

Progettazione e validazione numerica di uno stampo per pressocolata

parte 2

Completiamo, dopo l'articolo dello scorso numero di novembre 2009, la progettazione dello stampo e ne viene analizzato il riempimento al variare della curva di iniezione

Nell'articolo precedente abbiamo visto che, per una buona progettazione di uno stampo per pressocolata, è necessaria una forte collaborazione tra i progettisti del componente, dello stampo e del processo di pressocolata. La progettazione del dispositivo di colata di uno stampo per pressocolata è già stata affrontata, integrando i dimensionamenti tradizionali e la simulazione numerica di processo. A tale scopo, abbiamo presentato un esempio applicativo di progettazione di uno stampo. Il risultato della progettazione di materozza, canali e attacchi di colata è mostrato in **fig. 1**. Restano da affrontare la progettazione dell'evacuazione dell'aria, lo studio della rampa di iniezione, e la solidificazione del getto. L'obiettivo di questo secondo articolo è completare la progettazione dello stampo introducendo i sistemi di evacuazione dell'aria, e di analizzare il riempimento della figura al variare dei parametri di processo fondamentali. Lo scopo è quello di ottenere una rampa di iniezione (che



Fig. 1 Stampata con sistema di colata.

è possibile impostare direttamente sulla pressa) che garantisca la produzione di componenti di qualità con ridotti scarti e brevi tempi di messa a punto del processo. In un terzo e conclusivo articolo (su "Fonderia Pressofusione" n.2 del prossimo giugno) verranno analizzate la solidificazione del getto e la problematica delle porosità da ritiro e verranno proposte alcune soluzioni a problemi tipici che si possono riscontrare in produzione.

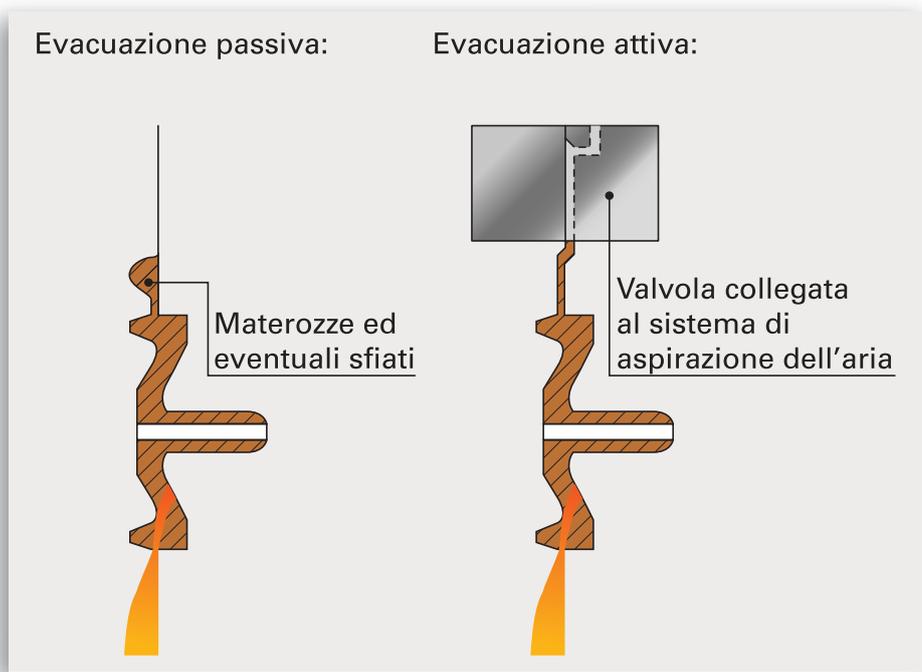


Fig. 2 Evacuazione attiva e passiva dell'aria dallo stampo.

Utilizzando un'evacuazione passiva, è difficile espellere dagli sfiati dello stampo una parte dei gas, ed è anche improbabile riuscire a "spingere" nei pozzetti di trascinamento tutti i difetti. Durante la fase di iniezione, inoltre, i gas intrappolati aumenteranno la propria pressione, costituendo un impedimento al riempimento dello stampo. Questo porterà ad ottenere getti non saldabili e non trattabili termicamente.

