



Dal  
dialogo  
nasce  
l'alta  
qualità.

**FILTERCALC\* per l'acciaio**  
**Programma basato su Windows per il**  
**dimensionamento dei filtri spugnosi**  
**destinati all'acciaio**



Foseco s.r.l.  
Via Ravello, 5/7  
20080 VERMEZZO (MI)  
Tel. 02 949819.1  
Telefax 02 94943020  
[www.foseco.it](http://www.foseco.it)

# FILTERCALC\* per l'acciaio

## Programma basato su Windows per il dimensionamento dei filtri spugnosi destinati all'acciaio

### Premessa

Tra i vantaggi ampiamente riconosciuti dei filtri spugnosi ceramici nella colata dell'acciaio, figurano l'eliminazione delle inclusioni non metalliche, la riduzione della turbolenza per minimizzare la riossidazione e la semplificazione dei canali di colata (1,2). Tuttavia, per ottenere la massima efficacia e convenienza economica, il filtro deve essere adeguatamente dimensionato e applicato.

La scelta dei filtri è sempre stata tradizionalmente basata su tabelle di portata e intervalli della capacità di filtrazione, tratti dall'esperienza di fonderia in condizioni standard di fusione, colata e formatura. Questo metodo richiedeva spesso interpolazioni e ripetute prove di fonderia per determinare le caratteristiche specifiche per ogni applicazione. Già esistono metodi elaborati per progettare efficaci impianti di colata con filtro, ma sono scarsamente utilizzati a causa di vincoli economici e/o di tempo.

Un nuovo programma informatico semplifica la scelta del filtro, rendendola più precisa. È basato sui principi fisici (descritti qui di seguito) che governano la dinamica dei fluidi e su dati empirici tratti da ampi studi di modellazione idrica, per determinare gli effetti del calo di pressione indotti dall'introduzione di filtri spugnosi nel flusso di metallo fuso.

### Introduzione

Un filtro correttamente dimensionato per un determinato getto soddisfa i requisiti del tempo di colata massimo, rispettando nel contempo il proprio limite di capacità, definito come la quantità di metallo che lo attraversa prima che si verifichi l'intasamento.

Il tempo di colata dipende dalla geometria del getto e dello stampo, dal tipo di lega, dai materiali dello stampo e dell'anima, dalla temperatura di colata e dal calo di pressione che si verifica durante il passaggio del flusso di metallo attraverso il filtro. La capacità di filtrazione dipende a sua volta dalla composizione della lega, dal metodo di disossidazione, dalla pressione metallostatica, dalla temperatura di colata, dalla porosità del filtro e dall'area frontale.

Oltre ad eliminare le inclusioni dall'acciaio, i filtri modificano la portata del metallo e riducono la turbolenza. La modifica della portata dipende dal materiale dallo spessore e dalle dimensioni dei pori del filtro, nonché dalla velocità di ingresso del flusso.

La portata massima dell'impianto è determinata dalla sua strozzatura. Nel caso degli impianti di colata diretta, la strozzatura corrisponde sempre alla zona di uscita dell'unità KALPUR. Con i canali di colata a flusso continuo, la determinazione dell'ubicazione della strozzatura è più difficile e può essere influenzata dalla superficie di uscita della discesa di colata, dall'impronta del filtro, dalle caratteristiche di portata del filtro e dalle condizioni del processo di fonderia. A seconda dei suddetti vincoli, la strozzatura del sistema di colata continuo sarà situata in corrispondenza della discesa di colata o dell'impronta del filtro.

### Attuali metodi di selezione dei filtri

Gli attuali metodi di dimensionamento dei filtri utilizzano tabelle di dati tratte dalla generica esperienza di fonderia. Per ogni dimensione del filtro, vengono solitamente forniti intervalli di valori, anziché portate e capacità di filtrazione specifiche. Risulta quindi difficile adattare questi valori per tenere conto delle variazioni del tipo di lega, della purezza del metallo, delle condizioni di formatura e dei metodi di colata che si riscontrano presso una determinata fonderia.

Con l'ausilio dei metodi esistenti, una volta selezionato il filtro, la discesa di colata viene semplicemente dimensionata in base al rapporto area discesa/filtro consigliato. Si tratta però di una tecnica approssimativa, in quanto l'intasamento del filtro è proporzionale alla quantità di metallo che lo attraversa, e non al rapporto area discesa/filtro.

