



di Stefania Albonetti,  
Ferruccio Trifirò  
Dip. di Chimica industriale  
e dei Materiali  
Università di Bologna  
stalbone@ms.fci.unibo.it

## TERMOVALORIZZATORE: UN ELEMENTO ESSENZIALE PER UNA CORRETTA GESTIONE DEI RIFIUTI

L'utilizzo di inceneritori che applichino le migliori tecniche disponibili permette di diminuire a valori trascurabili il rischio per le popolazioni circostanti e per l'ambiente. Un impianto di incenerimento con recupero energetico (termovalorizzatore) è oramai un impianto chimico fra i più complessi ed avanzati, sia per il tipo di apparecchiature utilizzate sia per l'efficienza nel controllo ed abbattimento dei composti inquinanti che si possono formare nel corso del processo.

**N**egli ultimi anni, il problema dei rifiuti, soprattutto in Campania, ha assunto proporzioni tali da diventare drammatico, non solo dal punto di vista ecologico e sanitario ma anche sociale. Naturalmente la necessità primaria di riconsiderare seriamente l'intero ciclo di gestione dei rifiuti, mettendo in pratica procedure virtuose di riduzione della produzione di rifiuti, raccolta differenziata e riciclo è indiscutibile. Il riciclo chimico e termico dei rifiuti plastici è stato approfondito in un precedente numero della rivista [1, 2]. Compito di questa nota però è quello di analizzare alcuni dei problemi connessi con l'incenerimento e quali possono essere le soluzioni tecnologiche applicabili per la loro risoluzione. In particolare, si affronterà il problema della rimozione/degradazione delle diossine, uno degli inquinanti più evocati - anche se ce ne sono molti altri - quando si parla di inceneritori, e ripetutamente citati anche in questi giorni, soprattutto riguardo alla loro formazione nella combustione dei rifiuti sulle strade in Campania.

L'incenerimento è una delle tecniche di smaltimento di rifiuti organici mediante combustione, ossia ossidazione totale a temperature superio-

ri agli 800 °C in presenza di aria o di aria arricchita con ossigeno (Fig. 1). I costituenti principali dei fumi emessi dal processo di ossidazione totale sono acqua, azoto ed anidride carbonica. I possibili problemi di impatto ambientale degli inceneritori sono però molteplici: l'emissione in aria di metalli pesanti (Cd, Hg, Pb) e polveri fini, l'emissione di NOx e di composti organici tossici (poliaromatici, dibenzo-diossine e dibenzo-furani), la produzione di gas acidi, di residui solidi tossici e, in alcuni casi, di acque di trattamento fumi inquinate. Le quantità che possono essere emesse per ognuno di questi inquinanti dipendono dal tipo di rifiuto trattato (per esempio dalla quantità di alogenati aromatici e



Fig. 1 - Esempio di layout di un impianto di incenerimento di rifiuti urbani [4]

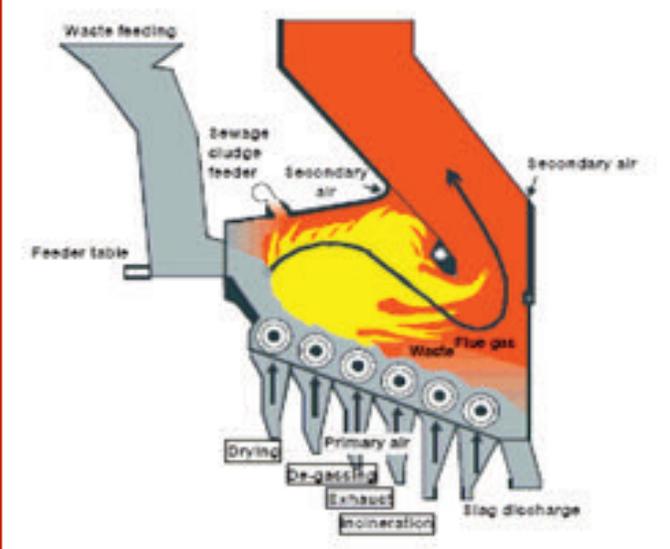


Fig. 2 - Esempio di camera di incenerimento [4]

metalli pesanti presenti), dalla qualità del processo di combustione e dal sistema di purificazione utilizzato. Nel passato gli impianti di incenerimento erano composti principalmente dalla camera in cui avveniva la combustione e da un blando lavaggio dei fumi; di conseguenza, la significativa quantità di emissioni di questi processi obsoleti ne hanno determinato la cattiva fama.

