla lega ferro-carbonio e dei trattamenti termici cui può essere sottoposto: molto elastico e deformabile (acciai al silicio e acciai ricotti), oppure tenacissimo e quasi indeformabile (acciai temprati e fortemente legati). Gli acciai presentano gli inconvenienti della ossidabilità (tranne gli acciai inox) e la mediocre fusibilità.



Giunto cardanico in acciaio.

### • Leghe del rame

Queste leghe sono principalmente l'ottone ed il bronzo, molto usati in fonderia.

L'**ottone** è una lega di rame e zinco, utilizzata in metallurgia (rame 50 ÷ 70%) e per fusioni d'arte (rame >70%). Per la

buona resistenza a corrosione e l'aspetto dorato e lucente, sono di largo impiego per rubinetteria, valvole, maniglie, parti navali.

Il **bronzo** è una lega di rame e stagno, con percentuale massima del 32% di quest'ultimo. Se durante la fusione il raffreddamento è lento si ottengono bronzi tenaci, se è rapido i bronzi sono duri. Nelle fusioni d'arte ad una elevata percentuale di rame (90%), si aggiunge anche l'1% di zinco che ne aumenta la colabilità e conferisce una gradevole colorazione dorata. Bronzi speciali si ottengono con l'aggiunta di altri elementi (silicio, piombo, manganese, alluminio, ecc.). Oltre agli usi artistici e per campagne, il bronzo è impiegato per parti di macchine, cuscinetti, bronzine, molle, ingranaggi.



Riduttori di pressione in bronzo.

### • Leghe dell'alluminio

Sono anche dette *leghe leggere*, per la caratteristica leggerezza dell'alluminio; quest'ultimo presenta anche alta malleabilità e duttilità, ottima fusibilità, resistenza mediocre (notevolmente accresciuta in alcune sue leghe, come il duralluminio).

Le leghe leggere da fonderia, oltre all'alluminio, contengono:

- rame (per carter, ruote, pistoni);
- silicio (per oggetti di spessore sottile come cilindri, pompe, casalinghi);
- magnesio (per parti resistenti alla corrosione marina);
- zinco (per pezzi con buona resistenza meccanica, come motori aeronautici).



Biella e pistone in lega leggera.

### • Metalli preziosi

**Oro, argento e platino** sono tradizionali nell'oreficeria, specialmente nella fusione a cera persa.

### • Materie plastiche

Leggere, economiche, resistenti, hanno segnato la più recente epoca delle tecnologie industriali.

L'inquinamento prodotto dalle difficoltà di smaltimento dei rifiuti è l'aspetto più deleterio del loro impiego. Per pressofusione sono vastamente utilizzate nei campi più disparati: dai casalinghi alla sanità, dalla meccanica all'informatica.



Ingranaggio in plastica (Ø11 mm).

## FUSIONE IN CONCHIGLIA

### • Proprietà delle conchiglie

Le **conchiglie** sono forme permanenti metalliche.

#### Impiego:

produzione in serie di getti in alluminio, rame o ghisa, di forma relativamente semplice e di modeste dimensioni.

#### Vantaggi:

- risparmio di tempo;
- impiego durevole della forma;
- migliore finitura superficiale dei getti;
- dimensioni più precise dei getti;
- velocità di raffreddamento (maggiore durezza superficiale del getto);
- buona resistenza meccanica (uso nella pressofusione).

#### Svantaggi:

- costo elevato;
- difficoltà di sformatura;
- scarsa porosità per lo sfogo dei gas;
- raffreddamento veloce (talora nocivo per il getto).

### • Costruzione delle conchiglie

Nella **progettazione** delle conchiglie va prestata particolare attenzione a:

- grado di conicità delle anime per fori;
- rapporto diametro-lunghezza dei fori;
- spoglia;
- ritiro, in relazione al grado di difficoltà delle anime;
- sovrametallo di lavorazione.

**Materiali** usati per le conchiglie sono:

ghisa di qualità, acciaio, ottone, rame, leghe di alluminio, miscele grafite-argilla e carbone per elettrodi.

**Caratteristiche dei materiali** per le conchiglie:

- buona resistenza alla corrosione e all'ossidazione a caldo;
- elevata resistenza meccanica;
- elevata resistenza all'usura;
- buona conduttività termica e stabilità alle alternanze termiche.

### ACCIAI PER LA COSTRUZIONE DELLE CONCHIGLIE

Tipo di acciaio	Tipo di lega da colare
18 NiCrMo5 UNI 7846	Leghe di rame
UX 25CrMo5 UNI 2955	Leghe di alluminio
U 28W 9 UNI 2955	Bronzi d'alluminio

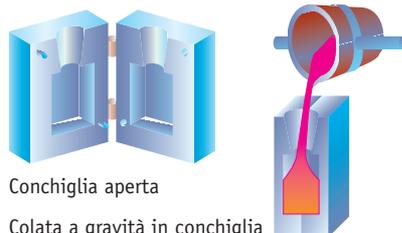
### • Tecniche di colata in conchiglia

Oltre alla tecnica della *pressofusione*, illustrata in seguito, le conchiglie vengono impiegate con modalità diverse di colata del materiale fuso.

