



**Metodologia totale:  
un nuovo approccio al  
controllo strutturale dei getti**

# Metodologia totale: un nuovo approccio al controllo strutturale dei getti

## Introduzione

Nel settore dell'autotrazione, le esigenze della clientela sono in continua evoluzione. I costruttori devono perciò intensificare i loro sforzi per produrre veicoli desiderabili in termini di prezzo, comfort, prestazioni e sicurezza.

Parte integrante della catena produttiva, la fonderia deve costantemente rinnovarsi per raccogliere tali sfide e contribuire al processo globale.

A fronte delle crescenti pressioni subite dalle fonderie in materia di efficienza, le partnership tra i fornitori di materiali di consumo e i costruttori hanno acquistato una sempre maggiore importanza (1).

Queste partnership devono ormai prendere in esame tutte le aree del processo di colata, non soltanto quelle relative al singolo prodotto/procedimento.

In presente documento illustra ed esamina un approccio di questo tipo, detto "metodologia totale", prendendo ad esempio la collaborazione tra la fonderia di Sept Fons del Gruppo PSA Peugeot-Citroën e FOSECO.

Ad esempio, per ottenere le specifiche richieste di una nuova generazione di dischi freno ventilati in ghisa a grafite lamellare, il fornitore e il costruttore sono oggi entrambi fortemente coinvolti in tutte le fasi del processo produttivo, comprese la fusione, la formatura, le attività di laboratorio, le metodologie e la qualità.

Nel presente documento, vengono presi in esame aspetti specifici, quali l'inoculazione sul flusso di colata, e gli effetti dei miglioramenti ottenuti nella gestione attrezzature e dei vari tipi di inoculanti.

Inoltre, il ricorso ad un programma di simulazione dell'alimentazione e della solidificazione ha permesso di specificare sistemi di colata ottimali, in grado di assicurare il riempimento omogeneo dello stampo con i gradienti termici richiesti e negli intervalli di temperatura di colata previsti.

## Componenti dei freni

### Dischi ventilati

La tecnologia dei dischi freno in ghisa a grafite lamellare si sta rapidamente sviluppando (2). La tendenza attuale consiste nel sostituire i tamburi posteriori con dischi pieni, i quali sono a loro volta rimpiazzati da dischi ventilati sulle ruote anteriori.

I componenti sono configurati in maniera tale da garantire:

#### Resistenza termica e meccanica

I veicoli più pesanti, i motori più potenti, l'accresciuta efficacia delle pinze freni, le più ampie superfici di attrito, le frenate ripetute indotte dall'ABS, ecc., sono fattori che esercitano sempre maggiori sollecitazioni termiche e meccaniche sulle superfici frenanti (3). La ghisa a grafite lamellare rimane il materiale più idoneo per resistere a tali sollecitazioni.

Per verificare i requisiti delle specifiche, un campione rappresentativo del lotto di produzione è sottoposto ad un test di frenata distruttivo sul banco prove. Il disco ventilato così testato deve resistere a 20 frenate brusche consecutive in condizioni di carico pari ad un veicolo di 2.500 kg che viaggia a 240 km/h.

#### Usura

È necessario garantire una distribuzione omogenea dell'usura sulle superfici frenanti e aumentare la loro durata. Oggi, gli intervalli di manutenzione di alcuni veicoli sono stabiliti a 30.000 km. Di conseguenza, le specifiche dei costruttori impongono ormai una differenza di durezza inferiore a 20 HB in tutti i punti d'usura delle superfici frenanti.

#### Comfort

Il disco freno ventilato è sicuramente un componente legato alla sicurezza, ma influisce anche sul confort complessivo del veicolo.

La necessità di minimizzare, o addirittura eliminare, le vibrazioni in fase di decelerazione ha imposto severi vincoli dimensionali; ad esempio, il gioco assiale non deve superare 0,6 mm (figure 1).

## Inoculazione

Dopo avere ottimizzato il sistema di riempimento per ottenere una migliore e più ravvicinata distribuzione delle isoterme, la struttura, che dipende sia dalle condizioni di raffreddamento che dalla metallurgia, dovrebbe risultare più uniforme e riproducibile, a patto che l'inoculazione sul flusso di colata sia adeguata e sotto controllo.

