

# MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NBS - 1010a

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)



PHOTOGRAPHIC SCIENCES CORPORATION

770 BASKET ROAD

P.O. BOX 338

WEBSTER, NEW YORK 14580

(716) 265-1600

JAN 1995

ENE A-RT-AMB--93-04

ISSN/1120-5555

0040

0489



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE  
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Dipartimento Ambiente

# **CAMPAGNA SPERIMENTALE DI INCENERIMENTO DI RDF E MONITORAGGIO EFFLUENTI**

## **Caratterizzazioni e bilanci sul materiale inorganico**

E. RANALDI, M. CORONIDI, P. DE STEFANIS  
C. DI PALO, M. ZAGAROLI

RT/AMB/93/04

**DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED  
FOREIGN SALES PROHIBITED**



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE  
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Dipartimento Ambiente

# CAMPAGNA SPERIMENTALE DI INCENERIMENTO DI RDF E MONITORAGGIO EFFLUENTI

## Caratterizzazioni e bilanci sul materiale inorganico

E. RANALDI, M. CORONIDI, P. DE STEFANIS  
C. DI PALO, M. ZAGAROLI

Centro ENEA della Casaccia, Roma

# MASTER

RT/AMB/93/G4

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED  
FOREIGN SALES PROHIBITED RB

Testo pervenuto nel luglio 1993

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA  
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente.

### **Sommario**

Le attività descritte hanno riguardato una campagna sperimentale di incenerimento di RDF ( Refuse Derived Fuel ) selezionato da rifiuti solidi urbani.

Nel presente lavoro vengono riportate le investigazioni effettuate sul materiale inorganico ( metalli pesanti, acidi e gas tossici ) sia in termini di caratterizzazione del rifiuto alimentato che di caratterizzazione delle emissioni ( fumi e residui del trattamento ) che di bilanci materie.

### **Summary**

Experiences and results on Refuse Derived Fuel (selected from municipal solid wastes) incineration are reported.

The presente work has investigated inorganic compounds (heavy metals, acids and toxic gases) emissions, including feeding materials and incineration residues characterization and mass balance.

## **1.0 INTRODUZIONE**

La campagna sperimentale ha realizzato un programma di incenerimento di RDF (Refuse Derived Fuel) di origine da rifiuti solidi urbani selezionati ed è stata attuata presso la stazione sperimentale di incenerimento ABI 2000 sita nel Centro Ricerche Energia della Casaccia.

Tale esperienza è inserita in un programma più generale di attività, in Convenzione con il Ministero dell'Ambiente, relativo alla risoluzione di importanti problematiche sulla progettazione e conduzione degli impianti di incenerimento, sulla necessità o meno della post-combustione con particolare riferimento agli inceneritori a letto fluido, sulla modellistica della termodistruzione dei rifiuti e sul controllo degli inquinanti nei fumi di combustione.

Le problematiche connesse al controllo dei microinquinanti nei fumi di combustione sono oggetto di studio in tutto il mondo in termini di caratterizzazione del rifiuto alimentato, di controllo dei processi di combustione, di studio delle cinetiche di formazione degli inquinanti e di controllo dei processi di depurazione fumi.

Il programma triennale di R & S tende all'approfondimento di queste tematiche mediante campagne sperimentali indirizzate, di volta in volta, ad affrontare una o più di queste problematiche. Nel presente lavoro vengono riportati i risultati relativi alle caratterizzazioni ed al controllo dei microinquinanti inorganici, in particolare metalli pesanti, acidi e gas tossici, sia nei fumi di combustione che nelle scorie pesanti residue del trattamento.

## **2.0 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO**

La stazione sperimentale di termodistruzione "ABI 2000" consiste in una sezione di ricevimento, stoccaggio, frantumazione ed alimentazione rifiuti, una sezione di incenerimento che comprende un combustore a letto fluido ed uno a tamburo rotante, una caldaia a recupero ed una sezione di abbattimento inquinanti.

La stazione è provvista di un sistema di controllo distribuito (DCS) che permette la gestione continua ed automatica di tutte le regolazioni dell'impianto e di un sistema di monitoraggio in continuo di microinquinanti e composti gassosi contenuti nei fumi di combustione (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

Il forno a tamburo rotante è stato utilizzato per svolgere la presente campagna. Esso, completo di camera di post-combustione e di caldaia di recupero, è progettato per bruciare piccoli fusti contenenti rifiuti tossici e nocivi sia solidi a matrice organica che liquidi combustibili vari, quali solventi ed olii esausti.

Le basi di progetto della sezione di incenerimento sono le seguenti:

- Portata fumi	2000 Nmc/h
- T. camera di combustione	1000 ° C
- T. camera di postcombustione	1200 ° C
- Ossigeno libero nei fumi	6 % vol. min.
- Velocità media dei gas	10 m/s
- Tempo di permanenza	2 s
- Lunghezza camera combustione	5 m
- Diametro interno	775 mm
- Spessore refrattario	237 mm.

La sezione di trattamento fumi è costituita da un sistema di abbattimento inquinanti "a secco" ed uno ad "umido".

Il sistema "a secco" prevede una iniezione in linea di reagente ed un filtro a maniche, mentre quello "ad umido" consiste essenzialmente in uno spray dryer, un ciclone, uno jet scrubber ed un venturi scrubber.

L'effetto congiunto di tali apparecchiature e procedure procura un notevole abbattimento nella carica inquinante, con una efficienza dell'ordine del 90 % ed oltre per il particolato e per le specie su di esso adsorbite, grazie ad operazioni in sequenza di separazione degli agglomerati più grossolani, di lavaggio fumi sia nei confronti di particolato che di acido cloridrico ed infine di rimozione finale sia delle particelle più piccole che delle quantità residue di acido mediante dosaggio di soda caustica.

Le ceneri pesanti di combustione vengono spente nell'acqua contenuta in due vasche allocate sotto i combustori, da cui vengono continuamente dragate.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Per quanto riguarda il controllo dei microinquinanti inorganici sono stati raccolti campioni per la determinazione dei metalli pesanti sia nei fumi, prima del sistema di abbattimento, che nelle ceneri pesanti di combustione, in modo da determinare la ripartizione degli stessi negli effluenti alle condizioni operative realizzate. Inoltre sono stati determinati gli acidi cloridrico e fluoridrico e gli altri inquinanti gassosi presenti nei fumi; infine è stato effettuato un bilancio sia dei metalli che del cloro e dello zolfo.

In modo specifico le attività hanno riguardato:

- la caratterizzazione dell'RDF alimentato;
- il monitoraggio, sia on line che puntuale mediante apparecchiature automatiche, di microinquinanti gassosi nei fumi di combustione ( CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>);

- il campionamento, in condizioni isocinetiche, e la determinazione del materiale particellare e delle condense nei fumi di combustione;
- il campionamento e la determinazione di acidi nei fumi di combustione ( HCl, HF );
- la determinazione dei microinquinanti nel particolato e nelle condense raccolte;
- la determinazione dei microinquinanti nelle ceneri pesanti di combustione,
- la determinazione dei microinquinanti nelle acque di spegnimento delle ceneri di combustione;
- la effettuazione del bilancio di materia per metalli pesanti, cloro e zolfo.

### 3.1 CARATTERIZZAZIONE DELL'RDF

Durante la campagna sperimentale sono stati impiegati quattro carichi differenti di RDF, per i quali sono state effettuate singole caratterizzazioni in modo tale da poter mettere in relazione i risultati delle determinazioni effettuate sugli effluenti con la composizione dell'alimentato durante i campionamenti.

Le analisi elementari ed i poteri calorifici sono stati determinati mediante analizzatore elementare automatico. Per l'ultimo parametro sono state effettuate verifiche anche tramite combustioni in bomba di Mahler.

