

**Proprietà modificanti del flusso di  
filtri a schiuma ceramica  
Compendio degli studi più recenti**

### **Conclusione**

È stato ampiamente dimostrato che la filtrazione è un prezioso strumento per eliminare le inclusioni da scorie e impedire la formazione delle inclusioni da riossidazione nei getti in acciaio. I più recenti studi di simulazione computerizzata e di esame radiologico delle proprietà modificanti del flusso possedute dai filtri spugnosi ceramici, permetteranno ben presto di affinare la scelta e l'applicazione di questi elementi. Tra i vantaggi offerti alle fonderie, figurano una selezione più mirata dei filtri, stime più precise dei tempi di riempimento e una maggiore efficienza complessiva attraverso l'eliminazione del metodo di sperimentazione sistematica.

### **Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare Tony Midea per avere diretto le operazioni di modellazione ad acqua, le simulazioni e le prove radiologiche, sulle quali si basa gran parte del documento originario qui rivisto, nonché per il supporto fornito alla sua stesura.

### **Bibliografia**

- Innocentini, M.D.M.; Salvini, V.R.; Macedo, A.; Pandolfelli, V.C.; "Prediction of Ceramic Foams Permeability Using Ergun's Equation," *Materials Research*, vol. 21, N. 4, pagg. 283-289 (1999)
- Innocentini, M.D.M.; Salvini, V.R.; Pandolfelli, V.C.; Courey, J.R.; "Assessment of Forchheimer's Equation to Predict the Permeability of Ceramic Foams;" *American Ceramic Society Journal*, vol. 82, N. 7, pagg. 1945-1948 (1999)
- Innocentini, M.D.M.; Salvini, V.R.; Pandolfelli, V.C.; Courey, J.R.; "The Permeability of Ceramic Foams," *The American Ceramic Society Bulletin* (Sett., 1999)
- Innocentini, M.D.M.; Pardo, A.R.F.; Salvini, V.R.; Pandolfelli, V.C.; "How Accurate is Darcy's Law for Refractories?," *The American Ceramic Society Bulletin* (Nov., 1999)
- McMillin, T., "Optimize Casting Design and Quality with Process Simulation," *Engineered Casting solutions* (Inverno, 1999)
- Midea, A.C., "Pressure Drop Characteristics of Iron Filters," *AFS Transactions*, 01-042 (2001)
- Midea, A.C.; Alquist, B.R.; Blackburn, C.; "Increasing the Accuracy of Metal Flow Results in Steel Castings," *SFSA Transactions*, (Ott., 2001)
- Outten, J., "KALPUR for steel Direct Pouring System Improves Yield, Productivity and Quality," *Foundry Practice*, N. 227 (1996)
- Wingfield, B.; Delaney, I.; Outten, J.; "A Inique Look at the Benefits of Foam Filtration using X-ray Technology;" Presentato in occasione della 31° *Convention nazionale delle fonderie australiane* (1999)
- \* Il processo REPLICAST è un procedimento brevettato esclusivo di Casting Technology International, UK.



Configurazione a colata diretta  
Dopo 1,5 secondi, il metallo ha iniziato ad entrare nella cavità del getto con una minima turbolenza (figura 21).

Dopo 2,0 secondi, il metallo inizia a ritornare nell'unità a colata diretta. Il livello di metallo previsto nella simulazione corrisponde generalmente ai risultati dell'esame radiologico (figura 22).

Configurazione a flusso continuo  
Dopo 2 secondi del ciclo di riempimento, la simulazione computerizzata non stima con esattezza l'effettivo profilo di riempimento, ma si riscontra una stretta concordanza con le immagini radiologiche (figura 23).

Dopo 4 secondi del ciclo di riempimento, si rileva una sostanziale concordanza tra la stima della simulazione e le immagini radiologiche. Questo è importante in quanto una delle più potenti applicazioni della simulazione computerizzata riguarda la capacità di prevedere l'effetto esercitato dal filtro sul flusso e, di conseguenza, i fenomeni di porosità e ritiro (figura 24).

#### Confronti peso colato/tempo

Il confronto delle informazioni ottenute dalla cella di carico che sostiene la forma nel bunker radiologico con la portata stimata dal computer, convalida ulteriormente i risultati della simulazione. Le portate misurate e stimata per la configurazione a flusso continuo erano entrambe di 7,7 kg/sec (figura 25) e di 9,1 kg/sec per la configurazione a colata diretta (figura 26).

Questi risultati mostrano chiaramente che le simulazioni computerizzate, se utilizzate con coefficienti di flusso del filtro precisi, sono in grado di stimare con un buon grado di affidabilità le portate e, quindi, i tempi di colata.



Figura 22: Immagine radiologica del getto a colata diretta, dopo 2,0 secondi di riempimento.



Figura 23: Immagine radiologica del getto con filtro a flusso continuo, dopo 2,0 secondi di riempimento.



Figura 24: Immagine radiologica del getto con filtro a flusso continuo, dopo 4,0 secondi di riempimento.

