

Meccanismo di indurimento termico

Microfusione



FORMATURA IN FORMA PERMANENTE

FUSIONE IN FORMA PERMANENTE

Le tecniche di fusione in forma permanente si differenziano da quelle in forma transitoria per il fatto che **la forma è realizzata in lega metallica**, normalmente acciai legati o ghise speciali; in modo da essere utilizzata per un numero elevato di getti uguali. **L'elevato costo di lavorazione** di questo tipo di forma rende questi procedimenti economicamente giustificabili nella **produzione in serie**.

Questo tipo di formatura ben si presta all'automazione delle varie operazioni di colata, ma per ragioni di ingombro vengono colati solo **pezzi di dimensione medio – piccola**.

FUSIONE IN FORMA PERMANENTE: Caratteristiche

☺ **Forma realizzata in materiale metallico:**

- struttura cristallina dei getti sia fine, per effetto del rapido scambio termico tra la lega fusa e la conchiglia
- elevata resistenza meccanica del pezzo prodotto

☺ **Assenza della granulometria della sabbia:**

- getti di qualità elevata, sia come finitura superficiale che come precisione dimensionale, costante su tutta la produzione.

FUSIONE IN FORMA PERMANENTE: Caratteristiche

☺ Canali di sfogo

Poiché la conchiglia non presenta la porosità della forma transitoria necessaria per permettere all'aria e ad eventuali gas presenti di uscire dalla forma prima della solidificazione.

N.B.

La conchiglia va mantenuta sempre a temperatura costante per evitare distorsioni e variabilità nella struttura del getto.

FUSIONE IN FORMA PERMANENTE

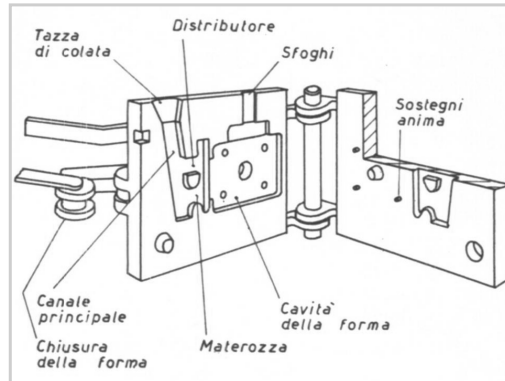
Si può fare una classificazione in base alla modalità in cui la forma viene riempita dalla lega fusa:

- Fonderia in conchiglia per azione della forza di gravità
- Fonderia in conchiglia sotto pressione (pressofusione)
- Formatura centrifuga

FUSIONE IN FORMA PERMANENTE

Conchiglia

Ha generalmente una forma semplice ed è costituita da due parti per consentire l'estrazione del getto. Per facilitare il montaggio sono previste su una di esse, le spine di acciaio di centramento.



FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

L'unica azione che spinge la lega fusa a riempire la conchiglia è la gravità: cioè si cola direttamente dal crogiolo nel bacino di colata realizzato nella conchiglia.

La conchiglia è in genere realizzata in **ghisa (G25, G30)**, non trattata, raramente in **acciaio**.

FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

- ✳ Lo **spessore minimo** di un getto ottenibile è intorno ai 4 mm, in funzione della fluidità della lega.
- ✳ La **finitura superficiale** ottenibile è di circa $Ra = 1,8 - 5 \mu m$.
- ✳ Occorre prevedere **angoli di sforno** pari a 3 gradi.
- ✳ La dimensione del **minimo diametro** ottenibile per fori è di 2mm.

FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

Materiali	Temperatura di colata (°C)	Temperatura della conchiglia (°C)
Leghe leggere	650	350
Bronzi di alluminio	1075	400
Ottoni	970	125
Ghise	1300 ÷ 1350	250 ÷ 350

Dimensioni nominali (mm)	Sovrametalli di lavorazione (mm)	Tolleranze (mm)
≤ 25	0,2 ÷ 2	± 0,20 ÷ 0,75
25 ÷ 100	0,8 ÷ 2	± 0,25 ÷ 0,75
100 ÷ 200	1 ÷ 2	± 0,50 ÷ 0,80
200 ÷ 250	1,5 ÷ 2,5	± 0,65 ÷ 1
250 ÷ 350	2 ÷ 2,5	± 0,75 ÷ 1,15
350 ÷ 450	2,5 ÷ 3	± 0,90 ÷ 1,25
450 ÷ 510	2,5 ÷ 3	± 1 ÷ 1,55

FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

Progettazione Sistema di colata

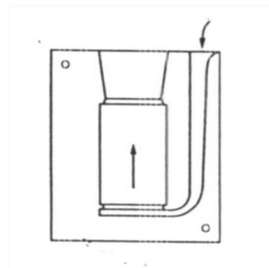
- Devono essere ridotte le turbolenze, che provocano intrappolamenti d'aria con conseguenti soffiature ed ossidazione.
- Occorre evitare che la vena fluida, entrando nella forma, provochi spruzzi, che possono provocare difetti localizzati.
- Per evitare intrappolamenti d'aria e per assicurare un riempimento più dolce della forma, bisogna prevedere un basculamento della conchiglia.
- Il dimensionamento dei canali di colata deve essere fatto in modo che il tempo di colata sia minore del tempo di solidificazione delle parti più sottili del getto.

FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

Tipologia dei sistemi di colata

■ Sistema in sorgente

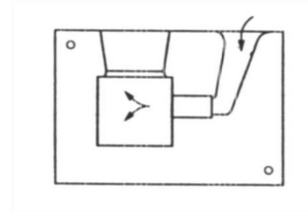
assicura un riempimento con poca turbolenza ed una buona evacuazione dell'aria. Il modello deve percorrere un tragitto più lungo che negli altri casi, arrivando più freddo nella materozza. La soluzione di aumentare la temperatura di colata aumenta il rischio di ossidazione e diminuisce la durata della conchiglia



FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

■ Sistema laterale

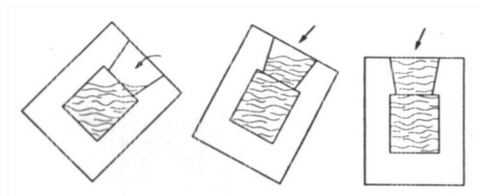
è molto usato con le leghe leggere, la lega ha un'altezza di caduta ridotta e una migliore solidificazione direzionale. Il canale di colata è inclinato rispetto alla superficie superiore per favorire il basculamento. E' presente però una dissimmetria nella distribuzione della temperatura.



FONDERIA IN CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

■ Sistema dall'alto

è il migliore dal punto di vista della solidificazione direzionale e permette di usare materozze ridotte o costituite dal canale di colata stesso. Esiste tuttavia il pericolo di spruzzi che provocano il difetto delle gocce fredde, per cui questo sistema è ottimo per le conchiglie di altezza ridotta che vengono basculate durante la colata.



PRESSOFUSIONE

Questi procedimenti si differenziano dal precedente per il fatto che la lega fusa viene iniettata con una certa pressione nella conchiglia. Ciò richiede l'uso di macchine di notevole costo, per cui tali procedimenti sono utilizzati solo per produzioni di grandi serie, nel caso in cui si vogliono realizzare

- getti a basso costo unitario di notevole finitura superficiale (**$Ra = 0.8 - 1.5 \mu m$**)
- elevate caratteristiche meccaniche derivanti da una struttura fine e compatta
- tolleranze ridotte, tanto da ridurre al minimo le lavorazioni meccaniche successive.

PRESSOFUSIONE - caratteristiche

- L'iniezione della lega con una forte pressione permette di ottenere getti con spessori più sottili.
- La durata delle conchiglie è di 100.000 – 200.000 pezzi.
- Tolleranze geometriche circa +/- 0.1% – 0.2% della quota
- Pesi limitati ($\cong$ 10 kg per leghe Al e Zn, 5 kg per leghe di Mg)
- Il materiale delle conchiglie è:
 - acciaio legato per le leghe di alluminio, magnesio e rame,
 - acciaio al carbonio per le leghe di stagno, piombo e zinco.

