

# Progettazione e validazione numerica di uno stampo per pressofusione

## parte 3

**Concludiamo, dopo gli articoli degli ultimi due numeri, l'analisi della solidificazione della colata e la soluzione di eventuali problemi riscontrabili in produzione**

**N**egli articoli precedenti, pubblicati su "Fonderia Pressofusione" nel n.4 del novembre 2009 e nel n.1 del marzo 2010, è stata analizzata la progettazione del sistema di colata e di aspirazione del vuoto dello stampo per pressofusione in fig. 1. L'obiettivo di questo ultimo articolo è quello di analizzare la solidificazione del getto e la formazione di eventuali porosità da ritiro al variare della temperatura



Fig. 1 Colata progettata.

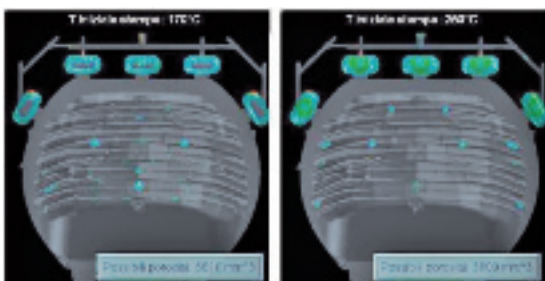
media iniziale dello stampo. Verranno poi presentati i risultati della campionatura e della messa in produzione dello stampo progettato, e la risoluzione di eventuali problemi di produzione attraverso l'ausilio della simulazione numerica.

### Temperatura dello stampo

La temperatura dello stampo è una delle variabili più discusse nel mondo della pressocolata e ogni fonderia adotta le sue teorie e i suoi metodi di produzione e controllo. Si possono distinguere, però, due metodi di lavoro principali:

- stampare con stampo caldo ( $T > 220 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- stampare con stampo freddo ( $T < 170 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

L'utilizzo di uno stampo "freddo" è dettato principalmente dal ritenere che la bassa temperatura lo preservi dal surriscaldamento. Questo porta, in realtà, a un maggiore stress termico dovuto ai ripetuti cicli (dettati dalla cadenza di produzione) in cui si passa da una temperatura molto calda durante la colata a una molto fredda durante lo spraying. Inoltre uno stampo freddo porta all'adozione di parametri



**Fig. 2 Porosità in simulazione variando la temperatura iniziale dello stampo.**

di produzione più spinti per avere tempi di riempimento più brevi, e porta quindi ad avere velocità agli attacchi di colata più elevate e fenomeni di erosione dell'acciaio come sarà spiegato più avanti. L'utilizzo di uno stampo "freddo" può essere considerato idoneo (tenendo in considerazione una durata di vita dello stampo inferiore alla media per via della maggior erosione) per la realizzazione di getti senza esigenze estetiche elevate, e per produzioni di grandissime serie visti i minor tempi ciclo dovuti alla solidificazione più rapida.

L'utilizzo di uno stampo "caldo", invece, favorisce il riempimento della cavità e permette di ottenere componenti esteticamente più lucenti senza difettosità visive. Per contro si ha un surriscaldamento dello stampo, soprattutto nella zona di colata, con la formazione più o meno frequente di metallizzazioni. L'utilizzo di uno stampo "caldo" è consigliato quando si devono produrre componenti estetici o componenti con ampie superfici ma pareti sottili.

