

Sostituzione del carbone fossile mediante iniezione di plastiche nella produzione di acciaio da forno elettrico

Fossil coal substitution by plastic injection in EAF steel production

Loris Bianco, Matteo Chini, Daniele Gaspardo, Ferriere Nord
Filippo Cirilli, Daphne Mirabile Rina Consulting Centro Sviluppo Materiali

SOMMARIO

Il progetto H2020 POLYNSPIRE ha lo scopo di individuare una serie di soluzioni innovative, economicamente convenienti e sostenibili, volte a migliorare l'efficienza energetica e delle risorse dei processi di riciclaggio e reimpiego della plastica proveniente da diversi utilizzi. Il progetto prevede diverse linee di recupero dei polimeri, sia attraverso processi di depolimerizzazione, per recuperare i monomeri originari, che attraverso il reimpiego del materiale in altri settori, come ad esempio nella fabbricazione acciaio da forno elettrico.

Il mix di polimeri, ottenuto al termine della catena di recupero della plastica (Plasmix), può essere utilizzato nel settore siderurgico con l'obiettivo di recuperarne il contenuto di carbonio sostituendo il carbone fossile attualmente utilizzato nel processo Electric Arc Furnace (EAF).

Nell'ambito del progetto POLYNSPIRE, presso l'EAF dell'acciaieria Ferriere Nord di Osoppo, è stato progettato e installato un nuovo sistema di iniezione. Dopo la messa in servizio del nuovo iniettore, una serie di test sperimentali di lunga durata (circa 2400 colate) è stata effettuata per la validazione della sostituzione parziale dell'antracite con le plastiche (fino al 50%).

La valutazione dell'effetto dell'iniezione di polimeri è stata condotta analizzando più di 40 variabili di processo considerate come indicatori di performance. Inoltre, è stato valutato l'effetto sui principali indicatori quali composizione delle scorie (principalmente contenuto di FeO), distorsione armonica totale, livello di pressione sonora, potenza attiva media, resa metallica. I risultati principali di tali analisi indicano che la plastica può essere utilizzata per sostituire il carbone, almeno fino al 50%. Utilizzando i granuli di plastica come materiale da iniezione, le prestazioni energetiche del processo fusorio in EAF non hanno mostrato variazioni significative.

Parole chiave: recupero della plastica, polimeri, iniezione in EAF, sostituzione carbone

ABSTRACT

The H2020 project POLYNSPIRE has been launched to demonstrate a set of innovative, cost effective and sustainable solutions, aiming at improving the energy and resource efficiency of post-consumer and post-industrial plastic recycling processes

The mix of polymers, discharged at the end of plastic recovery chain, can be used in the steel sector with the aim to recovery their carbon content replacing the fossil coal currently used in the Electric Arc Furnace (EAF) process. Within the POLYNSPIRE project, a new injection system has been designed and installed in the EAF of Ferriere Nord steel factory in Osoppo.

After the commissioning of the system, about 2400 heats have been carried out partially replacing the pulverized anthracite (up to 50%). The trials have been carried out in different conditions of variable amount of plastic (up to 50% respect injected coal).

Analysis about the effect of polymers injection within the EAF process has been carried out analysing more than 40 process variables considered as a performance indicator. The results on main indicators as slag composition (mainly FeO content), Total Harmonic Distortion, Sound Pressure Level, Average Active Power, Metallic yield are discussed. The main results of such analyses indicate that plastic can be used to replace coal, at least up to 50%. EAF energy performance is not varied by plastic utilization.

Keywords: plastic recovery, polymers, EAF injection, carbon substitution

INTRODUZIONE

Il progetto H2020 POLYNSPIRE [1] ha come oggetto la dimostrazione di soluzioni innovative, economiche e sostenibili, volte a migliorare l'efficienza dei processi di riciclaggio/recupero della plastica, fino al 100% del recupero del materiale. Per raggiungere questo ambizioso obiettivo, sono seguite tre linee di attività:

- riciclaggio chimico per recuperare monomeri e fibre plastiche,
- uso di additivi per migliorare la qualità e le proprietà della plastica riciclata,
- valorizzazione dei rifiuti plastici come fonte di carbonio nell'industria siderurgica.