La capacità di filtrazione dipende da numerosi criteri. Tra i principali fattori in grado di limitarla, figurano l'intasamento, che riduce sensibilmente la portata, e il cedimento della struttura del filtro, dovuta al superamento della sua capacità.

Gli attuali metodi di selezione del filtro presentano gravi limiti e danno generalmente luogo a sovradimensionamenti e a maggiori costi di filtrazione. Questi inconvenienti possono logicamente precludere l'impiego della filtrazione per un particolare getto.

Al fine di semplificare e migliorare la precisione di dimensionamento dei filtri spugnosi ceramici, è stato sviluppato un esclusivo programma informatico. Si tratta di uno strumento avanzato, che prende in considerazione il comportamento del filtro all'interno e come parte integrante dello specifico impianto di colata da utilizzare.

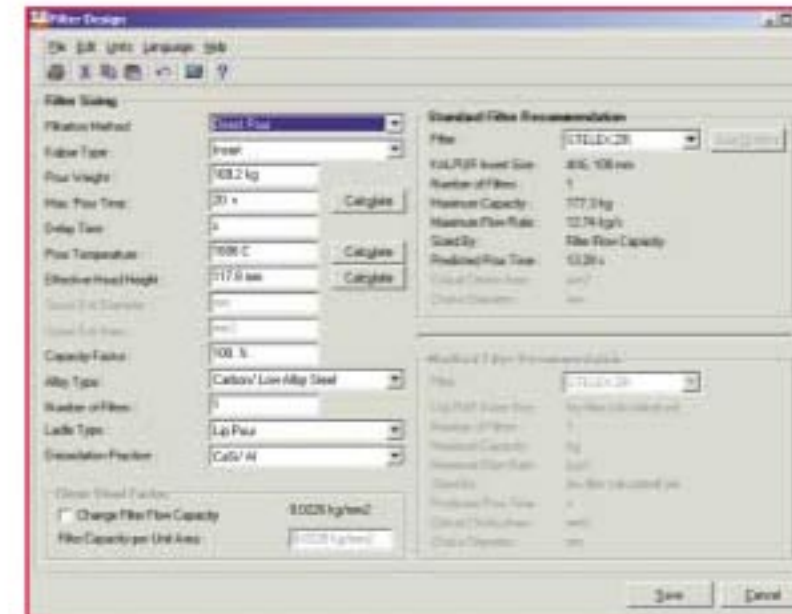


Figura 9: Impostazioni FILTERCALC per l'acciaio e prescrizioni per il getto corpo valvola

La figura 9 illustra le impostazioni e la prescrizione.

Il programma prescrive un'unità di colata diretta 4 x 6 (con filtro STELEX ZR 100mm). Il filtro possiede una **capacità massima di filtrazione** di 177,3 kg e una portata massima di 12,74 kg/s (sulla base di un'altezza di colata di 117,8 mm, presupponendo l'unità KALPUR piena per  $\frac{3}{4}$ , come normalmente previsto in questa fonderia). Questa configurazione è **dimensionata in base** alla portata del filtro.

Nella pratica, viene utilizzata un'unità di colata diretta 4 x 6 x 100 mm. Il tempo di colata effettivo è dell'ordine di 14,5 secondi. Questo valore è in linea con il tempo di riempimento previsto di 13,28 secondi. Inoltre, la portata misurata effettiva di 11,65 kg/s è perfettamente in linea con la portata massima prevista (12,74 kg/s).

I risultati della portata prevista rientrano nella tolleranza dell'8% della pratica attuale per questa configurazione a colata diretta.

I risultati sono coerenti con le altre configurazioni in linea e a colata diretta che sono state analizzate.

### Riepilogo e conclusione

Al fine di ridurre la complessità di dimensionamento dei filtri per i getti in acciaio, è stato messo a punto un esclusivo e avanzato strumento applicativo. Questo programma informatico genera prescrizioni più precise, in quanto il comportamento del filtro viene preso in considerazione all'interno e come parte integrante dell'impianto di colata. Inoltre, il programma è basato sui principi fisici che governano i flussi e utilizza parametri di fonderia specifici.

Ne risultano prescrizioni meno prudenti di quelle tratte dai valori di portata e dagli intervalli di capacità tradizionalmente riportati nelle schede tecniche. Questo consente di elaborare soluzioni di filtrazione economicamente più convenienti.