#### Conchiglie per colata a gravità

Le conchiglie per colata a gravità (detta anche normale o tradizionale) sono forme metalliche scomponibili in più parti in cui si distinguono:

- corpo di sostegno, munito di guide di scorrimento;
- conchiglia vera e propria, divisa in due parti scorrevoli sul corpo di sostegno;



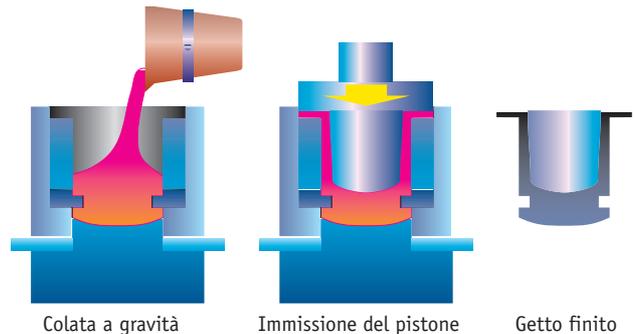
Conchiglia aperta

Colata a gravità in conchiglia

- anima centrale per la formatura della cavità del getto;
- perni per la formatura della cavità del getto.

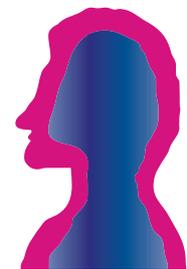
#### Conchiglie per colata a gravità e pistone tuffante

La colata in conchiglia e pistone tuffante (colata Cothias) è un procedimento nel quale il metallo o la lega allo stato fuso viene versato nella conchiglia e, prima che inizi la solidificazione, un pistone con una forma esterna uguale a quella che si vuol far assumere all'interno del getto, entra nella conchiglia ove rimane fino a che è avvenuta la solidificazione. Serve per produrre getti aperti da un lato.



#### Conchiglie per colata a gravità e rovesciamento

Il metallo viene colato nella conchiglia, che viene rovesciata quando il metallo si è solidificato per un certo spessore, in modo da svuotarne la parte ancora liquida. La colata a rovesciamento è utilizzata per produrre piccoli oggetti cavi internamente di leghe di stagno, zinco, ecc. Con questo procedimento si ottengono statue, manici e oggetti simili, per i quali non hanno importanza lo spessore e le irregolarità delle superfici interne.

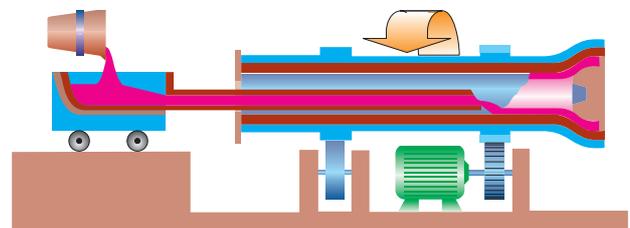


Busto ottenuto con colata a gravità e rovesciamento.

#### Conchiglie per la colata centrifuga

La colata centrifuga è un sistema particolare di colata con cui si fabbricano tubi in ghisa di dimensioni rilevanti.

La conchiglia è costituita da una forma metallica cilindrica, fatta ruotare attorno al proprio asse, in cui viene versata, con un apposito canale, la lega fusa. Per effetto della rotazione, il metallo liquido è spinto contro le pareti e nel raffreddamento assume la conformazione di un tubo.



La colata centrifuga può essere realizzata:

- in conchiglia raffreddata per tubi fragili da trattare termicamente;
- in conchiglia riscaldata per tubi pronti all'uso;
- in conchiglia rivestita di terra refrattaria.

Con il primo metodo, a causa del veloce raffreddamento, si producono tubi molto fragili che devono subire un trattamento di malleabilizzazione.

Con il secondo e terzo metodo invece si ottengono tubi dotati di una struttura regolare e uniforme, che non richiedono ulteriori trattamenti.

## PRESSOFUSIONE

La **pressofusione** è un metodo speciale di colata in conchiglia.

Il metallo, tenuto a temperatura poco più alta di quella di fusione, viene aspirato e poi spinto e pressato dal pistone nella forma metallica, ove solidifica rapidamente.

Il contatto del metallo con le pareti metalliche della forma consente di ottenere superfici levigate; inoltre l'elevata pressione di iniezione consente la penetrazione del metallo anche entro fenditure assai sottili della conchiglia.

### • Impieghi

Con la pressofusione si possono ottenere grandi serie di getti con alti ritmi produttivi (1500 pezzi/ora).

I getti possiedono elevata finitura superficiale, buona compattezza e notevoli caratteristiche meccaniche.

La pressofusione è impiegata per produrre getti in materiali a basso punto di fusione, quali le leghe di stagno, piombo, zinco, alluminio.

### • Costruzione delle conchiglie

La pressofusione richiede conchiglie che resistano a notevoli sollecitazioni.

I materiali per le conchiglie devono possedere:

- buona resistenza alla corrosione e all'ossidazione a caldo;
- elevata resistenza meccanica;
- elevata resistenza all'usura;
- buona conduttività termica e stabilità alle alternanze termiche.