L'inoculazione consiste nell'introdurre nuclei nella ghisa, allo scopo di fare precipitare il carbonio disciolto sotto forma di grafite lamellare. Il tipo di inoculante (composizione chimica e granulometria) e la sua modalità di applicazione sono essenziali ai fini della produzione di getti in ghisa sani e riproducibili.

L'ideale è introdurre la quantità ottimale subito prima del riempimento dello stampo. È necessario garantire una ripartizione costante e uniforme durante il riempimento di tutti i componenti, mettendo in atto un processo adeguato.

La figura 11 illustra un esempio di mediocre inoculazione sul flusso di colata. Laddove le dosi di additivo risultano imprecise, è stato utilizzato un distributore vibrante ad immersione. Inoltre, possiamo osservare che il flusso di inoculante è diretto verso la coppa di colata. Una volta innescato, l'inoculante galleggerà e si mescolerà con difficoltà.

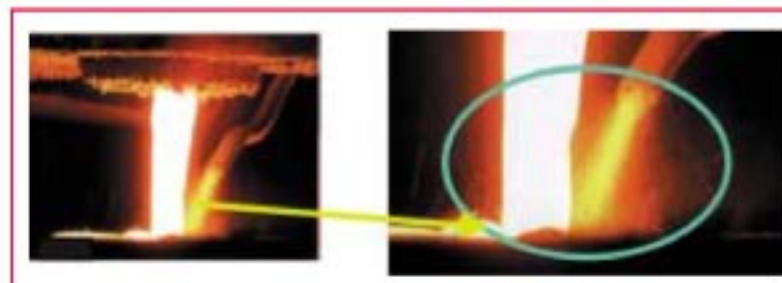


Figura 11: Esempio di inoculazione sul flusso di colata: l'inoculante non è direttamente diretto al flusso di ghisa e contiene troppi fini.

Ad un esame più attento, possiamo vedere un alone di fini che circonda il flusso principale. Benché le dimensioni dell'inoculante siano conformi alle specifiche (da 0,2 a 0,7 mm), la classificazione della granulometria è compresa tra 5 livelli.



Figura 12: Inoculazione sul flusso di colata impiegata in condizioni ottimali.

Nel secondo esempio (figura 12), abbiamo un distributore a gravità con una precisione di misurazione dell'ordine del 5%. L'inoculante 0,2 - 0,7mm presenta una granulometria più omogenea (compresa fra tre livelli granulometrici) ed è efficacemente diretto verso il flusso di metallo ad una velocità controllata, il che migliora lo scioglimento dell'inoculante stesso.

In seguito all'adozione del nuovo metodo di inoculazione, l'omogeneità metallurgica è migliorata e il tasso di scarto è diminuito. Inoltre, grazie alla maggiore efficacia del sistema di distribuzione a gravità e all'impiego di un inoculante più omogeneo, il tasso di additivo è stato ridotto del 15%.

## Conclusione

Gli sviluppi in corso nel settore autoveicolistico, tesi a soddisfare le esigenze ambientali, a migliorare la sicurezza e l'affidamento dei veicoli e a ridurre i costi di acquisizione e manutenzione, nonché il più rapido ciclo di rinnovo dei modelli, rende sempre più complesso il lavoro delle fonderie che forniscono i getti.

La fonderia di Sept Fons del Gruppo PSA Peugeot Citroën e FOSECO hanno riunito le loro rispettive risorse ed esperienze per soddisfare le nuove specifiche di qualità dei dischi freni ventilati.

La metodologia totale è un nuovo approccio della partnership fornitore/costruttore, che prende in esame l'intero processo produttivo, comprese la formatura anime, l'alimentazione, la colata e le proprietà metallurgiche.

*I nostri più sinceri ringraziamenti alla Fonderia di Sept Fons, che ci ha gentilmente concesso di pubblicare questa ricerca.*

## Bibliografia

(1) Sadon, P; Hurdebourcq, D; Besville, J.-C; Taylor, K.C. Industrial experience in the filtration of cast iron at the Peugeot Citroën foundries. Hommes & Fonderie N° 314, Maggio 2001.

(2) Savoldelli, D. Performance of flake graphite cast iron material in the production of brake parts and engine blocks. Hommes & Fonderie N° 330, Gennaio 2003.

