

Florence, Italy,
29th September-1st October 1986



**Congresso
Europeo
sull'Acciaio
Elettrico**

**European
Electric
Steel
Congress**

**Congrès
Européen
de l'Acier
Electrique**

**Europäischer
Elektrostahl
Congress**



PARTE
PART
PARTIE
TEIL

II



Caratterizzazione dell'inquinamento aerodisperso nell'area forno

A. Borroni ¹⁾, B. Mazza ²⁾, G. Nano ¹⁾, F. Ferrario ¹⁾

Evaluation of airborne pollution in the arc furnace working area

L'indagine ha riguardato l'area di intervento di quattro forni elettrici ad arco per la produzione di acciaio.

Cinque componenti (ossidi di ferro, calce, silice, magnesite e residui carboniosi) caratterizzano i depositi, costituendone il 90-94% in peso. Gli aerodispersi indicano un arricchimento in silice e calce e un significativo impoverimento in ossidi di ferro. Si evidenziano le elevate polverosità rilevate allo spillaggio. L'esposizione degli addetti è minore per le mansioni di controllo e di manovra e più elevata per le mansioni di esecuzione: è determinata da interventi (trasporto ferroleghie, ripristino diga, caricamento additivi, spillaggio, rifacimento refrattario) di breve durata, effettuati in posizioni scarsamente protette, piuttosto che dalla permanenza per la quasi totalità del ciclo in cabina e in platea. A carico dei metalli più tossici (Ni, Cr, Mn, Cd) non si evidenziano esposizioni elevate nella produzione di acciai di base o di qualità. Per gli addetti dell'area forno e per i gruisti si individuano invece condizioni di significativa esposizione a piombo. Calcio, magnesio, manganese e ferro si configurano come metalli guida dell'inquinamento, che è determinato da sorgenti specifiche sia per il composto, sia per la posizione dell'emissione.

Four electric arc furnaces for steel production have been investigated. Five compounds (ferric oxide, lime, silica, magnesite and carbonaceous residues) are peculiar of sedimented dusts in the working environment and are representative of 90-94% in weight of total dust. The analysis of airborne dusts shows an enrichment in silica and lime and a significant decrease in ferric oxide. High dust concentrations are found in the tapping operation. The workers' exposure is lower for control and operating stations and higher for executive ones: it is caused by short-term operations (ferroalloys transport, dam repairing, additives loading, tapping and relining) carried on in scarcely protected positions, rather than by long-term stay for the entire cycle in the platform or in the stand. We did not find high concentrations for more toxic metals (Ni, Cr, Mn, Cd) in carbon or quality steel production. Anyway we found significant exposures to lead for furnace operators and crane men. Calcium, magnesium, manganese and iron are found as leading pollutants for specific sources.

¹⁾ Dipartimento Chimica Fisica Applicata, Politecnico di Milano, Milano

²⁾ Ecolab s.r.l. coop., Vignate (Mi)

L'indagine ha riguardato l'area di intervento relativa a quattro forni elettrici ad arco per la produzione di acciaio. Le tipologie esaminate riguardano forni con capacità compresa fra 60 e 110 t, potenze specifiche fra 0.25 e 0.70 MVA/t, soluzioni diverse per quanto concerne l'impiego di bruciatori, di pareti raffreddate e delle modalità operative. Tre forni sono collocati a piano terra, uno su platea; tutti gli impianti sono presidiati da quarto foro; per un forno è prevista la segregazione integrale dell'area e la captazione dei fumi secondari.

Obiettivi dell'indagine e metodologia

Data la complessità della principale fonte di emissione (forno) diversi sono stati gli obiettivi che ci si è posti con l'indagine e di conseguenza sono diversi i parametri da controllare.

Obiettivo	Metodologia	Parametri
caratterizzazione inquinante	deposito su membrana	granulometria
	depositi in ambiente	composizione
ricaduta particolato in ambiente	prelievi fissi	concentrazione
		composizione
		silice libera
legame inquinamento/ciclo	prelievi fissi in sequenza	concentrazione
entità rischio addetti	prelievi personali	concentrazione
		composizione

L'area di intervento intorno ai forni è stata caratterizzata mediante prelievi di aerodispersi e di depositi effettuati in posizioni fisse (centro platea, margine platea, spillaggio, cabina lavoro). L'esposizione lavorativa è stata indagata con prelievi personali per gli addetti squadra forno, gli addetti controllo qualità e i gruisti.