I materiali utilizzati per le conchiglie sono:

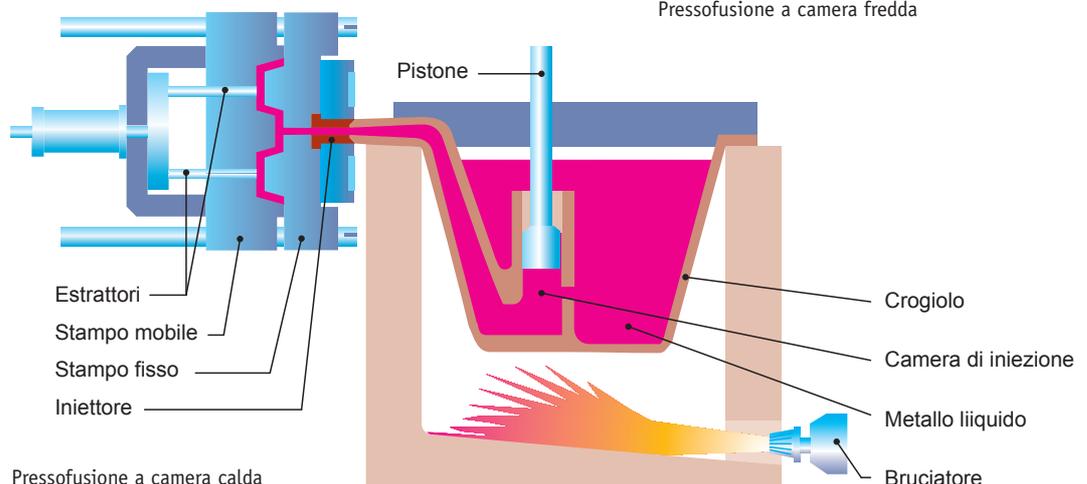
- acciai comuni per getti di metalli a bassa temperatura di fusione come zinco, piombo e stagno;
- acciai fortemente legati contenenti tungsteno, cromo e molibdeno;
- materiali a base di tungsteno come l'Anviloy per la colata dell'ottone;
- materiali sinterizzati a base di tungsteno, molibdeno, columbio e tantalio.

### • Pressofusione a camera calda

Nelle macchine a camera calda il forno di fusione fa parte della macchina e il dispositivo d'iniezione è collocato nel crogiolo.

Il *crogiolo*, scaldato da un forno con bruciatore, contiene il metallo fuso, che attraverso un foro viene aspirato dal *pistone* entro la *camera d'iniezione* e di qui viene compresso nella *conchiglia* attraverso un *iniettore*.

La conchiglia è costituita da uno *stampo fisso* e da uno *stampo mobile*, scorrevole entro perni di guida e che quindi può essere rimossa, con sistemi oleodinamici, per l'espulsione del getto solidificato.



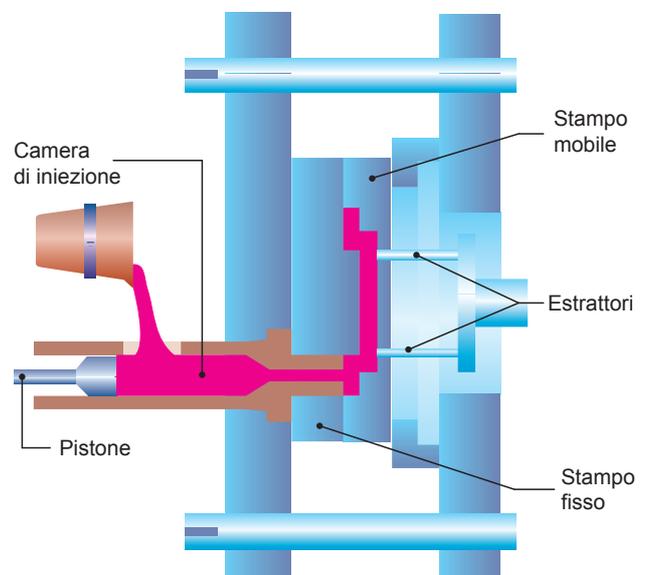
La conchiglia deve essere progettata in modo che, dopo l'apertura, il getto sia trattenuto dalla parte mobile e possa essere rimosso solo con l'azione di *estrattori*; questi sono perni disposti entro fori ricavati nella conchiglia e comandati da molle che, all'apertura della conchiglia, provocano l'espulsione del getto.

### • Pressofusione a camera fredda

La differenza sostanziale rispetto al metodo con camera calda consiste nel fatto che in questo caso il metallo viene fuso in un crogiolo separato.

Nelle macchine a camera fredda la *camera d'iniezione* è collegata direttamente alla parte fissa della conchiglia; il materiale fuso viene introdotto di volta in volta dall'operatore nella camera d'iniezione attraverso un apposito foro. L'azione del pistone, comandato da sistema oleodinamico o idraulico, comprime il materiale fuso entro la cavità della conchiglia.

Anche in questo caso la conchiglia può essere aperta per rimuovere il getto mediante estrattori.



Pressofusione a camera fredda

### glossario

**Sinterizzazione** è un processo tecnologico destinato alla produzione di oggetti porosi, detti *sinterizzati*, e consiste nel comprimere polveri metalliche entro stampi e riscaldarle a temperatura inferiore a quella di fusione. Il processo consente, fra l'altro, di agglomerare metalli non legabili allo stato fuso.

## MICROFUSIONE

La **microfusione** prevede la formatura mediante modelli in materiale facilmente fusibile (cera o resine termoplastiche) che viene liquefatto ed eliminato.

Questa tecnica, a causa della perdita del modello per liquefazione, viene anche detto **fusione a cera persa**.