Inoltre la variazione della temperatura dello stampo influisce

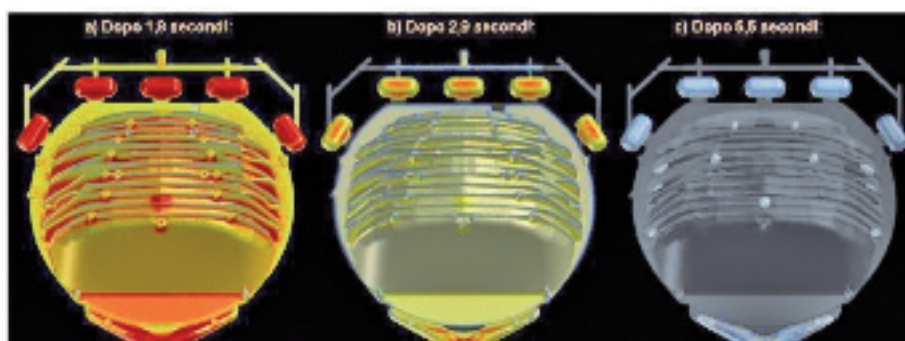
in modo diretto sulla formazione delle porosità da ritiro. Con il supporto della simulazione numerica è possibile osservare come varia la possibilità di formazione di porosità in colate realizzate variando la temperatura di partenza dello stampo.

Per l'esempio pratico analizzato in questo articolo si è proposto di utilizzare una temperatura dello stampo abbastanza elevata, principalmente per due motivi: 1 – il componente da realizzare richiede ottime caratteristiche estetiche e presenta zone a spessori molto sottili difficili da riempire se lo stampo fosse troppo freddo; 2 – come mostrato in **fig. 2**, effettuando la colata in uno stampo a 250 °C viene dimezzato il volume delle possibili porosità da ritiro.

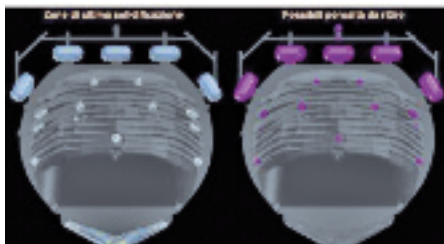
### Solidificazione del getto

Utilizzando i parametri di processo calcolati in precedenza e ipotizzando una temperatura media dello stampo a regime di 250 °C, è possibile effettuare un'analisi della solidificazione della colata.

È noto che una delle caratteristiche peculiari della pressofusione è l'ottenimento di pezzi aventi tolleranze dimensionali e geometriche molto ristrette. Questo è possibile grazie al fatto che, durante la solidificazione, il metallo non può ritirarsi spontaneamente in quanto è costretto dalla pressione di terza fase, applicata al pistone, ad aderire alle pareti dello stampo. Tale pressione si trasmette attraverso il metallo ancora liquido nella cavità, comprime il medesimo e alimenta il pezzo in via di solidificazione, riducendo il rischio di formazione di porosità da ritiro. In questo fenomeno giocano un ruolo fondamentale sia la temperatura della lega al termine del riempimento della cavità dello stampo, sia la geometria degli attacchi di colata e lo spessore della materozza (o biscotto). I primi devono solidificare il più tardi possibile per permettere al metallo ancora liquido di compensare il ritiro all'interno dello stampo mentre la materozza dovrà essere l'ultima parte del getto a solidificare



**Fig. 3 Solidificazione del getto.**



**Fig. 4** Ultime zone di solidificazione e porosità da ritiro.

come già analizzato nella prima parte di questo articolo pubblicata nel n. 4 del novembre 2009.

Dalle considerazioni appena effettuate si evince come la solidificazione del getto risulti un aspetto fondamentale nella previsione ed eliminazione delle possibili porosità da ritiro.

In fig. 3a si vede come le prime zone a solidificare siano le alette a spessore molto sottile come era naturale aspettarsi. Questo potrebbe essere un problema in sede di avvio produzione o campionatura, quando lo stampo potrebbe essere ancora a temperatura bassa e la lega iniziare la solidificazione prima di aver riempito completamente le alette. In fig. 3b è rappresentato lo stato della solidificazione dopo 3 secondi.

