

# PROCESSI DI COLATA

## Introduzione

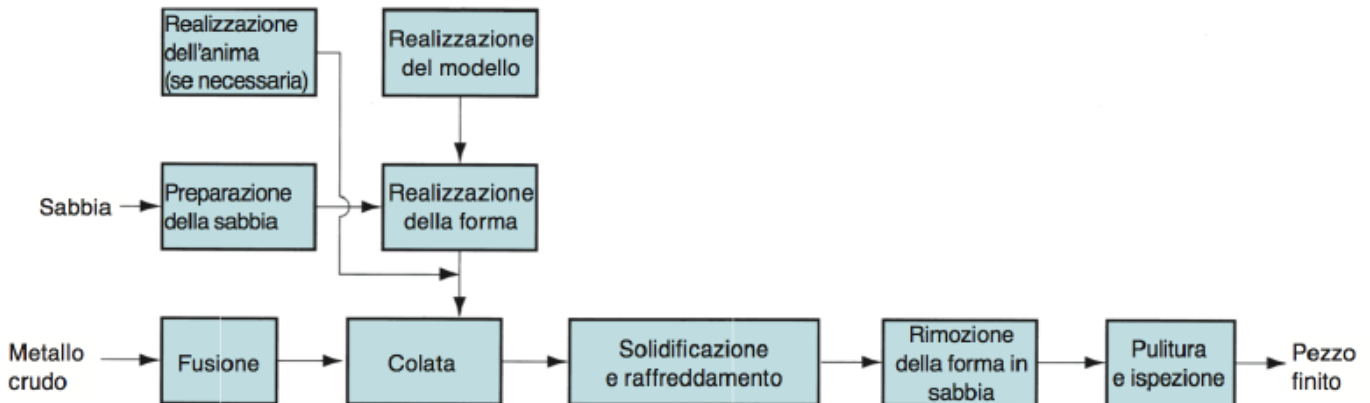
Come abbiamo già citato in precedenza i processi di colata possono essere suddivise in due grandi categorie: quelli effettuati in forma transitoria e quelli fatti in forma permanente. Elenchiamo ora:

- Processi in forma transitoria:
  - Colata in sabbia
  - Shell molding
  - Colata in polistirene espanso (schiuma persa)
  - Microfusione (cera persa)
  - Colata in gesso e in ceramica
- Processi in forma permanente:
  - Colata in conchiglia
  - Colata in bassa pressione
  - Colata sotto vuoto
  - Pressofusione
  - Squeeze casting
  - Colata centrifuga

## Processi in forma transitoria

### Colata in sabbia - introduzione

La colata in sabbia consiste nel versare il metallo fuso in una forma di sabbia, nel lasciar solidificare il metallo per poi rompere la forma e rimuovere il grezzo. Quasi tutte le leghe metalliche possono essere colate in sabbia, compresi i metalli con alte temperature di fusione, come acciaio, nichel e titanio. La versatilità di questo processo permette la realizzazione di grezzi di varie dimensioni, da piccoli a molto grandi e con quantità per lotto di produzione variabili dal pezzo singolo a milioni di pezzi. La cavità nella forma si ottiene ricoprendo sabbia un modello e rimuovendolo in seguito separando la forma in due o più parti. Dal momento in cui la forma viene distrutta per rimuovere il grezzo, per ogni grezzo che si produce occorre costruire una nuova forma che può però essere ottenuta mediante l'uso del medesimo modello. La colata in sabbia quindi non comprende solo l'operazione di colata ma anche la fabbricazione del modello e la realizzazione della forma. Le macro fasi del processo sono schematizzate in figura:



### Colata in sabbia - modello

Iniziamo ora ad analizzare il modello e la sua realizzazione. Il modello è quell'attrezzatura che consente di realizzare la cavità all'interno della forma. Il modello è la copia a dimensioni naturale del pezzo da produrre, ingrandita però così da tener conto del:

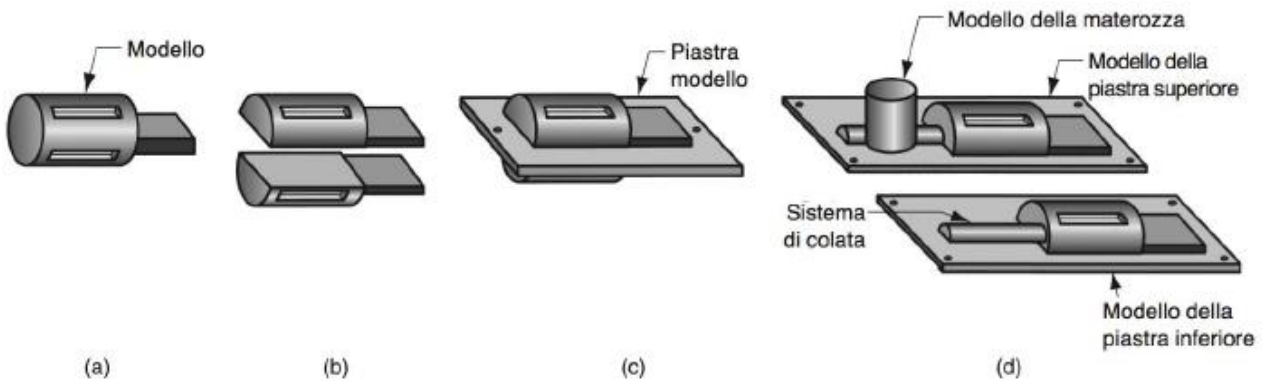
- Ritiro volumetrico in fase solida
- Sovrametallo per consentire le lavorazioni d'asportazione di truciolo successive

Il modello del pezzo risulta quindi essere diverso dal disegno del getto a causa di questi due elementi, degli angoli di sformo (tra i 3 e i 5 gradi) e dei raggi di raccordi che consentono di avere delle variazioni di moduli termici più gradualmente. Il modello generalmente può essere di legno, plastica o metallo. Esistono diversi tipi di modelli:

- a. Modello a pezzo unico = costituito da un unico pezzo e avente la stessa geometria del grezzo da produrre. Le dimensioni di questo modello tengono conto del ritiro volumetrico in fase