Con l'adozione di un sistema di evacuazione attiva, è possibile riuscire ad estrarre, dall'intero sistema di colata, l'aria e le componenti volatili del lubrificante prima di procedere al riempimento dello stampo. Questo può essere sufficiente per risolvere i problemi sopra descritti e può portare a notevoli incrementi nella qualità e nelle prestazioni dei getti. Per contro, dal punto di vista

Dimensionamento sfoghi d'aria

L'aspetto conclusivo della progettazione di uno stampo per pressocolata, molto sottovalutato ma che gioca un ruolo fondamentale per l'ottenimento di prodotti di buona qualità, è la tipologia e il posizionamento dei sistemi di evacuazione dell'aria e dei gas. È bene ricordare che la presenza di tali gas è da attribuire a diversi motivi:

- intrappolamento di aria a causa dell'elevata turbolenza della lega nel riempimento della figura;
- evaporazione della componente acquosa dei lubrificanti e pirolisi della parte organica degli stessi;
- gas disciolti nella matrice del metallo (ad esempio l'idrogeno nell'alluminio).

Questo metallo "sporco" e ossidato, contaminato dai prodotti distaccanti, può causare difettosità vere e proprie all'interno del pressofuso come giunzioni, soffiature, macro e micro porosità.

Per eliminare, o ridurre al minimo, questi difetti esistono principalmente

- due sistemi di evacuazione:
- evacuazione "passiva": il metallo, riempiendo lo stampo, "spinge" gas e aria in materozze di trascinamento (pozzetti o fagioli) e chill-block (tapparelle);
 - evacuazione "attiva": si attua con apparecchiature in grado di estrarre l'aria e realizzare diversi gradi di vuoto all'interno dello stampo.
- La scelta del tipo di evacuazione da adottare dipende sia dalla qualità del prodotto finale richiesta, sia da un'accurata valutazione economica.

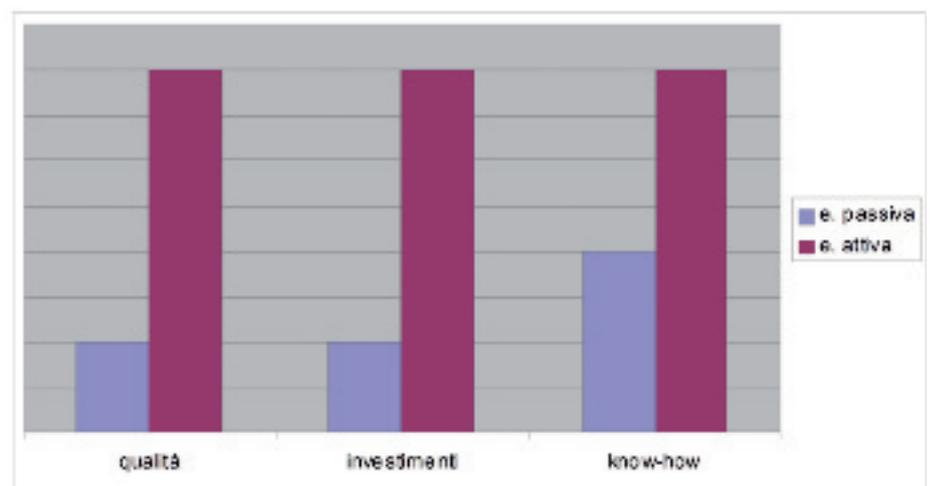
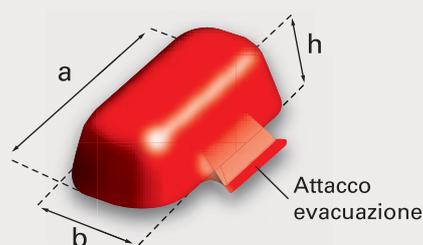


Fig. 3 Confronto tra tecnologie di evacuazione dell'aria.



Le dimensioni della materozza a, b ed h dipendono dalle dimensioni del getto e anche dalla qualità di materozze che si realizzano nella figura

Fig. 4 Geometria tipica di una materozza di trascinamento.

economico, l'utilizzo di una tecnologia del vuoto comporta grossi investimenti per l'acquisto dell'attrezzatura necessaria e il conseguimento di nuovi know-how per la gestione del maggior numero di parametri di controllo del processo. Inoltre per l'utilizzo di un sistema di evacuazione attiva è consigliabile una progettazione molto attenta dei canali di aspirazione che collegano lo stampo alla valvola del vuoto.

Questa tecnologia è quindi adatta soprattutto per componenti che richiedono ottime caratteristiche meccaniche e la necessità di poter essere saldati o trattati termicamente.