Il procedimento nelle sue applicazioni nel campo artistico e nel campo industriale è così schematizzato:

- costruzione del modello in cera o resina termoplastica;
- formatura con sabbia fine;
- liquefazione ed eliminazione del modello;
- colata del metallo fuso.

Mediante microfusione si ottengono industrialmente getti anche complessi, con alto grado di finitura e precisione (tolleranza di qualche centesimo di mm). In genere i getti hanno dimensioni ridotte (max 150 mm).

Lo **svantaggio** di questa tecnica consiste nel dover preparare un modello per ogni copia del getto.

Le cere usate per i modelli non devono essere tossiche e si possono distinguere nelle due famiglie delle *paraffine* e degli *esteri*.

### • Materiali lavorati per microfusione

I materiali possono essere sia ad alto che a basso punto di fusione; ma questo processo è particolarmente adatto, sia in termini economici che tecnici, per leghe ad alto punto di fusione (leghe inossidabili al nichel e al cromo, leghe speciali al cobalto, ecc.). La microfusione è meno vantaggiosa nel caso di leghe a basso punto di fusione (leghe dell'alluminio e del magnesio), lavorabili in conchiglia o per pressofusione.

### • Processo di lavorazione per microfusione

Per la riproduzione su scala industriale di getti con il procedimento di microfusione si procede così:

- si costruisce il **primo modello** in metallo oppure in leghe fusibili (ottone) se si richiede un'alta precisione, con le dimensioni già maggiorate della misura prevista per il ritiro;
- attorno a questo modello si cola la conchiglia in metallo a bassissimo punto di fusione (per esempio una lega stagno-bismuto);
- nella conchiglia ricomposta si cola sotto pressione la cera o la resina termoplastica allo stato liquido;

- il **secondo modello** (*modello in cera*) è estratto dalla conchiglia;
- si completa il modello applicandogli i canali di colata, gli sfoghi d'aria, ecc;
- si riveste il modello con un miscuglio di silice (o quarzo, zirconio, allumina, magnesia);
- si procede alla formatura con terra speciale costituita da polvere di silice agglomerata con un legante;
- la forma così costruita viene lasciata in riposo per 12 - 24 ore per eliminare l'eccesso di liquido e consentire il processo di presa;
- con il calore si scioglie e si elimina la cera;
- si può procedere alla colata;
- si esegue la sformatura e la finitura del getto.



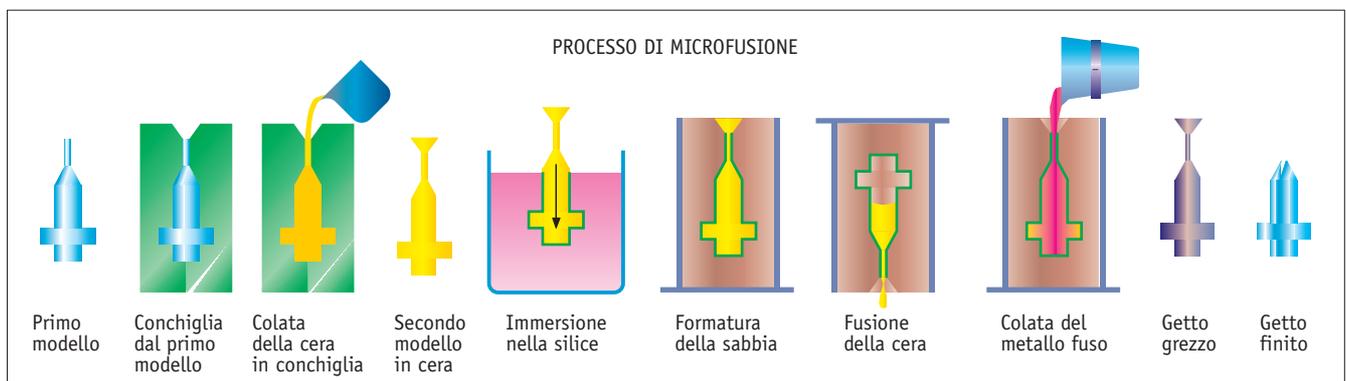
Sul modello in cera si applicano cilindretti in cera per i canali di colata.

Per aumentare la produzione si possono raggruppare più modelli in cera (anche centinaia) in modo da formare dei **grappoli**: ogni modellino è collegato con asticcioline di cera ai canali di colata e all'esterno per lo sfogo dell'aria.

Per la sformatura del getto si fa ricorso a mezzi energetici (martello pneumatico, scalpelli), perché l'impasto essiccato e cotto è duro e resistente.



Rivestimento di un grappolo di modelli in cera per immersione nella silice.



### memo

La **fusione artistica** è una delle attività di fonderia più antiche e, per il bronzo, risale a circa 3500 anni a.C. Già nei tempi antichi sono stati fusi pezzi artistici, in più parti saldate mediante flange interne (come nel caso del *colosso di Rodi*, 280 a.C.). La fusione artistica è oggi eseguita mediante colata in sabbia a grano particolarmente fine, in modo da realizzare superfici lisce; spesso la formatura è realizzata con la tecnica di *fusione a cera persa*. I materiali usati per le fusioni artistiche sono bronzi, ghisa, alluminio, in minor misura stagno e zinco.

## FORNI

Forno è un ambiente in cui si produce calore con diversi sistemi allo scopo di portare ad una certa temperatura il materiale in esso caricato (detto *carica*) e di ottenere determinate trasformazioni chimico-fisiche.

