

CONTROLLO DELLE EMISSIONI AERIFORMI DA FORNO ELETTRICO AD ARCO: UN OBIETTIVO PER L'AMBIENTE DI LAVORO E PER L'AMBIENTE ESTERNO

A. BORRONI, B. MAZZA, G. NANO

La siderurgia elettrica è caratterizzata da cicli di lavoro che determinano inquinamento aerodisperso con modalità non continue nel tempo e con ricadute non omogenee: in particolare il forno elettrico ad arco costituisce la principale fonte di emissione e comporta considerevoli problemi per l'ambiente di lavoro e un consistente impatto per l'ambiente esterno.

La composizione delle polveri emesse durante il processo dipende principalmente dalla qualità del rottame: con carica composta da rottame frantumato, derivante da raccolta e con impiego di tornitura, le emissioni risultano quantitativamente più elevate a causa della presenza in misura consistente di metalli basso-fondenti (Zn, Pb), di prodotti di combustione degli oli e di altri composti organici.

La quantità di polveri prodotte è influenzata anche dal tempo di ciclo: nel caso di fusione condotta con elevate potenze l'emissione specifica e globale risulta maggiore. Comunque il valore centrale di emissione si aggira sui 10 kg di polvere per ogni tonnellata di acciaio spillato.

Il caso in esame

L'impianto oggetto dell'indagine è un forno elettrico, inserito in un ambiente segregato: il volume (17,5 m × 42,0 m, altezza 15 m) controllato mediante aspirazione è stato integralmente sigillato, prevedendo portelloni motorizzati per il transito dei materiali in ingresso e in uscita (cesta del rottame, paiola della scoria, siviera).

Caratteristiche impiantistiche e operative del forno mantenute durante le misure

Carica (principalmente lamierino): 2-3 ceste (16-35 t).

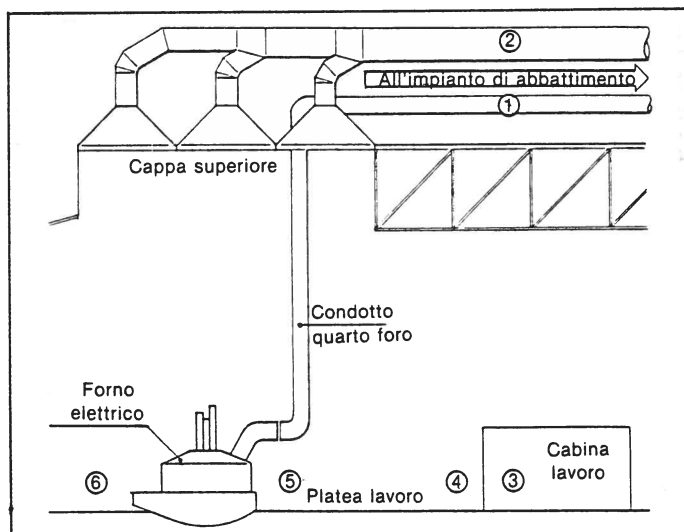
Forno elettrico: capacità 70 t; potenza nominale 30 MVA.

Impiego di ossigeno in fase di fusione e di affinazione.

Tempo di ciclo (tap to tap): 101-129 minuti.

Produttività: 31-35 t acciaio liquido/ora.

Prodotto: acciai da costruzione di uso generale.



1. Schematica disposizione del forno elettrico, dell'impianto di aspirazione e delle posizioni di misura.

L'impianto presenta le più diffuse innovazioni recentemente introdotte (sistema meccanizzato per la carica degli additivi in forno e in siviera, bruciatori ossi-metano, involucro raffreddato), mentre la potenza specifica (0,43 MVA/t) non risulta particolarmente elevata e quindi neppure la velocità di fusione.

La produzione di acciai di base e di qualità implica Ni con tenore massimo 0,15% e Cr con massimo 0,30%.

Caratteristiche dell'impianto di aspirazione

Condotto quarto foro: diametro 1.40 m.

Raffreddamento dei condotti fisso e rotante: 150 m³/h.

Portata nominale: 78.000 Nm³/h durante le fasi a volta chiusa.

