

## Utilizzo di combustibili alternativi nei forni da cemento. Influenza sulle emissioni atmosferiche: l'esperienza italiana

Marco Del Borghi, Carlo Strazza, Adriana Del Borghi

CE.Si.S.P. Centro interuniversitario per lo Sviluppo della Sostenibilità dei Prodotti,  
Università di Genova - Via all'Opera Pia - 16145 Genova  
Tel. +39 010 353.2909; Fax +39 010 353.2586; e-mail: marco.delborghi@cesisp.unige.it

### RIASSUNTO

*Vengono esaminati i risultati di un anno (2006) di rilevazioni di emissioni atmosferiche nelle varie cementerie italiane, ed in particolare su 73 forni suddivisi per classi produttive, tipologia di forno ed utilizzo di combustibili alternativi per tipologia e quantità. I parametri emissivi considerati sono stati: polveri totali, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, TOC, HCl, HF, metalli, IPA e PCDD/F. È stato effettuato un confronto tra i risultati delle concentrazioni medie rilevate per i vari inquinanti, separatamente per gli impianti che utilizzano solo combustibili convenzionali e quelli che utilizzano anche combustibili alternativi.*

*I risultati ottenuti dimostrano che l'utilizzo di combustibili alternativi da parte dei 22 forni che li impiegano non ha alcuna influenza sui valori emissivi delle sostanze inquinanti esaminate; anzi, in taluni casi tali emissioni risultano inferiori ai limiti consentiti per legge per l'utilizzo di combustibili convenzionali. Un confronto tra i risultati ottenuti sui forni italiani e quelli pubblicati da Cembureau su 200 forni europei fornisce una conferma che le prestazioni emissive dei forni da cemento risultano indipendenti dall'impiego di combustibili alternativi nelle percentuali usualmente impiegate. Nello studio sono stati inoltre evidenziati i vantaggi sul bilancio ambientale globale per l'utilizzo di CDR quale combustibile alternativo.*

### SUMMARY

*This study investigates the results of a year (2006) of air emissions gathering in the various Italian cement plants, and, in particular, on 73 kilns subdivided by production class, kiln type and alternative fuels use for type and quantity. The emission parameters considered have been: total dust, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, TOC, HCl, HF, metals, PAH and PCDD/F. The work has involved a comparison between the results of the average concentrations detected for the various pollutants, separately for the plants using only traditional fuels and using also alternative fuels.*

*The obtained results show that the use of alternative fuels by the 22 kilns investigated has not any influence on the emission values of the pollutants examined; on the contrary, in certain cases these emissions result less than the limits legally allowed for the use of traditional fuels. A comparison between the results obtained from the Italian kilns and those published by Cembureau from 200 European kilns, confirms that the emission performances of cement kilns appear independent of the use of alternative fuels with the percentages usually employed. This study also highlights the benefits on the global environmental balance for the use of RDF as alternative fuel.*

### 1. INTRODUZIONE

Quando si sceglie la migliore destinazione finale dei rifiuti sembra che la valorizzazione energetica degli stessi sia la migliore tra le varie scelte, sia a causa dell'attuale crisi energetica ma anche e soprattutto per la riduzione delle emissioni atmosferiche globali [1]. La legislazione italiana mette in evidenza tale aspetto sottolineando che il miglior recupero dei

rifiuti anche dal punto di vista ambientale è proprio la loro valorizzazione energetica [2]. L'impiego dei rifiuti a fini energetici può avvenire in impianti appositamente costruiti con produzione di energia termica ed elettrica oppure in impianti già esistenti in sostituzione dei combustibili tradizionali. Tra questi sembrano particolarmente adatti per le loro caratteristiche i forni per la produzione di clinker [1,3,4,5,6,7,8]. Essi sono infatti caratterizzati da:

- alta temperatura,
- ambiente alcalino,
- atmosfera ossidante,
- assenza di rifiuti,
- ampie superfici di scambio,
- buona miscelazione tra gas e prodotti,
- tempo di permanenza sufficiente.

Altri vantaggi dei forni da cemento sono i seguenti:

- il trattamento dei rifiuti non richiede sorgenti addizionali di calore;
- è molto meno costoso adattare un forno da cemento al trattamento dei rifiuti piuttosto che costruire un nuovo impianto di incenerimento;
- i processi di cottura del clinker rispettano tutte le specifiche della direttiva EU 92/C130/01 riguardante l'incenerimento di rifiuti pericolosi;

Un diagramma di temperatura di gas e materia mostra i tempi richiesti per il trattamento dei rifiuti (Figura 1).

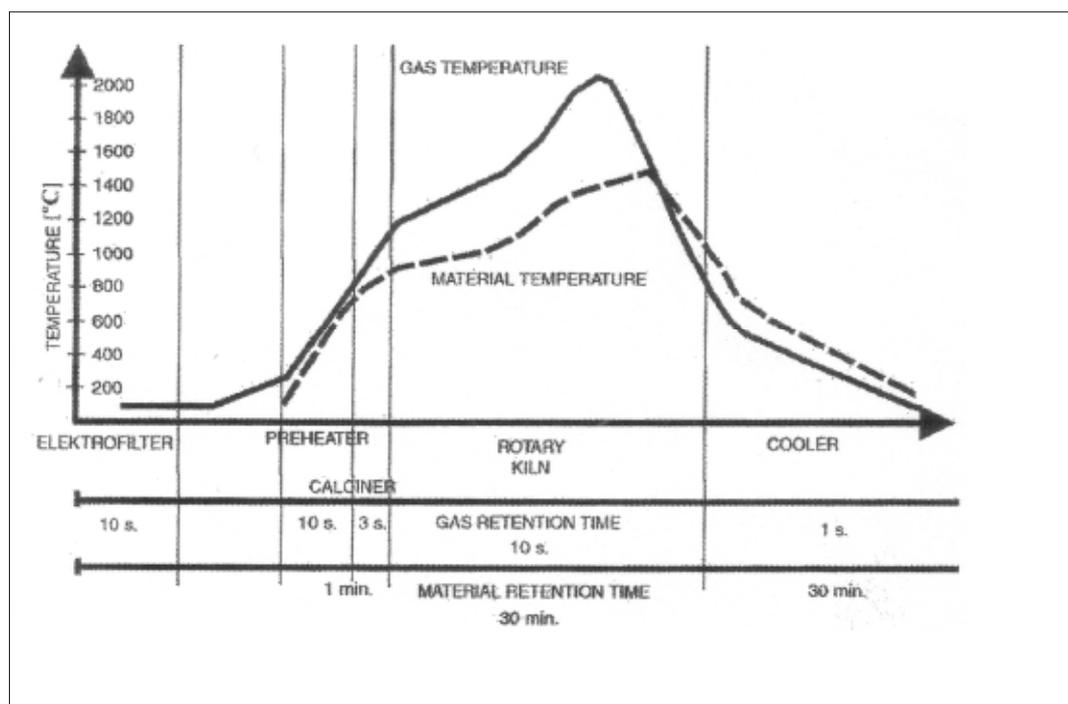


Figura 1  
Tempi richiesti per  
il trattamento dei  
rifiuti [4]

L'impiego dei combustibili derivati dai rifiuti nella produzione del clinker ha pure alcune limitazioni [4,6,9]:

- Limitazioni tecnologiche correlate al volume del combustibile derivato dai rifiuti che può essere alimentato in una sola volta nel forno. Il volume del rifiuto dipende infatti dalla superficie di incenerimento e quindi, dalla lunghezza del forno e dalla sua capacità.
- L'uso del rifiuto non deve avere effetti negativi sul funzionamento del forno o sulla qualità del clinker.
- Limitazioni legate alla sicurezza ambientale. I combustibili derivati da rifiuti dovrebbero essere impiegati in accordo a severe regole, così da assicurare che i prodotti dell'in-

cenerimento non abbiano un impatto negativo sul processo di produzione del clinker, così da non influenzare la qualità del cemento e causare l'inquinamento dei gas emessi in atmosfera.

