

Determinazione dell'energia ottenuta dalla combustione dei rifiuti

La ricerca ha individuato i parametri necessari per poter applicare correttamente il sistema dell'Emission Trading occorrente a fare rispettare i contenuti del protocollo di Kyoto sull'inquinamento atmosferico **G. Ferrari^o, M.Nenci^{oo}, N. Ferrari^{ooo}, A. Bonomo^{oooo}**

Il cambiamento del clima, causato da un aumento insostenibile della concentrazione di gas ad effetto serra in atmosfera rappresenta una seria minaccia che nessuno può più ignorare.

Per scongiurare un danno irreversibile, le cui conseguenze cadrebbero soprattutto sulle future generazioni, i paesi più industrializzati hanno pianificato una serie di interventi per ridurre nel tempo la concentrazione atmosferica dei composti gassosi ad effetto serra, senza causare danni economici al settore produttivo.

Tali interventi sono riassunti nel protocollo di Kyoto, città in cui si è svolta la riunione dei paesi industrializzati, e costituiscono un primo passo per salvaguardare il clima dalle continue forme di inquinamento a cui esso è sottoposto.

Purtroppo il nostro Paese, a fronte di un impegno di riduzione del 6,5 % rispetto ai livelli del 1990 continua ad aumentare le sue emissioni di gas serra: nel 2005 si è calcolato un aumento pari al 13% della quantità emessa nel 1990.

Per cercare di aggiornare il protocollo di Kyoto la Comunità Europea ha emanato la direttiva n.87 del 13 ottobre 2003 che istituisce un sistema di scambio delle quote di emissione dei gas serra.

La direttiva è intesa a contribuire ad un più efficace adempimento degli impegni



Area operativa di intervento

da parte della Comunità europea e dei suoi Stati membri mediante un efficiente mercato europeo delle quote di emissione dei gas ad effetto serra, con la minor riduzione possibile dello sviluppo economico e dell'occupazione.

Tale meccanismo previsto dal Protocollo di Kyoto, consente ai paesi industrializzati e con economie di transizione di commerciare tra loro unità di riduzione delle emissioni di gas serra per raggiungere il proprio obiettivo quantificato di limitazione/riduzione.

Per tale ragione, al pari degli altri Stati la nostra Nazione ha elaborato il piano

nazionale per la determinazione delle quote di emissioni che intende assegnare per il triennio 2005 – 2008 con le conseguenti modalità di assegnazione.

Per attuare le disposizioni della direttiva 2003/87 CE la Commissione delle Comunità Europee ha istituito, con decisione del 29 Gennaio 2004, le linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas ad effetto serra, le quali sono basate sui principi dell'allegato IV della direttiva in questione.

Le linee guida fissano i criteri dettagliati per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas ad effetto serra,

provenienti da ciascuna delle attività di seguito elencate: attività energetiche; produzione e trasformazione dei metalli ferrosi; industria dei prodotti minerali e altre attività.

I parametri stabiliscono inoltre i criteri da applicare all'atto della verifica funzionale degli impianti.

Uno step necessario di tale verifica risulta essere il controllo delle emissioni di biossido di carbonio, le quali vengono monitorate sulla base di specifici accertamenti analitici, correlati all'applicazione di una serie di calcoli e misurazioni.

Sulla base di quanto indicato L'ASM di Brescia, consapevole dell'importanza che connota in questo contesto la combustione dei rifiuti trattati presso il proprio termoutilizzatore, ha ritenuto doveroso effettuare una serie di indagini analitiche atte a determinare il fattore di emissione prodotto dai rifiuti medesimi.

L'indagine, affidata alla Società GFambiente, è stata effettuata applicando i metodi indicati dall'attuale normativa.

Metodologia dell'indagine

Il lavoro, sulla base delle indicazioni emerse durante la conferenza mondiale sull'energia tenutasi a Kyoto, è stato sviluppato prendendo in considerazione l'applicazione della direttiva sull'Emissions Trading e quella relativa alle procedure per la qualificazione di impianti a fonti rinnovabili e di impianti a idrogeno, celle a combustibile e di cogenerazione abbinata al teleriscaldamento ai fini del rilascio dei certificati verdi.

