

Scelte sostenibili ed equilibrate per la gestione dei rifiuti urbani

Umberto Arena

Tutti i Paesi che hanno raggiunto l'obiettivo di uno smaltimento efficace e sostenibile prevedono sempre, a valle di adeguate politiche di riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti, lo stadio preliminare ed imprescindibile di una raccolta differenziata di quantità e qualità, a cui deve seguire una combinazione equilibrata di opzioni, tutte necessarie ma da sole non sufficienti a garantire efficienza e sostenibilità.

Un sistema di gestione dei rifiuti ha il compito primario di rimuovere i rifiuti dall'habitat umano per assicurare il mantenimento di condizioni di vita igieniche. Nei Paesi europei, questo ruolo fondamentale è stato anche l'unico perlomeno fino alla fine del XIX secolo, ed è ancora tale in molti Paesi in via di sviluppo. Da diversi decenni però le procedure gestionali e le pratiche sanitarie soddisfano gli obiettivi igienici così bene e con tale continuità che il cittadino non avverte la necessità (e l'importanza) del servizio se non nelle situazioni di emergenza, che costituiscono comunque casi isolati, addirittura eclatanti perché considerati incomprensibili. Contemporaneamente si è assistito ad una crescita inarrestabile dei consumi, con una produzione sempre maggiore di beni, spesso molto sofisticati per tipo di materiali impiegati e tecnologie di realizzazione, che ha portato inevitabilmente ad una generazione di rifiuti sempre più rilevante sia per quantità che per complessità. Si è di conseguenza evoluto il ruolo della gestione rifiuti, che con l'ausilio di soluzioni gestionali e tecnologiche sempre più avanzate ed affidabili, svolge oggi il ruolo di barriera di protezione o, meglio, di "filtro" indispensabile tra le attività umane e l'ambiente. Dalle procedure estremamente semplici, come la raccolta indifferenziata e lo smaltimento in discarica, si è passati quindi a sistemi di gestione integrata e

sostenibile, che includono: programmi di riduzione alla fonte della quantità e pericolosità dei rifiuti; pratiche domestiche di raccolta differenziata; moderni e distinti sistemi di raccolta e trasporto; tecniche di riciclo di materiali da reintrodurre nel sistema produttivo (per ridurre lo sfruttamento di risorse primarie e l'inquinamento creato dai relativi processi di estrazione e lavorazione); processi biologici e termici per il recupero sostenibile di materia ed energia; conferimento in discariche autorizzate (localizzate in siti idonei e dotate di adeguate barriere di protezione e di efficienti sistemi di trattamento del percolato e di captazione e valorizzazione energetica del biogas). Un moderno sistema di gestione dei rifiuti urbani non può cioè più limitarsi al solo mantenimento di condizioni di vita igieniche. In accordo con le ultime Direttive Europee, deve necessariamente perseguire alcuni obiettivi generali, indispensabili per garantirne la sostenibilità: innanzitutto la minimizzazione dell'impatto di tutte le operazioni, a **protezione della salute umana e dell'ambiente**; poi la **conservazione delle risorse**, quali materiali, acqua, energia ma anche territori; quindi una **gestione dei rifiuti "after-care-free"**, cioè tale che né il conferimento a discarica né i trattamenti biologici e termici né il riciclo comportino problemi da risolvere per le future generazioni; ed infine la **sostenibilità economica**, da valutare nell'ottica

di una *welfare economy*, che tenga cioè in conto tra i costi, di quelli diretti necessari per trattare le diverse frazioni di rifiuto e di quelli esterni relativi alle emissioni inquinanti di ciascuno scenario, e tra i benefici, di quelli diretti ricavati dal collocamento sul mercato dei materiali recuperati e dell'energia e di quelli esterni corrispondenti al valore delle emissioni "evitate" nei cicli produttivi che vengono sostituiti attraverso il recupero di materiali e di energia dai rifiuti [1, 2]. Le principali realtà nazionali ed internazionali che vantano da anni sistemi di gestione dei rifiuti urbani che hanno raggiunto pienamente questi obiettivi [3-5] prevedono sempre, a valle di adeguate **politiche di riduzione** della quantità e della pericolosità dei rifiuti, lo stadio preliminare ed imprescindibile di una **raccolta differenziata** di quantità e qualità, a cui deve seguire una combinazione equilibrata di opzioni, tutte necessarie ma da sole non sufficienti a garantire efficienza e sostenibilità (Figura 1):