PRESSOFUSIONE

La formatura sotto pressione può essere eseguita principalmente secondo due tecniche:

- a camera calda
- a camera fredda

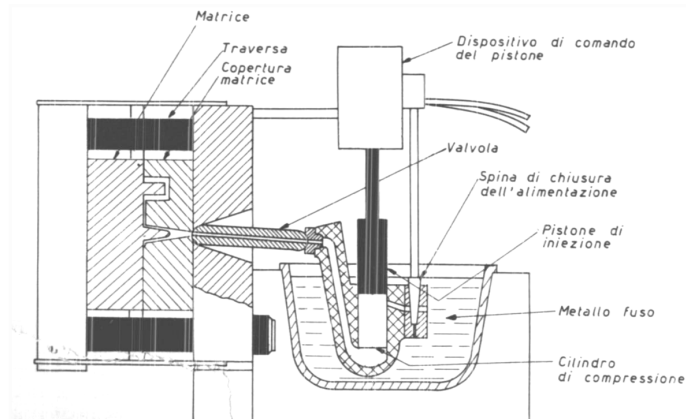
Hanno in comune alcuni dispositivi:

- Una pompa in cui il metallo viene pressurizzato ed inviato alla matrice
- Un telaio per l'apertura e la chiusura della matrice

Le due tecniche si differenziano a seconda che la camera di riscaldamento del metallo fuso sia o meno parte integrante della macchina.

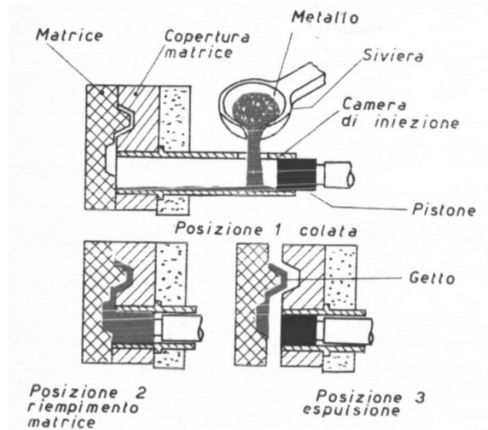
PRESSOFUSIONE

Nel processo **a camera calda** il sistema di pompaggio è costituito da un cilindro immerso nel metallo fuso e da un pistone che invia il metallo nella forma attraverso una valvola, mentre la corsa di ritorno apre il passaggio al liquido circostante che riempie il cilindro.



PRESSOFUSIONE

Nel processo a **camera fredda** il metallo viene colato da un crogiuolo in una camera di trasferimento, ed iniettato nella forma spinto da una pistone. Dopo la solidificazione si apre la forma e si estraggono le anime mentre un iniettore spinge il getto all'esterno.



PRESSOFUSIONE

- Camera calda:
 - migliore controllo della temperatura della lega
 - elevata capacità produttiva (1000 pz/ora su pezzi medi)
 - la temperatura del bagno fuso non può essere troppo elevata
- Camera fredda:
 - capacità produttiva limitata (150 pz/ora su pezzi medi)
 - la temperatura del fuso può essere più elevata

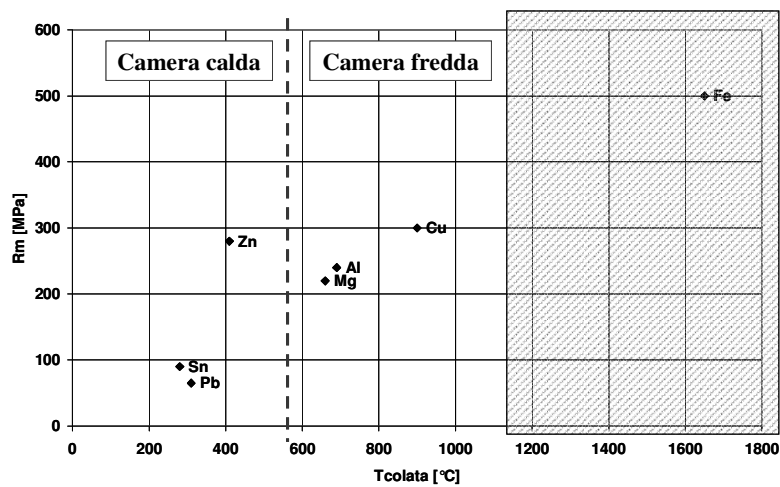
PRESSOFUSIONE (leghe di alluminio)