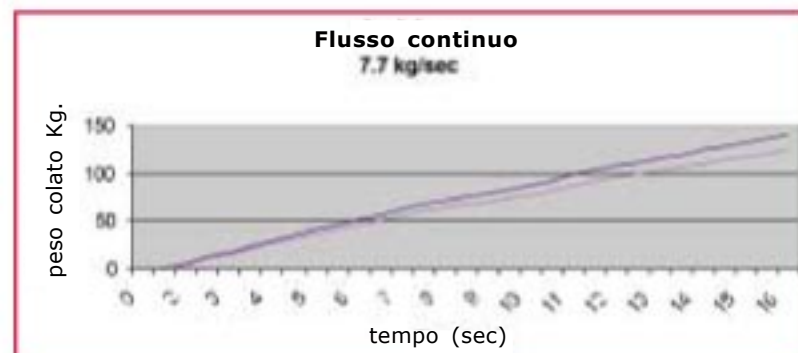


Figura 25: Grafico di confronto peso colato/tempo, filtrazione a flusso continuo con sistema di colata tradizionale.

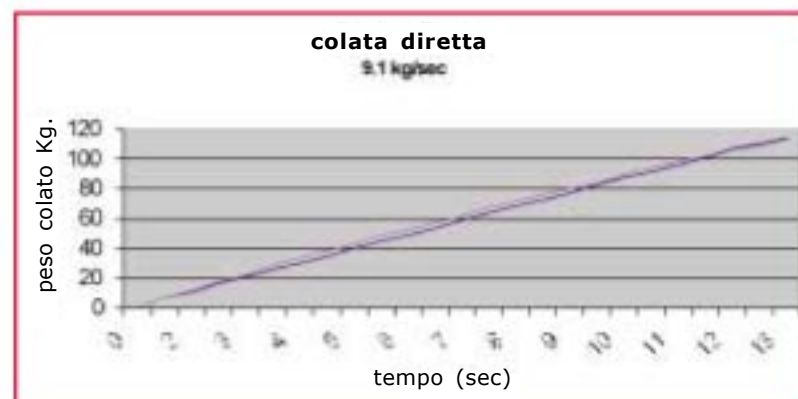


Figura 26: Grafico di confronto peso colato/tempo, colata diretta (con filtro).

# Proprietà modificanti del flusso di filtri a schiuma ceramica

## Compendio degli studi più recenti

### Sintesi

La capacità dei filtri spugnosi ceramici di eliminare gli ossidi e le altre inclusioni dal flusso di metallo fuso, nel momento in cui quest'ultimo riempie i getti, è ampiamente riconosciuta ed è stata ripetutamente confermata tramite la valutazione post-colata di getti solidificati. È altresì risaputo che il filtro spugnoso ceramico minimizza la formazione delle inclusioni da riossidazione, modificando il flusso di metallo e riducendone la turbolenza all'ingresso del getto.

Tuttavia, fino a tempi recenti, le capacità modificanti dei filtri erano state solo implicitamente verificate attraverso la modellazione ad acqua e le simulazioni computerizzate della velocità e della turbolenza del metallo fuso. Grazie ai perfezionamenti delle tecniche radiologiche in tempo reale per studiare il processo di colata dei getti ferrosi, è diventato possibile osservare e registrare gli effetti delle varie configurazioni di colata e di filtrazione sul flusso di metallo fuso, convalidando le simulazioni computerizzate. Il presente documento riassume i recenti studi compiuti nel campo della filtrazione.

Esso comprende:

- Una rassegna degli studi iniziali sull'impiego delle procedure radiologiche in tempo reale per esaminare gli effetti delle configurazioni di filtrazione e di colata sui getti semplici,
- Un compendio di studi recenti, incentrati sulle simulazioni computerizzate delle caratteristiche del profilo di riempimento per determinare i tempi e il metodo ottimale di riempimento .
- Esempi, già riportati in precedenza, di immagini radiologiche in tempo reale a conferma della validità delle simulazioni computerizzate e degli effetti dei filtri sulle caratteristiche di riempimento dei getti e sulla modifica del flusso.
- Confronti tra i risultati delle simulazioni computerizzate precedentemente citate e le immagini radiologiche in tempo reale degli stessi getti.

### Introduzione: il problema delle inclusioni nei getti in acciaio

Le inclusioni non metalliche sono una delle principali cause di difetti dei getti in acciaio. Alcune di esse (scorie di forno, scorie di siviera, residui di fluidificante e leganti) sono prodotte all'esterno della forma e vengono trascinate all'interno della sua cavità insieme al flusso di metallo fuso. Altre inclusioni hanno invece origine all'interno del sistema di colata e della cavità della forma; tra queste figurano la sabbia della forma, il materiale dell'anima e del suo rivestimento oppure le inclusioni da riossidazione, prodotte quando il metallo fuso è esposto all'aria durante il riempimento della forma.

Le inclusioni non metalliche pregiudicano le proprietà fisiche e l'aspetto superficiale del getto; contribuiscono ad aumentare le percentuali di scarto e i costi di sbavatura; incrementano il rischio di ritorni da parte del cliente a causa di problemi di lavorabilità.

Per ridurre le inclusioni dei getti, vengono attuate strategie preventive e di eliminazione. I metodi di fusione, le siviere e i sistemi di colata possono essere ottimizzati per minimizzare la formazione di inclusioni non metalliche nei getti in acciaio. Una delle tecniche più efficaci prevede l'impiego di filtri spugnosi ceramici (benché la filtrazione non sostituisca i corretti metodi di fonderia).

### Filtri a schiuma ceramica

#### Cenni storici sullo sviluppo della filtrazione

I primi tentativi compiuti dalle fonderie per eliminare le impurità non metalliche dal metallo liquido risalgono alla metà degli anni '60 e prevedevano il passaggio dell'alluminio fuso attraverso un letto compatto di materiali refrattario granulato. Da allora, sono stati sperimentati innumerevoli altri mezzi di filtrazione, tra i quali la lana d'acciaio, i vagli di maglia metallica, i tessuti in fibra di vetro, i filtri pressati nonché i filtri ceramici.