- **filiera del riciclo** della frazione secca da raccolta differenziata (vetro, carta e cartone, legno, plastiche e metalli);
- **trattamenti biologici** della frazione umida organica da raccolta differenziata;
- **trattamenti termici** del rifiuto residuale alla raccolta differenziata e degli scarti combustibili delle filiere del riciclo di carta e plastica;
- smaltimento definitivo in **discarica** solo dei residui del riciclo e dei trattamenti termici e biologici.

Un esame anche rapido della Figura 1, evidenzia che ciascuna di queste opzioni genera residui che devono essere trattati attraverso un'altra delle soluzioni gestionali previste in un sistema integrato: in altri termini, nessuna di esse è in grado di trattare adeguatamente il 100% dei rifiuti urbani. Un sistema sostenibile di gestione dei rifiuti urbani

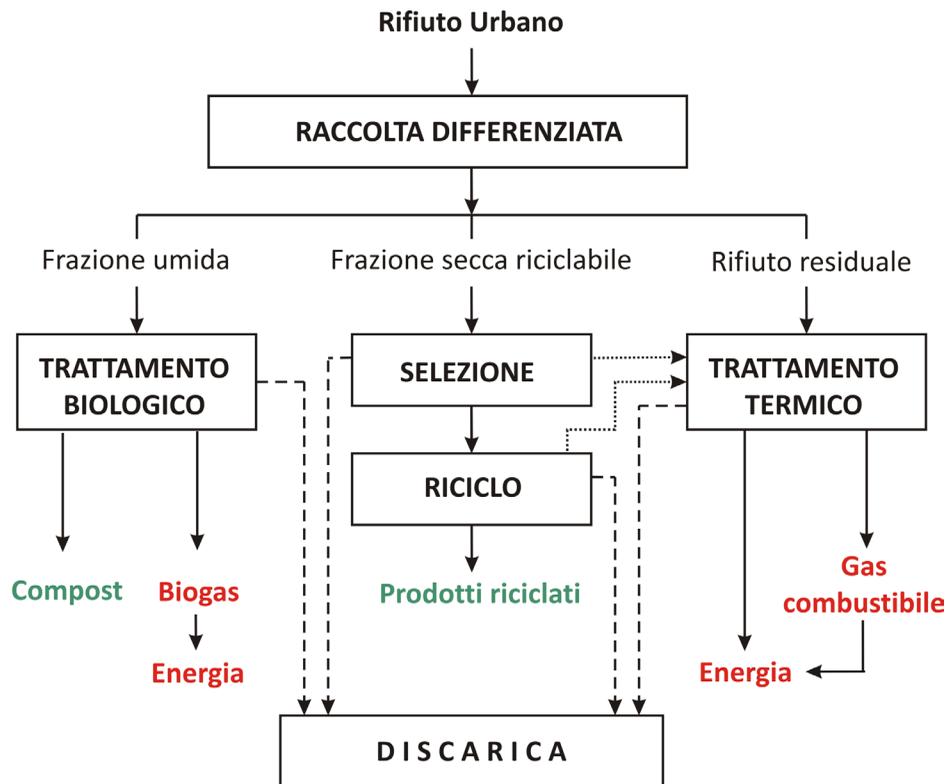
deve pertanto essere una combinazione integrata di fasi e tecnologie, in cui i residui delle fasi a monte sono gli ingressi di quelle a valle, fino a che i prodotti risultanti sono collocati positivamente sul mercato o conferiti in discarica. Le diverse opzioni sono parti indispensabili ma complementari di una strategia integrata e non sono alternative tra di loro. Non esiste una soluzione "unica" né una soluzione che sia sempre la migliore in tutti i possibili contesti.