Il riscaldamento è ottenuto con vari mezzi a seconda del materiale da trattare, della sua temperatura di trasformazione, e delle caratteristiche che gli si vogliono conferire. Ogni tipo di forno richiede il corredo di altri elementi accessori per il corretto funzionamento, per la sorveglianza e l'automazione dei processi.

### • Tipi di forni

I forni si possono dividere secondo:

- la fonte energetica (combustibile o elettricità);
- lo scopo (per fusione o per riscaldamento);
- le modalità di funzionamento (continui o intermittenti).

Tutti i forni sono costituiti da un'intelaiatura metallica di sostegno che avvolge le pareti, la volta, opportunamente sagomata per riflettere il calore sul materiale, e la suola su cui esso viene posato. L'impianto è inoltre corredato da porte mobili a tenuta, piani di caricamento, valvole per l'estrazione e il filtraggio dei fumi prodotti, dispositivi di sorveglianza dei fenomeni e di allarme, strumenti di misura. Nei forni a combustibile esiste inoltre un focolare, dove avviene la combustione, e un camino per l'aspirazione dei gas combusti.

### • Forni a combustibile

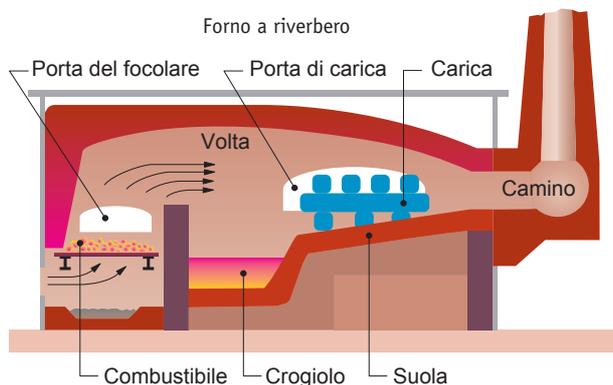
Essi possono essere alimentati da combustibile:

- solido (carbone);
- liquido (nafta);
- gas (metano).

Si distinguono per la forma, le dimensioni, la disposizione interna, oltre che per il regime di funzionamento e le temperature raggiunte. È importante però raggrupparli a seconda che il materiale da trattare si trovi:

- in contatto con il combustibile (altoforno e cubilotto);
- separato dal combustibile, ma a contatto con i gas prodotti dalla combustione (forni a riverbero);
- separato da entrambi (forni a muffola).

In generale il loro rendimento termico è alquanto basso; sono più adatti al funzionamento continuo ed è impegnativo automatizzarli.



### • Forni elettrici

A seconda del modo in cui l'energia elettrica si trasforma in calore, essi vengono divisi in tre grandi categorie:

- forni elettrici a resistenze;
- forni elettrici a induzione;
- forni elettrici ad arco.

### Forni elettrici a resistenze

Il calore è prodotto per effetto Joule per il passaggio della corrente nei corpi riscaldanti (resistenze); non vi è contatto con il materiale da lavorare.

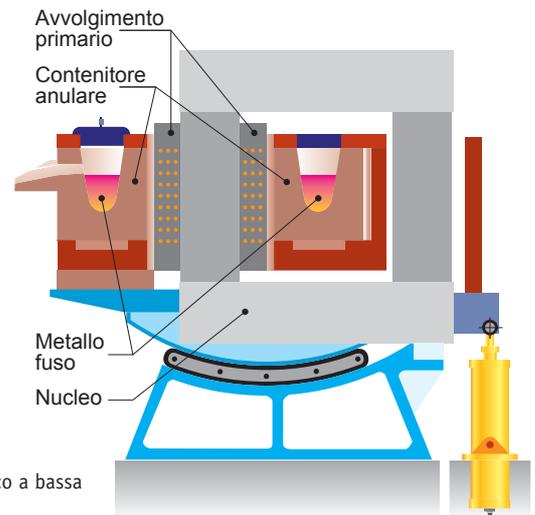
### Forni elettrici a induzione

Essi possono ulteriormente essere distinti in:

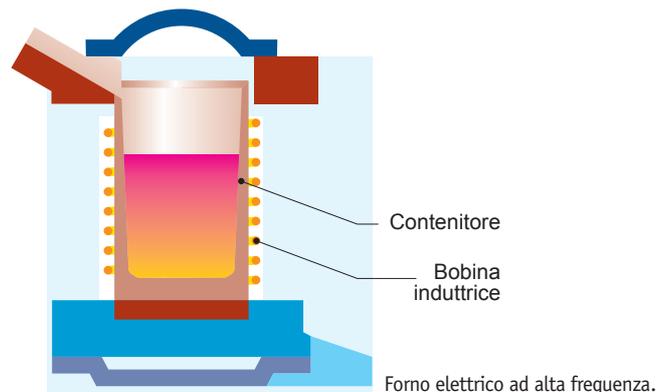
- a bassa frequenza;
- ad alta frequenza.

In quelli a bassa frequenza il contenitore, a forma di anello, è l'avvolgimento secondario di un trasformatore e il calore giunge al materiale per le notevoli correnti così indotte.

In quelli ad alta frequenza, sul contenitore è avvolta una bobina percorsa da corrente ad alta tensione e frequenza; le correnti indotte, oltre a fondere il materiale, gli danno un tipico moto di rotazione utile per un corretto rimescolamento.