Nella **fig. 3** sono riassunte le principali caratteristiche delle due tecnologie di evacuazione dell'aria. Nell'esempio pratico preso in esame, il prodotto da realizzare non è un componente particolarmente

sollecitato e non sono richieste particolari tenute a pressione, quindi l'adozione di un'evacuazione passiva è sufficiente a garantire le richieste del cliente.

Si procede con l'analisi del posizionamento e delle dimensioni dei pozzetti di trascinamento. Questi hanno lo scopo di raccogliere la parte sporca e più ossidata del metallo entrato nella cavità, e sono generalmente completati da uno sfogo d'aria di cui costituiscono l'anticamera che migliora l'efficacia dei pozzetti stessi.

Le materozze sono solitamente dislocate lungo il perimetro dell'impronta, sulla linea di divisione ed ubicate nella zona o nelle zone ove si completa il riempimento della cavità. Di solito vengono realizzate in matrice mobile e utilizzate come base per gli estrattori.

La quantità di materozze da inserire dipende dalla geometria del componente e dalle caratteristiche del riempimento. Si è soliti far riferimento a una quantità di materozze pari a circa il 12-30% del volume del getto:

$$V_{\text{evac}} = (0.12 \div 0.30) * V_{\text{colata}}$$

Per semplicità costruttiva e realizzativa si consiglia di standardizzare il più possibile forme e dimensioni dei pozzetti di trascinamento. La forma solitamente più utilizzata è quella di **fig. 4**.

Altro aspetto da non trascurare è il dimensionamento dell'attacco di evacuazione (**fig. 4**). Se lo spessore

fosse troppo sottile, durante l'estrazione del getto dalla matrice, la materozza e gli eventuali sfiati si potrebbero staccare dalla figura rimanendo incastrati nella matrice stessa. Se lo spessore fosse troppo grande, invece, si creerebbero problemi nella fase successiva di smaterozzataura manuale o trancitura necessaria per eliminare gli sfridi.

Come indicazione progettuale pratica si consiglia quindi di realizzare uno spessore all'attacco di evacuazione compreso tra 0,8 e 3 mm (per componenti di grandi dimensioni).

Dopo aver discusso la geometria delle materozze, per non vanificare la loro utilità, diventa fondamentale il loro corretto posizionamento nella figura. I pozzetti vanno, infatti, inseriti nelle ultime zone di riempimento dello stampo per evitare che cospicue masse d'aria restino intrappolate nel getto. Per geometrie semplici è possibile prevedere quali siano queste zone in funzione delle sezioni di ingresso del metallo, per geometrie complesse il problema diventa più complesso. Un ausilio efficace è dato dalla simulazione numerica.

Dalle simulazioni effettuate per lo stampo preso ad esempio in questa trattazione è possibile determinare le zone di ultimo riempimento come mostrato in **fig. 5**.

Il fronte di avanzamento della lega all'interno della figura è piuttosto compatto e uniforme, quindi il lato in

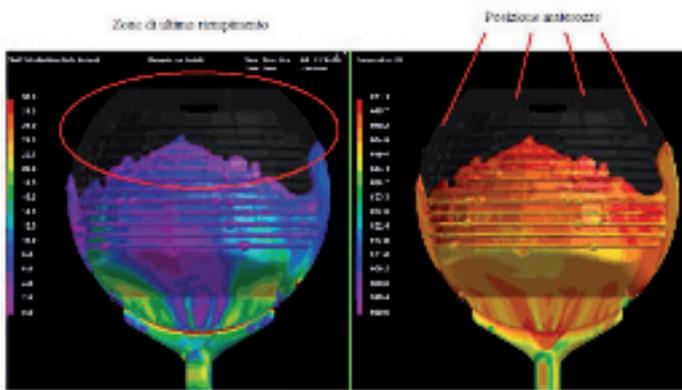
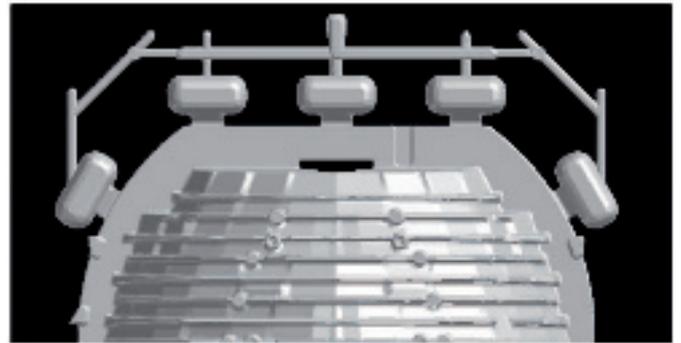


Fig. 5 Zona di ultimo riempimento nella simulazione.