I filtri spugnosi ceramici e i filtri cellulari ceramici estrusi sono stati introdotti alla fine degli anni '70 per i getti di alluminio e, in un secondo tempo, per i getti a base di rame e i getti di ghisa con temperature di colata massime di 1500°C. Alla metà degli anni '80, ulteriori sviluppi hanno condotto ai primi filtri ceramici adatti alla filtrazione di alcuni getti in acciaio. A partire dalla metà degli anni '90, i perfezionati metodi produttivi, lo sviluppo di materiali ceramici più leggeri e resistenti e le migliorate tecniche applicative, hanno reso possibile l'impiego dei filtri spugnosi ceramici per molti tipi di getti in acciaio.

Questi nuovi materiali possiedono la resistenza alle alte temperature, allo scorrimento e agli sbalzi termici, nonché la bassa capacità termica, necessarie per innescare efficacemente e sopportare le sollecitazioni termiche dell'acciaio fuso in fase di colata, oltre alle caratteristiche chimiche indispensabili per una buona filtrazione.

### Come funzionano i filtri spugnosi ceramici:

I filtri a schiuma ceramici eliminano le inclusioni dal flusso di metallo fuso e riducono la formazione delle inclusioni non metalliche in quattro modi:

- Le inclusioni grossolane, troppo grandi per penetrare nei passaggi, sono intrappolate sulla superficie del filtro.
- Con il progredire della colata, le inclusioni possono iniziare ad accumularsi sulla superficie del filtro e formare un "panetto" di materiale, il quale trattiene anche le particelle più piccole.
- Il metallo fuso che passa attraverso il "panetto" del filtro e nei vari passaggi, segue un percorso tortuoso all'interno del corpo del filtro. Le pareti del filtro attraggono chimicamente le restanti inclusioni, intrappolando le più piccole tra esse sulle superfici interne del filtro stesso. Si stima che un filtro 100 x 100 mm, spesso 25 mm, possegga all'incirca un'area complessiva di 1 m<sup>2</sup>.
- Il filtro impedisce la formazione delle inclusioni da riossidazione, uniformando il flusso di metallo fuso e riducendo la turbolenza durante il riempimento della cavità della forma. Questo riduce al minimo la superficie di metallo liquido esposta all'ossigeno nella cavità della forma.

In passato, era possibile verificare la capacità del filtro di intrappolare le inclusioni non metalliche attraverso l'esame e l'analisi chimica della parte di colata solidificata lato filtro dei getti stessi. Tuttavia, si poteva solo supporre che i filtri spugnosi ceramici fossero in grado di modificare il flusso di metallo fuso per ridurre la turbolenza e impedire la formazione delle inclusioni da riossidazione.

### Il meccanismo di modifica del flusso

#### Passaggio del flusso attraverso un materiale poroso

Gli studi sulla meccanica dei fluidi hanno dimostrato che le caratteristiche di flusso stabilizzato di un fluido attraverso un materiale poroso dipendono dalla densità e dalla viscosità del fluido in questione, nonché dalla configurazione e dalla porosità del materiale impiegato. Il passaggio del flusso di metallo liquido attraverso il materiale poroso (filtro spugnoso ceramico) si traduce in una riduzione della velocità media e in un calo della pressione dall'ingresso e all'uscita del filtro.

Queste variazioni della velocità e della pressione medie si verificano non appena l'energia contenuta nel flusso di metallo si disperde, mentre il metallo segue un percorso tortuoso attraverso le celle del filtro. I cali di pressione e di velocità sono il risultato di due fattori. Il primo è costituito dalle dispersioni energetiche che avvengono nel flusso a causa dello scorrimento viscoso prodotto quando il flusso viene separato dalle pareti delle celle del filtro. Il secondo fattore è rappresentato dagli effetti inerziali che si verificano quando il fluido è obbligato a cambiare direzione mentre percorre il labirinto del filtro (Innocentini, Salvini, et al, 1999).

#### Dimostrazione della modifica del flusso attraverso la sperimentazione fisica

È possibile utilizzare svariate procedure di sperimentazione fisica per raccogliere prove empiriche

dell'effetto esercitato dal filtro spugnoso ceramico sul flusso di metallo liquido.

#### Test mediante flusso d'aria

Le prove di calo della pressione dell'aria, correntemente utilizzate nella produzione dei filtri spugnosi ceramici per verificare la conformità dei loro requisiti, forniscono un'indicazione della capacità del filtro di modificare il flusso di metallo durante la colata.

#### Modellazione ad acqua

Anche i test di modellazione ad acqua mettono in evidenza le proprietà di modifica del flusso possedute dai filtri spugnosi ceramici. La dimostrazione visiva si ottiene mantenendo un filtro lungo il percorso di un flusso d'acqua e confrontando l'aspetto di quest'ultimo all'ingresso e all'uscita dal filtro. La figura 1 illustra l'impatto diretto del flusso di acqua del rubinetto su un filtro spugnoso ceramico. La turbolenza è chiaramente visibile nell'acqua che penetra all'interno del filtro. L'effetto di assorbimento energetico del filtro è illustrato dal flusso omogeneo d'acqua che esce dal filtro.