La miscela di polimeri, ottenuta alla fine della catena di recupero della plastica, può essere utilizzata nel settore siderurgico con l'obiettivo di recuperare il contenuto di carbonio e quindi ridurre il fabbisogno di materiali fossili alternativi. I vantaggi derivanti sono:

- utilizzo di materiali di scarto provenienti da altri cicli produttivi,
- inserimento dell'acciaieria in una logica di simbiosi industriale e di economia circolare,
- promozione di nuove economie locali,
- mitigazione delle emissioni di CO₂,
- eliminazione dei rischi derivanti dall'oscillazione del prezzo delle materie prime.

I residui plastici che vengono utilizzati per questa attività sono costituiti dai materiali di scarto del ciclo di recupero dei polimeri; per cui si tratta di un materiale estremamente eterogeneo e con difficile collocazione sul mercato (principalmente miscele a base di poli-olefine come PE e PP). La tabella 1 riporta le principali caratteristiche del materiale plastico utilizzato, confrontate con i valori attuali dell'antracite (valori medi raccolti da schede tecniche dei fornitori di carbone).

Parametri	Residuo plastico	Antracite
Potere calorifico** (MJ/kg)	32	26-30
ceneri (% secco)	5-10	1-10
Cl (% secco)	0.5	<0.01
S (% secco)	0.03	0.5-1.5
H (% secco)	10	0.5-1.5
N (% secco)	1.1	0.2-0.3
C (% secco)	65.0	80-85
O (% secco)	14.88	0.1-0.5
Materie volatili (%)	88-90	1-10
Carbonio fisso (%)	1.5	75-80

Tab.1 – Confronto tra composizione chimica e caratteristiche chimico fisiche di plastica ed antracite (Comparison between plastic residue and anthracite parameters)

Le principali differenze tra i due materiali sono legate al più alto contenuto nella plastica di volatili, di H₂ e Cl ed al più basso contenuto di zolfo nella plastica. La plastica è fornita alla acciaieria dopo un pretrattamento specifico per omogeneizzarla nella composizione e nella pezzatura, sotto forma di grani, a granulometria controllata. Il materiale è preparato secondo la norma tecnica italiana UNI 10667-17:2018, quindi è conforme alle seguenti caratteristiche (Tabella 2).

Parametri	Requisito
Contenuto di plastiche eterogeneo	≥ 80% in peso nel materiale secco
Potere calorificaco inferiore (LHV)	≥30 MJ/Kg
Cloro (Cl)	≤ 2%
Cadmio (Cd)	≤ 8 mg/Kg
Piombo (Pb)	≤ 100 mg/Kg
Mercurio (Hg)	≤ 0,6 mg/Kg
Umidità	Max 10% in peso

Tab.2 – Requisiti delle plastiche secondo UNI 10667-17:2018 (Plastic characteristics according to the UNI 10667-17:2018)

Il materiale plastico è stato fornito dall'azienda IBLU, partner del progetto POLYNSPIRE. I grani di plastica così prodotti sono utilizzati dall'acciaieria in test di iniezione in forno elettrico.

DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' INDUSTRIALI

Lo scopo delle prove a lungo termine era quello di iniettare grani di plastica per sostituire parzialmente il carbone fossile e verificare la capacità nel promuovere lo schiumeggiamento delle scorie. Per l'utilizzo dei granuli di polimero è stato appositamente progettato e installato nell'acciaieria un nuovo sistema di iniezione [2].

L'obiettivo sperimentale è stato quello di eseguire circa 2.000 colate per avere una serie di dati affidabili ai fini dell'analisi del processo. Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche del forno di FENO.