Fig. 6 Sistema di evacuazione dell'aria.



cui prevedere l'evacuazione dell'aria è quello superiore.

Dalle valutazioni precedenti e dai risultati delle simulazioni si è optato per la realizzazione di 5 pozzetti di trascinamento in modo che il loro volume totale sia circa il 20% del volume totale della stampata e di distribuirli lungo il lato superiore dell'impronta come mostrato in **fig. 6**.

del contenitore stesso. Questa aria inglobata, tende a confluire nel pezzo attraverso il sistema di alimentazione e a determinare porosità che vanno a intaccare irrimediabilmente la qualità del pressofuso.

Il miglior metodo per determinare la velocità di prima fase da adottare è quello di effettuare diverse

simulazioni di riempimento del contenitore impostando velocità del pistone differenti. Ad esempio, utilizzando la geometria della colata appena progettata, sono state effettuate tre simulazioni, con velocità di prima fase via via crescenti, come mostrato in **fig. 7**. Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che:

Riempimento contenitore, prima fase

Con il dimensionamento del sistema di evacuazione dell'aria la progettazione dello stampo terminata. Restano da valutare i principali parametri del processo che serviranno come dati di input al momento della produzione del componente. Questi parametri sono le velocità di prima e seconda fase e le relative lunghezze d'azione. Il primo aspetto importante da analizzare è il riempimento del contenitore, perchè durante la prima fase di iniezione si corre il rischio di intrappolare una parte di aria a causa di onde, reflussi o vorticosità che possono nascere all'interno

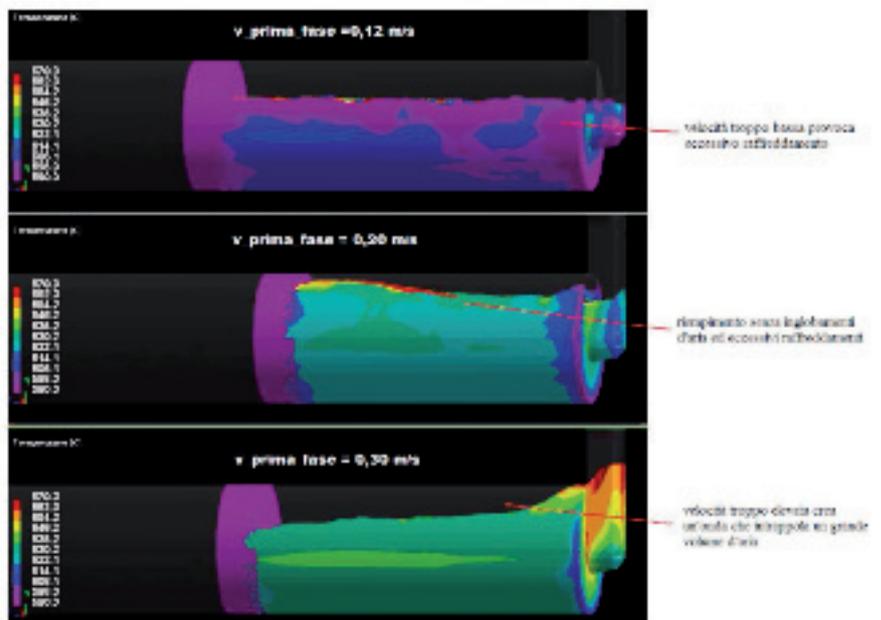


Fig. 7 Riempimento del contenitore al variare della velocità di prima fase.

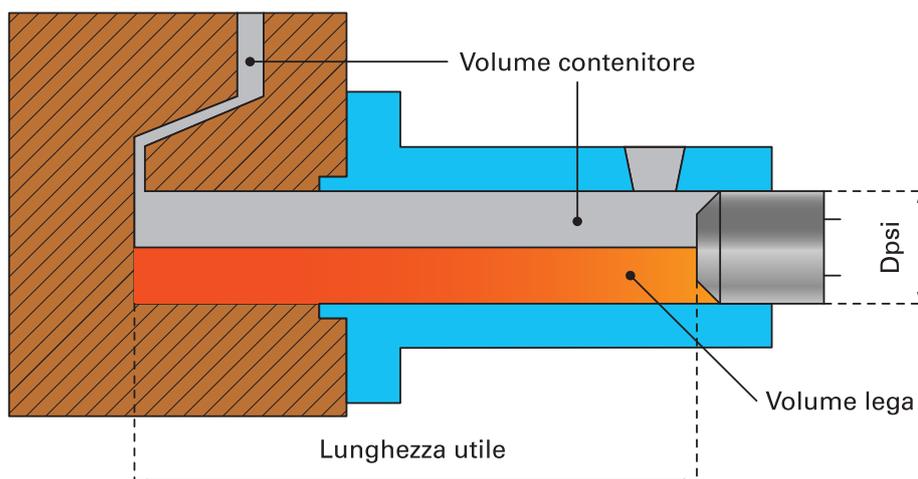


Fig. 8 Grandezze fondamentali per il calcolo del tasso di riempimento.