Tali caratterizzazioni sono riportate nelle tabelle 1 e 2.

**Tab 1**  
**Caratterizzazione RDF ( t.q. )**  
**Analisi Elementare, Umidità, Ceneri e Cloro**

Carico di RDF	I	II	III	IV
N %	0.573	0.640	0.503	0.794
C %	31.189	36.856	31.276	37.787
H %	7.139	5.275	4.489	5.437
S %	0.112	0.147	0.150	0.182
O %	22.346	27.438	21.521	23.100
Umidità %	24.8	17.5	18.6	19.2
Ceneri %	13.2	11.3	22.0	12.7
PCS (Kcal/Kg)	3830	3624	3160	3942
PCI (Kcal/Kg)	3448	3342	2921	3652
Cl totale %	0.80	0.72	0.75	0.71
Cl minerale %	0.18	0.17	0.17	0.15



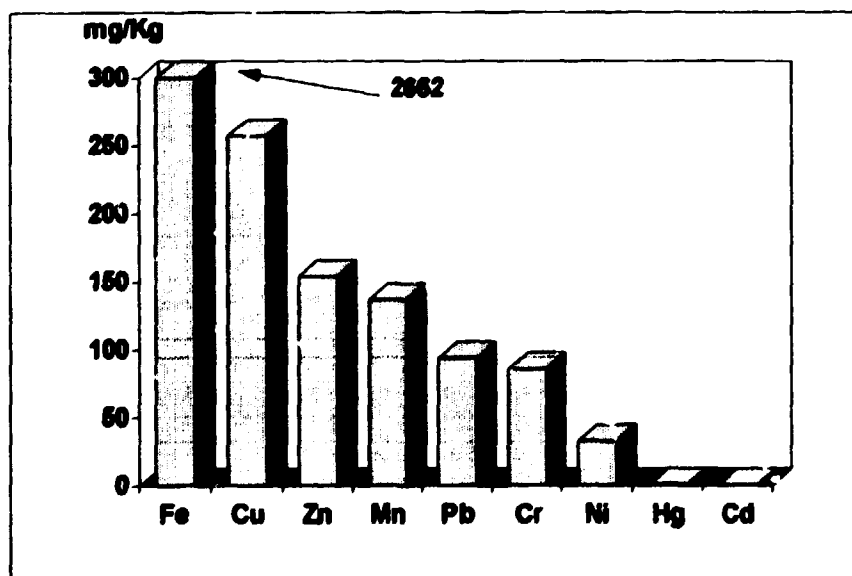
**Tab 2**  
**Caratterizzazione RDF (t.q.)**  
**Metalli pesanti - Valori medi (mg/Kg)**

Carico di RDF	II	III	IV	Media
Cd	0.75	0.51	0.40	0.55
Cr	85.8	96.1	75.5	85.8
Pb	84.1	96.9	100.5	93.8
Cu	220.1	249.6	300.5	256.7
Ni	36.1	29.8	33.3	33.1
Zn	200.5	135.8	126.9	154.4
Mn	127.0	149.3	135.8	137.4
Fe	1500	3486	3000	2662
Hg	0.67	1.05	0.60	0.77

Le determinazioni per il primo carico non sono state possibili per mancanza di disponibilita' del campione.

Nel grafico 1 vengono riportate, in ordine decrescente, le quantità dei metalli pesanti trovate nell'RDF, mediate tra i vari carichi.

**Graf 1**  
**Metalli pesanti nell'RDF (mg/Kg)**  
**Valori mediati tra i vari carichi**



### 3.2 CONDIZIONI OPERATIVE

Nella Tab. 3 sono riportate le condizioni operative realizzate durante i periodi di campionamenti del particolato indirizzato alla determinazione dei metalli pesanti, nonché i flussi di RDF alimentato. Per quanto riguarda quest'ultimo bisogna tener presente che esso è stato alimentato in sacchi, sui quali è stato determinato un peso medio di Kg 4.

Tab 3  
Condizioni operative  
campionamenti di particolato

Cod. Prova	RDF Carico	RDF Kg/h	T Comb ° C	T Post-Comb ° C
1.1	I	106	863	806
2.1	II	119	869	950
2.2	II	126	877	950
3.1	III	114	864	850
3.2	III	117	878	943
4.1	IV	125	870	829

### 3.3 EMISSIONI: PARTICOLATO E METALLI PESANTI

Tutti i dati di emissione sono riferiti ad un tenore di O<sub>2</sub> nei fumi dell' 11%. Nella Tab 4 vengono riportati i risultati dei campionamenti relativi alle determinazioni di particolato e dei metalli pesanti nel flue gas (particolato più condense raccolte).

La concentrazione di polveri nei fumi aumenta per il terzo carico di RDF; tale andamento trova giustificazione nella maggiore percentuale di inerti che caratterizza tale lotto.

I campionamenti sono stati condotti in condizioni isocinetiche, secondo le metodiche riportate nel relativo capitolo.

**Tab 4**  
**Flue gas**  
**Particolato e Metalli Pesanti**

<b>Cod. Prova</b>	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>
<b>RDF Carico</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Polveri (g/Nmc)</b>	<b>0.282</b>	<b>0.203</b>	<b>0.234</b>	<b>0.624</b>	<b>0.554</b>	<b>0.261</b>
<b>Cd (µg/Nmc)</b>	<b>58.6</b>	<b>87.3</b>	<b>98.3</b>	<b>58.0</b>	<b>64.9</b>	<b>64.9</b>
<b>Cr ( " )</b>	<b>86.4</b>	<b>54.8</b>	<b>54.0</b>	<b>92.5</b>	<b>96.4</b>	<b>78.2</b>
<b>Pb ( " )</b>	<b>4399</b>	<b>4494</b>	<b>6063</b>	<b>3628</b>	<b>3426</b>	<b>5216</b>
<b>Cu ( " )</b>	<b>1419</b>	<b>3366</b>	<b>2657</b>	<b>1291</b>	<b>934.5</b>	<b>2696</b>
<b>Ni ( " )</b>	<b>313.2</b>	<b>2109</b>	<b>1713</b>	<b>421.7</b>	<b>397.1</b>	<b>566.0</b>
<b>Zn ( " )</b>	<b>3842</b>	<b>6796</b>	<b>6566</b>	<b>3275</b>	<b>3060</b>	<b>3294</b>
<b>Mn ( " )</b>	<b>91.4</b>	<b>60.8</b>	<b>70.3</b>	<b>236.2</b>	<b>263.4</b>	<b>114.5</b>
<b>Fe ( " )</b>	<b>2177</b>	<b>970.6</b>	<b>669.7</b>	<b>783.9</b>	<b>797.4</b>	<b>1316</b>
<b>Hg ( " )</b>	<b>1.17</b>	<b>0.86</b>	<b>0.60</b>	<b>0.97</b>	<b>1.42</b>	<b>0.91</b>

### 3.4 EMISSIONI: HCl ED HF

Gli acidi sono stati determinati su due serie di campionamenti differenti; una prima serie viene riportata in Tab 5 ed è stata effettuata tramite gorgogliamento dei fumi in soluzioni basiche assorbenti (NaOH 0.1 N) a basso flusso ( 1 l/min).

Una seconda serie di determinazioni è stata effettuata sulle condense raccolte durante i campionamenti di particolato. Su queste sono stati determinati il pH, i cloruri totali, i solfati, i nitrati ed i fluoruri. Partendo dalla concentrazione idrogenionica e sottraendo ad essa il contributo degli anioni descritti, assumendoli come completamente acidi, tentiamo di ottenere un valore della concentrazione in HCl, come mostrato dalla Tab. 6; tali valori sono superiori rispetto alle quantità trovate nella prima serie con la metodica del gorgogliamento.