(3) Le Gal, J. Making lighter cars: Is there still a place for cast iron products? Hommes & Fonderie N° 330, Gennaio 2003.

(4) Taylor, K.C. and Baier, A. Application of the ceramic foam filter on vertical joint moulding lines. 10° Congresso di Fonderia, San Paolo, Brasile, 23-25 Maggio 2001

## Risultati

Senza andare troppo nel dettaglio, il fattore che ha sensibilmente migliorato la situazione è stato l'aumento della temperatura di colata. Questo perché lo spessore e la superficie della zona contenente la grafite sottoraffreddata sono completamente scomparsi al di sopra di 1.430°C.

Questo conferma che la struttura della ghisa a grafite lamellare dipende sia dalla velocità di solidificazione e raffreddamento che dalla composizione chimica.

Tuttavia, con l'aumento della temperatura di colata, il ritiro può diventare un problema.

Per uscire da questa spirale, abbiamo fatto ricorso ad un programma di simulazione del riempimento e della solidificazione. L'impiego di questo software per progettare i sistemi di alimentazione, riempimento e colata è oggi consueto; in questo caso, abbiamo però utilizzato gli strumenti al preciso scopo di migliorare l'omogeneità metallurgica.

Un primo esame della simulazione di riempimento e raffreddamento mostra chiaramente un'area di metallo "più freddo" nella parte superiore del getto. Si tratta di una zona difettosa. Esiste sicuramente una correlazione che denota la presenza di grafite sottoraffreddata (figura 4).



Figura 4: Area di metallo freddo indicante la presenza di grafite sottoraffreddata.

## Sistema di colata attuale

La cavità è riempita mediante un impianto di colata pressurizzato, con gli attacchi di colata situati alla base della superficie interna e il flusso posto nella parte superiore, sullo stesso piano (figura 5).

Le sequenze di simulazione del riempimento per il sistema attuale, a vari stadi (figura 6), mostrano chiaramente che la velocità del metallo in corrispondenza dei primi due attacchi di colata è superiore a 1 metro/secondo, mentre raggiunge 1,5 metri/secondo nel primo attacco. All'inizio del riempimento, ciò provoca lo schizzo del metallo, imprimendogli un movimento rotatorio in senso orario, indicato dalla colorazione blu scuro. Ne conseguono un rischio di erosione delle alette e un elevato gradiente termico sulla stessa superficie e tra le due superfici del disco ventilato (questo aspetto è confermato qui di seguito).



Figura 5: Sistema di colata attuale. L'attacco di colata e il flusso si trovano sullo stesso piano.

mento, ciò provoca lo schizzo del metallo, imprimendogli un movimento rotatorio in senso orario, indicato dalla colorazione blu scuro. Ne conseguono un rischio di erosione delle alette e un elevato gradiente termico sulla stessa superficie e tra le due superfici del disco ventilato (questo aspetto è confermato qui di seguito).