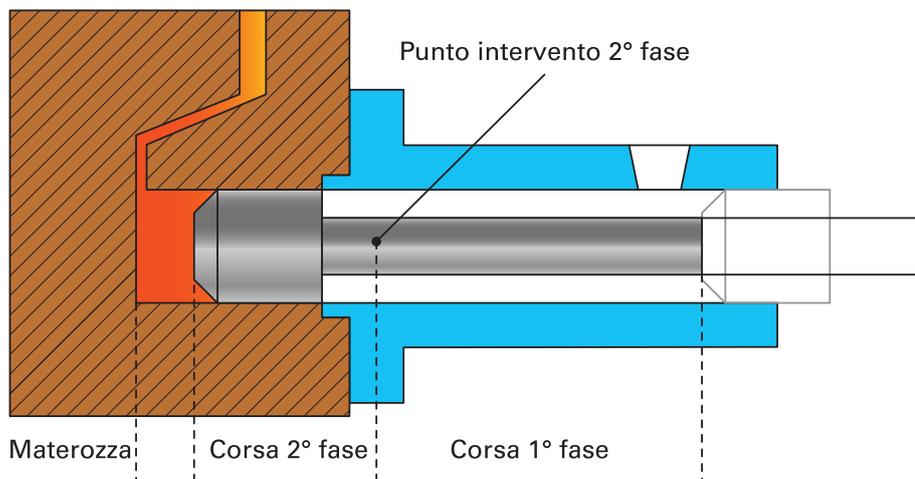


Fig. 9 Corse di prima e seconda fase.

– a una velocità di 0,12 m/s il riempimento non provoca onde o riflussi che intrappolano masse d'aria. A tale velocità, però, la lega all'interno del contenitore subisce un eccessivo raffreddamento fino a temperature inferiori a quella di liquidus. Questo aspetto è inaccettabile perchè può provocare pre-solidificazioni, giunti freddi o

altre difettosità nella colata;
 – a una velocità intermedia (0,20 m/s) il riempimento del contenitore è più graduale, non si formano onde che intrappolano aria e la lega mantiene una temperatura abbastanza elevata da non creare difetti;
 – a una velocità di 0,30 m/s si nota immediatamente la formazione di

un'onda d'avanzamento che chiude il canale di alimentazione lasciando un gran volume di aria intrappolata nel contenitore.

Da queste valutazioni, è possibile fissare la velocità di prima fase:

$$v_{l_fase} = 0.20 \text{ m/s.}$$

Calcolo del punto di intervento della seconda fase

Una volta determinata la velocità di prima fase, è opportuno calcolare la lunghezza della prima fase di iniezione che, teoricamente, dovrà portare il metallo fuso in prossimità dell'attacco di colata. La corsa di prima fase può essere calcolata attraverso metodi tradizionali oppure può essere direttamente ricavata dalla simulazione numerica. Di seguito verranno illustrati entrambi gli approcci.

Prima di procedere occorre puntualizzare alcune grandezze. Facendo riferimento alla **fig. 8** si definisce: L_{ut} = lunghezza utile del contenitore, è l'effettiva lunghezza del contenitore che viene riempita dalla lega fusa durante il versamento;

A_{pis} = area del pistone;

$V_{con} = L_{ut} * A_{pis}$ = volume del contenitore;

V_{lega} = volume totale della stampata;

$$TR = \frac{V_{lega}}{V_{con}} = (0.4 \div 0.6) = \text{tasso di riempimento.}$$

La lunghezza della corsa della prima fase di iniezione viene allora calcolata nel modo seguente:

$$L_{1_fase} = L_{ut} * (1 - TR).$$

Alla fine della corsa della prima fase di iniezione si trova quello che generalmente viene denominato punto di intervento della seconda fase di iniezione (**fig. 9**). Questo determina la posizione raggiunta dal metallo a bassa velocità rispetto ai canali di colata e/o alle incisioni dell'impronta.

