



Giuseppe Viviano, Gaetano Settimo

Dipartimento Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria

Istituto Superiore di Sanità - Roma

LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI MEDIANTE INCENERIMENTO: ASPETTI AMBIENTALI E SANITARI

In Italia sono attivi 50 inceneritori, tutti dotati di una sequenza di tre/cinque sezioni di abbattimento degli inquinanti. Gli inceneritori trattano RSU tal quali, rifiuti residuali da raccolta differenziata o combustibili derivati dai rifiuti (CDR). Il recupero energetico è un aspetto essenziale nella mitigazione dell'impatto di questa tipologia di impianti, pur considerando che l'obiettivo principale di questo settore rimane appunto lo smaltimento del rifiuto.

La complessa problematica della corretta gestione dei rifiuti ha raggiunto negli ultimi mesi una conflittualità, ben lontana da una risoluzione. Per i rifiuti solidi urbani (RSU) l'attuale produzione pro capite nel territorio nazionale risulta essere di circa 550 kg/anno, con una tendenza ad un leggero aumento rispetto agli anni precedenti (11 kg rispetto al 2005). Di questi circa il 26% viene raccolto in maniera differenziata, circa il 48% dei RSU viene avviato tal quale in discarica e circa il 10% viene trattato mediante incenerimento. Mentre il trattamento biologico fa registrare un incremento del 7% delle quantità di rifiuti trat-

tati, facendo un rapporto tra la quantità incenerite e la quantità prodotta di RSU, nel 2006, si registra una percentuale invariata rispetto al 2005 [1].

La tecnica del trattamento termico dei rifiuti mediante incenerimento risale alla fine dell'Ottocento e aveva come obiettivo ragioni igieniche (eliminazione di odori da putrefazione, di percolati, di proliferazione di insetti, topi, randagismo ecc.) e di consistente riduzione delle masse e dei volumi da avviare a discarica. In questi primi impianti non si effettuava un recupero energetico, anche se già alla fine del 1800 in Germania erano operativi impianti che produceva-

no anche vapore e, tra il 1903 ed il 1905, si avevano negli Stati Uniti due impianti che effettuavano il teleriscaldamento e la cogenerazione [2]. Lo sviluppo di impianti di cogenerazione prese piede solo alla fine degli anni Sessanta, allorché, allo scopo di migliorare le emissioni in atmosfera, gli inceneritori furono dotati di sistemi di raffreddamento dei fumi con una sezione di recupero energetico. Attualmente, l'incenerimento è possibile solo se presenta un recupero di energia (termica o elettrica); generalmente, agli impianti di incenerimento vengono avviati oltre agli RSU tal quali, rifiuti residui da raccolta differenziata o combustibili derivati dai rifiuti (CDR). Il recupero energetico è un aspetto essenziale nella mitigazione dell'impatto di questa tipologia di impianti, pur considerando che l'obiettivo principale di questo settore rimane appunto lo smaltimento del rifiuto.

Questo aspetto è stato evidenziato anche nell'ultima proposta di direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai rifiuti presentata dalla Commissione che riporta: *"Gli stati membri considerano come operazioni di recupero, elencandole nell'allegato II, quelle che danno luogo ad un utile impiego dei rifiuti; tra queste le "operazioni di recupero come combustibile o altro mezzo per produrre energia". Gli impianti di incenerimento di RSU per essere compresi in dette operazioni, devono presentare una efficienza energetica ? a 0,60 per gli impianti anteriori al 2009 e 0,65 per gli impianti autorizzati successivamente. Detti coefficienti sono calcolabili secondo le indicazioni presenti nelle BAT Reference Waste Incineration"* [3].

I recenti dati nazionali su questo settore [1] indicano 50 impianti di incenerimento che trattano circa 4,5 Mt/anno di RSU insieme a rifiuti sanitari, rifiuti pericolosi e CDR, con un recupero di energia elettrica di 2872 GWhe (80% degli impianti) e di energia termica di 689 GWht (100% degli impianti). Detti impianti sono per la maggior parte dislocati nella parte nord del Paese (29 impianti, 70%); negli anni si è assistito ad una chiusura di inceneritori di piccola taglia e tecnologicamente obsoleti che, in parte sono stati sostituiti con impianti di maggiore potenzialità e tecnologie aggiornate [4-8].