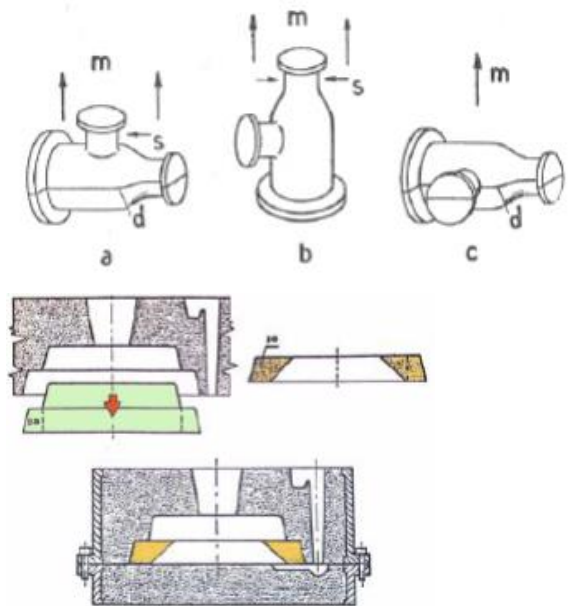
solida e delle eventuali lavorazioni d'asportazione di truciolo necessarie per la realizzazione finale del pezzo. Sebbene si il modello più semplice da fabbricare, non è quello più facile da usare per costruire stampi in sabbia

- b. Modelli divisi = sono costituiti generalmente da due partiche dividono il pezzo da produrre lungo un piano coincidente con la linea di separazione della forma. Tali modelli sono più adatti alla realizzazione di forme complesse e quantitativi di produzione medio-alti
- c. Modelli a piastra = i due pezzi del modello sono fissati ai lati opposti di una piastra di legno o di metallo. I fori presenti nella piastra consentono di allineare perfettamente la parte superiore a quella inferiore. Generalmente vengono usati per quantitativi di produzione elevati
- d. Modelli su due piastre = le due metà del modello sono fissate a piastre diverse, in modo da poter essere fabbricate indipendentemente.



Il modello del pezzo deve essere:

- Realizzato in un materiale facilmente lavorabile
- Facilmente estraibile dalla forma. Per potere essere facilmente estraibile non deve presentare sottosquadro cioè una caratteristica geometrica del pezzo che comporta una non estraibilità del modello. Tra le tre immagini rappresentate la figura c risulta essere il corretto posizionamento del pezzo poiché non presenta sottosquadro. Si può evitare il sottosquadro attraverso:
  - Un corretto posizionamento del pezzo rispetto al piano di divisione delle staffe.
  - L'utilizzo di più staffe e di modelli scomponibili.
  - Utilizzo di tasselli (in giallo nella figura a lato) = si semplifica il modello iniziale, si realizza l'impronta, si estrae il modello e poi aggiungono dei tasselli a posteriori che generano la cavità desiderata. Finito il processo di colata si rompono i tasselli e quindi si ottiene un pezzo con la geometria desiderata.



### Colata in sabbia - anima

Le anime sono componenti realizzati in sabbia compattata che vengono posizionate prima della colata, dopo la realizzazione della cavità, all'interno della forma per realizzare delle superficie cave direttamente da fonderia; la cosa importante è capire quando conviene realizzare la cavità direttamente da fonderia oppure quando è meglio ottenerla in seguito a un processo di foratura.

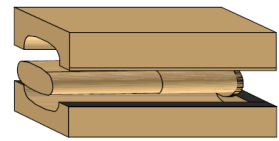
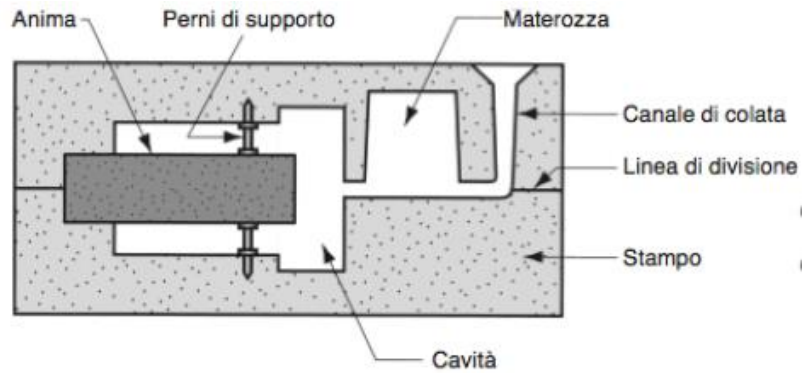
Di solito il foro si realizza in fonderia se:

- Il foro è di grandi dimensioni = il processo di foratura per la realizzazione di un foro grande richiede un consumo energetico piuttosto elevato quindi realizzarlo in fonderia risulta essere economicamente conveniente

- Il foro ha una lunghezza elevata = il processo di foratura per la realizzazione di un foro lungo potrebbe avere delle complicazioni durante la fase di asportazione del truciolo. In questo caso è importante creare un'anima molto resistente poiché sarà sottoposta a degli sforzi talmente elevati che potrebbero deformarla.

L'anima viene modellata nella cassa d'anima. Come per il modello, la dimensione effettiva dell'anima deve considerare il ritiro volumetrico

in fase di solidificazione e le successive lavorazioni meccaniche. A seconda della geometria del pezzo, l'anima può richiedere o meno dei supporti per essere tenuta in posizione nella cavità della forma durante la colata. Se il foro è passante l'anima si appoggerà direttamente alla forma sulle portate d'anima. Se invece il foro è cieco occorre vincolare l'anima alla forma, nella zona priva di portata d'anima, tramite i perni di supporto. Tali elementi sono realizzati in metallo con temperatura di fusione superiore a quella del metallo colato. Durante la solidificazione i supporti vengono inglobati nel pezzo; in questo modo si avrà però del materiale differenti rispetto a quello del metallo colato. Dunque il pezzo avrà una composizione disomogenea e proprietà meccaniche differenti. Le parti sporgenti dei perni verranno poi eliminati mediante asportazione di truciolo.



### Colata in sabbia - sabbia per formatura

La sabbia di fonderia, che è tipicamente costituita da silice ( $\text{SiO}_2$ ) occupa il 90% del volume, il 7% è costituito dall'argilla, che è un legante, e il restante 3% è acqua. All'interno della sabbia può essere presente un materiale termoindurente. La sabbia deve possedere buone proprietà refrattarie, deve, cioè, resistere a temperature elevate. Le proprietà della sabbia dipendono da:

- Dimensioni del grano = la granulometria della sabbia si misura mediante il processo di setacciatura. La geometria dei grani dipende dal processo di frantumazione usato per ottenere la sabbia. Più fine sarà la sabbia migliore sarà la finitura superficiale del pezzo poiché sarà più compattabile. La sabbia fine ha però più difficoltà a fare evacuare i gas che si formano durante la colata ed è inoltre più costosa dei grani grossi. La sabbia a grana grossa invece favorisce la permeabilità della forma, ma genera però una superficie più scabra e quindi una finitura peggiore. La scelta del tipo di sabbia da usare dipenderà dal pezzo.
- Forma del grano = il grano regolare è più difficile da compattare e quindi una sabbia costituita da grani regolari ha una migliore porosità poiché lascia degli spazi interstiziali tra i grani. Al contrario, se si ha una sabbia irregolare si ha una migliore compattazione.