Forno elettrico a bassa frequenza.

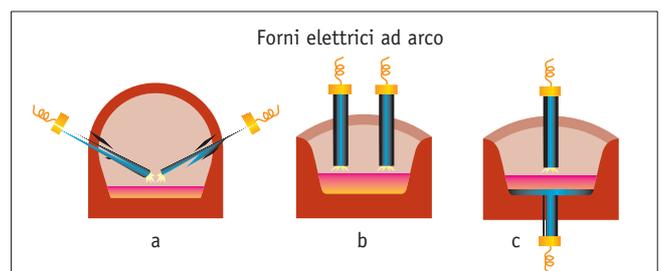


Forno elettrico ad alta frequenza.

### Forni elettrici ad arco

Il calore è prodotto da un arco voltaico che si innesca:

- fra due elettrodi di potenziale differente ed arriva al materiale da lavorare per irraggiamento (fig. a);
- fra gli elettrodi e la suola del forno ed arriva al materiale da lavorare per la resistenza elettrica della carica (fig. b);
- fra un elettrodo e la suola, e da questa ad un altro elettrodo; il calore è prodotto da entrambi i fenomeni sopra citati (fig. c).



## CUBILOTTI

Il cubilotto è un forno fusorio usato solo per la preparazione della ghisa per fusione.

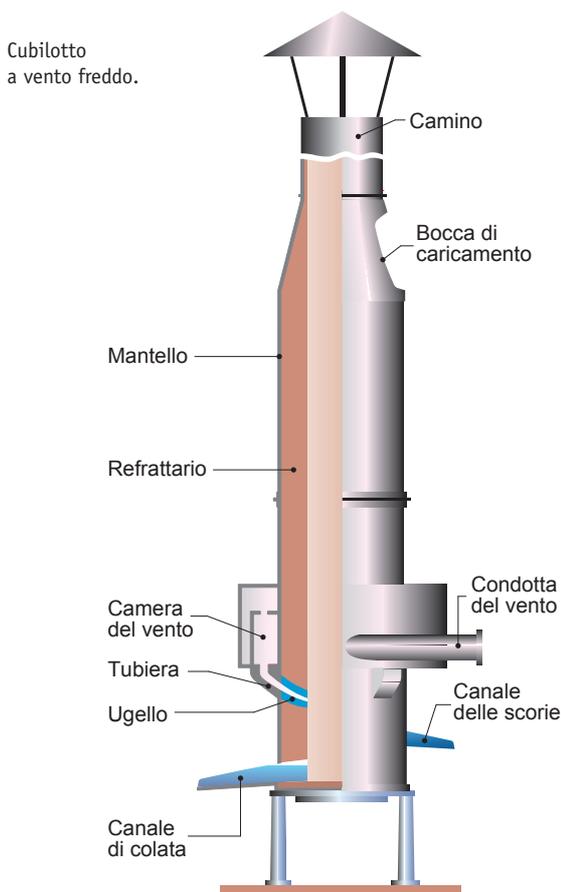
### • Cubilotto a vento freddo

Il corpo cilindrico (di diametro 500 ÷ 1500 mm) è formato da un *mantello* di lamiera d'acciaio rivestito internamente di refrattario. Il vento condotto dalla *soffiante* passa attraverso ugelli che regolano massa e velocità dell'aria insufflata. Le *tubiere* sono per lo più di ghisa ed hanno sezione circolare o rettangolare.

**Processo di combustione.** Il vento si riscalda molto rapidamente e brucia il coke, con formazione prevalente di anidride carbonica. Questo processo ha luogo nella *zona di combustione*, in cui il contenuto di anidride carbonica raggiunge il suo valore massimo. La reazione  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$  costituisce il processo predominante. Al contrario della reazione di combustione, fortemente *esotermica*, questa seconda reazione è *endotermica*. La zona del forno ove ha luogo questa reazione, è detta *zona di riduzione*.

**Comportamento della carica metallica nel cubilotto.** La ghisa metallica, di pezzatura medio-piccola nella parte superiore del tino, si riscalda ad opera dei gas combusti in ascesa. La carica raggiunge, nella zona di riduzione, il punto di fusione (detta anche *zona di fusione*). Quindi gocciola sul coke, attraverso la parte inferiore della zona di riduzione e la zona di combustione, dove viene riscaldata a temperature oltre il suo punto di fusione (*zona di surriscaldamento*), e dove subisce particolari alterazioni di composizione. Infine, insieme con la scoria formatasi, raggiunge la zona di raccolta; oppure passa direttamente nell'*avancrogiolo*.

**Potenzialità di fusione e temperatura della ghisa.** Esse dipendono dalla portata del vento e dal quantitativo di coke della carica. È conveniente regolare la marcia del forno, in modo



che la temperatura della ghisa sia la massima ottenibile con la percentuale prescelta di coke di carica.

**Condizione del cubilotto.** Si preriscalda il cubilotto bruciando coke; quindi si mette in funzione la soffiante per breve tempo (3 - 5 min); si carica il forno, dopo aver regolato l'altezza della *dote* di coke, e si insuffla aria. La ghisa fusa si raccoglie nella zona del *crogiolo*, o cola direttamente nell'*avancrogiolo*.