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

CONCHIGLIA PER GRAVITÀ

Dimensioni nominali (mm)	Sovrametalli di lavorazione (mm)	Tolleranze (mm)
≤ 25	0,2 ÷ 2	± 0,20 ÷ 0,75
25 ÷ 100	0,8 ÷ 2	± 0,25 ÷ 0,75
100 ÷ 200	1 ÷ 2	± 0,50 ÷ 0,80
200 ÷ 250	1,5 ÷ 2,5	± 0,65 ÷ 1
250 ÷ 350	2 ÷ 2,5	± 0,75 ÷ 1,15
350 ÷ 450	2,5 ÷ 3	± 0,90 ÷ 1,25
450 ÷ 510	2,5 ÷ 3	± 1 ÷ 1,55

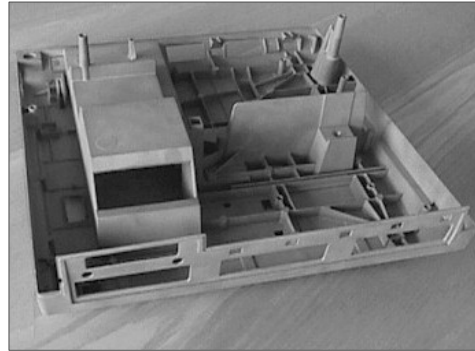
PRESSOFUSIONE – I materiali



PRESSOFUSIONE – I prodotti



Leva di accensione moto
(Lega di alluminio)



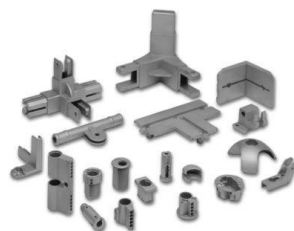
Telaio per elettrodomestico.
(Lega di alluminio)

PRESSOFUSIONE – I prodotti

Leghe Zn – Al – Mg



Pneumatica



Mobili- arredo



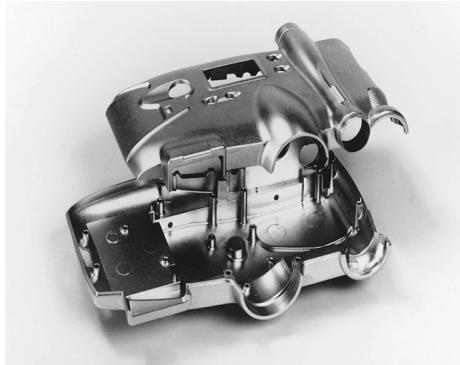
Automotive



Elettrodomestici

PRESSOFUSIONE – I prodotti

Leghe di Mg



Corpo macchina fotografica
Lega di magnesio

PRESSOFUSIONE

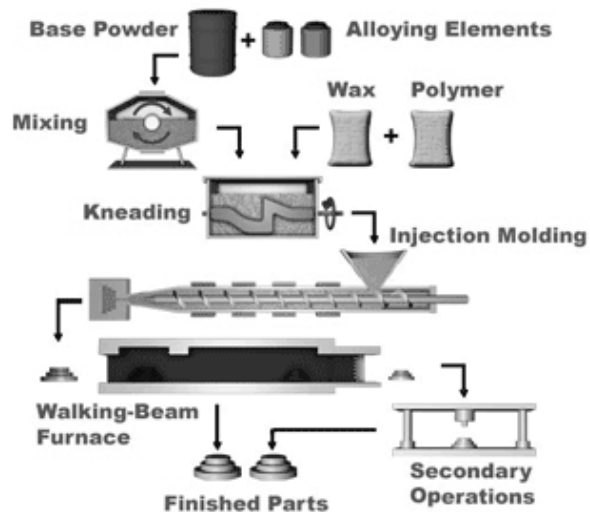
■ Vantaggi

- elevata capacità produttiva
- tolleranze geometriche strette
- buona finitura superficiale
- ridotta porosità
- ottima riproducibilità