La legislazione italiana è molto precisa riguardo all'utilizzo dei rifiuti combustibili negli impianti di produzione del cemento. Infatti, fermo restando le caratteristiche del prodotto cemento, vengono fissati limiti ben precisi nella composizione dei rifiuti combustibili sostitutivi, nonché sulle emissioni atmosferiche dei forni da cemento che li utilizzano [2]. Con riferimento alle limitazioni tecnologiche si può affermare che il problema della volumetria dei rifiuti è collegato ad un valore inferiore del potere calorifico del rifiuto stesso, ad esempio nel caso di RDF, il che porta ad un incremento del combustibile tradizionale o ad un aumento di RDF. In quest'ultimo caso deve essere ridotta l'aria secondaria, con conseguente riduzione di NO<sub>x</sub>. La stessa composizione dell'RDF con minore concentrazione di N conduce ad una minore produzione di NO<sub>x</sub>. La matrice alcalina del clinker rende meno problematica la presenza di S e Cl nei rifiuti, almeno per quanto concerne le emissioni atmosferiche. Per quanto riguarda la composizione del clinker, essa è influenzata invece dalla presenza di cloro e di alcuni metalli che possono essere lisciviati dal cemento una volta in opera [10]. Gli impianti di produzione del cemento hanno una notevole richiesta energetica dell'ordine di 3.000-5.000 kJ/kg di clinker prodotto. In Europa l'industria cementiera è una grande consumatrice di combustibili secondari, con più di 100 forni che coinceneriscono diverse tipologie di materiali (tabella 1).

Combustibili secondari	AT	BE	DK	FI	FR	DE	GR	IR	IT	LU	NL	PO	ES	SE	UK	Totale
Pneumatici	30	25		0	200 <sup>(f)</sup>	240				10	—	6,5	13		25	≈ 550
Oli di scarto	30	4 <sup>(g)</sup>			520 <sup>(f)</sup>	180							0	6	120	≈ 1000
Solventi	7,5					25					10					≈ 50
Fanghi		15	7,5								30					≈ 50
Plastica/carta	25	10				290										≈ 350
Ferme di ossa/grasso animale	10	220			100				( <sup>h</sup> )							≈ 350
Legno			>0,5			80							2+3 <sup>(h)</sup>			≈ 100
Altro	40 <sup>(b)</sup>	4 <sup>(g)</sup>	22 <sup>(d)</sup>			115					>30 <sup>(e)</sup>		10		4 <sup>(f)</sup>	≈ 200
<b>Totale</b>	<b>142,5</b>	<b>NT</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>820</b>	<b>930</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>(NT)</b>	<b>(NT)</b>	<b>&gt;45</b>	<b>6,5</b>	<b>39</b>	<b>6</b>	<b>(&gt;55)</b>	<b>≈ 2600</b>
Percentuale di sostituzione (%)	26	40	7		24	23			1,5	5-10			1,2	13		

Note:  
a) I dati tra parentesi sono riferiti a quantità riportate incomplete  
b) Residui di fibre di carta  
c) Principalmente combustibile ricostituito miscelato con segatura o altro materiale assorbente  
d) Compresi residui di emulsificanti, pellet di tappeti e tessuti  
e) Compresi scarti tessili e rifiuti non pericolosi non specificati  
f) Stime  
g) Compresi liquami di lavorazione della carta e gomma di scarto  
h) Segatura  
i) "Profuel" derivato da una varietà di fonti compresi carta, plastica e scarti di tappeti  
j) Quantità non riscuotibili

La strategia dell'industria cementiera è quella di incrementare l'impiego di combustibili alternativi per ridurre il costo energetico che è circa il 30-40% dei costi di produzione del cemento, nonché quello di contribuire ad uno sviluppo sostenibile.

Questo è importante anche dal punto di vista delle emissioni di CO<sub>2</sub> e la conseguente possibilità di produrre crediti di emissione di CO<sub>2</sub>. È per questo che in futuro l'attenzione sarà sempre più frequentemente rivolta a combustibili basati su biomasse inclusivi di rifiuti di carta e fanghi di depurazione.

La totale sostituzione energetica dei combustibili secondari nell'industria del cemento mediamente in Europa si aggira intorno al 10%, confrontato con il 39% di petcoke, 42% di carbone e 3% di olio combustibile e gas.

Differenti nazioni hanno differenti percentuali di sostituzione termica: dal 72% in Olanda, al 2% in Spagna, 30% Germania, 5% Italia e 5-10% Inghilterra.

Tabella 1  
Quantità di scarti industriali coinceneriti nell'industria cementiera in Europa (\*10<sup>-3</sup> t/anno) <sup>a)</sup> [5]

## 2. RACCOLTA DEI DATI

Lo studio è basato su una ricognizione effettuata da AITEC sulle prestazioni emissive del settore per una valutazione preliminare della loro dipendenza dall'utilizzo di combustibili

alternativi. La raccolta di dati, effettuata presso le Aziende associate attraverso un questionario relativo all'anno di esercizio 2006, ha riguardato:

- tipologia di forno
- classe produttiva del forno
- quantità di combustibili alternativi utilizzati
- % di sostituzione in calore
- Parametri emissivi: polveri, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, TOC, HCl, HF, metalli, IPA, e PCDD/PCDF

Per quanto riguarda i forni in esercizio e le quantità di combustibili alternativi utilizzati, i dati raccolti sono sintetizzati nelle tabelle 2, 3, 4.

<b>Produzione clinker (t/anno)</b>	<b>n° forni</b>	<b>% forni</b>
< 100.000 t	1	1 %
100.000-300.000 t	23	32 %
300.000-600.000 t	25	34 %
600.000-1.000.000 t	14	20 %
> 1.000.000 t	10	13 %
<b>Totale</b>	<b>73</b>	<b>100 %</b>

Tabella 2  
Classi produttive  
dei forni

<b>Tipologia combustibile</b>	<b>Forno con griglia Lepol</b>	<b>Forno lungo a via secca e semi-secca</b>	<b>Forno a via secca con PRS e forno a via secca con PRS e calcinatore</b>	<b>Totali</b>
<b>Solo convenzionali</b>	14	8	29	<b>51</b>
<b>Convenzionali e alternativi</b>	4	3	15	<b>22</b>
	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>44</b>	<b>73</b>

Tabella 3 - Tipologie di forno e utilizzo di combustibili alternativi

<b>Combustibile alternativo</b>	<b>Quantità (t/anno)</b>
CDR	35.505
CDR-Q	37.535
farine e grassi animali	55.973
plastiche	26.347
pneumatici	48.615
oli/emulsioni	42.012
solventi	10.295
altro (fanghi, rifiuti liquidi, etc)	11.100
<b>totale</b>	<b>267.382</b>
<b>% sostituzione in calore media sui 22 forni che utilizzano combustibili alternativi</b>	<b>11,60</b> (min 0,2 % - max 44 %)
<b>% sostituzione in calore media sul totale dei 73 forni</b>	<b>3,50</b>

Tabella 4 - Quantità di combustibili alternativi utilizzati, suddivisi per tipologia

### 3. EMISSIONI

Le emissioni dei forni da cemento originano dalle reazioni fisico-chimiche delle materie prime e dalla combustione dei combustibili. I principali effluenti gassosi emessi dal forno sono l'azoto dall'aria di combustione (45-66% in volume), il biossido di carbonio (11-29%) dalla calcinazione e dalla combustione, l'acqua dal processo di combustione e dalle materie prime (10-39%) e dall'ossigeno in eccesso (4-12%).