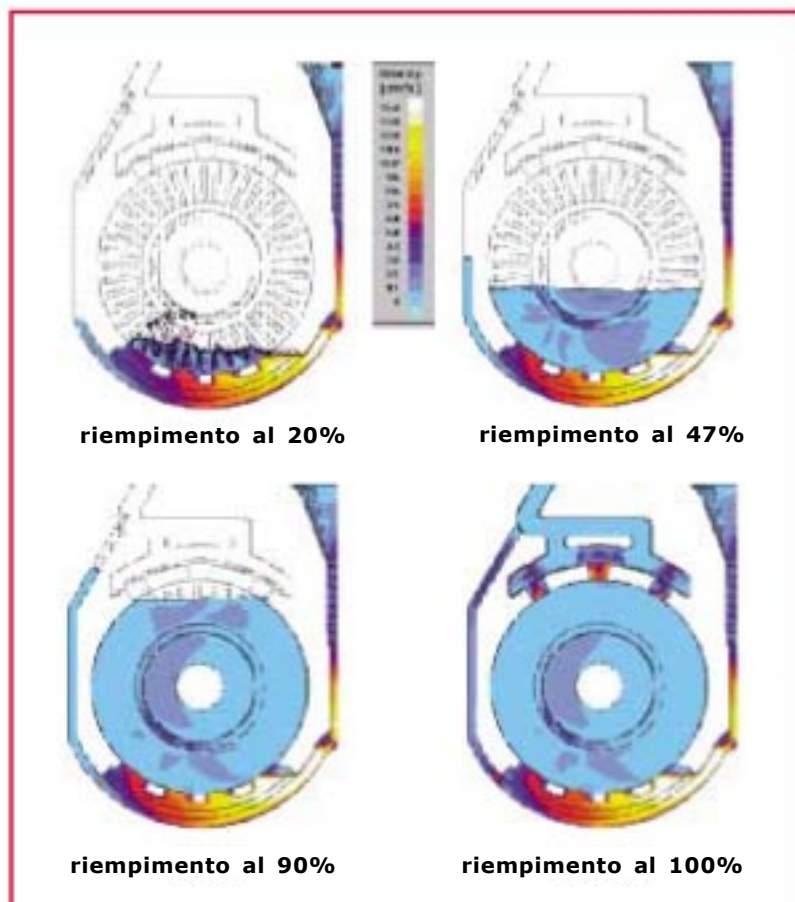


Figura 6: Sequenze di simulazione a vari stadi di riempimento. Notevole scempenso delle velocità di riempimento alle diverse angolazioni.

## Modifica del sistema di colata

Con l'ausilio del programma e della vasta esperienza (4) acquisita nell'applicazione dei filtri a schiuma ceramica, FOSECO ha elaborato una proposta riguardante un sistema di colata non pressurizzato, con attacchi alla base delle sezioni interna ed esterna del getto (figura 7).

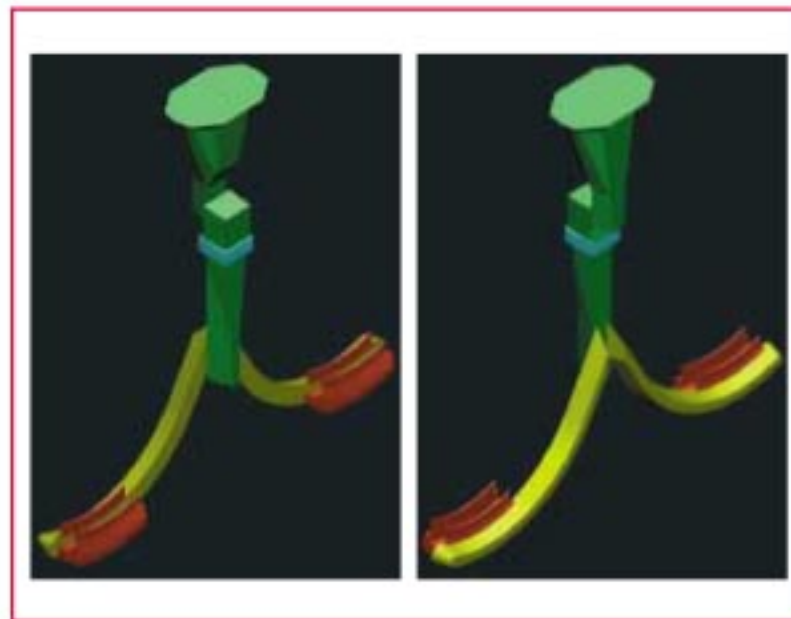


Figura 7: Proposta FOSECO: 1 filtro spugnoso ceramico e attacchi di colata su entrambe le piste freno.

I miglioramenti sono visibili (figura 8) e la velocità del metallo in corrispondenza degli attacchi di colata è inferiore a 0,5m/s. Lo schizzo all'inizio del riempimento è minimo. Il metallo riempie la cavità in maniera uniforme ed è ben distribuito.

