

ACCIAIERIA ELETTRICA

CAPITOLO 4 IMPATTO E RISCHIO AMBIENTALE DEL COMPARTO

- 4.1 Fattori di impatto e di rischio ambientale**
- 4.2 Consumo delle risorse**
- 4.3 Matrici ambientali interessate dagli impatti**
- 4.4 Evidenze e orientamento della prevenzione**
- 4.5 Preparazione del rottame**
- 4.6 Emissioni in atmosfera da forno elettrico: caratteristiche, criticità, contenimento**
- 4.7 Valorizzazione rifiuti solidi**

4.1. Fattori di impatto e di rischio ambientale

Viene considerato l'insediamento siderurgico elettrico, cioè la produzione di acciaio mediante forno elettrico e la laminazione a caldo. Vengono escluse da questa trattazione le successive lavorazioni (laminazione a caldo, decapaggio e trattamenti superficiali, trattamenti termici, finiture e trafilature), in alcuni casi associate negli insediamenti della siderurgia elettrica, non classificate nel settore siderurgico e le lavorazioni (forgiatura, fonderie di seconda fusione) comprese in altri comparti produttivi. Per alcuni di questi comparti l'impatto e rischio ambientale è esaminato nel profilo di rischio "Metallurgia".

In Figura 4.1 si evidenziano i flussi entranti e uscenti da una tipica miniacciaiera elettrica, che associa il reparto di produzione dei semilavorati in acciaio e di laminazione a caldo. Nelle Tabella 4.1, Tabella 4.2 e Tabella 4.3 vengono indicati i fattori di emissione caratteristici del processo.

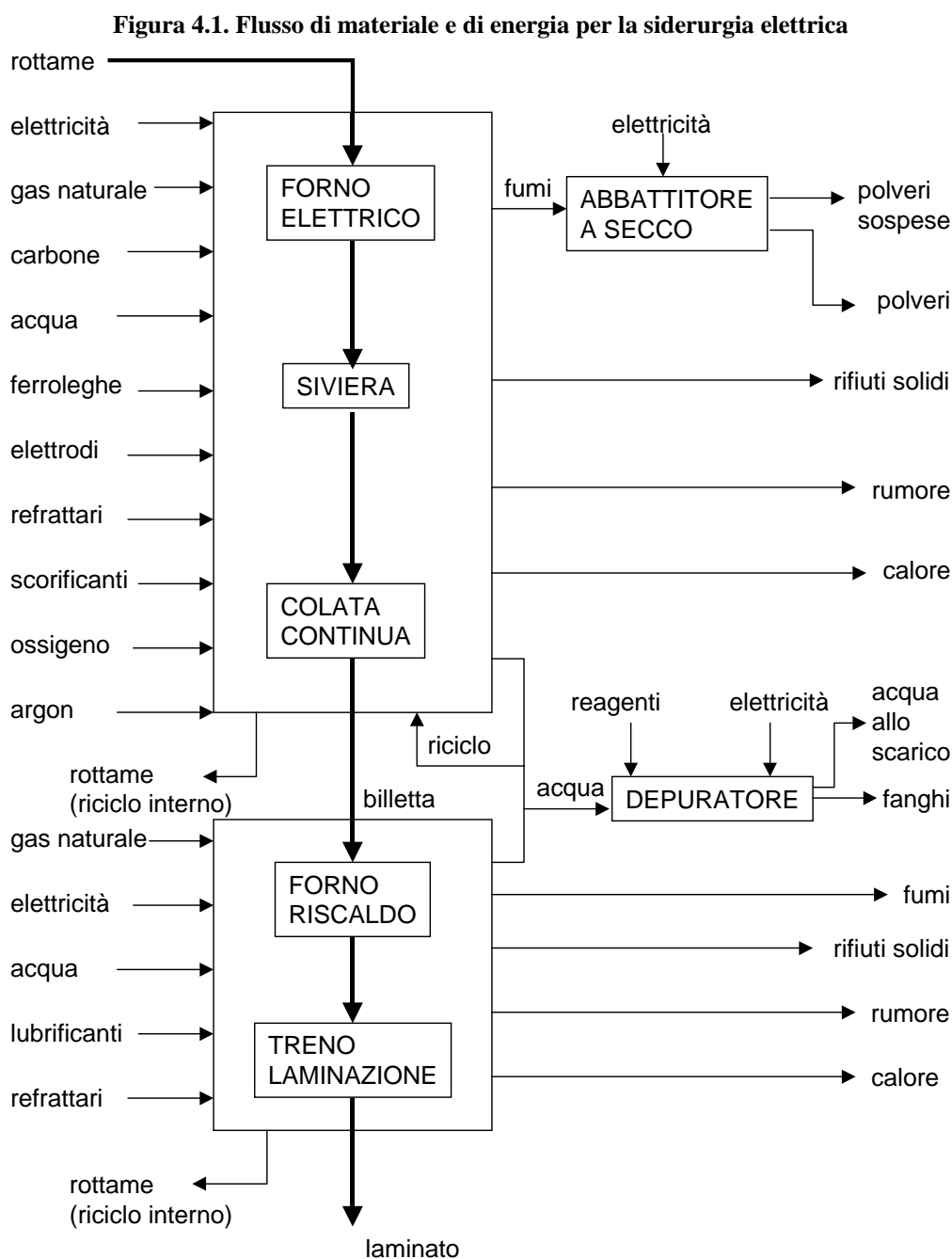


Tabella 4.1. Input e output dell'insediamento siderurgico elettrico: acciaieria

	Caratterizzazione	/ t acciaio liquido
rottame	carica forno elettrico	1080-1130 kg (1)
elettricità	fusione carica	300-400 kWh
	servizi acciaieria e c.c.	100 kWh
gas naturale	bruciatori forno elettrico	20-40 Nm ³
carbone	combustibile e ricarburante carica	10-30 kg
	servizi raffreddamento forno	
acqua (2)	servizi raffreddamento colata	4 m ³
	servizi ausiliari	
ferroleghe	affinazione colata	20-40 kg
	aggiunte in lingottiera	
elettrodi	forno elettrico	1.5-2.5 kg
	rivestimenti	
refrattari	massa da spruzzo	10-50 kg
	polveri di copertura	
calce, calcare	affinazione colata	30-80 kg
	decarburazione	
ossigeno	bruciatori forno elettrico	30-60 Nm ³
argon	degasaggio colata	30-80 kg
rottame (riciclo)	da colata continua	30 kg
fumi primari e secondari	da forno elettrico	9-20 kg
elettricità (3)	impianto captazione e abbattimento	50 kWh
polveri sospese	effluente impianto di abbattimento	1-5 mg/Nm ³
fumi (3)	recupero da abbattimento	9-20 kg
	scoria forno elettrico	100 kg
rifiuti solidi	demolizione refrattari forno	100 kg
	demolizione refrattari panieria	
riciclo acqua		
acqua alla depurazione		
reagenti		
elettricità (4)		

(1) in funzione della qualità del rottame

(2) i sistemi di raffreddamento sono a ciclo chiuso. Il consumo corrisponde alla quota di evaporazione, di dissipazione, di spurgo periodico (10% della quota in circolo)

(3) per il forno elettrico viene previsto un sistema di captazione e di depolverazione a secco per i fumi primari e secondari, con rendimento di abbattimento del 99.0-99.5% e quindi in grado di garantire tra 1 e 5 mg/Nm³ all'emissione.

(4) Per l'intero stabilimento è previsto un impianto centralizzato per il trattamento delle acque, con sedimentazione primaria, trattamento chimico-fisico di flocculazione, sedimentazione secondaria e riduzione del contenuto acquoso dei fanghi. Per le frazioni grossolane trascinate dall'acqua di raffreddamento (scaglie di laminazione, ecc.) sono normalmente previsti anche fasi di decantazione a piede d'impianto.

Tabella 4.2. Input e output dell'insediamento siderurgico elettrico: laminatoio (*)

caratterizzazione		/ t laminato totale insediamento
olio combustibile	riscaldamento billette	25 kg: 10000 t/anno
elettricità	laminazione	120 kWh
	servizi laminatoio	30 kWh } 60 milioni kWh
acqua (1)	raffreddamento gabbie	} 2 m ³ : prelievo 2500 m ³ /giorno
	servizi ausiliari	
lubrificanti	lubrificazione cilindri	1 kg
rottame (riciclo)	da laminazione	10 kg
oli e grassi (3)	affioramento depuratore	0.05 kg: 20 t grassi /anno
fanghi (3)	recupero da depuratore	8 kg: 3200 t/anno
elettricità (3)	servizi impianti depurazione	50 kWh
acqua allo scarico	effluente depuratore	qualità: tabella A/C
fumi	effluente forno di riscaldamento	800 t di SO ₂ (olio con S = 4%)
rifiuti solidi	scaglia pulizia forno	} 10 kg: 4000 t/anno (riciclo)
	scaglia laminazione	

(*) Sono presentati anche input e output di laminatoio a caldo perché in numerosi insediamenti della siderurgia elettrica sono previsti impianti comuni per acciaieria e laminatoio

- (0) nelle configurazioni attuali olio combustibile e gasolio sono stati integralmente sostituiti da gas naturale (30-40 Nm³/t laminato)
- (1) i sistemi di raffreddamento sono a ciclo chiuso. Il consumo corrisponde alla quota di evaporazione, di dissipazione, di spurgo periodico (10% della quota in circolo)
- (3) Per l'intero stabilimento è previsto un impianto centralizzato per il trattamento delle acque, con sedimentazione primaria, trattamento chimico-fisico di flocculazione, sedimentazione secondaria e riduzione del contenuto acquoso dei fanghi. Per le frazioni grossolane trascinate dall'acqua di raffreddamento (scaglie di laminazione, ecc.) sono normalmente previsti anche fasi di decantazione a piede d'impianto.

**Tabella 4.3. Siderurgia elettrica (acciaieria + laminatoio)
Consumo di risorse e fattori di generazione di rifiuti (riferiti a 1 t acciaio laminato a caldo)**

	input	output (fonte: APAT)	
Energia elettrica (kWh/t acciaio)	650-750		
Gas naturale (mc/ t acciaio)	50-80		
Carbone (kg/ t acciaio)	10-30		
Acqua (mc/ t acciaio)	4-6		
Scoria forno (kg/ t acciaio)		70-160	Rifiuto NP (non pericoloso)
Fumi (kg/ t acciaio)		15-22	Rifiuto P (pericoloso)
Scaglia laminazione (kg/ t acciaio)		16	Rifiuto NP
Fanghi (kg/ t acciaio)		2-3	Rifiuto NP
Refrattari (kg/ t acciaio)		17	Rifiuto NP + P

La scoria che deriva dalla rifusione del rottame è stata per anni utilizzata, senza troppe formalità, come sottofondo anche per gli stessi insediamenti siderurgici; viene considerata rifiuto non pericoloso (alcune criticità per il dilavamento di scorie che risultano dai processi di produzione di acciai speciali); negli ultimi anni sono stati avviati processi di valorizzazione della scoria per la preparazione di sottofondi e, in particolare, come materiale per gli strati di usura stradali.

Per quanto concerne i fumi derivanti dall'abbattimento delle emissioni dei forni di fusione, per la situazione italiana si può considerare superata la fase più critica, dal punto di vista ambientale, dovuta al loro conferimento. Nella situazione italiana è presente nell'attività metallurgica una capacità di rilavorazione e

valorizzazione, tramite riciclo di zinco e piombo, pari a circa il 50% dei fumi prodotti; il restante 50% è destinato a impianti metallurgici all'estero, oppure a conferimento in discariche controllate.

Figura 4.3. Scoria di acciaieria utilizzata come sottofondo
Figura 4.4. Cumuli di scoria in attesa di destinazione e/o valorizzazione



Figura 4.5. Precario accumulo di fumi di forno elettrico. **Figura 4.6. Significativo stoccaggio temporaneo di fumi**



4.2. Consumo di risorse

Input energetici

I consumi di combustibili solidi (carbone) competono principalmente alla siderurgia a ciclo integrale; negli ultimi anni il consumo di polverino di carbone, utilizzato nella fase di rifusione di rottame congiuntamente e in parziale sostituzione dell'energia elettrica, costituisce un quantitativo significativo.

Figura 4.7. Visibili emissioni derivanti da forno di riscaldamento alimentato a olio combustibile
Figura 4.8. Camini di forni di riscaldamento alimentati a gas naturale



Il gas trova impiego soprattutto per l'alimentazione dei forni di riscaldamento; i combustibili liquidi (olio combustibile, gasolio) sono stati totalmente sostituiti a partire dagli anni '80, in particolare per ottimizzare le problematiche riferite alla combustione e soprattutto per contenere le emissioni in atmosfera.

