

Titolo

Quanto conosci la tua inoculazione sul flusso?

Argomento	Codice articolo	Pagine	Link utili: https://www.proservicetech.it/
Inoculazione	PSTP-S-01-02	6	
Azienda	Contatto		
Proservice srl	sales@proservicetech.it		

Introduzione

Nel primo paper della serie, “Le criticità nella pratica di inoculazione e principali inoculanti”, è stato mostrato come l’inoculazione rappresenti uno dei punti metallurgici più sensibili del processo fusorio, influenzato da variabili critiche quali potenziale di nucleazione, evanescenza e modalità di aggiunta.

Questo secondo contributo affronta un aspetto spesso dato per scontato ma operativamente tra i più vulnerabili: l’inoculazione sul flusso. Sebbene percepita come un’operazione “automatica”, l’esperienza industriale dimostra che è estremamente sensibile a condizioni difficili da rilevare senza strumenti specifici.

Ostruzioni parziali del tubo, disallineamenti tra flusso d’inoculante e flusso di ghisa, variazioni non monitorate della portata possono compromettere in modo significativo la quantità di inoculante realmente incorporata nel metallo, con dispersione sulla motta, inoculazioni incomplete o inefficaci, aumento dei difetti metallurgici, sprechi economici e maggiore inquinamento della terra.

L’obiettivo di questo paper è duplice:

- evidenziare in modo tecnico e quantitativo le criticità intrinseche dell’inoculazione sul flusso e spiegare perché non possa essere considerata affidabile senza monitoraggio;
- mostrare come soluzioni avanzate come ITACA Stream e ITACA Vision possano eliminarne le vulnerabilità, garantendo controllo in tempo reale, precisione di dosaggio e tracciabilità della post-inoculazione.

Se il primo paper ha rivelato la complessità metallurgica dell’inoculazione, questo secondo documento mette in luce l’importanza di conoscere, e soprattutto controllare, ciò che accade nel momento più critico: l’interazione tra inoculante e metallo durante la colata.

L’inoculazione sul flusso è una garanzia assoluta di inoculazione?

Nelle fonderie, l’inoculazione sul flusso è spesso considerata un’operazione intrinsecamente affidabile: si avvia l’inoculatore e si presume che il processo avvenga correttamente per tutta la colata. L’esperienza di Proservice dimostra invece che questa convinzione è errata. L’inoculazione sul flusso è infatti una delle fasi più sensibili del processo di fonderia e presenta variabilità operative che non possono essere rilevate senza strumenti di controllo dedicati.

Per risolvere queste criticità, Proservice ha sviluppato ITACA Stream, inoculatore dotato di movimento automatico del tubo inoculante, e ITACA Vision, una telecamera avanzata che monitora in tempo reale la qualità dell'inoculazione tramite doppia acquisizione ciclica (2 immagini al secondo):

- una per valutare l'inoculante che entra realmente nel flusso di ghisa;
- una per misurare quello disperso all'esterno.

Questi dati permettono a ITACA Vision di calcolare il disallineamento tra i due flussi e di fornire un riscontro immediato a ITACA Stream, che regola automaticamente la posizione del tubo.