Figura 1: Il filtro spugnoso ceramico riduce la turbolenza del flusso d'acqua



Figura 2: Il flusso d'acqua che passa attraverso il filtro pressato evidenzia una scarsa riduzione della turbolenza.

A scopo di confronto, la stessa dimostrazione può essere condotta utilizzando filtri pressati. Si riscontra un flusso assai meno omogeneo. Questo può essere dovuto alle "zone morte", situate sul lato di entrata filtro pressato e responsabili dello schizzo del metallo, e all'assenza di un percorso tortuoso all'interno del corpo filtro pressato, tale da generare l'energia necessaria per assorbire le barriere inerziali (figura 2).

La figura 18 illustra la simulazione computerizzata di un normale sistema di colata comprendente un pozzetto di colata, una discesa di colata, un filtro spugnoso ceramico 75 x 75 x 25 mm a flusso continuo, canali di collegamento e attacchi di colata. La figura 19 illustra la simulazione computerizzata di una colata diretta. In questa configurazione, l'unità, completa di manicotto isolante e di filtro spugnoso ceramico del diametro di 90 mm e spesso 25 mm, è stata posizionata come una materozza laterale, su un'apposita base. Il getto è stato direttamente colato attraverso l'unità a colata diretta, la quale assicura anche l'alimentazione di metallo una volta completata la colata.

#### Descrizione della forma:

Nella produzione effettiva, le dimensioni complessive della forma in sabbia per il getto della valvola erano 86 x 61 x 46 cm, troppo grandi per una visualizzazione radiologica ottimale. Si è perciò fatto ricorso ad uno speciale ed esclusivo procedimento di formatura\* per ottenere una forma refrattaria che fosse eccezionalmente robusta alle temperature ambiente e a quelle elevate. Strati successivi di ceramica sono stati applicati su un modello in polistirolo, fino ad ottenere lo spessore desiderato, atto a contenere in sicurezza il metallo da colare. Ogni strato è stato asciugato all'aria a temperatura ambiente prima dell'applicazione dello strato successivo. Il guscio ceramico asciugato è stato poi essiccato per aumentarne la resistenza e eliminare il modello in polistirolo.

Questo procedimento ha prodotto una forma a guscio relativamente sottile della valvola, che ha permesso di ottenere immagini nitide dei fronti di metallo attraverso il filtro e nella cavità della forma stessa (figura 20).

#### Parametri di prova:

La valvola è stata colata in acciaio inossidabile ASTM A351.A351M-91° Grado CF8M, disossidato con CaSi. I getti sono stati colati mediante una siviera in sorgente da 907 kg, contenente 408 kg di acciaio. La temperatura di colata era compresa tra 1582 e 1593°C.

#### Osservazioni:

Il tempo di riempimento previsto per il getto a colata diretta (peso colato totale di 113 kg), determinato utilizzando i dati di flusso del filtro elaborati in precedenza, è di 12,3 secondi. L'esperienza di fonderia insegna che il tempo di riempimento effettivo è di 12 secondi. Non esistono esperienze di fonderia per quanto riguarda la configurazione di questo getto con un sistema di colata tradizionale, ma la simulazione (peso colato totale di 125 kg) ha previsto un tempo di riempimento di 15 secondi, confermato quando i getti sono stati colati durante gli esami radiologici.

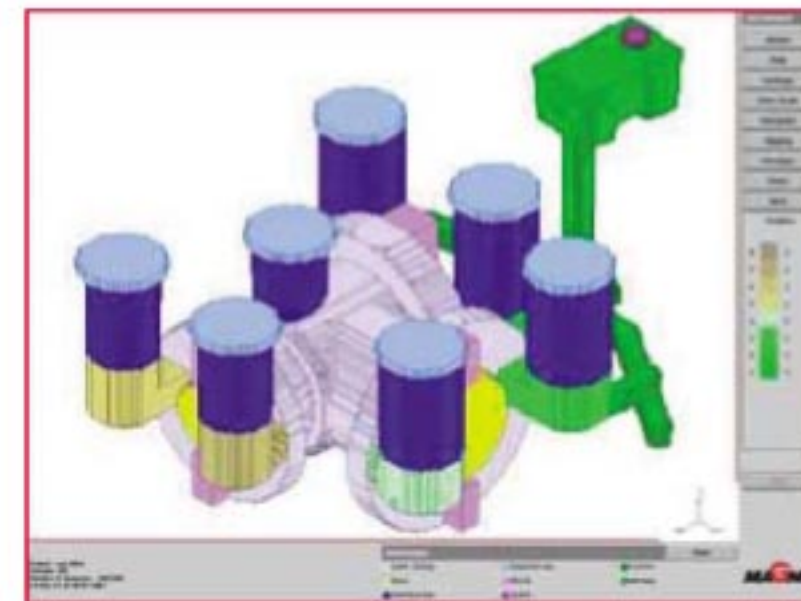


Figura 18: Simulazione computerizzata della valvola fusa con filtro a flusso continuo e sistema di colata tradizionale.