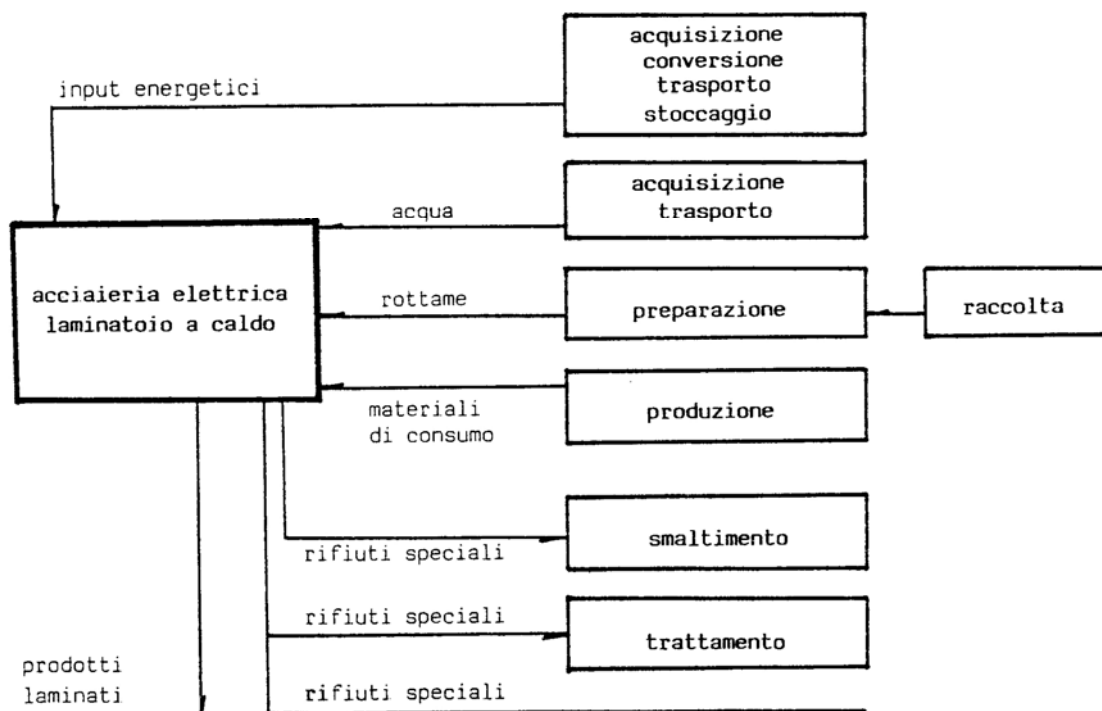
Volendo individuare correttamente le implicazioni del settore siderurgico elettrico in termini di *consumo di risorse* è necessario considerare, in questo bilancio, anche le lavorazioni che forniscono input energetici e di materiali e anche le attività che a valle devono essere previste per il trattamento degli effluenti: in altri termini viene individuato l'*indotto siderurgico*, cioè tutte le attività implicate durante il *ciclo di vita* dell'acciaio elettrico.

A questo proposito si può fare riferimento alla metodologia abitualmente utilizzata per effettuare l'analisi energetica dove si distinguono i consumi dei materiali, gli input energetici e l'energia per rendere disponibili tali input al consumo. In definitiva si conduce un esame di una "fabbrica allargata", trascurando il problema del trasporto, considerando sia i materiali in ingresso al settore siderurgico elettrico, sia i prodotti in uscita e i diversi effluenti (Figura 4.9).

La necessità di considerare anche gli effluenti dell'attività siderurgica è dettata dall'importanza del parametro ambientale e dalla necessità di contabilizzare tali costi contestualmente a quelli che vengono implicati direttamente dalla fabbrica.

Questo approccio consente di valorizzare in misura adeguata la valenza ambientale positiva introdotta dagli interventi di riciclo interno dei materiali e/o di trattamento degli effluenti in sostituzione del loro allontanamento all'esterno dell'attività siderurgica, che non significa risoluzione.

Figura 4.9. Schema di analisi energetica di processo applicata al settore delle acciaierie elettriche: individuazione delle attività coinvolte, degli input energetici, degli input di materiali di consumo, degli output dal processo



4.3 Matrici ambientali interessate dagli impatti

MATRICE	← sorgente di impatto
ARIA	← emissioni canalizzate ← emissioni diffuse
materiale elaborato: <u>Verifica dei livelli di inquinamento atmosferico nell'ambiente circostante gli impianti siderurgici</u> <u>Criteri di valutazione di qualità dell'aria</u>	
RUMORE	
materiale elaborato: <u>Inquinamento acustico</u> <u>Inquadramento normativo</u>	
ACQUA	← scarichi convogliati ← dilavamento superfici attività lavorativa (comprese ricadute aerodispersi) ← dilavamento rifiuti solidi
SUOLO	← rifiuti solidi ← ricadute aerodispersi ← scarichi non convogliati

4.3.1. Verifica dei livelli di inquinamento atmosferico nell'ambiente circostante gli impianti siderurgici

Considerata l'importanza quantitativa e qualitativa delle emissioni di un forno elettrico ad arco, si ritiene essenziale che debba essere disponibile un sistema di misura delle ricadute nell'intorno della sorgente.

A questo proposito si ritiene riportare sinteticamente quali problemi siano implicati dal monitoraggio e quali risultati possono essere ricavati dall'osservazione dei dati raccolti.

Protocollo di misura: l'esperienza delle ASS 3 e 4 e dell'ARPA Friuli Venezia Giulia

Conoscenze del territorio

Conoscenze di meteorologia

Facendo riferimento all'intervento sviluppato tra il 1992 e il 2004, vengono indicate le problematiche che si ritiene vadano affrontate per predisporre un protocollo di verifica, compatibile con le risorse disponibili.

- Individuazione dei parametri da rilevare all'esterno dell'attività produttiva per valutare le ricadute secondo criteri di tossicità e di specificità rispetto alla sorgente, tenuta presente la disponibilità di tecniche analitiche per i livelli di inquinamento attesi. Nell'esperienza di riferimento: metalli nelle polveri inalabili: zinco, ferro, manganese, piombo e cadmio. Attualmente, con l'evoluzione delle tecniche analitiche disponibili, si ritiene vadano considerate le ipotesi di determinare anche i metalli nelle PM10 e i microinquinanti organo-clorurati.
- Individuazione dei criteri di riferimento per la valutazione di accettabilità per parametri non normati. Nell'esperienza di riferimento sono stati scelti i valori guida WHO 1997 e poi 2000 per il manganese e il cadmio, i limiti di legge italiana per il piombo. Per ferro e zinco, considerata la limitata tossicità, i valori misurati sono utili ad individuare i contributi della sorgente specifica e le variazioni nel tempo delle emissioni in funzione dell'evoluzione impiantistica. Per il piombo va considerato anche il contributo del traffico veicolare e la progressiva eliminazione di tale elemento dai carburanti.
- Localizzazione dei punti di misura, tenute presenti le caratteristiche meteorologiche dell'area (venti prevalenti, intensità e direzione), la presenza di abitati e la disponibilità di supporti tecnici;
- Scelta del numero dei punti di misura, considerata l'onerosità delle misure in funzione delle risorse disponibili. Nell'esperienza di riferimento, dopo una mappatura con campagne brevi in punti dislocati tutto intorno alla sorgente, si è scelto di concentrare le misure in un unico punto, individuato come più critico, per direzione e distanza dalla sorgente tenuto conto dei venti prevalenti;

- Individuazione della durata delle campagne di misura: qualora le risorse disponibili non consentano il rilievo in continuo, si ritiene possibile individuare sulla base degli andamenti meteorologici e delle caratteristiche dei processi produttivi, periodi di misura più brevi, ma rappresentativi. In tal caso, particolare attenzione va dedicata alla scelta delle analisi statistiche e all'elaborazione dei dati. Nell'esperienza di riferimento, considerata la bassa numerosità dei campioni e le grandi differenze di varianza campionaria che non permettono l'utilizzo delle tecniche classiche parametriche sono stati utilizzati i test non parametrici di Kruskal-Wallis. Vanno inoltre effettuate l'analisi meteorologica dei periodi di misura nel contesto dell'andamento meteorologico annuale e l'analisi dei livelli produttivi durante il periodo di misura confrontati con la produzione media annuale (ivi comprese le caratteristiche della carica e dei ricicli al forno) al fine poter utilizzare i dati rilevati per valutazioni riferite a periodi più ampi del periodo di misura e per confrontare i dati con le serie storiche e con valori limite riferiti alle medie annuali. In tale contesto si ritiene essenziale la possibilità di effettuare campagne straordinarie di misura in occasione di significativi malfunzionamenti impiantistici o interventi programmati con possibili incrementi delle emissioni in atmosfera.
- Individuazione della durata del singolo campione in funzione del processo tecnologico e della sensibilità del metodo analitico e delle prescrizioni di norma. Nell'esperienza di riferimento, in presenza di tempi di ciclo inferiori ad un'ora, si è scelta una durata di campionamento di 24 ore.

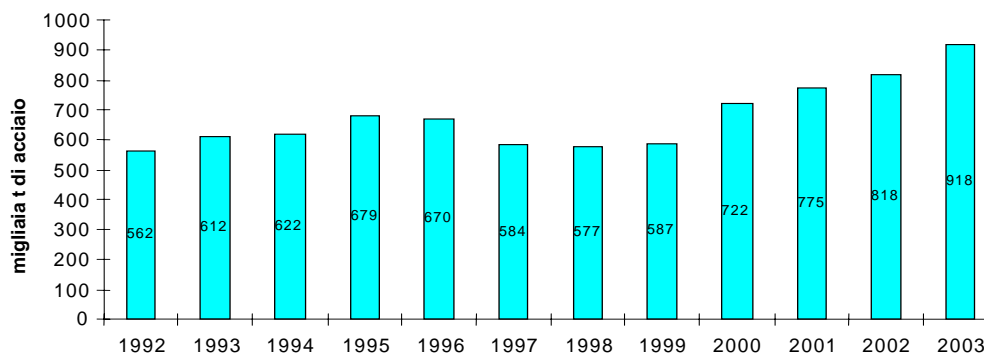
Calendario dell'evoluzione tecnologica, dei presidi introdotti

Calendario degli eventi incidentali

Rapporto fra quantità prodotte e indicatori di ricaduta

Sono stati congiuntamente considerati l'andamento produttivo, l'evoluzione delle caratteristiche della sorgente di emissione, cioè del forno ad arco elettrico (caratteristiche riportate in Figura 4.10) e i risultati delle misure di inquinamento atmosferico effettuate in una posizione, selezionata come quella più critica fra le postazioni attivate, sottovento, considerati i venti prevalenti, dall'ARPA Friuli Venezia Giulia Dipartimento di Udine e dalle ASS 3 e 4 tra il 1992 e il 2003.

Figura 4.10. Evoluzione delle caratteristiche della sorgente



Si riportano nelle successive tabelle i parametri ferro, manganese, zinco, piombo e cadmio nelle *polveri inalabili*, rilevati in un'area abitata collocata sottovento rispetto all'acciaieria, individuata come più critica in base alle campagne di rilevazione condotte negli anni:

- i valori medio, minimo e massimo delle campagne effettuate in ogni anno di rilevamento;
- i valori medio minimo e massimo delle campagne straordinarie effettuate nel 1995 e nel 1998 in occasione di malfunzionamenti (MF) dei sistemi di captazione e abbattimento del forno EAF. Particolarmente grave il malfunzionamento del 1995 (guasto nel raffreddamento del condotto di aspirazione dei fumi primari).