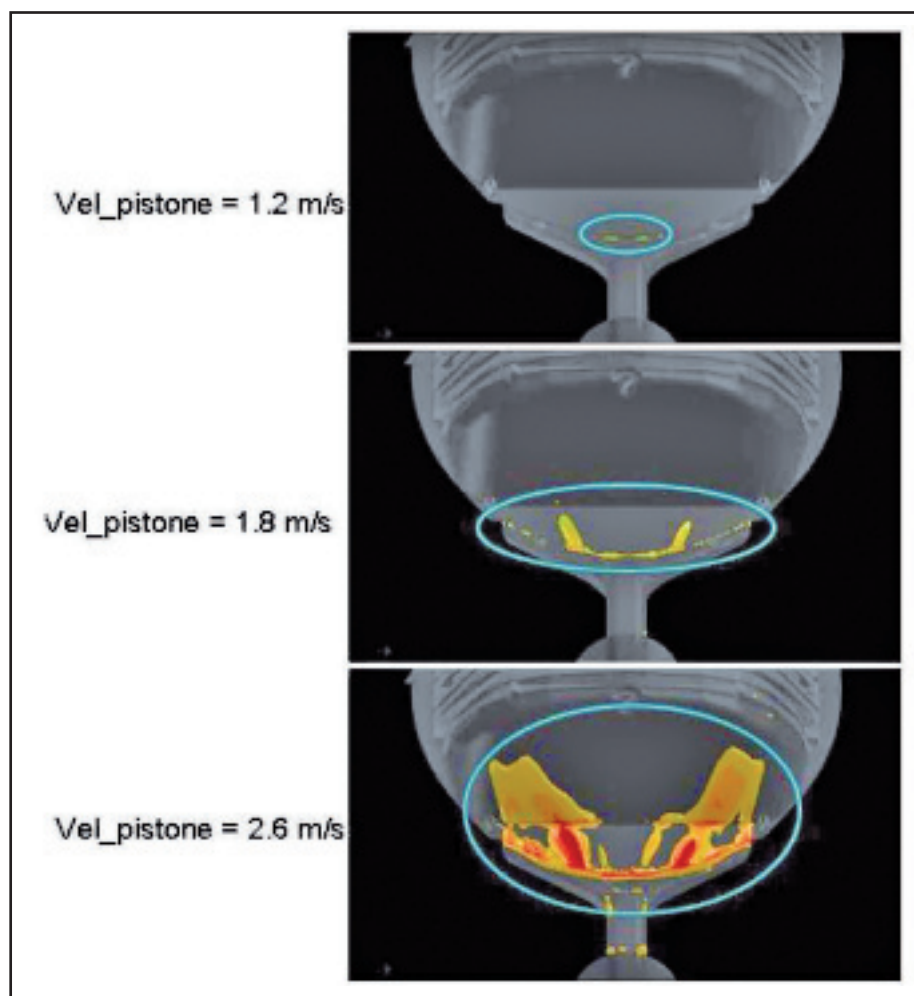
È importante valutare il momento in cui gli attacchi di colata sono completamente solidi perchè, da quell'istante in poi, la pressione di terza fase perde efficacia non riuscendo a compattare le zone ancora semiliquide all'interno del getto. Queste ultime zone a

solidificare sono mostrate nel fig. 3c. E sarà proprio in queste zone che sarà più probabile incontrare porosità da ritiro come mostra la fig. 4. Se la pressione di terza fase applicata al metallo sarà quella ottimale e le temperature saranno sufficientemente elevate da garantire la compensazione dei ritiri, queste porosità non saranno riscontrate in produzione.

## Erosione (corrosione) dello stampo

Uno dei principali motivi di usura di uno stampo da pressofusione è quello che gli americani chiamano "washout" (usura precoce), cioè un fenomeno di degradazione superficiale dovuto all'azione contemporanea di erosione, e corrosione.

L'erosione è un fenomeno dovuto



**Fig. 5** Rischio di washout al variare della velocità di seconda fase.

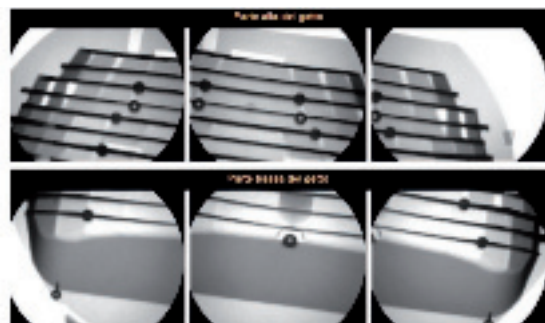


Fig. 6 Scopie della colata in campionatura.

principalmente all’impatto della lega fusa sullo stampo ed è quindi dipendente dalla velocità agli attacchi di colata e dalla temperatura con la quale la lega raggiunge lo stampo.