La qualità della forma dipende quindi dal tipo di sabbia usato per la sua realizzazione. La forma deve essere:

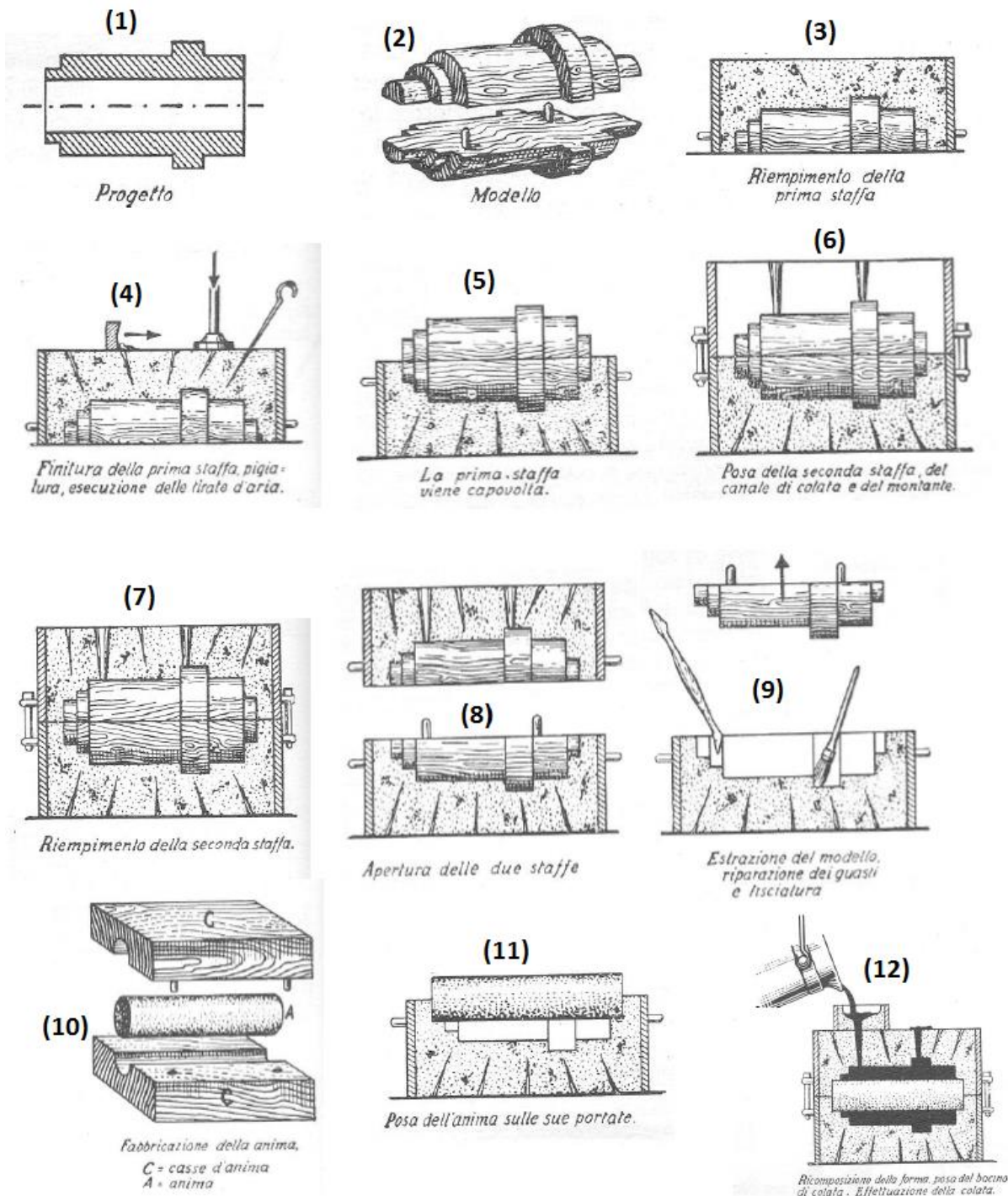
- Robusta = capacità della forma nel mantenere la sua forma e resistere all'erosione causata dal flusso del metallo fuso
- Cedevole = capacità della forma di cedere e permettere al grezzo di contrarsi senza rompersi
- Permeabile = capacità della forma di lasciar fuoriuscire l'aria calda e i gas prodotti durante la colata attraverso i micro-vuoti nella sabbia
- Stabile termicamente = capacità della sabbia sulla superficie della cavità della forma di resistere all'incrinatura e alla frantumatura a contatto con il metallo fuso
- Riutilizzabile = possibilità di riutilizzare la sabbia per altre fusioni

### Colata in sabbia - fasi di formatura manuale

Analizziamo ora tramite l'ausilio delle figure le fasi principali di formatura manuale con staffe nella colata in sabbia:

1. Progetto del pezzo

2. Progetto del modello (rispetto al progetto del pezzo tiene conto del ritiro, del sovrametallo, degli angoli di raccordo e di quelli di sforno) e sua realizzazione
3. Riempimento della prima staffa
4. Finitura della prima staffa compattando la sabbia e realizzando delle tirate d'aria così da renderla più compatta possibile
5. Viene capovolta la prima staffa così da poter accoppiare le due metà del modello con maggiore precisione
6. Posa della seconda staffa, del canale di colata e del montante
7. Riempimento seconda staffa
8. Apertura delle due staffe
9. Estrazione del modello, ripartizione dei guasti e lucidatura
10. Fabbricazione dell'anima all'interno della cassa d'anima
11. Posa dell'anima sulle sue portate
12. Ricomposizione della forma, posa del bacino di colata ed effettuazione della colata