- Capacità del forno 145 t
- Dimensioni: 7100mm diametro
- Energia installata: 130 MVA+10%
- N.3 x 3000 Nm³/h lance ad ossigeno
- N.7 x 4 Mw bruciatori
- N.3 x 300 Nm³/h tubiere per ossigeno
- N.2 x 300 Kg/min iniettori di calce
- N.2 x 100 Kg/min iniettori di scorie bianche
- N.3 x 30 Kg/min iniettori di antracite
- N.1 x 30 Kg/min iniettori di polimeri

I parametri tipici e medi per ogni colata sono:

- Durata tap-to-tap: 46min
- Potenza attiva media: 92 MW
- Consumo totale di ossigeno: 34 Nm³/t
- Consumo totale di gas naturale: 5,8 Nm³/t
- Numero medio di ceste per colata: 2,2

I gradi di acciaio prodotti durante le prove sono principalmente acciaio per cemento armato. Le prove sperimentali sono state effettuate in diverse condizioni di:

- quantità di plastica iniettata (fino al 50% rispetto al carbone iniettato)
- modalità di iniezione per una sola lancia: si è iniettata sia la sola plastica sia la miscela plastica / scoria bianca. (queste prove hanno evidenziato la complessità della gestione di due diversi tipi di materiale con diverse pressioni di esercizio).

L'obiettivo è stato mantenere (o addirittura migliorare) l'efficienza del forno, senza incidere sulle emissioni ambientali. Sono state condotte analisi sull'effetto dell'iniezione di polimeri all'interno del processo EAF, analizzando più di 40 variabili di processo considerate come indicatori di performance. I principali risultati di tali analisi indicano che la plastica può essere utilizzata per sostituire il carbone, fino al 50%. Le prestazioni energetiche del forno elettrico non subiscono variazioni significative rispetto all'utilizzo della plastica.

1 ANALISI DEI RISULTATI

Le prove sono state eseguite provando essenzialmente due tassi di sostituzione del carbone fossile, 30% e 50%. che, in cascata, ha implicato una riduzione del carbone fossile. Si è determinato che è possibile arrivare ad una sostituzione del carbon fossile fino al 50%, anche se la maggior parte dei test sono stati effettuati con tasso di sostituzione del 30%, per via di un unico punto di iniezione. In questo studio si è utilizzato un tasso di sostituzione quasi 1:1 (nel caso della sostituzione al 30% ad esempio, 400 kg di antracite sono stati sostituiti da 385 kg di polimeri).

La figura 2 riporta l'iniezione cumulativa di carbone per una colata tipica, che segue uno schema specifico guidato dall'automazione del forno. La potenza attiva è evidenziata in blu, il che permette di capire che l'iniezione di carbone si è interrotta prima del caricamento della seconda cesta ed è ripresa fino alla fine della colata.

Come indicatori di performance sono state considerate più di 40 variabili di processo. Esse caratterizzano il processo fusorio considerando l'uso di polimeri in parziale sostituzione del carbone. I dati sono poi espressi come variazione percentuale (che può essere negativa o positiva) rispetto ad un set di colate standard preso come riferimento. Tra le 40 variabili monitorate le principali sono:

- Utilizzo di antracite: è la quantità di carbone fossile; un valore negativo indica un risparmio.
- Potere calorifico: è una misura del potere calorifico dato dall'antracite e/o dai polimeri.
- Distorsione armonica totale: più alto è il valore, migliore è il trasferimento di energia al bagno metallico, evitando dispersioni e usura eccessiva dei refrattari. È strettamente correlata alla formazione di scorie schiumose.
- Livello di pressione sonora: registrato nelle vicinanze dell'EAF. Il profilo acustico è correlato alla schiumosità delle scorie. Un livello sonoro più basso riflette una formazione migliore di scorie schiumose.
- Potenza attiva media: un valore più alto indica un miglior trasferimento di energia all'acciaio.
- Consumo elettrico specifico EAF: è il consumo di elettricità normalizzato per tonnellata di acciaio liquido prodotto; un valore negativo indica un risparmio.
- Rendimento metallico: quantità di acciaio liquido prodotto rispetto al rottame caricato. Si esprime come rapporto tra acciaio estratto e materiale caricato. La perdita del forno è espressa come 100-rendimento metallico.
- Consumo di O₂: un valore negativo indica un risparmio.
- Emissioni di CO₂: considerando solo la quota relativa all'utilizzo di antracite e polimeri, un valore negativo indica il risparmio.