Il monitoraggio ha previsto periodi di prelievo riferiti a cicli di lavorazione completi (colata tap to tap), prove contemporanee e ripetute per un numero sufficiente di cicli per ogni forno, tale da consentire una stima del fenomeno indagato.

Depositati in ambiente

Cinque componenti (ossido di ferro espresso come Fe_3O_4 , calce, silice, magnesite e residui carboniosi) caratterizzano i depositi di tutte le posizioni investigate, co-

A carico dei metalli maggiormente tossici (Ni, Cr, Mn) non si evidenziano esposizioni elevate. Le tipologie prese in esame contemplano produzione di acciai di base o di qualità, per i quali i tenori di nichel e di cromo in lega sono molto contenuti (Ni massimo 0.15%, Cr massimo 0.30%).

Le concentrazioni di piombo misurate con i campionamenti personali risultano estremamente variabili, in quanto si riferiscono a forni elettrici che utilizzano rotame di differenti qualità: si evidenziano per gli addetti dell'area forno e per i gruisti condizioni di esposizione significativa.

Relazioni fra polverosità e composizione delle polveri, individuazione di metalli guida dell'inquinamento

L'inquinamento aerodisperso si caratterizza per la presenza di elementi (Zn, Pb, Ni, Cr, Al, Si) scarsamente correlati con le concentrazioni di polverosità e per la presenza di calcio, magnesio, manganese e ferro che contribuiscono in misura consistente all'incremento di polverosità (rispettivamente si hanno coefficienti di correlazione lineare $-r$ fra polverosità ed elementi pari a 0.87, 0.77, 0.76, 0.74).

La correlazione fra polverosità e i quattro elementi sopracitati è più elevata per la posizione di spillaggio (rispettivamente $r = 0.97, 0.95, 0.85, 0.92$) a indicare la significativa specificità di tale posizione.

Per quanto riguarda le correlazioni, oltre a quelle tra gli elementi sopracitati (che possono essere assunti come metalli guida dell'inquinamento) si evidenziano discrete correlazioni fra piombo e zinco ($r = 0.73$), presenti come inquinanti nel rotame ed emessi nelle prime fasi di fusione, e fra cromo e nichel ($r = 0.75$) costituenti la lega e provenienti dall'evaporazione del bagno fuso: in pratica per tali coppie si osservano medesime fonti e meccanismo comune di dispersione.

Questo fatto indica fra l'altro come l'inquinamento aerodisperso dell'area forno sia determinato da sorgenti specifiche per quanto riguarda sia il composto, sia la posizione dell'emissione.

Nel complesso quindi si riscontra una correlazione abbastanza scarsa, a parte le eccezioni evidenziate, fra polverosità ed elementi e fra i singoli elementi, a differenza della situazione esterna (ambiente urbano, ecc.) dove l'inquinamento è il risultato di molteplici fonti distanti fra loro e quindi sostanzialmente diffuse in modo uniforme.

L'esposizione personale non presenta differenze statisticamente significative fra i vari forni e non si evidenziano correlazioni con i parametri impiantistici esaminati (potenza specifica, produttività, aspirazione specifica).

E' stata sottoposta ad analisi l'esposizione degli addetti a terra di un forno distinguendoli per differenti mansioni.

Mansione	numero campioni	GM (mg/m ³)	GSD
controllo forno	5	2.2	1.37
manovra forno	5	3.0	1.47
addetti forno	10	4.7	1.96

Si osserva un aumento dell'intensità e della variabilità dell'esposizione, minore per le mansioni di controllo e di manovra, più elevata per le mansioni di esecuzione. Si individua inoltre una significativa differenza ($p < 0.02$) fra l'esposizione determinata dalle mansioni di controllo e di manovra e quella delle mansioni di esecuzione.

L'esposizione degli addetti al forno si caratterizza, in definitiva, in funzione di interventi (trasporto ferroleghie, ripristino diga, caricamento additivi in forno e in siviera, spillaggio, rifacimento refrattario, ecc.) di breve durata, effettuati in posizioni scarsamente protette, piuttosto che attraverso le concentrazioni misurate nelle aree occupate per la quasi totalità del ciclo (cabina, platea).