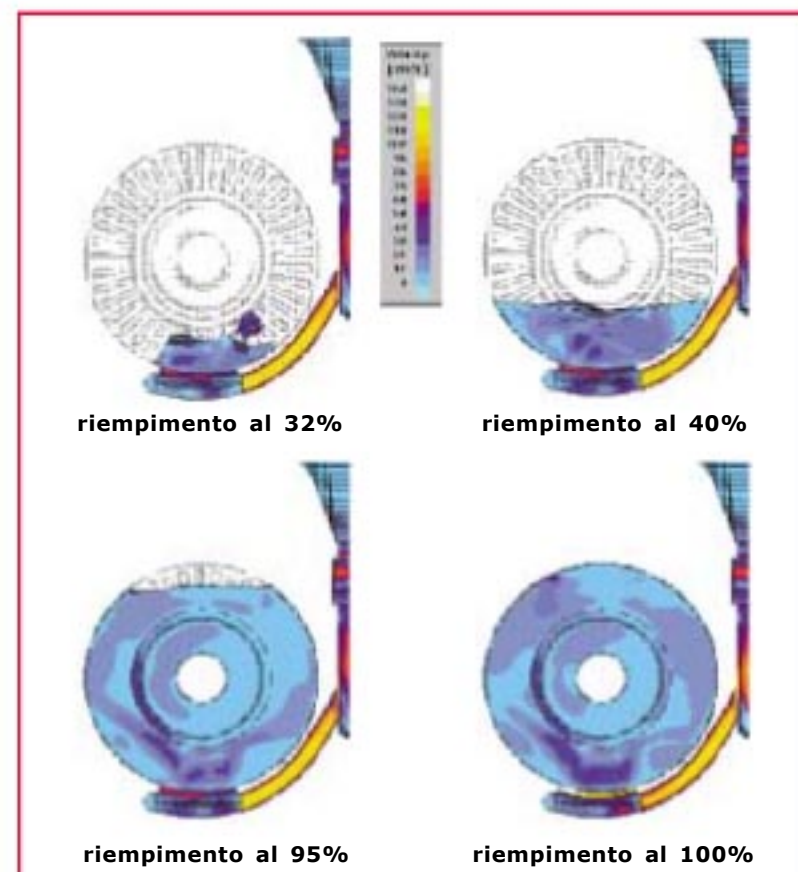


Figura 8: Sequenze di simulazione a vari stadi di riempimento. La velocità del metallo in corrispondenza degli attacchi di colata è inferiore a 0,5m/s, con una migliore distribuzione nello stampo.

### Simulazione del raffreddamento

La rappresentazione delle isoterme (figure 9 e 10) subito dopo la colata dei dischi a 1.420°C mostra in maniera eloquente la differenza di risultato tra lo spaccato longitudinale della superficie esterna e la sezione del disco, in base al sistema di colata.

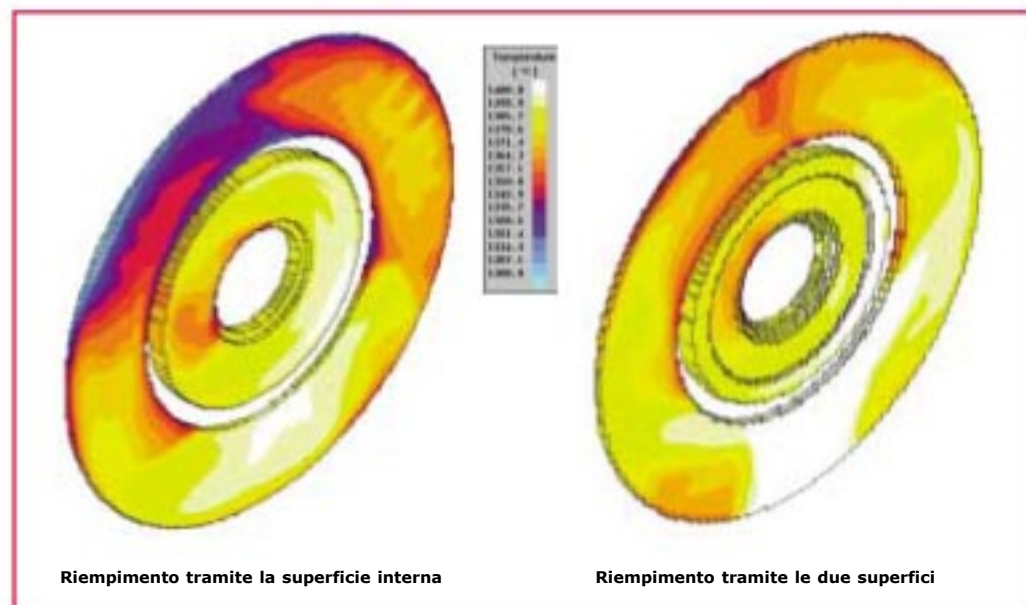


Figura 9: Temperatura di colata di 1.420°C. Spaccato longitudinale della superficie esterna, indicante i gradienti termici.