**Tab 5**  
Flue gas - HCl, HF

Carico di RDF	HCl (mg/Nmc)	HF (mg/Nmc)
I	12.1	< 1
I	15.0	< 1
I	12.7	< 1
I	48.3	< 1
I	65.0	< 1
I	38.1	< 1
II	61.1	< 1
II	77.5	< 1
III	10.9	< 1
III	13.0	< 1
III	25.2	< 1
IV	85.5	< 1

**Tab 6**  
pH, anioni ed HCl nelle condense

pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/Nmc	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/Nmc	F <sup>-</sup> mg/Nmc	Cl <sup>-</sup> mg/Nmc	HCl mg/Nmc
1.1	2.44	0.27	1.56	325.26	184
1.0	11.72	1.06	1.09	499.45	136
1.1	13.40	0.91	1.42	413.11	233
1.1	7.50	1.26	1.12	320.08	195
1.1	5.58	1.15	0.19	304.93	211
0.9	3.44	0.94	2.97	188.93	219
0.9	2.07	0.20	0.58	272.26	99
1.3	2.55	0.27	0.69	424.78	291
1.0	1.56	1.02	1.14	192.72	130

Per meglio evidenziare i contributi negativi dei vari anioni vengono riportate in Tab 7 le concentrazioni espresse in mmoli/Nmc.

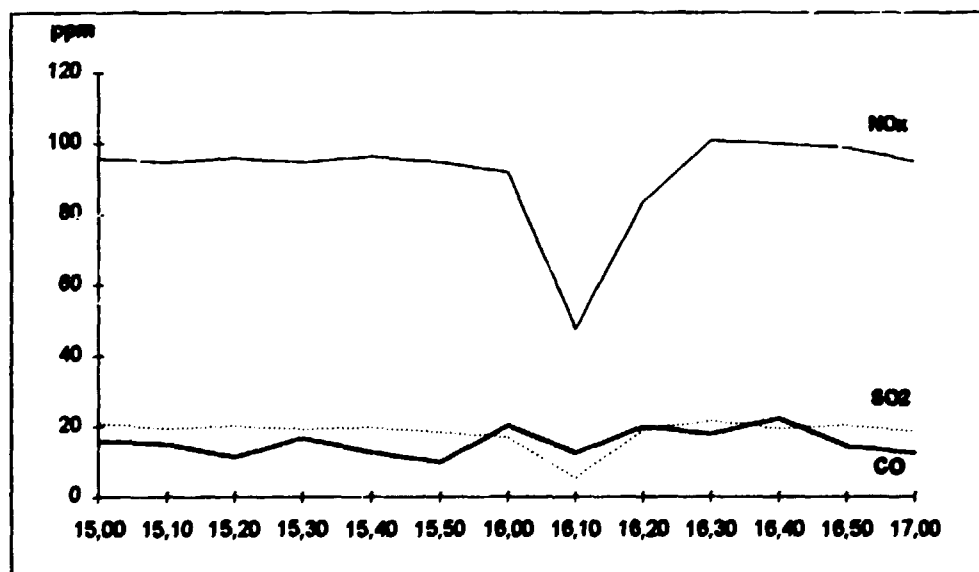
Tab 7  
Concentrazioni anioni nelle condense

Carico di RDF	[H <sup>+</sup> ]	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	[F]	[NO <sub>3</sub> ]
	mmoli/Nmc	mmoli/Nmc	mmoli/Nmc	mmoli/Nmc
I	5.467	0.025	0.078	0.004
II	4.053	0.120	0.055	0.017
II	6.767	0.137	0.071	0.014
III	5.576	0.077	0.056	0.020
III	5.949	0.057	0.010	0.018
IV	8.209	0.035	0.149	0.015
IV	6.076	0.021	0.029	0.003
IV	2.829	0.026	0.035	0.004
IV	3.699	0.016	0.057	0.016

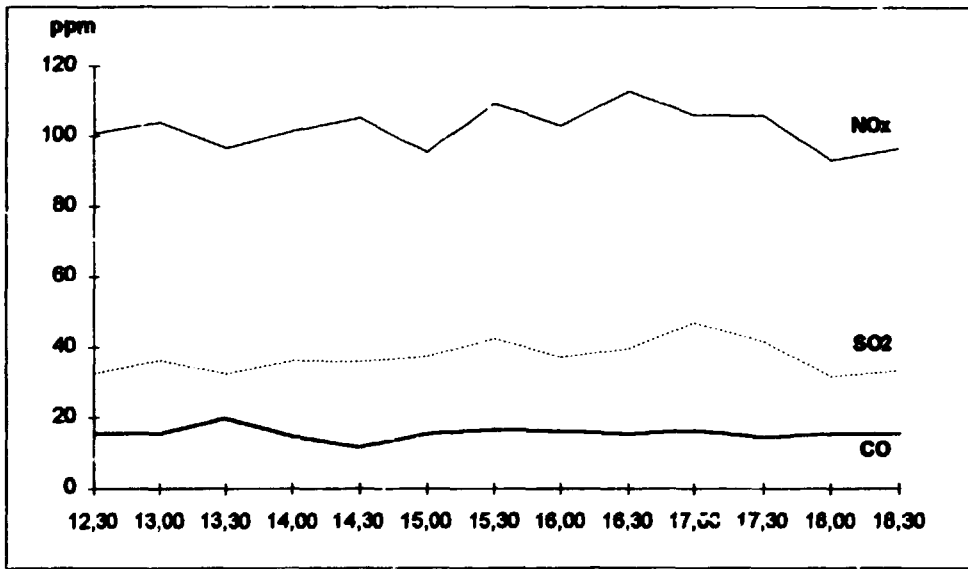
### 3.5 EMISSIONI: GAS TOSSICI

I gas tossici sono stati monitorati in continuo per tutto il periodo della campagna. Si riportano i grafici relativi ai periodi di campionamento di particolato precedentemente descritti.