### Bibliografia

1. J. Svoboda, "Filtration of Liquid Steel", Steel Founder's Society of America Research Report No. 98, Maggio 1986.
2. "Development of Casting Technology to Allow Direct Use of Steel Castings in High Speed Machining Lines", Steel Founder's Society of America Report, Maggio 1987.
3. D.R. Poirier, G.H. Geiger, "Transport Phenomena in Materials Processing", TMS, USA, (1994), pagg. 79-82 e 119-124.
4. T. Midea, B. Alquist, C. Blackburn, "Increasing the Accuracy of Metal Flow Results in Steel Castings", Steel Founder's Society of America Technical and Operating Conference, Chicago, IL, Novembre 2001.
5. T. Midea, "Increasing the Accuracy of Metal Flow Results", Foundry Management and Technology, Agosto 2001.
6. E.A. Lange, A.T. Bukowski, "Pouring Times for Steel Castings", Rapporto di ricerca della Marina statunitense, Washington, D.C., 1958.

Il "delay time" è il tempo variabile che precede e segue la portata stabilizzata, derivante dall'innescio del filtro e dalle variazioni di colata dovute al fattore umano. Se la fonderia effettua colate intensive o utilizza la colata automatizzata, questo parametro può essere ignorato o impostato a zero (impostazione di default). L'immissione del "delay time" è soggettiva ed è importante soprattutto per i getti di piccole dimensioni.

Il tempo di colata ai fini del dimensionamento è rappresentato dal **tempo massimo di colata** meno il "delay time". A questo punto, viene calcolata la portata in massa richiesta, sotto forma di peso del metallo diviso per il tempo di colata ai fini del dimensionamento.

La **temperatura di colata** viene impostata o può essere calcolata sulla base degli input di chimica dei metalli (utilizzando il pulsante **Calculate**).

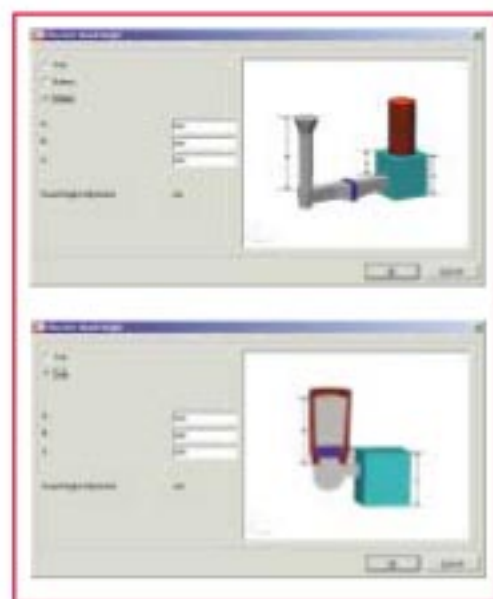


Figura 3: Calcolo dell'altezza di colata effettiva

Per quanto riguarda l'**altezza di colata effettiva** del sistema, l'utente può impostare un valore noto oppure selezionare **Calculate** per determinarlo (figura 3).

Questo parametro è molto importante ai fini della determinazione della portata; occorre perciò essere certi di impostare valori corretti. L'aumento dell'altezza di colata determinerà portate maggiori e la potenziale prescrizione di un filtro di minori dimensioni. Cf. il successivo paragrafo Portata diretta.

I parametri facoltativi **diametro discesa di colata** e **area di uscita discesa di colata** sono necessari solo i sistemi di colata. L'utente può scegliere di affidare al programma il calcolo di queste dimensioni, come descritto nel successivo paragrafo Logica di dimensionamento del filtro.

Il parametro **fattore di capacità** si applica alla **capacità massima** indicata per il filtro standard raccomandato. Consente all'utente di adeguare la capacità in base alla purezza del metallo e all'esperienza di fonderia.

Il **tipo di lega** può essere scelto tra numerose opzioni. Il programma contiene le caratteristiche termofisiche di ogni lega in funzione della temperatura; queste informazioni sono utilizzate per calcolare la portata.

Infine, occorre impostare il **tipo di siviera** (colata a rovesciamento o a tampone) e il **metodo di disossidazione del metallo** (CaSi/Al o Zr/Ti). Questi valori influiscono sulla **capacità massima** del filtro standard raccomandato.

#### Filtri raccomandati

Una volta impostati i parametri, il filtro standard raccomandato appare nell'apposito riquadro della videata.