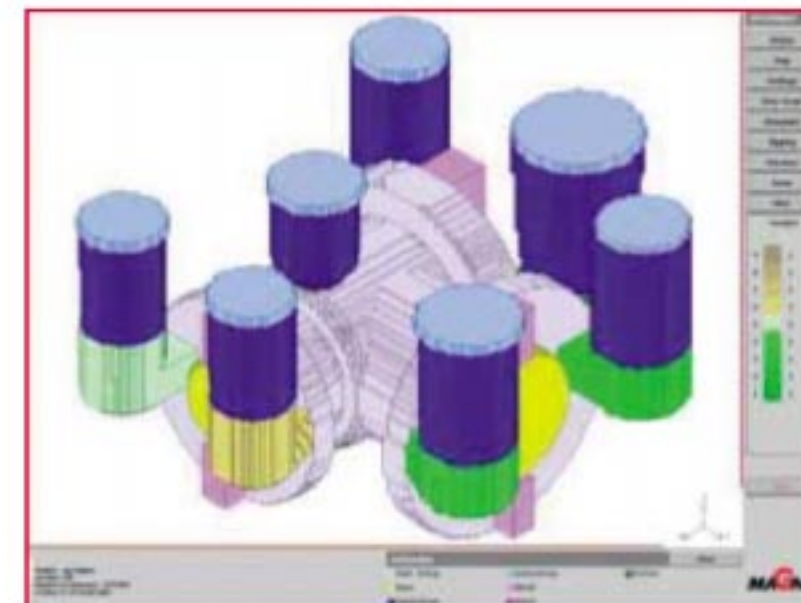


Figura 19: Simulazione computerizzata della valvola fusa con unità a colata diretta (completa di filtro) su una base per materozza laterale.



Figura 20: Speciale forma a guscio utilizzata per facilitare la visualizzazione radiologica del getto della valvola durante la colata.

Una chiara comprensione del flusso di metallo fuso che passa attraverso il filtro consente ai fonditori d'acciaio di meglio anticipare ed evitare la turbolenza, impedendo la formazione delle inclusioni da riossidazione. Questo permette anche di evitare i gradienti termici, responsabili dei fenomeni di ritiro e di altri difetti dei getti. È inoltre possibile stimare con maggiore precisione i tempi di colata e le caratteristiche di flusso quando occorre scegliere filtri specifici o progettare sistemi di colata in maniera tale da ottimizzare l'efficienza della fonderia.

### Esame radiologico in tempo reale del flusso di metallo liquido

La tecnologia radiologica è uno strumento estremamente utile per verificare le caratteristiche di flusso del filtro. È stata ampiamente utilizzata nell'ambito di numerosi programmi di ricerca sulla colata dei getti. Uno studio approfondito, che si è avvalso delle tecniche radiologiche in tempo reale per valutare le varie posizioni e gli orientamenti del filtro per modificare il flusso di metallo, è stato condotto in collaborazione con Castings Technology International di Sheffield (Inghilterra).

Tutti i filtri impiegati negli esami radiologici descritti nel presente documento erano filtri spugnosi ceramici a base di ossido di zirconio 10 ppi (pori per pollice lineare).

### Descrizione dell'apparecchiatura

L'apparecchiatura radiologica in tempo reale comprende una sorgente di raggi X Van de Graaff, un scintillatore e un videoregistratore (figura 7). La sorgente di raggi X produce una potenza di 2,4 M eV, diretta verso la cavità della forma, posizionata tra la sorgente stessa e il sistema video. Le immagini sono riprodotte su uno schermo al fosforo e riversate su un comando telecamera tramite uno specchio angolato. Le immagini vengono poi videoregistrate per poter essere successivamente visionate. La telecamera è dotata di obiettivo per la visione ravvicinata, che consente di ottenere un'immagine perfezionata (30,4 cm<sup>2</sup>). La forma è posizionata a circa 1,82 m dalla sorgente di raggi X, mentre lo schermo dello scintillatore si trova ad una distanza di altri 45,7 cm.

La forma è posta su uno speciale supporto che poggia a sua volta su una cella di carico. Quest'ultima regi-

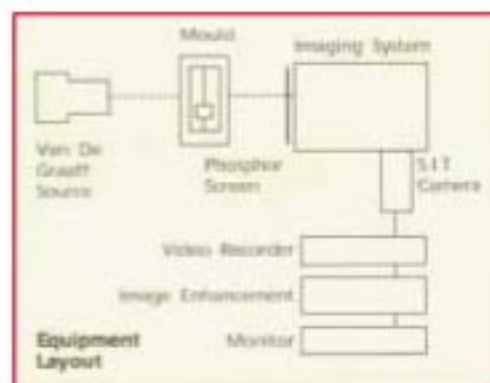


Figura 7: Schema dell'apparecchiatura per l'esame radiologico in tempo reale.

stra il peso del metallo colato in funzione del tempo. Questa configurazione consente di determinare il volume di metallo che scorre attraverso il filtro rispetto al tempo complessivo di colata (portata) (figura 8).

La siviera di colata in sorgente è gestita tramite telecomandi. L'attività all'interno del bunker è sorvegliata da tre telecamere telecomandate.



Figura 8: Configurazione dell'esame radiologico in tempo reale.

### Studi iniziali - Analisi radiologica dei getti su placca

Gli studi iniziali, precedentemente documentati, hanno riguardato la colata di getti su placca (con o senza filtri) per ottenere la conferma visiva dell'efficacia di controllo del flusso dei filtri nella colata di getti in acciaio (Wingfield, Delaney, Outten, 1999). Oltre a valutare l'efficacia del controllo del flusso del filtro, questi test miravano a confrontare gli effetti delle varie posizioni e canali di colata e dell'impiego del processo di colata diretta sulle caratteristiche del flusso durante il passaggio del metallo attraverso l'impianto di colata.