La ricerca analitica è stata eseguita basandosi sulle linee guida della Commissione Europea DEC/RAS/2179/2004 del 29 Gennaio 2004, aventi come oggetto il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra, ai sensi della direttiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio e sulle linee guida per la valutazione dell'energia elettrica rinnovabile imputabile alla

parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

L'energia ottenuta dalla frazione organica di origine biologica generata dalla combustione dei rifiuti consente il riconoscimento da parte dello Stato dei cosiddetti certificati verdi attraverso i quali un impianto di incenerimento acquisisce benefici economici per il recupero di elettricità.

Linee guida per il monitoraggio

L'indagine sperimentale è stata condotta per determinare la valutazione della quota di energia elettrica prodotta da imputare alla parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani e per il conseguente calcolo delle emissioni di CO₂ seguendo le linee guida indicate dalla Comunità Europea.

La determinazione dell'Anidride Carbonica si effettua moltiplicando i dati dell'attività specifica dell'impianto per il fattore di emissione e per il fattore di ossidazione.

Tale procedura deve essere eseguita sia per entrambi i tipi di emissioni, ossia emissioni di combustione ed emissioni di processo. I dati relativi all'attività si basano sul consumo del combustibile, il quale generalmente viene espresso in termini di contenuto energetico.

Il fattore di emissione rappresenta la

quantità di CO₂ in tonnellate prodotta per TJ. Il fattore di Ossidazione, considerando che la combustione non avviene mai completamente, tiene conto del carbonio non ossidato e viene espresso in forma frazionaria.

Per il calcolo delle emissioni di processo i dati relativi all'attività si basano sul consumo di materiale, sulla carica di alimentazione o sulla produzione in uscita e sono espressi in t o m³, il fattore di conversione tiene conto del carbonio contenuto nei materiali in entrata e non convertito in CO₂ e viene espresso in forma frazionaria. Se il fattore di emissione tiene conto di un fattore di conversione, non si applica un fattore di conversione distinto.

Il fattore di emissione legato al processo è calcolato in tonnellate di CO₂ per tonnellata o metro cubo di materiale.

Per convertire il carbonio in anidride carbonica si utilizza un fattore pari a 3,667 tCO₂/tC. Ai fini del calcolo la CO₂ prodotta dalla combustione della biomassa è considerata neutra, pertanto per tale frazione si applica un fattore di emissione pari a 0.

Quindi per combustibili o materiali contenente carbonio sia fossile che da biomassa si applica un fattore di emissione ponderato, basato sul rapporto tra il carbonio fossile e il contenuto totale del carbonio del combustibile.

Pesatura delle frazioni





Rifiuti contenenti carbonio di origine fossile

Il calcolo deve essere effettuato in modo trasparente e documentato seguendo procedure specifiche CEN o ISO.

Sperimentazione

La prima fase dell'indagine è stata condotta per determinare la composizione merceologica su una serie di campioni ottenuti dai rifiuti raccolti nel territorio della provincia di Brescia in modo da avere una buona rappresentatività degli scarti adottati all'impianto di incenerimento.

Per tale ragione le analisi sono state eseguite sui rifiuti provenienti dalle zone di pianura, montane e dalla metropoli cittadina.

Le analisi relative ai rifiuti urbani sono state eseguite prelevando dai diversi automezzi, adibiti alla raccolta, una significativa quantità di scarti.

I compattatori, in arrivo all'impianto di Brescia, scaricavano i rifiuti direttamente nell'aria antistante la fossa del termoutilizzatore, preventivamente preparata per evitare la dispersione di eventuale percolato.

Il cumulo dei rifiuti oggetto del campionamento è stato quindi disteso in modo da formare una torta omogenea; dopo aver separato e pesato tutti gli ingombranti è stato prelevato un campione di circa 200 kg mediante la procedura dell'inquartamento progressivo.

Da tale campione sono state separate diverse frazioni, distinte come segue: materiali biodegradabili, frazione organica non biodegradabile e materiali inerti.

I risultati di volta in volta ottenuti sono stati registrati in una scheda cartacea e successivamente caricati su PC per l'elaborazione mediante software specifico.