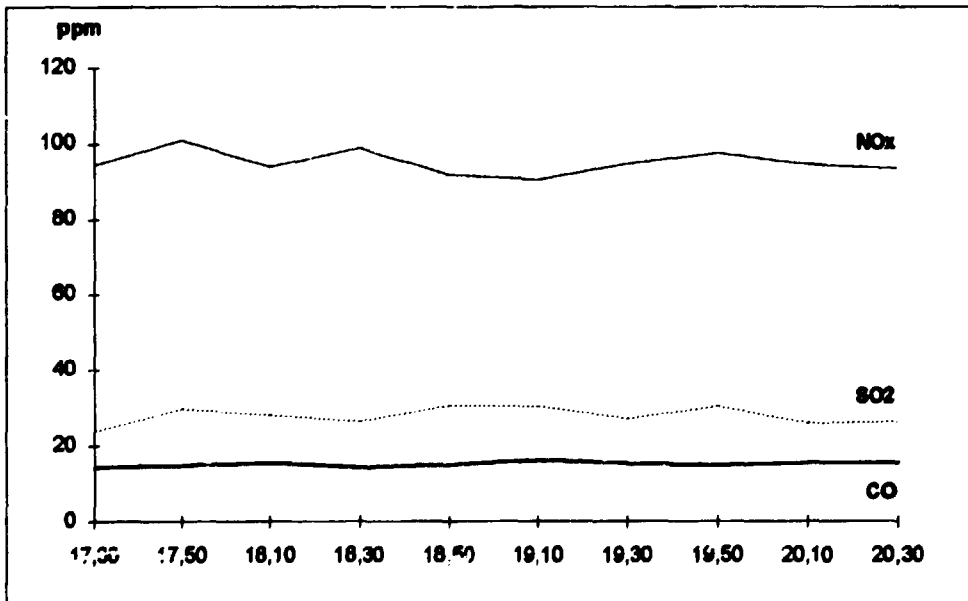
Graf 2  
Prova 1.1



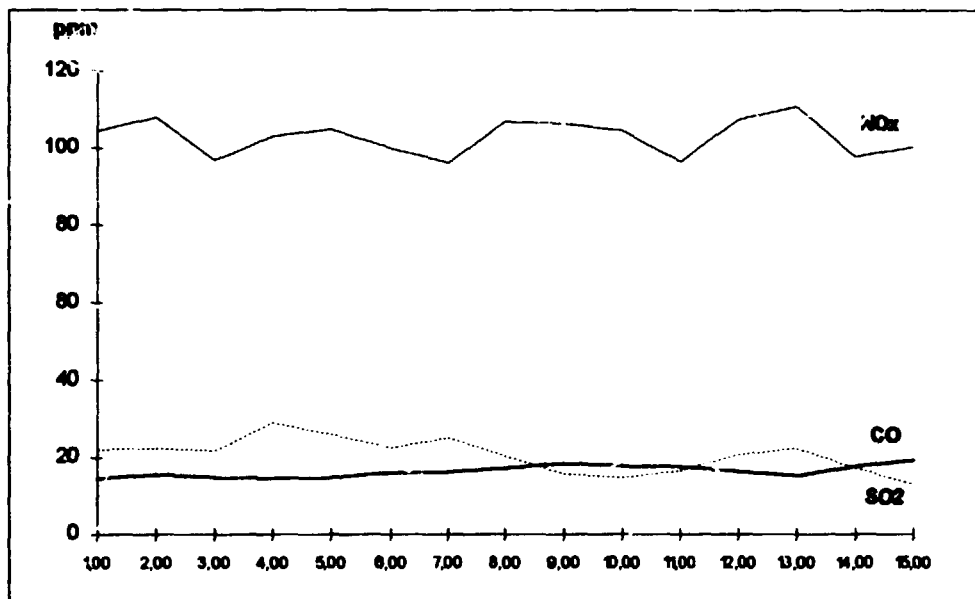
**Graf 3**  
Prove 2.1 e 2.2



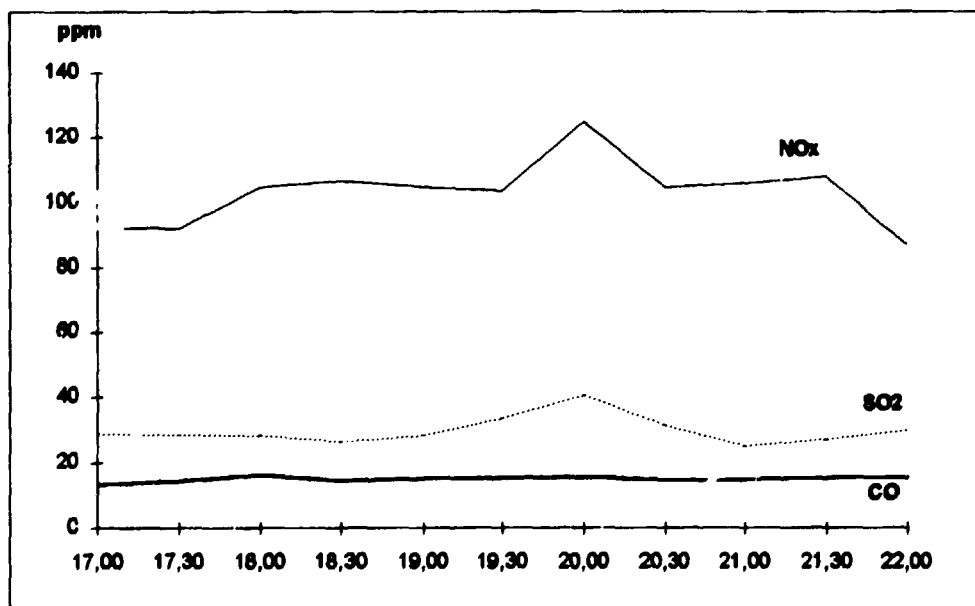
**Graf 4**  
Prova 3.1



Graf 5  
Prova 3.2



Graf 6  
Prova 4.1



### 3.6 EFFLUENTI: CARATTERIZZAZIONE DELLE CENERI PESANTI

Le ceneri pesanti del combustore cadono in una vasca di spegnimento da cui vengono continuamente dragate. Numerosi campioni sono stati investigati per il contenuto in metalli pesanti, cloruri e zolfo. I risultati mediati, sulle ceneri secche, sono riportati nella Tab 8.

Tab 8  
Ceneri pesanti di combustione  
Metalli Pesanti (mg/Kg) sul secco

	CARICO RDF			
	I	II	III	IV
Cd	0.96	1.9	1.00	1.07
Cr	276.2	410.7	375.7	333.4
Pb	88.0	81.9	68.3	72.6
Cu	1400	717.0	1307	1951
Ni	72.2	59.5	57.9	90.2
Zn	501.6	372.6	477.7	424.8
Mn	613.8	888.7	945.1	913.8
Fe	15039	12312	13516	14526
Hg	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cl <sup>-</sup> (g/Kg)	1.024	1.198	0.630	1.062
S %	0.122	0.120	0.140	0.179

### 3.7 EFFLUENTI: CARATTERIZZAZIONE ACQUE SPEGNIMENTO CENERI

Le acque di spegnimento delle ceneri comprendono due draghe della capacità di circa 2.5 mc ciascuna, in cui cadono e vengono spente le ceneri rispettivamente della camera di combustione e di postcombustione. In esse sono stati ricercati i metalli pesanti, i cloruri e lo zolfo.

I metalli pesanti sono risultati non determinabili a concentrazioni significativamente valide ai fini di un bilancio materie.

I campionamenti sono stati effettuati alla fine di ogni condizione operativa realizzata ed i risultati, riportati nelle Tab 9 e 10, sono in ordine cronologico.



Contrariamente all'attesa di avere concentrazioni crescenti di analiti nel tempo, si notano variazioni negative dovute essenzialmente ad operazioni di svuotamento e reintegro effettuate sulle acque contenute nelle vasche. L'entità di tali operazioni non risulta sempre semplice da definire in quanto ci sono anche operazioni automatiche di ripristino dei livelli, e quindi non possiamo avere a disposizione dati quantitativamente definiti; tuttavia essi sono indicativamente significativi.

**Tab 9**  
Cloruri nelle acque di spegnimento ceneri

gg. di marcia	Draga1			Draga2		
	3	8	15	3	8	15
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	909.5	428.5	50.9	50.4	30.7	42.6

**Tab 10**  
Zolfo nelle acque di spegnimento ceneri

gg. di marcia	Draga 1		
	3	8	15
S (mg/l)	9.63	31.3	30.3

### 3.8 RIPARTIZIONI E BILANCI MATERIA: METALLI, CLORO E ZOLFO

A causa delle caratteristiche per alcuni aspetti differenti tra i diversi carichi di RDF si e' proceduto ad effettuare valutazioni riferite ai singoli carichi, prima di passare ad analizzare un bilancio globale.

Ben definite sono le ripartizioni dei vari inquinanti tra gli effluenti (flue gas e bottom ashes).

Si riportano anche bilanci di materia tra le quantità effluenti e quelle alimentate, dove si evincono delle differenze quantitativamente relative, dovute essenzialmente alla disomogeneità del flusso di alimentazione; tuttavia le grandezze sono sufficientemente soddisfacenti.

#### 3.8.1 RIPARTIZIONI METALLI PESANTI NEGLI EFFLUENTI: I carico RDF

In tabella 11 vengono riportati i flussi e le ripartizioni percentuali dei metalli pesanti negli effluenti per il carico di RDF.