Per quanto concerne i diversi metalli sono state misurate, per gli addetti a tutti i forni, le seguenti concentrazioni.

	numero campioni	GM (mg/m ³)	GSD	
polverosità	76	3.3	1.90	
Fe	71	0.205	2.24	
Mn	71	0.043	3.09	
Zn	61	0.090	2.44	
Pb	61	0.036	2.85	
Ni	70	0.001	2.74	
Cr	71	0.004	2.21	
Al	71	0.032	1.77	
Si	71	0.045	2.33	silice libera cristallina fra 1.3 e 3.3%, valore medio 2.2%
Ca	71	0.430	2.22	
Mg	71	0.145	2.30	

viduano significative differenze fra platea e cabine: in queste ultime sono stati misurati valori più elevati di polverosità, pur trattandosi di un locale segregato e quindi presumibilmente più protetto.

Posizione	numero campioni	GM (mg/m ³)	GSD
platea	21	1.1	2.21
platea remota	21	1.3	2.20
spillaggio	24	3.5	3.00
cabina	25	1.4	1.42

Per la posizione di spillaggio si osservano differenze significative ($p < 0.02$) fra le soluzioni adottate per i diversi impianti. In particolare, gli impianti di maggior capacità e produttività presentano valori di polverosità più alti.

Impianto	numero campioni	GM (mg/m ³)	GSD
forno 1	6	12.3	2.94
forno 2	6	1.4	1.92
forno 3	7	2.1	1.87
forno 4	5	4.5	1.52

Prelievi personali

Impianto	numero campioni	GM (mg/m ³)	GSD
tutti i forni	76	3.3	1.90
forno 1	19	3.8	2.06
forno 2 (a)	8	4.6	1.51
(b)	11	2.4	1.54
forno 3 (a)	9	3.6	2.05
(b)	9	2.3	1.71
forno 4	20	3.4	1.82
gru	14	0.9	2.30

(a) precedentemente alle modifiche operative

(b) successivamente alle modifiche operative

stituendo il 90-94% in peso del totale. Tale circostanza è verificata anche considerando i depositi in corrispondenza dei singoli forni.

La percentuale di ossido di ferro depositato nelle diverse posizioni in ambiente di lavoro costituisce il 44-52% in peso del deposito e non risulta significativa, dal punto di vista statistico, la differenza rispetto al deposito della cabina. Neppure per la calce (16-30%) e per i depositi carboniosi (3-8%) si evidenziano percentuali significativamente differenti nelle posizioni di deposizione. La silice si attesta su un valore costante (6-8%) nell'ambiente esterno e si evidenzia una differenza significativa ($p < 0.05$) per l'arricchimento in cabina. Risultano invece non omogenei i depositi di magnesite con significative differenze ($p < 0.03$) fra le posizioni vicine e lontane dal forno, interne ed esterne alla cabina.

Per gli altri componenti si evidenzia il deposito elevato di MnO allo spillaggio e i depositi estremamente contenuti, ai limiti della rilevabilità, per i composti di Pb, Ni, Cr e Cd, da ritenere più tossici.

Si è inoltre ricercato un legame fra la composizione del deposito e la composizione dell'aerodisperso tramite test di correlazione (t di Student): si osserva un arricchimento in calce e silice nell'aerodisperso e un significativo impoverimento di ossidi di ferro.

Aerodispersi in posizione fissa

Le concentrazioni di polverosità aggregate per singolo forno non consentono di trarre indicazioni statisticamente significative rispetto alle soluzioni impiantistiche adottate. Comunque il forno dotato di tamponamento e di aspirazione secondaria, pur avendo valori medi della polverosità più elevati rispetto a quelli degli altri forni ($GM = 1.8 \text{ mg/m}^3$ contro $GM = 1.6 \text{ mg/m}^3$), presenta una variabilità intorno alla media più contenuta ($GSD = 1.96$ contro $GSD = 2.53$), cioè un'omogeneizzazione dell'inquinamento nel reparto.

Si noti che la distribuzione lognormale viene assunta come quella che meglio rappresenta le concentrazioni di inquinanti rilevati in ambiente di lavoro. I diversi gruppi di determinazioni omogenee risultano quindi caratterizzati da GM (media geometrica) indice della concentrazione di tendenza centrale e da GSD (deviazione geometrica standard) indice della dispersione delle concentrazioni intorno al valore centrale. Si è proceduto quindi ad analizzare i prelievi fissi suddividendoli per posizione caratteristica di prelievo: lo spillaggio presenta concentrazioni significativamente ($p < 0.02$) maggiori rispetto alle altre indagate (platea, cabina), mentre non si indi-