

*Consiglio Nazionale delle Ricerche*  
Dipartimento Terra e Ambiente



*La ricerca per la gestione  
dei rifiuti secondo gli  
standard europei*

**15 aprile 2009**  
**CNR - Aula Marconi**  
**P.le Aldo Moro, 7 - Roma**

In copertina  
*Fontana del Nettuno, Piazza Navona, Roma*

Impaginazione e grafica  
*Fortunato Antonelli*

Stampa  
*Edizioni Nuova Cultura*

CNR - Dipartimento Terra e Ambiente  
P.le Aldo Moro, 7 00185 Roma  
Tel. +39 06 4993 3836 Fax +39 06 4993 3887  
[www.dta.cnr.it](http://www.dta.cnr.it)  
[segreteria.dta@cnr.it](mailto:segreteria.dta@cnr.it)

## *Presentazione*

La nuova direttiva sui rifiuti 2008/98 stabilisce con chiarezza che la gestione dei rifiuti deve essere conforme a una “gerarchia” che ponga in ordine di priorità prevenzione, riuso, riciclaggio, altre forme di recupero e infine smaltimento. È perciò inequivocabile che i rifiuti devono essere preventivamente trattati e per quanto possibile recuperati prima di essere smaltiti. La direttiva sui rifiuti non si limita quindi alla fase post-produzione, ma estende il campo di applicazione alla prima fase di “progettazione” di ciascun prodotto commerciale, che deve essere mirata ad allungarne il più possibile il “ciclo di vita”, ad agevolarne il loro riuso o in alternativa il riciclaggio come materiale per la produzione di altri beni. Si deve perciò progressivamente passare da un modello di sistema produttivo che consideri la produzione dei rifiuti come una variabile direttamente legata ai parametri economici, a un modello fondato sul concetto di massimo recupero a fine vita dei prodotti e di minimizzazione della presenza di sostanze e composti pericolosi nei rifiuti generati.

Nella gestione dei rifiuti si deve inoltre ricordare che è indispensabile raggiungere un “obiettivo ambientale complessivo”, al fine di indirizzare le scelte di pianificazione produttiva verso soluzioni che consentano di minimizzare l’impatto complessivo che, sebbene in maniera approssimativa, può essere considerato proporzionale alla quantità dei rifiuti che complessivamente verranno conferiti in discarica.

È questa la sfida che dovrà vedere impegnati i ricercatori nei prossimi anni, per fornire supporto all’attuazione della nuova direttiva in termini di migliore efficacia e di costi contenuti, così contribuendo alla limitazione del numero e dimensione degli impianti di discarica. Ne dovrà risultare un sistema socio-economico più evoluto e consapevole, in cui l’utilizzazione delle corrette tecnologie per il trattamento dei rifiuti sia considerata favorevolmente dalla collettività piuttosto che con generico atteggiamento di rifiuto derivante dalla convinzione che queste siano comunque responsabili di generazione e diffusione di sostanze inquinanti.

E’ stata più volte richiamata l’urgenza che i decisori politici e le amministrazioni locali si avvalgano delle competenze della comunità scientifica, tipicamente non portatrice di interessi ma che, nel rispetto dei principi dell’etica, riporta con neutralità e oggettività i risultati raggiunti con gli studi. Naturalmente è compito dei rappresentanti degli Enti di ricerca e delle Università dedicare ogni attenzione e cura al processo di trasferimento di conoscenze, favorendo la rapida applicazione di tutti i risultati più innovativi ed efficaci. Nel settore dei rifiuti, soprattutto nel nostro Paese, c’è ancora molto da fare e sono molti i ricercatori, non solo quelli più direttamente coinvolti nello sviluppo e applicazione di nuove tecnologie, che possono concorrere a realizzare gli obiettivi qui accennati. È appena il caso di ricordare che la corretta gestione del ciclo dei rifiuti richiede valutazioni assai complesse che non possono essere limitate a quelle tecnologiche, ma che devono riguardare con cura anche maggiore gli aspetti socio economici delle soluzioni adottate e il loro possibile impatto sulla salute dell’uomo.

Con questo workshop desideriamo realizzare un confronto di saperi sugli aspetti principali della problematica dei rifiuti per comprendere meglio quali debbano essere le linee di intervento della ricerca nei prossimi anni.

***Giuseppe Cavarretta***

Direttore del Dipartimento Terra e Ambiente

## ***Finalità del workshop***

Il workshop è un'occasione d'incontro fra ricercatori del settore, con la partecipazione attiva di Istituzioni nazionali con le quali il CNR collabora per attuare sinergie e creare opportunità utili in relazione alla partecipazione a progetti di largo respiro. Nel workshop sono impegnati alcuni tra i più autorevoli operatori della ricerca di settore per delineare un quadro di riferimento avanzato a livello nazionale, con l'obiettivo di identificare gli aspetti che prioritariamente meritano investimenti in ricerca e sviluppo.

La recente direttiva 2008/98 pone nuovi obiettivi e apre nuove prospettive alla gestione dei rifiuti, soprattutto in relazione alla produzione di materie prime secondarie che cessano di essere rifiuto e agli standard richiesti ai fini del recupero di energia. Esistono esperienze molto interessanti sul recupero dei rifiuti e sulla valorizzazione del loro contenuto, temi sui quali la ricerca già fornisce soluzioni e può ancora dare un contributo importante. Nel settore della caratterizzazione, la ricerca occupa naturalmente un ruolo primario al fine di suggerire soluzioni per l'annoso problema della classificazione dei rifiuti con conseguente attribuzione della/e classe/i di pericolo, per i quali la nuova direttiva delinea un nuovo approccio.

Nel campo dei processi e delle tecnologie di trattamento la ricerca è fondamentale, sia per ideare e mettere a punto nuove soluzioni, sia per valutare e confrontare schemi di possibili alternative. Si tratta di valutazioni complesse di tipo integrato dove sono considerati molti aspetti, fra i quali anche la minimizzazione del conferimento in discarica alla fine del complessivo ciclo di trattamento. Gli stessi sistemi di trattamento mediante termodistruzione, con tutte le possibili alternative tecnologiche quali la gassificazione, al centro di attese e preoccupazioni, meritano valutazioni scientificamente rigorose sull'impatto ambientale e sull'affidabilità tecnica.

La tracciabilità dei rifiuti è un ulteriore aspetto da non trascurare e che può costituire l'elemento essenziale per un efficace contrasto della criminalità che opera nel settore e dei relativi traffici illeciti.

In questo contesto multidisciplinare, oltre agli aspetti tecnici e tecnologici del ciclo dei rifiuti, sono affrontati gli aspetti principali relativi agli impatti ambientali e sanitari delle diverse modalità di gestione e le implicazioni socio-economiche, temi chiave per delineare le giuste strategie per una gestione efficiente e sostenibile dei rifiuti, senza tralasciare il nodo del consenso.

***Giuseppe Mininni***

Responsabile del Progetto

Controllo dell'inquinamento e recupero ambientale

## *Sessione I: Il ciclo dei rifiuti*

Sergio Marchisio (Istituto di Studi Giuridici Internazionali, CNR)

*Nuovi profili giuridici della direttiva 2008/98*

pag. 7

Antonio Cavaliere (Osservatorio Nazionale dei Rifiuti)

*Gli obiettivi di supporto alla ricerca dell'Osservatorio Nazionale dei Rifiuti*

pag. 9

Giuseppe Mininni (Istituto di Ricerca Sulle Acque, CNR)

*Il ruolo della ricerca nell'attuazione della disciplina sui rifiuti alla luce della nuova direttiva 2008/98*

pag. 11

Loredana Musmeci (Istituto Superiore di Sanità)

*La classificazione e la caratterizzazione dei rifiuti*

pag. 13

Luciano Morselli (Dip. di Chimica Industriale e dei Materiali – Univ. di Bologna)

*La gestione integrata dei rifiuti con riferimenti agli strumenti di validazione*

pag. 15

## *Sessione II: Sviluppo di processi*

Riccardo Chirone (Istituto di Ricerche sulla Combustione, CNR)

*I problemi tecnologici e ambientali di incenerimento e co-incenerimento: ricerca di base e applicata*

pag. 21

Pasquale De Stefanis (Dip. Ambiente, Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile, ENEA)

*Lo sviluppo di tecnologie innovative di trattamento termico dei rifiuti*

pag. 23

Paolo Plescia (Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati, CNR) e Renato De Silva (Assing S.p.A.)

*Applicazioni e prospettive del processo di micronizzazione dei rifiuti*

pag. 25

Luigi Toro e Giuliana Furlani (Centro Interuniversitario HTR, Università La Sapienza Roma)

*Valorizzazione di materie prime secondarie*

pag. 27

Stefano Ubaldini (Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR)

*Il recupero di metalli dai fanghi dell'industria elettronica e dalle pile*

pag. 29

Pietro Capaldi (Istituto Motori, CNR) e Espedito Vassallo (Istituto di Fisica del Plasma, CNR)

*Sistemi non convenzionali di smaltimento di rifiuti di varia natura ad elevata efficienza di conversione energetica*

pag. 31

### *Sessione III: Controllo e valutazione degli impianti*

Fabrizio Bianchi (Istituto di Fisiologia Clinica, CNR)

*Valutazione dell'impatto della gestione dei rifiuti sulla salute umana*

pag. 37

Mauro Rotatori e Ettore Guerriero (Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, CNR)

*Il controllo ambientale degli impianti di trattamento dei rifiuti*

pag. 41

Massimo Guidi e Brunella Raco (Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR)

*Monitoraggio degli impianti di discarica*

pag. 45

Eugenio Onori (Albo nazionale gestori ambientali - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

*I problemi associati al trasporto dei rifiuti*

pag. 47

Vito Felice Uricchio (Istituto di Ricerca Sulle Acque, CNR)

*La tracciabilità dei rifiuti e il controllo dei traffici illeciti*

pag. 49

Roberto Zoboli (Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo, CNR e Univ. Cattolica) e Massimiliano Mazzanti (Univ. Ferrara e Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo, CNR)

*Aspetti economici del ciclo dei rifiuti e politica del consenso*

pag. 53

A black and white photograph of a public square. In the foreground, a dark, ornate trash can stands on a cobblestone pavement. In the background, a large, classical-style fountain is visible, featuring several statues of figures. The scene is brightly lit, creating strong shadows.

Sessione I  
*Il ciclo dei rifiuti*





## Nuovi profili giuridici della direttiva 2008/98

Sergio Marchisio

*Istituto di Studi Giuridici Internazionali, CNR*

*sergio.marchisio@isgi.cnr.it*

Parole chiave: *direttiva 2008/98/CE, definizione rifiuto, sottoprodotto, gerarchia rifiuti, riciclaggio.*

La tutela dell'ambiente costituisce oggetto di interventi normativi a vari livelli: internazionale, comunitario, nazionale, regionale, locale. Ciò vale anche, e soprattutto, in materia di gestione dei rifiuti, settore nel quale la disciplina giuridica interna trova la sua origine in numerosi atti di legislazione comunitaria, in particolare direttive, che hanno richiesto un continuo processo di adattamento dell'ordinamento italiano. Si tratta di una catena normativa che ha richiesto interventi di conformazione durati vari decenni, le cui tappe salienti sono state il Decreto legislativo n. 22 del 1997 e, più recentemente, il Decreto legislativo n. 152/2006.

Il panorama è complesso: ci troviamo di fronte, da un lato, a norme quadro poste ai vari livelli che pongono i principi generali dalle quali discendono le norme attuative e, dall'altro lato, a regimi giuridici generali cui si affiancano regimi speciali e derogatori. Il contesto legislativo è quindi complesso e non sempre sistematico; certo di non facile interpretazione ed applicazione. Da ciò l'obiettivo difficoltà per l'operatore di ricondurre a unità il sistema in un quadro normativo chiaro e certo.

Si impone quindi una ricostruzione sistematica della normativa applicabile, generale e speciale, per agevolare la lettura del complesso sistema delle fonti in materia di gestione dei rifiuti.

La disciplina giuridica della gestione dei rifiuti è contenuta nella parte IV del D. Lgs. 152/2006, il quale stabilisce i principi, le

finalità, i criteri di priorità e i requisiti minimi, gli adempimenti e gli obblighi dei produttori di rifiuti e le funzioni dell'amministrazione pubblica per la prevenzione e la gestione in sicurezza dei rifiuti prodotti. Particolare importanza rivestono la definizione di "rifiuto" e il significato del verbo "disfarsi". La normativa lascia aperta la questione dei limiti alla nozione di rifiuto, specie con riferimento ai sottoprodotti e alle materie prime secondarie.

Per sopperire a tali limiti e consolidare la sistematicità della legislazione applicabile, il PE e il Consiglio dell'Unione europea hanno adottato nel dicembre 2008 la nuova Direttiva 2008/98/CE, relativa ai rifiuti, la quale riordina la materia e pone agli Stati membri un'ulteriore esigenza di adattamento da soddisfare entro due anni.

La nuova Direttiva quadro, che sostituisce le direttive 2006/12/CE (rifiuti), 91/689/CEE (rifiuti pericolosi) e 75/439/CEE (eliminazione degli oli usati), si propone di aiutare l'Unione europea ad avvicinarsi a una «società del riciclaggio», cercando di evitare la produzione di rifiuti e di utilizzare i rifiuti come risorse.

Essa ha come obiettivo principale quello di ridurre al minimo le conseguenze negative, sulla salute umana e sull'ambiente, derivanti dalla produzione e dalla gestione dei rifiuti.

La Direttiva 2008/98/CE chiarisce inoltre i limiti inerenti la definizione di rifiuto e, in particolare, la distinzione rifiuto-sottoprodotto. La più attenta definizione delle

nozioni comporta la distinzione tra rifiuti e sottoprodotti e introduce i criteri per cui i rifiuti cessano di essere tali quando siano sottoposti a un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio. Netta inoltre è la differenza tra i concetti di recupero e lo smaltimento, fondata in termini di impatto ambientale.

Rispetto all'attuale Direttiva sui rifiuti (2006/12/CE), si accentua quindi un approccio basato sulla prevenzione e sul riutilizzo, il tutto legato alla tracciabilità dell'intero ciclo di vita dei prodotti e dei materiali e non soltanto sulla fase in cui essi diventano rifiuti. Pertanto, le operazioni di smaltimento, di recupero e di riciclaggio dei rifiuti urbani - provenienti dalla raccolta domestica - si dovranno realizzare attraverso impianti specializzati dando priorità alla raccolta differenziata di carta, metalli, plastica e vetro. Viene inoltre rivista e ampliata la gerarchia dei rifiuti che indica le priorità da applicare nella definizione della normativa e della politica in materia di gestione dei rifiuti con il consolidamento dei principi di: prevenzione, preparazione per il riutilizzo, riciclaggio, recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia e smaltimento.

Gli Stati membri dovranno adottare un piano nazionale per l'intero sistema di gestione dei rifiuti e potranno attuare misure legislative di accompagnamento per definire una responsabilità estesa dei produttori e dei commercianti, inclusa l'accettazione dei prodotti restituiti e dei rifiuti che restano dopo l'utilizzo dei prodotti. L'esistenza di piani nazionali diversamente articolati potrà limitare le esportazioni di rifiuti, in casi di emergenza, destinati a inceneritori di altri Paesi classificati come impianti di recupero, qualora sia stato accertato che i rifiuti nazionali avrebbero dovuto essere smaltiti o che i rifiuti avrebbero dovuto essere trattati in modo non coerente con i loro piani di gestione dei rifiuti.

La nuova Direttiva consolida i principi secondo cui "chi inquina paga" e i costi della gestione dei rifiuti spettano al produttore iniziale o ai detentori del momento o ai precedenti detentori dei rifiuti.

Il rilascio delle autorizzazioni per il trattamento dei rifiuti (operazioni di recupero e smaltimento) dovrà essere subordinata a una attenta valutazione dell'impatto sull'ambiente e sulla salute, compreso il rispetto del paesaggio e l'assenza di inconvenienti quali rumori e odori.

Entro il 12 dicembre 2010, l'Italia sarà quindi tenuta ad adattare il suo ordinamento interno in materia di rifiuti alla nuova normativa comunitaria. Ciò contribuirà a rendere la legislazione italiana in materia di gestione dei rifiuti più sistematica e meglio coerente con i principi di tutela della salute umana e dell'ambiente.

### *Bibliografia*

G.U.U.E., L 22 novembre 2008, pp. 3-30.  
Maurizio Pernice e Giuseppe Mininni, Il sistema normativo e tecnico di gestione dei rifiuti. La nuova disciplina dopo il D. Lgs. 152/2006 e la sua riforma", Wolters Kluwer Italia, IPSOA, 2008.

# Gli obiettivi di supporto alla ricerca dell'Osservatorio Nazionale dei Rifiuti

Antonio Cavaliere

*Osservatorio Nazionale dei Rifiuti*

*Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università di Napoli Federico II*

antcaval@unina.it

Parole chiave: *riciclo, reti, riduzione di CO<sub>2</sub>, pirolisi, bio-char.*

L'Osservatorio Nazionale sui Rifiuti (Osservatorio o ONR) è un organo istituzionale di nomina pluriministeriale che studia, analizza, vigila, supplisce e promuove azioni normative, amministrative, formative ed informative nel campo dell'intero Ciclo di Gestione dei Rifiuti in Italia (Ciclo) con particolare riferimento ai Rifiuti Urbani e alla prima parte delle azioni che caratterizzano la Gerarchia del Ciclo come definita dall'Unione Europea, ovverosia quelle che fanno riferimento alla Prevenzione e al Recupero di Materia. Pertanto anche se non è compito dell'Osservatorio supportare direttamente la ricerca, esso è un organo di indirizzo e pertanto deve fornire indirizzi anche in tal senso. Di fatto è nel programma dell'ONR per il 2009 trovare qualche forma di supporto per alcune tematiche strategiche per il "CICLO" e, in particolare:

- 1) omogeneizzazione delle reti logistiche obbligatorie del riciclo;
- 2) valutazione dei sistemi alternativi di sostituzione per prodotti complessi;
- 3) pirolisi e gassificazione come mezzo di separazione e valorizzazione della frazione inorganica dei RUB;
- 4) compatibilità agronomica del bio-char.