- Potenza esportata dai pannelli del forno: Potenza esportata dai pannelli raffreddati ad acqua del forno e misurata con la formula

$$P = C_p (T_{out} - T_{in}) * Q$$

dove

- o P= energia termica (thermal power)
- o T_{out} = temperatura dell'acqua calda misurata all'uscita del sistema di raffreddamento
- o T_{in} = temperatura dell'acqua fredda misurata all'entrata del sistema di raffreddamento
- o Q= flusso
- o C_p = calore specifico dell'acqua

Quanto più alta è la temperatura, tanto maggiore è la perdita di calore all'interno del forno. Questo valore è solitamente strettamente correlato alle perdite di calore per irraggiamento del forno elettrico ad arco. Uno schiumeggiamento efficace della scoria, con una buona copertura del bagno e dell'arco riduce le perdite per irraggiamento.

La tabella 3 di seguito riporta i valori ottenuti con le prove al 30% di tasso di sostituzione del fossile

	DELTA CON POLIMERI
Consumo di antracite per colata	- 34 %
Potere calorifico per colata	+ 4,76 %
Distorsione armonica totale	+ 0,45 %
Livello di pressione del suono	- 0,47 %
Potenza attiva media	+ 0,37 %
Consumo elettrico specific dell'EAF [kWh/tliq steel]	- 1,3 %
Consumo di O2	- 0,3 %
Emissioni di CO2 per colata	- 5,6 %
Potenza esportata dai pannelli del forno	- 13 %
Potenza esportata dalla camera di decantazione e dal trattamento fumi	+ 9 %

Tab. 3 – Risultati inerenti colate utilizzando i polimeri in sostituzione dell'antracite (Results of heats using polymers in substitution to the anthracite Values are expressed as delta percentage respect a set of references heats)

Per quanto riguarda l'impatto relativo all'utilizzo dei polimeri rispetto alle emissioni di CO₂, si è stimato un valore di circa il 6%. In particolare, le emissioni dovute all'utilizzo di antracite sono circa 26 Kg di CO₂/t_{liq} di acciaio, mentre utilizzando i polimeri in parziale sostituzione, tale valore scende a 24 Kg di CO₂/t_{liq} di acciaio. Tale valore considera solo la quantità di antracite e di polimeri utilizzati per tale colata e il loro rispettivo contenuto di carbonio. Inoltre, l'emissione di CO₂ relativa alla sola parte di polimero potrebbe essere ulteriormente ridotta fino a circa il 30% grazie all'origine biologica della porzione di materiale. In ogni caso, il calcolo precedente non tiene conto di questa riduzione (il valore del 30% tiene conto, sulla base dell'esperienza, dei quantitativi di biopolimeri che si possono trovare nei materiali plastici per imballaggi). L'uso di polimeri non ha causato alcun tipo di effetto né sull'acciaio liquido né sulla scoria EAF. La Tabella 4 mostra i valori medi delle analisi delle scorie EAF relative allo stesso tipo di acciaio su 342 campioni.

	FeO [%]	MnO [%]	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	MgO [%]	CaO [%]	IBT
differenza [%]	2,22 %	-0,51 %	-0,3 %	-0,76 %	-1,25 %	-2,06 %	-2,42 %
Deviazione standard [%]	20,59 %	12,9 %	13,12 %	19,14 %	33,34 %	15,48 %	20,68 %

Tab.4 – Analisi della scoria EAF in riferimento a colate con o senza uso di polimeri (EAF slag analyses concerning heats involved or not in the use of polymers)

Uno dei punti principali verificato ed analizzato in questo studio è stata la variazione percentuale dell'ossido di ferro. Questo parametro indica quanto materiale effettivamente reagisce con l'ossigeno e si comporta da riducete all'interno del forno elettrico. La Figura 3 riporta le oscillazioni di percentuale di FeO nella scoria, confrontate con le colate standard. Anche in questo caso le oscillazioni rientrano negli intervalli di processo. La tabella 5 di seguito riporta i risultati per le prove condotte con fino il 50% di plomero in sostituzione dell'antracite. Non sono state rilevate variazioni sostanziali per quanto riguarda le scorie del forno.