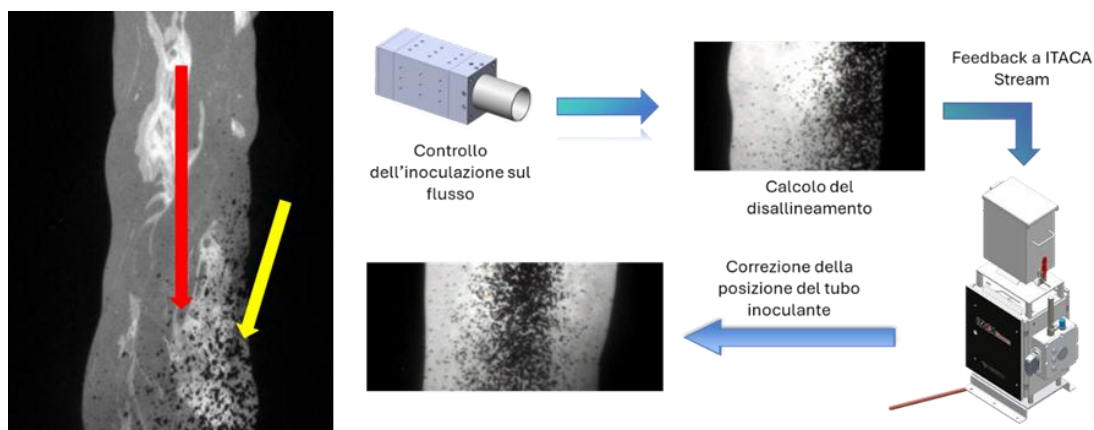


Figura 1: principio di funzionamento di ITACA Vision e ITACA Stream

Inoltre, il sistema determina la quantità totale di inoculante erogata e la quota effettivamente incorporata nella ghisa, garantendo tracciabilità completa della post-inoculazione.

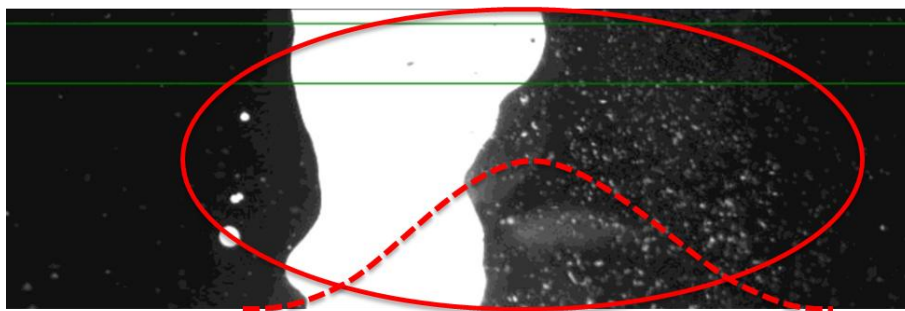


Figura 2: calcolo della distribuzione dell'inoculante ad opera di ITACA Vision

Il monitoraggio svolto da Proservice ha evidenziato criticità molto più frequenti di quanto le fonderie immaginino, tra cui:

- flusso di inoculante non costante (portata di ghisa variabile, granulometria dell'inoculante non uniforme);
- ostruzioni o blocchi parziali del tubo;
- disallineamenti che impediscono all'inoculante di intercettare correttamente il metallo;
- staffe parzialmente o totalmente non inoculate, spesso senza alcun allarme dai sistemi tradizionali.

La situazione diventa ancora più critica quando la fonderia non effettua preconditionamento o pre-inoculazione: in caso di malfunzionamento dell'inoculazione sul flusso, la ghisa entra in forma con basso potenziale di

nucleazione, aumentando drasticamente il rischio di difetti metallurgici, proprietà meccaniche non conformi e scarti produttivi.

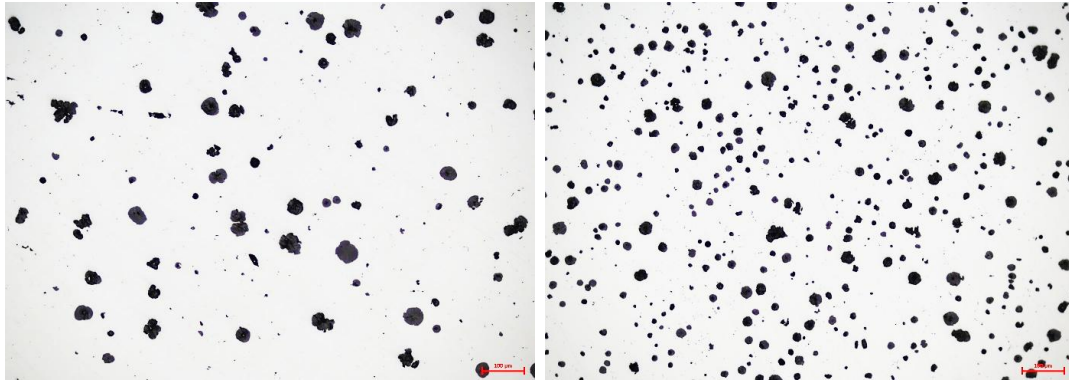


Figura 3: esempio di microstruttura di una stessa ghisa sferoidale non inoculata (a sinistra) e inoculata (a destra)

Perché compaiono cementite o ritiri anche quando l'analisi termica sembra perfetta?