Questo punto deve essere in posizione tale per cui il metallo sia il più vicino possibile alla cavità dello stampo (attacco di colata). Se il metallo si trova in posizione arretrata, può aumentare la porosità del pezzo, mentre se il punto di intervento porta il metallo oltre l'attacco di colata, una parte dello stampo viene riempita a bassa velocità, il tempo di riempimento dello stampo è più lungo e si creano in tal modo le condizioni per una solidificazione prematura del primo

metallo. Questo inconveniente è particolarmente grave per l'integrità dei pezzi a spessore sottile. Il mantenimento della posizione ottimale del punto di intervento della seconda fase presuppone che la quantità di lega fusa immessa nel contenitore sia pressoché costante, perchè variando il volume di metallo liquido nel contenitore varia il tasso di riempimento e quindi (dall'equazione) la corsa di prima fase ottimale. Applicando l'equazione appena vista alla progettazione dello stampo fino ad ora analizzato si ottengono i seguenti risultati:

$$TR = \frac{V_{lega}}{V_{con}} = 0.41, \text{ quindi}$$

$$L_{1_fase} = L_{ut} * (1 - TR) = 229 \text{ mm} \approx 230 \text{ mm}.$$

Utilizzando i parametri calcolati è possibile verificare con la simulazione numerica l'effettivo punto di intervento della seconda fase.

Come mostrato in **fig. 10**, dopo 230 mm la lega fusa non ha ancora raggiunto gli attacchi di colata (**fig.**

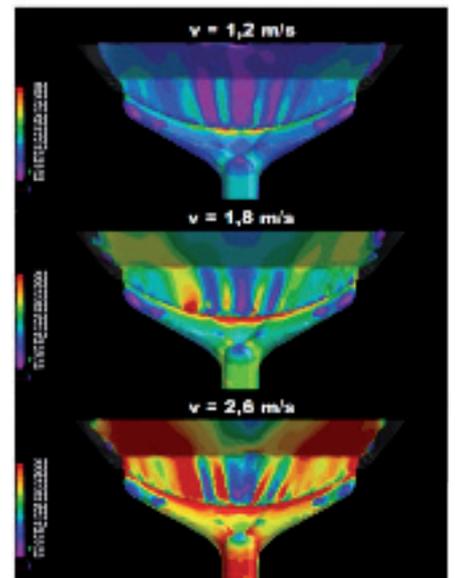


Fig. 11 velocità attacchi di colata.

10a). Questo intervento anticipato può provocare problemi di porosità, e una discontinuità sul fronte di attacco come mostra la **fig. 10b**. Attraverso la simulazione numerica è possibile ottimizzare questa variabile e risolvere preventivamente eventuali problemi di produzione. Il punto di intervento che garantisce uniformità del fronte di avanzamento della lega sull'attacco di colata è, nel caso analizzato, dopo 260 mm come mostra la **fig. 10c**.

Riempimento figura, seconda fase

Come già esposto in sede di progettazione dell'attacco di colata, la velocità di seconda fase è proporzionale alla velocità che il metallo fuso raggiunge agli attacchi. È opportuno ricordare a chi

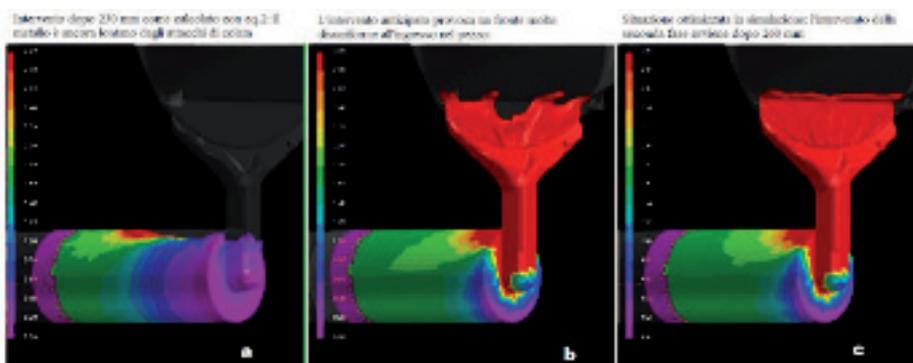


Fig. 10 Intervento di seconda fase calcolato e ottimizzato.



Fig. 12 Massa d'aria intrappolata.

legge che la velocità agli attacchi di colata deve essere compresa indicativamente tra 20 m/s (per evitare tempi di riempimento troppo lunghi) e 50 m/s (per evitare rischio di erosione e quindi una precoce usura dello stampo).