**Tab 11**  
**Metalli pesanti: I carico di RDF**  
**Flussi quantitativi (g/h) e ripartizioni (%)**

	OUT		OUT	
	Flue gas	Bottom ashes	Flue gas	Bottom ashes
	(g/h)	(g/h)	(%)	(%)
<b>Cd</b>	0.10	0.01	90.9	9.1
<b>Cr</b>	0.15	3.37	4.2	95.8
<b>Pb</b>	7.87	1.07	88.0	12.0
<b>Cu</b>	2.54	17.1	12.9	87.1
<b>Ni</b>	0.56	0.88	38.8	61.2
<b>Zn</b>	6.88	6.12	52.9	47.1
<b>Mn</b>	0.16	7.49	2.1	97.9
<b>Fe</b>	3.90	183.47	2.0	98.0
<b>Hg</b>	0.002	n.d.	-	-

### 3.8.2 RIPARTIZIONI E: BILANCI MATERIE: Il carico RDF

Nelle tabelle 12 e 13 vengono riportati i flussi in entrata ed in uscita (g/h) e le ripartizioni percentuali dei metalli pesanti, del cloro e dello zolfo negli effluenti per il II carico di RDF.

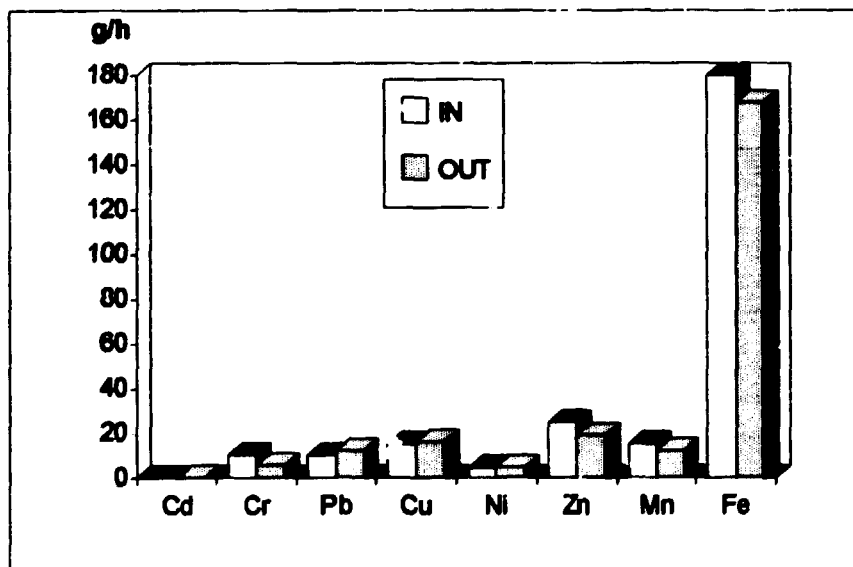
**Tab 12**  
**Metalli Pesanti: Il carico di RDF**  
**Flussi quantitativi (g/h) e ripartizioni (%)**

	IN	OUT		OUT	
		Flue gas	Bottom ashes	Flue gas	Bottom ashes
	(g/h)	(g/h)	(g/h)	(%)	(%)
<b>Cd</b>	9.07	0.19	0.02	90.4	9.6
<b>Cr</b>	10.30	0.11	5.56	1.9	98.1
<b>Pb</b>	10.09	11.10	1.11	90.9	9.1
<b>Cu</b>	14.98	6.31	9.70	39.4	60.6
<b>Ni</b>	4.33	4.00	0.80	83.3	16.7
<b>Zn</b>	24.8	14.0	5.0	73.6	26.4
<b>Mn</b>	15.2	0.13	12.0	1.1	98.9
<b>Fe</b>	180.0	1.70	188.0	1.0	99.0
<b>Hg</b>	0.08	0.001	n.d.	-	-

**Tab 13**  
Cloro e Zolfo - Il carico RDF  
flussi quantitativi

	IN	OUT		
	(g/h)	Flue gas (g/h)	Bottom ashes (g/h)	Acque (mg/l)
Cl	864	944	16.3	910
S	180	119.4 (*)	16.2	30

**Graf 7**  
Il carico RDF  
IN/OUT Metalli pesanti



### 3.8.3 RIPARTIZIONI E BILANCI MATERIE: III carico RDF

Nelle tabelle 14 e 15 vengono riportati i flussi in entrata ed in uscita (g/h) e le ripartizioni percentuali dei metalli pesanti, del cloro e dello zolfo negli effluenti per il III carico di RDF.

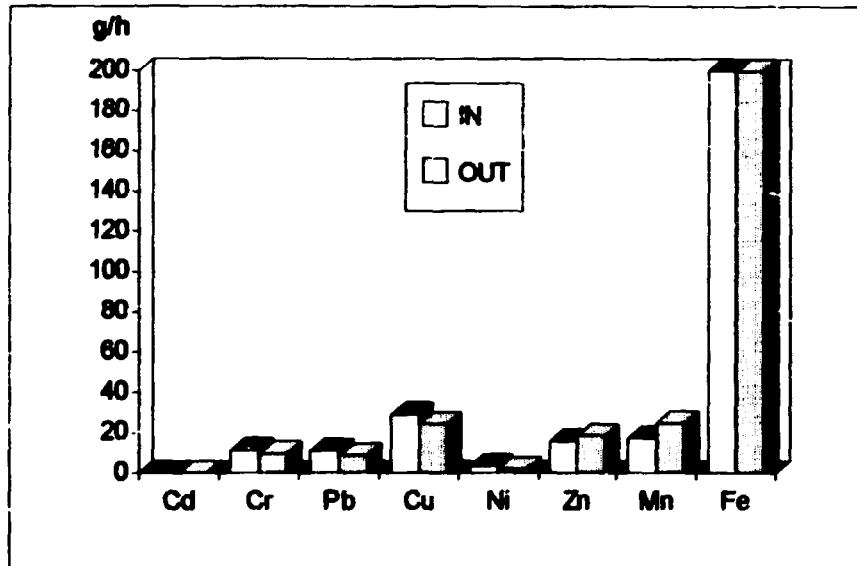
**Tab 14**  
**Metalli pesanti: III carico di RDF**  
**Flussi quantitativi (g/h) e ripartizioni (%)**

	IN	OUT		OUT	
		Flue gas	Bottom ashes	Flue gas	Bottom ashes
	(g/h)	(g/h)	(g/h)	(%)	(%)
<b>Cd</b>	<b>0.05</b>	<b>0.11</b>	<b>0.02</b>	<b>84.6</b>	<b>15.4</b>
<b>Cr</b>	<b>11.4</b>	<b>0.18</b>	<b>9.6</b>	<b>1.8</b>	<b>98.2</b>
<b>Pb</b>	<b>11.2</b>	<b>6.9</b>	<b>1.74</b>	<b>79.8</b>	<b>20.2</b>
<b>Cu</b>	<b>28.9</b>	<b>2.01</b>	<b>22.2</b>	<b>8.3</b>	<b>91.7</b>
<b>Ni</b>	<b>3.43</b>	<b>0.79</b>	<b>1.47</b>	<b>34.9</b>	<b>65.1</b>
<b>Zn</b>	<b>15.7</b>	<b>6.2</b>	<b>12.1</b>	<b>33.8</b>	<b>66.2</b>
<b>Mn</b>	<b>17.3</b>	<b>0.48</b>	<b>24.1</b>	<b>1.9</b>	<b>98.1</b>
<b>Fe</b>	<b>404.3</b>	<b>1.54</b>	<b>387.0</b>	<b>0.004</b>	<b>99.996</b>
<b>Hg</b>	<b>0.12</b>	<b>0.002</b>	<b>n.d.</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tab 15**  
**Cloro e Zolfo - III carico RDF**  
**flussi quantitativi**

	IN	OUT		
		Flue gas	Bottom ashes	Acque
	(g/h)	(g/h)	(g/h)	(mg/l)
<b>Cl</b>	<b>870</b>	<b>606</b>	<b>21.0</b>	<b>910</b>
<b>S</b>	<b>174</b>	<b>68.7 (*)</b>	<b>35.7</b>	<b>30</b>

**Graf 8**  
**III carico RDF**  
**IN/OUT Metalli pesanti**



#### 3.8.4 RIPARTIZIONI E BILANCI MATERIE: IV carico RDF

Nelle tabelle 16 e 17 vengono riportati i flussi in entrata ed in uscita (g/h) e le ripartizioni percentuali dei metalli pesanti, del cloro e dello zolfo negli effluenti per il IV carico di RDF.