Il filtro raccomandato predefinito è il tipo STELEX, ZR 10ppi. È possibile selezionare tipi alternativi di filtri dal menu a tendina, per i quali apparirà la dimensione. (Nota: le dimensioni del filtro sono riferite alle applicazioni in linea, mentre la dimensione dell'unità KALPUR è fornita per le applicazioni di colata diretta). Vengono visualizzate la **capacità massima** e la **portata massima** del filtro e il programma riconosce se il filtro (o l'unità) è stato dimensionato in base alla portata, ai vincoli di capacità del filtro o dell'area di uscita della discesa di colata (solo per applicazioni in linea).

Il **tempo di colata previsto** è calcolato in base alla portata massima del filtro raccomandato e del "delay time". Questo valore sarà sempre inferiore alla somma del **tempo massimo di colata** e del "delay time".

I parametri dell'**area di strozzatura critica** e del **diametro** individuano l'**area di uscita della discesa di colata** che può essere utilizzata prima che la discesa diventi la strozzatura dell'impianto e riduca la portata (applicazioni in linea).

Filter Size	Maximum Flow Rate	Predicted Pour Time
125/125/25	13.07 kg/s	8.02 s
100/100/25	13.07 kg/s	11.18 s
75/75/25	7.21 kg/s	18.47 s

Figura 4: Opzioni di dimensionamento del filtro

Se il filtro raccomandato per flusso continuo o l'unità di colata diretta è stato **dimensionato in base** alla portata, può essere possibile valutare opzioni di filtro/unità più piccole, tali da soddisfare i requisiti di capacità di filtrazione. Queste opzioni daranno però luogo a portate massime inferiori e a maggiori **tempi di colata previsti**. Le opzioni (figura 4) possono essere valutate selezionando il pulsante **Size Options**, accanto al **filtro** raccomandato.

Questa figura illustra due filtri aggiuntivi in grado di soddisfare anche i requisiti di capacità di filtrazione in caso di allentamento dei vincoli di **tempo massimo di colata**.

Il filtro standard raccomandato è un filtro STELEX ZR 125 x 125 x 30 mm, che sarà luogo ad tempo di colata previsto di 8,02 secondi (6,02 effettivi + 2,0 di ritardo).

Tuttavia, se è accettabile un tempo di colata leggermente più lungo, è possibile utilizzare un filtro 100 x 100 x 25 mm, con un tempo di colata totale di 11,18 secondi (9,18 + 2).

È altresì possibile optare per un filtro 75 x 75 x 25 mm, nel qual caso il tempo di colata previsto aumenterebbe però a 18,47 secondi (16,47 + 2).

#### Logica di dimensionamento del filtro

Innanzitutto, il programma dimensiona il filtro per soddisfare i requisiti del **tempo massimo di colata** (portata massima); in seguito, prende in esame la capacità di filtrazione.

#### Colata diretta

Per la configurazione a colata diretta, l'area di uscita dell'unità KALPUR rappresenta la strozzatura. Innanzitutto, viene selezionata l'unità KALPUR più piccola presente nel database. Il programma calcola la velocità di uscita, come descritto in precedenza; in seguito, calcola la portata richiesta, utilizzando l'area di uscita dell'unità KALPUR. Se la portata così calcolata non soddisfa o supera la portata richiesta, il programma sceglie la successiva unità KALPUR più grande e ripete i calcoli. La procedura continua fino all'individuazione dell'unità KALPUR che soddisfa il requisito di portata (**tempo massimo di colata**).

Un'attenzione particolare deve essere riservata alla determinazione dell'altezza di colata effettiva per un'unità KALPUR. Durante la colata rapida da una siviera a rovesciamento o a sifone, con un flusso di metallo di largo diametro, l'altezza di colata effettiva può essere più simile all'altezza di colata della siviera che non al livello del liquido nell'unità di colata diretta. Nella colata in cui un flusso di metallo meno consistente viene disperso in un serbatoio integrato al di sopra del filtro, l'altezza di colata nell'unità KALPUR corrisponderà all'altezza di colata effettiva.

Se l'unità KALPUR soddisfa anche i requisiti di capacità di filtrazione, il programma termina. In caso contrario, il programma ripete i calcoli, utilizzando la successiva unità KALPUR più grande, fino a soddisfare il requisito di capacità di filtrazione.