Infine, da ogni frazione separata, si è

provveduto a prelevare una quantità di scarti percentualmente corrispondente alla quantità ottenuta dalle analisi merceologiche; in questo modo è stato possibile costituire un campione significativo analogo alla composizione dei rifiuti di partenza, destinato alle analisi chimico fisiche di laboratorio.

Le frazioni merceologiche analizzate, si possono riassumere come segue:

-Sottovaglio mm 4: è il materiale che permane in un setaccio con maglie di larghezza pari a 4 mm, ed è costituito prevalentemente da polveri varie, materiale organico. Su tale frazione è stata determinata, mediante procedimento chimico, la percentuale di sostanza organica biodegradabile. La componente che non attraversa le maglie è considerata all'interno della frazione degli inerti.

-Scarti alimentari, carta e cartone, verde città legno, stracci e tessuti pelle e gomme, pannolini: tali frazioni vengono tutte considerate come biomassa

-Plastica leggera: è composta prevalentemente da polietilene, polipropilene e polistirene espanso. Tale frazione è rappresentata in gran parte da sacchetti, sportine, film plastici, polistirolo da imballo, ecc. Questa frazione rappresenta parte della sostanza organica non biodegradabile.

-Plastica pesante: composta prevalentemente da P.V.C., polietilene ad alta densità, polistirene e copolimeri antiurto. Questi materiali sono usati per produrre oggetti come giocattoli, accessori e componenti per automobili, prodotti per ufficio, ecc. La frazione plastica pesante rientra nel gruppo della sostanza organica non biodegradabile.

-Tappeti e Stuoie: pur avendo alcune analogie con i tessili la frazione viene considerata all'interno del gruppo sostanza organica non biodegradabile.

-Vetro: lampadine, lastre, bottiglie liquide, derivati da attività di muratura, spazzamento e giardinaggio (pietrisco, sassi, cocci, ceramica, ecc.). Il vetro è considerato nel gruppo degli inerti.

-Pietre e sassi: derivati da attività di muratura e spazzamento quali pietrisco, sassi, cocci, ceramica, ecc. Tale frazione

è considerata inerte.

-Metalli non ferrosi: lattine, imballaggi di alluminio, vaschette, tubi, manufatti di piombo ecc. anche tale frazione è negli inerti.

-Ferro: oggetti come ferri da stiro, posateria ed elementi d'arredo. I principali scarti in metallo sono in ferro e sue leghe (spesso rivestito superficialmente con altri metalli più "nobili" quali cromo, nichel e zinco) a cui seguono quelli composti d'acciaio inox. Il ferro rientra nella frazione degli inerti.

-Altri non classificabili: sono scarti difficilmente riconducibili alle frazioni precedentemente descritte.



Rifiuti contenenti carbonio di origine biologica



Rifiuti contenenti carbonio di origine biologica

Determinazione del fattore di emissione

Per la determinazione del fattore di emissione le analisi merceologiche hanno previsto l'accorpamento delle diverse frazioni in tre grandi categorie: frazione biodegradabile, frazione composta da sostanza organica non biodegradabile ed infine frazione degli inerti.

Dopo la determinazione del peso di ciascuna frazione è stato eseguito il cal-

colo della percentuale in peso (riferito al secco) di ognuna di esse rispetto al campione dei rifiuti esaminato.

I risultati sono espressi in percentuale di potere calorico legato alla frazione biodegradabile rispetto al rifiuto secco, determinando sperimentalmente il potere calorico netto di ognuna delle tre frazioni, previa macinazione sotto 1 mm.

In via precauzionale la frazione non classificabile è stata considerata nella frazione inerte o in quella di sostanza organica biodegradabile.

La formula applicata è la seguente:

$$M = F * Q_b / (F * Q_b + G * Q_{nb} + H * Q_i) * 100$$

dove

- M è la percentuale di potere calorico legato alla frazione biodegradabile rispetto al rifiuto secco (MJ in percentuale sul rifiuto secco).

- F è la percentuale in peso di frazione biodegradabile rispetto al rifiuto secco (kg in percentuale sul rifiuto secco).

- Q_b è il potere calorico netto (MJ/kg di frazione secca) della frazione biodegradabile.