La raccolta differenziata

È la base di tutto il sistema di gestione dei rifiuti urbani, purché sia attuata a livelli quantitativi, ma anche qualitativi, elevati. Prepara al meglio il rifiuto domestico a tutte le successive fasi di trattamento, e quindi alla filiera del riciclo, ai trattamenti biologici, ai trattamenti termici; consente così di inviare a discarica solo i quantitativi minimi tecnici di rifiuti stabilizzati, e di risparmiare preziosi volumi di discarica. La raccolta differenziata è un elemento irrinunciabile di qualsiasi sistema di gestione, è lo stadio iniziale che, per quantità di rifiuto raccolto e qualità della separazione effettuata all'origine, influenza in maniera determinante la fattibilità tecnologica ma anche l'efficienza ambientale, economica ed energetica del sistema di gestione nel suo complesso. Si fa però spesso confusione, considerando la raccolta differenziata il fine ultimo di un sistema di gestione, mentre è invece "solo" un mezzo, il passaggio principale e insostituibile attraverso cui migliorare la filiera del riciclo ma anche quelle dei trattamenti biologici e termici, al fine di ottenere il massimo recupero di materia e, soprattutto, ridurre il consumo di volumi di discarica, che è il vero obiettivo cui tendere.

La raccolta differenziata da sola non risolve però il problema della gestione

Figura 1. Diagramma di flusso di un sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani.



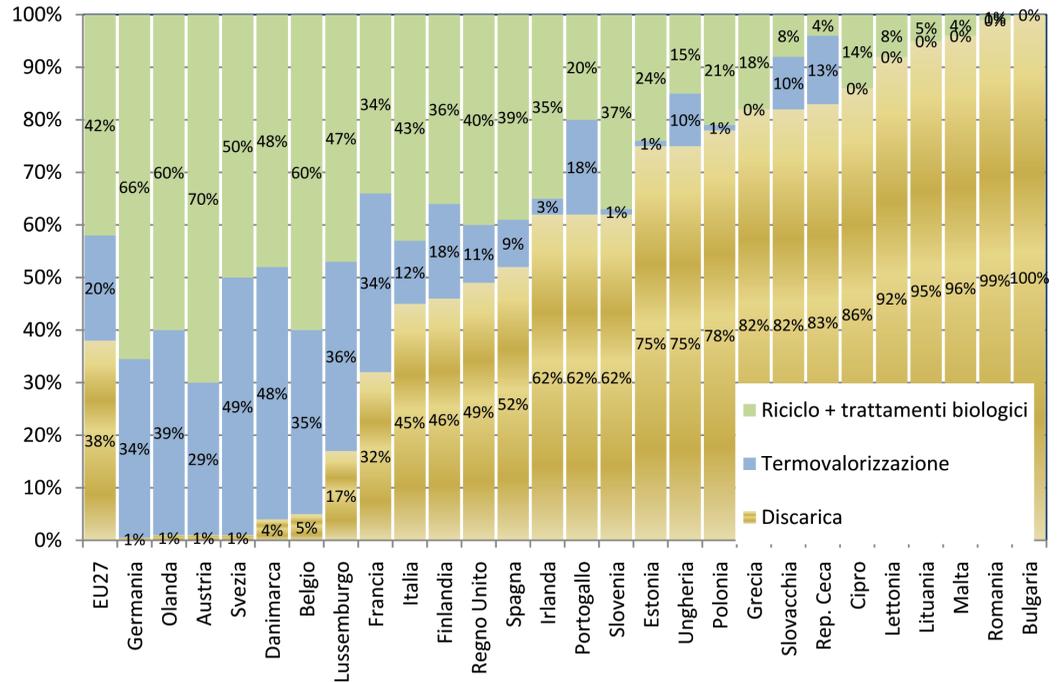
dei rifiuti. Si fa cattiva informazione quando si comunica che tutto il rifiuto raccolto in maniera differenziata non debba poi essere ulteriormente trattato perché “oramai è recuperato”. Le stesse importanti manifestazioni nazionali per premiare Comuni e Province impegnati nella raccolta differenziata, pur assolutamente apprezzabili per il contributo notevole che hanno dato negli anni alla crescita del senso civico in materia di rifiuti, possono creare involontariamente convinzioni fuorvianti, confondendo “raccolta” con “riciclo”, trascurando la rilevanza degli scarti inevitabili nel successivo processo di riciclo, veicolando l’idea che, ad esempio, raccogliendo 1 kg di carta o di imballaggi plastici “post-consumo” si ottenga 1 kg di carta o di plastica riciclata. È poi una falsità, che spesso finisce per limitare il ruolo chiave che può e deve avere la raccolta differenziata, l’affer-