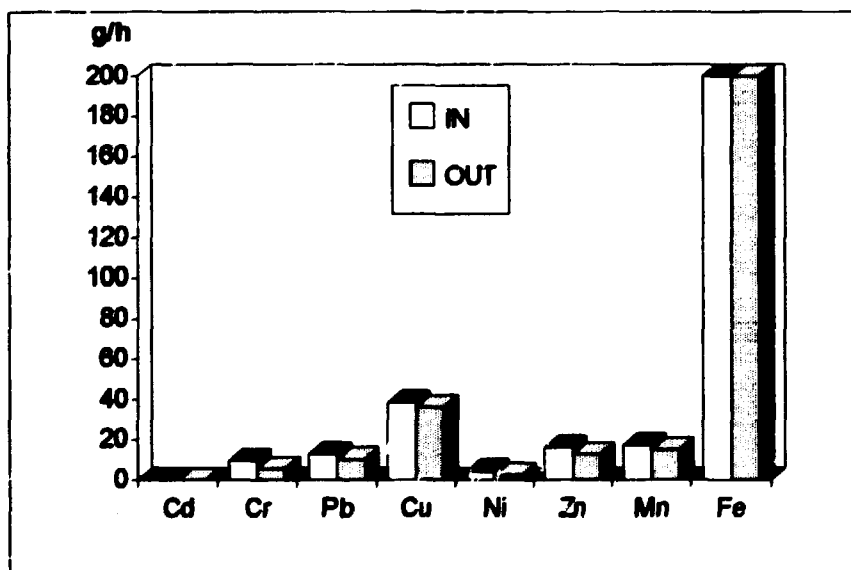
**Tab 16**  
**Metalli pesanti: IV carico RDF**  
**Flussi quantitativi (g/h) e ripartizioni %**

	IN (g/h)	OUT		OUT	
		Flue gas (g/h)	Bottom ashes (g/h)	Flue gas (%)	Bottom ashes (%)
Cd	0.05	0.11	0.02	84.6	15.4
Cr	9.66	0.13	5.42	2.3	97.7
Pb	12.8	9.2	1.2	88.4	11.6
Cu	38.4	4.6	31.7	12.6	87.4
Ni	4.23	1.00	1.45	40.8	59.2
Zn	16.1	5.8	8.9	45.6	54.4
Mn	17.4	0.2	14.8	1.3	98.7
Fe	384.0	2.3	398.7	0.006	99.994
Hg	0.6	0.002	n.d.	-	-

Tab 17  
Cloro e Zolfo: IV carico RDF  
Flussi quantitativi

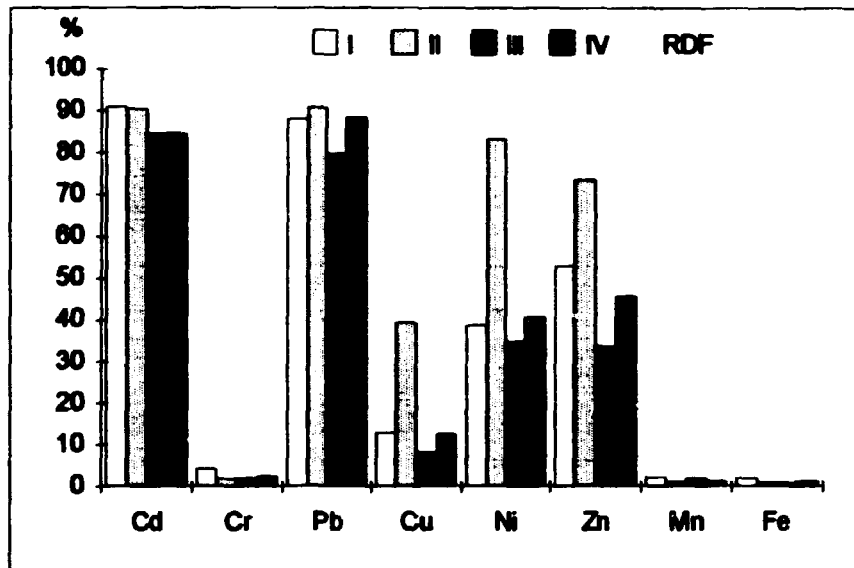
	IN	OUT		
	(g/h)	Flue gas (g/h)	Bottom ashes (g/h)	Acque (mg/l)
Cl	909	519	15	910
S	230	152.6 (*)	23	30

Graf 9  
IV carico RDF  
IN/OUT Metalli pesanti

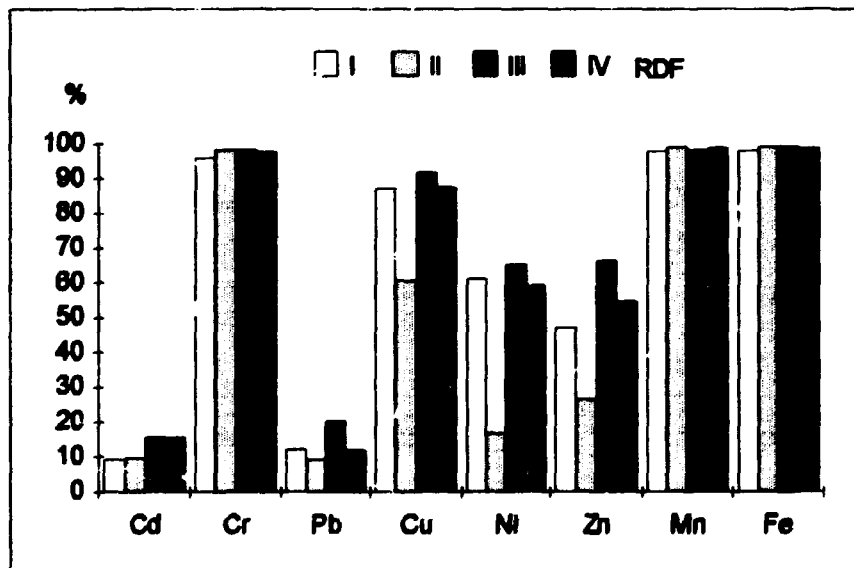


(\*) Lo zolfo in uscita nel flue gas e' stato determinato come somma del contenuto di  $SO_2$  e  $SO_4^{=}$ .