Per quanto concerne i primi due punti va sottolineato che l'evoluzione dei sistemi di promozione per il riciclo dei materiali è, oggi in Italia, in gran parte affidata alla natura deriva dei meccanismi messi in atto attraverso un esteso corpus di leggi, emendamenti, regolamenti, emanati negli ultimi dieci anni sia dagli organi istituzionali, che

dalle associazioni e dai consorzi preposti al buon funzionamento del ciclo.

In questa sede sono indicate nel seguente elenco solo alcuni possibili obiettivi, prima di ricerca e poi di proposizione legislativa, che riguardano il sistema delle reti nel suo complesso:

- I. Omogeneizzazione della nomenclatura nelle reti del riciclo.
- II. Ridefinizione di «categorie» coinvolte nelle reti del riciclo.
- III. Omogeneizzazione dell'apparato organizzativo, di indirizzo e di controllo.
- IV. Separazione dei sistemi consortili dei prodotti da quelli dei materiali.
- V. Caratterizzazione delle reti a seconda della complessità dei prodotti.

Il primo obiettivo è dettato dalla varietà della terminologia adottata specificamente per ogni categoria merceologica. Infatti i sistemi consortili, preposti alla implementazione delle reti del riciclo, sono nati e si sono evoluti indipendentemente l'uno dall'altro, crescendo giustamente sulle esperienze maturate in ogni singolo comparto. E' possibile oggi, a valle di una prima esperienza storica sui sistemi consortili "più vecchi" e quelli in via di formazione, una maggiore omogeneizzazione anche delle diciture, che permettono una comparazione più immediata fra le varie esperienze. Questo è un aspetto formale, di ricerca "tassonomica", che diventa di sostanza proprio nella migliore comprensione dei meccanismi che reggono il riciclo dei materiali. Si avverte, invece, sul piano sostanziale la necessità,

indicata nell'obiettivo II, di ridefinire alcune categorie coinvolte nelle reti di materia, economiche e di informazione. In particolare ciò riguarda il concetto di rifiuto e la sua trasportabilità. Per esempio si riscontra una certa difficoltà ad identificare quando un prodotto diventa un rifiuto e quindi diventa un materiale che sotto l'aspetto della proprietà e della trasportabilità ha delle sue peculiarità. A titolo di esempio sembrerebbe più opportuno inserire delle categorie intermedie, come ad esempio "prodotto esausto" o "prodotto riciclabile" in queste terminologie. Ciò presuppone aspetti giuridico-legislativi-amministrativi di notevole portata che vanno indagati in relazione a un quadro di riferimento di base che è bene svolgere in un ambiente scientifico piuttosto che in un ambiente strettamente operativo.

Il punto III attiene alle forme organizzative delle reti. In particolare si possono delineare con chiarezza la natura e l'estensione degli organi di controllo che sono oggi partizionati a seconda della rete di riciclo (Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, Comitati di Controllo, etc.).

Il punto IV coinvolge la necessità di separare i sistemi consortili che sono istituiti per la prevenzione (in termini di ecodesign, riduzione e riuso del futuro rifiuto) nonché per l'internalizzazione dei costi di smaltimento (consorzi di prodotti) da quelli dei materiali che sono istituiti per incrementare la raccolta differenziata e il riciclo dei materiali. Un sistema organizzativo di tal genere prevede una struttura matriciale in cui le colonne sono costituite dai consorzi dei materiali identificabili come categorie singolarmente riciclabili e le righe rappresentano i consorzi dei "prodotti". E' immediato rilevare che i singoli elementi della matrice sono rappresentati da punti decisionali in termini di determinazione di Contributi Ambientali e di carichi economici da sostenere.

Infine il V e ultimo obiettivo tra quelli qui identificati dovrebbe fornire una cornice legislativa e amministrativa di riferimento in cui i vari sistemi consortili si inseriscono per espletare nel modo più efficace, efficien-

te ed economico le proprie finalità. Infatti dall'analisi delle reti si evince una loro forte eterogeneità frutto di una crescita separata dei «singoli sistemi del riciclo» piuttosto che di una loro crescita complessiva.

Per quanto riguarda, invece, le tematiche strategiche numerate all'inizio come 3 e 4 va ben evidenziato che esse si riferiscono a una drastica riduzione di gas climalteranti e alla considerazione che la riduzione dell'effetto serra raggiungibile attraverso il recupero di materia è molto più significativo di quello associato al recupero energetico. Nel suo insieme il settore dei rifiuti può fornire un significativo contributo a questa riduzione. Secondo una stima effettuata da Prognos nel 2008, si potrebbe ottenere per l'Italia una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> corrispondente al 30% degli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto al 2020 (30 Mil. di ton di CO<sub>2</sub>eq.). Il raggiungimento di questi obiettivi può essere raggiunto attraverso tre strumenti:

- la riduzione dal riciclaggio/recupero dei rifiuti, mediante la sostituzione di materie prime vergini con materie prime seconde;
- la riduzione del biogas emesso dalle discariche (l'Italia smaltisce oltre il 50% dei RU in discarica);
- l'incremento del recupero del materiale biodegradabile sotto forma di materiale valorizzato agronomicamente.

La pirolisi e/o la gassificazione dei rifiuti biodegradabili potrebbero fornire un contributo addizionale a quello che viene (e verrà) fornito da parte dei processi biologici. Ciò sarà possibile se per questi processi termici saranno ben studiate, valutate e quantificate le capacità e le modalità chimico-fisiche di trattenere nel residuo solido la parte inorganica della frazione biodegradabile.

A questa valutazione dovrebbe accompagnarsi un'analoga valutazione della possibilità di sfruttare queste frazioni per la valorizzazione agronomica dei terreni.

## **Il ruolo della ricerca nell'attuazione della disciplina sui rifiuti alla luce della nuova direttiva 2008/98**

Giuseppe Mininni

*Istituto di Ricerca Sulle Acque, CNR*

mininni@irsa.cnr.it

*Parole chiave: prevenzione, riciclaggio, recupero, rifiuti organici, rifiuti pericolosi.*

Gli aspetti della nuova direttiva 2008/98/CE che maggiormente avranno incidenza sugli indirizzi della ricerca scientifica e tecnologica sono senza dubbio il grande impulso che è previsto per le attività di prevenzione e riciclaggio, per l'attenzione posta per talune categorie di rifiuti (quelli organici e quelli pericolosi) e infine per l'applicazione delle migliori tecniche disponibili richieste in talune condizioni.

La direttiva prescrive che i paesi membri garantiscano nella gestione dei rifiuti il rispetto della "gerarchia" dove nell'ordine troviamo prevenzione, preparazione per il riutilizzo, riciclaggio, recupero di altro tipo e smaltimento. Tale strategia generale deve essere basata anche sul conseguimento di un "obiettivo ambientale complessivo" dato dalla minimizzazione delle conseguenze negative della gestione dei rifiuti per la salute umana e in generale per l'ambiente, da valutare considerando il complessivo ciclo di vita delle sostanze che compongono i rifiuti. Gli obiettivi delineati sono molto ambiziosi considerando che l'effettivo riciclaggio di materiali derivanti dai rifiuti domestici e similari, con riferimento almeno a carta, plastica, vetro e metalli, deve raggiungere nel 2020 almeno il 50%. Prevenzione e riciclaggio sono, perciò, obiettivi effettivi da raggiungere, in modo che sia finalmente disgiunto il binomio consolidato fra crescita economica e produzione di rifiuti. Si deve perciò progressivamente passare da una società dei consumi dove la produzione dei rifiuti rappresenta una variabile dipendente

dai parametri economici a una società dove prodotti e beni di consumo siano progettati nell'ottica di garantirne il massimo recupero a fine vita e comunque l'assenza, per quanto possibile, di sostanze e composti pericolosi nei rifiuti prodotti. In questa ottica si può prevedere un'accelerazione dei trattamenti rivolti al recupero di materia, fino a giungere alle condizioni che consentano a un rifiuto di cessare di essere tale (effettiva utilizzazione, esistenza di un mercato, conformità a requisiti di qualità, assenza di impatti negativi sull'ambiente a seguito del suo utilizzo). Una delle più rilevanti novità appare, poi, la specificazione nell'allegato II delle condizioni che possono consentire l'attribuzione di "operazione di recupero" alle operazioni di produzione di energia dai rifiuti. L'efficienza energetica da conseguire è stata fissata al 60% o al 65% per gli impianti esistenti o quelli nuovi, rispettivamente. Essa deve essere calcolata su base annua considerando l'energia, elettrica e termica per usi commerciali, prodotta al netto dell'uso di combustibili e altri materiali introdotti nel ciclo termico, rapportata alla quantità complessiva di calore introdotto con i rifiuti e con il combustibile. In pratica l'eventuale uso di combustibili, indispensabile per le operazioni di start up, risulta così penalizzante da non consentire la classificazione della operazione come recupero.

Le operazioni di recupero d'energia dai rifiuti, ai fini di tale omologazione, dovranno quindi utilizzare tecnologie innovative, con produzione di energia elettrica e termica,

per un effettivo utilizzo a fini commerciali. Per i rifiuti organici (si tratta di rifiuti biodegradabili di giardini e parchi, rifiuti alimentari e di cucina e rifiuti simili dell'industria alimentare) gli Stati membri devono adottare misure atte a incentivarne la raccolta separata finalizzata al compostaggio, il trattamento con elevati requisiti di protezione ambientale e l'utilizzazione di materiali sicuri derivanti da tale trattamento. Risulta perciò chiaro l'obiettivo di giungere, attraverso il trattamento, alla produzione di materiali (eventualmente compost di qualità) piuttosto che di altri rifiuti, ancorché trattati.

La direttiva riserva ben tre articoli ai rifiuti pericolosi. È interessante osservare che mentre la gestione dei rifiuti non pericolosi deve essere effettuata senza danneggiare la salute umana e senza recare pregiudizio per l'ambiente (criterio del rischio sanitario accettabile), quella dei rifiuti pericolosi deve garantire la protezione dell'ambiente e della salute umana, e perciò essere conforme a più rigidi criteri di prevenzione.

Emergono poi significative differenze rispetto alla precedente impostazione normativa relativamente alla classificazione dei rifiuti pericolosi, essendosi aggiunta una nuova caratteristica di pericolo (sensibilizzanti) e soprattutto facendosi riferimento, per l'attribuzione delle caratteristiche di pericolo, direttamente ai metodi riportati nella disciplina dei preparati pericolosi, che precedentemente erano richiamati solo ai fini dell'attribuzione di un significato specifico alle definizioni. L'uso diretto di tali metodi, compresi quelli in vitro, potrebbe risultare così complesso da rendere praticamente impossibile il loro uso di routine.

La direttiva prevede, infine, l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per lo smaltimento dei rifiuti, per il recupero dei rifiuti urbani non differenziati, e, in generale, ai fini dell'individuazione delle misure atte alla prevenzione della produzione dei rifiuti che dovrebbero essere attuate dalle imprese.

In definitiva la direttiva pone una serie di

sfide per le quali la ricerca è chiamata a dare risposte soprattutto con riferimento ai seguenti settori principali:

- a) individuazione del miglior risultato ambientale complessivo per l'applicazione della gerarchia dei rifiuti;
- b) individuazione dei flussi di rifiuti e delle relative tecniche di trattamento che consentano di conseguire i migliori risultati in termine di riciclaggio di materia;
- c) valutazione di scenari e sistemi di gestione integrata dei rifiuti;
- d) sviluppo di nuove tecniche di trattamento di rifiuti pericolosi in condizioni tali da garantire la protezione dell'ambiente e della salute umana;
- e) sviluppo di nuove tecniche per la produzione di materiali derivanti dal trattamento dei rifiuti organici;
- f) sviluppo di nuovi processi di recupero di energia dai rifiuti conformi agli standard europei;
- g) caratterizzazione e classificazione dei rifiuti pericolosi ai fini della loro gestione conforme.

# La classificazione e la caratterizzazione dei rifiuti

Loredana Musmeci

*Istituto Superiore di Sanità*

musmeci@iss.it

Parole chiave: *rifiuti, direttiva, pericolosità.*

In data 19 novembre 2008 è stata promulgata la nuova direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai rifiuti che abroga alcune direttive, tra cui la direttiva 75/439/CEE, la 91/689/CEE e 2006/12/CEE (abrogate con effetto dal 12/12/2008).

La direttiva è entrata in vigore il 12/12/2008 e gli Stati membri debbono recepire detta direttiva entro il 12/12/2010, data quest'ultima in cui vengono definitivamente abrogate le direttive sopracitate, tra cui quella relativa ai rifiuti pericolosi (91/689/CEE).

Pertanto le disposizioni riportate nel D.Lgs 152/2006 e s.m.i. saranno ancora in vigore per meno di 2 anni, dopo di ché si dovrà passare al nuovo regime, che per i rifiuti pericolosi comporta alcune importanti novità. La nuova direttiva 2008/98/CE si adegua pienamente agli attuali disposti normativi in materia di classificazione delle sostanze e preparati pericolosi e introduce nell'All. III "Caratteristiche di pericolo per i rifiuti", le seguenti nuove caratteristiche: H10 "Teratogeno" viene sostituito da "Tossico per la riproduzione" e viene introdotta la caratteristica di pericolo H13 "Sensibilizzante": sostanze e preparati che, per inalazione o penetrazione cutanea possono dar luogo ad una reazione di ipersensibilizzazione per cui una successiva esposizione alla sostanza o al preparato produce effetti nefasti caratteristici.

Tale caratteristica "Sensibilizzante" non era presente nella precedente direttiva. Inoltre nella nuova direttiva 2008/98/CE nell'All.

III viene riportata una nota che afferma: "L'attribuzione delle caratteristiche di pericolo "tossico", "molto tossico", "nocivo", "corrosivo", "irritante", "cancerogeno", "tossico per la riproduzione", "mutageno" e "ecotossico" è effettuata secondo i criteri stabiliti nell'All. VI della dir. 67/548/CEE del Consiglio, del 27/06/1967, concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative, relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose". Pertanto nella nuova direttiva viene aggiunta la caratteristica "ECOTOSSICO" tra quelle per le quali l'attribuzione della caratteristica di pericolo viene effettuata secondo i criteri stabiliti nell'All. VI della dir. 67/548/CE; quindi sembrerebbe che il legislatore europeo abbia voluto uniformare pienamente la legislazione in materia di "sostanze e rifiuti pericolosi".

La metodologia per la valutazione di tale proprietà era ancora in corso di definizione al momento della pubblicazione delle decisioni di cui sopra che hanno istituito le liste dei rifiuti pericolosi a partire dal 1994 e pertanto, per tale caratteristica, non era stato inserito alcun valore limite. Nel corso del 2003 la Commissione UE ha presentato un documento di lavoro che includeva alcuni criteri per la valutazione del rischio "ecotossico", specificatamente per i rifiuti, basati prevalentemente su test biologici effettuati sugli eluati, ma a oggi non è stata ancora presa alcuna decisione conclusiva al fine di promulgare un test specifico per i rifiuti per

la determinazione di detta caratteristica.

La nuova direttiva 2008/98/CE sembra superare tale problema affermando, come prima detto, che anche per la caratteristica di ECOTOSSICO si fa riferimento all'All. VI della dir. 67/548/CEE e s.m.i., e quindi si applicano gli stessi criteri utilizzati per le sostanze pericolose.

L'attuale sistema di classificazione dei rifiuti pericolosi è, quindi per molti aspetti, del tutto sovrapponibile a quello adottato per la classificazione di sostanze e preparati pericolosi. Infatti, il principio adottato dalla direttiva per la classificazione dei rifiuti è che: qualsiasi sostanza pericolosa ai sensi della direttiva 67/548/CEE, relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative in merito alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura dei preparati pericolosi, se presente nel rifiuto in una certa concentrazione, fa classificare lo stesso pericoloso.

Nel definire la presenza nel rifiuto di sostanze pericolose, la decisione 2000/532/CE e s.m.i. (così come la decisione 94/904/CE) fa riferimento sia ai limiti di concentrazione previsti dalla direttiva 88/379/CEE (modificata dalla direttiva 1999/45/CE) sia alla direttiva 67/548/CEE.

La nuova direttiva 2008/98/CE fa riferimento agli Allegati II e III della direttiva 1999/45/CE (direttiva preparati pericolosi). Poiché la classificazione dei rifiuti fa esplicito riferimento a quella delle sostanze pericolose, al fine di evitare modifiche troppo frequenti dell'elenco dei rifiuti pericolosi, è stato previsto un meccanismo automatico di adeguamento in virtù del quale ogni volta che una nuova sostanza è classificata come pericolosa ai sensi della direttiva 67/548/CEE, se la stessa è presente in un rifiuto per il quale è prevista la "voce speculare", quest'ultimo sarà classificato pericoloso, ove la concentrazione della sostanza stessa raggiunga le concentrazioni previste nella Decisione 2000/532/CE e s.m.i. Infatti, i limiti indicati nella citata decisione riflettono le pertinenti disposizioni della direttiva 1999/45/CE, sui preparati pericolosi (ulti-

ma modifica della direttiva 88/379/CEE).

Si sottolinea innanzitutto il principio che l'Allegato I non è un elenco esaustivo delle sostanze pericolose presenti sul mercato: a fronte delle oltre 3000 entrate (corrispondenti a circa 8000 sostanze) contenute in detto Allegato, l'industria stima che circolino in Europa circa 20.000 sostanze in qualche modo classificabili come pericolose secondo i criteri stabiliti dalla direttiva 67/548/CEE. Inoltre, è sancito il principio della responsabilizzazione dell'industria riguardo all'applicazione delle normative sulle sostanze chimiche.