**Apparecchi di misura.** Per pesare i singoli costituenti della carica, si usa una bilancia di carica, fissa o mobile. Al fine di controllare la marcia del forno si impiega uno strumento che misura la *portata dell'aria*. Perturbazioni di marcia nel forno (per esempio arresti), si rivelano con dispositivi misuratori della *pressione del vento*. Il controllo della temperatura della ghisa può effettuarsi mediante *termocoppie*, o *strumenti di misura ottici*.

### • Cubilotto a vento caldo

I principi costruttivi di base per un cubilotto a vento caldo sono gli stessi di quelli per un cubilotto a vento freddo. Ma il profilo del forno non è sempre cilindrico.

Gli attuali impianti di cubilotto utilizzano in prevalenza il **sistema a recuperatore** per il preriscaldamento dell'aria comburente. I più usati sono quelli nei quali l'aria comburente è preriscaldata sfruttando il calore del gas di scarico del forno. I gas aspirati dal cubilotto sono a tale scopo inviati in un recuperatore, ed ivi cedono il loro calore all'aria comburente.

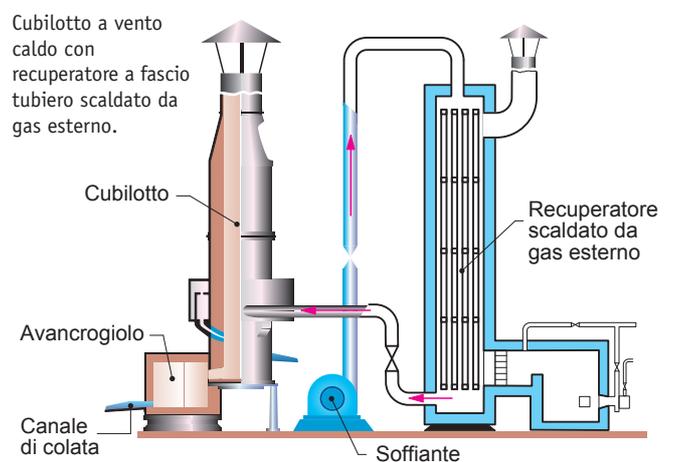
Si distinguono tre tipi di aspirazione del gas:

- a - aspirazione poco sotto la bocca di carica;
- b - aspirazione poco sopra la zona di combustione;
- c - aspirazione poco sopra la bocca di carica.

Nei processi, di cui ai punti a) e c), si sfrutta preferibilmente l'energia termo-chimica del gas di cubilotto (bruciando con aria il suo contenuto in ossido di carbonio), mentre nel processo, di cui al punto b), soltanto il calore sensibile del gas del forno serve al preriscaldamento del vento. Inoltre anche per i cubilotto a vento caldo si impiegano recuperatori riscaldati con gas caldi, che non sono quelli scaricati dal cubilotto. Essi presentano il vantaggio di una più facile regolazione. Per mantenere costante il profilo interno del forno, i cubilotto a vento caldo sovente sono raffreddati con acqua. È frequente l'uso di tubiere di rame, anch'esse raffreddate con acqua.

Inviando aria calda a 400 °C circa si conseguono indubbi vantaggi nella condotta del forno:

- il funzionamento è più regolare;
- la produzione oraria aumenta del 20% e il consumo di coke diminuisce;
- il tenore di zolfo nella ghisa diminuisce;
- si ottiene ghisa più calda e più carburata.



## FINITURA DEI GETTI

### • Distaffatura

Dopo la colata e la solidificazione del materiale fuso, si procede alla **distaffatura**, cioè la liberazione del getto dalle staffe e dalla forma.

È una operazione che si può eseguire a mano, con appositi estrattori, oppure meccanicamente con l'ausilio di *scuotitori a tavola vibrante*; essi sottopongono la forma, poggiata su una griglia, ad una azione di scuotimento che distacca la terra dal getto, facendola cadere nella griglia.



Scuotitore a tavola vibrante.

### • Steratura

Serve ad eliminare i residui di terra rimasti sulle superfici del getto. Si effettua a mano mediante raschietti, scalpelli e spazzole metalliche, o meccanicamente con spazzole rotanti e scalpelli pneumatici.

### • Sbavatura

Consiste nella eliminazione di bave, materozze, montanti e canali di colata. Per operazioni manuali si utilizzano scalpelli, cesoie o seghe circolari; per operazioni meccaniche si impiegano mole fisse o portatili, cannelli per ossitaglio, segatrici.



Scalpellatura dei canali di colata.

### • Sabbiatura

È una lavorazione molto diffusa nell'industria, che realizza una ottima pulitura delle superfici del getto, con tempi e costi contenuti. L'operazione di sabbiatura ha lo scopo di

- pulire a fondo il getto;
- ridurre la rugosità superficiale;
- preparare il pezzo ad ulteriori lavorazioni o trattamenti;
- consentire la rilevazione di difetti superficiali (incrinature, fessurazioni).

Le macchine che compiono questa lavorazione (*sabbiatrici*) sottopongono il getto ad violento lancio di *graniglia*, cioè polveri silicee o metalliche, sotto l'azione di turbine o aspiratori.

Tra i vari **tipi di sabbiatrici** si possono citare:

- *sabbiatrici a barile* (o a tamburo): i getti, di dimensioni medie o piccole, sono caricati dentro un tamburo rotante;
- *sabbiatrici a tavola rotante*: i pezzi, anche di grandi dimensioni, sono disposti su un piatto rotante;



Sabbiatrice a barile.