Gli effluenti gassosi "inquinanti", ovvero ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>),

monossido di carbonio (CO), acidi alogenidrici (HCl e HF) e composti organici e inorganici volatili, costituiscono meno dello 0,1 % in volume. Gli effluenti contengono altresì tracce di polveri e con esse elementi organici e inorganici allo stato solido.

La disponibilità di dati relativi alle emissioni di inquinanti è variabile in funzione del regime autorizzativo cui l'impianto è sottoposto e alle eventuali iniziative volontarie di monitoraggio.

Le modalità di monitoraggio degli impianti che utilizzano solo combustibili convenzionali sono fissate dalle specifiche autorizzazioni ex DPR 203/88 o D.Lgs. 152/06 se non è già stata rilasciata l'Autorizzazione Integrata Ambientale ex D.Lgs. 59/05.

Le prescrizioni possono contenere l'obbligo di monitoraggio in continuo dei principali parametri (polveri, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>), più frequentemente limitandosi a misure discontinue.

Tutti gli impianti che utilizzano combustibili alternativi, a partire dal 1 marzo 2006 si sono adeguati alle modalità di monitoraggio previste dal D.Lgs.133/05 sul co-incenerimento che prevede monitoraggio in continuo per SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, polveri totali, CO, TOC, HCl e HF e monitoraggio quadrimestrale per metalli, IPA e PCDD/F. È prevista la possibilità di non misurare HF in continuo se il valore limite per HCl è sempre rispettato: in questo caso HF è monitorato con cadenza quadrimestrale.

L'Autorizzazione Integrata Ambientale eventualmente rilasciata può integrare alcune prescrizioni specifiche.

I grafici inclusi riportano i valori emissivi raccolti con le seguenti modalità:

- i valori che derivano da monitoraggio in continuo sono riportati come media annuale, con elaborazioni statistiche
- i valori che derivano da misure discontinue sono riportati come media delle rilevazioni effettuate nell'anno, con elaborazioni statistiche

Tutti i valori forniti sono riferiti a condizioni normalizzate, agli effluenti gassosi secchi e ad un tenore di ossigeno del 10%.

### 3.1 Biossido di zolfo - SO<sub>2</sub>

Gli ossidi di zolfo sono generati dallo zolfo e dai suoi composti presenti nelle materie prime e nei combustibili utilizzati in forma ossidabile. A causa della natura alcalina dei materiali usati nel processo e delle condizioni ossidanti presenti, una larga porzione, specialmente quella legata ai combustibili, viene captata dal processo e lascia il sistema. La porzione restante viene emessa sotto forma di SO<sub>2</sub>. Valori significativi di SO<sub>2</sub> sono quindi da attendersi in caso di impiego di materie prime contenenti composti con zolfo ossidabile (ad es. pirrite) o in impianti nei quali la captazione dello zolfo da combustibile è meno efficace.

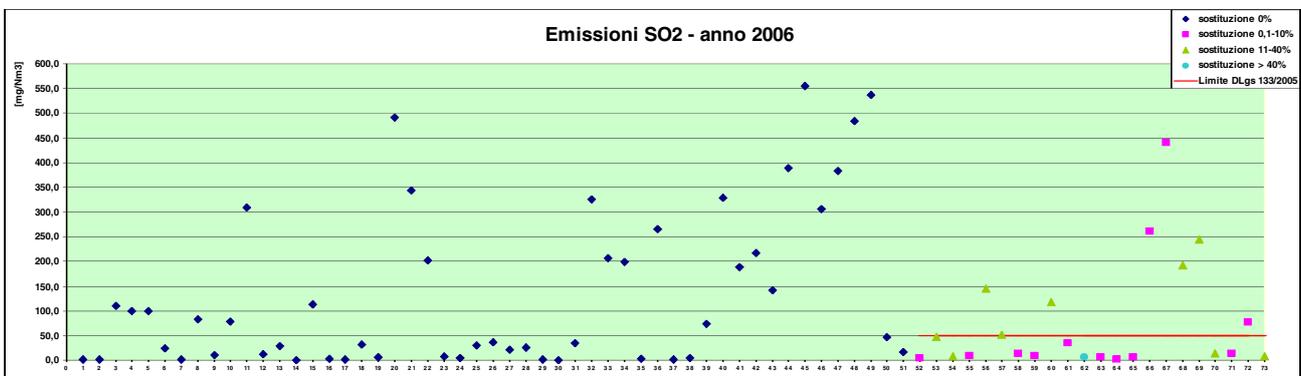


Figura 2 - Emissioni SO<sub>2</sub> - Anno 2006 (valori riferiti alla totalità dei 73 forni censiti)

### 3.2 Ossidi di azoto - NO<sub>x</sub>

Tutti i processi che avvengono ad elevate temperature generano ossidi di azoto: essi si producono durante il processo di combustione o per la combinazione dell'azoto del combustibile con l'ossigeno presente nella fiamma o per la combinazione dell'azoto atmosferico con l'ossigeno dell'aria di combustione. L'ultimo, denominato ossido di azoto "termico",

è il principale meccanismo di formazione di ossidi di azoto nel forno da cemento, indipendentemente dal tipo di combustibile utilizzato, per il solo effetto delle elevate temperature necessarie alla cottura del clinker.

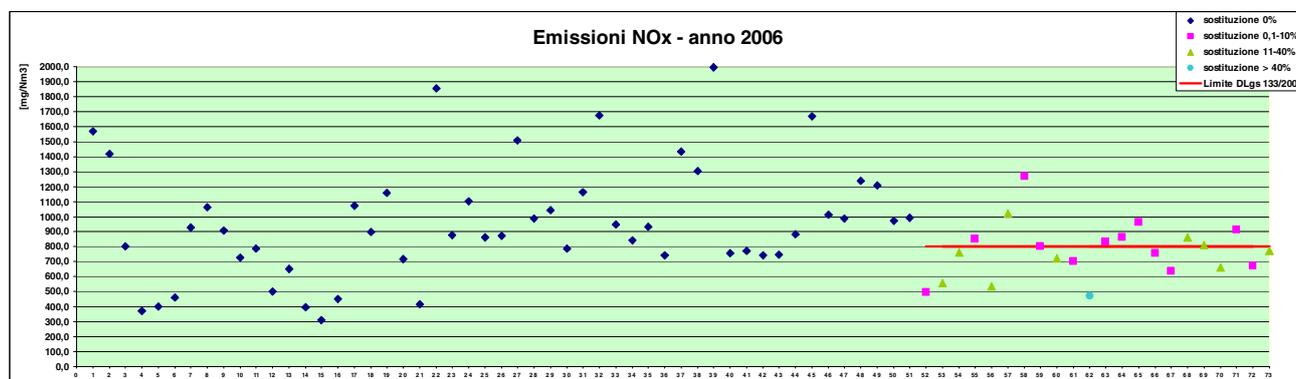


Figura 3 - Emissioni NO<sub>x</sub> - Anno 2006 (valori riferiti alla totalità dei 73 forni censiti)

### 3.3 Polveri totali

Nel processo di produzione del cemento, le fasi di preparazione delle materie prime, dei combustibili, della cottura del clinker e della macinazione sono le principali fonti delle emissioni di polvere. Le emissioni di polvere dei forni di cottura del clinker dipendono esclusivamente dalla qualità del sistema di abbattimento utilizzato, sia filtro elettrostatico che a maniche di tessuto, e dalla gestione operativa dello stesso.