La conseguenza pratica di tale principio è che un utilizzatore professionale non può ignorare una classificazione provvisoria effettuata dal suo fornitore di materie prime, ma deve prenderne atto anche ai fini della corretta applicazione della normativa sui rifiuti.

Ciò in quanto è impensabile dover ricercare oltre 20.000 sostanze al fine di classificare un rifiuto, andranno pertanto ricercate unicamente quelle che ragionevolmente possono essere contenute in funzione della conoscenza del ciclo produttivo e/o di consumo che ha generato il rifiuto.

Entro il 12 dicembre 2010 gli Stati membri, tra cui l'Italia, dovranno recepire la nuova Direttiva 2008/98/CE.

E' auspicabile che a quella data si faccia piena chiarezza sulle modalità di classificazione dei rifiuti pericolosi in base alle caratteristiche di pericolo di cui all'Allegato III ed inoltre occorre ricordare che nel 2015 entra pienamente in vigore la disciplina del Regolamento REACH e del nuovo Regolamento Europeo (dicembre 2008) sulle sostanze pericolose che non potrà non avere ripercussioni anche sulle modalità di classificazione dei rifiuti pericolosi.

### *Bibliografia*

Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive GUUE del 22/11/2008 N. L 312/3.



# La gestione integrata dei rifiuti con riferimento agli strumenti di validazione

Luciano Morselli

*Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali, Univ. di Bologna*

luciano.morselli@unibo.it

Parole chiave: *sistema integrato di gestione, strumenti di validazione, Ecodesign.*

**La Gestione Integrata dei Rifiuti: ricerche, tecnologie per la validazione degli aspetti Gestionali.** La nuova Direttiva Quadro 2008/98/CE prevede azioni più stringenti nel rendere più moderna e semplice la politica di gestione dei rifiuti, nel ridefinire la gerarchia di intervento, nel rafforzare la prevenzione e soprattutto in un concetto innovativo di progettazione ecologica, un Ecodesign, che riduca, al contempo, la produzione di rifiuti e la presenza di sostanze nocive, favorendo tecnologie incentrate sui prodotti sostenibili, riutilizzabili e riciclabili. La presente nota vuole mettere in rilievo gli strumenti di validazione che possono rendere un Sistema Integrato di Gestione Rifiuti (SIGR) il più possibile aderente a quelli che sono gli obiettivi che si pone.

**SIGR - Sistema Integrato di Gestione dei Rifiuti.** E' un approccio strategico che fa parte di un percorso di sostenibilità ambientale, economica, accettabilità sociale, con riferimenti alle nuove normative, alle BAT, ai sistemi di validazione con un approccio globale, un orientamento al mercato, alla flessibilità di interventi per le finalità di una efficace valorizzazione e corretto smaltimento.

Gli elementi caratterizzanti si rifanno a una gerarchia sequenziale di approccio, dalla prevenzione alla discarica come ultima ipotesi, dopo aver esplorato le potenzialità di riciclo e recupero meccanico, biologico, chimico, termico, garantendo una salvaguardia ed un guadagno ambientale.

Il SIGR deve far riferimento alla normativa vigente, soprattutto con attenzione alle strategie e scelte UE al fine di proiettare nel tempo le scelte di gestione. Un SIGR deve allo stesso tempo soddisfare criteri di validazione quali: SIMA - Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale, LCA-Valutazione del Ciclo di Vita, RA-Analisi di Rischio, in un quadro generale di IA-Industrial Ecology e di Ecodesign.

**IA - Industrial Ecology.** Rappresenta il passaggio dei processi industriali da sistemi lineari, in cui le risorse si muovono lungo il ciclo per diventare rifiuti, a sistemi chiusi dove i rifiuti diventano input per nuovi processi. Il sistema industriale deve integrare dall'ecologia il concetto di ciclo per conservare e riutilizzare le risorse. Da qui si possono declinare gli strumenti adottati nei vari settori, ma che in quello dei rifiuti rileva una importanza di ampio respiro.

**Ecodesign.** Rappresenta uno strumento per il sistema produttivo per un migliore sfruttamento delle materie prime ed energia, riducendo impatti ambientali e tossicità diffusa e dando maggior valore ai prodotti ottenuti e una maggiore efficienza ai servizi. Unitamente alla Industrial Ecology ciò comporta la ricerca di tecnologie innovative e gestionali per le aziende, favorendo prodotti sostenibili, riutilizzabili e riciclabili ed una validazione ecosistemica e di qualità delle aziende stesse.

**SIMA - Sistema Integrato di Monitoraggio Ambientale.** Questo approccio metodologico è applicabile a tutte le attività che sono coinvolte nella gestione dei rifiuti che possono presentare a livello locale problematiche di impatto ambientale. Il SIMA è uno strumento versatile che ha nei suoi punti di forza l'organizzazione delle informazioni e si integra con l'analisi di rischio.

Il SIMA si basa da un lato su una previsione modellistica della dispersione a livello locale delle emissioni di un impianto, dall'altro su una verifica sul campo di quanto indicato dal modello, attraverso la creazione e gestione di reti di monitoraggio nei siti di maggiore interesse quali i punti di massima e di minima ricaduta, di bianchi non influenzati; da qui la raccolta dei campioni ambientali, per verificarne gli impatti, quali materiale particolato e polveri sottili, deposizioni atmosferiche secche e umide, suoli, vegetazione, corpi idrici superficiali. Il fine è quello di valutare la correlazione tra inquinamento prodotto e fonte di emissione dell'impianto e incidenza sulla qualità dei vari comparti ambientali, mettendo in evidenza o comparando con eventuali fonti di inquinamento secondarie.

**LCA - Valutazione del Ciclo di Vita.** L'LCA applicato ad un sistema integrato di gestione di RSU introduce un grande potenziale di sviluppo, in particolare in supporto alle decisioni dei programmatori e delle compagnie che gestiscono la raccolta, il trasporto e il servizio di riciclo/smaltimento. Sebbene rappresenti tipicamente un passaggio di ogni LCA di prodotto, la gestione dei rifiuti può essere considerato un sistema indipendente, i cui flussi in input sono rappresentati dai rifiuti delle attività umane e produttive e i cui flussi di output sono le emissioni finali nell'ambiente (solide, liquide e gassose) e i nuovi prodotti utili (materiali riciclati, compost, energia).

**RA - Analisi di Rischio.** Dal punto di vista metodologico, il percorso generale di analisi è impostato in 4 fasi successive:

- a) identificazione del pericolo;
- b) valutazione dell'esposizione;
- c) valutazione della dose-risposta;
- d) caratterizzazione del rischio.

Gli strumenti utilizzati per condurre l'analisi sono database costruiti ad hoc in funzione delle variabili che si intendono indagare, fogli di calcolo elettronici, modelli "Fate & Transport" per la valutazione della dispersione degli inquinanti nei comparti ambientali dalla sorgente al corpo recettore e strumentazione GIS per la gestione, l'analisi e la visualizzazione di informazioni con contenuto geografico/spaziale.

Ad oggi, l'analisi di rischio si avvale di numerosi suggerimenti specifici presenti in letteratura, tra cui possiamo citare a livello internazionale i manuali dell'US EPA e del DEFRA, mentre a livello nazionale è l'APAT a definire le linee guida di analisi per i siti contaminati e le discariche.

Per quanto concerne i risultati, questi sono diversamente spendibili in funzione del livello a cui può essere condotta l'analisi: a livello amministrativo come metodologia di controllo degli impatti sulla salute umana, come strumento integrante dei processi di valutazione degli impatti ambientali; a livello aziendale come strumento tecnico-operativo di supporto per la valutazione di scenari alternativi di gestione di un impianto, di certificazione aziendale, nonché per adottare decisioni trasparenti e sostenibili.


**Conclusioni.** Un Sistema Integrato di Gestione dei Rifiuti va considerato quale approccio strategico in ogni contesto sia di RSU che di RS o anche RP. È sostenuto da una nuova Gerarchia e da strumenti che risultano indispensabili al fine di ottenere e validare un "Guadagno per l'Ambiente" che possiamo includere in una strategia di Industrial Ecology ed Ecodesign in temi ed analisi declinabili in SIMA, LCA e RA. Ogni tipologia di rifiuto, soprattutto speciale, va considerato come specifico flusso considerando le più appropriate BAT applicabili, riferimenti all'Ecodesign ed una puntuale ricognizione sul riutilizzo dei materiali ot-

tenuti sia all'interno di cicli di produzione sia come prodotti eco-sostenibili ottenibili. Un ampio discorso va riferito alle Società preposte alla gestione sia in termini di strutture e di tecnologie disponibili che possano garantire la chiusura del ciclo di trasformazione, sia in termini di potenzialità e garanzie per credibilità, competenze, efficienze e salute per i cittadini.

### *Bibliografia*

- Morselli L. et al. The Science of the Total Environment, 289(1-3), 177-188 (2002).
- Morselli L. et al. Waste Management, 25, 191-196 (2005).
- Diwekar U. Resources, Conservation and Recycling 44 (2005) 215-235.
- Morselli L. et al. Journal of Atmospheric Chemistry, 59, 151-170 (2008).
- US EPA, 2005, Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities. EPA530-R-05-006.
- Morselli L. et al., Integrated Waste Management. Technologies and Environmental Control. Clini C. et al. (eds.), Springer, The Netherlands, 2008 (ISBN: 978-1-4020-6597-2).





Sessione II  
*Sviluppo di processi*



## **I problemi tecnologici e ambientali di incenerimento e co-incenerimento: ricerca di base e applicata**

Riccardo Chirone

*Istituto di Ricerche sulla Combustione, CNR*

chirone@irc.cnr.it

La produzione di rifiuti che fino a non molti anni fa era considerata una conseguenza dello sviluppo e talvolta addirittura un indicatore di benessere, costituisce oggi uno dei fenomeni più complessi da gestire in tutti i paesi industrializzati, sia per le implicazioni ambientali che per quelle economiche e sociali. La gestione dei rifiuti è certamente un problema complesso che richiede risposte altrettanto complesse ed articolate. Deve infatti essere efficace sia sul fronte della pianificazione, sia sulla scelta delle tecnologie da utilizzare al fine di ridurre drasticamente la quantità dei rifiuti prodotti e la loro pericolosità e realizzare in modo efficiente ed efficace il loro trattamento/smaltimento. Va inoltre considerato che in un contesto di consumo accentuato delle risorse naturali, i rifiuti possono rappresentare una risorsa sia con riferimento alla possibilità di costituire fonte di materie prime, sia con riferimento alla possibilità di recupero dell'energia posseduta dal residuo stesso.

E' di tutta evidenza l'insostenibilità ambientale di un sistema che non garantisca un virtuoso recupero dai materiali post-consumo. E' per questo importante concepire uno sviluppo sostenibile che sia naturalmente capace di garantire il crescente fabbisogno di beni e servizi ma allo stesso tempo tenga in giusta considerazione il carico ambientale relativo ai sistemi di smaltimento/recupero e le ripercussioni che questi hanno sulle diverse matrici ambientali: aria, acqua e suolo. E' anche generalmente accettato il concetto che la risposta al "problema rifiuti" non può essere semplicemente l'adeguamento delle capacità di smaltimento della produzione dei rifiuti in continua espansione, ma lo sviluppo di un processo virtuoso

che risponda alla finalità di: i.) ridurre la quantità e la pericolosità dei rifiuti prodotti; ii.) massimizzare il recupero degli stessi mediante processi di riciclo, reimpiego o reintroduzione nei circuiti produttivi; iii.) utilizzo di "nuove" prospettive di recupero energetico tramite sistemi a freddo o a caldo, come la bio-ossidazione (aerobica o anaerobica), la gassificazione, la pirolisi e l'incenerimento.

E' evidente che sul piano dei processi e delle tecnologie di trattamento la ricerca è fondamentale, sia per ideare e mettere a punto nuove soluzioni, sia per valutare e confrontare possibili alternative. Si tratta di valutazioni complesse di tipo integrato. Con specifico riferimento ai sistemi di trattamento termico le tecnologie possibili riguardano la combustione, gassificazione e pirolisi, processi al centro di grandi attese e preoccupazioni, che meritano valutazioni scientificamente rigorose sia con riferimento all'impatto ambientale sia alla affidabilità tecnica.

Un ulteriore importante punto di riflessione è costituito dal fatto che il trattamento termico finalizzato al recupero di energia dei rifiuti può essere analizzato in un ambito più generale legato alla produzione di energia in impianti di potenza. In tale senso è da considerare di estremo interesse la possibilità di utilizzare alimentazioni multicombustibili di combustibili fossili quali carbone e di combustibili ausiliari quali biomasse e rifiuti non pericolosi. Ciò infatti può costituire una risposta alle sempre più attuali logiche di una riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra e del recupero energetico di residui civili e/o industriali. Il considerare la possibile aggiunta

di rifiuti non pericolosi, oltre a costituire un'ulteriore riduzione nell'uso di combustibili fossili, ha il vantaggio di poter sfruttare aspetti sinergici fra carbone, biomasse e rifiuti in grado di minimizzare gli aspetti negativi specifici nell'utilizzo di ciascun di questi materiali combustibili. Dal punto di vista delle emissioni vi è da considerare il fatto che gli impianti di potenza sono generalmente equipaggiati con complessi ed efficienti sistemi di trattamento fumi.

Naturalmente ciò prevede la disponibilità di impianti in grado di operare con alimentazioni di combustibili che possono essere molto differenti sia dal punto di vista chimico che fisico e l'individuazione di condizioni di esercizio ottimizzate. Vi è quindi la necessità di un elevato grado di flessibilità degli impianti e una elevata capacità di monitoraggio e controllo delle condizioni di esercizio. D'altro canto va considerato che l'utilizzo di rifiuti come fonte energetica in impianti di potenza richiede che questo sia preventivamente trattato con tutta una serie di problematiche sia di carattere economico che logistico.

In tale ambito la ricerca, sia di base che applicata, svolge un ruolo di fondamentale importanza permettendo la messa a punto e validazione di possibili emergenti tecnologie di combustione e gassificazione di combustibili alternativi non fossili, quali biomassa, combustibili derivati da rifiuti e varie tipologie di residui industriali. Ciò che è richiesto è naturalmente, oltre ad una sempre più elevata efficienza di conversione energetica, anche la risposta a vincoli sempre più stringenti posti alle tecnologie di conversione energetica da considerazioni ambientali, a livello regionale, nazionale e mondiale.

L'influenza della natura del combustibile sui meccanismi della conversione termochimica possono essere tali da condizionare significativamente le scelte di natura processistica e impiantistica. A ciò si aggiunge la complessità del comportamento fluidodinamico degli ambienti in cui si sviluppa il processo di conversione termochimica.

Lo studio dei processi di combustione e gassificazione di combustibili solidi non convenzionali ha richiesto nel passato, e richiederà ancor più nel futuro, l'integrazione di competenze diversificate per la complessità e varietà dei fenomeni concorrenti. Questi sono collegati all'ampia variabilità dei parametri chimico-fisici dei combustibili di partenza e l'adozione di tecnologie avanzate di conversione quali i sistemi di gassificazione integrati in cicli combinati o le combustioni e gassificazioni sotto pressione.

Nella presentazione orale, a titolo esemplificativo, vengono presentate alcune considerazioni sugli sviluppi recenti della ricerca scientifica nel settore della conversione termochimica dei rifiuti solidi urbani. In particolare vengono presi in considerazione due aspetti. Uno riguarda la possibile gestione dell'aleatorietà rispetto agli effettivi percorsi di reazione che il combustibile può seguire in ciò favorendo la produzione di prodotti di ossidazione completa o prodotti incombusti. Con riferimento a questo aspetto risulta di fondamentale importanza l'ausilio fornito dalla modellistica CFD e la possibilità di disporre di sistemi diagnostici in grado di evidenziare i livelli di variabilità spazio-temporale delle grandezze che governano il processo di conversione termochimica. Ciò è requisito indispensabile per l'adozione di opportuni strumenti di moderazione delle aleatorietà con interventi a monte e/o a valle del processo.

Un secondo aspetto riguarda l'importanza di uno sviluppo tecnologico "knowledge-based". Questo infatti è requisito indispensabile per ridurre le fasi di sviluppo e scale-up di processo e favorire un più rapido percorso della curva di apprendimento successiva ad ogni eventuale implementazione. In tale senso uno sviluppo tecnologico "knowledge-based" è l'unico in grado di garantire effettivi "breakthrough" tecnologici.



# Lo sviluppo di tecnologie innovative di trattamento termico di rifiuti

Pasquale De Stefanis

*Dipartimento Ambiente, Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile, ENEA*

pasquale.destefanis@enea.it

Parole chiave: *rifiuti, trattamenti termici, recupero energetico, recupero di materia, gassificazione.*

La pirolisi e la gassificazione (anche in combinazione fra loro), contano da tempo svariate applicazioni in campo industriale, soprattutto nei settori della chimica e della petrolchimica e, in misura minore, nella produzione di energia elettrica e/o termica a partire da colture e scarti di biomasse.

A differenza dell'incenerimento, basato sulla combustione diretta e l'utilizzo del calore sensibile dei fumi per produrre vapore da utilizzare in un ciclo termico per la produzione di energia elettrica (soluzione non ottimale in termini energetico-ambientali, ma di gran lunga la più adottata anche per la presenza di incentivi), tali processi possono dare luogo a prodotti derivati costituiti principalmente da un gas (e da una frazione liquida e/o solida nel caso della pirolisi), da destinare alla produzione di energia in loco o essere impiegati per ottenere combustibili o materie prime per l'industria chimica.

L'interesse relativamente recente verso un'estensione del loro impiego al settore del trattamento termico dei rifiuti è determinato essenzialmente da una serie di potenziali vantaggi in termini di maggiore recupero del contenuto energetico dei rifiuti, di riduzione delle portate di effluenti gassosi da sottoporre a trattamenti depurativi, di miglioramento delle caratteristiche di inertizzazione dei residui solidi, nonché nella possibilità di conseguire la convenienza economica per taglie di impianto più ridotte, con conseguente migliore integrazione con lo sviluppo della piccola e media impresa a livello locale.