Se consideriamo le diossine, come esempio di emissione critica, queste possono essere presenti nel rifiuto di partenza oppure formarsi all'interno del forno per trasformazione di eventuali precursori presenti già nel rifiuto o per "de novo" sintesi. Per precursori s'intendono composti aromatici clorurati (fenoli clorurati, difenileteri alogenati) che producono diossine e furani con reazioni basiche a temperatura intorno ai 150 °C. La "de novo" sintesi avviene a valle del forno a partire da composti organici non combustibili (aromatici, cicloparaffine), per loro alogenazione in presenza di HCl o di cloruri. Questa reazione viene catalizzata dalla presenza di metalli, come il Cu, per temperature superiori a 250 °C e con un massima resa fra 300 e 400 °C. Per diminuire l'emissione delle diossine, come per tutti gli altri inquinanti, si può minimizzarne la formazione, giocando sulle caratteristiche del forno, le condizioni di combustione ed introducendo sistemi di rimozione o di degradazione efficaci a valle del processo di ossidazione [3].

## Inceneritori ad elevate prestazioni

Un inceneritore ad elevate prestazioni, in grado di bruciare i rifiuti, con minime emissioni di diossine ed incombusti deve possedere un reattore di ossidazione (Fig. 2) con caratteristiche ben definite [4]. In particolare, la temperatura di combustione e il tempo di contatto devono essere molto alti (temperatura superiore ai 1.100 °C), soprattutto in presenza di rifiuti tossico/nocivi. Inoltre la concentrazione di ossigeno deve essere elevata, in modo da favorire l'ossidazione totale dei composti organici presenti; il controllo del contenuto di CO nei gas di uscita può essere utilizzato come parametro chiave per valutare l'efficienza del processo di combustione. L'impianto deve inoltre possedere una zona di post-combustione indipendente ed un successivo raffreddamento veloce fra 650

e 250 °C per evitare la formazione di diossine a valle del reattore.

Anche in queste condizioni comunque si può avere la presenza di diossine nei gas in uscita ed è quindi necessario introdurre sistemi di rimozione efficaci per arrivare ad un abbattimento del 99,999% di questi composti. Naturalmente, è necessario utilizzare anche dispositivi di abbattimento per gli altri inquinanti presenti e sistemi di detossificazione di tutti i residui solidi e liquidi formati.

Un impianto di incenerimento di questo tipo deve infatti avere apparecchiature per l'abbattimento delle polveri, dei gas acidi, degli ossidi di azoto, oltre che dei composti organici tossici. Per l'abbattimento delle polveri possono essere presenti, in ordine di efficienza, elettrofiltri e filtri a manica, mentre per l'abbattimento dei gas acidi devono essere presenti dei sistemi di neutralizzazione. Per la riduzione degli NOx ad N<sub>2</sub> è necessaria la presenza di un impianto di riduzione che può essere non catalitico, ad alta temperatura con NH<sub>3</sub> o urea, oppure catalitico a più bassa temperatura sempre con NH<sub>3</sub>.

Per abbattere le diossine e ridurre la loro concentrazione a valori inferiori a 0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>, valore limite stabilito dalla legge, sono disponibili sistemi di rimozione o di distruzione [5]. La rimozione viene realizzata mediante adsorbimento con carbone attivo [6]; questa metodologia permette di rientrare nei limiti di legge ottimizzando parametri di processo, quali la temperatura del filtro a maniche e la quantità di carbone attivo utilizzata. Inoltre, può essere facilmente inserita in inceneritori già esistenti. Gli svantaggi principali sono legati al fatto che le diossine sono solo trasferite dalla fase gas al solido, che diventa a sua volta un rifiuto tossico. Il costo del carbone attivo, inoltre, penalizza economicamente il processo.