#### Sistema di colata

Il caso del sistema di colata è più difficile, occorre determinare se la strozzatura dell'impianto è costituita dal filtro o dalla discesa di colata.

Se la strozzatura corrisponde al filtro, i calcoli sono identici a quelli previsti per la colata diretta. Se invece la strozzatura è situata in corrispondenza dell'area di uscita della discesa di colata, l'impianto è limitato da quest'ultima, anziché dal filtro. In questo caso, il filtro raccomandato viene dimensionato in base al vincolo di portata determinato dall'area di uscita della discesa di colata.

A questo punto, i calcoli della capacità di filtrazione vengono eseguiti come descritto in precedenza. Il programma indicherà all'utente il momento in cui la discesa di colata diventa la strozzatura dell'im-

pianto (**Sized By**). Occorre fare molta attenzione ogniqualvolta il parametro dell'**uscita discesa di colata** limita la portata. Il metodo migliore consiste nel lasciare questo parametro in bianco e consentire al programma di elaborare le dimensioni dell'uscita della discesa di colata. Se i parametri **dell'area discesa di colata** o di **diametro** sono stati impostati, verificare che il **tempo di colata previsto** non superi il **tempo massimo di colata**.

Occorre anche notare che i tempi di colata effettivi possono essere più lunghi dei tempi di colata previsti nel caso in cui non sia possibile mantenere un'adeguata velocità di colata. Ad esempio, le velocità di colata superiori a 16 kg/s (35 lb/s) sono generalmente difficili da raggiungere con una siviera a rovesciamento o a sifone. Di conseguenza, sarà difficile elaborarne i modelli con l'ausilio di questo programma.

#### Posizionatori filtri

Il programma permette all'utente di visualizzare le varie tipologie di posizionatori (figura 2).

Una volta ottenuto il filtro raccomandato, l'utente può visualizzare il disegno del posizionatore e stamparne le dimensioni (figura 5).

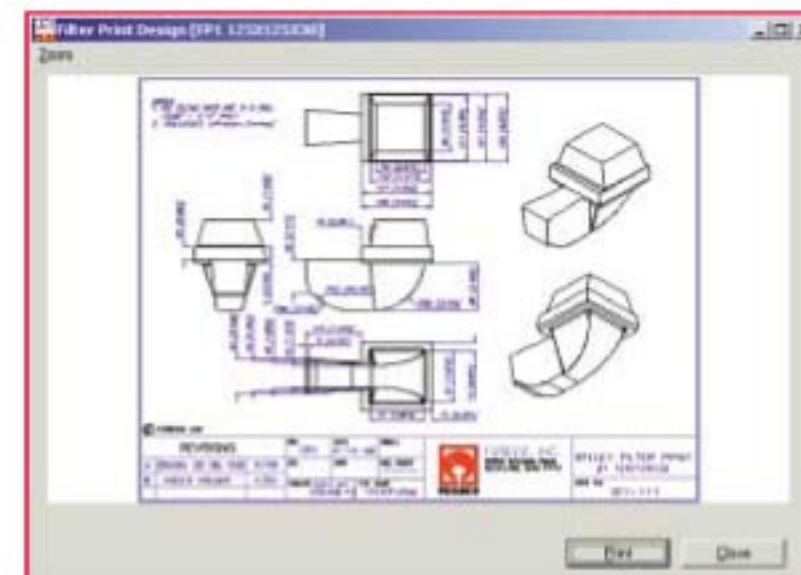


Figura 5: Schema dei posizionatori filtri

#### Convalida

I risultati del programma FILTERCALC per l'acciaio sono sostanzialmente paragonabili a quelli ottenuti utilizzando le informazioni pubblicate sulle schede tecniche. Tuttavia, poiché il programma consente un ampio adeguamento delle variabili impostate, le prescrizioni sono più precise di quelle ottenibili con il metodo tradizionale.

Sono stati analizzati due esempi di getti di produzione, per verificare se il programma sia in grado di stimare con precisione le dimensioni del filtro e i tempi di colata registrati durante l'effettiva produzione. Per la filtrazione in linea, è stato scelto un getto idraulico a 2 uscite. Per la colata diretta, è stato invece utilizzato un corpo valvola a 2 uscite.

### Sistema di colata

La figura 6 illustra i modelli delle staffe superiore e inferiore per il getto idraulico a 2 uscite. Da notare l'utilizzo del posizionatore filtro FP1.