A questi potenziali vantaggi fanno riscontro alcuni aspetti, principalmente di carattere tecnico-economico, che ne hanno frenato a tutt'oggi l'applicazione su vasta scala quali: i problemi di carattere tecnico tuttora irrisolti, (scale-up degli impianti pilota alla taglia commerciale, tecniche e sistemi di pretrattamento e alimentazione del rifiuto, di depurazione spinta del gas prodotto, di conversione dello stesso in energia elettrica tramite soluzioni impiantistiche a elevata efficienza), le incertezze di tipo economico legate alla definizione dei costi di trattamento (a causa della limitata esperienza acquisita nell'esercizio di impianti industriali), nonché la necessità di mettere in atto ulteriori programmi di R&S e dimostrazione.

In tema di trattamenti termici innovativi si assiste periodicamente alla proposizione di tecnologie, molto spesso caratterizzate da nomi altisonanti (inclusa quella del plasma), che sotto l'aspetto tecnico sono sempre riconducibili a processi di pirolisi, gassificazione e combustione (anche in combinazione fra di loro), magari con utilizzo di aria arricchita o ossigeno puro.

Per applicazioni finalizzate al recupero energetico di rifiuti, soprattutto quelli di origine urbana, solo la gassificazione può essere ritenuta attualmente competitiva con l'incenerimento. Il suo impiego è assai poco diffuso in Europa, dove le esperienze relative all'esercizio di impianti commerciali nel corso degli anni '90 hanno fornito risultati deludenti, ma è abbastanza diffusa in Giappone dove è presente, in misura minoritaria,

accanto all'incenerimento. Va comunque evidenziato che la stragrande maggioranza degli impianti di gassificazione attualmente operativi si configurano sostanzialmente come inceneritori a due stadi: il gas grezzo prodotto dal processo viene immediatamente combusto in loco per produrre energia elettrica e/o calore tramite un ciclo termico di tipo convenzionale.

In linea con l'indirizzo europeo ribadito di recente dalla direttiva 2008/98/CE in tema di gerarchia di gestione dei rifiuti, le attività di R&S si vanno sempre più orientando verso applicazioni finalizzate principalmente alla valorizzazione dei rifiuti piuttosto che allo smaltimento, in un panorama in cui il depauperamento delle risorse e la crisi economica si configurano come fattori limitanti dai quali non è possibile prescindere. In questo contesto anche i trattamenti termici possono essere visti come un punto di partenza soprattutto se vanno oltre il recupero energetico diretto e mirano allo sviluppo di una "chimica del recupero" finalizzata all'ottenimento di materie prime e combustibili di seconda generazione.

Sui temi della gestione e del trattamento dei rifiuti l'ENEA è attiva sin dalla fine degli anni '80 ed ha sviluppato competenze attraverso la realizzazione e l'esercizio di una serie di infrastrutture e impianti (su scala banco, pilota e semi-industriale) con l'obiettivo di sperimentare processi innovativi per il trattamento termico di rifiuti finalizzati al recupero di energia e materia.

Negli ultimi anni gli sforzi dell'ENEA si sono concentrati soprattutto nello sviluppo di tecnologie di trattamento termico basate su processi combinati di pirolisi e gassificazione finalizzati al recupero, oltre che di energia, di materiali (solidi, liquidi gassosi), con particolare riguardo alla gassificazione con vapore che consente la produzione di correnti gassose ricche di idrogeno, da utilizzare come combustibile ovvero come materia prima per l'industria chimica per l'applicazione di processi di sintesi di tipo "Fischer-Tropsch". In questo ambito le attività portate avanti adottano un approccio

integrato finalizzato al recupero di materiali ad alto valore aggiunto in modo diretto (carboni attivi, fibre di carbonio) o tramite successivi trattamenti (sintesi di materiali ceramici) nonché di combustibili (syngas, idrogeno) da impiegare in apparecchiature ad alta efficienza energetica. Tutto questo con un'attenzione particolare alle tematiche ambientali che da sempre caratterizza le attività del Dip. Ambiente dell'ENEA.

Tali attività si inquadrano all'interno di uno specifico progetto denominato "Tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti" che ha come obiettivo primario la diffusione di tecnologie innovative di recupero di materia ed energia da rifiuti e la validazione tecnico-economica delle sinergie ottenibili dall'integrazione del trattamento di flussi di rifiuti di origine urbana e industriale.

Attualmente l'ENEA è coinvolta, nell'ambito del VII Programma Quadro della UE, in un progetto denominato "TyGre" (High added value materials from waste tyre gasification residues) che prevede il recupero di pneumatici fuori uso tramite un trattamento termico costituito da una prima fase di gassificazione con vapore con produzione di una corrente gassosa (da destinare alla produzione di energia, previa preventiva depurazione) e di un residuo solido (char), caratterizzato da un elevato tenore di carbonio e contenuti significativi di silice. Tramite un successivo stadio di riduzione ad alta temperatura è possibile ottenere carburo di silicio (SiC) utilizzando come ulteriore fonte di silice dei rottami di vetro, con evidenti vantaggi economici ed ambientali.

### *Bibliografia*

Mininni G., De Stefanis P., Barni E., Chirone R., Urciuolo M., New technologies for MSW thermal treatment: the state of the art. Proceedings of "XXXI Combustion Meeting", Turin (I) 17-20 June 2008, pp III 3, 1-III 3, 6.  
A.A.V.V., ENEA e le tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti. Dossier ENEA, 2008

# Applicazioni e prospettive del processo di micronizzazione dei rifiuti

Paolo Plescia

*Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati, CNR*  
paolo.plescia@ismn.cnr.it

Renato De Silva

*ASSING SpA*

Parole chiave: *meccanochimica, micronizzazione, rifiuti urbani, combustibili da rifiuto.*

La questione rifiuti urbani è in Italia particolarmente sentita, soprattutto per le implicazioni socio-economiche e l'impatto che riesce ad avere sull'opinione pubblica. Nel nostro Paese, lo smaltimento degli RSU è basato perlopiù sulla "messa a dimora" (discariche) e sulla "termovalorizzazione" (inceneritori), mentre la raccolta differenziata, seppur incentivata in molte regioni, non è spesso seguita da una filiera industriale idonea a recuperare i materiali. Altre soluzioni di smaltimento e di recupero, innovative ed efficienti, non vengono di norma prese in considerazione per questioni di natura squisitamente politica e commerciale.

Nonostante questo quadro non esaltante, nel 1999 il CNR e la Società ASSING Spa attivarono un progetto di ricerca MIUR relativo alla realizzazione di nuove macchine di trattamento di rifiuti solidi urbani, basate su mulini ad attrito derivati dagli analoghi di laboratorio per produrre effetti meccanochimici sui materiali. L'idea principale di THOR è basata sull'impiego di macchine di macinazione per produrre combustibili ultrafini di elevata qualità (CDR-Q) a partire dal rifiuto, sottraendo tutte le componenti pericolose per la combustione (metalli e clorurati). Tale tecnologia, già nota per le applicazioni nella demolizione di organoclorurati (PCB, TCDE) è stata inizialmente applicata con successo nel trattamento di amianto, suoli e traversine ferroviarie contaminati da IPA (Plescia et al, 2003-2007). Dal progetto, concluso nel 2003, è nata la tecnologia THOR che oggi muove i primi

passi industriali in impianti di piccole dimensioni per produttività comprese tra 1 e 4 ton/ora. La micronizzazione è la soluzione scelta per portare le particelle di rifiuto alle dimensioni del "grado di liberazione" dei componenti pericolosi, per poi sottrarli per ciclonature successive, e nel contempo l'azione meccanochimica porta alla dechlorinazione dei composti organoclorurati, rompendo i legami cloro-carbonio e favorendo l'aggregazione del radicale cloro con sali di calcio e sodio, in modo da precipitare cloruri di calcio e sodio che possono essere facilmente sottratti. Le macchine per ottenere tale azione devono fornire una elevata energia alle masse macinanti e determinare azioni di URTO e ATTRITO. In queste condizioni l'urto determina l'espulsione dell'acqua per compressione non idrostatica e la frantumazione dei materiali fragili, mentre i materiali flessibili vengono delaminati soprattutto dall'azione dell'attrito. La quantità di energia fornita dai mulini ad attrito e urto vanno da poche decine a migliaia di J/sec a secondo della scala (Mio et al, 2004). Ad esempio, nel caso della dechlorinazione del PVC, l'energia necessaria è di 330 KJ/mole: una macchina a planetario da laboratorio (tipo Pulverisette 4, con giare da 10 cm cariche con 200g di sfere a 720RPM) può realizzare la completa dechlorinazione in 128 min/mole; una macchina THOR, con giare da 1 metro cariche con 80 kg di sfere, realizza lo stesso in 1.06 min/mole. Le macchine di ultramacinazione realizzate industrialmente dalla ASSING SpA (THOR)

e attualmente in fase di scale up su dimensioni ancora maggiori in collaborazione con Buzzi Unicem SpA, sono basate su mulini a planetario modificati dove l'azione di attivazione chimica viene svolta dall'attrito di sfere d'acciaio che permettono di raggiungere dai 220 ai 500 Mpa di pressioni d'attrito. Per studiare tali mulini sono state impiegate nuove metodologie di indagine, basate su film sensibili alla pressione. Nella figura 1 è visibile l'immagine delle tracce lasciate sui film dalle sfere di macinazione in una giara di planetario. Si osservi come le diverse colorazioni denotano i diversi livelli di pressione raggiunti, fino a toccare i 220 Mpa. I mulini descritti sono destinati a diversi "clienti" e prima di tutto il trattamento dell'RSU indifferenziato e delle FOS (frazione organica secca). Per questi materiali il THOR ha una richiesta di 120 kWh / ton per rifiuti tal quali e produce una farina con un D80 < 80 µm. Dato che l'obiettivo è ottenere un buon combustibile, sono state fatte diverse prove ed analisi sui materiali ottenuti dai RSU (dati in tabella 1). I risultati confermano sostanzialmente tre cose:

- il prodotto, se micronizzato, aumenta di due volte il potere calorifico inferiore (20-24 MJ/kg), ha meno ceneri (< 6%) e brucia prima (infiammabilità a temperature più basse, intorno ai 120°C);
- i contenuti di metalli si riducono notevolmente;
- si riduce altresì il contenuto di cloro (<0.4%).

Infine, si vuole richiamare l'attenzione del lettore sulle possibilità applicative della tecnologia di micronizzazione nei rifiuti. Le farine ottenute sono un ottimo combustibile (classificabile appieno come CDR-Q 2002) direttamente valorizzabile in centrali termiche (purtroppo in Italia solo in cementerie e inceneritori), ma lo stesso è adatto ad un uso massivo nei gassificatori e nei pirolizzatori data la scarsa quantità di residui solidi e il minor apporto di pitch e tar.

## Bibliografia

- Mio H., Kano J., Saito F. "Scale-up method of planetary ball mill" Chem. Engin. Science 2004, 59, 5909 – 5916.
- Plescia P., Gizzi D., Benedetti S., Fanizza C., De Simone P., F. Paglietti Mechanochemical treatment to recycling asbestos wastes", Waste Management 2003 V.23, Issue 3, 209-218.
- Plescia P. Paoloni G., Tocino M., Sottile R., The mechanochemical alternative for the recovery of the municipal solid wastes ISWA Int. Congress 2007.
- Plescia P., Paoloni G., Tocino M.A., Sottile R. Dechlorination and recovery of PVC" Sardinia 2007 Int. Waste management and Landfill Symposium.

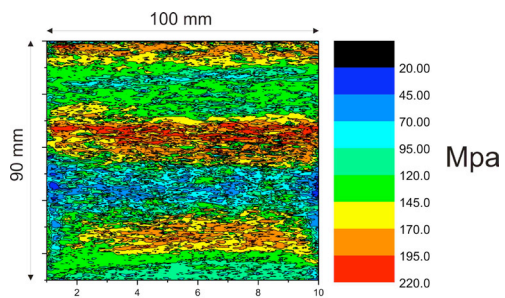


Figura 1: Visualizzazione delle pressioni sulle pareti delle giare di macinazione durante la micronizzazione.

Tabella 1: Caratteristiche del CDR-Q THOR confrontato con i parametri di normativa.

Parametro	CDR	CDRQ UNI9903	CDR Thor
Size (mm)	--	--	< 0.2
P.C.I. (MJ/kg)	> 15	> 20	22.4 – 26
Umidità %	< 25	< 18	4
Ceneri %	< 20	< 15	3 -11
Cl %	< 0.9	< 0.7	< 0.4
S %	< 0.6	< 0.3	< 0.1
Metalli	< 1 %	< 500 ppm	< 130 ppm

## Valorizzazione di materie prime secondarie

Luigi Toro e Giuliana Furlani

Centro Interuniversitario HTR - Università La Sapienza Roma

Luigi.toro@uniroma1.it, giuliana.furlani@uniroma1.it

Parole chiave: *materie prime secondarie, Raee, pile, fluff, metalli.*

Alcune tipologie di rifiuti come i RAEE (rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche), le pile esauste o il *car fluff*, spesso contenenti materiali ed elementi pregiati, possono essere considerati come fonti di materie prime secondarie da sottoporre a processi di valorizzazione ai fini di impiego industriale, evitando la disposizione finale in discarica.

Un trattamento non appropriato e/o uno smaltimento non corretto di questi rifiuti comporta principalmente la diffusione nell'ambiente di sostanze pericolose per la salute pubblica e la distruzione o comunque lo spreco di materiali che possono essere reimmessi nel ciclo produttivo, con conseguente depauperamento di risorse presenti in quantità limitata sul nostro pianeta, ma ancor più sul territorio nazionale. Ad esempio lo smaltimento finale in inceneritore spesso produce delle ceneri particolarmente ricche in metalli pesanti che non potrebbero essere smaltite se non in discarica controllata e/o dopo inertizzazione: in pratica si produce uno scarto più nocivo dal punto di vista ambientale rispetto al materiale di partenza.

La destinazione finale dei rifiuti in genere e di quelli citati in particolare, oltre al conferimento in discarica, può essere:

- incenerimento in termovalorizzatore e concomitante riduzione di volume;
- conversione in CDR (combustibile da rifiuti) per i materiali con elevato potere calorifico;
- recupero di materiali (come secondary

raw materials).

In generale un'accurata valutazione della fattibilità tecnica ed economica del trattamento dei rifiuti come materie prime secondarie prevede una corretta combinazione dei tre sistemi.

Da un idoneo trattamento finale dei rifiuti si hanno tre tipi di vantaggi economici:

- riduzione dei costi di conferimento in discarica (il conferimento in discarica risulta piuttosto oneroso nel tempo specie nel caso delle discariche controllate);
- riduzione dei costi connessi a possibili danni ambientali presenti e/o futuri;
- compensazione dei costi tramite il valore economico derivante dall'impiego come materia prima secondaria.

L'ampia diffusione sui mercati mondiali ed in particolare europei di apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) e di apparecchi ad elevata tecnologia comporta l'esistenza di una mole ingente di rifiuti che non possono essere gettati in discarica per il contenuto di sostanze organiche ed inorganiche di potenziale o riconosciuta nocività. Il flusso di questa particolare categoria di rifiuti è in costante aumento tanto da richiedere nuovi investimenti ed una adeguata regolamentazione del settore (Direttiva 2002/96/UE, recepita in Italia con D.L. 151/2005).

Si tratta di un insieme eterogeneo di apparecchiature: grandi e piccoli elettrodomestici, computer, telefoni, giocattoli, utensili elettrici. Per i rifiuti derivanti da queste apparecchiature (RAEE) sono state attivate fi-

liere di raccolta dedicate a singole tipologie di rifiuti, mentre è ancora carente l'attività di riciclo intesa come processamento e recupero di materia. Data l'eterogeneità di tali rifiuti devono essere sviluppati processi ad hoc per ogni singolo tipo di RAEE.

L'attuale legislazione europea in materia di pile e accumulatori è la direttiva 2006/66/EC. Si applica a tutti i tipi di pile, limitando il contenuto di metalli pericolosi quali Cd e Pb. La direttiva promuove la raccolta e il riciclo, fissando quote minime di raccolta differenziata e istituendo l'obbligo del riciclo per quelle raccolte, riciclo che deve avvenire tramite processi che assicurino un livello minimo di efficienza. Secondo dati del 2002, la raccolta totale in Italia è di circa 2800 tonnellate (circa il 12% del venduto). La raccolta deve più che raddoppiare per rispondere agli obiettivi della nuova normativa.

Esistono diversi metodi per il recupero di metalli pesanti da pile scariche<sup>1</sup>. Tali processi possono essere pirometallurgici o idrometallurgici. In particolare, è stato sviluppato un processo idrometallurgico<sup>2</sup> che consente di recuperare da pile alcaline esauste tutti i materiali, in particolare zinco e manganese. Detto processo costituisce oggetto di un brevetto europeo di proprietà dell'Università La Sapienza e dei suoi autori. Lo zinco viene infine recuperato come zinco metallico mentre il manganese si recupera come diossido. Il processo è concepito come *zero-waste* in modo tale da recuperare tutti i materiali contenuti nelle pile esauste e di riutilizzare tutti i reagenti utilizzati nel processo.