Tabella 4.4. Andamento del ferro nelle polveri inalabili, rilevate sottovento rispetto all'acciaiera

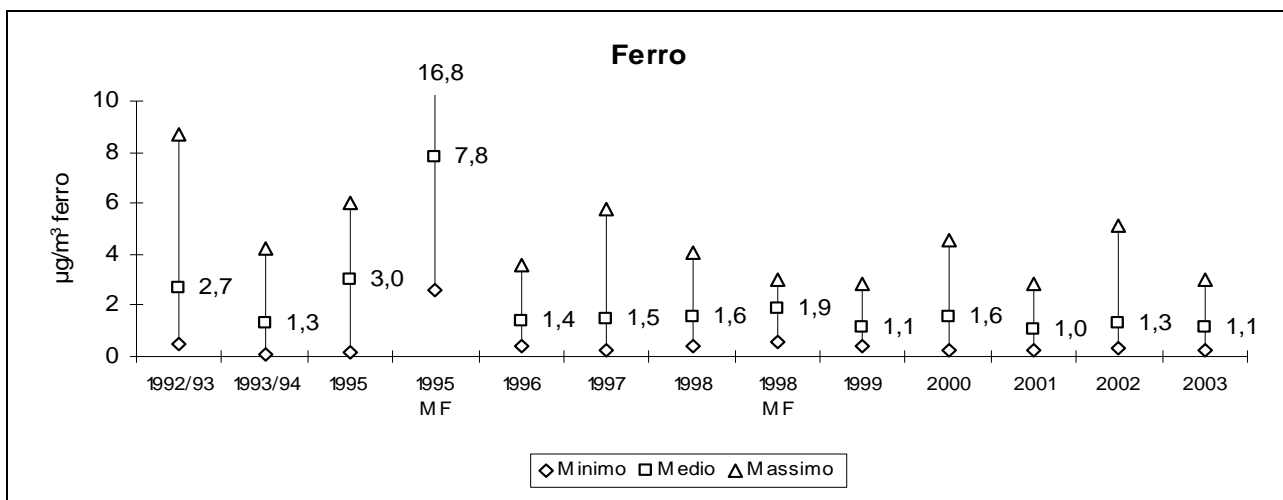


Tabella 4.5. Andamento del manganese nelle polveri inalabili, rilevate sottovento rispetto all'acciaiera

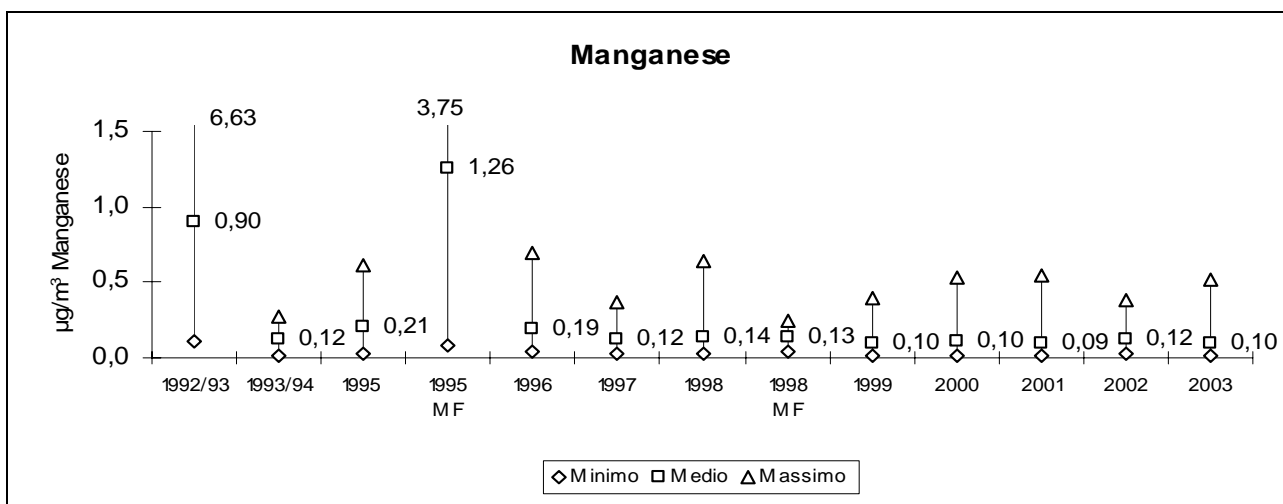


Tabella 4.6. Andamento dello zinco nelle polveri inalabili, rilevate sottovento rispetto all'acciaiera

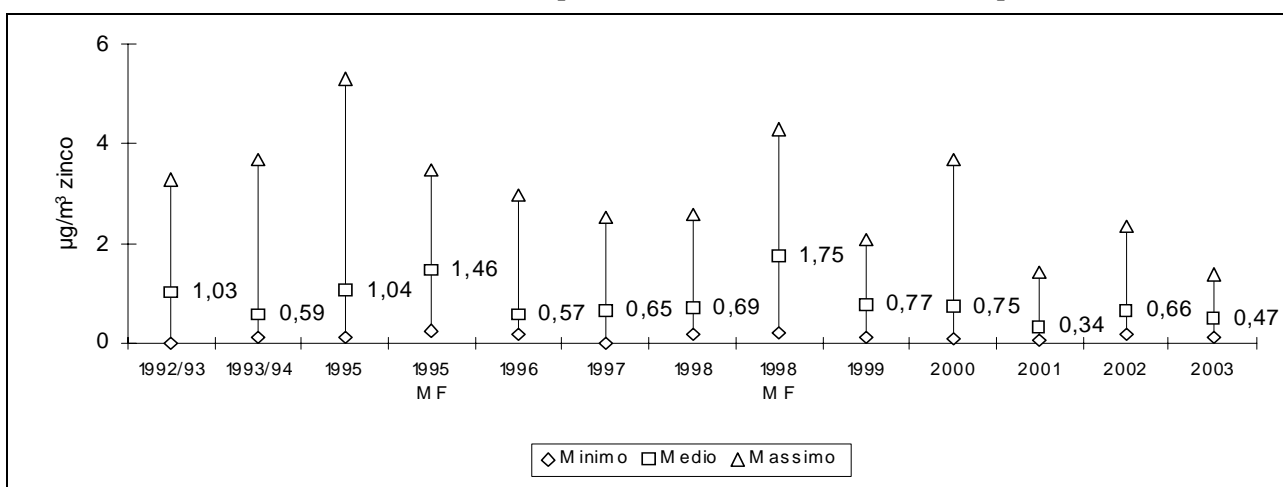


Tabella 4.7. Andamento del piombo nelle polveri inalabili, rilevate sottovento rispetto all'acciaiera

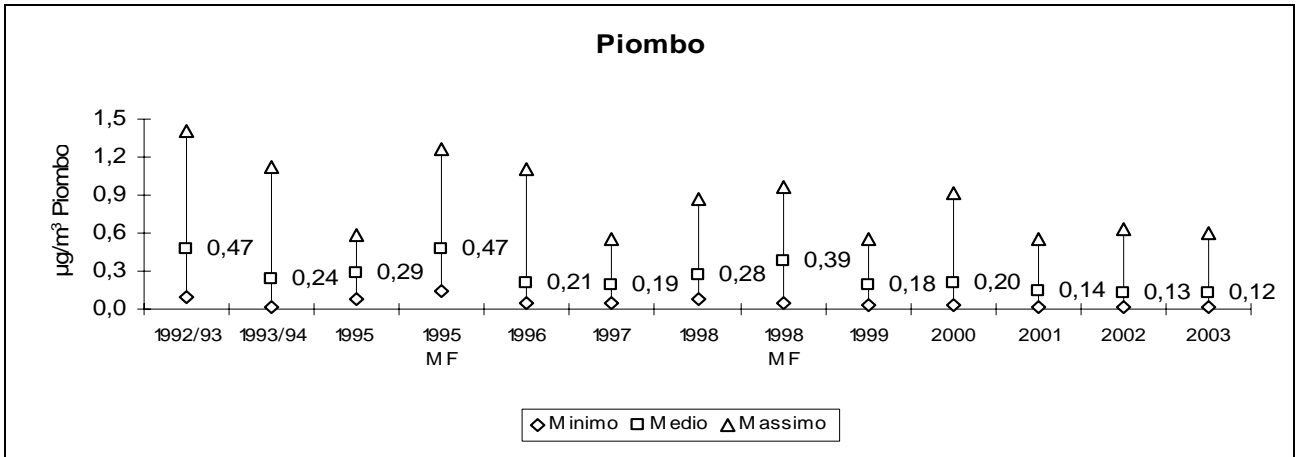
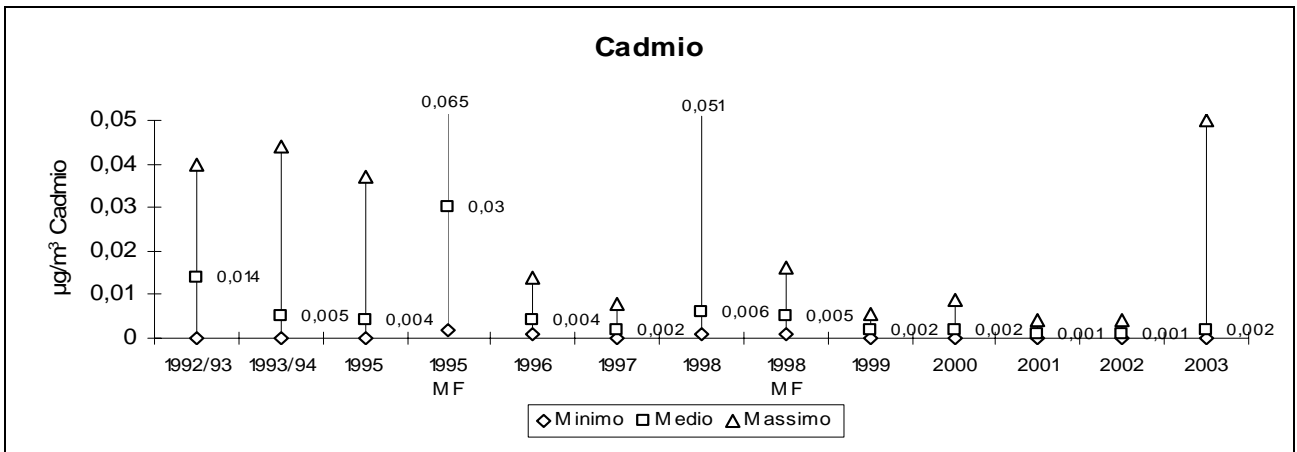


Tabella 4.8. Andamento del cadmio nelle polveri inalabili, rilevate sottovento rispetto all'acciaiera



4.3.2. Criteri di valutazione della qualità dell'aria

La Tabella riporta una sintesi dei criteri presi come riferimento per l'esposizione determinata dalle ricadute dell'attività industriale.

Tabella 4.9. Criteri di valutazione della qualità dell'aria

Contaminante	Valore Limite	Tipo di concentrazione limite
Ferro, Zinco		l'OMS non propone valori guida; i valori rilevati forniscono indicazioni in ordine alla provenienza delle polveri
Manganese	OMS 1987: 0,2 µg/m ³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; tale valore è di riferimento in quanto valori superiori sono riportati solo per zone vicine ad acciaierie, fonderie etc. - Rif. OMS -
	1 µg/m ³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; limite proposto dall'OMS nel 1987.
	OMS 2000: 0,15 µg/m³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; limite proposto dall'OMS nel 2000
Piombo	2 µg/m ³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; limite di accettabilità – D.P.C.M. 28/03/1983
	0,5 µg/m³	“media annuale” valore da conseguire entro il 01/01/2005 Direttiva 1999/30/CE del 22/04/99, recepita dal D.M. 60/2002 - coincide con il valore limite OMS. I valori esistenti non dovrebbero essere peggiorati.
Cadmio	OMS 1987: 0,01-0,02 µg/m ³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; limite proposto dall'OMS nel 1987 per zone industriali e urbane
	0,001-0,005 µg/m ³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore”; limite proposto dall'OMS nel 1987 per zone rurali. I valori esistenti non dovrebbero essere peggiorati
	OMS 2000: 0,005 µg/m³	“media annuale dei valori medi sulle 24 ore” limite proposto dall'OMS nel 2000 (non viene indicato un limite di sicurezza in relazione alla cancerogenicità accertata per l'uomo - gruppo 1 IARC)

4.3.3 Inquinamento acustico

Nel BAT Reference Document relativo alla produzione di ferro e acciaio vengono sinteticamente descritte le emissioni di rumore dell'acciaieria nel modo seguente:

“Nelle acciaierie a forno elettrico sono predominanti le seguenti sorgenti di rumore: reparto di fusione ivi incluso l'EAF, parco rottame, depolverazione delle emissioni primarie, depolverazione delle emissioni captate tramite cappa, impianti trattamento acqua.

I forni EAF convenzionali mostrano livelli medi (fusione e trattamento) di L_{wa} = 118-133 dB(A) per forni di capacità superiore a 10 t e L_{wa} = 108-115 dB(A) per forni di capacità inferiori. La potenza specifica del trasformatore determina i livelli di emissione del rumore ...”.

La nostra esperienza di misura nei luoghi di lavoro e all'esterno dell'acciaieria conferma l'importanza relativa di queste sorgenti (a eccezione degli impianti di trattamento acque dislocati in area interna alla zona industriale e lontana dagli stabilimenti). Per quanto riguarda l'ambiente esterno, va considerata attentamente la dislocazione degli abitati, anche sparsi, più prossimi alle singole sorgenti e la viabilità di accesso.

Significativo può essere anche il contributo delle variabili meteorologiche, in particolare il vento. Nella nostra esperienza, nelle posizioni non influenzate dal traffico veicolare, è sistematico il riscontro di livelli più alti nel periodo notturno, quando considerata la direzione del vento prevalente, gli abitati si trovano sottovento all'acciaieria.