La corrosione è dovuta alla forte affinità delle leghe d’alluminio con il ferro. Questa forte affinità porta alla formazione di composti intermetallici Fe-Al-Si che tendono a creare un vero e proprio legame chimico tra stampo e colata. Durante la fase di estrazione questo legame verrà spezzato con conseguente formazione di microcavità sullo stampo.

L’importanza di questo fenomeno è legata al tipo di lega che si utilizza ed è tanto più rilevante quanto minore è la percentuale di Ferro presente nella lega stessa.

Per questo motivo si possono dividere le leghe da pressofusione in due macro-categorie, quelle aggressive nei confronti dello stampo e quelle non-aggressive (anche se sarebbe più corretto dire “meno aggressive”), e a seconda

della categoria si possono fissare dei limiti di velocità oltre i quali il rischio di usura precoce è elevato come mostrato in tab. 1.

A questo punto con l’ausilio della simulazione numerica è possibile analizzare come i parametri di processo influiscono sul rischio di “washout”. Partendo dalla velocità ottimale di seconda fase di 1,8 m/s (calcolata nei numeri precedenti) sono state effettuate altre due simulazioni a velocità del pistone differenti e si è analizzato il rischio di usura precoce nella fase più critica, cioè all’ingresso del metallo nello stampo.

Nell’immagine 5 si mostrano le zone della colata dove la lega a temperatura elevata supera la velocità limite e quindi dove il rischio di usura precoce è elevato.

Si osserva che utilizzando la velocità di progetto di 1.8 m/s le zone a rischio usura sono abbastanza grandi. Queste considerazioni saranno molto utili in fase di produzione poiché, una volta impostata la velocità ottimale sulla pressa

(1,8 m/s in questo caso) e controllato che i componenti prodotti siano perfettamente conformi alle specifiche, può risultare opportuno diminuire la velocità di seconda fase per

Temp Lega	680°C
Temp Stampo	250° C
Vel. I fase	0.2 m/s
Vel. II fase	1.8 m/s
Pressione III fase	280 bar

Tabella 2

diminuire il rischio di “washout” e allo stesso tempo continuando a controllare l’integrità dei pressofusi realizzati.

## Campionatura e produzione

Vengono ora mostrati i risultati della campionatura dello stampo progettato. La produzione della pre-serie è stata effettuata partendo dai parametri progettati in questa trattazione, come mostrato in tab. 2. È chiaro che la temperatura media dello stampo di 250 °C difficilmente sarà raggiungibile in sede di campionatura perché si devono realizzare pochi componenti e lo stampo non potrà raggiungere una condizione adeguata di regime termico.

Dopo 6 stampate si ottengono i primi componenti conformi al controllo visivo che vengono, quindi, analizzati ai raggi X per il controllo delle porosità. Il risultato è mostrato nella figura 6 dove si osserva che il componente, risulta compatto e praticamente privo di porosità.

Gli unici due punti in cui è possibile

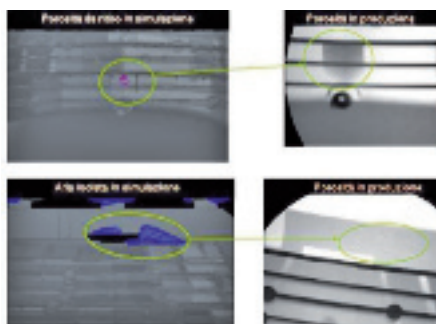
	CONTENUTO Fe	ESEMPIO LEGA	VELOCITA' LIMITE
LEGHE NON - AGGRESSIVE	> 0.6 %	EN AC 46100	30 - 35 m/s
LEGHE AGGRESSIVE	< 0.3 %	EN AC 43000	45 - 50 m/s