Un altro rifiuto importante per volumi prodotti e gli annessi problemi di destinazione è il *car fluff* cioè la frazione residua dopo la macinazione degli autoveicoli a fine vita. I veicoli da rottamare vengono messi in sicurezza e quindi frantumati per il recupero di parti metalliche, mediante separazione magnetica. La parte residua che costituisce il cosiddetto *car fluff*, viene raccolto in balle e posto in discariche dedicate. La direttiva europea 2000/53/CE stabilisce che il recupero

ed il riciclo degli autoveicoli debba raggiungere il 95% in peso entro il gennaio 2015. Attualmente dagli autoveicoli rottamati si recupera circa il 75% in peso corrispondente prevalentemente al recupero dei materiali ferrosi. Il 25% del peso di tali veicoli arrivati a fine vita è costituito da *fluff*, che non può essere avviato in discarica per il suo potere calorifico. Le tecnologie disponibili al momento non consentono di raggiungere i livelli di recupero imposti dalla normativa (recupero/riuso 95%, recupero/riciclo 85% in peso, livelli da raggiungere entro il 2015). Il *car fluff* è composto da plastiche, elastomeri, tessuti, vetro, vernici e materiali ceramici ed elettrici, con un contenuto in carbonio intorno al 50% e con un considerevole tenore di metalli (quali Fe, Cd, Cr, As, Cu, Zn, Pb, Ni)<sup>3</sup>. La natura complessa del *fluff* lo rende un rifiuto difficile da trattare, ma interessante quale fonte di materie prime secondarie di medio-elevato valore. Il suo trattamento al fine del recupero di materia è necessario per il raggiungimento dei livelli imposti dalla normativa.

La ricerca riguardo al trattamento del *car fluff* è orientata verso il recupero di materiale come riempitivo in cementi o legante per asfalti, oppure verso il recupero di energia: quest'ultimo è particolarmente interessante considerato l'elevato potere calorifico che varia tra 16.9 e 30.7 MJ/kg. Molte ricerche riguardano la pirolisi e la gassificazione del *fluff*.

Un'opportuna combinazione di recupero di materia, tramite classificazione fisica, e recupero energetico tramite gassificazione dovrebbe essere la soluzione opportuna per la valorizzazione del *fluff*.

#### Bibliografia

1. Bernardes A. M., Espinosa D. C. R., Tenório J. A. S. Journal of Power Sources 130 (2004) 291–298.
2. Toro L., Vegliò F., Beolchini F., Pagnanelli F., Zanetti M., Furlani G. European patent EP 1 684 369 A1.
3. Lanoir et al. Waste Management & Research (1997) 15, 267-276.

# Il recupero di metalli dai fanghi dell'industria elettronica e dalle pile

Stefano Ubaldini

*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR*

stefano.ubaldini@igag.cnr.it

Parole chiave: *metalli pesanti, industria elettronica, pile esaurite, processi idrometallurgici.*

Le attività di ricerca di cui all'oggetto del presente lavoro sono state condotte in collaborazione con il Dipartimento di Chimica dell'Università La Sapienza di Roma, con il Dipartimento di Chimica, Ingegneria Chimica e Materiali, dell'Università degli Studi di L'Aquila e con il Dipartimento di Scienze Marine, dell'Università Politecnica delle Marche.

E' stato messo a punto, in scala di laboratorio, un processo idrometallurgico-elettrochimico a ridotto impatto ambientale, per la separazione e il recupero selettivo di rame e nichel da reflui dell'industria elettronica.

L'interesse per lo studio di tale processo scaturisce dai seguenti presupposti:

- molte industrie producono nel loro ciclo di lavorazione sostanze pericolose;
- la produzione mondiale di rifiuti industriali è in continuo aumento;
- le notevoli quantità prodotte giustificano lo studio di nuovi processi di recupero, anche per gli elevati costi dovuti a trasporto, manipolazione e messa a dimora dei reflui;
- è importante ridurre la quantità di rifiuti e recuperare i prodotti di valore.

I risultati hanno dimostrato la fattibilità tecnica di un circuito di processo che prevede l'applicazione di tecnologie idrometallurgiche-elettrochimiche nel trattamento di fanghi industriali, ottenendo un recupero pressoché quantitativo di Cu e Ni (94-99 %).

La soluzione, derivante dalla dissoluzione acida del fango con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a pH 2, conteneva Cu e Ni alla concentrazione di 10 g/L; mentre gli altri elementi - come Sn e Pb - re-

stavano nel residuo solido. Il recupero selettivo di rame e nichel è possibile considerando che la differenza dei rispettivi potenziali standard è di circa 0,6 V. E' stato misurato sperimentalmente il potenziale catodico di decomposizione, che è risultato di 0,1 V per il Cu sulla soluzione naturale di lisciviazione e di 1,1 V per il Ni (sulla soluzione residua alla deposizione del rame, alcalinizzata con ammoniaca a pH 10,5) a 40°C.

Sono state ottimizzate le condizioni per l'elettrodeposizione selettiva e quantitativa di Cu e Ni su elettrodo di platino, a 40°C, in relazione al potenziale di scarica, densità di corrente e durata dell'elettrolisi. E' stato ottenuto un rendimento faradico di circa 100% per la deposizione selettiva e quantitativa di entrambi i metalli, con depositi di alta qualità e purezza. I consumi energetici sono stati dell'ordine di 2,4 - 3 kWh/kg di Cu o Ni recuperato. Per la deposizione di Ni è stato messo a punto un metodo innovativo di recupero elettrolitico da soluzioni ammoniacali.

Lo smaltimento delle pile scariche costituisce un serio problema ambientale a causa del loro contenuto in metalli pesanti. Le pile alcaline e quelle zinco-carbone ricoprono circa l'80% del mercato. Quelle alcaline, in particolare, hanno un contenuto medio di MnO<sub>2</sub> del 35% e di Zn del 14%. Il significativo contenuto in Mn e Zn rende perciò le pile alcaline una potenziale fonte di tali metalli, il cui recupero può avere una notevole rilevanza economica ed ambientale; inoltre dall'1 gennaio 2009, in virtù del

dlg. 188/08, è obbligatoria anche in Italia la raccolta sistematica e l'avvio al riciclo delle pile e degli accumulatori privi di piombo. Il decreto legislativo, ha esteso in Italia l'obbligo di recupero alle pile e agli accumulatori. Tale decreto recepisce e rende effettiva la direttiva europea 2006/66/CE (che abroga la direttiva 91/157/CEE). Ad essere incluse sono: le batterie primarie (cioè le pile) di tipo zinco-carbone, alcalino-manganese, litio, zinco-aria, ossido d'argento, le batterie secondarie/ricaricabili (vale a dire gli accumulatori) al nichel-cadmio, nichel-idruro metallico, ioni e polimeri di litio.

Il sistema sanzionatorio è stato inasprito e mira a raggiungere fundamentalmente due obiettivi:

1) evitare che nel futuro prossimo vengano immessi sul mercato pile ed accumulatori che non siano in linea con i principi stabiliti a livello europeo;

2) favorire una nuova cultura avente come oggetto cardine la raccolta differenziata dei rifiuti e di promuovere un alto livello di riciclaggio.

I principali processi attuabili per il suddetto recupero sono di tipo pirometallurgico, che comportano alto consumo energetico ed emissioni di fumi inquinanti, e idrometallurgico, più economici e a minore consumo energetico.

Lo studio è consistito nell'utilizzo di tecnologie applicabili al trattamento dei minerali e alla dissoluzione dei metalli mediante processi idrometallurgici.

Il recupero di Zn e Mn dalle soluzioni è stato attuato elettrochimicamente.

I prodotti delle pile alcaline utilizzate avevano un contenuto pari al 16% in Zn e al 37% in Mn, sotto forma di  $MnO_2$ . Il processo idrometallurgico ha consentito la dissoluzione delle specie metalliche presenti. Il processo elettrochimico è stato applicato a soluzioni aventi una concentrazione media pari 10 g/L, sia di Mn che di Zn.

I risultati hanno dimostrato la fattibilità tecnica dell'applicazione delle suddette tecnologie; infatti, è stato ottenuto un recupero pressoché quantitativo di Mn (oltre 95%

$MnO_2$ ) e di Zn disciolti in soluzione (circa 97% Zn). In tutte le condizioni operative si è ottenuto un deposito di  $MnO_2$  e di Zn ad elevato grado di purezza (superiore al 90%), come dimostrano i risultati delle analisi condotte per mezzo delle tecniche diffratto-metriche ai RX (RXD).

### *Bibliografia*

Ognyanova, A. I., I. De Michelis, F. Ferella, F. Vegliò, A.T. Ozturk, A.U. Akcil, S. Ubaldini and M. Kitis. Recovery of Vanadium and Nickel from Industrial Wastes. In: Proc. of the 11th Int. Mineral Processing Symposium, Edited by Gülhan Özbayoğlu, Ali İhsan Arol, Çetin Hoşten, Ümit Atalay, Belek - Antalya, Turkey, October 21-23, 2008, 933-938.

Ubaldini, S., C. Abbruzzese, P. Fornari, A. Luptakova, R. Massidda and F. Vegliò. Electrohydrometallurgical recovery of Zinc and Manganese from spent batteries. Acta Metallurgica Slovaca, 14: 262-267, 2008.

Ubaldini, S., P. Fornari, R. Massidda, I. De Michelis, F. Ferella and F. Vegliò. Mn-Zn recovery from wastes by hydrometallurgical applications. In: Proc. of the 11th Int. Mineral Processing Symposium, Ed. by G. Özbayoğlu, A. İhsan Arol, Çetin Hoşten, Ümit Atalay, Belek - Antalya, Turkey, October 21-23, 2008, 541-548.

Vatistas, N., M. Bartolozzi and S. Arras. The dismantling of spent alkaline manganese dioxide batteries and the recovery of the zinc from the anodic material. Journal of Power Sources, 101: 182-187, 2001.

Vegliò, F., R. Quaresima, P. Fornari and S. Ubaldini. Recovery of Valuable Metals from Electronic and Galvanic Industrial Wastes by Leaching and Electrowinning. Waste Management, 23(3): 245-252, 2003.



# Sistemi non convenzionali di smaltimento di rifiuti di varia natura ad elevata efficienza di conversione energetica

Pietro Capaldi

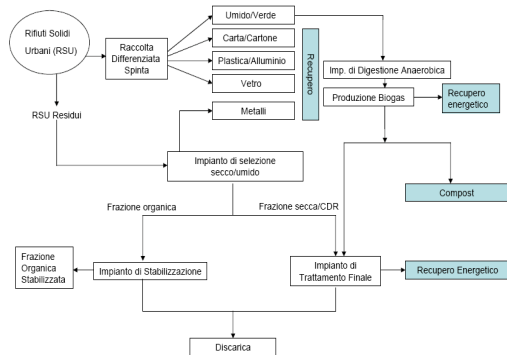
Istituto Motori, CNR  
pietro.capaldi@cnr.it

Espedito Vassallo

Istituto di Fisica del Plasma, CNR  
vassallo@ifp.cnr.it

Parole chiave: *pirolisi, plasma, gassificazione, smaltimento, rifiuti.*

La gestione integrata dei rifiuti urbani risulta essere praticabile ed efficace su larga scala solo stimando la effettiva applicabilità ed efficienza delle varie fasi logistiche e tecnologiche, nonché la effettiva sostenibilità economica e finanziaria a lungo termine (rispondenza alla reale economia di mercato per i materiali riciclati). Questi aspetti risultano i più limitanti rispetto a molte possibili applicazioni ed è quello che ha sovente vanificato gli sforzi per rendere operativo un ciclo integrato all'interno di molte Regioni italiane. L'attuale sistema di raccolta dei rifiuti ruota intorno ai sistemi di termovalorizzazione basati sulla combustione diretta, che impongono l'utilizzo di un combustibile CDR dalle caratteristiche ben precise e che obbligano a un approccio di tipo differenziato per la raccolta del rifiuto e di un articolato processo di trattamento separato delle varie frazioni, così come riportato nella seguente figura.



Purtroppo la percentuale di differenziazione, specie nel sud Italia, risulta essere an-

cora lontana dagli obiettivi pianificati dalle Leggi vigenti (quale il D.L. 152), sia per i costi operativi crescenti con le dimensioni dell'area servita (aumento di mezzi e personale) sia per le resistenze offerte da alcune fasce della popolazione. Tale aspetto pone dei notevoli problemi alla stabilità del ciclo integrato e alla interazione dei sottosistemi che lo compongono (quali gli impianti CDR, termovalorizzazione, compost e discarica); tale criticità pertanto è legata alla notevole "lunghezza" dell'intero ciclo in termini di numero di processi in serie.

## I sistemi non convenzionali

Al fine di semplificare il suddetto ciclo è stato necessario individuare delle soluzioni tecnologiche di smaltimento più flessibili del sistema di termovalorizzazione che prescindessero da una fase di differenziazione spinta. Inoltre esse avrebbero dovuto soddisfare anche altre specifiche mirate al raggiungimento di una migliorata integrazione con il territorio ed in particolare:

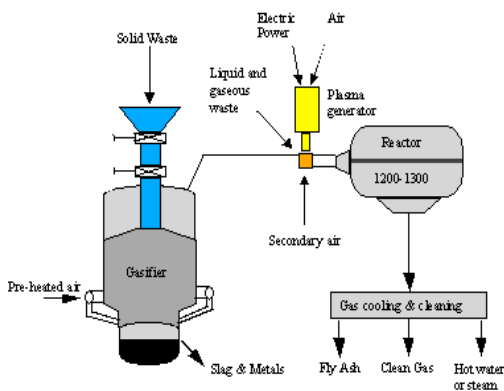
- 1) ridottissime dimensioni per ottenere l'accettazione delle comunità locali;
- 2) limitazione del bacino di raccolta, con smaltimento in loco con conseguente riduzione di costi da trasporto e del relativo inquinamento;
- 3) flessibilità nel trattamento di rifiuti non provenienti da selezione CDR;
- 4) emissioni inquinanti pari o migliori delle BAT (Best Available Technology);
- 5) processi già industrializzati e non sperimentali;
- 6) ridotti tempi di costruzione ed avvia-

mento; 7) costi specifici €/ton-ora rifiuto competitivi con le BAT, sia rispetto al costo dell'impianto che alla conduzione; 8) consumi elettrici compatibili con le ridotte disponibilità attuali del Paese; 9) massimo rendimento energetico (elettrico o di produzione di combustibili pregiati).

In questo contesto sono stati oggetto di studio alcuni impianti di pirolisi (a tamburo rotante, a griglia mobile etc.), di gassificazione (a letto fisso, letto mobile, letto fluido bollente o circolante, etc.), al plasma (ad arco trasferito e non-trasferito) ed infine impianti definibili come ibridi (quali pirolisi/gassificazione, pirolisi/plasma e gassificazione/plasma).

Il sistema che meglio ha interpretato le esigenze prima citate appare quello di pirolisi accoppiata a una gassificazione al plasma, in quanto esso unisce la flessibilità propria della pirolisi all'elevata capacità di raffinazione della gassificazione al plasma, ponendo tale soluzione in condizione di netto vantaggio rispetto a ogni altra tipologia di processo. La flessibilità della pirolisi deriva dal fatto che il processo di scomposizione molecolare (che avviene riscaldando i materiali di natura organica oltre certe temperature ed in totale assenza di ossigeno) non implichi alcuna forma di combustione, ma solo la trasformazione del materiale inizialmente inserito in sostanze combustibili grezze e la separazione dagli inerti eventualmente presenti.

Pertanto, poiché il rifiuto non reagisce con l'ossigeno, risulta inibita la formazione di diossine e furani e la produzione di altri composti pericolosi. Inoltre risulta essere più agevole la neutralizzazione delle sostanze nocive in opportuni sistemi di captazione, prima della combustione che ne renderebbe molto problematica la successiva asportazione. I gas prodotti, seppur grezzi, sono caratterizzati da una ridottissima presenza di metalli pesanti grazie alle modeste temperature di trasformazione (circa 500°C). La possibilità di privare il rifiuto delle sostanze più pericolose a monte della combustione conferisce alla pirolisi le caratteristiche di processo "robusto" rispetto alla variabilità della composizione del rifiuto; pertanto risultano facilmente elaborabili da parte del sistema una notevole varietà di rifiuti quali: RSU e CDR di bassa qualità (Ecoballe), rifiuto da bonifica di discariche dimesse, rifiuti ospedalieri, residui di rottamazione autoveicoli (Fluff), materiali poliaccoppiati (plastica-metallo) e fanghi industriali. In Giappone la sola pirolisi viene da tempo impiegata con successo per il trattamento di residui solidi urbani, ospedalieri, speciali ed in quelli della rottamazione delle automobili. Per quanto concerne il trattamento di dissociazione al plasma esso risulta essere ancora più flessibile della pirolisi, consentendo il trattamento di una ampia categoria di rifiuti tossici, ed in particolari condizioni (analisi del potere calorifico) anche di rifiuti solidi urbani. Pertanto la presenza di un impianto di tipo indipendente sarebbe auspicabile all'interno di una piattaforma di smaltimento ecologica, che potrebbe così trattare rifiuti altrimenti non elaborabili per altra via (per es. amianto). Nel caso di accoppiamento con la pirolisi il trattamento al plasma riguarderebbe solo la parte gassosa degli idrocarburi grezzi e non la dissociazione degli inerti e dei metalli (che risulta essere particolarmente gravosa in termini energetici) con un notevolissimo risparmio in termini di consumi di elettricità. In generale le taglie di impianto possono essere modeste (<4 ton/h), con tempi di realizza-



zione e messa in opera molto brevi e finanziariamente compatibili con le esigenze del capitale pubblico locale, privato o misto. In conclusione gli impianti di smaltimento di taglia ridotta che utilizzino questa particolare tecnologia potrebbero essere la risposta immediatamente operativa per risolvere il problema dei rifiuti in Italia. Lo smaltimento diffuso distribuisce il carico di emissioni inquinanti in atmosfera, minimizzando quello derivante dal trasporto e allenta la tensione sociale relativa alla collocazione degli impianti sul territorio. La pirolisi con post-trattamento ad arco plasma rappresenta, probabilmente, il sistema dotato della maggiore flessibilità, economia di gestione ed efficienza energetica ed è in grado di ridurre il numero di fasi dello smaltimento integrato ed il ricorso alla discarica.

### *Bibliografia*

C. Bertoli, P. Capaldi, L. Carrino, A. Cavaliere, M. Cavaliere, A. Ciajolo, E. Vassallo Il ciclo integrato dei rifiuti in Campania: prospettive e possibilità reali di applicazione. Relazione Dipartimento Energia e Trasporti CNR.