4.3.4. Inquinamento acustico: inquadramento normativo

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1° marzo 1991. Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno

Questa norma è in via di abrogazione in quanto con l'emanazione della legge quadro sull'inquinamento acustico e dei decreti di attuazione, di seguito riportati, sono stati rivisti i limiti di accettabilità. Allo stato attuale sono mantenuti validi solo i limiti del D.P.C.M. 1° marzo 1991 per l'ambiente esterno.

Per la normativa ambientale in campo acustico, questo DPCM è stato il provvedimento che per primo identifica dei limiti acustici che non devono essere superati nei due periodi in cui è suddivisa la giornata: diurno (06.00 - 22.00) e notturno (20.00 - 06.00).

Nell'articolo 6, comma 1, sono fissati i limiti di accettabilità relativamente alle quattro zone di destinazione d'uso del territorio in cui viene suddiviso il territorio.

Tabella 4.10. Limiti di accettabilità acustici

ZONIZZAZIONE	Limite diurno dB (A)	Limite notturno dB (A)
Tutto il territorio nazionale (zone agricole o diverse dalle zone A, B ed esclusivamente industriale)	70	60
Zona "A" come dal D.M. 1444/68 (centri storici)	65	55
Zona "B" come dal D.M. 1444/68 (aree residenziali)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Legge quadro sull'inquinamento acustico n° 447 del 26 ottobre 1995

E' la norma di riferimento in cui vengono stabilite le competenze che spettano ai vari organi istituzionali quali Stato, Regioni, Province e Comuni. Inoltre identifica in modo specifico (art. 2) le sorgenti di rumore fisse, nelle quali inserisce anche le infrastrutture stradali, ferroviarie ed aeroportuali. La legge prevede che le Regioni stabiliscano i criteri per la classificazione acustica del territorio, che saranno adottati dai Comuni.

Conseguenza della classificazione è l'adozione dei piani di risanamento per quelle aree che, inserite in una classe specifica, evidenzino livelli di rumore superiori ai limiti di accettabilità specifici dell'area omogenea.

All'articolo 8 viene prevista la predisposizione di una documentazione di impatto acustico relativa alla realizzazione, alla modifica o al potenziamento di un complesso di opere produttive (art.8, comma 4).

Attualmente sono in fase di pubblicazioni una serie di normative tecniche di applicazione della legge 447 relative a problematiche ambientali specifiche; in attesa che trovi adempimento la zonizzazione del territorio valgono ancora i limiti fissati all'articolo 6 del D.P.C.M. 1/3/1991.

Tabella 4.11. Classificazione del territorio comunale

Classe I – aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
Classe II – aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.
Classe III – aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.
Classe IV – aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciale e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.
Classe V – aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.
Classe VI – aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 14 novembre 1997. Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore

Il decreto viene promulgato per armonizzare le normative nazionali con quelle europee. Ripropone i limiti di accettabilità, riportati nella tabella 1 allegata al D.P.C.M. 1° marzo 1991 opportunamente ripartiti su più classi di destinazione d'uso del territorio e rinominati "valori limite assoluti di immissione".

I livelli di rumore ambientale immessi nell'ambiente esterno da tutte le sorgenti che provocano un impatto acustico significativo, concorrono alla verifica del superamento o meno del limite assoluto di rumore.

All'interno delle fasce di rispetto delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e nelle aree all'interno delle quali avvengono gare motoristiche, non si applicano i limiti di cui alla tabella C.

Per tutte le altre aree diverse dalle precedenti, relativamente alle singole sorgenti, devono essere rispettati il limiti di emissione; mentre nel loro insieme tutte le sorgenti diverse da quelle dei trasporti, devono rispettare i limiti assoluti di immissione relativi alle aree di destinazione d'uso del proprio territorio.

Tabella 4.12. Valori limite assoluti di immissione: Livello equivalente espresso in dB(A)

<i>Classi di destinazione d'uso del territorio</i>	<i>Tempi di riferimento</i>	
	<i>diurno (06.00-22.00)</i>	<i>notturno (22.00-06.00)</i>
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 marzo 1998. Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico

Il decreto stabilisce le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore in attuazione della Legge Quadro n. 447/95. In esso sono fissati i requisiti tecnici che devono possedere i sistemi di misura mentre gli allegati riportano sia le definizioni delle grandezze e degli indici usati per descrivere il rumore ambientale sia le norme tecniche necessarie per l'esecuzione delle misure.

4.3.5. L'esperienza delle ASS 3 e 4 e dell'ARPA Friuli Venezia Giulia

Facendo riferimento all'intervento sviluppato tra il 1992 e il 2004, vengono riportati sinteticamente i metodi di indagine adottati e i risultati ottenuti.

Metodi di indagine

Al fine di caratterizzare acusticamente il territorio circostante la zona industriale in cui è situata l'acciaieria nel corso degli anni sono state effettuate misure di rumore all'esterno dei abitazioni civili ritenute rappresentative delle diverse aree abitate. Il parametro descrittore scelto in accordo con quanto previsto dalla normativa è il livello equivalente (in dB(A)) grandezza rappresentativa del livello energetico medio, determinato da eventi sonori di intensità diversa verificatisi nell'intervallo di misura. Accanto al livello equivalente si sono misurati i livelli statistici percentili Ln, i quali indicano il livello che è stato presente, o superato, per un intervallo di tempo pari a n % del tempo di misura considerato, in particolare sono stati analizzati gli L10 quale grandezza rappresentativa dei livelli di rumore e di picco, gli L90 rappresentativi dei livelli di rumore di fondo, gli L1 che descrivono rumori sporadici di elevata intensità. Le misure sono state effettuate in continuo, per gli interi intervalli orari notturno 22-6 e diurno 06-22. Si sono considerate valide solo le misure eseguite in condizioni meteorologiche normali e in assenza di precipitazioni atmosferiche.

Le misure sono state riefettuate più volte nell'arco degli anni in relazione a interventi tecnologici potenzialmente significativi, in particolare la progressiva implementazione della segregazione dell'area forno e l'inserimento di un trasformatore più potente.

Sono inoltre disponibili misure di rumore effettuate all'interno dell'acciaiera, in particolare sul plancher forno e riferite a diversi momenti dell'evoluzione tecnologica degli impianti.

Risultati

Per descrivere la sorgente principale (EAF) si riportano sinteticamente i livelli equivalenti di rumore misurati all'interno dell'acciaiera sul plancher forno, durante cicli "tap to tap", con affinazione compresa nel ciclo, e con affinazione non compresa nel ciclo, in quanto effettuata nel forno di affinazione.

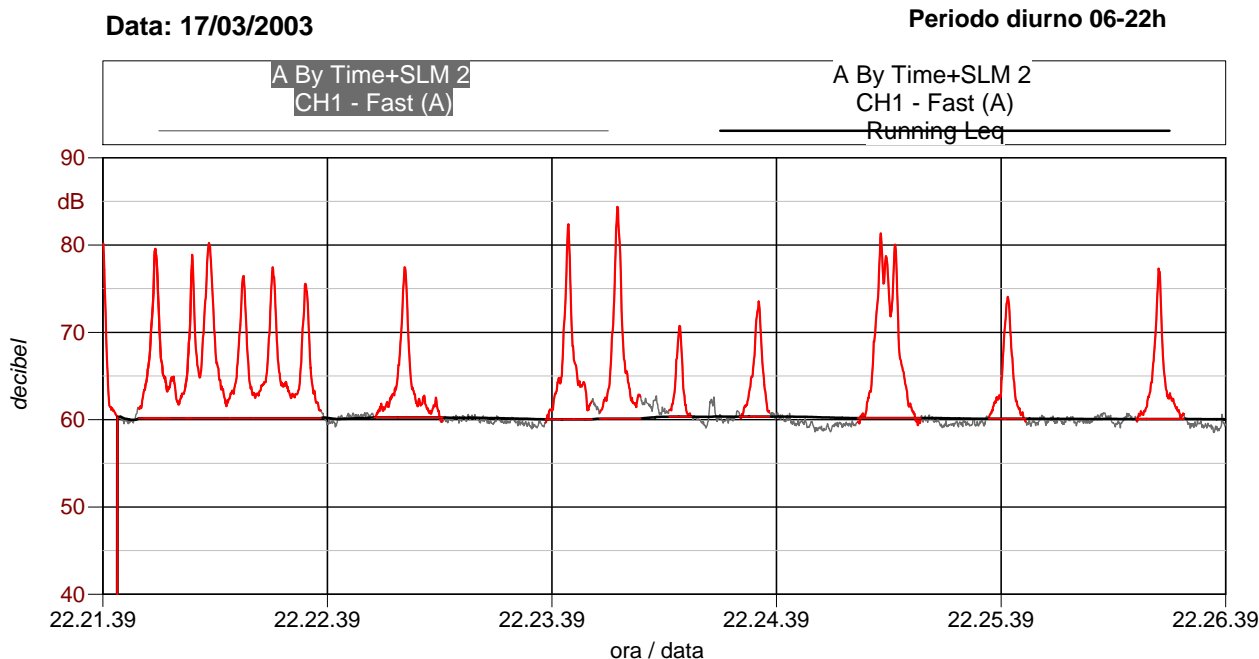
Tabella 4.13. Livelli equivalenti e distribuzione statistica durante ciclo di lavorazione di FEA

Fase ciclo	L1 dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)	L90 dB(A)	L99 dB(A)	Leq dB(A)	acciaio prodotto
"Tap to tap": fusione + affinazione	111	107	96	85	83	101,9	Fe 37
	110	105	93	85	83	100,9	Fe 40
"Tap to tap": solo fusione	114	107	99	81	78	102,3	Fe 41 B
	117	110	100	83	79	105,1	Fe41 B

Per descrivere sinteticamente i risultati delle misure di rumore effettuate tra il 1993 e il 2004 all'esterno di abitazioni in posizioni rappresentative dei nuclei abitati più prossimi all'acciaiera di seguito si riportano:

- tipico tracciato, rappresentativo dell'andamento del livello equivalente in una delle posizioni di misura in periodo diurno con acciaiera a regime;
- sintesi dei rilievi 2002 e dei precedenti rilievi effettuati in posizioni corrispondenti o confrontabili negli anni 1993 e 1996;
- valutazioni sintetiche relative al rispetto nel 2002 dei limiti vigenti nei periodi diurno e notturno su tutto il territorio nazionale e di quelli previsti per aree di intensa attività umana (classe IV) e per aree miste (classe III).

Figura 4.11. Tracciato tipico dei livelli di rumore misurati all'esterno di un'abitazione con acciaiera a regime



Livello equivalente: 60.0

Tabella 4.14. Sintesi dei rilievi 2002 e dei precedenti rilievi effettuati in posizioni corrispondenti o confrontabili negli anni 1993 e 1996

Abitato a Sud Zona Industriale, su strada statale con importante traffico pesante.
Posizione di misura: esterno abitazione 1

Periodo di misura	1996			2002			Differenza Leq dB(A)
	acciaieria						
	a regime	ferma		a regime	ferma		
	Leq dB(A)						
Diurno	56,0 - 58,0	/		56,5 - 60,0	57,0 - 59,0		+0,5 +2,0
notturno	56,0 - 58,0	/		57,5 - 59,0	53,0		+1,5 +1,0

Differenza di rumore notturno con acciaieria a regime e ferma	dB(A)	+4,5	+6,0
---	-------	------	------

Abitato a Sud Est Zona Industriale (sorgente traffico non rilevante).
Posizione di misura: esterno abitazione 2

Periodo di misura	1996			2002			Differenza Leq dB(A)
	acciaieria						
	a regime	ferma		a regime	ferma		
	Leq dB(A)						
diurno	54,0 - 60,0	/		55,5 - 59,0	46,5 - 50,0		+1,5 -1,0
notturno	59,0 - 60,0	/		60,5 - 61,0	49,0 - 49,5		+1,5 +1,0

Differenza di rumore notturno con acciaieria a regime e ferma	dB(A)	+11,5
---	-------	-------

Abitato a Ovest Zona Industriale su strada statale con importante traffico pesante.
Posizioni di misura: esterno abitazione 3

Periodo di misura	1993			2002			Differenza Leq dB(A)
	acciaieria						
	a regime	ferma		a regime	ferma		
	Leq dB(A)						
Diurno	65,5 - 68,0	/		71,0 - 73,0	/		+5,5 +5,0
Notturmo	62,5 - 63,5	/		69,5 - 71,0	/		+7,0 +7,5

Tabella 4.15. Valutazioni sul rispetto dei valori limite per il rumore in ambiente esterno nel 2002

	Limiti vigenti in dB(A)*		Limiti previsti in dB(A)**			
			aree di intensa attività umana (IV)		aree di tipo misto (III)	
	diurno 70	notturno 60	diurno 65	notturno 55	diurno 60	notturno 50
Abitato a Sud su s.s. 463						
<i>Abitazione 1</i>	si	si	si	no	si	no
Abitato a Sud Est						
<i>Abitazione 2</i>	si	no	si	no	si	No
Abitato a Ovest su s.s. 463						
<i>Abitazione 3</i>	no	no	no	no	no	no

* D.P.C.M. 1 marzo 1991 (vigente in quanto i comuni interessati non hanno effettuato la zonizzazione acustica del territorio)

** D.P.C.M. 14 marzo 1997 - limiti assoluti di immissione per classi del territorio comunale - legge 447/95, secondo ipotesi plausibili di zonizzazione acustica.