Per soddisfare le esigenze del procedimento radiologico, è stato espressamente studiato un getto su placca a giunzione verticale. Poiché lo spessore della sabbia di formatura era un parametro critico ai fini della nitidezza delle immagini radiologiche, venne deciso di sostenere la forma all'interno di un'apposita struttura d'acciaio, in grado di ridurre la quantità di sabbia richiesta. Per facilitare l'ubicazione dei vari attacchi di colata e le configurazioni di filtrazione, fu poi sviluppata una forma con anima assemblata.



Figura 9: Placca modello sostenuta in una struttura d'acciaio per l'esame radiologico.

Le dimensioni del modello del getto furono studiate in base al tipico peso dei getti prodotti con un filtro spugnoso ceramico a base di ossido di zirconio 75 x 75 x 25, ottenendo così una placca 600 x 400 x 60 mm di spessore, utilizzata per tutti i test.

### Descrizione della forma:

Posizioni dei canali di colata:

Le forme furono predisposte con canali di colata superiore e laterale. Alcune delle forme per la colata dall'alto furono approntate con una discesa centrale del diametro nominale di 50 mm per la colata diretta. Altre furono invece preparate per la colata diretta con un filtro spugnoso ceramico a base di ossido di zirconio del diametro di 75 mm e spesso 25 mm.

Furono testate due configurazioni di colata laterale. La prima era provvista di una discesa di colata con diametro nominale di 50 mm e di un posizionatore filtro dimensionato per accogliere un filtro spugnoso ceramico a base di ossido di zirconio 75 x 75 x 25 mm per la filtrazione a flusso continuo. La seconda prevedeva un'unità per la colata diretta, posizionata su una base materozza laterale, comprendente un filtro a schiuma ceramico a base di ossido di zirconio del diametro di 75 e spesso 25 mm.

Filtrazione:

Furono valutate quattro soluzioni di filtrazione: senza filtro, filtro pressato, filtri spugnosi ceramici circolari (applicazioni a colata diretta) e filtri spugnosi ceramici quadrati (applicazioni a flusso continuo). Laddove il canale di colata tradizionale integrava un posizionatore filtro, alcuni getti sono stati colati senza filtro e altri invece con il filtro, a scopo di confronto.

Parametri di prova:

La colata di prova venne effettuata con una siviera in sorgente da 1 tonnellata, dotata di un bocchello del diametro di 32 mm. Gli esperimenti furono condotti con acciaio al carbonio e un peso colato di 150 kg. Le temperature iniziali della siviera erano comprese tra 1600 e 1620°C. Nel momento in cui il bunker radiologico fu evacuato ed iniziata colata telecomandata, il metallo aveva raggiunto una temperatura compresa tra 1590 e 1600°C.

Durante questi test, si fece uso della videografia al rallentatore ad alta velocità per registrare il flusso di metallo fuso attraverso il bocchello della siviera in sorgente. Poiché, durante la colata, il flusso di metallo entra in contatto con l'ossigeno contenuto nell'aria, è possibile osservare la formazione delle inclusioni, evidenziata dalla colorazione gialla, sulla superficie esterna del flusso di metallo (figura 10).

Risultati delle prove:

Nelle prove di colata dall'alto senza filtro, il metallo è stato direttamente colato nella cavità della forma attraverso la discesa centrale. La forma è stata riempita in circa 8 secondi, ad una velocità di 16,8 kg/sec (figura 11). Nella ripresa al rallentatore della colata, si nota una notevole turbolenza del flusso di metallo fuso nel momento in cui vi è trascinamento d'aria; sono chiaramente visibili le grosse bolle gassose che fuoriescono dalla forma durante il suo riempimento (figura 12). Questa esposizione all'aria di un'ampia superficie di metallo fuso produce le condizioni ideali per la formazione di inclusioni da riossidazione.

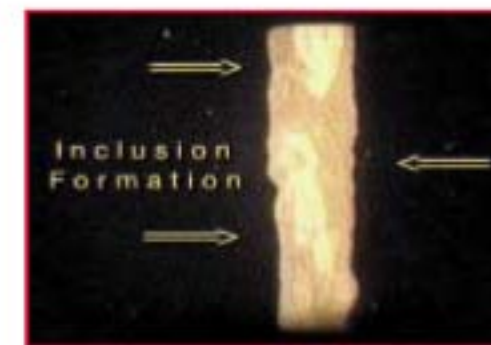


Figura 10: Ripresa video ad alta velocità della formazione delle inclusioni da riossidazione.



Figura 11: Immagine radiologica del getto su placca colato dall'alto senza filtro nelle prime fasi di colata.



Figura 12: Immagine radiologica del getto su placca colato dall'alto senza filtro nelle fasi di colata successive.



Figura 13: Immagine radiologica del getto su placca colato dall'alto con filtro durante l'innescio di quest'ultimo.



Figura 14: Immagine radiologica del getto su placca colato dall'alto con filtro, nella quale si nota la ridotta turbolenza del metallo all'ingresso del getto.



Figura 15: Immagine radiologica del getto colato lateralmente senza filtro (posizionatore filtro vuoto), nel momento in cui il metallo "schizza" nel getto.



Figura 16: Immagine radiologica del getto colato lateralmente senza filtro, nella quale si nota il "rotazione" del metallo durante il riempimento del getto.