K. Moustakas, D. Fatta, S. Malamis, K. Haralambous, M. Loizidou, "Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment", *Journal of Hazardous Materials B123* (2005) 120–126.

S.F. Paul, Review of the thermal plasma research and development for hazardous waste remediation in the United States, in: R. Benocci, G. Bonizzoni, E. Sindoni (Eds.), *Proceedings of the International School of Plasma Physics workshop on the Thermal Plasmas for Hazardous Waste Treatment*, Varenna, Italy, 1995.

M. Tendler, P. Rutberg and G. van Oost, Plasma based waste treatment and energy production, *Plasma Phys. Control. Fusion* 47 (2005) A219–A230.





Sessione III  
***Controllo e valutazione  
degli impianti***



# Valutazione dell'impatto della gestione dei rifiuti sulla salute umana

Fabrizio Bianchi

*Istituto di Fisiologia Clinica, CNR*

fabrizio.bianchi@ifc.cnr.it

Parole chiave: *rifiuti e salute, epidemiologia ambientale, valutazione di rischio, valutazione d'impatto, biomonitoraggio.*

L'impatto sulla salute del ciclo dei rifiuti è un tema considerato ad alta priorità, sia sul piano scientifico, sia su quello sociale ed economico, da tutte le principali agenzie e istituzioni scientifiche e politiche nazionali e sovranazionali.

La complessità degli aspetti scientifici ed extrascientifici e delle loro interazioni conferisce al tema un posto di primo piano in tutti i livelli di decisione.

Il contributo degli studi sulla relazione tra rifiuti e salute è rilevante per la comprensione degli effetti, per la sorveglianza ambientale e sanitaria, per la valutazione e gestione del rischio dell'intero ciclo di gestione e delle tecnologie di trattamento dei rifiuti. La ricerca in questo settore ha dato e ha ampie prospettive per contribuire ancora significativamente alla crescita di conoscenze sulla storia naturale delle malattie ad eziologia ambientale e multifattoriale.

Un approccio avanzato sulla relazione tra rifiuti e salute include studi sulla percezione del rischio e l'uso di tecniche di comunicazione e partecipazione, anch'esse oggetto di ricerca.

L'epidemiologia ambientale ha costituito la base disciplinare per l'effettuazione di studi su inceneritori, soprattutto di vecchia generazione, su discariche controllate, smaltimenti illegali, sia di rifiuti urbani che pericolosi.

Pochi sono invece gli studi prodotti sull'impatto complessivo dei cicli di gestione, includenti problemi in grado di costituire un rischio rilevante per la salute, come l'inqui-

namento da trasporto dei rifiuti.

Gli studi fino ad oggi effettuati hanno prodotto un corpo di conoscenze sugli effetti sanitari delle discariche che ha consentito alla US-ATSDR (Agency for Toxic Substances and Diseases Registries) di definire una lista di effetti prioritari: difetti congeniti e disordini riproduttivi, tumori selezionati, disordini immunitari, disfunzioni renali, epatiche, malattie respiratorie e disordini neurotossici.

Per gli inceneritori e per le discariche il problema principale è quello della conoscenza delle modalità di diffusione degli inquinanti nelle matrici ambientali e dell'effettiva esposizione delle comunità. Nel caso di discariche incontrollate e illegali (>1200 quelle censite nelle provincie di Napoli e Caserta) la situazione è difficile per l'assenza di dati di caratterizzazione dei siti e del loro intorno. Gli effetti delle combustioni incontrollate di rifiuti sono ancor più difficili da valutare, soprattutto per l'estrema variabilità sul territorio.

L'esposizione di comunità residenti attorno a discariche e inceneritori ha creato preoccupazione da molti anni, e sul tema sono stati pubblicati molti lavori scientifici e rassegne bibliografiche (Vrijheid 2000, Enviro-DE-FRA 2004, Rushton 2003, Franchini 2004, Linzalone 2007). Importanti progressi sono stati recentemente raggiunti sull'uso di biomarcatori misurati nel sangue, nei capelli o nel latte materno per valutare l'esposizione reale a inquinanti (Linzalone 2004, 2007, Bianchi 2006).

Tra i risultati più consolidati sul tema dei rischi sanitari intorno a discariche c'è l'incremento di neonati con basso peso da madri residenti in aree con siti di rifiuti (Vrijheid 2000).

Le malformazioni congenite in popolazioni residenti intorno a discariche sono state ripetutamente studiate, soprattutto in nord america e in Europa, e diversi studi hanno riportato rischi crescenti all'avvicinarsi al sito di smaltimento. Due grandi studi effettuati in Gran Bretagna (Elliott 2001) e in Europa (Dolk 1998, Vrijheid 2002), hanno mostrato incrementi di malformazioni totali e specifiche (+ 10% e 30% tra i nati entro 2 o 3,5 km). Eccessi più rilevanti sono emersi per malformazioni di sistema nervoso, cuore e genitali maschili (Vrijheid 2002). Alcuni studi non hanno evidenziato eccessi di rischio e molti altri sono stati oggetto di pubblicazione grigia.

Per quanto attiene la mortalità, in 593 siti US inclusi nella lista nazionale di priorità erano segnalati eccessi di mortalità per tumori di polmone, vescica, stomaco (Johnson 1999). Studi epidemiologici effettuati con diverso disegno e su aree geografiche di diversa estensione hanno segnalato incrementi di rischio per tumori di polmone, vescica, fegato, stomaco, prostata, linfomi non-Hodgkin, leucemie, leucemie infantili e mortalità perinatale. Recenti studi effettuati in Campania hanno riportato aumenti significativi di mortalità per diversi tumori, malattie circolatorie e diabete in aree con elevata densità di siti di smaltimento e abbandono di rifiuti pericolosi (Altavista et al 2004, Comba et al 2006). Uno studio successivo ha evidenziato incrementi di mortalità al crescere della pressione da rifiuti pericolosi per la mortalità generale, il complesso dei tumori, il tumore del fegato, in entrambi i sessi, tumori polmonari e gastrici negli uomini (Martuzzi et al. 2009). Nella stessa area, tra le province di Caserta e di Napoli, sono emersi incrementi di rischio per malformazioni del sistema nervoso e dell'apparato urinario. Sebbene non si possa quantificare il ruolo eziologico dell'inquinamento da rifiuti e si

debba considerare il ruolo di molti altri fattori di rischio e di confondimento, le prove disponibili indicano una criticità specifica che motiva interventi di prevenzione primaria, in primo luogo le bonifiche.

Sull'impatto ambientale e sanitario degli inceneritori esiste una corposa letteratura scientifica in relazione a microinquinanti indicati come più pericolosi tra quelli prodotti dalla combustione dei rifiuti, quali diossine e furani, cadmio, mercurio ed altri metalli pesanti, IPA oltre a CO, NOx, e polveri. Sull'argomento ci sono ottime rassegne bibliografiche relativamente recenti (Rushton 2003, Franchini 2004, EnviroDefra 2004). Sugli effetti degli inceneritori che hanno operato nei passati decenni si sono accumulate evidenze che, sebbene non ad elevata concordanza, vengono ritenute oggetto di attenzione, in particolare per quanto concerne le patologie riconosciute/ipotizzate correlate ad agenti inquinanti cancerogeni. Studi su impianti più recenti, dotati di tecnologie avanzate di combustione e di abbattimento, sono ancora numericamente ridotti.

“L'adozione di tecnologie avanzate di abbattimento rende probabile una minore occorrenza di effetti misurabili sulla salute delle popolazioni residenti intorno agli impianti. Tuttavia il loro impatto complessivo sull'ambiente e sulla salute umana attraverso meccanismi di azione indiretta non è ancora stato valutato. In particolare l'incenerimento di rifiuti, attualmente in crescita in molti paesi, può contribuire in modo non trascurabile alle emissioni di gas serra e di prodotti inquinanti persistenti su scala globale” (Population health and waste management: scientific data and policy options, WHO, Rome, Italy, 29-30 March 2007).

Nella prospettiva di sanità pubblica esiste una convergenza a livello internazionale sulla necessità di anticipare dal danno conclamato (malattie o decessi) al manifestarsi di segnali precoci di perturbazione fisiologica (danni cromosomici, molecolari, epigenetici) all'accumulo di sostanze potenzialmente dannose.



Per l'avanzamento delle conoscenze e delle capacità gestionali sono da considerare di rilievo:

- la distinzione tra rifiuti urbani e rifiuti pericolosi, tra discariche autorizzate e siti illegali di smaltimento di rifiuti pericolosi, tra impianti d'incenerimento secondo le tecnologie usate e le condizioni di gestione e di esercizio;
- la dimensione e le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento;
- la valutazione dell'esposizione, facendo ricorso a metodi e strumenti avanzati di biomonitoraggio in comunità residenti in aree con impianti (studio "Sebioec" su biomarcatori di esposizione nelle provincie di Napoli e Caserta);
- la gestione dell'incertezza;
- l'adesione a procedure basate sulle prove scientifiche (evidence-based),
- il rafforzamento delle competenze sulla comunicazione e la gestione del rischio.

Su queste linee il progetto interdipartimentale Ambiente-Salute del CNR (PIAS) è impegnato ad approfondire la conoscenza scientifica e stimolare la ricerca multidisciplinare.



## Il controllo ambientale degli impianti di trattamento dei rifiuti

Mauro Rotatori e Ettore Guerriero

*Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, CNR*

rotatori@iia.cnr.it, guerriero@iia.cnr.it

Parole chiave: *incenerimento, emissioni, diossine, sme, protossido di azoto.*

La valutazione del carico inquinante da impianti di incenerimento e il periodico rilevamento delle loro emissioni in atmosfera, costituiscono mezzi di primaria importanza nella gestione della qualità dell'aria e, in generale, dell'ambiente. La conoscenza del livello di emissione consente, oltre alla verifica del rispetto di limiti e prescrizioni, il controllo del corretto funzionamento dell'impianto e la valutazione dell'effettivo carico inquinante.

E' opportuno sottolineare che per la sorveglianza di un limite è necessario che lo stesso sia correlato a una metodica di campionamento e di analisi standardizzata o concordata al fine di uniformare, quanto più possibile, i risultati dei rilevamenti, in particolar modo nei controlli di tipo fiscale. A tale proposito l'emanazione delle linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti d'incenerimento e fissazione delle prestazioni ambientali consentono di avere un punto di riferimento omogeneo per tutto il territorio nazionale.

Per quanto riguarda il rilevamento delle emissioni da impianti di incenerimento di rifiuti, uno degli aspetti che desta maggior interesse dal punto di vista ambientale è quello relativo all'emissione di microinquinanti sia organici che inorganici. In questi ultimi anni si è manifestata una tendenza ad imporre limiti sempre più restrittivi al fine di operare una più efficace salvaguardia dell'ambiente.

La sorveglianza costante di un ristretto, ma significativo, numero di parametri fisici e

chimici consente di tenere sotto controllo la funzionalità di un impianto e di individuare eventuali anomalie di sistemi di contenimento; questo consente interventi correttivi sulle cause di rischio evitando o minimizzando eventuali danni.

Nel caso di un impianto di trattamento di rifiuti andranno controllate le emissioni (ad esempio fumi, acque di scarico, fanghi, etc.) e la qualità del prodotto finale (ad esempio: presenza di incombusti in scorie di incenerimento; efficienza della inertizzazione di un prodotto mediante prove di cessione, etc.).

Un efficace controllo delle emissioni in atmosfera può essere effettuato mediante Sistemi di Monitoraggio in continuo delle Emissioni (SME), correlando i dati da questi forniti con gli altri parametri caratteristici dell'emissione quali: portata degli effluenti, contenuto percentuale di ossigeno, umidità e temperatura.

Relativamente ai microinquinanti, diossine e furani (PCCDD/F) sono i più importanti punti di discussione quando si parla di processi di incenerimento. La valutazione delle emissioni di PCDD/F da impianti industriali risulta importante non solo per verificare il rispetto dei limiti legislativi, ma anche per progettare sistemi di abbattimento e per verificare l'efficienza dei processi che generano tali emissioni.

Recenti studi europei sulla determinazione delle emissioni di PCDD/F e di PCB "diossina-simili" (così definiti a causa della loro elevata tossicità), hanno affrontato, in accordo con gli indirizzi comunitari legislativi

e normativi di settore, lo studio di sistemi di campionamento automatici “in continuo” di tali inquinanti.

I suddetti sistemi si basano, come per il campionamento in discontinuo, sulla norma tecnica 1948-1 del 2006 e consentono il prelievo su periodi statisticamente più significativi (28-30 giorni) ottenendo, così, informazioni sulla quantità totale di diossine e PCB emessi in tali periodi e di rilevare anche aumenti occasionali di emissioni dovuti ad anomalie o a fasi transitorie.

In tale contesto, l’Istituto sull’Inquinamento Atmosferico ha avviato un progetto volto all’esame di alcuni sistemi di campionamento in continuo di PCDD/F e PCB e alla definizione di procedure per la loro validazione. Il progetto si basa sull’analisi dei risultati provenienti da apposite campagne di misura da effettuare su impianti industriali nazionali, in cui è previsto l’impiego, in parallelo, di campionatori in continuo e in discontinuo negli stessi periodi di riferimento.

L’attività vede il coinvolgimento e la collaborazione sia di soggetti privati, come le società responsabili della progettazione e della commercializzazione dei sistemi automatici di campionamento oggetto di indagine, sia di altri enti di ricerca e università.

Un’altra tematica in fase di studio è l’ipotetico contributo dei catalizzatori SCR e SNCR installati sugli impianti all’emissione di protossido di azoto. Fino a pochi anni fa il protossido di azoto era un gas poco conosciuto e i sistemi SNCR erano molto usati, specie negli anni ‘70-’75 per abbattere la concentrazione degli NOX, così come accade per i più attuali SCR. E’ molto più recente, invece, la scoperta che la riduzione degli NOX potrebbe avvenire a discapito di un aumento di N<sub>2</sub>O.

Il protossido di azoto è il terzo gas serra più importante dopo il biossido di carbonio e il metano (contribuisce per circa il 6% a tale effetto) e il suo incremento in atmosfera è causa dell’assottigliamento dello strato di ozono perché contribuisce ad aumentare la concentrazione di NO nella stratosfera.

Il protossido d’azoto ha un GWP (Global Potential Warming) o potenziale di riscaldamento globale, pari a 310.

Da qui l’idea di modificare i materiali dei catalizzatori SCR per far in modo che ci sia la doppia riduzione di NOX ed N<sub>2</sub>O.

Le modalità per la misura delle emissioni sono state oggetto di diversi atti legislativi che, però, non hanno definito uno dei punti più importanti del processo di verifica delle emissioni, ossia se la misura costituisca un atto interno finalizzato alla corretta gestione dell’impianto o se i dati ottenuti possano o debbano essere acquisiti dalla struttura pubblica di controllo al fine di verificare il rispetto delle normative o delle prescrizioni. E’ evidente che solo attraverso un sistema che assicuri la qualità dei dati prodotti è possibile operare un costante, effettivo e affidabile controllo.

Un primo tentativo di avviare una procedura di controllo di qualità nella misura delle emissioni si è avuto con il decreto del ministero dell’ambiente 21 dicembre 1995 recante la “Disciplina dei metodi di controllo delle emissioni in atmosfera dagli impianti industriali” che ha imposto l’adozione di particolari procedure per la misura degli inquinanti negli impianti industriali mediante strumentazioni operanti in continuo. In questo decreto appare evidente come la legislazione si è orientata verso una stretta collaborazione tra l’esercente dell’impianto e le strutture pubbliche responsabili del controllo.

Sebbene non esaustivo, esso può essere considerato un ottimo punto di partenza per l’elaborazione e l’emanazione di provvedimenti specifici in grado di portare gli impianti di incenerimento a un livello tecnico accettabile. In ultima analisi potrebbe essere possibile elaborare procedure e protocolli per un impianto di incenerimento che siano in grado di integrare i risultati delle misure all’impianto, alle emissioni e alle immissioni con la garanzia di qualità dell’Ente primario di certificazione, realmente al di sopra delle parti e a sua volta accreditato a livello internazionale, al fine di fornire ai

responsabili politici ed amministrativi della gestione dell'ambiente una reale e coerente visione dell'impatto dell'impianto, indipendentemente dalla sua collocazione e finalità tecnologica. Tale soluzione è uno dei pochi tentativi seri a cui si possa pensare per riportare la polemica sugli impianti di incenerimento lungo una direttrice scientifica e tecnica realmente qualificata, svincolata da sedicenti esperti ed in grado di assicurare il più profondo rispetto dell'ambiente.

In molti casi, oltre al monitoraggio in continuo devono essere effettuate misure aggiuntive per stabilire se l'impianto rispetta i limiti fissati. Inoltre, mentre per le misure esterne deve essere rilasciato un certificato firmato da un professionista abilitato che si assume la responsabilità di quanto riportato, i dati SME non sono accompagnati da certificazioni con assunzione di responsabilità.

È dunque opportuno stabilire se i dati degli SME siano di natura fiscale o gestionale e, nel caso, stabilire delle responsabilità oggettive e la modalità con cui evidenziarle.

È opportuno definire anche i requisiti del Software di gestione degli SME (in parte definiti dall'ex DM 21.12.95) stabilendo dei codici identificativi dei vari parametri monitorati che consentano l'esportazione dei dati in modo standardizzato per consentire agli organi di controllo e poi all'ISPRA un'agevole elaborazione dei dati nazionali che il Ministero trasmette alla Comunità Europea.

Attualmente la qualità delle performance di misura di uno SME viene verificata in base a quanto riportato nell'Allegato VI parte V del testo unico mediante il calcolo dell'Indice di Accuratezza relativo. In questa parte del testo unico viene ripreso quanto a suo tempo previsto dal DM 21/12/1995, ma tale approccio è ampiamente superato dalla norma EN 14181:04 a cui due direttive specifiche (2000/76/CE e 2001/80/CE) facevano esplicito richiamo, pur non citandola in quanto allora in fase di elaborazione.