	DELTA CON I POLIMERI
Consumo di antracite per colata	- 41,93 %
Potere calorifico per colata	+ 21,2 %
Distorsione armonica totale	+ 1,22 %
Livello di pressione del suono	- 0,69 %
Potenza attiva media	+ 0,49 %
Consumo elettrico specific dell'EAF [kWh/t_{liq steel}]	+ 1,92 %
Consumo di O₂	- 2,71 %
Emissioni di CO₂ per colata	+ 4,34 %
Potenza esportata dai pannelli del forno	- 27 %
Potenza esportata dalla camera di decantazione e dal trattamento fumi	+ 12 %

Tab. 4 – Risultati inerenti 240 colate utilizzando più di 500 kg/colata di polimeri in sostituzione dell'antracite) Results of 240 heats using more than 500 kg/heat polymers in substitution to the anthracite)

È stata eseguita una campagna di misura al camino sia con polimeri che senza, sulla stessa configurazione di processo (Figura 4) mirata soprattutto ad analizzare presenza di diossine, furani e precursori. I risultati non hanno evidenziato differenze rispetto alla normale marcia di processo.

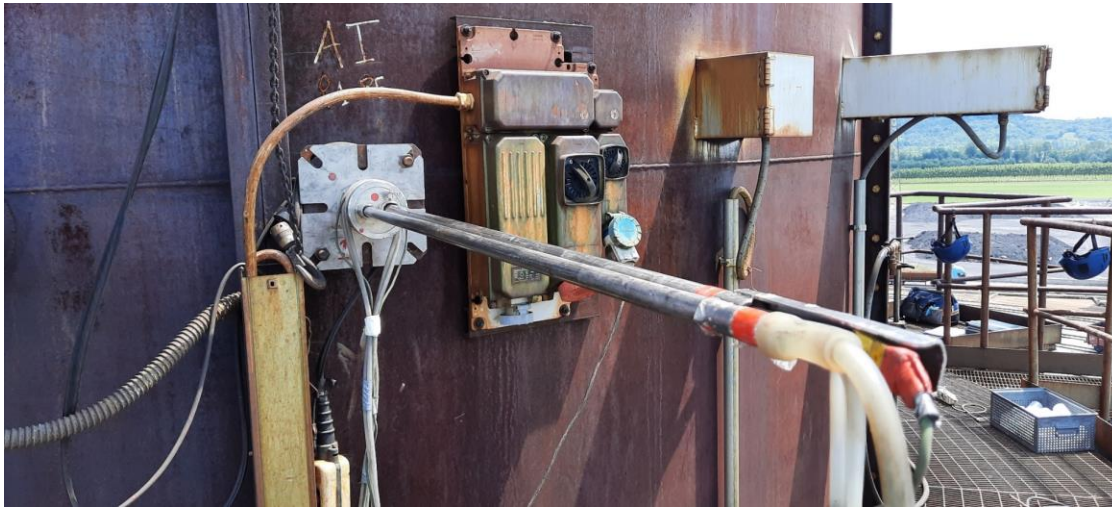


Fig. 4 – Punto di misura per la campagna di misurazione al camino di diossine e furani (Measurement campaign at the chimney)

La campagna sperimentale è stata condotta in due diversi periodi di misurazione: 8 ore di monitoraggio continuo con iniezione di polimeri e 8 ore con la sola antracite. I principali parametri considerati sono riportati in tabella 5.