Aspetti normativi

Attualmente il quadro normativo nazionale, in questo specifico settore, può considerarsi ormai completamente adeguato alle direttive comunitarie e rispondente alle moderne linee di indirizzo tecnologico. L'abrogato D.L.vo 22/97, per quanto riguarda il trattamento termico di rifiuti e loro derivati, considerava principalmente due aspetti:

- l'incenerimento, che dall'1/1/99 è autorizzato solo se accompagnato dal recupero energetico (allegato "B" "Incenerimento a terra" e "Incenerimento in mare");
 - la combustione a scopo di recupero energetico, che viene inserita tra le "operazioni di recupero" (allegato "C" "Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia").
- Per combustione si intende un processo di ossidazione chimica rapida con produzione di energia; nel caso dei rifiuti si può considerare:



CHIMICA & AMBIENTE



- l'incenerimento, ovvero l'ossidazione totale e veloce, in cui si realizza la combustione completa della frazione organica in eccesso di aria;
- la gassificazione, ovvero l'ossidazione incompleta in cui si realizza una combustione parziale dei rifiuti in difetto di ossigeno producendo il calore sufficiente alla decomposizione termica di parte dei materiali con produzione di gas;
- la pirolisi, ovvero la degradazione termica in assenza di ossigeno attraverso l'apporto di calore, per via diretta o indiretta, e produ-

zione di un aerosol ad alto potere calorifico che viene bruciato in un secondo stadio dello stesso impianto.

Nel recupero energetico sono compresi i combustibili derivati dai rifiuti (CDR), termine che ha sostituito il precedente *refuse derived fuel* (RDF). La produzione di CDR comporta, a seconda del prodotto di partenza, la separazione di altre frazioni che devono poi trovare il loro corretto ed economico trattamento, riutilizzo e destinazione finale. La combustione dei rifiuti può essere quindi attuata tal quale o utilizzando frazioni derivate, tenendo presente che l'obiettivo primario rimane quello di un trattamento che consenta uno smaltimento con un carico ambientale quanto più possibile contenuto.

Si possono quindi considerare essenzialmente:

- la combustione dell'*indifferenziato* o meglio del *residuale della raccolta differenziata* in impianti di incenerimento, che consente quantitativamente un maggiore recupero energetico; le scorie e le ceneri prodotte risultano maggiori rispetto agli altri casi;
- la combustione della frazione secca, ricavata dai rifiuti tal quale, in impianti di incenerimento; in questo caso si ha il problema della collocazione della frazione umida, prevalentemente organica, che va stabilizzata e per la quale può risultare problematico l'utilizzo a causa del basso livello qualitativo;
- la combustione di CDR secondo le specifiche del DM 5/2/98 che ne potrebbe consentire l'uso, oltre che in impianti di incenerimento, in altri impianti o in cocombustione, ad esempio in centrali termoelettriche alimentate a carbone o cementifici.

Tab. 1 - Limiti alle emissioni per gli impianti di incenerimento: normativa nazionale e UE

* mg/Nm ³ secchi 11% O ₂	D.Lgs. 11/5/05 n. 133 rifiuti	DM 25/2/00 n. 124 rifiuti pericolosi	DM 19/11/97 n. 503 RSU e RS	DM 12/7/90 vecchi impianti	Direttiva 2000/76/CE rifiuti	Direttiva 94/67/CE rifiuti pericolosi	Direttiva 89/369/CEE RSU
Materiale particellare	10-30	10-30	10-30	30-100	10-30	10-30	30-200
HCl	10-60	10-60	20-40	50-100	10-60	10-60	50-250
HF	1-4	1-4	1-4	2	1-4	1-4	-
SO ₂	50-200	50-200	100-200	300	50-200	50-200	300
NO ₂	200-400	200-400	200-400	500	200-400	-	-
CO	50-100	50	50-100	100	50-100 (150)	50	-
TOC	10-20	10-20	10-20	20	10-20	10-20	-
Cd, Tl, Hg**	0,05*	0,05*	0,05*	0,2	0,05*	0,05*	0,2
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5	0,5	0,5	5	0,5	0,5	5
IPA	0,01	0,01	0,01	0,1	-	-	-
PCDD + PCDF (ng/Nm ³)	0,1***	0,1***	0,1***	4,000	0,1***	0,1***	-

* Valori medi giornalieri e valori medi di punta (orari o semiorari); ** il limite si riferisce al Cd e Tl come somma e al Hg separatamente; *** espresso in termini di tossicità equivalente riferita alla 2,3,7,8 T₄CDD.

Per quanto riguarda gli aspetti inerenti le emissioni ed il loro controllo, si è passati dalle prime “linee guida” del DM 12/7/90, ai DM 19/11/97 n. 503 e 25/2/2000 n. 124, che hanno recepito le direttive 89/369/CEE, 94/67/CE ed infine il D.Lgs. 11 maggio 2005, n. 133 “Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti” [9], che ha recepito la direttiva 2000/76/CE. La Tab. 1 riassume il cambiamento dei limiti alle emissioni con il susseguirsi degli aggiornamenti normativi.