■ Limiti:

- peso e dimensioni del getto limitati
- necessità di realizzare il pezzo senza parti massicce ma con nervature
- elevato costo dello stampo e della pressa
- non si può colare acciaio o ghise

Metal Injection Molding (MIM)



FORMATURA CENTRIFUGA

La formatura centrifuga è un processo in cui il metallo viene introdotto in una forma che ruota, pertanto le operazioni di formatura hanno luogo sotto l'azione della **forza centrifuga**, che provvede:

- alla distribuzione del metallo nella forma
- all'alimentazione in fase di solidificazione
- alla separazione dei gas disciolti e delle impurezze

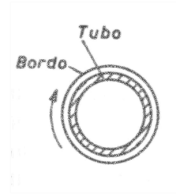
Con la denominazione di formatura centrifuga si intende fare riferimento a tre diversi processi:

Colata centrifuga; Colata semicentrifuga; Colata con centrifugazione



FORMATURA CENTRIFUGA

La **colata centrifuga** è destinata alla fabbricazione dei corpi cavi in cui la rotazione della forma intorno al proprio asse determina la configurazione del getto. Lo spessore dipende dal volume di metallo colato e non sono necessarie materozze né anime



La **colata semicentrifuga** è usata per realizzare getti con diametro interno variabile o spessore non costante, per i quali non sono necessarie anime e materozze

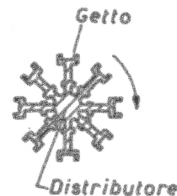


FORMATURA CENTRIFUGA

Colata con centrifugazione

Più forme di piccole dimensioni sono collegate ad un medesimo canale di colata che coincide con l'asse di rotazione.

La forza centrifuga ha la funzione di distribuire il metallo e di fornire la pressione di alimentazione ma non determina la configurazione del getto



FORMATURA CENTRIFUGA

I parametri di processo sono:

- La velocità di rotazione
- La temperatura
- la velocità della colata
- La temperatura della forma

Un aumento della **velocità di rotazione** consente di ottenere strutture più fini, ma aumenta il pericolo di cricche a caldo, pertanto essa deve essere minima anche per motivi di sicurezza e di economia. Valori inferiori a quello ritenuto minimo sono da evitare poiché provocherebbero il distacco di gocce di metallo.

FORMATURA CENTRIFUGA

La **Temperatura di colata** determina strutture fini se è bassa, mentre se è alta favorisce l'accrescimento colonnare in molte leghe. Essa deve essere sufficientemente elevata da garantire la necessaria fluidità del metallo evitando strutture grossolane ed il rischio di cricche a caldo.

La **velocità di colata** non deve essere eccessiva, in modo che sia favorita la solidificazione direzionale, ridotta la turbolenza ed il rischio delle cricche a caldo.

La **temperatura della forma** interviene prevalentemente sulla sua espansione che è causa di cricche, infatti essa avviene contemporaneamente alla contrazione del getto, che non essendo più sostenuto diventa sede di sollecitazioni circonferenziali.

Le **condizioni ottimali** si realizzano con valori bassi della velocità e della temperatura di colata, oltre che con il preriscaldamento della forma (300 °C), che riduce la velocità di espansione.

CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

Il confronto fra le diverse tecniche viene fatto al fine di scegliere quella più economica per fabbricare un determinato tipo di getto.