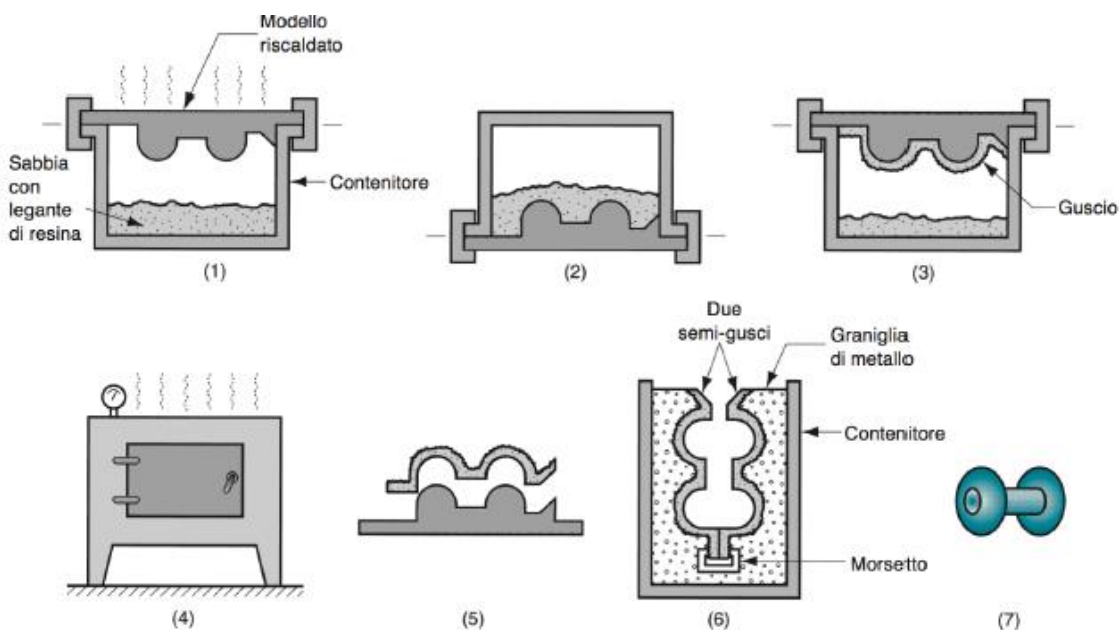




## Colata shell molding

Il processo shell molding, o formatura in guscio, permette di ottenere dei prodotti con una finitura superficiale migliore di quelli ottenuti mediante colata in sabbia. È un processo di colata in cui la forma è un guscio sottile di sabbia tenuto insieme da un legante di resina termoindurente che dunque aumenta la sua durezza all'aumentare della temperatura; normalmente come termoindurente si usa il fenolformaldeide. Per creare questi gusci si procede come segue (damp box):

1. Realizzazione di un modello in metallo che sta sopra al contenitore pieno di sabbia. Viene riscaldato il modello in metallo
2. Si lascia in posizione dopo aver ribaltato la scatola
3. La struttura viene ribaltata nuovamente: la parte di materiale che si è indurita rimane attaccata al modello mentre il resto della sabbia cade nel contenitore
4. Estrazione della zona del modello metallico dal contenitore e riscaldamento a temperature elevate, circa 600°, in forno
5. Si stacca il guscio e si riusa il modello metallico
6. Si inserisce il guscio in una forma, la sabbia della forma ha granulometria molto alta perché non ha alcun impatto sulla finitura superficiale e si procede con la colata
7. Si estrae il pezzo



I vantaggi di questo tipo di colata sono:

- La superficie della forma è più liscia di quella di una forma tradizionale in sabbia e questo permette un migliore scorrimento del metallo fuso durante la colata
- Si possono ottenere basse rugosità e si raggiungono buone precisioni dimensionali. I valori di finitura e precisione raggiunti spesso consentono di non realizzare lavorazioni successive
- La cedevolezza della forma è generalmente sufficiente per evitare rotture e incrinature del pezzo

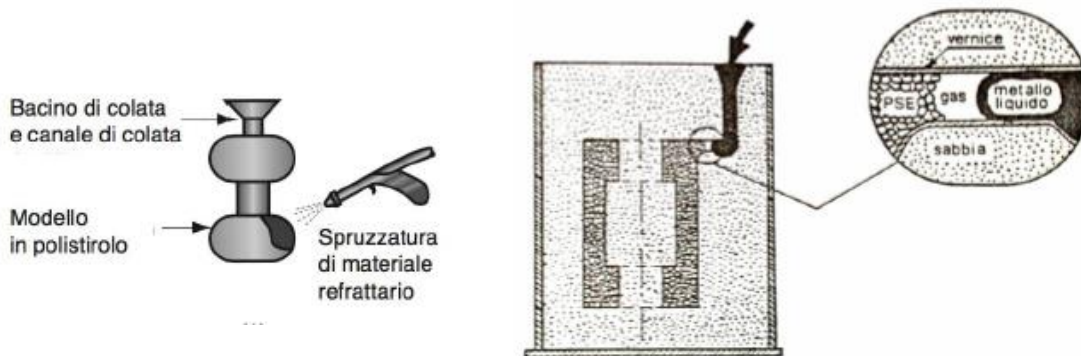
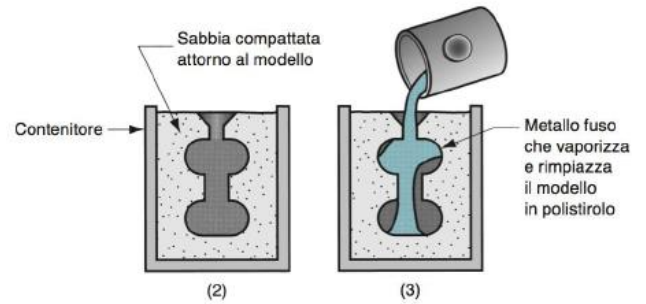
Lo svantaggio invece è che occorre un modello in metallo più costoso del corrispondente modello per forma in sabbia verde. Questo tipo di colata può essere utilizzata in diversi campi di applicazione. È difficilmente giustificabile per piccoli lotti di produzione, è automatizzata per la produzione di massa ed è molto economico per grandi quantità e infine è indicato per grezzi di acciai di dimensioni medio-piccole

## Colata in polistirene espanso

Il processo di colata in polistirene espanso utilizza una forma di sabbia pressata attorno a un modello di polistirene espanso cioè un materiale economico e semplice da modellare, che evapora quando il metallo fuso viene colato nella forma. Utilizzando questo tipo di colata si

salata una fase del processo di formatura cioè quella di estrazione del modello; evidentemente, non ci saranno problemi di sottosquadro, né problemi sul piano di separazione delle staffe. Dal momento che il modello evapora a contatto con il metallo fuso non potrà essere riutilizzato; inoltre non si riescono a fare delle cavità a meno di usare un altro materiale refrattario per la realizzazione delle anime. In questo tipo di colata il principale problema è riuscire a far avvenire correttamente la fuoriuscita del gas: la quantità di gas che si crea risulta maggiore rispetto agli altri processi di colata a causa di quello generato dall'evaporazione del polistirene espanso. Un'altra cosa da tener presente è che aumentano i tempi di colata, anche di un ordine di grandezza, perché il metallo trova un ostacolo in più. Nel modello in polistirene sono inclusi anche i sistemi di colata e di alimentazione. Per pezzi unici, il polistirene è tagliato manualmente da grandi fogli e assemblato per formare il modello. Per grandi quantità, si possono utilizzare processi di stampaggio automatizzato. Il modello di polistirene espanso viene poi rivestito di materiale refrattario; tale elemento ha un duplice obiettivo:

1. Migliore la capacità di fare adattare la forma al modello e ottenere così una migliore replica della geometria del modello stesso durante la fase di colata.
2. Permette alla forma di resistere durante il fenomeno di colata: al contrario di ciò che si potrebbe pensare, non vi è mai contatto tra il polistirene espanso e il metallo. nel momento in cui si fa la colata si genera uno strato di gas tra il metallo e il polistirene che evapora prima di entrare in contatto con il metallo fluido. Se il modello non fosse rivestito con il materiale refrattario il gas che separa i due materiali potrebbe evacuare nella forma e la forma quindi potrebbe cedere nello spazio vuoto che si formerebbe a causa dell'assenza del gas.