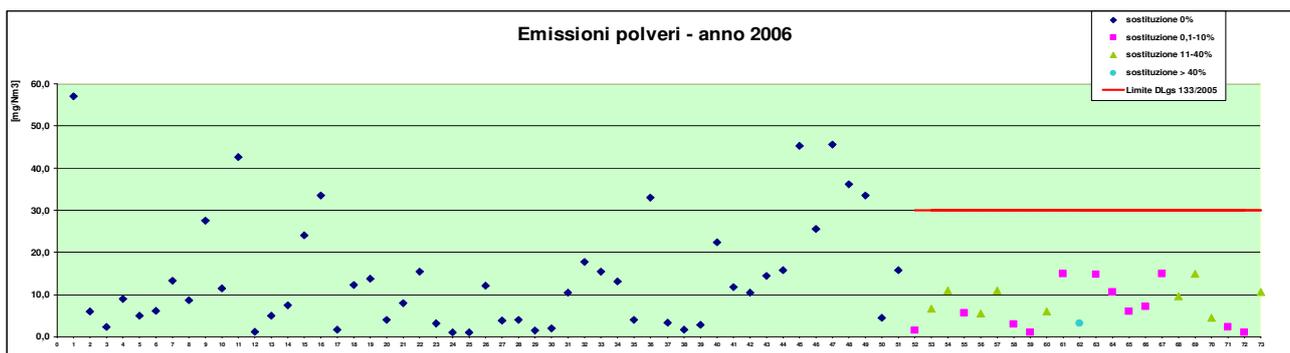


Figura 4 - Emissioni polveri - Anno 2006 (valori riferiti alla totalità dei 73 forni censiti)

### 3.4 Composti organici totali - TOC

La temperatura della fiamma (1800-2000°C) e i tempi di residenza prolungati rendono trascurabile il livello di carbonio organico dovuto all'incompleta ossidazione dei combustibili, assicurando una distruzione estremamente efficace dei composti organici. L'emissione di composti organici volatili può verificarsi nelle prime fasi del processo (preriscaldamento, calcinazione) quando i composti organici eventualmente presenti nelle materie prime possono essere volatilizzati.

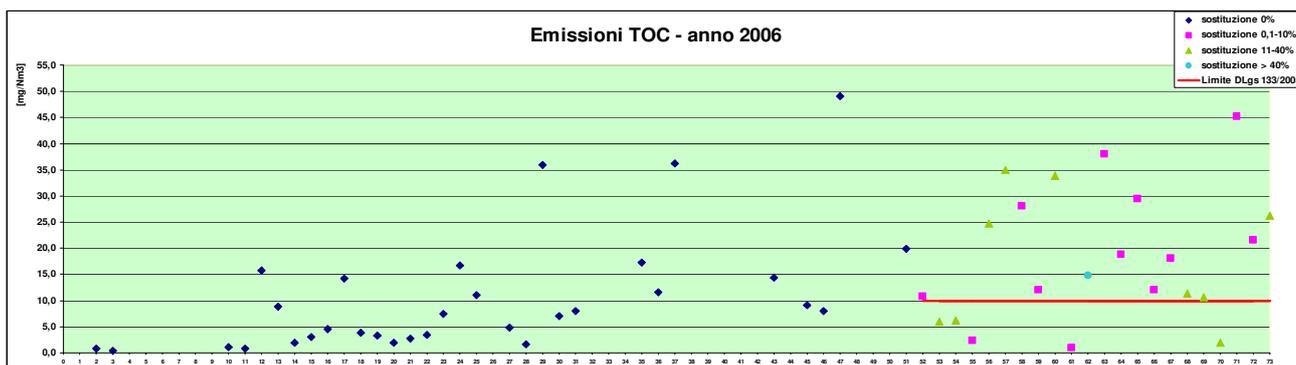


Figura 5 - Emissioni TOC - Anno 2006 (valori riferiti a 53 forni su 73)

### 3.5 Acido cloridrico - HCl

I cloruri sono costituenti addizionali minori presenti nella materie prime e nei combustibili. Essi vengono rilasciati in fase di combustione o di preriscaldamento della farina e reagiscono primariamente con gli alcali provenienti dalla farina stessa per formare cloruri alcalini. Questi composti – inizialmente sotto forma di vapore – condensano e successivamente rientrano nel sistema forno ed evaporano di nuovo.

Questo ciclo può causare la formazione di incrostazioni molto dannose per il processo. L'installazione di un by-pass all'entrata del forno consente di ridurre questo fenomeno, evitando malfunzionamenti. I composti gassosi inorganici del cloro vengono emessi in quantità minimali se non addirittura nulle.

Per l'atmosfera alcalina dei gas del forno, la formazione di HCl nei gas esausti potrebbe non avere luogo.

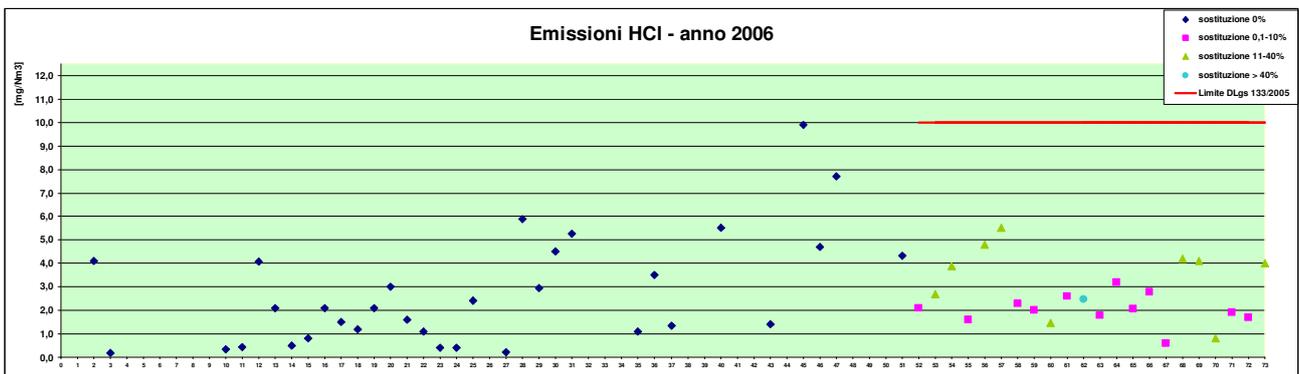


Figura 6 - Emissioni HCl -Anno 2006 (valori riferiti a 54 forni su 73)

### 3.6 Acido fluoridrico - HF

Almeno il 90-95% dell'esigua quantità di fluoro presente nei forni è legata nel clinker. La quota rimanente è presente nelle polveri sotto forma di fluoruro di calcio, che risulta stabile nelle condizioni del processo di cottura. A causa del notevole eccesso di calcio, l'emissione dei composti gassosi del fluoro e dell'acido fluoridrico in particolare è virtualmente esclusa.