La distruzione catalitica delle diossine, che è alternativa all'adsorbimento, ha diversi vantaggi. In particolare, porta alla completa rimozione delle sostanze tossiche, crea basse perdite di carico nell'impianto ed è facilmente combinabile con la rimozione di NOx, perché avviene utilizzando gli stessi catalizzatori. Anche questa tecnologia può essere facilmente inserita in impianti già esistenti, come ultimo stadio di rimozione.

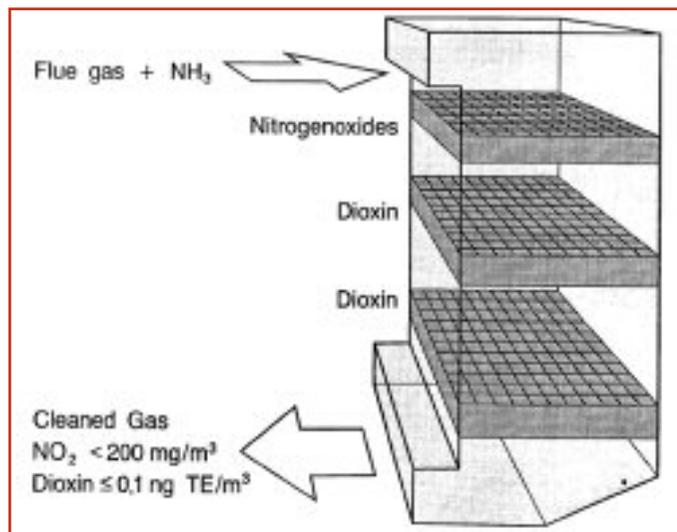


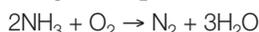
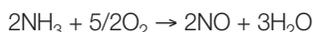
Fig. 3 - Reattore combinato per l'abbattimento di diossine e NOx

## Processi catalitici avanzati per l'abbattimento di NOx e diossine

L'abbattimento catalitico di NOx (deNOx) viene realizzato utilizzando la reazione:



Questo processo viene chiamato SCR (riduzione catalitica selettiva) perché la grossa difficoltà nel trovare un catalizzatore adatto consiste nell'evitare tutte le seguenti reazioni:



Le prime due reazioni decompongono il reagente riducente e la prima ne aumenta anche il carico inquinante; le ultime due portano alla formazione di solfato ammonico, che consuma l'ammoniaca e si deposita sul catalizzatore, disattivandolo. Per questo processo esistono principalmente due tipi di catalizzatori commerciali:

1) catalizzatori a nido d'ape a base di  $\text{TiO}_2$ , che funge da supporto, e da  $\text{WO}_3$  e  $\text{V}_2\text{O}_5$  quali specie attive [7, 8];

2) catalizzatore a nido d'ape a base di Pt supportato su  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Questi sistemi catalitici sono attivi anche nella distruzione delle diossine (deDiox - Fig. 3) e degli altri inquinanti organici clorurati [9-11].

Una recente tecnologia alternativa di distruzione delle diossine è quella dei filtri catalitici, dove il catalizzatore, a base di  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3\text{-TiO}_2$  viene inglobato all'interno di fibre a base di politetrafluoretilene [12-13]. Questi filtri catalitici vengono prodotti incorporando il catalizzatore in una dispersione di PTFE. La miscela così ottenuta viene estrusa direttamente per formare un feltro coerente. Come ultimo stadio del processo, una membrana microporosa viene laminata al feltro per formare il prodotto finale. Il sistema è quindi composto da una membrana in Gore-Tex laminata ad un filtro cataliticamente attivo (Fig. 4). Durante le operazioni, la parte più esterna della membrana filtrante raccoglie le particelle contenute nel gas, mentre il filtro catalitico reagisce con gli inquinanti. Diversamente da altri materiali filtranti, questo sistema favorisce un elevato contatto gas-cata-

lizzatore. Con questa tecnologia è possibile ottenere emissioni di particolato inferiore ai  $0,2 \text{ mg/m}^3$  e concentrazioni di diossine alle emissioni  $0,001\text{-}0,04 \text{ ngTEQ/Nm}^3$ .