La valutazione dell'economicità si fonda sull'analisi di :

- Temperatura di fusione della lega
- Dimensioni del getto
- complessità del getto
- Numero di pezzi
- Tolleranze e finiture superficiali

CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

Se la **Temperatura di fusione della lega** è elevata conviene orientarsi verso quelle tecniche che usano forme in materiale refrattario (**fonderia in terra o a cera persa**).

Se la temperatura è bassa si può prendere in considerazione la formatura in conchiglia.

I **getti di dimensioni maggiori** vengono sempre fabbricati con le tecniche più semplici e quindi con la fonderia in terra, mentre per quelli più piccoli si può prendere in esame la fonderia in conchiglia o a cera persa. Quest'ultima è da considerarsi anche per i getti di forma complessa per i quali una fonderia in conchiglia potrebbe creare problemi di costo della forma metallica e di tempi per lo smontaggio.

CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

Un altro elemento fondamentale è lo **spessore minimo realizzabile**. Esso dipende dalla **finitura superficiale** della forma e dal modo in cui si introduce il metallo fuso. Queste condizioni trovano la migliore realizzazione nella fonderia in conchiglia (pressofusione) o nella fonderia semicentrifuga di forme realizzate a cera persa.

Le migliori condizioni di precisione dimensionale e finitura superficiale del getto vengono ottenute in conchiglia ma può essere utile anche una forma refrattaria, se sufficientemente rigida e realizzata con una terra a granulometria fine (cera persa).

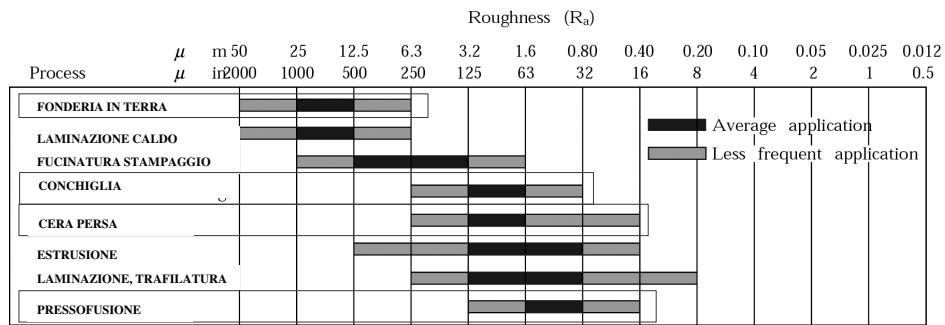
CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

In termini generali (1: buono, 5: pessimo)

Processo	Materiali colabili	Peso (kg)		Complessità forma	Precisione dimensionale	Spessore parete (mm)	
		Min	Max			Min	Max
Pressofusione	Non ferrosi	0.05	50	3-4	1	0.5	12
Conchiglia	Tutti (no acciaio)	0.5	300	3-4	1	2	50
Terra	Tutti	0.05	-	1-2	3	3	-
Cera persa	Tutti	0.005	10+	1	1	1	50

CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

In termini di finitura superficiale:



CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

In termini di costi:

	Costo			Capacità produttiva indicat. (pz/ora)
	Forma	Sistema	MdO	
Pressofusione	Alto	Alto	Medio Bassa	< 200
Conchiglia	Medio	Medio	Medio Bassa	< 60
Terra	Basso	Basso	Medio Bassa	< 20
Cera persa	Medio Alto	Medio Basso	Alta (*)	< 1000

(*) nella preparazione del grappolo

CONFRONTO FRA LE TECNICHE DI FABBRICAZIONE

ATTRIBUTO	MICROFUSIONE	MIM
Precisione (indicativa)	± 0.7 % della quota nominale	± 0.4 % della quota nominale
Costo dello stampo	Medio-basso	Medio-alto
Rugosità superficiale (Ra)	3.2	1.6
Scelta degli acciai	Illimitata	Limitata
Complessità geometrica ottenibile	Medio-alta	Alta
Peso componente	Max 5 Kg	Max 60 grammi
Livello di dettaglio ottenibile	Medio-alto	Alto
Dimensione Lotti	Flessibile	Alta
Proprietà meccaniche	Medesime	