I dati riportati evidenziano l'importanza dell'inquinamento acustico determinato dall'acciaieria negli abitati circostanti e permettono alcune sintetiche valutazioni:

i livelli di rumore misurati nel 2002 evidenziano "incrementi notturni" di 1-1,5 dB(A) nelle aree a Sud e Sud-Est della Zona Industriale rispetto al 1996 e di 7-7,5 dB(A) nell'area a Ovest della Zona Industriale di fronte all'Acciaieria rispetto al 1993;

i livelli di rumore notturni misurati nel luglio 2002 ad acciaieria in funzione e nell'agosto 2002 a impianti fermi evidenziano "contributi attribuibili all'acciaieria" di 11,5 dB(A) nell'abitato rappresentato dall'abitazione 2, di 4,5-6,0 dB(A) nell'abitato rappresentato dall'abitazione 1 collocato a Sud della Zona Industriale sulla strada statale;

nel 2002 si evidenzia che nel periodo notturno non sono rispettati i limiti attualmente vigenti su tutto il territorio nazionale negli abitati rappresentati dalle abitazioni 1 e 3.

in tutte le posizioni di misura si evidenzia nel periodo notturno il superamento dei limiti assoluti di immissione previsti dal D.P.C.M. 14 marzo 1997 per la classe IV di cui alla Legge n. 447/95.

4.4. Evidenze e orientamento della prevenzione

Nella successiva tabella vengono sottolineati gli interventi di prevenzione che esplicano la loro efficacia in termini significativi per la riduzione quantitativa dell'impatto e fra questi interventi vengono privilegiati quelli che comportano molteplici risultati congiunti.

Tabella 4.16. Sintesi degli aspetti ritenuti più significativi

EVIDENZE DELLA PREVENZIONE	RISULTATI CONSEGUIBILI
<u>Preparazione e pulizia rottame</u>	→ Riduzione emissioni in atmosfera (composti organici) → Riduzione consumi in fusione → Riduzione rischi infortunistici (da esplosioni, ecc.)
<u>Sostituzione energia elettrica con combustibili</u> (combustibili fossili in forno elettrico) (combustibili fossili per preriscaldamento)	→ Riduzione consumi di energia primaria
<u>Riciclo acque di raffreddamento</u> (sistemi diretti: acqua a contatto del prodotto) (sistemi indiretti)	→ Riduzione consumo di acqua
<u>Riciclo in forno refrattari da forno e da paniera</u>	→ Riduzione materiali di consumo → Riduzione rifiuti solidi
<u>Segregazione impianto fusorio</u>	→ Riduzione emissioni diffuse in atmosfera → Contenimento rumorosità
(*)	→ (riduzione esposizioni indebite in ambiente di lavoro)
<u>Riciclo scorie forno per pavimentazione</u>	→ Valorizzazione rifiuti solidi
(*) risultato significativo che coinvolge l'ambiente di lavoro	

4.5. Preparazione e pulizia rottame

L'interesse del produttore di acciaio per un rottame selezionato e di idonea pezzatura è giustificato in maniera evidente attraverso vantaggi apprezzabili nelle successive fasi di lavorazione, sia per quanto riguarda l'ambiente di lavoro che l'impatto esterno della lavorazione di fusione:

- l'utilizzo di rottame meno inquinato da elementi non metallici e da ossidi semplifica l'elaborazione dell'acciaio, permette una minore aggiunta di calce e fondenti, riduce i problemi di natura metallurgica;
- lo sviluppo di un minore quantitativo di polveri e di scoria, tramite un processo di fusione condotto con materia prima più pulita, comporta la riduzione dell'energia, un incremento della resa metallica e una riduzione del costo di conferimento e di smaltimento dei rifiuti prodotti;
- un'idonea pezzatura (rapporto tra volume e superficie) migliora lo scambio termico della carica, aumenta l'efficienza del processo e riduce la rumorosità del forno (maggiore stabilità dell'arco elettrico in assenza di blocchi compatti), nonché rende più veloci le operazioni di carica, eliminando inconvenienti (per esempio *cesta alta*) e riducendo le emissioni.

La frazione leggera, voluminosa ed eterogenea, denominata *fluff*, costituita dal residuo non metallico contenente plastiche, imbottiture, gomma, vetro, tessuti, vernici e adesivi, materiali isolanti e guarnizioni, che risulta dalla separazione (si vedano capitoli precedenti), costituisce un onere economico in quanto da smaltire come rifiuto in discariche autorizzate.

Allo stato attuale sussistono restrizioni sulla possibilità di smaltimento, generate essenzialmente dall'attuale incertezza sulla classificazione (regimi con *fluff* assimilato a rifiuti solidi urbani, a rifiuto speciale e/o tossico), che penalizzano il processo di frantumazione, in ultima analisi l'attività di recupero e riciclo dei materiali metallici.

Le attività dell'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) hanno riguardato sia il supporto al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio nei lavori per la predisposizione e il recepimento della direttiva 2000/53/CE, riferita ai rottami derivanti dall'automobile, sia la caratterizzazione

del fluff di frantumazione dei veicoli, tramite un primo studio sulla caratterizzazione chimico fisica a supporto del recepimento della Direttiva 1999/31/CE in materia di discariche e della Direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.

La fase iniziale dello studio si è conclusa definendo una prima caratterizzazione del fluff, con particolare riguardo al contenuto di PCB e di metalli pesanti.

Al fine di acquisire nuovi elementi conoscitivi di supporto alla classificazione del fluff, ai sensi della Direttiva 2000/532/CE che istituisce il nuovo Elenco dei Rifiuti, e all'individuazione di forme di trattamento e recupero alternative alla discarica, l'APAT ha programmato una nuova campagna di analisi presso impianti di frantumazione localizzati in diverse aree del Paese, con l'obiettivo di caratterizzare il fluff ai fini di un suo recupero energetico anche attraverso prove di combustione in un impianto di incenerimento.

Figura 4.12. Cumulo rottame automobilistico. Figura 4.13. Stoccaggio pacchi auto e impianto di frantumazione



Figura 4.14 Cumulo di fluff (frazione leggera derivante dalla separazione). Figura 4.15. Dilavamento del fluff



4.5.1. Inquinanti organici persistenti (POPs) derivanti dal trattamento del rottame

Una caratterizzazione compiuta dall'Arpa di Brescia (*Relazione tecnica*, 27 novembre 2003) su rottame destinato al mulino di frantumazione certifica una tale quantità di sostanze tossiche in esso contenute da classificarlo in gran parte rifiuto pericoloso: "i rottami ... risultano rifiuti intrisi di oli, carcasse di fusti di olio non bonificati, e condensatori di ogni genere con contenuto di PCB 200.000 volte superiore al limite, nonché rifiuti pericolosi di varia origine i quali alla frantumazione hanno generato in un anno 60.500 t di fluff, pari al 32% a fronte di una frantumazione di 184.530 t.

La frazione *fluff*, in uscita dai mulini di frantumazione può avere caratteristiche di rifiuto pericoloso, in particolare per l'eccessiva presenza di PCB, come attestano le caratterizzazioni del *fluff* di alcune discariche. Collocare in discarica un simile rifiuto appare problematico, per la persistenza e la bioaccumulabilità dei PCB. Anche le polveri di abbattimento dei fumi che derivano dalla fusione risultano più contaminate se il rottame in ingresso è più "sporco".

Riservando al successivo paragrafo quanto concerne le emissioni in atmosfera, gli effetti dello sporco della frazione ferrosa caricata e fusa in forno possono essere valutati tramite la misura delle ricadute al suolo, in particolare di microinquinanti organici (PCB e diossine) e di metalli pesanti.

All'interno del perimetro di queste aziende si sono ritrovati i suoli contaminati da PCB e diossine con un'ampia oscillazione dei valori:

da 7 ng/kg a un massimo di 120 ng/kg per le diossine (valore limite 10 ng/kg);

da 339 a 2.180 µg/kg per i PCB (valore limite 1 µg/kg).

Nelle polveri del deposito rottami di un'acciaieria sono stati trovati PCB fino a 1.670 µg/kg, nella zona forno fusorio fino a 5.900 µg/kg.

Oltre ai microinquinanti organici va segnalata una contaminazione da metalli pesanti:

cadmio fino a 198 mg/kg (valore limite 2 mg/kg);

piombo fino a 15.100 mg/kg (valore limite 100 mg/kg);

zinco fino a 72.851 mg/kg (valore limite 150 mg/kg);

cromo totale fino a 985 mg/kg (valore limite 150 mg/kg);

cromoVI fino a 1.121 mg/kg (valore limite 1,2 mg/kg).

Sembra plausibile, con questi valori, che si tratti di fumi di abbattimento, dispersi al suolo in modo improprio.

La contaminazione di PCB dei terreni esterni e della vegetazione è riscontrabile in misura significativa dove funzionano mulini di frantumazione, nel caso di scarico del dilavamento in corpo idrico e nelle situazioni di collocazione in discarica:

fino a 3.700 µg/kg, riferita ai suoli e ai vegetali;

PCB nell'ordine di 16 µg/l nei corpi idrici che ricevono scarico (dilavamento) dall'attività di deposito del frantumato, con accumulo nei sedimenti del corpo idrico fino a 18.000 µg/kg.

Questi dati sono presentati nella Tabella 4.17 per quanto concerne le emissioni canalizzate in atmosfera dei mulini di frantumazione e nella Tabella 4.18, inserita nel successivo paragrafo, per le emissioni canalizzate in atmosfera da forno elettrico. Vengono riportati i limiti recentemente indicati dall'Unione Europea, con l'IPPC Experts Group, per le centrali produttrici di energia con potenza termica superiore a 50 MW termici, alimentate da combustibili solidi (carbone, rifiuti, biomasse...), limiti che possono essere considerati come riferimenti anche per il settore siderurgico elettrico, come indica l'ARPA di Brescia: *"... si ritiene, anche alla luce della letteratura tecnica di settore, che la revisione dei limiti prenda in considerazione di applicare limiti di emissione per i POPs (Persistent Organic Pollutants) nello specifico PCDD, PCDF, PCB, IPA, nonché i metalli quali piombo, zinco, mercurio, cromo totale ed esavalente"*.

Nei mulini il problema più rilevante e in dimensioni preoccupanti sono le emissioni di PCB, evidentemente presenti in eccessive quantità nel rottame in ingresso.

Tabella 4.17. Concentrazioni di diossine, PCB ed esaclorobenzene nelle emissioni canalizzate dai mulini di frantumazione (car shredder)

Sostanze	Intervallo	Limiti indicati dall'UE
Diossine (ng Teq/Nm ³)	0,012 – 0,025	0,1
PCB (ng/Nm ³)	1724-3720	50
Esaclorobenzene (ng/Nm ³)	18,3-82	

4.6. Contenimento delle emissioni atmosferiche del forno elettrico

Caratteristiche della sorgente

Il forno ad arco elettrico (EAF) è il principale protagonista dell'inquinamento aerodisperso di questo comparto produttivo, sia per quanto concerne il contributo di particelle solide, polveri e *fumi* derivanti da condensazione di ossidi e vapori di metalli, sia per la frazione costituita da inquinanti inorganici e organici allo stato gassoso. Questa condizione risulta evidente considerando la materia prima trattata, rottame di derivazione industriale variamente ossidato e con la possibile presenza di lubrificanti, e, in quota sempre più rilevante, recuperato del settore di post-consumo e quindi con frazioni non ferrose.

Le emissioni di SO₂ dipendono dalla qualità del carbone utilizzato, ma non sono rilevanti. Le emissioni di NO_x non necessitano di particolare considerazione. Un'attenzione rilevante, accanto alle polveri contenenti metalli, è stata dedicata negli ultimi anni agli inquinanti organici: composti organoclorurati, come clorobenzeni, PCB e PCDD/F sono, infatti, stati ritrovati nelle emissioni in concentrazioni misurabili.