Nella citata norma si pongono a confronto i dati forniti dallo SME con i dati forniti da un sistema di riferimento. Sebbene i metodi

di riferimento (SRM) comunitari debbano essere gli stessi a prescindere dalla finalità delle misure (verifica del rispetto di un valore limite o confronto tra SRM e SME installato), è importante notare che in altri Paesi gli SRM sono stati integrati da parte del legislatore, per consentire di eseguire i test di QAL2 e AST mediante strumentazioni identiche a quelle installate. Ciò si è reso necessario in quanto per alcuni inquinanti gli SRM hanno lasciato alquanto perplessi i costruttori degli strumenti.

A fortiori, se il principio di misura adottato dallo SME può essere impiegato per fornire dati fiscali, non si spiega perché un sistema analogo ma portatile non lo sia.

Inoltre, la maggior parte degli strumenti installati sugli impianti sono multiparametrici e l'impiego di strumentazione in continuo per le verifiche consentirebbe, rispetto alle modalità di esecuzione dei Test QAL2 e AST, di avere molti più dati in parallelo per il calcolo della variabilità.

Auspichiamo che l'aggiornamento legislativo in corso tenga conto di quanto sopra esposto, sopperisca alle attuali carenze, consentendo agli operatori del settore di lavorare in un panorama scevro da ambiguità.



# Monitoraggio degli impianti di discarica

Massimo Guidi e Brunella Raco

*Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR*

m.guidi@igg.cnr.it, b.raco@igg.cnr.it

Parole chiave: *discarica, monitoraggio, traccianti, biogas.*

Ancora oggi lo stoccaggio in discarica dei rifiuti solidi urbani è il metodo di smaltimento più diffuso in Italia. Le problematiche di maggiore rilevanza ambientale sono dovute alla produzione di percolato, spesso responsabile di contaminazione di suoli e acque e di biogas che può essere la causa della scarsa qualità dell'aria.

La normativa sullo smaltimento dei rifiuti nasce in Italia con grave ritardo rispetto alle esigenze dettate dallo sviluppo demografico e tecnologico; l'assenza di leggi ha spesso permesso di utilizzare siti da adibire a discariche in aree in cui la dispersione del percolato e del biogas ha dato origine a forme diffuse di contaminazione ambientale. E' degli inizi degli anni ottanta il primo tentativo (DPR 915/82) di organizzare lo stoccaggio dei rifiuti, ma è solo con il DL 22/1997, meglio conosciuto come decreto "Ronchi", che si danno le prime indicazioni tecniche. Il monitoraggio delle varie matrici ambientali viene menzionato con il DL 36/2003. Tale decreto, recependo la direttiva comunitaria nota come "Landfill Directive" (1999/31/CE), obbliga il gestore al monitoraggio: della qualità dell'aria, dell'acqua, del biogas convogliato ed anche del biogas diffuso dal suolo. Purtroppo, nel DL 36/2003 non si specificano le indicazioni tecniche da seguire per l'esecuzione delle misure, senza le quali, non solo non è possibile confrontare dati provenienti da siti diversi, ma spesso è anche difficile dare un'interpretazione univoca ai risultati ottenuti; tali problematiche caratterizzano an-

che il più recente DL 152/2006.

In attesa che vengano messe a punto e rese operative strategie alternative mirate alla riduzione a monte della produzione di rifiuti, al riciclo massiccio delle materie recuperabili e alla riduzione dei volumi e inertizzazione del restante, è di fondamentale importanza che si provveda alla migliore gestione possibile dell'esistente e del pregresso. In questo contesto gli impianti di smaltimento di rifiuti solidi urbani (MSW landfill), che spesso hanno accolto ed accolgono purtroppo anche rifiuti di altro genere, rappresentano per numero, distribuzione sul territorio e rapida crescita dimensionale, uno fra i più gravi problemi per l'ambiente. L'impatto ambientale di questi impianti deve quindi essere stimato e monitorato nel migliore dei modi possibili a tutela della salute del cittadino, della protezione del territorio e dello sviluppo ed applicazione della normativa di salvaguardia ambientale.

In questo quadro è opportuno ricordare che i vari paesi europei stanno recependo la "Landfill Directive" seguendo tempi e percorsi diversi, questo sia per i tempi necessari a sviluppare ed armonizzare le norme legislative nazionali ma anche per la mancanza di protocolli standardizzati nel settore del monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di smaltimento MSW. Impatto che avviene sotto forma di rilascio di gas (biogas, quindi CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> più numerosi composti organici complessi), solidi (polveri) e liquidi (percolato, una soluzione acquosa ad alta concentrazione di sostanza organica ed

inorganica compresi metalli pesanti ed altro); l'eventuale ma non infrequente presenza in discarica di sostanze ad alta tossicità chimica, biologica o radioattive amplifica il danno ambientale e sanitario. Gli effetti più gravi sono locali, anche di tipo genotossico e cancerogeno, spesso legati alla presenza di sostanze xenobiotiche, ma alcuni aspetti (emissione di gas serra) sono globali e ricadono sotto ulteriori capitoli di impegno quali quello del cambiamento climatico. Infine l'impatto economico: il monitoraggio supporta una corretta gestione e permette di prevenire e ridurre il danno da contaminazione ed i conseguenti costi sociali e di successiva bonifica e opera nell'indirizzare la conduzione dell'impianto, ad esempio per l'emissione di gas diffuso dal suolo, verso modalità di recupero e valorizzazione del biogas.

Come ricordato, non esistono protocolli standardizzati per il monitoraggio ambientale delle discariche MSW, ma i singoli enti di ricerca, o referenti per l'ambiente, sviluppano nel tempo e condividono nella letteratura internazionale metodologie via via sempre più raffinate che sono insieme stimolo per la stesura e strumento di applicazione per le normative nazionali ed europee.

In questo contesto è stato messo a punto un set integrato di procedure di campionamento e analisi (chimiche ed isotopiche, su aria, gas ed acque) che permettono il monitoraggio dell'impatto ambientale di una discarica. Tale procedura si sviluppa secondo la seguente linea:

- a) applicazione della metodologia per la misura qualitativa e quantitativa delle emissioni diffuse di biogas dal suolo in atmosfera mediante camera di accumulo e trattamento geostatistico del dato;
- b) studio dei processi redox che avvengono nella copertura e che coinvolgono il biogas diffuso utilizzando le variazioni di concentrazione dei VOC lungo profili verticali e i valori del  $\delta^{13}\text{C}$  della  $\text{CO}_2$ , del  $\text{CH}_4$  e degli idrocarburi da C2 a C5 campionati lungo i suddetti profili;
- c) campionamento ed analisi chimica ed

isotopica ( $2\text{H}/1\text{H}$ ,  $3\text{H}/\text{H}$ ,  $13\text{C}/12\text{C}$  e  $18\text{O}/16\text{O}$ ) di percolato ed acque;

- d) campionamento dell'aria e determinazione di  $\text{CH}_4$ , aldeidi e chetoni, mercaptani e VOC;
- e) campionamento del  $\text{PM}_{10}$  e determinazione delle specie solubili in acqua, in  $\text{HNO}_3$  e della composizione isotopica del carbonio.

Questa metodologia consente di verificare gli effetti degli interventi volti a ridurre le emissioni di gas serra, di VOC e di odorigeni. In particolare i dati chimici e isotopici dei profili, abbinati ai valori di flusso diffuso in superficie, possono essere utilizzati per determinare sul campo le velocità con cui avvengono i processi di ossidazione batterica del metano e di altri VOC consentendo l'ottimizzazione degli interventi volti alla riduzione delle immissioni nell'ambiente di sostanze odorigene e di gas serra. Inoltre l'utilizzo delle tecniche isotopiche, applicate al percolato ed alle acque sotterranee, permette di individuare "l'impronta digitale" del contaminante anche in condizioni in cui i traccianti chimici tradizionali (ad esempio cloruri) non possono fornire informazioni utili per il particolare contesto geologico (ad esempio presenza di argille di origine marina o di torbe). Di particolare interesse è risultato l'uso del trizio come tracciante del percolato, metodica che ha consentito in molti casi dubbi di decidere in merito alla presenza di contaminazione delle acque sotterranee dovuta alla discarica. L'ampliamento dell'uso delle tecniche isotopiche è un importante obiettivo di ricerca. In particolare, data l'elevata concentrazione di trizio nel percolato, può essere di grande interesse determinare le quantità di metano triziato presenti nell'aria in modo da quantificare con maggiore esattezza l'impatto che gli impianti di smaltimento RSU hanno sul territorio.



## I problemi associati al trasporto dei rifiuti

Eugenio Onori

*Albo nazionale gestori ambientali  
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare  
onori.eugenio@minambiente.it*

Parole chiave: *trasporto dei rifiuti, Albo nazionale gestori ambientali, ADR.*

Nell'ambito della gestione dei rifiuti, il trasporto costituisce una fase importante e delicata tanto da richiedere da parte del legislatore europeo il suo controllo mediante l'iscrizione delle imprese interessate presso le competenti autorità degli stati membri. In attuazione delle disposizioni comunitarie, l'ordinamento italiano ha disposto l'iscrizione all'Albo nazionale dei gestori ambientali (già Albo nazionale dei gestori rifiuti previsto dal D.Lgs 22/97) delle imprese che trasportano i rifiuti.

Ai fini dell'iscrizione all'Albo tali imprese devono dimostrare il possesso di determinati requisiti, tra i quali la qualificazione del personale e la disponibilità di attrezzature e veicoli idonei in relazione ai tipi di rifiuti che intendono trasportare.

Le imprese iscritte per il trasporto di rifiuti per conto di terzi sono circa 18000, mentre le imprese iscritte per il trasporto dei propri rifiuti non pericolosi e dei propri rifiuti pericolosi in quantità non eccedenti 30 kg o 30 litri al giorno sono circa 95.000. L'elenco degli iscritti è disponibile sul sito web <http://www.albogestoririfiuti.it> e contiene, per ciascuna impresa, i dati anagrafici, le categorie e classi d'iscrizione, le tipologie dei rifiuti gestiti e i relativi codici dell'elenco europeo dei rifiuti. La ricerca delle imprese può essere effettuata attraverso la corrispondente ragione sociale, la sezione regionale o provinciale di iscrizione, la categoria, il codice dei rifiuti.

Sotto il profilo tecnico e della sicurezza il trasporto dei rifiuti su strada, oltre ad essere

soggetto alla normativa in materia di gestione dei rifiuti, deve rispondere anche alle norme riguardanti la circolazione stradale, l'autotrasporto di cose e il trasporto delle merci pericolose (ADR).

Al fine di garantire la sicurezza del trasporto dei rifiuti risulta assolutamente necessario il raccordo con la normativa ADR. Tale normativa, infatti, disciplina: la classificazione delle sostanze pericolose in riferimento al trasporto su strada, le prove che determinano la classificazione come pericolose delle singole sostanze, le modalità costruttive dei veicoli e delle cisterne, le condizioni di imballaggio delle merci, le caratteristiche degli imballaggi e dei contenitori, i requisiti dei mezzi di trasporto, compresi i documenti di viaggio.

Risulta necessario, dunque, verificare se il rifiuto che s'intende trasportare rientri o meno nel suo campo di applicazione, tenuto conto che le due normative (la disciplina dei rifiuti pericolosi e ADR) non seguono gli stessi criteri. Anzi, va sottolineato che non è sufficiente che il rifiuto sia classificato pericoloso ai sensi del D.Lgs 152/06 per rientrare nel campo di applicazione dell'ADR. Allo stesso modo un rifiuto classificato non pericoloso ai sensi della normativa sui rifiuti può essere sottoposto alle prescrizioni previste dall'ADR. Infatti, anche se ai fini della classificazione delle merci pericolose e dei rifiuti pericolosi si fa riferimento alla medesima normativa (direttiva 67/548/CEE e successive modifiche e integrazioni, e alla direttiva 88/379/CEE e successive modifi-

che e integrazioni, relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura, rispettivamente, delle sostanze pericolose e dei preparati pericolosi), diversi sono i criteri di determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche e delle proprietà fisiologiche dei rifiuti che devono essere trasportati. I rifiuti devono essere classificati ai sensi della normativa ADR qualora contengano materie pericolose in quantità tali da determinare la presenza di una o più caratteristiche di pericolo riconducibili

Classi	ADR
1	- Materie e oggetti esplosivi
2	- Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione
3	- Materie liquide infiammabili
4.1	- Materie solide infiammabili
4.2	- Materie soggette ad accensione spontanea
4.3	- Materie che a contatto con acqua sviluppano gas infiammabili
5.1	- Materie comburenti
5.2	- Perossidi organici
6.1	- Materie tossiche
6.2	- Materie infettanti
7	- Materie radioattive
8	- Materie corrosive
9	- Materie e oggetti pericolosi diversi

Tabella A

A sua volta ogni materia è assegnata a una rubrica ONU nelle differenti classi.

Sono utilizzate quattro rubriche ONU, così suddivise:

A - rubriche individuali per materie e oggetti ben definiti. Es. ONU 1090 acetone.

B - rubriche generiche, per gruppi di materie o articoli ben definiti. Es. ONU 1133 adesivi, ONU 1266 prodotti per profumeria.

C - rubriche specifiche n.a.s. relative a un gruppo di materie od oggetti di particolare natura chimica o tecnica, non altrimenti specificate. Ad es.: ONU 1477 nitrati inorganici nas.

D - rubriche generali n.a.s., relative a un gruppo di materie od oggetti con una o più caratteristiche di pericolosità nas. Ad es. ONU 1993 liquido infiammabile.

Le ultime tre rubriche sono definite rubriche collettive. Per classificare un rifiuto ai fini dell'ADR occorre verificare se il rifiuto medesimo è costituito da una materia nominal-

mente citata in una classe ADR ovvero, trattandosi spesso di miscela o soluzione, non sia assimilabile a una materia nominalmente citata. Se il rifiuto è assimilabile a una materia della tabella nominativa dell'ADR (tabella A) e a un gruppo di imballaggio, l'assegnazione avviene in relazione al suo grado di pericolo secondo i requisiti di cui alla sottosezione 2.2.x.1 delle varie classi.

Se, invece, il rifiuto non è assimilabile a una materia nominalmente citata occorre procedere a identificare, facendo riferimento alle rubriche collettive, la sostanza pericolosa prevalente (e quindi la sua attribuzione a una classe ADR).

Per il trasporto dei rifiuti che non rientrano nel campo di applicazione dell'ADR, invece, devono essere osservate le disposizioni tecniche dettate dall'ordinamento dell'Albo (regolamento n.406/98, deliberazioni del Comitato nazionale dell'Albo) e riportate nei provvedimenti d'iscrizione sotto forma di prescrizioni.

Tali disposizioni riguardano: le caratteristiche delle carrozzerie dei veicoli, delle attrezzature e dei dispositivi installati, l'idoneità dei contenitori in relazione allo stato fisico dei rifiuti, nonché le modalità di trasporto. Specifiche disposizioni sono dettate per i veicoli e i contenitori utilizzati per il trasporto dei rifiuti pericolosi.

Infine, va segnalato che, anche se prevista (v. art.193, comma 2, lettera l, del D.Lgs 152, ma anche prima art. 18, comma 2, lettera i), del D.Lgs 22/97), non è stata ancora emanata una regolamentazione tecnica organica del trasporto dei rifiuti che tenga conto anche delle varie modalità di trasporto e della disciplina del trasporto intermodale.

### Bibliografia

E. Onori, B. Bracchetti, R. Laraia. L'iscrizione all'Albo nazionale gestori ambientali. Egaf Edizioni. Forlì, 2008.

G. Protospataro, R. Danieli. Accordo ADR e norme complementari sulle merci pericolose. Egaf Edizioni. Forlì, 2008.

P.Ficco. Gestire i rifiuti. Edizioni Ambiente. Milano 2008.

## La tracciabilità dei rifiuti e il controllo dei traffici illeciti

Vito Felice Uricchio

*Istituto di Ricerca Sulle Acque, CNR*

vito.uricchio@ba.irsa.cnr.it

Parole chiave: *tracciabilità, contrasto criminalità ambientale, intelligenza artificiale, RFID.*

Il vivace dibattito culturale e normativo sui temi della gestione ottimale del ciclo dei rifiuti e del suo monitoraggio, ha determinato un significativo interesse scientifico in materia di tracciabilità. Attenzione che scaturisce altresì dalla dimensione economica degli interessi in gioco e dai significativi impatti sulla salute umana e sull'ambiente. Si pensi che ogni anno in Italia svaniscono oltre 20 milioni di tonnellate di rifiuti, quantitativo raffigurabile in una montagna dell'altezza di circa 1.900 metri con una base di 3 ettari.

Tra le attività illecite gestite dalla criminalità organizzata, sul piano economico, i traffici dei rifiuti sono secondi solo al traffico degli stupefacenti, con importi che in Italia superano i 22 miliardi di euro l'anno.

I dati Europol (European Police Office) illustrano che la prevalenza dei traffici riveste carattere internazionale (71%), per effetto del cosiddetto "shopping normativo" che orienta i flussi di rifiuti verso nazioni con un apparato sanzionatorio e penale più blando e con controlli meno efficaci.

Infatti, tra gli Stati membri si registrano importantissime oscillazioni con pene detentive variabili tra 3 mesi e 6 anni e con sanzioni pecuniarie comprese tra € 3.000 e € 850.000. Un recente studio condotto dalla UE in 13 porti europei, ha messo in rilievo che addirittura il 50% delle spedizioni di rifiuti registrano violazioni normative.

Tale contesto ha orientato sia la definizione di alcuni importanti tratti della Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio

n. 2008/98/CE del 19 novembre 2008, che all'art. 17 indica la necessità di porre in essere "misure volte a garantire la tracciabilità dalla produzione alla destinazione finale e il controllo dei rifiuti pericolosi" per garantire la protezione dell'ambiente e della salute umana e dall'altro ha avviato un percorso di armonizzazione delle normative penali in materia di traffici illeciti di rifiuti.