Condotto cappa: diametro 2,25 m.

Portata nominale: 280.000-360.000 modulata secondo le fasi.

Risultati

Si è proceduto a caratterizzare le emissioni del quarto foro e della cappa per tre cicli completi di lavorazione, nonché l'ambiente di lavoro con rilievi di tipo statico (figura 1):

Posizione di misura	Quantità misurate	Metodo/strumento
1 Condotto quarto foro	Temperatura	Termocoppia (a)
	Velocità	Tubo di Pitot
	Peso particolato Composizione	Prelievo isocinetico (b) Spettrometria al plasma
2 Condotto cappa	Temperatura	Termocoppia
	Velocità	Tubo di Pitot (a)
	Peso particolato Composizione	Prelievo isocinetico (c) Spettrometria al plasma
3-6 Postazioni di lavoro	Peso particolato	Prelievo isocinetico (d)
	Composizione	Spettrometria al plasma

(a) registrazione in continuo

(b) periodi di prelievo corrispondenti alle fasi di lavorazione del forno con volta chiusa

(c) periodi di prelievo corrispondenti alle fasi di lavorazione del forno con volta chiusa e aperta

(d) periodi di prelievo corrispondenti all'intero ciclo di lavorazione del forno e «condizioni di campionamento accurato».

Condotto quarto foro

- portata misurata 61.000 Nm³/h costante nelle diverse fasi a volta chiusa;
- temperatura (a valle dei condotti refrigerati): 40-420 °C in dipendenza delle fasi;

- concentrazioni: vedi tabella 1.

Condotto cappa

- portata misurata: vedi tabella 1;

- temperatura: 30-52 °C;

- concentrazioni: vedi tabella 1.

La composizione del particolato e la sua variabilità rispetto ai tre cicli è riportata in figura 2.

Ambiente di lavoro: polverosità

Cabina di lavoro (posizione 3):

GM = 1,96 mg/m³; GSD = 1,29

Esterno cabina (posizione 4):

GM = 0,81 mg/m³; GSD = 1,35

Platea forno (posizione 5):

GM = 1,63 mg/m³; GSD = 1,35

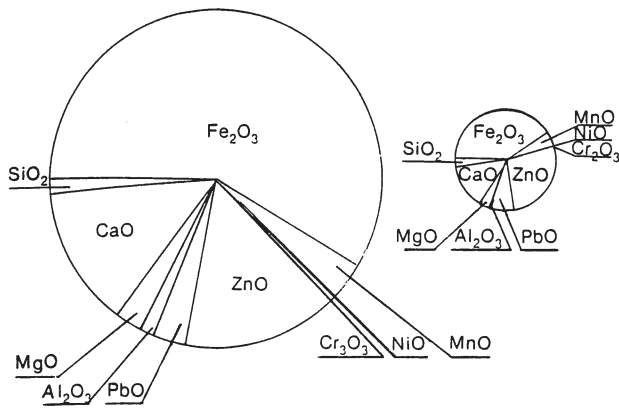
Spillaggio (posizione 6):

GM = 4,45 mg/m³; GSD = 1,53

A. Borroni, B. Mazza, G. Nano, Dipartimento Chimica Fisica Applicata, Politecnico di Milano.

Quarto foro: 7,16 kg polvere/t

Cappa: 0,64 kg polvere/t



Fe ₂ O ₃ =	58,3 ± 9,7 %	39,9% ± 11,0%
MnO =	3,5 ± 9,5 %	4,7% ± 1,5%
NiO =	0,1 ± 0,1 %	0,2% ± 0,0%
Cr ₂ O ₃ =	0,7 ± 0,3 %	0,4% ± 0,1%
ZnO =	15,2 ± 10,2 %	27,7% ± 2,3%
PbO =	3,4 ± 2,2 %	7,0% ± 1,5%
Al ₂ O ₃ =	1,4 ± 0,1 %	1,1% ± 0,1%
MgO =	2,4 ± 0,2 %	2,9% ± 1,4%
CaO =	13,6 ± 3,2 %	13,7% ± 5,6%
SiO ₂ =	1,4 ± 0,1 %	2,6% ± 0,7%

Valutazioni

Le emissioni provocate dai cambiamenti di pressione del forno, dovuti alle reazioni del bagno e all'insufflazione di ossigeno, vengono captate dal sistema di aspirazione secondario che garantisce sempre una portata. I fumi emessi durante le fasi a volta aperta vengono trattenuti all'interno della segregazione senza fuoriuscire dal capannone ed estratti dall'ambiente in pochi minuti.