Figura 17: Immagine radiologica del getto colato lateralmente con filtro, nella quale si nota il flusso pieno di metallo che entra nel getto.

Nella stessa configurazione di prova, questa volta a colata diretta, la forma è stata riempita in circa 9 secondi, ad una velocità di 15 kg/sec. Il filtro spugnoso ceramico è stato innescato dal metallo liquido in meno di 0,25 secondi (figura 13). Il filtro ha controllato il flusso di metallo, dando luogo ad un'altezza ferrostatica di colata al di sopra del filtro stesso, nella quale è possibile osservare la turbolenza e i gas intrappolati. Il filtro ha dissipato la turbolenza, contribuendo ad evitare l'ingresso dei gas nella cavità della forma.

La videografia al rallentatore del metallo al di sotto del filtro evidenzia chiaramente la ridotta turbolenza del flusso di metallo e l'assenza delle grosse bolle gassose in superficie, rilevate invece nella prova senza filtro (figura 14).

Quando i getti sono stati colati con il canale laterale provvisto di posizionatore in grado di accogliere un filtro spugnoso ceramico a flusso continuo, sono stati ottenuti risultati altrettanto straordinari. Quando la forma è stata riempita senza filtro, si è potuto osservare un ampio "schizzo" di metallo all'ingresso della cavità (figura 15). Con il procedere del riempimento, è stata chiaramente evidenziata un'azione di "rotazione" mano a mano che il metallo in ingresso ad alta velocità continuava a erodere le pareti della cavità e ad esporre il metallo alla riossidazione (figura 16).

Con un filtro spugnoso ceramico 75 x 75 x 25 mm inserito nel posizionatore, il flusso al di sotto del filtro stesso non era più uno "schizzo", bensì un flusso pieno di metallo (figura 17). Il metallo meno turbolento ha riempito la cavità in maniera uniforme, con un minimo rotazione, e soltanto la superficie affiorante del metallo è stata esposta alla riossidazione. Questa procedura di riempimento più regolare consente la facile evacuazione dei gas presenti nella forma e influisce positivamente sulla distribuzione termica in corrispondenza delle sue pareti. Ne risulta un riempimento più uniforme, con una distribuzione omogenea nella cavità della forma, creando le condizioni ideali per la solidificazione direzionale e la produzione di getti più sani. Inoltre, poiché il flusso di metallo rimane intatto e la forma si riempie senza turbolenza, diluiscono i rischi di difetti da solidificazione prematura.

#### Studi successivi - Esame radiologico a conferma dei risultati delle simulazioni

Sebbene i getti su placca siano ideali per gli studi radiologici in virtù della loro sezione trasversale relativamente sottile e costante, l'applicazione pratica dei risultati è limitata. Per raccogliere informazioni che fossero riferibili ai getti caratteristici, è stato condotto un esame radiologico del getto di una valvola di serie in acciaio (Midea, Alquist, Blackburn, 2001). Nell'ambito di questa prova, la valvola è stata anche modellata con l'ausilio della simulazione computerizzata. Sono state predisposte due configurazioni di colata: un impianto tradizionale con filtro a schiuma ceramico quadrato a base di ossido di zirconio a flusso continuo e una colata diretta con filtro spugnoso ceramico circolare a base di ossido di zirconio, che rende superflui i componenti del normale sistema di colata.

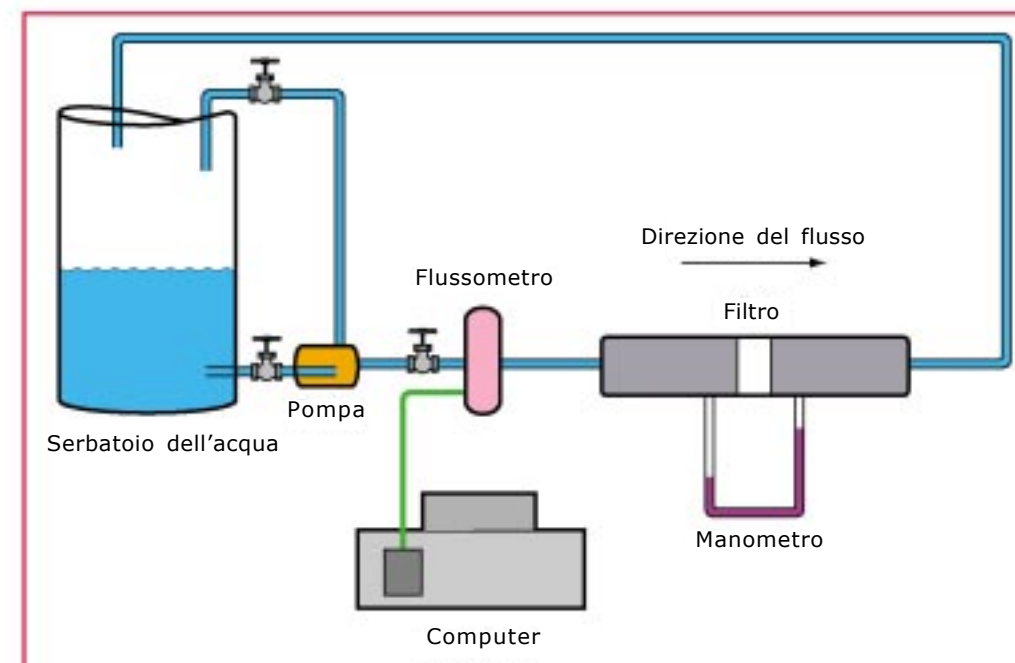


Figura 3: Apparecchiatura di modellazione ad acqua, utilizzata per determinare i coefficienti di permeabilità.