Tabella 1

osservare qualche difetto sono quelli mostrati in **fig. 7**. Sono due piccole zone in cui, in questa fase di campionatura, sono presenti porosità. Esse sono imputabili a due diversi motivi ed erano state previste dalla simulazione. La prima è una porosità da ritiro dovuta alla presenza di una zona massiva, la seconda è dovuta all'isolamento di una piccola quantità di aria a fine riempimento, come mostrato nella stessa **fig. 7**.

Ottenuta la validazione da parte del cliente dei campioni realizzati, è iniziata la produzione vera e propria del componente e, una volta raggiunta una condizione di regime termico tale da permettere una temperatura media dello stampo all'inizio di ogni iniezione di circa 250 °C, non sono stati riscontrati problemi nè estetici (giunti freddi, metallizzazioni, strappature...) nè strutturali (porosità, inclusioni...). Durante la produzione la velocità di seconda fase è sempre stata mantenuta a 1,8 m/s e il risultato è quello mostrato in **fig. 7**.

Si nota un'usura precoce proprio nelle zone degli attacchi di colata in cui la simulazione numerica



**Fig. 7** Confronto porosità in simulazione e in produzione.

mostrava un rischio maggiore. Si è quindi consigliato di diminuire la velocità di seconda fase, coerentemente alle simulazioni effettuate in precedenza e mostrate in **fig. 5**, per ridurre al minimo questo fenomeno.

## Conclusioni

In questo lavoro, in primo luogo, si è voluta dare una panoramica generale sull'importanza, nella prevenzione delle porosità da ritiro, dell'analisi dell'aspetto termico e, quindi, della solidificazione, di un getto in lega d'alluminio pressocolato.

Successivamente si è seguita la campionatura e la messa in produzione dello stampo realizzato

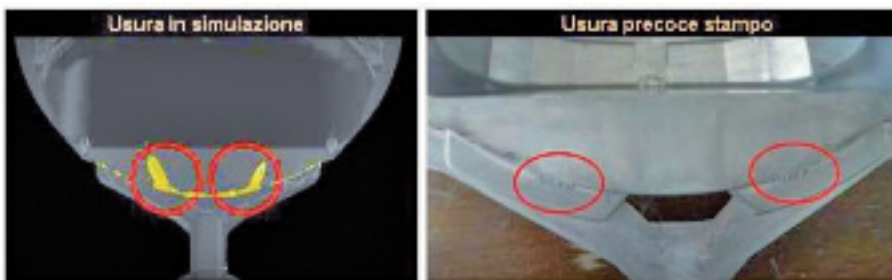
controllando l'eventuale presenza di porosità. Dopo aver effettuato simulazioni a diverse velocità di seconda fase si è inoltre suggerita una soluzione al problema di usura precoce riscontrato sullo stampo. Al termine di questa trattazione è possibile affermare che affiancando alla progettazione tradizionale dello stampo un'attività di simulazione numerica, è possibile:

- validare il dimensionamento di colata e sistema di evacuazione dello stampo;
- ottimizzare i parametri di processo;
- prevenire e ridurre eventuali problemi di porosità;
- evitare formazione di usura precoce.

Grazie a questo approccio si è riusciti, in definitiva, a ottenere, attraverso una serie di considerazioni teoriche, alcune informazioni pratiche per la realizzazione di uno stampo e di un prodotto tecnologicamente validi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, Andreoni L., Case M., Pomesano G.; Edimet (Brescia).
- [2] Pressocolata e tecnologia; Edimet (Brescia).
- [3] Introduction to Die Casting; American Die Casting Institute, Des Plaines.
- [4] Die Casting Dies: Designing; Herman, Society of Die Casting Engineers, River Grov.



**Fig. 8** usura in simulazione e sullo stampo.