Dunque i vantaggi di questo tipo di colata sono:

- Non sussistono le problematiche dovute all'estrazione del modello poiché il modello stesso diventa la cavità della forma
- Il modello non deve essere rimosso dalla forma, ciò semplifica e accelera la progettazione e costruzione dello stesso

Gli svantaggi invece sono:

- Necessità di un modello per ogni getto
- Necessità di elevata porosità della forma
- Ridotte velocità di colata

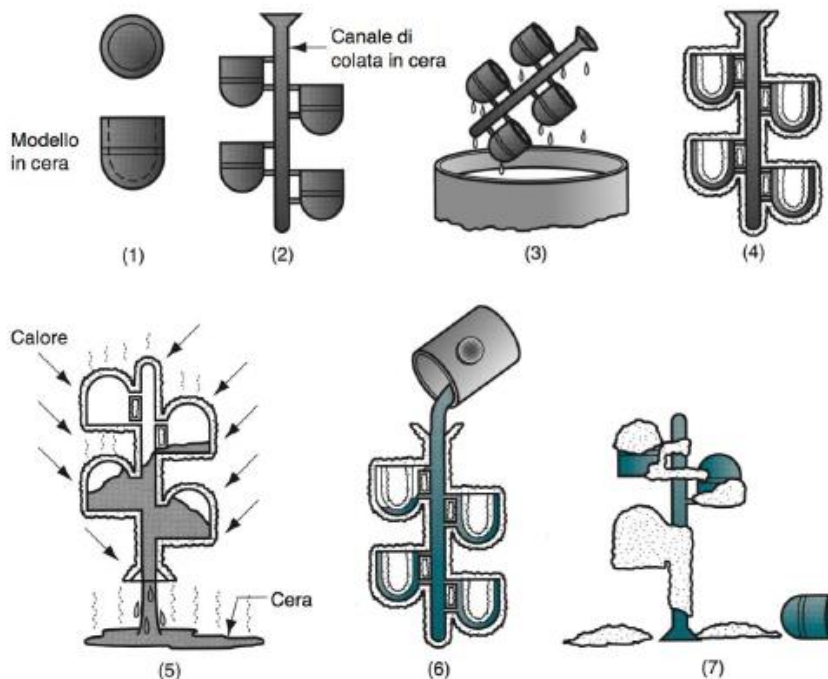
Questo tipo di colata è utilizzato per la produzione di massa di componenti di motori per automobili, in cui si utilizzano sistemi automatizzati per realizzare i modelli in polistirolo. È un processo competitivo se si producono dei modelli uguali e quindi tramite automatizzazione.

### Microfusione

La microfusione, o fusione a cera persa, è un processo di colata in cui il modello realizzato in cera viene rivestito da un materiale refrattario per creare un guscio. Il modello poi si scioglie prima della colata del metallo fuso. È un processo per pezzi di dimensioni ridotte ma che hanno

un'ottima finitura superficiale. Esistono due principali metodi per effettuare la microfusione, l'investment casting e un altro processo che consiste nel:

1. Realizzazione di un modello in cera del pezzo. I fori di diametro, anche molto piccolo, possono essere realizzate con anime in quarzo che vengono inglobate nel modello di cera.
2. Assemblaggio di una serie di modelli attorno al canale di colata: questa struttura prende il nome di grappolo
3. Immersione di questo modello in bagni di materiale legante, di solito termoindurente, e refrattario di granulometria crescente (vicino al pezzo si usa una sabbia fine, man mano che ci si allontana la granulometria aumenta). Il primo strato permette l'adesione al modello mentre gli altri servono per la robustezza.
4. Si inizia a indurire il materiale attorno al modello
5. A questo punto si ribalta la struttura e la si porta in forno. Il guscio grazie al legante termoindurente si indurisce con l'aumentare della temperatura e nel frattempo la cera si scioglie e fuoriesce dal guscio attraverso il canale di colata
6. Il guscio è ora pronto quindi si può realizzare la colata. Si sfrutta il corpo generale del grappolo come canale di colata, come sistema di distribuzione e come materozze
7. Si ottiene così il pezzo



I vantaggi di questo tipo di colata sono:

- Possibilità di realizzare pezzi molto complessi e precisi
- Possibilità di raggiungere un buon controllo dimensionale e una buona tolleranza
- Possibilità di ottenere una buona finitura superficiale
- Possibilità di recupero della cera per un nuovo utilizzo
- Di solito non sono necessarie lavorazioni successive per rifinire il pezzo trattandosi di un processo near net shape

Il principale svantaggio è il costo e la necessità di molte operazioni manuali. Tale processo viene usato per la realizzazione di pezzi di piccole dimensioni. Tutti i tipi di metalli possono essere colati in microfusione. Con questa tecnica possono essere realizzati vari oggetti, come componenti meccanici complessi, le palette o altri componenti dei motori a turbina, i gioielli e le protesi dentali.