Come si nota vi sono emissioni di diossine e PCB dai forni, come composti prodotti derivanti dalla combustione di rottame contaminato da vernici, plastiche, oli, ma dove non può essere esclusa presenza di PCB introdotto con particolari tipologie di rottame.

Tabella 4.18. Concentrazioni di diossine, PCB ed esaclorobenzene nelle emissioni canalizzate da forno elettrico

Sostanze	Intervallo di confidenza della media al 95%		Media	Limiti indicati dall'UE
	Limite inf	Limite sup		
Diossine (ng Teq/Nm ³)	0,10	0,93	0,52	0,1
PCB (ng/Nm ³)	5	1151	578	50
Esaclorobenzene (ng/Nm ³)	27	126	76,4	

Le problematiche di captazione e di abbattimento delle emissioni del forno elettrico sono trattate con un relativo approfondimento, in quanto la prevenzione dell'impatto esterno si coniuga con la prevenzione dei rischi dovuti ad aerodispersi nell'area forno e anche nelle aree limitrofe.

Tabella 4.19. Tipiche composizioni di polveri abbattute in forno elettrico ad arco (% in peso)

Componenti	Acciai al carbonio		Acciai legati	
	Intervallo	Valore tipico	intervallo	Valore tipico
Fe ₂ O ₃	20-50	30		
MnO	1-7	4		
NiO	0,02-0,5	0,2	2-10	6
Cr ₂ O ₃	0,02-1	0,5	10-25	19
Cu ₂ O			0,2-1	0,3
ZnO (*)	10-45	30		
PbO (*)	0,5-8	3		
CdO (*)	0,02-0,1	0,05		
CaO	5-50	30		
MgO	0,5-3	1		
SiO ₂	1-5	2		
Al ₂ O ₃	1-2	1		

(*) considerando anche la pratica di riciclo delle polveri

La quantità e la composizione delle polveri prodotte durante il processo di lavorazione dipendono principalmente dalla qualità del rottame utilizzato, ma anche dalla configurazione impiantistica e dalle procedure di lavorazione adottate. Le polveri prodotte possono essere comprese fra 10 e 25 kg/ t di acciaio liquido, con una ulteriore rilevante variabilità del carico inquinante in funzione delle fasi di lavoro, misurando fino a 10-15 g/Nm³ di volume aspirato. Con carica composta principalmente da rottame

frantumato, derivante da raccolta di post-consumo e con impiego di scarti di tornitura le emissioni risultano quantitativamente più elevate a causa della presenza in misura consistente di metalli basso fondenti (principalmente zinco e piombo) che si liberano per distillazione dalla carica e di prodotti di combustione degli oli e di altri composti organici (materie plastiche, rivestimenti, vernici, ecc.).

La granulometria delle polveri prodotte comprende frazioni grossolane, dove la misura significativa è costituita dai millimetri, e frazioni fini, con massima frequenza delle classi fra 2 e 5 micron.

La composizione, individuata con analisi durante la lavorazione di acciai di base e di qualità, con tenori delle aggiunte di lega contenuti, e per acciai legati è riportata in Tabella 4.19. Durante la carica si riscontra un arricchimento delle polveri in zinco, piombo e cadmio; i tenori di calcio aumentano in corrispondenza alle aggiunte effettuate al termine della fusione; ferro e manganese arricchiscono i fumi in particolare durante la fusione e l'affinazione.

Sono definite *primarie* le emissioni che si generano durante le fasi di fusione del rottame e di affinazione del bagno condotte a forno chiuso, *secondarie* le emissioni che si generano durante periodi relativamente brevi, cioè le fasi di caricamento del rottame condotte a forno aperto e durante lo spillaggio in siviera, ma caratterizzate da importanti volumi; nelle emissioni secondarie confluiscono anche le primarie che sfuggono attraverso le aperture (alveoli degli elettrodi, anello fra tino e volta, porta) alla captazione che estrae direttamente dal volume del forno.

In estrema sintesi e volendo schematizzare i riflessi di particolari tecnologie impiantistiche e di diffuse pratiche operative, si può osservare:

- l'alimentazione della carica preriscaldata riduce i fumi sviluppati in forno, oltre a ridurre la temperatura; risulta ancora più evidente la riduzione del volume di fumi qualora si adotti la carica continua, che consente una marcia del forno sigillata e regolare; nei sistemi a carica continua viene del tutto abolita l'apertura della volta e la conseguente violenta emissione che si determina all'apertura della cesta;
- nel periodo di fusione il volume dei fumi è incrementato da tutti gli apporti energetici non elettrici (metano, carbone, ossigeno); l'effetto di incremento è in parte mitigato qualora vengano applicate tecniche di post combustione;
- anche l'incremento di potenza elettrica applicata provoca un aumento del volume da estrarre per il controllo dei fumi, dipendente dalla combustione più rapida delle quote organiche del rottame e dal più rapido riscaldamento dei gas sviluppati;
- nel periodo di carica a volta aperta e di spillaggio i volumi istantanei emessi risultano generalmente incrementati in funzione della diffusa ricerca di tempi minimi di interruzione della corrente;
- cariche voluminose, cariche di peso rilevante, elevata carburazione e piede liquido abbondante sono fattori che determinano un aumento significativo del volume dei fumi emesso a volta aperta;
- lo spillaggio con abbondanti aggiunte di additivi determina più intense emissioni in questa fase.

Rilevante importanza assume la pratica operativa di riciclo delle polveri abbattute, ai fini di concentrare i metalli (Zn, Pb, Cd) per una maggiore redditività in sede di riciclo, comporta un significativo incremento dei fattori di emissione a causa delle maggiori quantità di questi elementi.

Figura 4.16. Emissioni diffuse derivanti dal forno elettrico in assenza di sigillatura del sistema secondario

Figura 4.17. Emissioni diffuse in condizioni di criticità del sistema di aspirazione



Contenimento dell'impatto aerodisperso

Questo ambizioso obiettivo coinvolge diversi livelli di azione, sintetizzati nella successiva Tabella 4.20, che a loro volta coinvolgono diversi interventi e parametri.

Per alcune di queste voci vengono condotti specifici approfondimenti.

Tabella 4.20. Livello di azione, interventi e parametri critici coinvolti nel contenimento dell'impatto aerodisperso

Livelli di azione	Interventi e parametri critici
RIDUZIONE DELLE EMISSIONI	Selezione e pulizia del rottame
	Preriscaldamento
	Pratiche di caricamento
	Modalità di fusione
	Modalità di riciclo dei fumi
CAPTAZIONE DELLE EMISSIONI	Portata aspirazione primaria
	Sedimentazione inerziale delle frazioni grossolane
	Post-combustione con apporti energetici non elettrici in fusione
	Portata aspirazione secondaria
	Posizione e volume cappa
	Segregazione del reparto (e volume della segregazione)
	Sigillatura dell'involucro
ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI	Superficie filtrante
PREVENZIONE E GESTIONE DEI MALFUNZIONAMENTI	Sezioni di filtrazione escludibili in caso di rottura e per effettuare manutenzione senza pregiudicare la funzione dell'impianto
	Esclusione atmosfere esplosive
	Stoccaggio e trasferimento pneumatico fumi

Captazione delle emissioni

Il controllo dell'inquinamento aerodisperso va condotto con soluzioni tecnologiche e impiantistiche che tengono conto delle modalità di emissione, che si determinano in particolare nelle fasi di carica (rapida combustione degli inquinanti organici, evaporazione dei metalli basso bollenti, esplosioni dovute alla presenza di umidità e acqua inglobata nel rottame), nelle fasi di fusione interessate da regime non regolare (crolli del rottame, reazioni violente, combustione e reazioni esotermiche in seguito a erogazione degli ingredienti energetici) e in misura minore nella fase di spillaggio, considerando l'attuale tipologia di svuotamento dal fondo (*eccentric bottom tapping*) che ha sostituito il sistema a canale.

Nella realtà industriale si osserva un sistema consolidato di captazione delle emissioni primarie, realizzato tramite quarto foro e l'inserimento generalizzato di sistemi di abbattimento tramite filtrazione, dove sono egemoni i filtri a manica che garantiscono efficienza elevata e riducono il contributo delle polveri in uscita dai sistemi canalizzati.

Le varianti riguardano soprattutto i sistemi di captazione delle emissioni secondarie, su cui si gioca la possibilità di minimizzare le emissioni diffuse. Inoltre le soluzioni che possono essere adottate devono considerare la fattibilità specifica, cioè la possibilità di essere inserite in un impianto esistente, che subisce una continua evoluzione tecnologica e produttiva.

Di seguito si descrivono sinteticamente i diversi sistemi di captazione delle emissioni.

Captazione tramite quarto foro

Con questo sistema le emissioni primarie vengono prelevate direttamente dal volume del forno, tramite un condotto di aspirazione connesso alla volta; in questa sezione dell'impianto deve essere garantita la completa combustione dei gas di scarico (con aria falsa e con bruciatori che operano come postcombustori) ai fini di sfruttare il calore all'interno dell'impianto e di prevenire la formazione di atmosfere esplosive nei componenti dell'impianto collocati a valle. Questo sistema risulta efficace esclusivamente per le fasi di lavoro condotte a forno chiuso.

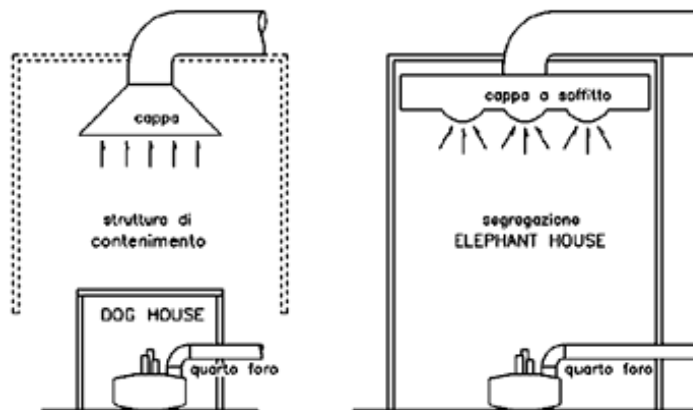
Aspirazione a pressione bilanciata

In integrazione alla captazione tramite quarto foro è stata sviluppata una configurazione che prevede una cappa di aspirazione avvolgente la volta del forno, tale da formare un'adeguata intercapedine. Con questo sistema la depressione in forno può essere diminuita, procedendo a una cattura esterna di parte dei fumi: la portata d'aria richiamata dall'esterno all'interno del forno diminuisce del 20-30%, con evidente risparmio energetico e con il prelievo di fumi meno caldi.

Captazione delle emissioni secondarie tramite cappa posta sopra il forno

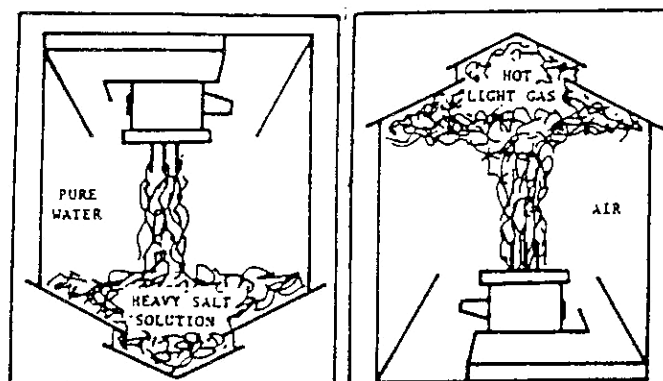
La cappa può essere realizzata con *aspirazione concentrata* (Figura 4.18 a sinistra), prevedendo una configurazione con falde inclinate a 45° per garantire il convogliamento dei fumi a un unico condotto aspirante, oppure con *aspirazione distribuita* (Figura 4.18 a destra) su un'ampia superficie e collettori a prese multiple sul soffitto. Questa tipologia impiantistica è contraddistinta da grossi flussi di aspirazione (6000-12000 Nm³/t capacità forno) e risulta sostanzialmente adottata dall'intero settore negli ultimi dieci anni. Prendendo spunto dalla Figura 4.18 è possibile osservare che la geometria della cappa con aspirazione concentrata deve essere più estesa rispetto a quella indicata nell'immagine a sinistra per essere in grado di convogliare tutti i fumi che si sviluppano, evitando scavalcamento della cappa, fuoriuscita dal capannone e/o accumulo all'interno con successiva ricaduta.

Figura 4.18. Esempi dei sistemi di captazione delle emissioni primarie e secondarie negli EAF
A sinistra: quarto foro per la captazione delle emissioni primarie, cappa con aspirazione concentrata, segregazione parziale e incapsulamento con dog-house. A destra si evidenziano: quarto foro per la captazione delle emissioni primarie, cappa con aspirazione distribuita a soffitto e segregazione con elephant-house.