Nelle fonderie è diffusa la convinzione che il flusso di ghisa mantenga una posizione costante durante la colata, ma l'esperienza operativa dimostra il contrario. Il getto può spostarsi anche nell'arco di pochi minuti a causa di accumulo di scoria nel foro di colata, erosione del refrattario, tolleranze meccaniche della linea motte o dei carri di colata, oltre che per usura o deformazioni del tubo inoculante.

Queste variazioni, spesso impercettibili all'operatore, modificano il punto di impatto del metallo e generano disallineamento rispetto al flusso di inoculante.

Il monitoraggio tramite ITACA Vision lo conferma: su una linea di colata verticale, il parametro Overlay Ratio è sceso in mezz'ora fino a valori fuori range, indicando che l'inoculante non raggiungeva più il flusso di ghisa, senza alcun allarme da parte dei sistemi tradizionali.

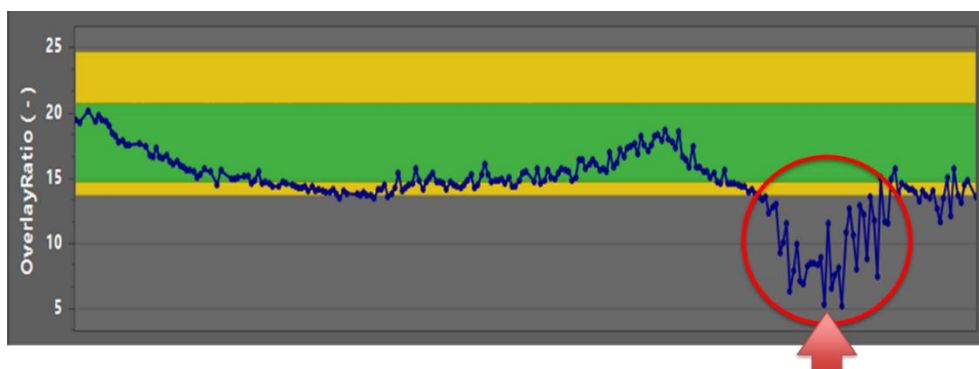


Figura 4: andamento del parametro Overlay Ratio calcolato da ITACA Vision su una linea di colata verticale

Analisi del parametro Centering mostrano che il disallineamento evolve nel tempo; solo con ITACA Stream il sistema ripristina automaticamente l'allineamento mediante movimentazione controllata del tubo.

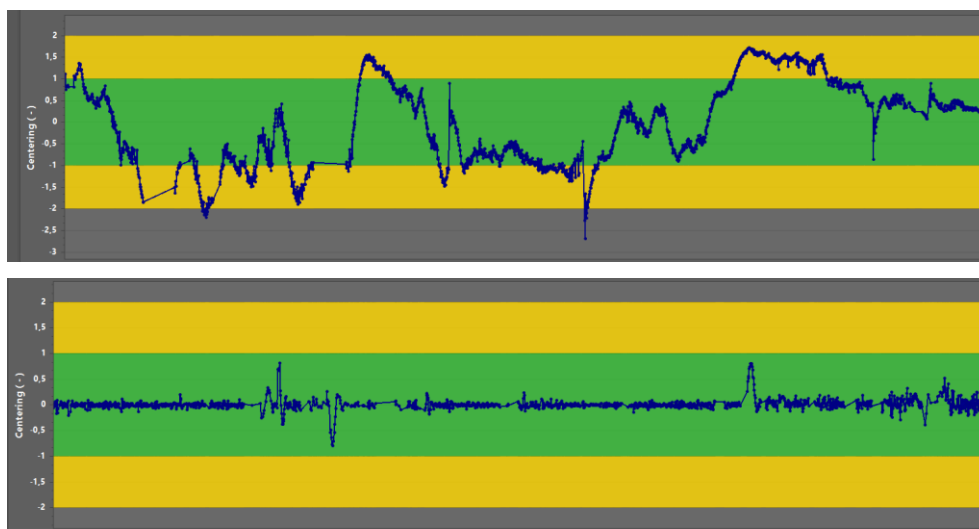


Figura 5: andamento del parametro Centering calcolato da ITACA Vision senza (sopra) e con (sotto) la correzione di ITACA Stream

Questi fenomeni spiegano perché, pur osservando (a mezzo di software ITACAX) curve di analisi termica stabili, ad esempio temperature eutettiche di circa 1145 °C per la ghisa inoculata, si possano comunque riscontrare cementite o difetti di ritiro in produzione. La coppetta riceve sempre una quantità nota e standard di inoculante, mentre la ghisa in linea può non essere inoculata correttamente se la post-inoculazione non è monitorata.