### Colata in gesso e in ceramica

La colata in gesso ha un procedimento simile a quello della colata in sabbia; la cosa che cambia è il materiale di cui è fatta la forma. Nella colata in gesso la forma è fatta di gesso mentre in quella in ceramica è costituita da ceramica. La realizzazione della forma è ottenuta grazie a una miscela di gesso e acqua che viene versata su un modello di plastica o di metallo posto in un contenitore

e poi fatta indurire. La forma in ceramica è in grado di sopportare temperature più elevate del gesso quindi può essere usata anche per colare acciai, ghise e altre leghe ad alta temperatura., I vantaggi di queste due colate sono:

- La consistenza fluida della miscela di gesso permette di scorrere facilmente intorno al modello, riproducendo i dettagli della superficie
- Buona finitura superficiale
- Buona accuratezza dimensionale e possibilità di realizzare sezioni sottili

Gli svantaggi invece sono:

- L'indurimento dello stampo di gesso è uno dei maggiori svantaggi di questo processo, almeno per produzioni elevate
- La robustezza della forma diminuisce se il gesso diventa troppo disidratato, ma un'umidità troppo alta può causare dei difetti al pezzo durante la colata
- La forma non è permeabile, quindi non permette l'uscita del gas dalla cavità
- Le forme in gesso non sono in grado di supportare le temperature elevate sopportate dalla forma in sabbia

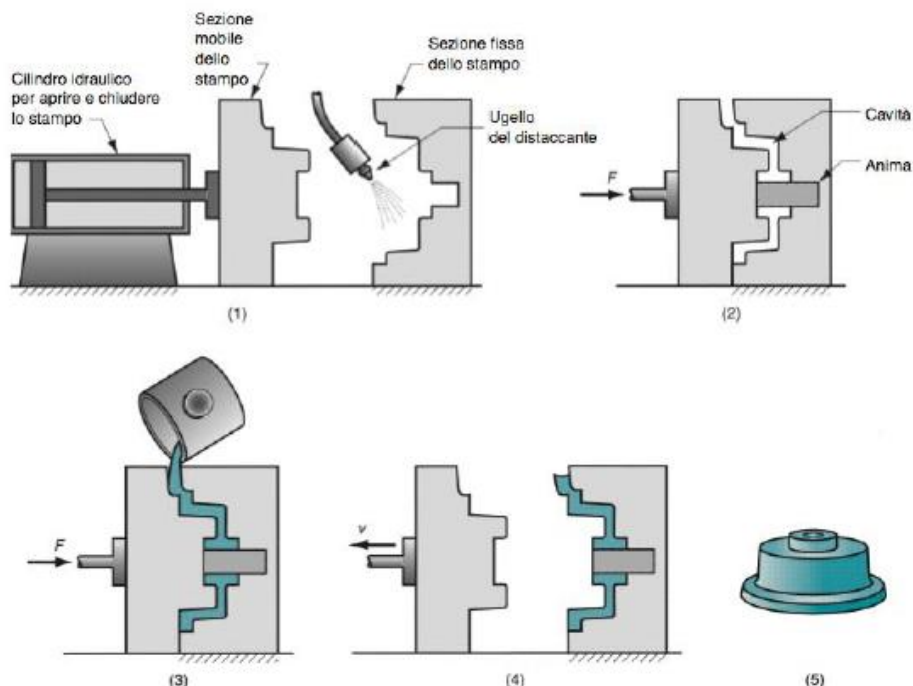
Tali tipi di colata vengono usati per la realizzazione di pompe, turbine e altre parti a geometria relativamente complessa. Le dimensioni dei pezzi possono variare da 20g a più di 100kg.

## Processi in forma transitoria

### Colata in conchiglia

Nella colata in conchiglia si utilizzano uno stampo metallico costituito da due semi-stampi progettati perché vengano aperti e chiusi con semplicità: normalmente uno di questi due semi-stampi è mobile mentre l'altro risulta essere fisso. Di solito questi stampo sono realizzati in acciaio o in ghisa. Il processo avviene come segue:

1. Si spruzzano le superfici interne dei due semi-stampi con un distaccante così da togliere eventuali residue metallici a valle della precedente lavorazione e favorire l'estrazione del getto dalla forma
2. Si chiude lo stampo aggiungendo, se necessario, delle anime, tipicamente metalliche
3. Si realizza la colata per gravità. Il metallo che si cola, ovviamente, ha una temperatura di fusione inferiore a quella del materiale di cui è costituito lo stampo
4. Si apre il semi-stampo mobile e si estrae il getto
5. Si ottiene il pezzo finale





La colata in conchiglia è un processo piuttosto economico se si ottimizza il tempo ciclo cioè il tempo tra una colata e la successiva; dunque limitando il tempo ciclo può valer la pena intraprendere tale processo a fronte dei costi di mantenimento e quelli di produzione che risultano essere piuttosto elevati. Per grandi lotti può dunque risultare un'ottima soluzione. È importante notare che con questo tipo di colata non si possono avere zone massive nel getto né, tanto meno, uno spesso disomogeneo: il coefficiente di scambio termico deve essere simile in tutte le parti del pezzo così da evitare la formazione di cricche o altre problematiche. In questo processo il coefficiente di scambio termico è molto elevato: se da una parte ciò è un vantaggio perché comporta una solidificazione più veloce del getto che implica delle proprietà meccaniche migliori, dall'altra comporta delle problematiche durante la solidificazione come il ritiro. Altra cosa interessante da notare è l'assenza di materozze: di fatto il problema delle materozze non sussiste perché non si usa questa metodologia per pezzi massivi o meglio. Per l'eventuale ritiro il sistema di colata funge da materozza.

I vantaggi di questo processo sono:

- Una buona finitura superficiale e un ottimo controllo dimensionale
- La solidificazione più rapida permessa dagli stampi in metallo consente di ottenere una struttura a grana fine, che corrisponde a una maggior robustezza del pezzo

Gli svantaggi invece sono:

- Il processo si applica generalmente solo a metalli con basso punto di fusione
- Le limitazioni rispetto alle forme in sabbia sono il poter creare geometrie meno complesse a causa della necessità di aprire lo stampo ed estrarre il pezzo
- Il costo dello stampo è elevato
- Non si possono colare acciai

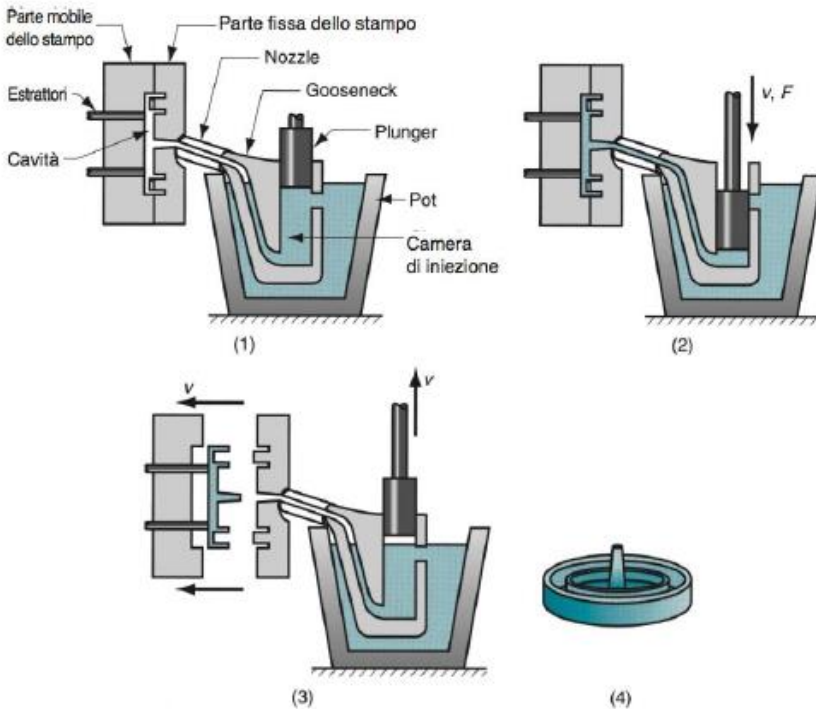
I processi a stampi permanente sono di solito usati per alti volumi di produzione, che quindi consentono una forte automazione. Esempi di grezzi realizzati con questo processo sono i pistoni delle automobili, i corpi delle pompe e alcune parti di aerei e missili.