Componenti nei fumi	Metodi di misura
Polveri	UNI-EN 13284-1:2017
NO_x e NO₂	UNI EN 14792:2017
CO	UNI EN 15058:2017
HCl	UNI EN 1911:2010
Metalli (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn)	UNI-EN 14385:2004
IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)	UNI-EN 1948-1:2006 + ISO 11338-1,2:2003
As	UNI-EN 14385:2004
PCDD/F (Diossine e furani)	UNI-EN 1948- 1,2,3:2006
Hg	UNI-EN 13211:2003
PCB (Poli Cloro Bifenili)	UNI-EN 1948-1,2:2006 + UNI-EN 1948-4:2010

Tab.5 – Parametri e metodi di misura adottati nella campagna sperimentale (Parameters and measurement methods in the experimental campaign)

2 CONCLUSIONI

Il progetto H2020 POLYNSPIRE si pone l'obiettivo di dimostrare una serie di soluzioni innovative, economiche e sostenibili, volte a migliorare l'efficienza energetica e delle risorse dei processi di riciclaggio della plastica post-consumo e post-industriale. La miscela di polimeri, ottenuta alla fine della catena di recupero della plastica, può essere utilizzata nel settore siderurgico con l'obiettivo di sostituire il carbone fossile attualmente utilizzato nel processo del forno elettrico ad arco (EAF). I polimeri sono prodotti in grani con granulometria e composizione controllate. La preparazione dei grani viene effettuata secondo la norma tecnica Italiana UNI 10667-17:2018.

Sono state effettuate oltre duemila prove di iniezione di polimeri in diverse condizioni di quantità variabile di plastica (fino al 50% rispetto al carbone iniettato). La valutazione dell'effetto dell'iniezione di polimeri all'interno del processo EAF è stata condotta analizzando più di 40 variabili di processo considerate come indicatori di performance. Sono stati discussi i risultati relativi ai principali indicatori come la composizione delle scorie (principalmente il contenuto di FeO), la distorsione armonica totale, il livello di pressione sonora, la potenza attiva media e la resa metallica. I principali risultati di queste analisi indicano che la plastica può essere utilizzata per sostituire il carbone, fino al 50%. La sostituzione è risultata essere possibile senza aver riscontrato scostamenti dal normale funzionamento di EAF.. Le analisi supplementari al camino non hanno mostrato un'influenza significativa sulla formazione di inquinanti gassosi. È altresì importante sottolineare come la variabilità introdotta dalla composizione del rottame incide in maniera sostanziale rispetto all'introduzione di polimeri in parziale sostituzione del carbone.

La riduzione delle emissioni di CO₂ è stata stimata intorno al 6%, ma tale valore non tiene conto della presenza di biopolimero nella miscela delle plastiche.

3 RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i partner del progetto, HTT per l'attività di progettazione e collaudo del sistema di iniezione ed I-BLU per la messa a punto e fornitura del granulo di polimero.

Questo progetto è finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione europea. Le informazioni e le opinioni espresse in questo documento sono quelle dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente l'opinione ufficiale dell'Unione europea. Né le istituzioni e gli organi dell'Unione europea né alcuna persona che agisca per loro conto possono essere ritenuti responsabili dell'uso che può essere fatto delle informazioni in essi contenute.

BIBLIOGRAFIA

[1] H2020-NMBP-ST-IND-2018-2020 Demonstration of Innovative Technologies towards a more Efficient and Sustainable Plastic Recycling (POLYNSPIRE) (09/01/2018 – on going).

[2] F. Cirilli et al PLASTIC MATERIAL RECYCLING IN STEEL INDUSTRY: A FRUITFUL EXAMPLE OF CIRCULAR ECONOMY, 13th International Conference on Society & Materials, SAM13, Pisa, 20-21 May 2019

[3] A. Fontana et al, Polymer injection technology as foaming slag agent in the EAF: Operations in Australia and Thailand, VL- 41, SEASI Quarterly (South East Asia Iron and Steel Institute)