- G è la percentuale in peso di frazione di sostanza organica non biodegradabile rispetto al rifiuto secco (kg in percentuale sul rifiuto secco)

- Q_{nb} è il potere calorico netto (MJ/kg di frazione secca) della frazione di sostanza organica non biodegradabile.

- H è la percentuale in peso di frazione inerte rispetto al rifiuto o RIFIUTI secco (kg in percentuale sul rifiuto secco)

- Q_i è il potere calorico netto (MJ/kg di

Rifiuti inerti



COMPOSIZIONE MERCELOGICA DEI RIFIUTI RACCOLTE NELLE DIVERSE ZONE				
Frazione	Zona montana % in peso	Zona Pianura % in peso	Zona Turistica % in peso	Zona Città % in peso
Organico	28,93%	29,60%	26,53%	26,83%
Carta e cartone	20,13%	22,92%	20,58%	21,91%
Legno	1,80%	2,67%	2,58%	2,92%
Tessuto	3,18%	2,47%	4,79%	4,68%
Idumenti	4,87%	4,95%	6,11%	4,48%
Pelle e Gomma	2,78%	2,64%	1,92%	2,14%
Plastica soffice	11,93%	10,83%	11,21%	15,03%
Plastica rigida	6,41%	6,74%	8,15%	7,82%
Tappeti e stuoie	1,79%	0,71%	0,26%	0,28%
Vetro	5,02%	4,83%	4,38%	4,41%
Ferro	3,25%	2,81%	2,74%	2,38%
Metalli non ferrosi	1,18%	0,83%	0,82%	0,94%
Pietre/sassi	3,61%	2,28%	3,98%	3,37%
Sabbia ed inerti < 4 mm	5,13%	5,72%	5,95%	2,81%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabella 1

frazione secca) della frazione inerte.

La somma dei termini

$$(F * Q_b + G * Q_{nb} + H * Q_i)$$

corrisponde al potere calorico netto (Q_{tot} in MJ/kg di rifiuto secco) del rifiuto tal quale.

Se la frazione inerte è formata solo da materiale realmente inerte e quindi privo di potere calorico, il termine $H * Q_i$ può essere assunto uguale a 0.

Risultati e discussione

La tabella n. 1 illustra i risultati ottenuti dalle analisi effettuate nelle 4 zone rappresentative del territorio dell'intera provincia di Brescia.

I rifiuti analizzati hanno una composizione merceologica tipica dei campioni provenienti dalla raccolta con contenitore stradale. La differenza tra i valori delle singole frazioni rispecchia la normalità, considerando la difformità socioeconomica presente nelle diverse zone di raccolta.

In tutti e quattro i campioni sono presenti in

maggiore misura i rifiuti organici di mensa (valore pari al 28,93%, 29,60%, 26,53% e 26,83%), cui segue quello della categoria cellulose (20,13%, 22,92%, 20,58%, 21,91%) e della plastica (18,34%, 17,57%, 19,36%, 22,85%). I tessili hanno un contenuto medio pari a 9,84% nel campione proveniente dalla pianura, 8,14% da quello montano, 10,16 nel rifiuto proveniente dalla zona turistica e 9,44% in quello di Brescia città.

Il materiale passante un vaglio da 4 mm risulta pari a 5,13% per la zona di pianura 5,72% per la zona montana e 10,16% per i rifiuti provenienti dall'area turistica e 2,81 dalla Città di Brescia.

Per quanto riguarda l'entità dei tre grandi gruppi di materiali i cui valori sono necessari per la determinazione del fattore di emissione essi risultano pari a:

- Pianura: rifiuti biodegradabili 62,70%; rifiuti organici non biodegradabili 20,13% e inerti 18,18%;

- Montagna: rifiuti biodegradabili 65,26%; rifiuti organici non biodegradabili 18,28% e inerti 16,46%;

- Turistica: rifiuti biodegradabili 62,51%; rifiuti organici non biodegradabili 19,62% e inerti 17,87%.

- Città: rifiuti biodegradabili 62,96%; rifiuti organici non biodegradabili 23,13% e inerti 13,92%.