Per effettuare una valutazione su quali conseguenze abbia l'adozione di una velocità di seconda fase piuttosto che di un'altra, è consigliabile effettuare simulazioni di riempimento della figura. In questo modo è possibile confrontare soluzioni diverse sia dal punto di vista fluidodinamico sia dal punto di vista termico, e adottare quella più conveniente.

A questo scopo vengono mostrati i risultati dell'analisi effettuata per il riempimento dello stampo del coperchio, concentrando l'attenzione

su tre aspetti fondamentali: l'effettiva velocità all'attacco di colata, le eventuali masse d'aria rimaste isolate all'interno della figura e le temperature al termine del riempimento della figura.

La **fig. 11** mostra l'andamento della velocità nella zona degli attacchi di colata per differenti velocità di seconda fase del pistone. La **fig. 12** mette invece in evidenza, nei tre casi, l'istante in cui l'attacco d'evacuazione delle materozze di trascinamento è chiuso e l'eventuale aria (in blu in figura) che rimane intrappolata nello stampo.

Dall'analisi di queste immagini si possono trarre immediatamente alcune considerazioni per il caso specifico:

- impostando una velocità del pistone di 1,2 m/s ne consegue una velocità agli attacchi di colata relativamente bassa (mediamente inferiore a 19 m/s). Inoltre il riempimento troppo lento lascia isolata una grande massa d'aria all'interno della figura;
- alla velocità del pistone di 1,8

m/s, la velocità agli attacchi di colata è attorno ai 30 m/s e in questo modo l'aria che potrebbe rimanere intrappolata nella figura è decisamente minore;

– aumentando la velocità del pistone a 2,6 m/s si nota immediatamente come gli attacchi di colata vengano attraversati ad una velocità superiore ai 40 m/s che potrebbe portare a usura dello stampo proprio in quelle zone.

Resta da analizzare l'aspetto termico per evitare che al termine del riempimento parte della lega si sia raffreddata al di sotto della temperatura di liquidus con il rischio di incorrere nei problemi descritti in precedenza.

Come si vede in **fig. 13**, ipotizzando una temperatura media iniziale dello stampo di circa 200 °C, in ogni soluzione ipotizzata le temperature rimangono superiori a quella di liquidus. Bisogna notare che in fase di campionatura, lo stampo potrebbe restare a temperature sensibilmente inferiori di quelle ipotizzate per la produzione, per questi motivi

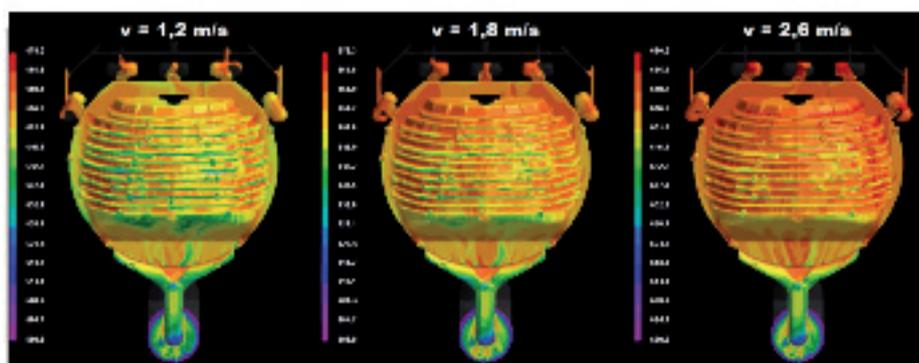


Fig. 13 Temperature al termine del riempimento.

è preferibile adottare la seconda o terza soluzione, che prevedono riempimenti più rapidi e minor raffreddamento della lega. In definitiva la rampa di iniezione ottimale calcolata e validata numericamente è quella di **fig. 14**. Un ulteriore aspetto vantaggioso nell'utilizzo della simulazione è il fatto che nella progettazione di processo tradizionale, le velocità di prima e seconda fase sono dettate dall'esperienza del progettista o dell'operatore a bordo macchina. Questo può provocare errori di valutazione che portano ad ottenere componenti non conformi, e a effettuare correzioni della rampa di iniezione direttamente sulla pressa fintanto che il componente prodotto non soddisfa le richieste del cliente. Con l'ausilio di diverse simulazioni comparative si ottiene una rampa di iniezione che garantisce la produzione di un getto di qualità diminuendo i tempi di set-up del processo e gli scarti di inizio produzione, con una ovvia diminuzione dei costi totali.