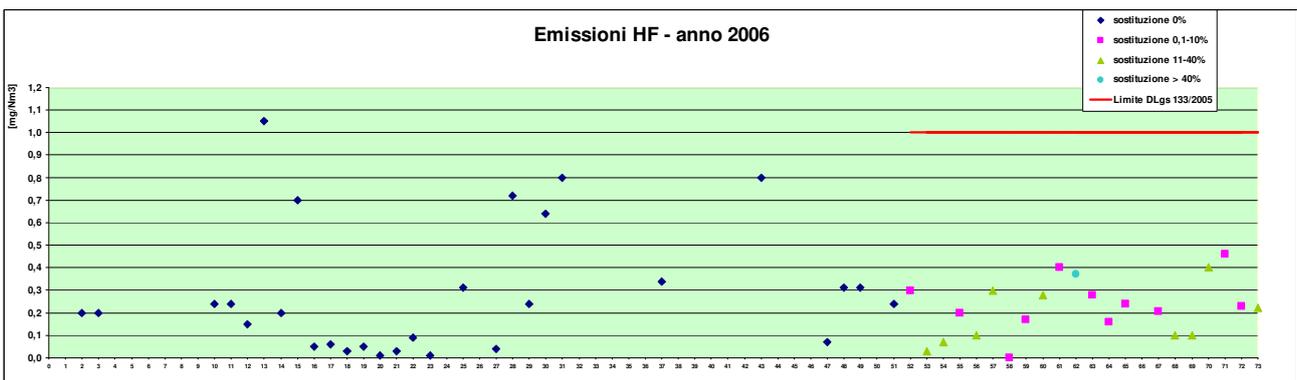


Figura 7 - Emissioni HF -Anno 2006 (valori riferiti a 49 forni su 73)

### 3.7 Mercurio - Hg

I metalli relativamente volatili, quale ad esempio il mercurio, non vengono trattenuti durante il processo. Il mercurio ed i suoi composti passano per la maggior parte attraverso il forno ed il preriscaldatore; essi sono solo parzialmente assorbiti dalla polvere gassosa, in funzione della temperatura del gas di scarico.

Per controllare le emissioni di mercurio, può quindi essere necessario limitare l'immissione di mercurio nel sistema forno. Pertanto è opportuno che i combustibili alternativi vengano sottoposti ad una verifica prima di essere utilizzati.

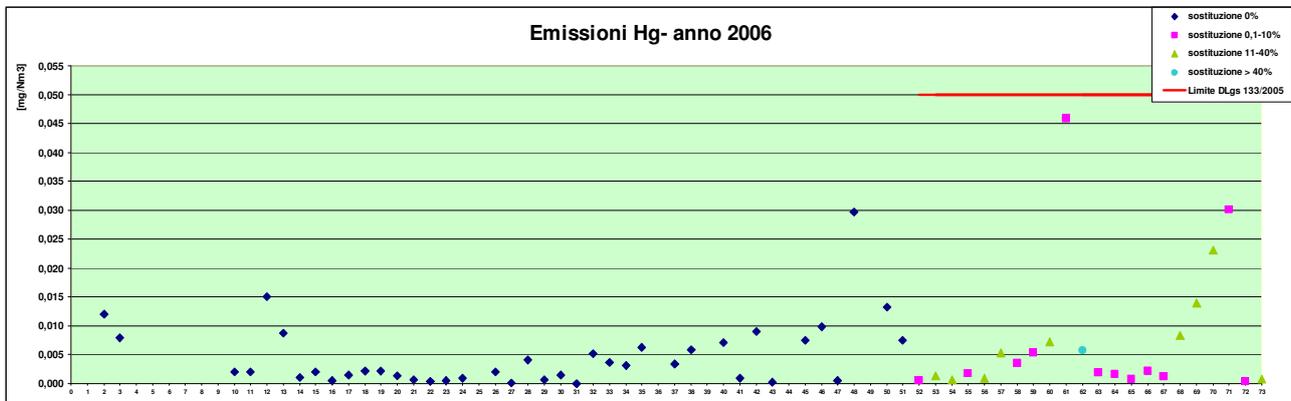


Figura 8 - Emissioni Hg - Anno 2006 (valori riferiti a 61 forni su 73)

### 3.8 Cadmio e tallio - Cd+Tl

I metalli relativamente volatili, quale ad es. il tallio, non vengono trattenuti durante il processo. I composti del tallio (ad es. TICl) condensano tra i 450 ed i 550 °C.

Il cadmio invece, elemento scarsamente volatile così come il piombo, condensa come solfati o cloruri a temperature tra i 700 ed i 900 °C.

Il fenomeno si verifica in circolazione interna bloccando quasi completamente nel clinker i metalli e i loro composti.

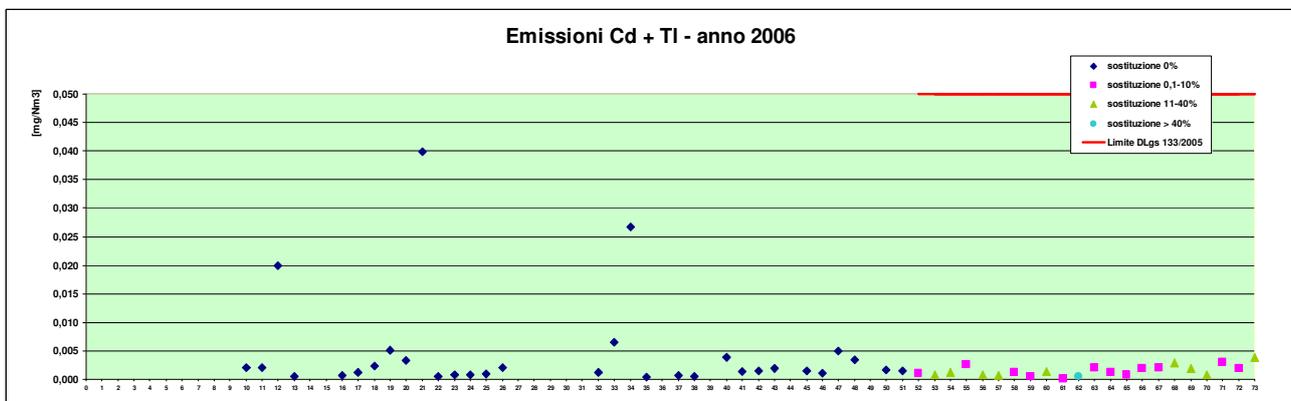


Figura 9 - Emissioni Cd + Tl - Anno 2006 (valori riferiti a 53 forni su 73)

### 3.9 Metalli pesanti (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)

Piccole quantità di metalli pesanti sono presenti sia nelle materie prime sia nei combustibili. Il loro potenziale di rilascio in atmosfera è legato a meccanismi molto complessi, ma in generale una porzione molto alta (<99,9%) rimane o nella matrice del clinker o nella polvere (CKD) come composto non rilasciabile.

Alcuni dei metalli a più basso punto di ebollizione (fusione) possono formare dei semplici sali e volatilizzano più facilmente piuttosto che i composti più complessi e sono quindi predominanti nella polvere, la quale è per la maggior parte raccolta da un collettore e normalmente reintrodotta nel sistema.

Gli elementi non volatili (ad es. As, Cr, Co, Ni, V, Zn) vengono completamente assorbiti dal clinker e scaricati con esso e quindi non circolano nel sistema forno.

Nel gas esausto, le uniche emissioni sono con la polvere e dipendono solo dall'ingresso e dall'efficacia della segregazione della polvere.

Di conseguenza, le emissioni sono generalmente molto basse.

Gli elementi scarsamente volatili come il piombo ed il cadmio prima richiamato, con-

densano come solfati o cloruri a temperature tra i 700 ed i 900 °C ed il fenomeno si verifica in circolazione interna. In questo modo, gli elementi scarsamente volatili che si accumulano nel sistema di preriscaldamento del forno precipitano di nuovo nel preriscaldatore rimanendo quasi completamente nel clinker.