Emission trading

Sulla base di quanto descritto nei riferimenti normativi, i campioni dei rifiuti, dopo le preparazioni all'uso necessarie, sono stati sottoposti agli accertamenti analitici necessari per la valutazione energetica.

La Tabella n. 3 riporta i risultati delle analisi distinti per le zone caratteristiche dell'ambito d'intervento. In queste sono indicati anche i valori di alcuni parametri ambientali utili per eventuali bilanci di materia.

Sulla base dei risultati conseguiti è stato quindi determinato il fattore di emissione calcolando quest'ultimo in base alle analisi eseguite da GFambiente.

I valori relativi alla quantità di potere calorifico dovuti alla componente organica biodegradabile e non biodegradabile dei rifiuti relativamente ai quattro campioni analizzati e nel contempo il dato corrispondente del fattore di emissione sono illustrati nella

COMPOSIZIONE MERCEOLOGICA MEDIA		
Frazione		Procedura rilascio CO
Organico	28,05%	S.O. Biod.
Carta e cartone	21,71%	
Legno	2,59%	
Tessuto	3,72%	
Indumenti	4,95%	
Pelle e Gomma	2,38%	63,40%
Plastica soffice	12,56%	S.O. non Biod.
Plastica rigida	7,27%	
Tappeti e stuoie	0,69%	
Vetro	4,65%	inerte
Ferro	2,73%	
Metalli non ferrosi	0,93%	
Pietre/Sassi	3,16%	
Sabbia ed inerti < 4 mm	4,63%	
TOTALE	100,00%	16,09%

Nella tabella sopra viene riassunta la composizione merceologica dei rifiuti urbani generati nell'intero territorio ottenuta mediante media ponderale dei valori riscontrati dalla sperimentazione

tabella n. 4.

Mentre nella tabella n. 5 sono illustrati i valori riferiti alla composizione media dei rifiuti inviati al termoutilizzatore di Brescia e nella tabella 6 i relativi dati energetici e del fattore di emissione.

Per quanto riguarda il recupero dell'energia elettrica ottenuto dalla combustione dei rifiuti a prevalente carbonio di origine biologica, considerando il potere calorifico medio sul tale e quale di questa frazione pari a 7.347,57 kJ/kg, il rendimento sulla produzione di energia elettrica del 27% e la quantità dei rifiuti urbani trattati complessivamente in un anno pari a 427.602 t/anno si ha:

$$(T_{RSU} \times F_{ORG} \times R_{eltr} \times kJ_t) / f_{conv} = P_{rec}$$

dove:

T_{RSU} : quantità di rifiuti urbani smaltiti nell'impianto di termoutilizzazione

F_{org} : frazione di rifiuti urbani a contenuto di carbonio di origine biologica

R_{eltr} : indice di rendimento di conversione in energia elettrica

k_{jt} : energia potenziale contenuta nei rifiuti con carbonio di origine biologica

f_{conv} : fattore conversione kJ in kW

Tabella 3

TABELLA RICAPITOLATIVA DEI RISULTATI				ZONA	
Parametri	Unità di misura	PIANURA	MONTAGNA	TURISTICA	CITTÀ
P.C.I. sul rifiuto secco	kJ/kg	12.736	12.589	13.222	15.093
Potere cal. netto frazione bio secco	kJ/kg	11.931	11.634	12.763	13.575
Potere calorifico netto frazione non bio secco	kJ/kg	26.706	27.336	26.729	28.304
Potere calorifico netto frazione inerti secco	kJ/kg	0	0	0	0
Potere calorifico sul Tale quale	kJ/kg	10.046	9.998	10.515	12.526
Umidità di massa	%	24,58	24,84	23,70	21,55
Carbonio totale	%s.s	36,02	39,89	39,77	43,55
Carbonio di origine biologica	%s.s	23,95	28,46	27,42	28,44
Carbonio origine fossile	%s.s	12,08	11,44	12,35	15,11
Cloro in massa	%s.s	0,35	0,28	0,36	0,37
Zolfo in massa	%s.s	0,17	0,12	0,16	0,17
Ceneri sul secco in massa	%s.s	36,00	34,15	33,60	29,37
Pb (volatile) sul secco in massa	mg/kg	7,86	12,51	2,87	20,71
Cr sul secco in massa	mg/kg	13,22	12,50	12,87	12,64
Cu (composti solubili) sul secco in massa	mg/kg	8,92	9,69	15,47	17,36
Mn sul secco in massa	mg/kg	33,90	19,44	33,11	33,54
Ni sul secco in massa	mg/kg	12,19	8,74	12,24	12,60
As sul secco in massa	mg/kg	2,05	3,76	1,66	6,02
Cd + Hg sul secco in massa	mg/kg	0,28	0,21	0,28	0,29
Rammollimento ceneri	°C	>1050	>1050	>1050	>1050
Fattore emissione tCO ₂ /TJ (combustione)	t	41,27	39,459	39,908	41,845
Fattore di emissione tCO ₂ /t (processo)	t	0,415	0,395	0,420	0,524