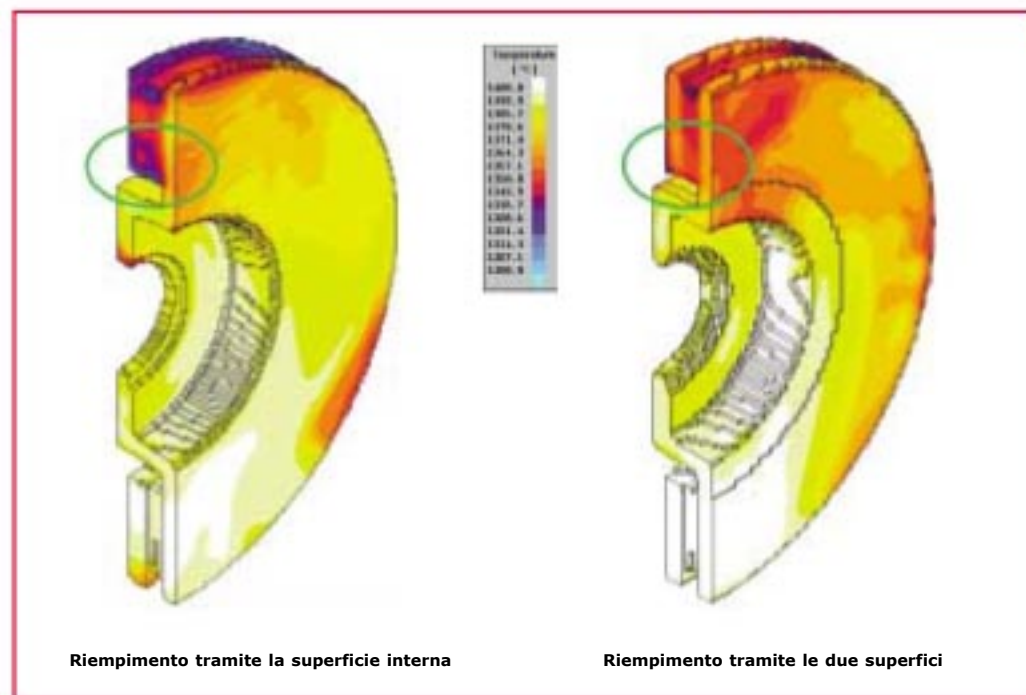


Figura 10: Temperatura di colata di 1.420°C. Sezione del disco, indicante i gradienti termici.

### Colata tramite la superficie interna

La zona "più fredda", nella parte superiore sinistra della superficie esterna, è compresa tra 1.310 e 1.350°C. Si tratta dell'area difettosa comprendente la grafite interdendritica. L'intervallo delle temperature sull'intero spaccato oscilla tra 1.310 e 1.400°C. Nella sezione, si osserva una maggiore uniformità di temperatura sulla superficie interna (tra 1.350 e 1.400°C). Questo spiega certamente, almeno in parte, la comparsa occasionale di fenomeni di ritiro.

### Colata tramite le due superfici

Notiamo una maggiore uniformità di temperatura e un intervallo più contenuto (tra 1.340 e 1.400°C) sull'intero spaccato della superficie esterna. Sulla sezione della superficie interna, la differenza di temperatura è compresa tra 1.340 e 1.400°C. Si tratta di condizioni ottimali per garantire una struttura metallurgica uniforme durante il raffreddamento del particolare.

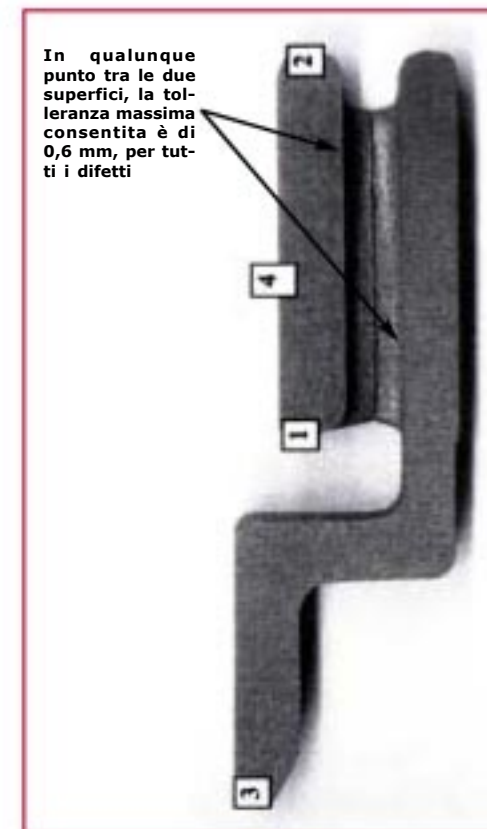


Figura 1: Massima riduzione delle vibrazioni.