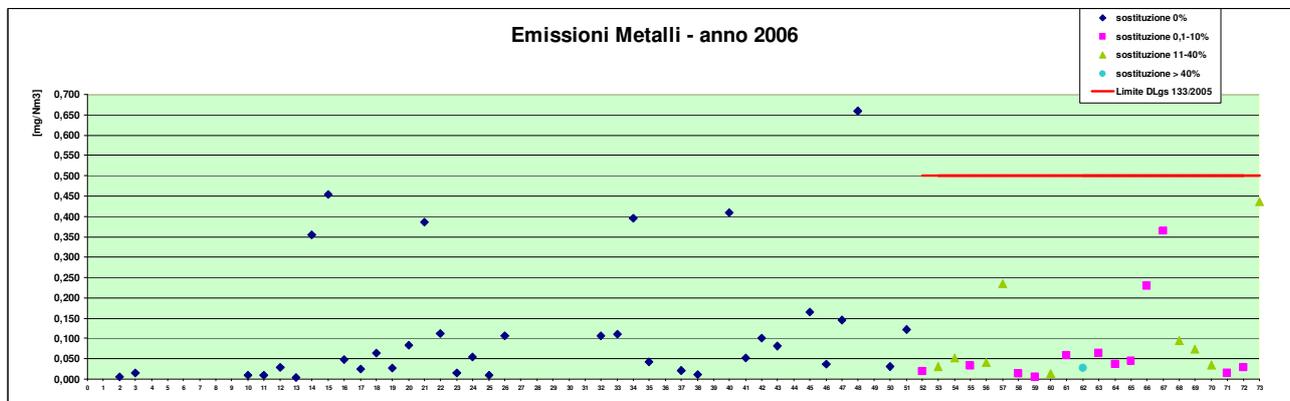


Figura 10 - Emissioni metalli - Anno 2006 (valori riferiti a 57 forni su 73)

### 3.10 Idrocarburi policiclici aromatici – IPA

La temperatura della fiamma (1800-2000°C) e i tempi di residenza prolungati rendono trascurabile il livello di carbonio organico dovuto all'incompleta ossidazione dei combustibili, assicurando una distruzione estremamente efficace dei composti organici.

L'emissione di IPA può verificarsi nelle prime fasi del processo (preriscaldamento, calcinazione) quando i composti organici eventualmente presenti nelle materie prime possono essere volatilizzati.

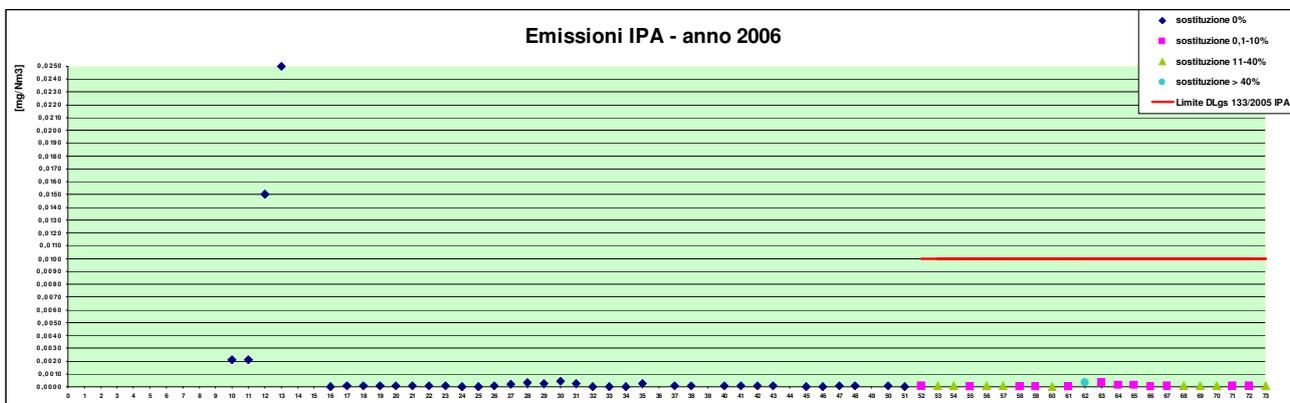


Figura 11 - Emissioni IPA - Anno 2006 (valori riferiti a 58 forni su 73)

### 3.11 Diossine e furani - PCDD/PCDF

La formazione di diossine e furani e le loro conseguenti emissioni richiedono la presenza simultanea di cinque fattori:

- Idrocarburi
- Cloruri
- Un catalizzatore: alcuni rapporti indicano che  $Cu^{2+}$  (e  $Fe^{2+}$ ) hanno un effetto catalitico
- Un appropriato range di temperatura: fra i 250 ed i 450 °C con un massimo a 300-325°C
- Lungo tempo di permanenza dei gas

Inoltre, l'ossigeno molecolare deve essere presente nel flusso di gas.

La velocità di formazione aumenta con la concentrazione di ossigeno per un ordine di reazione di 0,5. Questa situazione, in generale, non è realizzabile all'interno del forno da cemento: da una parte i gas non permangono in questo intervallo di temperature il tempo

sufficiente, poiché vengono raffreddati dallo scambio termico con il crudo ed eventualmente nella torre di raffreddamento.

Oltre a ciò, la presenza del cloro deve essere tenuta molto bassa perché la norma di prodotto definisce un limite massimo sul prodotto finito (<0,1%); la sua presenza nel forno, per di più, causa incrostazioni all'impianto che provocano abbassamenti di efficienza e fermate non programmate.

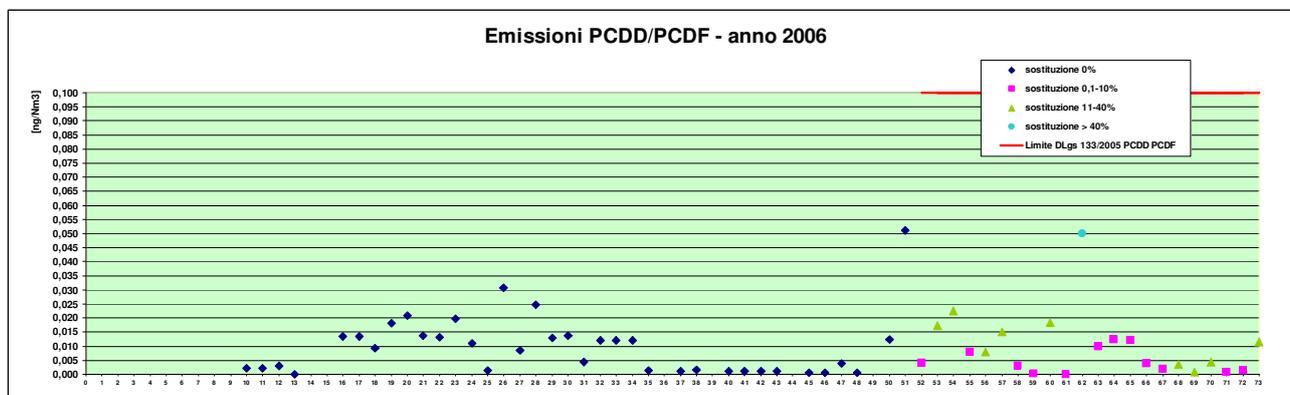


Figura 12 - Emissioni PCDD/PCDF – Anno 2006 (valori riferiti a 58 forni su 73)

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

### 4.1 Livelli emissivi e normativa vigente

Considerazioni sui livelli emissivi e confronti con la normativa vigente sono del tutto preliminari e limitati, ove si tenga conto che il 2006 è un anno di transizione tra regimi normativi; i valori limite devono essere rispettati quanto meno su base giornaliera e le stesse norme in materia di coincenerimento prevedono possibilità di deroghe a tempo indeterminato (SO<sub>2</sub> e TOC, nel caso non derivino dai rifiuti) o temporaneo (NO<sub>x</sub>, fino al 1 gennaio 2008 per impianti di coincenerimento esistenti).