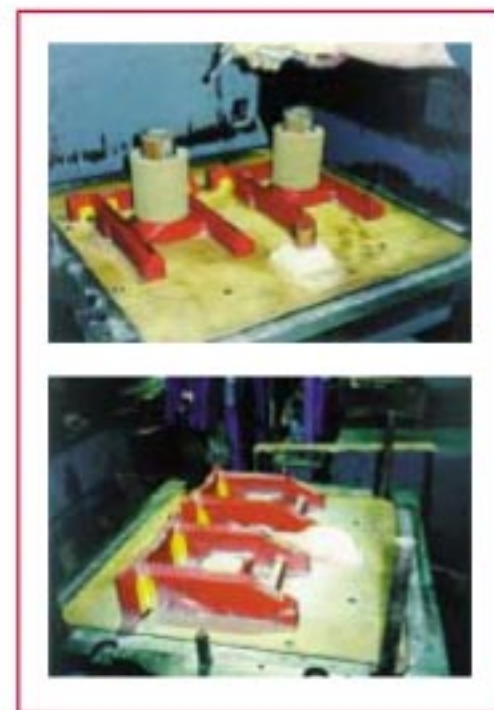


Figura 6: Modelli delle staffe superiore e inferiore per il getto dell'attrezzo idraulico a 2 uscite

Il peso colato effettivo dello stampo è di 141,5 kg, mentre il peso netto di ciascun getto è pari a 45 kg, per un rendimento netto del 64%. La temperatura di colata dell'acciaio al carbonio è di 1602° C. La composizione chimica è la seguente: (0,16% C, 0,56% Si, 0,96% Mn, 0,038% Al, 0,07% Cr, 0,08% Ni, 0,02% Mo, 0,019% P e 0,014% S). È stata impiegata la fusione ad arco.

La siviera è del tipo a sifone; il tempo massimo di riempimento richiesto per questo sistema di colata non pressurizzato è pari a

14 secondi.

La figura 7 illustra le impostazioni e la prescrizione.

Il programma prescrive un filtro 100 x 100 x 25mm per l'impronta FP1. Il filtro possiede una **capacità massima** di 225,8 kg e una **portata massima** di 16,03 kg/s. (È stata impostata un'altezza di colata di 224,5 mm, calcolata in base alle dimensioni del sistema di colata). Questa configurazione è dimensionata in base alla portata del filtro; di conseguenza, l'area di uscita del posizionatore filtro corrisponde alla strozzatura del sistema.

Nella pratica, viene utilizzato un filtro 100 x 100 x 25 mm con un'impronta FP1. La configurazione effettiva del getto viene mediamente colata in 8,85 secondi, con uno scarto standard di 1 secondo. Questi dati sono in linea con il **tempo di colata previsto** di 8,83 secondi, entro lo scarto standard di 1 secondo.

Inoltre, la portata misurata di 16,25 kg/s è perfettamente in linea con la portata massima prevista di 16,03 kg/s, quindi ampiamente conforme allo scarto standard di 2 kg/s.

### Colata diretta

La figura 8 illustra i modelli delle staffe superiore e inferiore del getto corpo valvola a 2 uscite.



Figura 8: Modelli delle staffe superiore e inferiore per il getto del corpo valvola a 2 uscite

Il peso colato effettivo dello stampo è di 169 kg, mentre il peso netto di ciascun getto è pari a 40 kg, per un rendimento netto del 48%. La temperatura di colata dell'acciaio al carbonio è di 1606° C. La composizione chimica è la seguente: (0,26% C, 0,38% Si, 0,79% Mn, 0,058% Al, 0,16% Cr, 0,06% Ni, 0,05% Mo, 0,015% P e 0,008% S). È stata impiegata la fusione ad arco.

La siviera è del tipo a sifone; il tempo massimo di colata per questo sistema di colata non pressurizzato è pari a 20 secondi.

### Fisica dei flussi

La fisica applicata è in grado di migliorare sensibilmente la precisione di dimensionamento dei filtri. Esistono parecchi metodi per modellare fisicamente il flusso che passa attraverso il filtro. I più precisi e complessi richiedono la soluzione iterativa delle equazioni di Navier-Stokes. Si tratta di strumenti applicativi di non facile impiego, che utilizzano software sofisticati, implicano calcoli complessi ed esigono competenze di alto livello.