Ma soprattutto la captazione delle emissioni deve rispettare le leggi della fisica, banalmente esemplificate dalla similitudine idraulica mostrata in Figura 4.19: i liquidi tendono a disporsi sul fondo del contenitore e fuoriescono dai buchi in esso presenti; i fumi caldi tendono a disporsi nella parte alta del contenitore e a fuoriuscire dalle aperture e dalle fessure in esso presenti.

Figura 4.19. Similitudine idraulica e aeraulica



A causa della collocazione elevata della cappa in relazione alla sorgente di emissione, in particolare con significative correnti d'aria nel reparto, parte dei fumi può scavalcare la cappa e fuoriuscire all'esterno attraverso le aperture del fabbricato; la possibilità di evitare fuoriuscite di fumi non può essere garantita dal volume della cappa, insufficiente a trattenere al suo interno il volume di fumi sviluppato, ma da un volume molto più ampio (quanto meno di 20000-40000 m³): la cappa deve quindi essere affiancata e integrata da sistemi di contenimento, destinati a trattenere le emissioni nell'attesa della loro completa estrazione. Si distinguono diverse tipologie, denominate in base al volume più o meno ampio coinvolto.

Incapsulamento del forno (dog-house)

Questa soluzione prevede una struttura collocata a ridosso del forno, realizzata in calcestruzzo e in carpenteria metallica con proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti, integrata da portelloni scorrevoli, per consentire l'ingresso della cesta; la dog-house racchiude la sorgente dei fumi durante la fusione e riduce drasticamente il volume da controllare con l'aspirazione in questa fase.

Durante lo spillaggio e l'affinazione (che prevede insufflazione di ossigeno effettuata tramite lance) la dog-house rimane sostanzialmente adeguata per aspirare le emissioni. Dovendo aprire la sezione superiore per la carica del rottame e per operazioni di rifacimento refrattario, la dog-house perde la capacità di contenere i fumi all'interno della segregazione.

Figura 2.20. Dog-house chiusa, lato platea lavoro. Figura 4.21. Dog-house chiusa, lato spillaggio
Figura 4.22. Dog-house aperta nella sezione inferiore durante affinazione
Figura 4.23. Dog-house aperta nella sezione superiore (fase di carica e di spruzzaggio, come nell'immagine)



Segregazione del reparto (hippo-house, elephant-house)

Le segregazioni intercettano l'area di fusione in misura più o meno ampia: comportano la sigillatura delle aperture della copertura e implicano la necessità di mantenere chiuso il volume controllato, considerando che aperture, comprese quelle nelle posizioni elevate in corrispondenza al transito dei carriponte, penalizzano in misura rilevante la cattura degli inquinanti. Va quindi prevista la completa sigillatura del volume da controllare mediante aspirazione e l'installazione di pareti fisse e portelloni motorizzati, che consentano il

transito dei materiali in ingresso e in uscita dal forno (cesta del rottame, siviera dell'acciaio, eventuale paiola della scoria) e del forno da avviare a rifacimento.

Le criticità della segregazione possono dipendere da problemi dovuti al lay-out e alla necessità di eseguire la movimentazione della cesta sospesa con carroponte scavalcando la segregazione e usufruendo di portelloni mobili (Figura 4.24 e Figura 4.25) oppure da problemi dovuti a incidenti (urti, sovrappressioni del forno, esplosioni durante la carica, ecc.) e a mancata manutenzione (Figura 4.26 e Figura 4.28), che, in questi casi, deve necessariamente essere effettuata in un periodo di sospensione dell'attività produttiva.

Figura 3.24. Segregazione parziale dell'area forno: viene mantenuta la sezione per il transito del carroponte di carica cesta fra area rottame e area forno; si osserva anche il portellone mobile inserito nella parete
Figura 4.25. Vista dall'alto della medesima segregazione



Figura 4.26. Criticità della segregazione dovute a soluzioni impiantistiche e al mantenimento delle condizioni di sigillatura

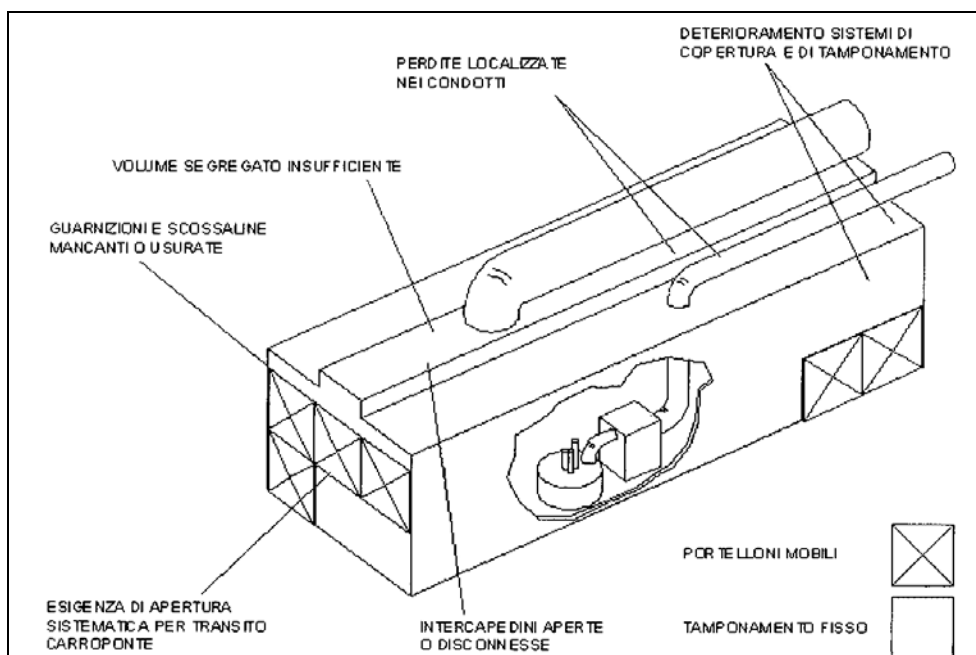


Figura 4.27. Area interna alla segregazione durante la fusione

Figura 4.28. Esempio di segregazione lesionata in seguito a urto del carro ponte e del suo carico



Il peso delle emissioni canalizzate e delle emissioni diffuse

Per potere quantificare in termini più concreti i fattori di impatto e la loro suddivisione nelle emissioni primarie, nelle emissioni secondarie e nelle emissioni diffuse, in corrispondenza a due tipici forni EAF sono stati effettuati rilievi nei condotti a monte e a valle degli impianti di abbattimento, considerando le fasi di lavoro a volta aperta e le fasi a volta chiusa, distinguendo le diverse lavorazioni: carica, fusione, affinazione, spillaggio e ripristino.

Gli impianti considerati sono due forni elettrici, collocati a terra a centro campata, il primo inserito in una struttura di confinamento non integrale, il secondo in un reparto completamente segregato; entrambe le strutture sono dotate di portelloni mobili per consentire il transito dei flussi di rottame, scoria e acciaio.

Le principali caratteristiche dei due impianti sono riportate in Tabella 4.21.

Tabella 4.21. Caratteristiche degli impianti e delle lavorazioni sottoposte a indagine

	Forno parzialmente segregato	Forno totalmente segregato
CARICA		
Numero di ceste	3	2-3
Composizione	lamierino ossidato (20 kg polvere/ t acciaio)	lamierino (15 kg polvere/ t acciaio)
FORNO		
Capacità	80 t	70 t
Produttività	72-98 t/h	62-70 t/h
STRUTTURA		
Superficie interessata	60 m x 22 m	42 m x 17,5 m
Volume controllato	15500 m ³	22000 m ³
Sezione trasversale aperta:		
con portelloni chiusi	20% (*)	0%
con portelloni aperti	50% (*)	10%
SISTEMA CAPTAZIONE		
Portata quarto foro	94000-144000 Nm ³ /h	121000 Nm ³ /h
Portata cappa	218000-442000 Nm ³ /h	202000-441000 Nm ³ /h
FUNZIONAMENTO		
Periodo a volta aperta (<i>power-off</i>)	21%	16%
Periodo a volta chiusa (<i>power-on</i>)	79%	84%

(*) segregazione penalizzata da problemi dovuti al lay-out e dalla necessità di movimentare la cesta sospesa con carro ponte che scavalca la segregazione usufruendo di portelloni mobili (si vedano le precedenti Figura 3.24 e 4.25)

Le concentrazioni misurate ai camini dei due forni indicano un'efficienza di abbattimento del 99,7%: in presenza di impianti di abbattimento in linea con le prestazioni correnti, si evidenzia il modesto carico di polveri immesso nell'ambiente dai flussi di emissioni primarie e secondarie canalizzate e trattate.

Questi valori, confrontati con quelli delle emissioni diffuse stimabili in 1,0 e 0,2 kg/t, incidono per una quota che varia fra il 3 % e il 12 % delle emissioni totali, come riassunto in Tabella 4.22.

Tabella 4.22. Polveri prodotte e fattori di emissione (emissioni canalizzate ed emissioni diffuse)

	Forno parzialmente segregato	Forno totalmente segregato
Polveri prodotte	1700 kg/ h	1000 kg/ h
Obiettivo di emissione IPPC (2% delle <i>polveri prodotte</i>)	0,34 kg polveri/ t acciaio	0,20 kg polveri/ t acciaio
Emissione totale	1,03 kg polveri/ t acciaio	0,22 kg polveri/ t acciaio
- di cui canalizzate	0,03 kg/ t	0,02 kg/ t
- di cui diffuse	1,00 kg/ t	0,20 kg/ t

L'efficacia degli interventi di contenimento

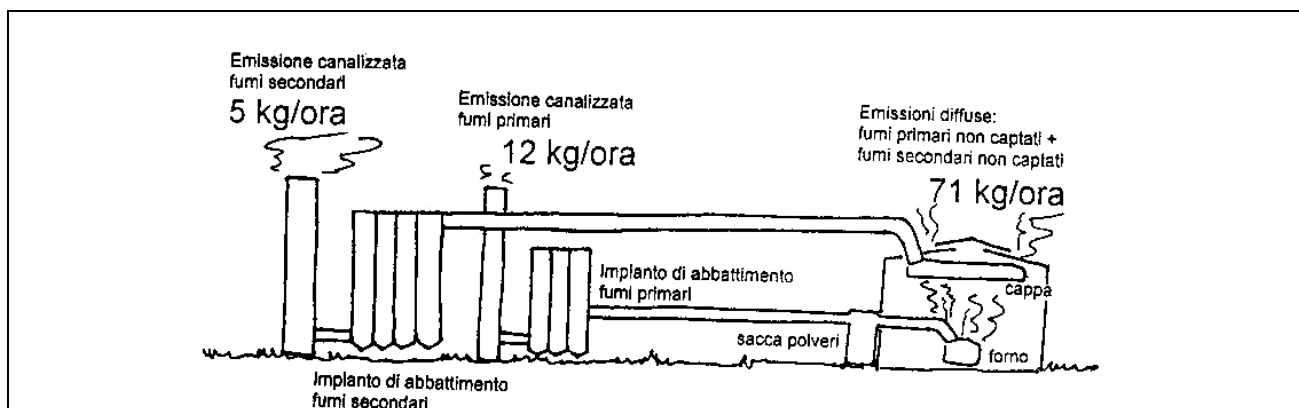
Una ulteriore valutazione è stata condotta con riferimento all'evoluzione produttiva e impiantistica di un forno EAF inserito nella medesima struttura per individuare l'efficacia degli interventi di contenimento dell'impatto, in particolare dell'incremento della portata dell'aspirazione secondaria e del miglioramento dell'efficienza di captazione dei fumi secondari (Tabella 4.23).