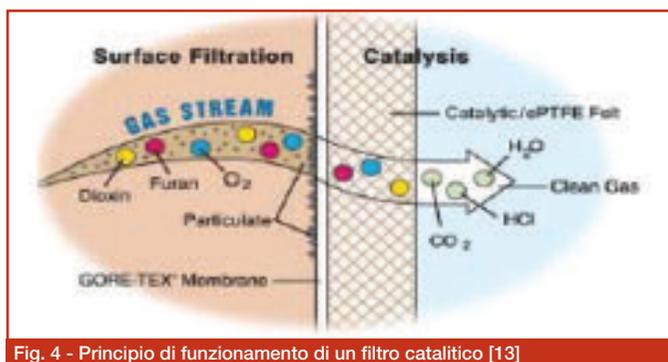


Fig. 4 - Principio di funzionamento di un filtro catalitico [13]

## Conclusioni

Un inceneritore ad elevate prestazioni, che utilizzi tutte le "Best Available Techniques" (BAT) e riesca a rispettare con largo margine tutti i limiti alle emissioni fissati dalle direttive europee, è ormai un impianto chimico piuttosto complesso, sia per le dimensioni e le molteplici apparecchiature presenti, che per la necessità di raggiungere un'elevatissima efficienza nell'abbattimento degli inquinanti prodotti nel corso del processo. Gli inceneritori più recenti utilizzano una tecnologia ben consolidata, facilmente disponibile, utilizzabile per tutti i tipi di rifiuti, abbastanza sicura. Il calore prodotto può poi essere utilizzato per il teleriscaldamento e per produrre energia elettrica (da qui il nome di termovalorizzatori). Chiaramente un utilizzo non appropriato delle tecnologie disponibili può portare alla formazione di rifiuti solidi ed emissioni gassose altamente tossiche. I termovalorizzatori, quindi, sono impianti che devono essere continuamente tenuti sotto controllo e che richiedono, comunque, un monitoraggio costante negli anni del possibile destino e accumulo delle tracce di inquinanti che ancora vengono emesse nel territorio circostante. Un impianto ben progettato, ben condotto ed inserito opportunamente sul territorio ha comunque un impatto pienamente sostenibile [14]. L'Organizzazione Mondiale della Sanità Europea [15], parlando di emissioni da termovalorizzatori dichiara: "it is unlikely that they would make a significant contribution to the overall background level of air pollution", e questo è vero, a maggior ragione se confrontato con quello delle discariche, dell'abbandono e della combustione dei rifiuti a cielo aperto nelle strade [16].

## Bibliografia

- [1] F. Trifirò, M. Livi, *Chimica e Industria*, 2007, **89**(8), 151.
- [2] Federchimica/Plastics Europe, *Ibid*, 146.
- [3] S. Blasioli *et al.*, *Chimica e Industria*, 2002, **84**(5), 46.
- [4] Integrated pollution prevention and control reference document of the Best Available Techniques for Waste Incineration, August 2006: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
- [5] K. Everaert, J. Baeyens, *Waste Manag.*, 2004, **24**, 37.
- [6] H. Miyata *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 1999, **40**, 525.
- [7] D.M. Clark, *Dev. Chem. Eng. Mineral. Process.*, 2000, **8**, 457.
- [8] P. Andersson *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 1998, **36**, 109.
- [9] E. Finocchio *et al.*, *Appl. Catal. B*, 2005, **62**, 12.
- [10] S. Albonetti *et al.*, *Appl. Catal. B*, 2006, **64**, 1.
- [11] S. Albonetti *et al.*, *Catal. Today*, 2007, **119**, 295.
- [12] J. L. Bonte *et al.*, *Organohalogen Compounds*, 1999, **40**, 459.
- [13] [www.gore.com/en\\_xx/products/filtration/catalytic/incineration.html](http://www.gore.com/en_xx/products/filtration/catalytic/incineration.html)
- [14] L. Morselli *et al.*, *Waste Management*, 2007, **27**(8), S85.
- [15] Report of WHO Workshop, Rome, Italy, 29-30 March 2007, [www.euro.who.int/document/E91021.pdf](http://www.euro.who.int/document/E91021.pdf)
- [16] M. Wevers, R. De Fré, M. Desmedt, *Chemosphere*, 2004, **54**, 1351.