Un metodo meno rigoroso consiste nell'applicare l'equazione della Conservazione dell'Energia (o di Bernoulli) (3) per determinare le caratteristiche di portata dei fluidi. Piuttosto semplice, l'equazione di Bernoulli definisce la relazione esistente tra la pressione, l'altezza di colata e la velocità del fluido in un sistema. Per sistemi di colata semplici, questo metodo è adeguato e notevolmente più efficace rispetto ai precedenti metodi di dimensionamento dei filtri. I sistemi di colata complessi richiedono analisi più complesse della portata.

In tutti i casi, i modelli fisici della portata del filtro richiedono dati empirici che descrivano le caratteristiche del calo di pressione del filtro in funzione della velocità di ingresso nel filtro stesso. I dati relativi al calo di pressione descrivono la capacità di restrizione del filtro e possono essere rilevati tramite la modellazione idrica. La letteratura illustra in dettaglio lo sviluppo e la convalida dei dati di modellazione idrica per i dispositivi di filtrazione dell'acciaio (4,5).

L'altezza di colata, le dispersioni del sistema, la temperatura di colata, la densità e la viscosità della lega, il tipo di filtro, l'area di uscita e lo spessore influiscono sulla determinazione della velocità all'uscita del filtro. Le dispersioni dell'impianto comprendono non soltanto il calo di pressione, ma anche le perdite dovute alla rotazione e alla contrazione/espansione del sistema di colata.

Compensando tra loro l'altezza di colata e le dispersioni del sistema, è possibile determinare la velocità all'uscita del filtro. È quindi possibile calcolare la portata del sistema utilizzando la velocità di uscita, la densità del metallo e l'area di uscita del filtro.

Mentre la capacità di filtrazione di un determinato filtro viene sempre calcolata mediante tabelle empiriche basate sul tipo di lega, sulla purezza del metallo e sulle condizioni di colata, questo calcolo più esatto della portata migliora notevolmente la precisione di scelta del filtro.

### Programma FILTERCALC per l'acciaio

#### Impostazioni

Per avvalersi del programma, l'utente deve semplicemente immettere informazioni già note o facilmente calcolabili, nelle apposite finestre della videata Filter Design (figura 1).

Il **metodo di filtrazione** può essere scelto per la colata in linea o diretta.

Se si sceglie il **metodo in linea**, è possibile selezionare tra vari tipi di impronte filtri (figura 2).

Per il metodo della colata diretta, sono previste numerose forme dei componenti del manicotto, da selezionare nel menu a tendina, compresi **Cilindrico**, **Inseribile**, **Strozzato circolare**.