mazione che essa è alternativa, e quindi non compatibile, con i trattamenti di termovalorizzazione. La Figura 2 riporta l’istogramma delle opzioni di gestione rifiuti nei Paesi europei: è evidente che non c’è incompatibilità tra trattamenti termici e filiera del riciclo. Anzi i Paesi a più alto livello di termovalorizzazione (Danimarca, Svezia, Svizzera, Olanda, Belgio, Germania, Austria) sono anche quelli con le più alte percentuali di riciclo e, soprattutto, quelli che sono già riusciti a minimizzare la dipendenza dall’opzione discarica (meno del 5%), con il conseguente azzeramento delle emissioni nette di gas serra.

La filiera del riciclo

È l’opzione che ha profondamente mutato i sistemi di gestione dei rifiuti urbani, consentendo la reintroduzione

Figura 2. Opzioni di gestione rifiuti in Europa (dati Eurostat, 2009).



nel sistema produttivo di materiali di scarto e riducendo di conseguenza lo sfruttamento di risorse primarie ed i carichi ambientali, spesso molto rilevanti, collegati ai processi di estrazione e lavorazione delle materie prime. Il vantaggio dei processi di riciclo è stato definitivamente quantificato con l'introduzione dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), una procedura di valutazione dell'eco-sostenibilità di servizi o prodotti che tiene dettagliatamente in conto tutte le materie e l'energia necessarie e tutte le emissioni nei comparti ambientali relativi ad ogni fase della vita del servizio/prodotto, dal momento della fabbricazione a quello dell'utilizzo e smaltimento finale ("dalla culla alla tomba") [6, 7]. La LCA applicata ai sistemi di gestione dei rifiuti¹ ha consen-

tito di imporre nei sistemi di gestione le filiere del riciclo di vetro, alluminio, polimeri plastici, ecc., quantificando inequivocabilmente i vantaggi ambientali che se ne sarebbero ricavati. Vantaggi forse addirittura sottostimati, in considerazione del fatto che fino ad oggi si sono usati per il riciclo per lo più tecnologie note da tempo, senza investigare adeguatamente le opportunità offerte da soluzioni più avanzate.

Anche in questo caso però si è spesso deciso di comunicare un messaggio semplice ma fuorviante: "riciclo = buono; non riciclo = non buono". Ma la società moderna, con le difficoltà

si è deciso di disfarsene (quindi, ad es., quando il cittadino lo conferisce al servizio comunale di raccolta) mentre "la tomba" è invece il momento in cui taluni materiali ritornano al sistema con un valore positivo oppure quello in cui sono definitivamente messi a discarica. Ne deriva (si veda [1]) che il valore, positivo o negativo, di mercato potrebbe essere usato come indicatore di quando un bene comincia e/o finisce di essere un rifiuto.