VALORI ANALISI ENERGETICHE		Zona Pianura	Zona Montana	Zona Turistica	Città
Parametri					
Potere calorifico sul secco frazione bio	kJ/kg	11.931,10	11.634,18	12.763,25	13.574,88
Potere calorifico sul secco frazione non bio	kJ/kg	26.705,51	27.335,96	26.728,88	28.303,79
Potere calorifico sul tale e quale frazioni bio	kJ/kg	8.176,68	8.156,73	9.104,91	10.111,31
Potere calorifico sul tale e quale frazione non bio	kJ/kg	24.847,82	25.576,13	24.588,05	26.634,78
% apporto calorico frazione non bio sul tale e quale		51,58%	48,42%	47,95%	50,70%
% apporto calorico frazione bio sul tale e quale		48,42%	51,58%	52,05%	49,30%
Fattore di emissione in tCO ₂ /t sul tale e quale		0,4146	0,3945	0,4196	0,5242

Tabella 4

P_{rec} : energia elettrica recuperata in un anno in kw/h

Sostituendo i valori

$$\frac{427.602 \times 0,634 \times 0,27 \times 7.347.570}{3.954,8} = 135.990.265 \text{ kw/h anno}$$

Conclusioni

Con il presente lavoro sono stati determinati i parametri necessari per poter applicare correttamente il sistema dell'Emission Trading occorrente a fare rispettare i contenuti del protocollo di Kyoto sull'inquinamento atmosferico.

Mediante la determinazione della frazione biogenica e non biogenica, ottenuta dopo approfondita analisi dei rifiuti inviati alla termocombustione, si è calcolato il fattore di emissione secondo le procedure indicate negli atti di decisione della Commissione del 29 gennaio 2004 che istituisce le linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra ai sensi della direttiva 2003/87/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio.

Le analisi, ai fini della massima rappresentatività dei risultati, sono state condotte seguendo le procedure ufficiali e con una strumentazione di ultima generazione di grande precisione.

I fattori di emissione così determinati sono basati sul tenore di carbonio dei materiali in entrata e sono espressi in tCO₂/TJ (emissioni di combustione) e in tCO₂/t (emissioni dio processo). Il valore del fattore per convertire il

Carbonio in CO₂ utilizzato è stato pari a 3,667 [tCO₂/tC].

Nel calcolo la Biomassa (contente il Carbonio di origine biologica) è stata

considerata neutra intermini di CO₂ e ad essa è stato applicato un fattore di emissione pari a 0 tCO₂/TJ

Il lavoro è stato quindi completato calcolando la quantità di energia elettrica che nell'ultimo anno è stata prodotta dall'impianto di Brescia riguardo la combustione della frazione organica contenente carbonio di origine biologica e non fossile. Tale dato, in base all'attuale normativa italiana, risulta molto importante al fine del riconoscimento dei cosiddetti certificati verdi che hanno sostituito il sistema del CIPS 6.