La polverosità misurata durante il ciclo nelle posizioni di lavoro indica un ambiente di lavoro accettabile e controllato (i valori di variabilità delle concentrazioni di polvere sono molto contenuti, proprio in base alla presenza di un efficace sistema di ricambio dell'aria), senza pregiudicare gli aspetti di stress termico e di visibilità.

In sostanza il sistema completamente sigillato consente di mantenere un ambiente di lavoro paragonabile a quello caratteristico dei reparti tradizionali aperti.

Per quanto concerne le polveri captate si è osservata una elevata variabilità dei contributi e delle composizioni con riferimento a tutte le fasi (fa eccezione l'affinazione caratterizzata sempre da una emissione riproducibile), mentre si riscontra una maggiore regolarità con riferimento a un intero ciclo:

- polvere captata dal quarto foro:	445 ± 133 kg/ciclo
	7,2 ± 2,4 kg/t acciaio;
- polvere captata dalla cappa:	39 ± 4 kg/ciclo
	0,6 ± 0,1 kg/t acciaio.

L'aspirazione della cappa posta superiormente al forno, in questa realizzazione dimostratasi efficiente, contribuisce a captare fra il 6,4 e il 9,8% delle polveri.

L'esigenza di contenere l'impatto esterno alla fabbrica determinato dalla ricaduta delle polveri e dal rumore comporta, con questo sistema di controllo dell'inquinamento, costi economici di installazione, di gestione ed energetici elevati.

Per quanto concerne i singoli elementi, zinco, piombo e ferro, si ritrovano in percentuali che variano sensibilmente sia in funzione del condotto di aspirazione, sia in dipendenza delle fasi di lavorazione.

Per gli altri elementi non si riscontrano scostamenti rilevanti.

2. Quantità e composizione delle emissioni captate dal sistema di aspirazione.

Tabella 1 - Parametri di portata, di concentrazione e di emissione del forno attraverso i condotti di aspirazione.

Fase	Durata (min)	Condotta cappa		Emissione (kg)	Quarto foro Concentr. (mg/Nm ³)
		Portata (Nm ³ /h)	Concentr. (mg/Nm ³)		
Fusione 1 ^a cesta	33	230000	206,8	26,2 + 131,6	3923,3
Carica 2 ^a cesta	6	441000	81,4	3,6	
Fusione 2 ^a cesta	27	153000	70,2	4,8 + 159,1	5797,4
Affinazione	31	176000	31,3	2,8 + 142,7	4528,9
Spill., carica	10	415000	53,1	3,7	
Ciclo completo	107			41,1 + 433,3	
Fusione 1 ^a cesta	35	243000	15,8	2,2 + 290,6	8149,3
Carica 2 ^a cesta	8	441000	240,3	14,1	
Fusione 2 ^a cesta	26	164000	210,3	15,0 + 197,7	7479,4
Affinazione	31	176000	27,6	2,5 + 95,5	3031,8
Spill., carica	12	402000	79,1	6,4	
Ciclo completo	112			40,2 + 583,2	
Fusione 1 ^a cesta	48	141000	10,6	1,2 + 126,0	2582,6
Carica 2 ^a cesta	3	441000	290,2	6,4	
Fusione 2 ^a cesta	23	101000	20,5	0,8 + 76,8	3285,0
Carica 3 ^a cesta	4	418000	204,8	5,7	
Fusione 3 ^a cesta	20	197000	103,2	6,8 + 69,9	3436,6
Affinazione	20	198000	37,0	2,4 + 44,5	2187,0
Spill., carica	12	390000	143,5	11,2	
Ciclo completo	129			34,5 + 317,2	