Tabella 4.23. Caratteristiche dell'impianto e della lavorazione sottoposta a indagine

	1996	2004	2005
FORNO			
Capacità	80 t	90 t	90 t
Produttività	100 t/h	120 t/h	120 t/h
CARICA			
Ceste	3	2-3	2
Fattore d'impatto	15 kg polveri/ t acciaio		
"Polveri prodotte"	1500 kg/ h	1800 kg/ h	1800 kg/ h
FUNZIONAMENTO			
A volta aperta (<i>power-off</i>)	21%		16%
A volta chiusa (<i>power-on</i>)	79%		84%
STRUTTURA			
Superficie interessata	90 m x 18 m		
Volume controllato	42000 m ³		
SEGREGAZIONE			
	parziale (3 lati)		totale (4 lati)
Sezione trasversale aperta: con portelloni chiusi	15%		0%
con portelloni aperti	23%		8%
SISTEMA CAPTAZIONE			
Portata quarto foro	150000 Nm ³ /h	190000 Nm³/h	300000 Nm³/h
Cappa	aspirazione distribuita solo nella sezione superiore al forno		
Portata secondario	442000 Nm ³ /h	650000 Nm³/h	650000 Nm³/h
Captazione secondario	75 %	80 %	95 %
Efficienza abbattimento	99 %		
EMISSIONI			
Emissione canalizzata	12 + 2 kg/h	15 + 3 kg/h	15 + 3 kg/h
Emissione diffusa	71 kg/h (situazione in Figura 4.29)	68 kg/h	17 kg/h
Emissione totale	85 kg/h 0,85 kg polveri/ t acciaio	86 kg/h 0,72 kg polveri/ t acciaio	35 kg/h 0,29 kg polveri/ t acciaio
Obiettivo IPPC (2% delle <i>polveri prodotte</i>)	0,30 kg polveri/ t acciaio	0,36 kg polveri/ t acciaio	0,36 kg polveri/ t acciaio

Questi risultati indicano la possibilità di perseguire, nei sistemi attualmente in esercizio, risultati in linea con le “migliori tecnologie disponibili” indicate dal IPPC, dove si ritengono accettabili fattori di emissione pari al 2% delle polveri prodotte.

Figura 4.29. Schematizzazione riferita al 1996



Nei diversi casi esaminati si evidenziano le criticità, da riferire sia all'efficienza di captazione delle emissioni secondarie, sia all'efficienza di abbattimento dei sistemi filtranti.

Appare quindi evidente l'importanza del corretto e costante controllo delle *emissioni diffuse* (la quota di emissioni che non viene raccolta da sistemi di aspirazione, trasporto, eventuale raffreddamento e abbattimento e che fuoriesce dalle aperture di servizio e operative dell'involucro).

Considerando le modalità con cui si sviluppano le emissioni diffuse, questo controllo può essere effettuato con la valutazione dei requisiti della struttura, dell'impianto di captazione e delle procedure operative adottate e mantenute e con la misura delle concentrazioni degli inquinanti nell'ambiente circostante.

Sistemi di abbattimento

Per la rimozione degli inquinanti dai volumi captati sono impiegati filtri a maniche, con i quali si raggiungono concentrazioni di polveri negli effluenti inferiori ai 5 mg/Nm^3 . La minimizzazione del contenuto di polveri coincide con la minimizzazione delle emissioni di metalli pesanti.

Le emissioni primarie catturate tramite quarto foro, considerate le temperature dell'effluente che possono raggiungere gli $800-1000^\circ\text{C}$, subiscono un drastico trattamento di raffreddamento, transitando in tubazioni con pareti a circolazione d'acqua, e una prima fase di depolverazione in una camera di calma (*sacca polveri*) che trattiene le polveri grossolane. Il flusso può poi essere sottoposto ad un ulteriore scambio termico aria-aria. Le emissioni raccolte con il sistema secondario sono caratterizzate da temperature non critiche (fino a $40-50^\circ\text{C}$) e da contenuti di polveri modesti; normalmente vengono utilizzate per miscelare le emissioni primarie, in uscita dalla prima depolverazione gravimetrica, e avviare al trattamento flussi con caratteristiche più omogenee e carichi termici e inquinanti bilanciati.

Per minimizzare l'emissione dei composti organoclorurati, in particolare di PCDD/F e PCB, si ricorre ad una postcombustione all'interno del forno o nella prima sezione del condotto di aspirazione, cui segue un rapido raffreddamento al fine di evitare le condizioni per la sintesi de-novo. Quando venga applicato il preriscaldamento del rottame, è necessario porre particolare attenzione al possibile incremento di emissioni di inquinanti organici durante questa fase. Le diossine comunque si adsorbono in misura rilevante sul particolato e quindi costituiscono in primo luogo un problema associato ai rifiuti solidi raccolti ai filtri.

Prevenzione e gestione dei malfunzionamenti

Va tenuta presente anche la criticità derivante da possibili malfunzionamenti degli impianti di abbattimento, in concomitanza dei quali si evidenzia, anche se per periodi relativamente di breve durata, il contributo rilevante degli inquinanti che vengono liberati in atmosfera dalle emissioni canalizzate.

In questi casi assumono quindi estrema importanza un'elevata affidabilità del sistema di abbattimento, da garantire anche tramite un dimensionamento che consenta di mantenere eventuali sezioni in ausilio, e una

manutenzione preventiva sviluppata a regola d'arte e che si basi sui dati che emergono da una specifica analisi dei guasti.

A conclusione dell'argomento si presenta una sintesi dei numerosi parametri che possono modificare la produzione di emissioni e dei parametri che possono penalizzare le soluzioni tecnologiche di contenimento.

Tecnologie impiantistiche e pratiche operative che influiscono sulle emissioni

- corretto studio del lay-out: trasferimento del rottame mediante carrelli o nastri
- preparazione e pulizia della carica metallica: riduzione volume fumi
- alimentazione della carica preriscaldata: riduce il volume dei fumi
- caricamento in continuo: marcia sigillata e regolare del forno
- apporti energetici non elettrici: incremento del volume dei fumi
- tecniche di post combustione: parziale mitigazione dell'effetto precedente
- incremento della potenza elettrica applicata: aumento del volume istantaneo dei fumi
- tempi minimi di interruzione della corrente nei periodi di carica: aumento dei volumi istantanei dei fumi
- cariche voluminose, cariche di peso rilevante, elevata carburazione e piede liquido abbondante: aumento del volume dei fumi emessi a volta aperta
- abbondanti aggiunte di disossidanti: intense emissioni in fase di spillaggio
- riciclo delle polveri abbattute: significativo incremento dei fattori di emissione

Parametri che possono inficiare il funzionamento dell'impianto di captazione secondario

- volume controllato dal sistema di captazione
- intercapedini aperte, guarnizioni e scossaline mancanti o usurate
- deterioramento e disconnessione in conseguenza a eventi incidentali (collisioni, esplosioni)
- sezioni insufficienti e perdite di carico localizzate nel condotto di trasporto
- esigenza di aperture sistematiche in posizioni elevate per il transito dei carriponte.

Infine si vuole sottolineare che gli interventi impiantistici adottati per il contenimento delle emissioni atmosferiche risultano congrui al contenimento anche delle emissioni acustiche che derivano dal forno, aspetto che non è stato trattato in modo specifico all'interno di questo rapporto.

Risulta evidente che alcune soluzioni (tipicamente la *dog-house*) tutelano in misura maggiore anche gli addetti esposti in area forno, rispetto a soluzioni con segregazioni più ampie.

4.7. Valorizzazione rifiuti solidi

Riciclo in forno refrattari da forno e da paniera

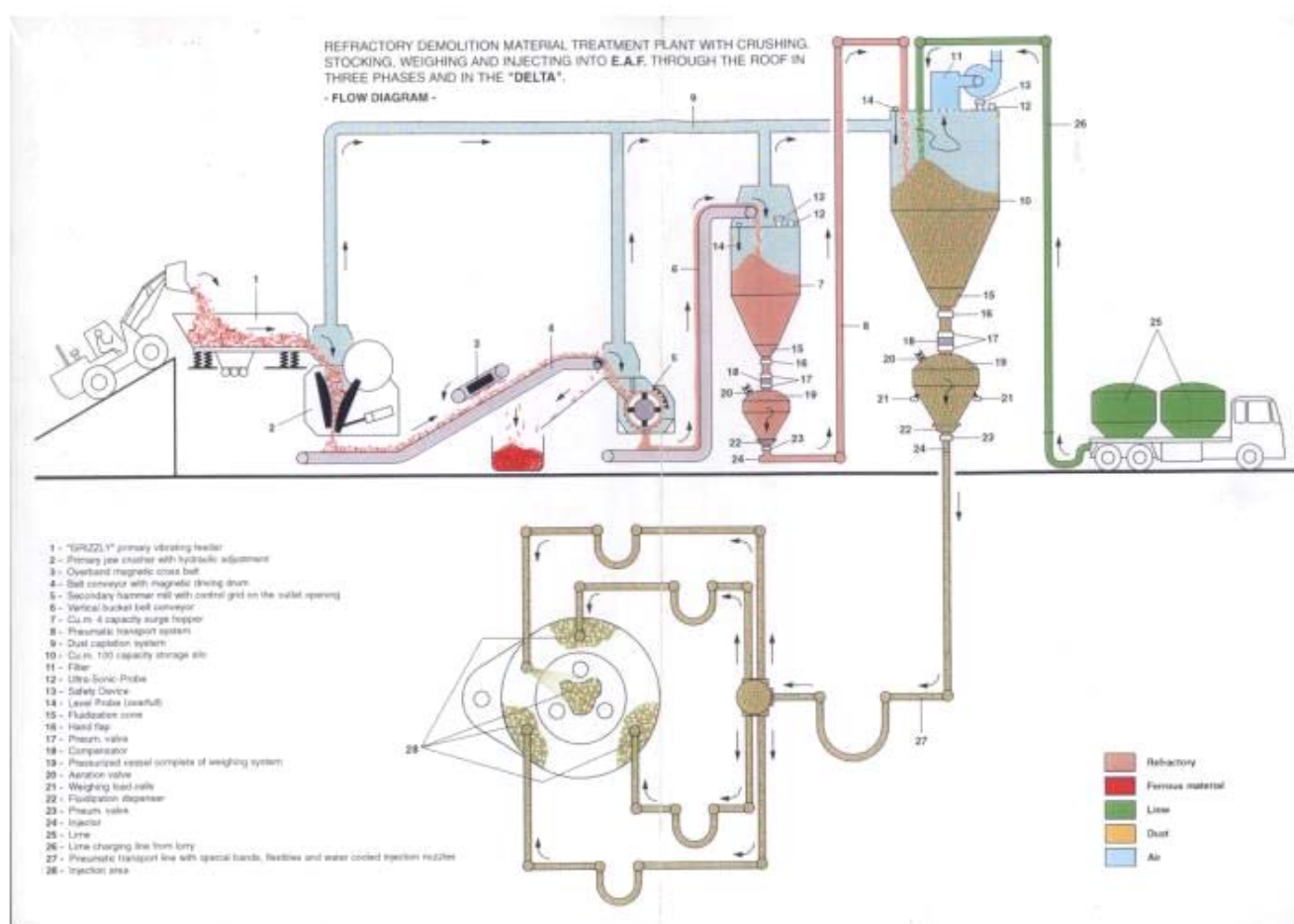
I refrattari che risultano dalla demolizione del rivestimento del forno e della siviera costituiscono un rifiuto solido, quantificabile in 30-50 kg/t acciaio prodotto.

Analogamente la scoria siviera viene svuotata al termine della colata, movimentata, raffreddata con acqua e successivamente inviata allo stoccaggio con la scoria del forno.

Trattamento dei materiali derivante dalla demolizione refrattaria

L'impianto indicato in Figura 4.30 prevede successive fasi di vagliatura e frantumazione destinate a rendere disponibili due flussi di riciclo: una frazione ferrosa e una frazione ricca in calce destinata a essere insufflata in forno elettrico.

Figura 4.30. Flusso dei materiali derivanti dalla demolizione refrattaria, loro trattamento e riciclo



Trattamento e insufflazione della scoria siviera

In questo caso l'impianto è destinato alla valorizzazione principalmente della frazione solida che deriva dalla fase di scorifica della siviera, insieme a più limitate frazioni di refrattari derivanti da demolizione siviera e di recuperi di materiali fini che derivano dalla pulizia dei nastri trasportatori: questi rifiuti sono quantificabili in 20 kg/ t acciaio.

Questo trattamento consente quindi la contestuale riduzione del rifiuto solido che non viene smaltito e, tramite il riciclo della scoria con composizione basica (principalmente CaO e MgO), consente di ridurre di una quota significativa (-30%) il consumo di calce vergine.

L'impianto è composto da due sezioni:
preparazione dei materiali fini;
impianto di insufflazione nel forno.

Nell'impianto di preparazione la scoria viene raccolta e raffreddata al coperto su apposite griglie posizionate in scomparti chiusi e aspirati; il materiale sfiorito in forma polverulenta viene raccolto e convogliato alle successive fasi di deferrizzazione e vagliatura. Le croste metalliche vengono espulse e riportate a rifusione. La frazione fine (< 10 mm) che deriva da vagliatura viene trasportata pneumaticamente a un silo di stoccaggio, che costituisce il polmone di alimentazione del sistema di iniezione tramite lance, alla porta o inserite nel mantello refrattario del forno che iniettano il materiale sotto scoria. Questo impianto è complementare e si integra al sistema di adduzione della calce.

Figura 4.31. Flusso dei materiali derivanti dalla scoria siviera e da refrattari, loro trattamento e riciclo