Tabella 5

TABELLA RIFERIMENTO NORMATIVA		
Parametro	n.m.	media rifiuto
P.C.I. sul rifiuto secco	KJ/Kg	13.129
Potere cal. netto frazione bio secco	KJ/Kg	11.894
Potere calorifico netto frazione non bio secco	KJ/Kg	0
Potere calorifico netto frazione inerti secco	KJ/Kg	0
Potere calorifico sul Tale quale	KJ/Kg	9.680
Umidità in massa	%	27,74
Cloro in massa	%	0,36
Zolfo in massa	%	0,17
Ceneri sul secco in massa	%	34,23
Pb (volatile) sul secco in massa	mg/Kg	7,88
Cr sul secco in massa	mg/Kg	13,04
Cu (composti solubili) sul secco in massa	mg/Kg	8,78
Mn sul secco in massa	mg/Kg	34,20
Ni sul secco in massa	mg/Kg	12,48
As sul secco in massa	mg/Kg	2,03
Cd+Hg sul secco in massa	mg/Kg	0,29
Rammollimento ceneri	°C	>1050

Tabella 6

VALORI ANALISI ENERGETICHE		
	Velori GF	Unità di misura
Potere calorifico sul secco frazione bio	11.893,96	kJ/kg
Potere calorifico sul secco frazione non bio	27.249,18	kJ/kg
Potere calorifico sul tale e quale frazioni bio	7.347,57	kJ/kg
Potere calorifico sul tale e quale frazione non bio	24.483,05	kJ/kg
% apporto calorico frazione non bio sul tale e quale	54,54%	i
% apporto calorico frazione bio sul tale e quale	45,46%	i
Fattore di emissione in tCO ₂ /t sul tale e quale	0,4099	t

° G. Ferrari: Docente in Igiene Ambientale e Chimica dell'Ambiente Università Ferrara; Presidente GFambiente S.r.l.

°° N. Ferrari: Responsabile attività Laboratorio GFambiente S.r.l.

°°° A. Bonomo: Manager area Impianti A2A

°°°° M. Nenci: Responsabile tecnico Termocombustore Brescia A2A

Bibliografia

Ferrari G., Sammito R., (1999): La valutazione delle caratteristiche dei rifiuti per la corretta progettazione e gestione di un termocombustore, Atti del Convegno "Utilizzazione Termica dei rifiuti", Abano Terme (PD).

APAT e ONR (Novembre 2007), Rapporto Rifiuti 2007, Roma

Corbitt R.A. (1990): Standard Handbook of Environmental Engineering. Ed. Mc. Graw-Hill New York.

Ferrari G. (1996): I rifiuti città per città. Gea . IX 4 1996 p. 11. Ed. Maggioli Rimini

Weitz K. Ranjithan R., Nishtala S., Barlaz M. (1997): Using life-cycle management to evaluate integrated municipal solid waste management strategies. Proc. Of the international Congress r 97. Recovery Recycling , Reintegration. Geneva, Switzerland February 1997 p.41

Ferrari G., Sammito R., Gregorio P. (2002): La valutazione delle caratteristiche dei rifiuti per una gestione dei rifiuti ambientalmente compatibile. Atti del Convegno SITI (FE)

W. J. Mitsch S. E. Jorgensen: Ecological Engineering An Introduction to Eco-technology: Ed J. Wiley and Sons New York 1998.

Direttiva 2003/3/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 ottobre

2003. Comunità Europea.

Ministero Ambiente: Dec/ras/854/05 disposizioni di attuazione della decisione della Commissione Europea (C(2004) 130 del 29 Gennaio 2004 che istituisce le linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas ad effetto serra ai sensi della direttiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio. (Ministero Ambiente 2005).

Johansson. L.G., O. Lindqvist, and R.E. Mangio. Corrosion of Calcareous Stones in Humid Air Containing SO₂ and NO₂. Durability of Building Materials 5, 1998, 439-449.

Palmes E.D., Gunnison A.F. Personal monitoring device for gaseous contaminants Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 34, (1976) 78-81.

Mosconi E. I costi esterni e sociali dell'inquinamento atmosferico outdoor Edizioni Aracne (2006)

G. Ferrari: Docente In Igiene Ambientale e Chimica dell'Ambiente Università Ferrara;

Presidente GFambiente S.r.l.

N. Ferrari: Responsabile attività Laboratorio GFambiente S.r.l.

A. Bonomo: Manager area Impianti A2A

M. Nenci: Responsabile tecnico Termocombustore Brescia A2A