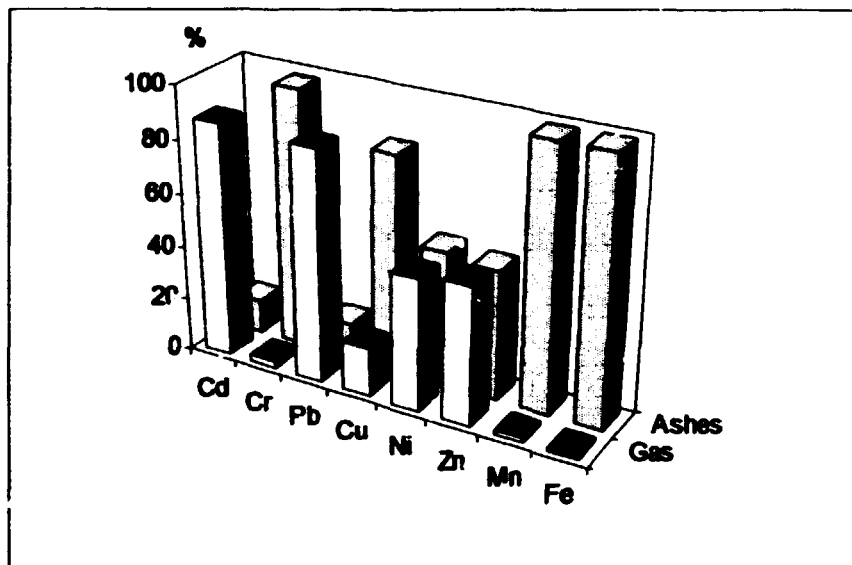
**Graf 10**  
**Metalli pesanti (%) nel flue gas per i vari carichi di RDF**



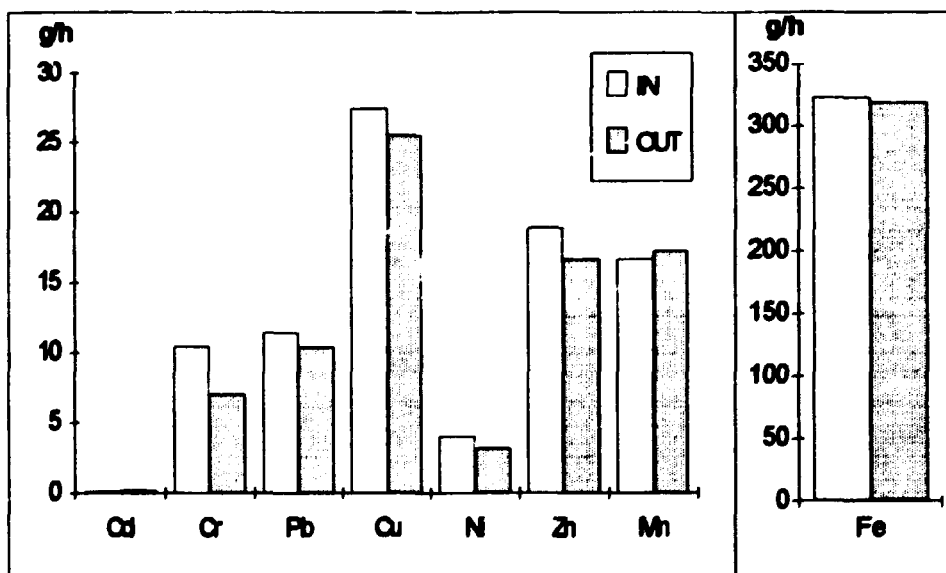
**Graf 11**  
**Metalli pesanti (%) nelle bottom ashes per i vari carichi di RDF**



**Graf 12**  
**Ripartizioni percentuali metalli pesanti tra Flue gas/Bottom ashes**  
**(Valori mediati fra tutti i carichi di RDF)**



**Graf 13**  
**Bilancio medio globale IN/OUT dei Metalli Pesanti su tutti i carichi di RDF**





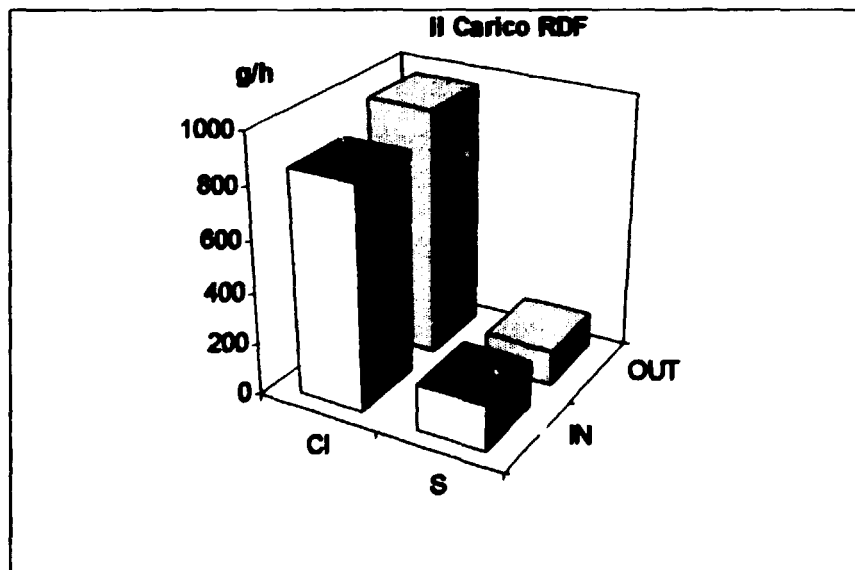
### 3.8.5 BILANCI CLORO E ZOLFO

I bilanci del cloro e dello zolfo sono stati effettuati considerando come effluenti le quantità presenti nei fumi secchi, nelle condense e nelle ceneri pesanti di combustione. Le quantità trovate nelle acque di spegnimento delle ceneri, per i motivi precedentemente riportati, è un dato solo indicativo e non può essere utilizzato per un bilancio materia.

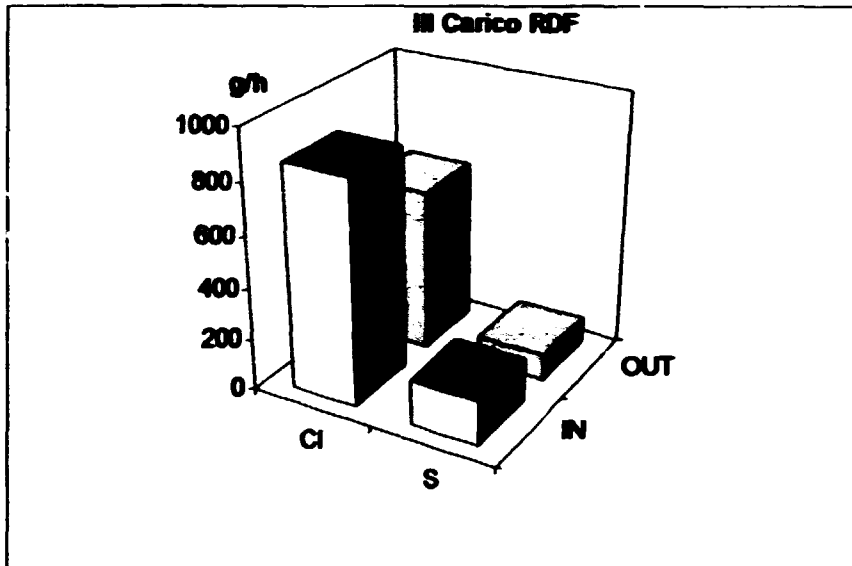
Tab 18  
Bilanci del cloro e dello zolfo (g/h)

	II Carico		III Carico		IV Carico	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
Cl	864	960	870	627	909	534
S	180	138	174	105	230	176