### Il processo

Per soddisfare al meglio i criteri dimensionali sopra indicati, è necessario ricorrere alla formatura verticale ed occorre evitare eccessive sollecitazioni sull'anima, onde impedire le deformazioni (figura 2).

Gli stampi sono colati mediante un forno a canale con una capacità operativa di 6 tonnellate, provvisto di un'asta tampone. Il tempo di colata è di 7-8 secondi per un peso previsto di 26 kg. La colata è gestita in automatico, con controllo continuo della temperatura del flusso di metallo. L'inoculazione sul flusso di colata è dell'ordine dello 0,1%.



Figura 2: Sistema riempito dall'alto con due cavità.

### Componenti prototipo

Durante le prove al banco dei componenti prototipo, i dischi sono stati spaccati in corrispondenza della giunzione ad aletta della superficie esterna. L'esame micrografico dell'area fratturata accanto al mozzo ha rivelato la presenza di grafite interdendritica, nota anche con il nome di grafite di sottoraffreddamento, caratterizzata dall'assenza di una direzione preferenziale. La sua presenza è solitamente associata ad un raffreddamento rapido. L'area era molto localizzata (figura 3), mentre la struttura della parte restante è risultata conforme alle specifiche (grafite di tipo A in una matrice perlitica).

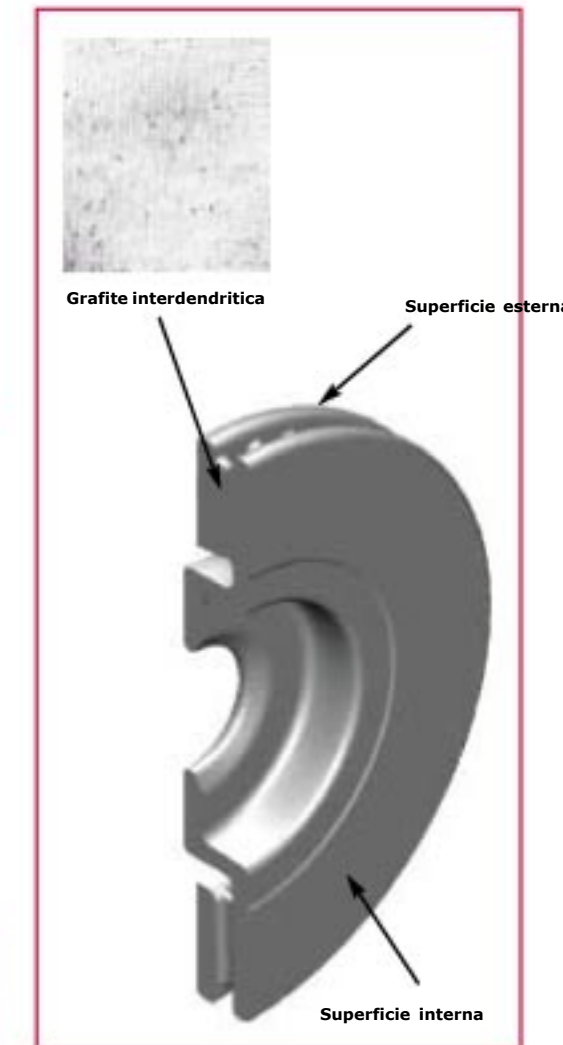


Figura 3: Superficie del disco con presenza di grafite interdendritica

Ogniquale si verifica questo problema, la prima cosa da fare è condurre prove metallurgiche per individuare e risolvere il problema in uno dei seguenti modi:

- Modificare il carbonio equivalente entro i limiti delle specifiche.
- Modificare la percentuale e il tipo di inoculante nella siviera di trasferimento.
- Modificare la percentuale e il tipo di inoculante nel flusso di colata.
- Aumentare la temperatura di colata.