- *sabbiatrici a tunnel*: i getti vengono introdotti in una galleria da un nastro trasportatore;
- *sabbiatrici idrauliche*: il flusso è di sabbia e acqua.



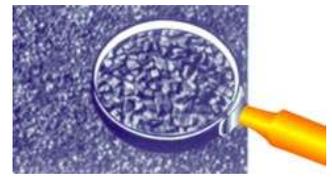
Sabbiatrice a tunnel.

Le **graniglie** sono realizzate in forme e materiali diversi:

- leghe ferrose (graniglia da filo d'acciaio, graniglia di acciaio o ghisa a spigoli vivi, ghisa in pallini);
- leghe non ferrose (alluminio in pallini, graniglia da filo di ottone)
- materiali non metallici (polveri di quarzo, carburo di silicio, corindone, perline di vetro).



Graniglia a pallini.



Graniglia a spigoli vivi.

### • Trattamenti finali su getti industriali

Alla sabbiatura possono seguire:

- trattamenti termici (tempra, rinvenimento, ricottura, ecc.) oppure termochimici (cementazione, ecc.);
- trattamenti superficiali, quali rivestimenti galvanici (cromatura, ecc.), verniciatura, lucidatura.



Rubinetto ottenuto da getti in ottone cromato.

### • Trattamenti finali su getti artistici

Se il pezzo è composto da diversi getti da assemblare, si procede alla *saldatura*, sfruttando anche eventuali flange o staffe che consolidano la struttura. Si rimuovono con mole gli eventuali eccessi del cordone di saldatura e si levigano le superfici lungo le giunzioni con getti di sabbia e acqua.

Si passa quindi alla finitura superficiale con ceselli, frese, patinatura con sostanze chimiche protettive o coloranti, lucidatura con polvere finissima di pomice o bicarbonato di sodio, cera d'api o paraffine.



Finitura con cesello.

## DIFETTI E PROVE SUI GETTI

### • La qualità

Essa ha un ruolo importante nell'ambito delle attività produttive e di servizio. Per la norma UNI ISO 8402, la qualità viene definita come l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite.



Analisi radiografica di una scultura antica in bronzo.

### • Prove non distruttive

In questo ambito hanno dato il loro contributo le prove non distruttive (PnD), sia come metodologia di prevenzione di anomalie e disservizi, che elevando il livello di sicurezza di componenti e impianti.

Poiché non danneggiano il materiale o il componente in prova, la loro applicazione va dalla fase di accettazione del materiale base, ai controlli intermedi e finali durante la fabbricazione in servizio e durante le fermate dell'impianto per la manutenzione.

Le PnD sono basate su principi fisici diversi e, per questo motivo, possono rivelare diversi tipi di discontinuità o difetti del materiale. Le più utilizzate nell'industria sono:

- Ultrasuoni (US);
- Radiografia (RX);
- Correnti Indotte (CI);
- Magnetoscopia (MS);
- Liquidi Penetranti (LP);
- Rivelazione Fughe (RF).

### • Difetti dei getti

Nelle applicazioni di fonderia si possono riscontrare i seguenti difetti rilevabili con le prove non distruttive.

DIFETTO	DESCRIZIONE	PROVA
Inclusioni endogene	Si producono volutamente, sono minuscole particelle che rimangono intrappolate nel bagno liquido.	non sono rivelabili con le comuni PnD
Inclusioni esogene	Particelle di scoria o refrattarie trascinate dal metallo liquido che rimangono intrappolate nel bagno.	US
Coni di ritiro e ritiri secondari	Cavità che si producono in testa ed all'interno del getto a causa della contrazione del metallo durante la solidificazione e il raffreddamento.	US, RX, LP, MS
Soffiature	Cavità tondeggianti isolate che si producono quando i gas espulsi dal metallo rimangono intrappolati nella solidificazione.	US, RX
Porosità o microporosità	In relazione alla loro dimensione sono moltitudini di piccole cavità di gas raggruppate in volumi più o meno estesi.	US, RX
Riprese di colata	Visibili sulla pelle del getto si estendono in profondità. Si producono a causa di un'interruzione della colata durante la quale si è avuta l'ossidazione della superficie.	US, LP, MS
Segregazioni	Concentrazioni di impurezza localizzate ai bordi dei grani situate nella zona centrale, cioè nell'ultima zona che si solidifica e sono gli elementi con il più basso punto di solidificazione del bagno.	US
Sacche d'aria	Cavità che si producono a causa di sacche di aria inglobate nel getto, rimaste nella forma durante il processo di colaggio. Si verifica tale difetto specialmente nel processo di pressofusione.	visivo, US, RX
Soffiature o porosità superficiali	Cavità di gas molto allungate e spesso aperte alla superficie.	visivo, US, RX
Cricche superficiali	Si producono a causa del guscio solidificato di spessore molto irregolare per effetto dell'azione fluidostatica del cuore ancora fuso.	LP, MS, CI
Cricche interne	Zone segregate con tenori di zolfo e altri elementi chimici superiori al normale.	US
Cavità di ritiro	Difetti tridimensionali senza ossidi nel loro interno, che scompaiono nelle successive lavorazioni plastiche.	US, RX



Cricca da raffreddamento.



Porosità (microinclusioni) da gas.



Porosità (macroinclusioni superficiali) da gas.