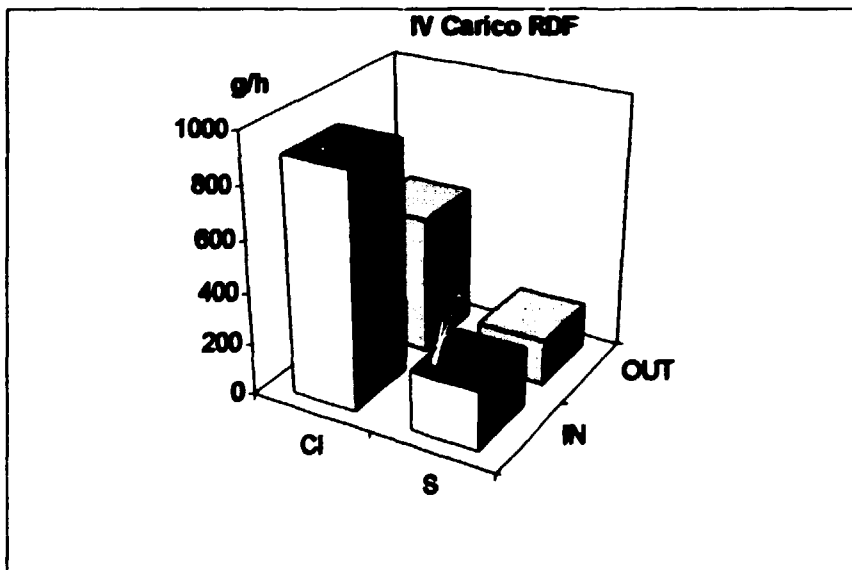
Graf 14  
Bilanci del cloro e dello zolfo  
II carico di RDF



**Graf 15**  
Bilanci del cloro e dello zolfo  
III carico di RDF



**Graf 16**  
Bilanci del cloro e dello zolfo  
IV carico di RDF



## 4.0 VALUTAZIONI

I dati a disposizione consentono di evincere le seguenti considerazioni:

- viene confermata la pressoché completa evaporazione del mercurio alle temperature adottate nella sperimentazione, che sono quelle normalmente utilizzate negli inceneritori di RSU. Tale andamento è dovuto al bassissimo punto di ebollizione del metallo ed alla formazione di composti altamente volatili come cloruri e solfati;

- il cadmio si ritrova nei fumi in percentuali elevate (80-90 %), in accordo ai risultati ottenuti da Brunner e Monch [3] su inceneritori a griglia di rifiuti solidi urbani in Svizzera e parzialmente con quelli di K. Carlsson [1] in Svezia i quali danno percentuali di evaporazione variabili in un campo molto più ampio;

- le percentuali di piombo nei fumi di combustione sono relativamente elevate. Ciò sembra contrastare con il fatto che la temperatura di ebollizione del metallo è notevolmente alta (1740 °C), però la presenza di elementi non metallici quali il fluoro, lo zolfo ed in modo particolare il cloro, presente nell'RDF in concentrazioni generalmente superiori rispetto a quelle trovate negli RSU, giocano un ruolo importante nella formazione di composti volatili del metallo e quindi nella sua presenza nei fumi più elevata rispetto a quella registrata nei fumi da incenerimento di RSU tal quali;

- i risultati delle concentrazioni di HCl nei fumi di combustione fanno ritenere che la procedura di campionamento dei fumi tramite gorgogliamento in soluzioni basiche assorbenti (UNICHIM N. 621) presenta in sé degli aspetti di notevole criticità per quanto attiene all'efficienza di captazione. Infatti, anche lavorando con elevati volumi di soluzioni assorbenti, che garantiscono la loro non saturazione, e con bassi flussi di campionamento (circa 1 l/min), non si raggiungono efficienze di cattura dell'HCl più elevate. D'altra parte i risultati delle determinazioni di HCl sulle condense delle linee di campionamento isocinetico delle polveri, danno una concentrazione di HCl nei fumi nettamente superiore.

Occorreranno altre sperimentazioni di campionamento investigando ulteriormente i parametri operativi (flussi di campionamento inferiori, geometria e volumi dei gorgogliatori diversi, ecc.) per poter arrivare a definire delle condizioni ottimali ed efficienze accettabili.

## 5.0 METODOLOGIE ANALITICHE

Si riportano le metodologie seguite nei campionamenti e nelle determinazioni analitiche effettuate, distinte per matrice e per analita.

### 5.1 CAMPIONAMENTI

**UNICHIM N. 122** per il campionamento isocinetico di materiale particellare in flussi gassosi convogliati.

**UNICHIM N. 631** per il campionamento e determinazione di Composti Organici Volatili.

**UNICHIM N. 621** per il campionamento e determinazione di HCl ed HF in flussi gassosi.

### 5.2 CARATTERIZZAZIONE RDF

**ASTM E790** per la determinazione dell'umidità residua.

**ASTM E830-87** per la determinazione del tenore in ceneri.

**ASTM E776-87** per la determinazione dei cloruri totali (combustione in bomba di Mahler e determinazione mediante cromatografia ionica).

**IRSA-CNR**, Quaderni Analitici per i fanghi, per la determinazione dei cloruri minerali (estrazione in acqua e determinazione mediante cromatografia ionica).

**ASTM E711-87** per la determinazione del potere calorifico.

L'analisi elementare per la determinazione di C,N,H,S ed O è stata effettuata mediante analizzatore automatico. Il metodo è basato sulla conversione mediante combustione dei primi quattro elementi rispettivamente in CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ed SO<sub>2</sub>, nella loro separazione in colonna cromatografica e nella determinazione in termocoducibilità. Per l'ossigeno il campione viene sottoposto a pirolisi con conversione quantitativa in CO.

Sulla base dei risultati l'analizzatore fornisce anche i valori del potere calorifico.

**ASTM E829** per il trattamento del campione e la determinazione dei metalli pesanti.

**UNICHIM N. 723** per il trattamento del campione e la determinazione del mercurio.

### 5.3 CARATTERIZZAZIONE EMISSIONI

**UNICHIM N. 723** per il trattamento del particolato e la determinazione dei metalli pesanti.

**UNICHIM N. 621** per il campionamento e la determinazione, mediante cromatografia ionica, di HCl ed HF.

I gas tossici sono stati analizzati con strumentazioni automatiche sia con misure in continuo che puntuali.

#### 4.4 CARATTERIZZAZIONE CENERI

IRSA-CNR, Quaderni Analitici per i fanghi, per il trattamento del campione volto alla determinazione dei metalli pesanti compreso il mercurio.

EPA N. 3050 per il trattamento del campione e la determinazione dei metalli pesanti.

IRSA-CNR, Quaderni Analitici per i fanghi, per la determinazione dei cloruri salini.

Lo zolfo è stato determinato mediante analizzatore automatico, la cui procedura è precedentemente descritta.

#### BIBLIOGRAFIA \_\_\_\_\_

1) K. Carlsson (1986) "Heavy metals from "energy from waste" plants. Comparison of gas cleaning systems". Waste Management & Research, 4, 15-20.

2) H. Vogg, et al. (1986) "The specific role of cadmium and mercury in municipal solid waste incineration". Waste Management & Research, 4, 65-74.

3) P. H. Brunner et al. (1986) "The flux of metals through municipal solid waste incinerators", Waste Management & Research, 4, 105- 119.

4) M. Giugliano, S. Cernuschi (1988) "Le emissioni ed il significato ambientale di microinquinanti dalla combustione di rifiuti", Congresso Internazionale "Recupero di energia e materiali dai rifiuti".

5) T. G. Brna (1991) "Toxic metal emission from MWCs and their control", U. S. EPA/JA&WMA Specialty Conference.

6) M. Coronidi, E. Ranaldi, M. Zagaroli (1992) "Campagna sperimentale su impianto pilota per la depurazione dei fumi di un inceneritore" , Atti del I Simposio Italo-Brasiliano di Ingegneria Sanitaria-Ambientale.

**Edito a cura dell'ENEA, Direzione Relazioni Esterne  
Viale Regina Margherita, 125 - Roma  
Finito di stampare nel mese di novembre 1993  
presso il Laboratorio Tecnografico**