Le risposte agli obiettivi di tracciabilità possono essere fornite attraverso metodologie di tipo documentale o mediante sistemi innovativi altamente tecnologici: tali approcci non si escludono vicendevolmente, ma possono proficuamente integrarsi.

Con riferimento alle metodologie tradizionali, note con il termine di tracciabilità di primo livello, è possibile considerare: il formulario d'identificazione rifiuti (FIR), contenente informazioni sui soggetti coinvolti (produttore, detentore, trasportatore, destinatario), sulle modalità di trasporto e la destinazione finale dei rifiuti; il registro di carico e scarico; il modello unico di dichiarazione (Mud); la tracciabilità dei nodi con flusso di dati che accompagna ogni movimentazione; il sistema ottico a barre; la proprietà e unicità dei contenitori; etc. sino al nuovo catasto telematico dei rifiuti. Tali strumenti si rivelano particolarmente utili per la realizzazione di opportuni controlli, tuttavia fondano la loro efficienza sulla correttezza dei comportamenti da parte dei principali attori impegnati nella filiera del ciclo dei rifiuti tra cui: gestori dei punti di raccolta; trasportatori responsabili della mi-

croraccolta; centri di stoccaggio temporaneo; trasportatori di medio e lungo raggio; gestori di impianti di trattamento/smaltimento finale.

La tecnologia e l'innovazione sicuramente possono conferire un significativo valore aggiunto a tali strumenti convenzionali, consentendo di tracciare efficacemente i rifiuti e di rilevare comportamenti illeciti o impropri. In particolare i dispositivi tecnologici possono essere orientati alla tracciabilità della materia, dei vettori di trasporto o alla verifica dell'interazione tra materia e trasporto.

Intendendo per tracciabilità il processo informativo che segue il flusso di materia da monte a valle della filiera di produzione-smaltimento del rifiuto, è possibile intervenire tecnologicamente su più elementi per definire il percorso o il recapito finale.

La tracciabilità evoluta della materia oggi può essere eseguita, ad esempio, utilizzando dispositivi RFID (Radio Frequency Identification) consistenti in piccoli dispositivi elettronici, composti da un chip ed un'antenna. Il chip è in genere in grado di trasportare 2.000 byte di dati o meno. Il dispositivo RFID, come il codice a barre o la banda magnetica sul retro di una carta di credito, fornisce un identificatore univoco per l'oggetto. Gli RFID, a differenza delle altre tecnologie precedentemente citate, hanno l'importante vantaggio di poter trasmettere dati senza essere posizionati in prossimità del lettore o dello scanner. Anche se la tecnologia degli RFID risale a circa 50 anni fa, solo recentemente si è pervenuti ad una significativa diffusione grazie alla contrazione dei costi che oscillano da 2 a 10 centesimi di euro per pezzo ed all'implementazione di standard più puntuali.

La ricerca, oggi è impegnata nella soluzione di problemi legati alle collisioni di lettura e di tag e nel potenziamento degli RFID ad un'alta frequenza (HF), che possono consentire la tracciabilità in ambiti più estesi. Tuttavia anche le soluzioni a bassa frequenza (LF) possono essere proficuamente utilizzate per la tracciabilità dei rifiuti passanti

attraverso varchi posizionati all'ingresso degli impianti di trattamento.

Tra i sistemi evoluti di tracciabilità oltre all'RFID, che rappresenta la tecnologia più sicura ed affidabile, è possibile considerare anche approcci basati su GPRS, GPS, Wi-Fi e WiMAX: tuttavia occorre considerare che le resistenze alla tracciabilità evoluta sono collegate al notevole incremento di trasparenza che esse comportano.

Le tecnologie basate su trasmissioni d'informazioni per la tracciabilità, acquistano ulteriore efficacia se configurati in un ambito caratterizzato da un incremento della copertura satellitare: infatti lo stesso Sistema di Posizionamento Galileo progettato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), che rappresenta l'alternativa Europea al Global Positioning System (GPS), controllato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, si pone tra i principali obiettivi la tracciabilità. Tale rete che conterà su una costellazione di 30 satelliti orbitanti su 3 piani inclinati rispetto al piano equatoriale terrestre e ad una quota di circa 24.000 km, dovrebbe entrare in esercizio il 2013, mentre attualmente sono funzionanti solo impianti pilota ed alcuni sistemi di EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), costituiti da una rete di satelliti e basi terrestri progettate per offrire un servizio di incremento della accuratezza dei sistemi GPS e GLONASS in Europa.

La tracciabilità dei trasporti di rifiuti può beneficiare delle tecnologie di posizionamento analoghe a quelle utilizzabili per il tracking della materia, ma anche della sempre più capillare diffusione di dispositivi di videosorveglianza orientati anche ad obiettivi di natura diversa (sicurezza, controllo del traffico e della velocità veicolare, anti-rapina ed antifurti, controlli in punti vendita, servizi di vigilanza, etc.). Tali dispositivi possono essere utilizzati per la ricostruzione dei percorsi da nodi viari, o anche, attraverso sistemi di videosorveglianza intelligente per il rilevamento automatico degli smaltimenti abusivi, basati sul riconoscimento delle azioni di smaltimento. I Sistemi di vi-

deosorveglianza intelligente possono essere proficuamente applicati in differenti contesti, tra cui luoghi in cui ricorrono con frequenza abbandoni di rifiuti, sversamenti di liquami (es. strade periferiche, aree marginali, doline ed inghiottitoi, pozzetti stradali, etc.), evitando appostamenti e consentendo operazioni e controlli su territori più ampi a parità di numero di militari. La tecnologia è matura in contesti particolari tra cui ambienti aperti e/o poco illuminati.

L'evoluzione del concetto di monitoraggio da mera acquisizione e registrazione dei dati, in sistema integrato in grado di coniugare il controllo dinamico di parametri all'interazione spinta con l'applicazione di tecnologie basate su "Agenti Intelligenti" e sull'estrazione della conoscenza, ha aperto nuove ed interessanti prospettive di ricerca applicata. In tale direzione l'IRSA in collaborazione con il Politecnico di Bari ed il Centro Internazionale Alti Studi Universitari (CIASU), ha sviluppato un sistema integrato che consente sia la tracciabilità dei percorsi effettuati che l'individuazione dei luoghi di carico e scarico (anche parziale). Il sistema si compone di una unità transponder GPS/GPRS/GSM, di ridotte dimensioni e peso, da montare su mezzi destinati al trasporto di rifiuti solidi e liquidi, in grado di comunicare ad un sistema centrale la posizione del veicolo, le variazioni di peso, di rotta, etc. e di un sistema informativo per la gestione e fruizione dei dati raccolti e trasmessi, nonché per l'estrazione della conoscenza (attraverso metodologie di Data Mining ed Association Rules Discovery e di intelligenza artificiale) finalizzata all'implementazione di funzioni di ottimizzazione dell'impiego dei mezzi ed alla valutazione e gestione delle situazioni di crisi ancor prima che si verifichino. Tale sistema consente, quindi, di verificare l'effettivo itinerario seguito dal mezzo, valutare eventuali comportamenti sospetti come variazioni di percorso, soste prolungate, attraversamenti di aree protette, di aree carsiche, di buffer di corsi d'acqua, lame e gravine, etc., analizzare i parametri attinenti al rischio ambientale collegato al

trasporto di rifiuti solidi e liquidi allo scopo di poter considerare la tutela dell'ambiente tra gli elementi di valutazione per la scelta degli itinerari, etc.

Le attività di tracciamento dei materiali o dei trasporti generano quantitativi particolarmente significativi di dati, che possono essere proficuamente gestiti attraverso tecnologie di Data Mining e di Knowledge Discovery che consentono l'estrazione non-banale di informazioni implicite, precedentemente non note. Alla base della tecnologia del Data Mining vi è l'esplorazione e l'analisi, eseguita in modo automatico o semiautomatico, di grandi quantità di dati allo scopo di scoprire pattern significativi. Le tecniche di Data Mining (clustering, sequence clustering, neural network, decision trees, time series, logistic regression) sono fondate su specifici algoritmi. I pattern identificati possono essere a loro volta il punto di partenza per ipotizzare e quindi verificare nuove relazioni di tipo causale tra i fenomeni. Inoltre, le metodologie di analisi dei dati spaziali applicate allo studio geografico delle localizzazioni in cui hanno avuto luogo eventi criminosi possono fornire utili indizi per ricostruire il modus operandi del criminale ed individuare pattern spaziali significativi che possano aiutare gli investigatori a prevenire o addirittura a determinare le zone di probabile provenienza dell'esecutore del crimine. Concetti come: journey to crime, crime travel demand, trip distribution demand ed analisi degli hot spot sono strumenti ormai pienamente consolidati nella lotta al crimine ambientale. L'analisi del journey to crime è centrale in discipline quali la criminologia ambientale, la ricerca geografica criminale e lo studio delle localizzazioni prevalenti dei crimini. Da un punto di vista puramente operativo, comprendere la mobilità criminale è la chiave per effettuare le attività di pronto intervento, di profiling geografico e prevenzione del crimine. Il crime travel demand e la trip distribution demand sono legati a varie funzioni distanza che tentano una ricostruzione della probabile provenienza di origine del criminale. L'analisi de-

gli hot spot invece consente di individuare, tramite metodi statistici del secondo ordine, raggruppamenti significativi tra le località in cui i crimini hanno avuto luogo.

Tale attività risulta di fondamentale importanza ai fini dell'incremento dell'efficacia dell'azione investigativa in campo ambientale, soprattutto per quanto concerne la localizzazione di quei soggetti che abbiano evidenziato una condotta sanzionabile nei termini della normativa specifica della materia.

### *Bibliografia*

R. Agrawal, T. Imieliński e A. Swami. "Mining association rules between sets of items in large databases". SIGMOD Rec., volume 22(2): pagine 207–216, 1993.

D. F. Ferraiolo, D. R. Kuhn e R. Chandramouli. Role-Based Access Control. Artech House, seconda edizione, marzo 2007.

J. Vaidya, V. Atluri e J. Warner. "RoleMiner: mining roles using subset enumeration". In Proceedings of the 13th ACM Conference on Computer and Communications Security, pagine 144–153. 2006.

Vawn Himmelsbach, Panel explores the untapped possibilities for RFID, Computing Canada, 28 ottobre 2005

Vellucci Antonio, Aspetti tecnici e regolamentari sull'uso degli RFID in Italia, Ministero delle Comunicazioni - Direzione generale pianificazione e gestione dello spettro radioelettrico, maggio 2007.

G. Yang. "Computational aspects of mining maximal frequent patterns". Theoretical Computer Science, volume 362(1):pagine 63–85, 2006.

WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part I. A Technical Overview and Performance Evaluation", 21 February 2006.

Senato della Repubblica - Indagine conoscitiva sulle problematiche relative alla produzione e alla gestione dei rifiuti, con particolare riferimento ai costi posti a carico dei cittadini, alla tracciabilità, al compostaggio, alla raccolta differenziata ed alla effettiva destinazione al recupero ed al riuso dei rifiuti o delle loro porzioni. XVI Legislatura - 2009

## Aspetti economici del ciclo dei rifiuti

Roberto Zoboli

*Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo, CNR e Università Cattolica*  
r.zoboli@ceris.cnr.it

Massimiliano Mazzanti

*Università di Ferrara e Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo, CNR*  
ma.maz@iol.it

*Parole chiave: fattori socio-economici, decoupling, Environmental Kuznets Curve, tariffe, politiche di gestione, valutazione delle politiche.*

Le ricerche economiche sui rifiuti del CERIS-CNR si sono sviluppate attraverso la partecipazione, in collaborazione con APAT, ai consorzi internazionali ETC/WMF (European Topic Centre on Waste and Material Flows, 2001-2004) e ETC/RWM (European Topic Centre on Resources and Waste Management, 2005-2008). Proseguono attualmente attraverso ETC/SCP (European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production, 2009-2013). Altre attività di ricerca sui rifiuti sono state realizzate in collaborazione con IRSA-CNR.

Una prima linea di ricerca riguarda la valutazione delle politiche dei rifiuti in termini di efficacia rispetto agli obiettivi. CERIS ha contribuito, oltre che ad analisi sulla politica del packaging in Italia, a formulare uno schema metodologico-modellistico per la valutazione di efficacia ex post della direttiva sulle discariche nei paesi europei. La valutazione delle politiche soffre tipicamente di un problema di co-causazione, poichè molti fattori non controllabili influiscono sull'esito delle politiche stesse. Lo schema si basa quindi, date le interdipendenze nel sistema rifiuti (urbani), sulla definizione di 'fattori favorevoli' e 'fattori di ostacolo' alla diversione dalla discarica e alla minimizzazione dei suoi impatti ambientali (Mazzanti e Zoboli 2006). L'efficacia delle politiche sulla discarica è influenzata anche da altre politiche, ad esempio quelle sulla raccolta differenziata, sull'incenerimento, sul riciclo. Esse possono influire sulla

diversione dalla discarica anche in presenza di deboli politiche delle discariche stesse. Scarsi o nulli appaiono, nel quadro europeo, i possibili effetti di politiche sulla discarica per la 'prevenzione' della produzione di rifiuti.

Una seconda linea di ricerca, che utilizza tecniche econometriche, riguarda le determinanti socio-economiche della produzione e gestione di rifiuti urbani a livello europeo e italiano (Mazzanti, Montini e Zoboli 2008a, 2008b; Mazzanti e Zoboli 2005, 2008, 2009).

A livello europeo (UE25), sono state stimate relazioni tra produzione/gestione dei rifiuti e driver economici (reddito/consumo) inserendo, in una formulazione di tipo 'curva di Kuznets', covariate socio-economiche e localizzative (densità di popolazione, popolazione urbana, dimensione media della famiglia, indici di vecchiaia) e variabili relative alle politiche (grado di decentralizzazione, attuazione delle direttive discariche ed incenerimento, indice composito di azione di policy). I risultati indicano l'avvio di un processo di 'disaccoppiamento relativo' tra reddito/consumo e produzione di rifiuti per l'Europa in complesso (seppure con differenza tra EU15 e EU10), in cui i rifiuti crescono meno dei driver economici. Le altre variabili, comprese quelle di politica dei rifiuti, hanno un ruolo poco significativo sulla produzione di rifiuti.

Nel caso della gestione in discarica, vi sono indicazioni statisticamente significative

di un forte ‘disaccoppiamento assoluto’ rispetto al reddito/consumo (declino della gestione in discarica al crescere del reddito), con un ruolo, in questo caso, di fattori quali la densità di popolazione, che fa aumentare la diversione dalla discarica, e un importante contributo delle politiche dei rifiuti. I dati suggeriscono tuttavia che politiche molto decentrate possono indurre un rallentamento della diversione dalla discarica. Risultati analoghi si ottengono, con il segno rovesciato, per l’incenerimento, che cresce con il reddito in modo statisticamente significativo.

In sintesi, politiche attuate nei paesi europei hanno avuto una certa efficacia nel modificare le scelte di gestione, ma non hanno avuto effetti significativi sulla ‘prevenzione’ (produzione di rifiuti) che è la prima priorità della ‘gerarchia’ dell’Unione Europea.

Nel caso dell’Italia, le relazioni tra produzione di rifiuti (urbani) e variabili socio-economiche sono state testate su panel di dati regionali e provinciali (103 province), elaborati a partire dai dati pubblici di APAT-ONR per il periodo 1996-2004.

Una significativa evidenza in favore di disaccoppiamento tra produzione di rifiuti e reddito emerge dai dati provinciali. Tuttavia, il punto di svolta della relazione reddito-rifiuti è a livelli molto alti di reddito procapite (23.000-26.000€), che caratterizza solo poche regioni del Nord. Ciò implica che dalla sola dinamica del reddito non possono essere attesi miglioramenti nella produzione di rifiuti. Emerge quindi un ruolo per le politiche. Queste ultime, tuttavia, appaiono sistematicamente più sviluppate nelle regioni più ricche, ed emerge un’alta correlazione tra produzione di rifiuti e quota di raccolta differenziata. I dati mostrano inoltre che, nel periodo considerato, la diffusione del nuovo regime tariffario e la capacità di recupero dei costi da parte dei gestori non sembrano impattare la produzione di rifiuti stessi. Emerge invece che la diversione dalla discarica è più forte quando un’alta densità di popolazione si

combina con la raccolta differenziata e una tariffazione basata sui costi. La tassa sulla discarica non sembra invece impattare la diversione in modo significativo.

Ciò suggerisce che la nuova tariffazione del servizio, anche se migliora le condizioni della gestione, può avere un limitato effetto di ‘prevenzione’, e quest’ultima richiede politiche esplicite e più creative.

### *Bibliografia*

Mazzanti M., Montini A. (eds.), (2009). *Waste and Environmental Policy*, Routledge, Cheltenham.

Mazzanti M., Montini A., Zoboli R. (2008a). Municipal waste generation and socio-economic drivers. Evidence from comparing Northern and Southern Italy. *The Journal of Environment and Development*, vol. 17, pp. 51-69.

Mazzanti M., Montini A., Zoboli R. (2008b). (2007), Municipal waste generation and the EKC hypothesis; New evidence exploiting province-based panel data. *Applied Economics Letters*, vol. December 12.

Mazzanti M., Zoboli R. (2005). Delinking and Environmental Kuznets Curves for waste indicators in Europe, *Environmental Sciences*, vol. 2(4), pp. 409-425.

Mazzanti M., Zoboli R. (2006). ‘Expost effectiveness evaluation of environmental policies’, ETC/RWM and EEA European Environment Agency, November.

Mazzanti M., Zoboli R. (2008). Waste generation, waste disposal and policy effectiveness: Evidence on decoupling from the European Union, *Resource Conservation and Recycling*, vol. 52(10), pp. 1221-1234.

Mazzanti M., Zoboli R. (2009). Municipal Waste Kuznets Curves: Evidence on Socio-Economic Drivers and Policy Effectiveness from the EU, *Environmental and Resource Economics* (online 20 March 2009).