Conclusioni

In questa trattazione si è portata a termine la progettazione di uno stampo da pressocolata, approfondendo il dimensionamento del sistema d'evacuazione dell'aria e utilizzando simulazioni numeriche a supporto del dimensionamento tradizionale. Successivamente sono stati mostrati i risultati di simulazioni volte ad

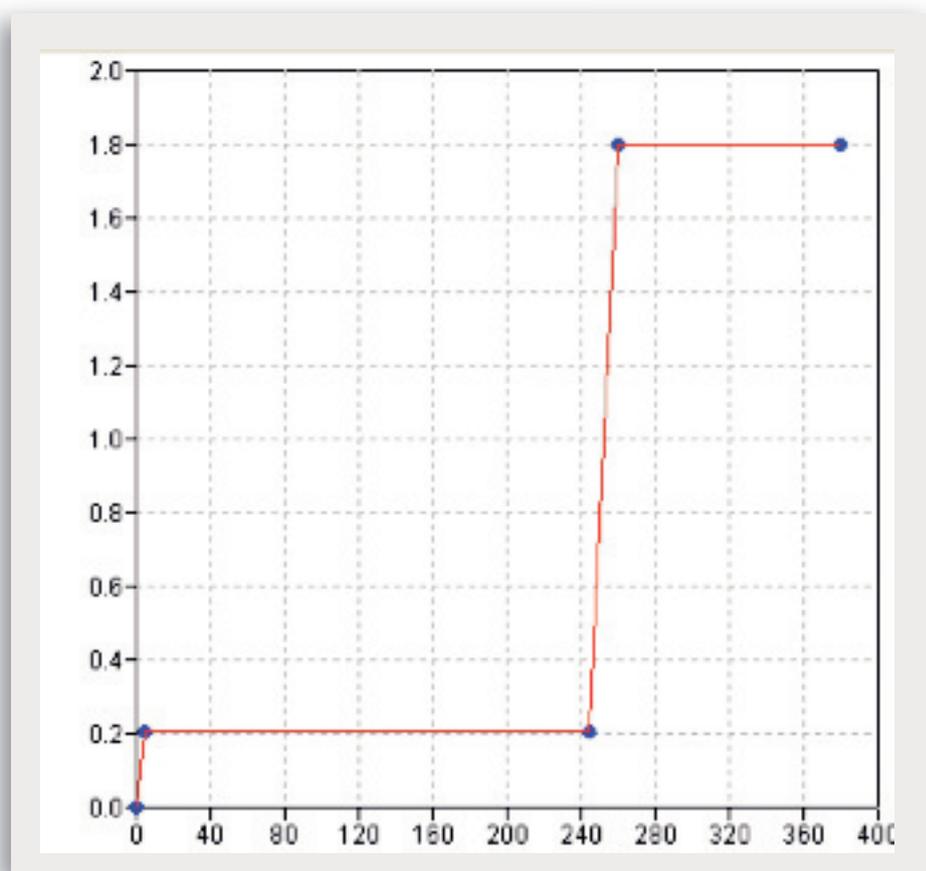


Fig. 14 Rampa di iniezione.

analizzare il riempimento della figura al variare delle velocità di prima e seconda fase, per ottenere una rampa di iniezione in grado di ridurre al minimo i problemi di intrappolamento di gas all'interno dello stampo.

Con questo approccio è possibile ridurre i tempi di messa a punto del processo a bordo macchina riducendo gli scarti e quindi i costi di produzione.

Nella terza parte di questa trattazione verrà, infine, affrontata la problematica della solidificazione e delle porosità da ritiro. Verranno poi proposte soluzioni a problemi riscontrati in produzione e informazioni pratiche che possono essere condivise per prevenire tali problemi.

Bibliografia

- [1] L. Andreoni, M. Case, G. Pomesano, Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, Edimet, Brescia.
- [2] Pressocolata e tecnologia, Edimet, Brescia.
- [3] Introduction to Die Casting, American Die Casting Institute, Des Plaines (USA).
- [4] R. Nicolacci, A. Panvini, A. Pola, R. Roberti, Studio e ottimizzazione mediante simulazione numerica di un getto pressocolato, "Brescia Ricerche" n.42.
- [5] T. Valente, L. Valente, La porosità da inglobamento di gas: la simulazione e il sottovuoto per vincerla, dal contenitore al sistema di alimentazione, al pezzo, all'evacuazione, "Brescia Ricerche" n.46.