Di conseguenza, la qualità metallurgica letta in coppetta non riflette necessariamente quella della ghisa che entra in forma, generando una falsa sensazione di processo sotto controllo. La criticità è ancora maggiore nelle fonderie che non effettuano preconditionamento o pre-inoculazione: in caso di inefficienze della post-inoculazione, la ghisa entra in forma con potenziale di nucleazione insufficiente, aumentando in modo significativo il rischio di cementite, ritiro e difetti apparentemente “senza causa”.

Quanto inoculante può essere sprecato... senza che la fonderia se ne accorga?

Una valutazione quantitativa dimostra che, senza un sistema di controllo avanzato, lo spreco di inoculante nella post-inoculazione può essere molto elevato.

Consideriamo una fonderia che cola a 6 kg/s ed inocula allo 0,10%, pari a 6 g/s. In assenza di monitoraggio, il dosaggio viene mantenuto tale per compensare disallineamenti, variazioni di portata e instabilità del sistema di colata. Con un'inoculazione sempre centrata, la stessa qualità metallurgica potrebbe essere ottenuta con, ad esempio, 5 g/s.

Quantificazione dello spreco

Assumendo:

- tempo di colata per motta: 10 s
- produzione: 1000 motte/giorno
- giorni operativi annui: 300

si ottiene:

-
- Spreco per motta: $1 \text{ g/s} \times 10 \text{ s} = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$
- Spreco annuo: $0,01 \text{ kg} \times 1000 \times 300 = 3000 \text{ kg/anno}$

A fronte di un costo medio dell'inoculante pari a 2,5 €/kg (valore medio marzo 2026), lo spreco economico associato è pari a:

$3000 \text{ kg} \times 2,5 \text{ €/kg} = 7500 \text{ €/anno}$

Si tratta di una stima conservativa: in molte fonderie la produttività, le oscillazioni di portata, i disallineamenti e la variabilità della granulometria portano facilmente a sprechi molto più elevati.

Oltre al danno economico, lo spreco comporta:

- riduzione dell'efficienza metallurgica,
- maggiore variabilità microstrutturale,
- incremento dell'inquinamento per dispersione dell'inoculante,
- aumento del rischio di difetti, soprattutto in assenza di precondizionamento o pre-inoculazione.



Figura 6: accumulo di inoculante sopra la motta a fine colata

Conclusioni

Le analisi svolte evidenziano tre punti chiave:

1. L'inoculazione sul flusso non è una garanzia di corretta inoculazione.
È una fase estremamente sensibile a disallineamenti, ostruzioni, variazioni di portata e anomalie che i sistemi tradizionali non sono in grado di rilevare.
2. Il flusso di ghisa non è stabile nel tempo.
Erosione del refrattario, accumulo di scoria, giochi meccanici della linea motte e movimenti dei carri di colata provocano continui spostamenti del flusso, compromettendo la corretta intercettazione dell'inoculante.
3. Lo spreco di inoculante può essere significativo.
Anche un differenziale minimo, compensato con sovra dosaggio, può tradursi in tonnellate di materiale inutilmente erogato ogni anno, con impatti economici ed ambientali rilevanti.

Alla luce di queste criticità, è evidente che l'inoculazione sul flusso richiede un sistema avanzato di monitoraggio e correzione in tempo reale, capace di eliminare le variabili non controllate e garantire stabilità metallurgica colata dopo colata. ITACA Stream e ITACA Vision rispondono esattamente a questa esigenza, offrendo:

- allineamento automatico tra flusso di ghisa e flusso di inoculante,
- controllo continuo della quantità realmente incorporata nel metallo,
- tracciabilità completa dell'intera fase di post-inoculazione.

Solo con sistemi di questo tipo l'inoculazione sul flusso può diventare affidabile, efficiente e realmente sotto controllo.