Nello specifico e per ogni singolo parametro si può osservare:

SO<sub>2</sub>:

solo 4 impianti con percentuali di sostituzione da 11 a 40% e solo 1 con percentuale di sostituzione da 0,1 a 10% superano il valore stabilito dal D.Lgs. 133/2005, salvo deroghe specifiche relative ai singoli impianti;

NO<sub>x</sub>:

solo 5 impianti con percentuale di sostituzione da 0,1 a 10% e solo 1 con percentuale di sostituzione da 11 a 40% superano il valore stabilito dal D.Lgs. 133/2005;

Polveri totali:

nessun impianto utilizzante combustibili alternativi supera il valore stabilito dal D.Lgs. 133/2005;

Composti organici totali, TOC:

10 impianti con percentuale di sostituzione da 0,1 a 10%, 5 con percentuali di sostituzione da 11 a 40% e 1 con percentuale di sostituzione superiore a 40% supera il valore stabilito dal D.Lgs. 133/2005, salvo deroghe specifiche relative ai singoli impianti;

HCl, HF, Hg, Cd+Ti, metalli, IPA, diossine e furani:

nessun impianto utilizzante combustibili alternativi supera il valore stabilito dal D.Lgs. 133/2005; per gli impianti tradizionali si riscontrano solo 1 superamento per HF, 1 superamento per i metalli, 2 superamenti per gli IPA.



#### 4.2 Commento risultati

Per quanto riguarda l'SO<sub>2</sub>, l'utilizzo di combustibili alternativi non produce conseguenze peggiorative sui livelli di emissione del forno, anche perché i rifiuti utilizzati contengono meno zolfo dei combustibili convenzionali. I valori riportati in Figura 2, mostrano che la distribuzione dei livelli emissivi non è in alcuna correlazione con l'utilizzo di combustibili alternativi. Lo stesso si può affermare per gli NO<sub>x</sub>, polveri totali e TOC, (Figura 3, Figura 4 e Figura 5), dove inoltre i livelli emissivi dei forni coinceneritori sono meno dispersi, dovendo rispondere a prescrizioni più stringenti, sia in termini di valori limite (ancora in transizione) che di modalità di monitoraggio. I valori più estremi dei forni che non utilizzano combustibili alternativi si riferiscono con tutta probabilità a misure discontinue, non completamente rappresentative del livello emissivo medio.

Non si osserva alcuna dipendenza dall'uso di combustibili alternativi per quanto riguarda HCl e HF (Figura 6 e Figura 7), le cui concentrazioni rilevate, in tutti i casi decisamente limitate, confermano quanto sopra descritto,

I valori riportati per Hg, Cd-Tl, mostrano livelli emissivi estremamente contenuti (Figura 8, Figura 9 e Figura 10), senza dipendenza riscontrabile dall'uso di combustibili alternativi; inoltre, gli impianti che non effettuano recupero energetico di rifiuti non hanno l'obbligo della misurazione con cadenza almeno quadrimestrale e pertanto il valore fornito potrebbe derivare da un'unica misurazione. Per un ulteriore approfondimento dei valori riscontrati, sarebbe opportuna una verifica della tipologia di rifiuti recuperati in sostituzione delle materie prime, alla quale potrebbe essere imputato un aumento della concentrazione di metalli.

I valori per IPA (Figura 11) evidenziano livelli emissivi del tutto trascurabili, con o senza combustibili alternativi, e analogamente quelli per diossine e furani (Figura 12), come del resto testimoniato da un'ampia bibliografia internazionale, in cui le misurazioni effettuate durante l'utilizzo di rifiuti dimostrano che i parametri emissivi sono molto bassi e che non vengono emesse diossine per il fatto di sostituire parte del combustibile tradizionale con quello alternativo. Anche in questo caso, il valore fornito potrebbe derivare da un'unica misurazione per gli impianti che non effettuano recupero energetico di rifiuti.

Nella Tabella 5 vengono trascritti i risultati delle concentrazioni medie rilevate per i vari

	<i>U.m.</i>	Solo combustibili convenzionali		Coincenerimento combustibili alternativi	
		Media	Dev. St.	Media	Dev. St.
SO <sub>2</sub>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	135,0	163,1	77,6	114,2
NO <sub>x</sub>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	958,71	383,51	769,83	183,98
TOC	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	10,48	11,52	18,55	12,61
PCDD/PCDF	<i>ng/Nm<sup>3</sup></i>	0,0098	0,0106	0,00954	0,0111
HCl	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	2,70	2,36	2,66	1,28
HF	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	0,29	0,28	0,22	0,12
Hg	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	0,0123	0,0486	0,0074	0,0115
Cd+Ti	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	0,0046	0,0086	0,0015	0,0100
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	0,123	0,159	0,088	0,118
Polveri totali (spot)	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	14,24	13,66	7,55	4,77
IPA	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	0,0013	0,0048	0,000077	0,0001

Tabella 5 - Concentrazioni medie AITEC 2006

inquinanti separatamente per gli impianti che utilizzano solo i combustibili convenzionali e quelli che utilizzano anche combustibili alternativi.

L'analisi dei risultati ha comportato un confronto con i dati riportati nel documento "Air

Emission and Alternative Fuels in the European Cement Industry – 31/05/2006”. Le misure effettuate si riferiscono a due anni differenti: 2004 per il Cembureau e 2006 per AITEC. Per lo studio Cembureau sono stati presi in considerazione 200 forni, mentre per lo studio AITEC 73 forni. Tutte le rimanenti condizioni sono state mantenute uguali, ovvero le percentuali di sostituzione dei combustibili e i parametri richiesti ai sensi di legge (ad eccezione degli IPA), mentre non vengono differenziati i risultati medi tra

	U.m.	AITEC 2006		CEMBUREAU 2004	
		Media	Dev. St.	Media	Dev. St.
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	117,7	151,6	218,9	452,7
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	901,8	345,87	784,9	338,2
TOC	mg/Nm <sup>3</sup>	13,83	12,53	22,8	18,5
PCDD/PCDF	ng/Nm <sup>3</sup>	0,0097	0,0107	0,016	0,31
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	2,69	1,97	3,63	5,08
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0,26	0,23	0,61	2,98
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0106	0,0395	0,02	0,05
Cd+Ti	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0033	0,0067	0,02	0,06
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,109	0,1446	0,14	0,29
<b>Polveri totali</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	12,22	12,07	28,8	70,0

Tabella 6 - Concentrazioni medie AITEC 2006 – CEMBUREAU 2004

impianti utilizzando combustibili tradizionali ed impianti utilizzando combustibili alternativi. La Tabella 6 riporta i valori medi calcolati sulle varie misure effettuate nei due studi. Generalmente i valori determinati sono migliori nel caso esaminato da AITEC rispetto