## **Pressofusione**

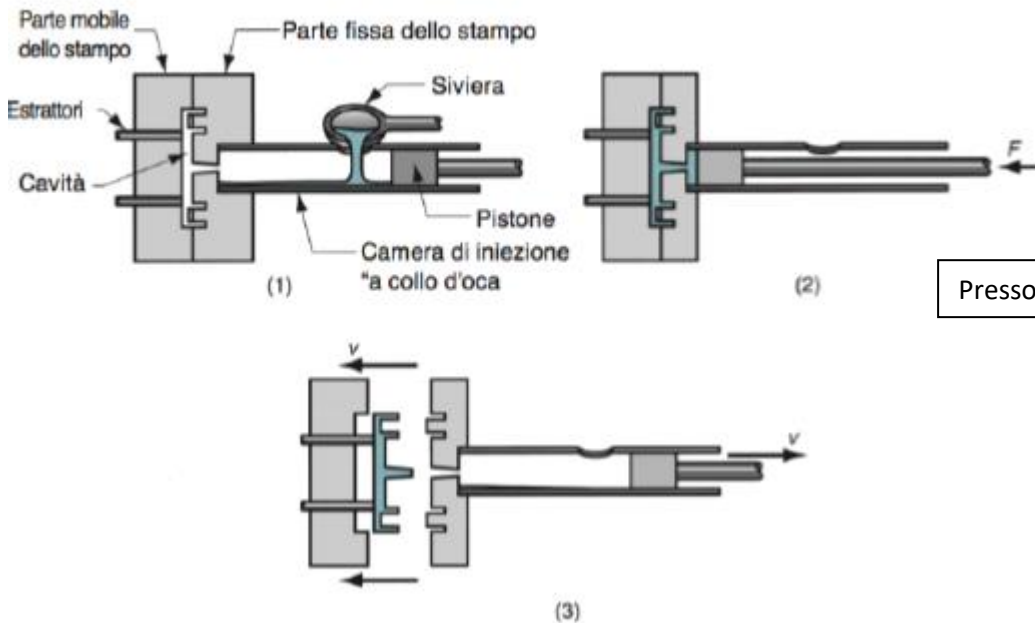
La pressofusione è un processo di colata in forma permanente in cui il metallo fuso viene iniettato nella cavità dello stampo ad alta pressione, tipicamente da 7 a 350 MPa, e non colato. È un tipo di colata molto utilizzata poiché è veloce in quanto ha un tempo ciclo estremamente elevato. Durante la fase di solidificazione la pressione viene mantenuta costante così da compensare eventuali ritiri che possono generarsi. Quando tutto si è solidificato, si rimuove la pressione, si apre lo stampo e si estrae il getto. Il processo è fortemente automatizzato: lo stampo è montato su un sistema che è in grado di produrre i pezzi in continuo senza bisogno dell'intervento umano. In questo tipo di colata il limite è la geometria del pezzo che non deve essere massiccio. Ci sono due modalità principali per la realizzazione di tale processo:

- Pressofusione in camera calda = nelle macchine a camera calda il metallo viene fuso in un crogiolo collegato alla macchina e poi un pistone inietta il metallo fuso ad alta pressione nello stampo. Nel crogiolo dunque il materiale metallico viene mantenuto sempre in temperatura: il sistema di iniezione è molto sollecitato poiché è sommerso dal metallo fuso. La temperatura del bagno fuso non può quindi essere troppo elevata. Sulla superficie del bagno fuso si creerà una pelle di metallo che non permette il contatto tra il metallo fuso e l'aria: in questo modo nel metallo non si formano le gocce fredde
- Pressofusione in camera fredda = Nelle macchine a camera fredda, il metallo fuso viene colato da una siviera esterna in una camera di fusione non riscaldata, poi un pistone inietta il metallo ad alta pressione nello stampo. Nella siviera è presente solo la quantità di metallo fuso sufficiente alla produzione di pochi getti. In questo tipo di pressofusione il pistone è molto meno sollecitato e non è soggetto ad usura poiché non è continuamente immerso nel metallo. Essendo meno sollecitato e non essendo sottoposto ad attriti il pistone ha una velocità maggiore rispetto a quella delle macchine a camera calda. Lo svantaggio di questa tipologia di pressofusione è la gestione delle scorie: il materiale metallico nella siviera è a contatto con l'aria quindi si formano delle gocce fredde cioè delle gocce di metallo fuso che si distaccano dal liquido: le gocce hanno infatti un volume ridotto e una superficie di

scambio termico elevato e quindi il liquido che costituisce le gocce si solidificherà prima del resto del metallo fuso.



Pressofusione in camera calda



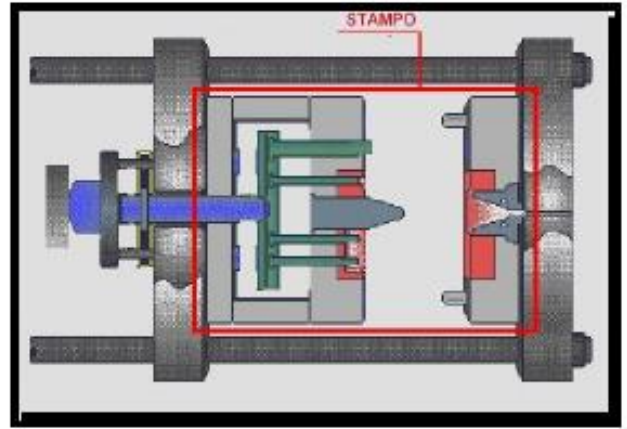
Pressofusione in camera fredda

Analizziamo ora più nel dettaglio lo stampo utilizzato nella pressofusione. Lo stampo può resistere a pressioni estremamente elevate poiché è costituito da una parte fissa e da una parte mobile (resiste alle elevate pressioni grazie anche alla sua dimensione; generalmente per la produzione di un oggetto relativamente piccolo si utilizza uno stampo di dimensioni elevate). Quando la parte mobile ha raggiunto la corsa desiderata il tampone va in battuta contro un fermo e spinge avanti la piastra di estrazione sulla quale sono collegati gli estrattori. Dal momento che lo stampo in metallo non ha porosità naturale poiché il metallo fuso scorre rapidamente durante l'iniezione, occorre progettare degli opportuni fori di ventilazione e prese d'aria collocate sulla linea di divisione dello stampo per far fuoriuscire l'aria e i gas. Tali canali di

diametro molto ridotto permettono l'evacuazione dei gas grazie al fenomeno di capillarità. Dunque gli stampi presentano:

- Estrattori
- Canali di raffreddamento
- Vie di fuga per i gas
- Una zona mobile e una fissa

È importante sottolineare che lo stampo ha un costo elevato, ma può essere riparato mediante processi di laser cutting. Generalmente gli stampi vengono realizzati per fonderia e asportazione di truciolo. Lo stampo è principalmente di acciaio per le leghe metalliche oppure in tungsteno e molibdeno se invece va colata l'acciaio.



I vantaggi della pressofusione sono:

- Alto tasso di produzione raggiungibile e quindi processo economico per grandi quantitativi di produzione
- Tolleranze dimensionali molto strette
- Buona finitura superficiale
- Spessori molto sottili
- Raffreddamento rapido, che conferisce una granulometria fine e buone proprietà meccaniche al pezzo

Lo svantaggio principale è la limitazione nella geometria del componente, che deve essere estratto con facilità dallo stampo. I processi a stampo permanente sono di solito usati per alti volumi di produzione, che quindi consentono una forte automatizzazione. Esempi di pezzi realizzati con questo processo sono componenti del sistema frenante auto, cerniere per arredamento, componenti per motori elettrici e pompe.

### Colata centrifuga

La colata centrifuga è un altro processo di colata in pressione. È un metodo di colata in cui lo stampo viene ruotato ad alta velocità in modo che la forza centrifuga distribuisca il metallo fuso nella cavità dello stampo. Il metallo liquido viene versato, mediante un bacino di colata, all'interno di una conchiglia metallica cilindrica rotante lungo il proprio asse. La rotazione viene effettuata mediante due rulli: uno motorizzato e l'altro libero. L'asse deve essere orizzontale. Quando solidifica il tubo si contrae e può essere facilmente estratto dalla conchiglia. La superficie interna è sicuramente cilindrica, mentre all'esterno il materiale assume la forma dello stampo. È un processo utilizzato principalmente per la realizzazione di tubi. Lo stampo è una matrice cilindrica cava: il diametro interno della matrice è pari al diametro esterno del tubo. La problematica principale è il controllo del diametro interno e quindi dello spessore del tubo. Per avere una buona aderenza del metallo liquido sulla superficie interna dello stampo, la forza centrifuga deve compensare la forza di gravità:

Forza centrifuga:  $F_c = \frac{mv^2}{R}$

Forza di gravità:  $W = mg$

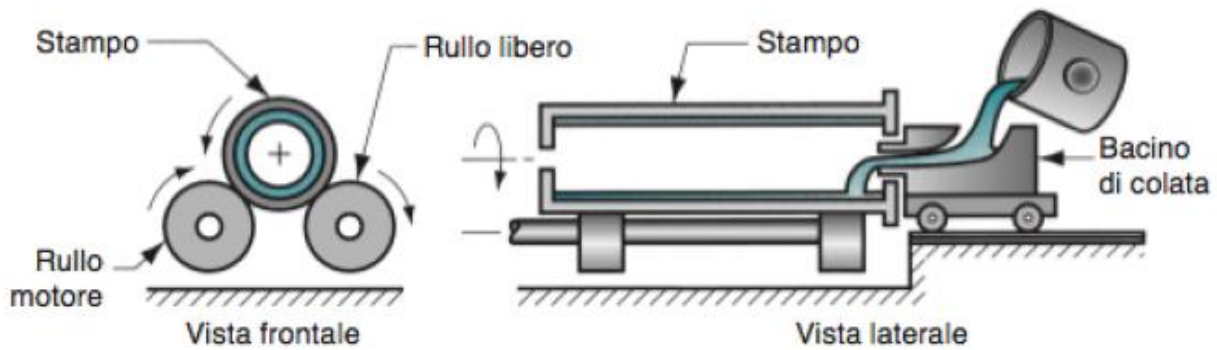
GF (G factor):  $GF = \frac{F_c}{W} = \frac{v^2}{gR} = \frac{\left(\frac{2\pi RN}{60}\right)^2}{gR}$

Numero giri:  $N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$

Dove:

m massa  
v velocità

R raggio interno della matrice  
g forza di gravità  
N numero di giri



I vantaggi della colata centrifuga sono:

- Le colate centrifughe sono caratterizzate da alte densità, in particolare in corrispondenza della superficie dove la forza centrifuga è massima
- La contrazione esterna dovuta alla solidificazione non è importante, poiché la forza centrifuga rialloca continuamente il metallo fuso verso la parete dello stampo durante la solidificazione. Le eventuali impurità tendono a concentrarsi sulla parete interna e se necessario possono essere facilmente rimosse mediante asportazione di truciolo

Il principale svantaggio è la difficoltà nel controllo dei diametri interni, per ovviare a questo problema si cola il metallo necessario a ricoprire il volume necessario ad avere un determinato spessore, tenendo sempre conto dell'eventuale ritiro. Tale tipo di colata viene utilizzata per la realizzazione di tubi saldati di lunghezza elevata, per quanto riguarda la configurazione orizzontale. La configurazione verticale invece viene utilizzata per la realizzazione di piccoli pezzi di lunghezza non superiore a due volte il diametro il cui GF deve essere piuttosto elevato.

### Colata in bassa pressione

L'ultimo tipo di colata in pressione è la colata in bassa pressione. In questo processo la pressione è relativamente ridotta. In tale tipo di colata il metallo fuso viene iniettato nella cavità a una pressione bassa, dal basso verso l'alto. Il vantaggio di questo approccio rispetto alla colata tradizionale è che il metallo fuso viene introdotto nello stampo direttamente dal crogiolo senza essere esposto all'aria. In questo modo si minimizzano la porosità e i difetti di ossidazione e anche le proprietà meccaniche del grezzo di conseguenza sono migliori. Non può essere utilizzato per la realizzazione di pezzi massicci. Migliore le caratteristiche meccaniche rispetto alla colata in conchiglia. Si deve creare il vuoto all'interno dello stampo cosicché il metallo possa fluire al suo interno.