La direttiva IPPC 96/61/CE, recepita integralmente con il D.Lgs. 18/2/05 n. 59 [10], ha inoltre definito il concetto di *best available techniques* (BAT); nei lavori del Bureau IPPC BREF di Siviglia sono state predisposte linee guida (BAT Reference) per le varie filiere industriali. In ambito italiano, considerando il *Reference Document on the Available Techniques for Waste Incineration* [11], è stato predisposto l’equivalente BRef nazionale pubblicato nella Gazzetta Ufficiale di giugno 2007 “Emanazione di linee guida per l’individuazione e l’utilizzazione delle migliori tecniche disponibili in materia di gestione dei rifiuti” per le attività elencate nell’allegato I di [10].

Incenerimento ed emissioni di inquinanti

Gli inquinanti prodotti nel processo di incenerimento di RSU o CDR sono simili a quelli di altri combustibili solidi e principalmente consistono in:

- gas, quali: ossidi del carbonio (CO e CO₂), ossidi dell’azoto (NO_x), ossidi dello zolfo (SO_x), acido cloridrico (HCl) e vapore acqueo;
- prodotti non-combustibili che residuano dalla combustione incompleta: essenzialmente materiale particolato, vapori ed elementi volatili condensati, silicati, ceneri, fuliggine, metalli e loro ossidi e sali;
- microinquinanti organici, che contengono sostanze ad alta priorità ambientale, quali policlorodibenzodiossine e policlorodibenzofurani (PCDD/F), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili diossina-simili (PCB).

Relativamente alle emissioni da cicli tecnologici di incenerimento va considerato che il rispetto degli attuali limiti rende necessarie tecnologie che considerino diversi stadi di abbattimento: per gas acidi, per materiale particolato, per microinquinanti inorganici e organici (in particolare mercurio Hg e PCDD/F, PCB diossina-simili e IPA).

Le diverse tecniche di trattamento termico e di depurazione dell’effluente gassoso applicati in Italia in impianti di incenerimento comprendono:

- forni a griglia (83% del totale dei RSU inceneriti);
- forni a letto fluido (15% del totale dei RSU inceneriti);
- forni rotanti (2% del totale dei RSU inceneriti).

La prima modalità di contenimento delle emissioni è quella di ridurre quanto possibile la formazione degli inquinanti agendo sulla cari-

ca (riducendo i precursori) e sull’ottimizzazione della combustione. I sistemi di abbattimento multistadio degli effluenti gassosi, attualmente adottati, impiegano le seguenti tecniche di abbattimento:

- per il materiale particolato: precipitatori elettrostatici (ESP), filtri a maniche (FF);
- per gli NO_x (deNO_x): riduzione selettiva non catalitica ad alta temperatura (SNCR) e catalitica (SCR);
- per i gas acidi (HCl, HF, ecc.): secco, umido, semisecco;
- per PCDD/F: misure primarie (combustione), misure secondarie (adsorbimento, sistemi catalitici);
- per i metalli in particolare per il Hg: lavaggio, adsorbimento, condensazione.

I valori di concentrazione di PCDD/F nelle emissioni dei vecchi impianti di incenerimento di RSU degli anni ’80-’90 erano dell’ordine delle decine ng I-TEQ/Nm³ con valori massimi di emissione che potevano arrivare al migliaio di [12, 13].

Per alcuni inquinanti selezionati, gli intervalli di emissione (medie annuali) per un moderno impianto di incenerimento di RSU sono riassunte nella Tab. 2, con l’applicazione delle migliori tecniche disponibili relative alla fase di applicazione, delle BAT Reference [14].