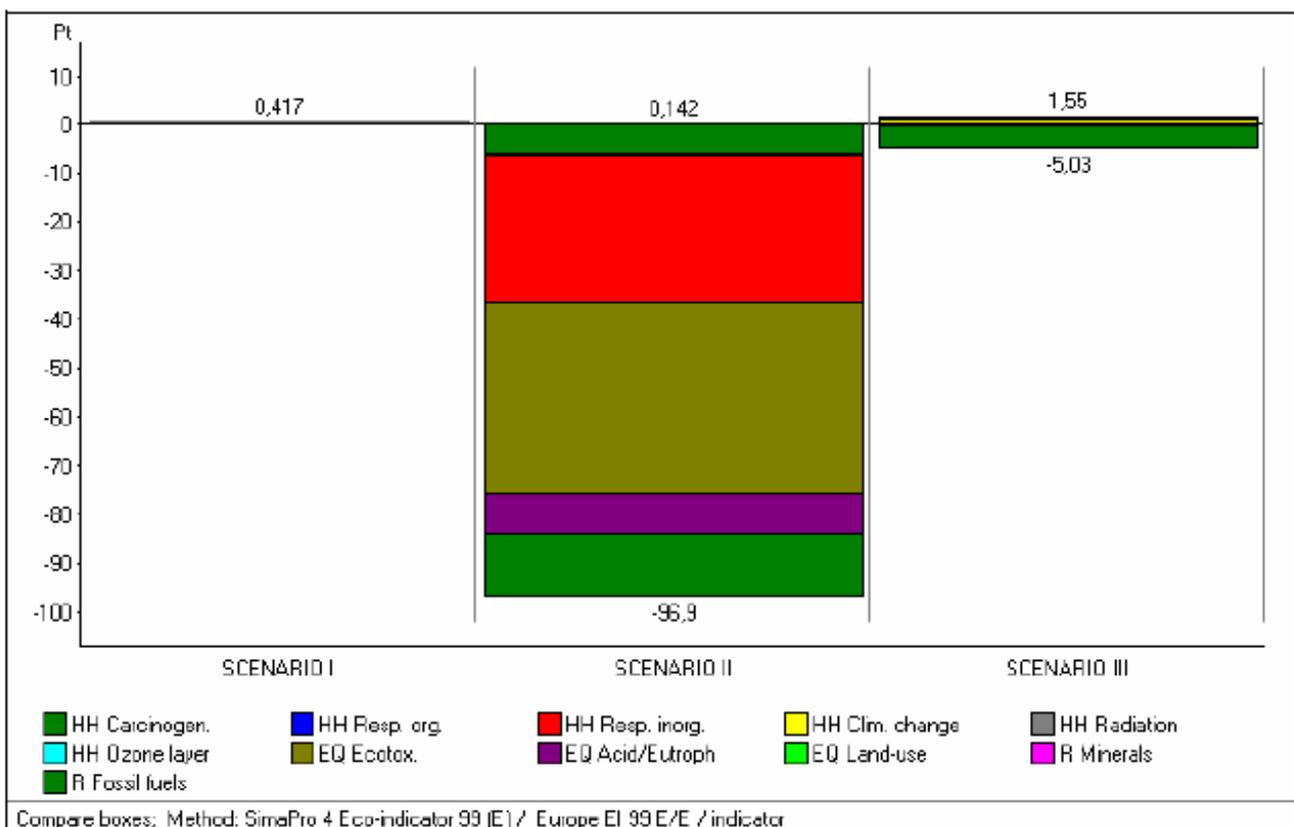


Figura 13 - Analisi degli impatti dei 3 scenari - LCA

agli impianti europei. Inoltre risultano inferiori nel caso di impianti che utilizzano combustibili alternativi rispetto a quanti impiegano solo combustibili tradizionali anche per i forni esaminati da Cembureau. Anche per questi ultimi la giustificazione è dovuta al fatto che:

- 1) gli impianti di abbattimento sono più sofisticati;
- 2) i controlli sono più accurati.

#### **4.3 Vantaggi sul bilancio ambientale globale**

A scopo esemplificativo e per fornire una seppur parziale quantificazione di miglioramento del bilancio ambientale globale, vengono riportati i risultati dello studio “Life Cycle Assessment di scenari alternativi per la gestione integrata di RSU nel bacino 10 della Provincia di Cuneo” presentato al convegno Ricicla 2002 – Rimini 6-9 Novembre 2002. Gli scenari posti a confronto sono:

- 1) discarica controllata – recupero di biogas;
- 2) preselezione, compostaggio – CDR-P con impiego in cementeria;
- 3) preselezione, compostaggio – termovalorizzatore.

L’analisi comparata dei tre possibili scenari di gestione rifiuti riportata nel grafico di Figura 13 indica chiaramente il secondo come quello ambientalmente più efficiente e sostenibile.

Il processo che utilizza il CDR-P come co-combustibile in cementificio ha un impatto ambientale favorevole grazie al minor uso di combustibile primario (polverino di carbone), il che si riflette in decremento delle emissioni in atmosfera di CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e di metalli pesanti (Cr, Pb, Cu, Ni) e, quindi, in un minore effetto sui cambiamenti climatici, sulla eco-tossicità e sulla salute umana. Integrando quindi la produzione di CDR-P con il suo utilizzo in cementificio, si ottiene un eco-bilancio decisamente positivo, che è ulteriormente migliorato dal fatto che in questo caso per il recupero energetico si utilizza un impianto già esistente e che quindi ha un minor impatto in infrastrutture e di utilizzo del suolo.

## **5. CONCLUSIONI**

L’utilizzo di combustibili alternativi nei forni da cemento risulta tecnicamente sostenibile poiché la parte organica viene distrutta e quella inorganica viene recuperata come materia prima. Di conseguenza, un recupero simultaneo di energia e di materia (la parte non combustibile del rifiuto) avviene senza che alcun residuo venga prodotto. I forni da cemento hanno caratteristiche tali da renderli un sistema idoneo nel quale valorizzare i combustibili alternativi in sicurezza:

elevate temperature

elevato tempo di permanenza dei gas

atmosfera ossidante

- elevata inerzia termica
- ambiente alcalino
- ritenzione delle ceneri nel clinker
- approvvigionamento continuo di combustibile

Dalla quasi totalità dei grafici riportati e dall’andamento dei valori emerge che le emissioni degli impianti risultano largamente indipendenti dal tipo di combustibile utilizzato, ma dipendono piuttosto in modo predominante dalle materie prime e dal processo. Ciò inoltre conferma che non sussiste una modifica significativa delle emissioni nel caso di sostituzione, in diverse percentuali, dei combustibili convenzionali (per la maggior parte fossili) con combustibili alternativi derivati dai rifiuti, per i quali è sempre comunque opportuno procedere con rigorosi controlli di accettazione per verificarne le caratteristiche prima del loro utilizzo.

Dal punto di vista del bilancio ambientale globale si può quindi affermare che il proces-

so di co-incenerimento dei rifiuti combustibili in forni da cemento garantisce innegabili vantaggi, quali:

l'utilizzo di combustibili non convenzionali in parziale sostituzione dei combustibili tradizionali non modifica in senso peggiorativo (qualitativamente e quantitativamente) le emissioni del forno, mentre la distruzione con altri sistemi comporterebbe una fonte aggiuntiva di emissione nel bilancio totale;

il risparmio di risorse di origine fossile non rinnovabile, con benefici per il bilancio globale delle emissioni di gas serra;

l'assenza di ceneri o residui di combustione da smaltire, poiché inglobate nel prodotto finito, senza pregiudizio per le caratteristiche qualitative del cemento.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. GENON, E. BRIZIO, Ware Management (2008), in press.
- [2] D.Lgs. 152/06 "Norme in materia ambientale".
- [3] J.D. DORN, IEEE Transactions On Industry Applications (1977), Ia-13 (6), 576-580.
- [4] E. MOKRZYCKI, A. ULIASZ-BOCHE;CZYK, Applied Energy (2003), 74, 95-100.
- [5] EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE GENERAL ENVIRONMENT, Refuse Derived Fuels, current practice and perspectives. Final report, 2003.
- [6] CEMBUREAU CONTRIBUTION, Air Emissions and Alternative Fuels In The European Cement Industry, Cement & Lime BREF Revision, 2006.
- [7] F.C. LOCKWOOD, J.J. OU, Journal of Power and Energy, IMechE (1993), 207, 65-70.
- [8] C.A.C. HALEY, Resources, Conservation and Recycling (1990), 4, 77-103.
- [9] HOLCIM-GTZ, Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production, 2006.
- [10] A. GARG, R. SMITH, D. HILL, N. SIMMS, S. POLLARD, Environ. Sci. Technol. (2007), 41, 4868-4874.
- [11] C. BRUNO, F. CASTIGLIONI, C. GIRAUDO, R. FERRERO, C. REGAZZONI, D. PITEA, Ricicla (2002), Rimini, pp. 365-374.