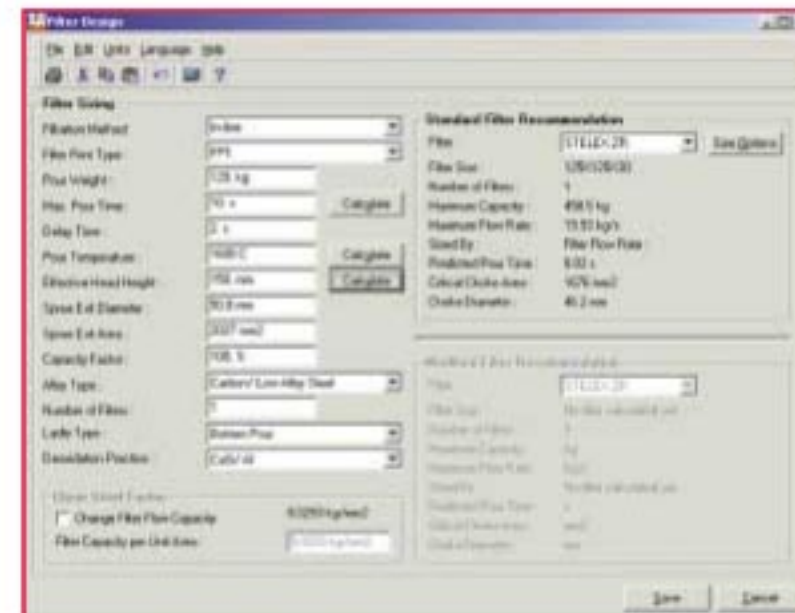


Figura 1: Videata di progettazione del filtro

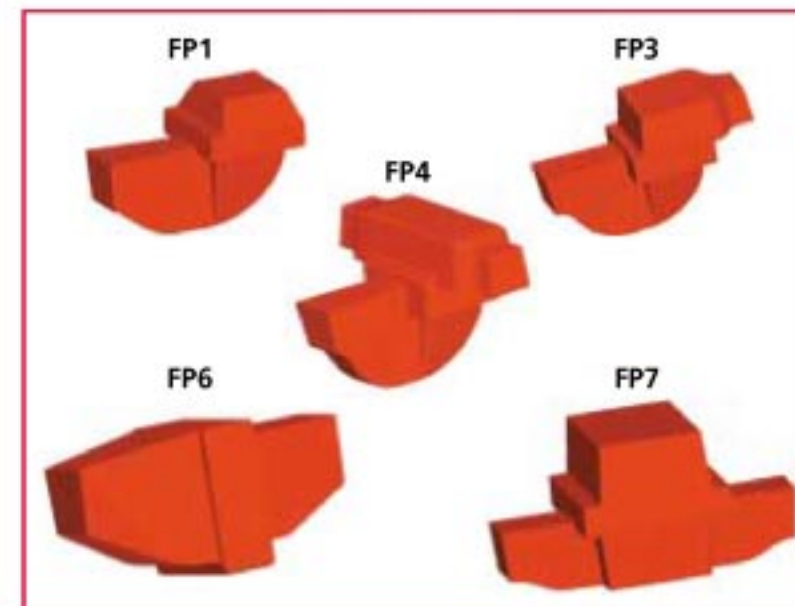


Figura 2: Tipologie di impronte filtri per l'acciaio

Occorre inserire il **peso di colata** dell'intera cavità dello stampo, anche in presenza di più di un getto per stampo. Il programma chiede poi di inserire il numero di filtri, così da definire i requisiti di capacità e portata per ognuno di essi. **Nota:** il programma presuppone che la stessa quantità di metallo debba passare attraverso ciascun filtro.

Il **tempo massimo di colata** può essere impostato oppure, mediante il pulsante **Calculate**, determinato con l'ausilio delle equazioni tratte dal Rapporto di ricerca della Marina statunitense "Pouring Times for Steel Castings", 1958 (6).

Il parametro del **"delay time"** determina il comportamento in fase di colata specifico per ogni fonderia. All'inizio della colata, la portata è generalmente bassa ed aumenta fino a stabilizzarsi al termine della colata. Utilizzando una portata media per calcolare il tempo di colata, si rischia di sottodimensionare il filtro. Per ottenere un corretto dimensionamento del filtro, occorre perciò prendere in considerazione il requisito di portata massima.

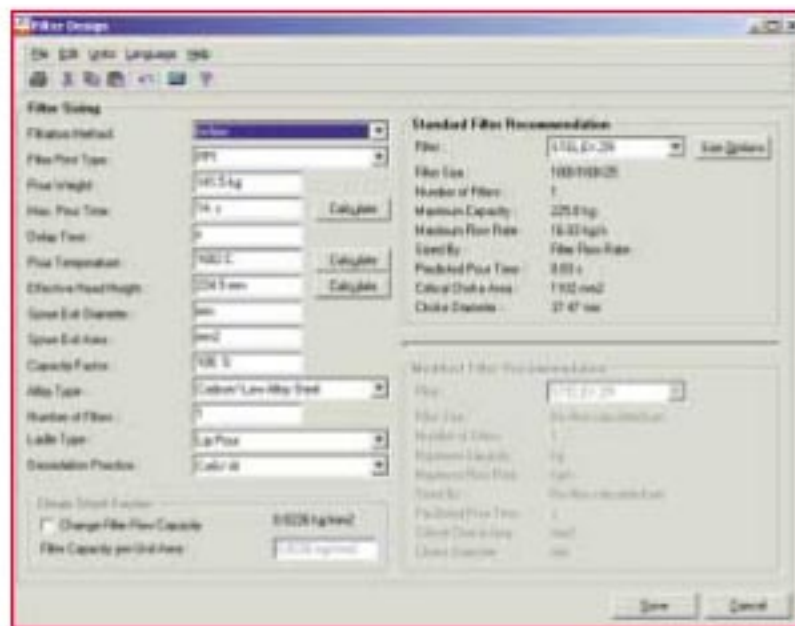


Figura 7: Impostazioni Filtercalc per l'acciaio e prescrizioni per il getto dell'attrezzo idraulico