La situazione nazionale

In Italia, tutti gli impianti di incenerimento sono dotati di una sequenza di tre/cinque sezioni di abbattimento degli inquinanti al fine di minimizzare le emissioni di sostanze inquinanti; il 22% degli impianti di incenerimento ha un doppio stadio di rimozione del materiale particolato e l'86% degli impianti è equipaggiato con un sistema deNO_x. In generale gli inceneritori presentano, di solito, camini di emissione dei fumi alti almeno 70 m; i più grandi e moderni impianti, presentano camini di altezza superiore ai 100 m; tale altezza geometrica va a sommarsi alla spinta entalpica dei fumi e determina la "altezza efficace del camino". Le condizioni meteo locali, la situazione orografica e l'altezza efficace di emissione sono gli elementi che determinano i fenomeni di diluizione delle emissioni in atmosfera e quindi il trasporto e i livelli di ricaduta degli inquinanti al suolo (immersioni). In genere detti valori di diluizione risultano dell'ordine di 10.000-1.000.000 di volte, determinando ricadute massime dell'ordine di ng/m³ per il materiale particolato, inferiore ai pg/m³ per i metalli pesanti e molto al di sotto dei fg I-TEQ/m³ per PCDD/F. Per quanto riguarda invece le emissioni nei corpi idrici, fatto salvo il D.Lgs. 59/05; le acque reflue provenienti dalla depurazione degli effluenti (es. lavaggi, scrubber, ecc.) ed evacuate da un impianto di incenerimento o di coincenerimento sono soggette all'autorizzazione rilasciata dall'autorità competente ai sensi dell'art. 45 e

seguenti del D.Lgs. 152/06. Per quanto riguarda i residui solidi prodotti durante il processo di incenerimento, che comprendono scorie, ceneri, polveri da caldaia, prodotti di reazione dagli impianti di depurazione, fanghi, catalizzatori ecc., devono essere minimizzati in quantità e pericolosità e, ove possibile, riciclati o recuperati conformemente al D.Lgs. 152/06. Anche lo smaltimento dei residui non riciclabili o recuperabili deve essere effettuato secondo D.Lgs. 152/06.

Conclusioni

Considerando anche le esperienze maturate in altri Paesi europei, si può ritenere che impianti di trattamento termico di rifiuti, di progettazione avanzata che applichino le BAT e che adottino procedure di gestione ottimali, consentano il rispetto delle normative di settore con ampio margine. Gli aspetti da considerare, dal punto di vista ambientale ed igienico sanitario, per il settore dello smaltimento dei rifiuti mediante incenerimento possono essere così sintetizzati:

- inserimento dell'impianto di incenerimento quale elemento di una rete integrata ed adeguata di gestione territoriale dei rifiuti che consideri la gerarchia: riduzione della produzione dei rifiuti, riutilizzo dei materiali, recupero energetico, smaltimento;
- localizzazione idonea sul territorio, derivata dallo studio di impatto;
- rispondenza dell'impianto alle normative di settore, considerando in particolare lo spirito della IPPC e progettazione che consideri l'applicazione delle BAT contenute nei BRef;
- ottimizzazione del recupero energetico, sia termico che elettrico (al fine di consentire una riduzione di emissioni di inquinanti da altri fonti) e utilizzo locale, per quanto possibile, monitoraggi e periodici controlli delle emissioni nel loro complesso con frequenze maggiori nei primi anni di funzionamento dell'impianto;
- controllo costante del processo di incenerimento e ottimizzazione della conduzione e gestione dell'impianto nelle sue diverse fasi;
- attenta sorveglianza ambientale, considerando le diverse matrici, mediante monitoraggi e/o campagne ad hoc per i microinquinanti (PCDD/F, PCB diossina-simili, IPA, metalli, ecc.);
- messa in atto di programmi che consentano una informazione alla popolazione interessata, ai fini di educazione ambientale e sanitaria, attraverso iniziative volte a stimolare una corretta interpretazione dei rischi ambientali e una maggiore consapevolezza delle problematiche ambientali e sanitarie connesse.

Tab. 2 - Intervalli di emissione di inquinanti per i moderni impianti di incenerimento (RSU) in Europa

Materiale particolato mg/m ³	HCl mg/m ³	NO _x mg/m ³	Hg mg/m ³	Cd+Tl mg/m ³	Altri metalli* mg/m ³	Σ (PCB) mg/m ³	IPA mg/m ³	PCDD/F** ng/m ³
0,1-4	0,1-6	20-180	0,0002-0,05	0,0002-0,03	0,0002-0,05	<0,005	<0,01	0,0002-0,08

* Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V); ** calcolati in termini di tossicità equivalente come 2,3,7,8-T₄CDD.