Un metodo più scientifico di modellazione ad acqua si avvale dell'apparecchiatura illustrata nella figura 3. Essa prevede un circuito continuo, nel quale l'acqua contenuta in un serbatoio viene pompata attraverso il filtro, montato in una cella di prova, per poi rifluire verso il serbatoio. Un manometro differenziale misura il calo di pressione tra i lati a monte e a valle del filtro. Questa apparecchiatura è stata utilizzata per definire i coefficienti di flusso necessari per elaborare un modello accurato del flusso di acciaio fuso attraverso un impianto di colata e nella cavità del getto, con l'ausilio della simulazione computerizzata (Midea, Alquist, Blackburn, 2002; Midea, 2001).

#### Simulazione computerizzata

I software di simulazione dei profili di flusso del metallo fuso sono un altro strumento impiegato per studiare le capacità di modifica del flusso dei filtri spugnosi ceramici. La simulazione computerizzata consente alle fonderie di acciaio di prevedere il comportamento del metallo fuso nel momento in cui passa attraverso il filtro ed entra nella cavità del getto. Essa è diventata uno strumento fondamentale per molte fonderie, desiderose di ridurre i costi e migliorare la qualità del processo di colata (McMillin, 1999).

I programmi di simulazione sono ormai diventati potenti strumenti in grado di risolvere equazioni complesse (ad esempio, quelle di Navier-Stokes) per prevedere le caratteristiche del flusso liquido. I risultati, quali la velocità e la pressione del flusso, possono essere analizzati per determinare i livelli di turbolenza del metallo che passa attraverso i canali per entrare nella cavità della forma. Le figure 4a e 4b illustrano gli effetti di un filtro sul flusso di metallo che entra nel getto di una valvola. La figura 4a illustra la turbolenza che si forma quando non viene utilizzato nessun filtro e il metallo urta direttamente la parete getto. La figura 4b evidenzia l'effetto "calmante" del filtro sul metallo che lo attraversa (Outten, 1996).

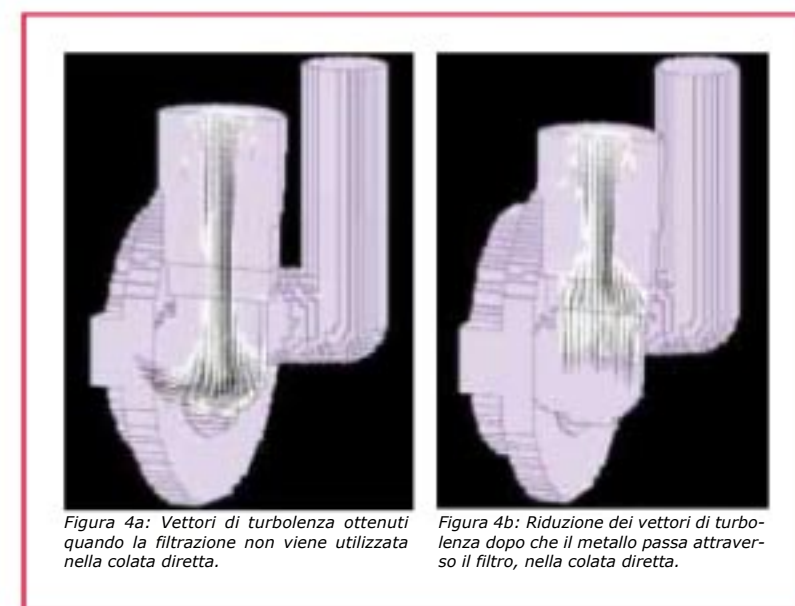


Figura 4a: Vettori di turbolenza ottenuti quando la filtrazione non viene utilizzata nella colata diretta.

Figura 4b: Riduzione dei vettori di turbolenza dopo che il metallo passa attraverso il filtro, nella colata diretta.

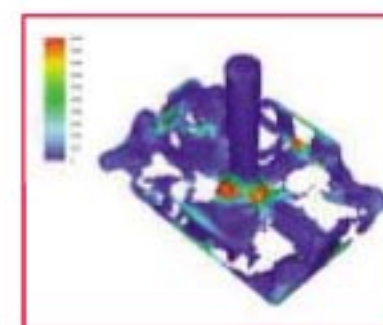


Figura 5: La simulazione computerizzata mostra il metallo non filtrato che penetra nel getto sulla placca.

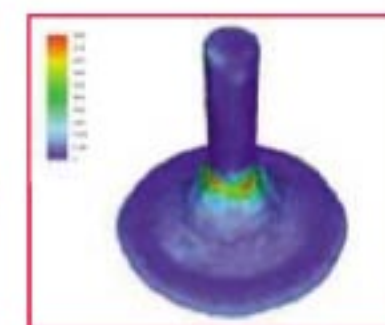


Figura 6: La simulazione computerizzata mostra il metallo filtrato che penetra nel getto sulla placca.

La figura 5 illustra il flusso di metallo che penetra in un getto su placca, durante una colata diretta senza filtrazione. La figura 6 illustra invece una colata diretta con un filtro spugnoso ceramico posto alla base dell'unità di colata. Come si può chiaramente vedere, il metallo scorre nel getto in maniera molto più uniforme e regolare dopo avere attraversato il filtro.