Bibliografia di riferimento

- [1] Agenzia per la Protezione dell'ambiente e dei servizi Tecnici e Osservatorio Nazionale sui Rifiuti (APAT-ONR), Rapporto Rifiuti 2007, Roma, APAT, 2007; disponibile all'indirizzo: www.apat.it
- [2] P.R. Beltz *et al.*, Evaluation of European Refuse-Fired Energy Systems Design Practices, Battelle Report to U.S. Environmental Protection Agency, March 15, 1979.
- [3] Unione Europea, Proposta direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai rifiuti. COM(2005) 667 definitivo. Unione Europea; 2006; disponibile all'indirizzo: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0667:FIN:IT:PDF>.
- [4] G. Viviano, G. Ziemacki, Municipal incinerators in Italy. Management of risks, in 4th meeting of NATO/CCMS pilot study on risk management of chemicals in the environment, Rome, April 27-28, 1986, Proc. edited by A.R. Bucchi, 1987; Rapporti ISTISAN 87/46, 191-208, Istituto Superiore di Sanità (Roma).
- [5] G. Viviano *et al.*, Censimento degli impianti di incenerimento dei rifiuti nel territorio nazionale. Gruppo di Studio ISS "Emissioni atmosferiche da impianti di incenerimento", Rapporti ISTISAN 88/37, Istituto Superiore di Sanità (Roma), 1988.
- [6] Federambiente, Impianti di smaltimento: Indagine sui termoutilizzatori di RU, GEA, 2001, **X**, 10.
- [7] ENEA/Federambiente, Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia, Roma, ENEA, 2006.
- [8] R. Caggiano *et al.*, GEA, 2003, **4**, 22.
- [9] Italia, D.Lgs. 11 maggio 2005, n. 133. Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti, *Gazzetta Ufficiale - Suppl. n. 122 alla G.U. n. 163*, 15 luglio 2005.
- [10] Italia, D.Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59. Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento. *Gazzetta Ufficiale n. 93*, 22 aprile 2005.
- [11] Unione Europea. European IPPC Bureau, Integrated pollution prevention and control. Reference document on best available techniques for waste incineration, Brussels: Unione Europea; 2006; disponibile all'indirizzo: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
- [12] World Health Organisation WHO, PCDD and PCDF emission from incinerators for municipal sewage sludge and solid waste. Evaluation of human exposure. Environmental Health Series No. 17, 1987.
- [13] O. Hutzinger, H. Fiedler, 20 anni di incenerimento di rifiuti: problemi e soluzioni, in Atti convegno L'incenerimento dei rifiuti, Bologna 16-17 marzo 1995, a cura di L. Morselli, G. Viviano.
- [14] Commissione nazionale ex art. 3, comma 2, del D.L.vo 372/99. Linee guida inceneritori. Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per gli impianti di incenerimento dei rifiuti, disponibile all'indirizzo: <http://provincia.savona.it/temi/ambiente04/Bat/BATincenerimento.pdf>.
- [15] M. Berincioni *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 2002, **56**, 465.
- [16] B. Bove *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 2005, **67**, 2083.
- [17] G. Carrera *et al.*, *Environmental Science and Technology*, 2002, **36**, 2581.
- [18] P. De Stefanis, Le prospettive del recupero energetico da rifiuti in Italia, in Atti del Convegno "Inquinamento dell'Aria e Tecniche di Riduzione", 30/11-3/12, 1998, Rubano, Università di Padova, Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria.
- [19] H. Fiedler *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 1999, **43**, 151.
- [20] National Research Council (NRC), Waste incineration and public health, National Academy Press, Washington, (DC), 2000.
- [21] L. Turrio-Baldassari *et al.*, *Organohalogen Compound*, 2001, **51**, 18.
- [22] G. Viviano *et al.*, Impianti di incenerimento: emissione di microinquinanti, limiti alle emissioni e prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, in Atti Convegno Nazionale "Utilizzazione termica dei rifiuti" 20-21 maggio 1999, Abano Terme (PD), Università di Padova; 1999 (Biblioteca di Termotecnica n. 8), p. 427-33.
- [23] World Health Organisation WHO, Population health and waste management: scientific data and policy options. Report of a WHO workshop. Rome, Italy 29-30 march 2007, disponibile all'indirizzo: www.euro.who.int/pubrequest, 2007.

ABSTRACT

Waste Management Incineration: Environmental and Sanitary Aspects

In Italy there are 50 active incinerators, all equipped by a sequence of three/five cleaning systems to minimize pollutant emission. The incinerators treat raw MSW, residual refusals by diversified harvest or refuse derived fuel (RDF). In these years a dismissal of old and obsolete plants have been carried out, partly replaced, according to the BAT, by higher potentiality new plants. At present incineration is possible only if get a recovery of energy (thermal or electrical). The energetic recovery is an essential aspect in the mitigation of the impact of this typology of plants, also considering that the principal goal in this sector remain refuse disposal. The attention that, for many years, has been set on aspects of environmental pressure connected to refusals management system, through incinerator, has brought to a more and more complete regulation of the sector. It's necessary to stress that insertion of an incineration plants as an element of a suitable integrated net of refusals territorial management must consider the hierarchy: reduction of the production of the refusals, reuse/recycle of materials, energetic recovery and landfill.