1 Tale applicazione non è ovvia, in quanto il rifiuto è un bene con valore negativo, e in quanto tale deve essere trattato con un approccio opposto a quello dei beni normali. La "culla" è quindi il momento in cui un certo bene acquisisce un valore negativo perché

imposte dalla necessità di coniugare sostenibilità ambientale con sostenibilità sociale ed economica, non può permettersi di tacere alcune verità incontestabili:

- ogni filiera di riciclo, nelle sue fasi di selezione e di riprocessazione, richiede materie prime ed energia, a loro volta prodotte con generazione di emissioni e rifiuti [8, 9];
- gli scarti, anche rilevanti, sono inevitabili e dell'ordine perlomeno del 20%² (la Figura 3 li schematizza, utilizzando dati di uno studio recente [10]). È noto che più alti livelli di raccolta differenziata implicano una qualità più scadente del raccolto e quindi costi di selezione maggiori e più alte percentuali di scarti, anche oltre il 50%, che devono poi essere trattati o smaltiti³;
- non tutti i rifiuti si possono riciclare mentre per alcuni materiali l'opzione riciclo può essere ambientalmente meno conveniente di altre (si pensi agli imballaggi composti);

2 "Il riciclo ecoefficiente" (2008) dell'Istituto di Ricerche Ambiente Italia, a cura di Duccio Bianchi, Edizioni Ambiente, afferma che su tutto il territorio nazionale, nel 2020 (cioè quando la cultura del riciclo si spera sia molto più sviluppata), si deve: (pag. 162) "prevedere una media globale di scarti pari a circa il 15% del materiale, ... destinata a ritornare nel circuito di valorizzazione dei rifiuti urbani", ed aggiunge che per garantire il minimo ricorso alla discarica, la parte combustibile di questi scarti deve essere inviata a trattamento termico: (pag. 163) "il sistema di gestione del rifiuto residuo è fondato su ...: – massimizzare i recuperi energetici con sistemi che consentano nella massima misura possibile di ridurre le emissioni generate e di massimizzare le emissioni evitate...; – ridurre ai minimi tecnici la quantità di rifiuti destinata a discarica, in particolare le frazioni suscettibili di generare emissioni...".

3 In Campania, sulla base di dati ufficiali del CONAI, gli scarti della sola fase di selezione, quindi ancora prima della fase di riciclo vero e proprio che compete alle aziende della filiera CONAI, sono su base regionale pari al 45%, con punte superiori al 50% nella Provincia di Salerno e di Avellino che hanno i livelli di raccolta differenziata più alti e pari al 50%.

- nessun materiale organico è riciclabile infinite volte;
- il riciclo è sostenibile quando esiste un mercato a valle che accetti il prodotto riciclato, non può cioè essere imposto sempre ed a priori, senza rischiare di danneggiare inutilmente la sostenibilità del sistema.

È inoltre evidente che se si vuole sfruttare in modo ecosostenibile le notevoli potenzialità del riciclo, e se si vuole allargarne il campo di applicazione, anche in considerazione di livelli sempre più alti di raccolta differenziata a cui si può mirare, si deve necessariamente tener conto della complessità crescente della composizione del rifiuto, figlia della complessità dei processi di preparazione dei beni di consumo. Basta pensare al numero di elementi chimici sempre più ampio, spesso utilizzati anche in dimensioni nanometriche, che è impiegato nella fabbricazione di beni di ampio consumo (Figura 4). Si deve cioè, in piena trasparenza, e nella coscienza dei limiti delle tecnologie attuali di selezione e riprocessazione, investire in ricerca tecnologica avanzata, che consenta di isolare dai prodotti potenzialmente riciclabili le sostanze pericolose per l'ambiente o la salute, e di produrre materiali sicuri anche a partire da rifiuti urbani "complessi". Tale aspetto limita di fatto un ulteriore sviluppo del riciclo se non verranno messe a punto tecnologie di nuova concezione, in grado di garantire prestazioni più elevate⁴.

4 Come dimostrato anche dal progetto RiskCycle (Risk-based management of chemicals and products in a circular economy at a global scale, <http://www.wadef.com/projects/riskcycle>) della Comunità Europea per lo studio del destino di additivi in alcuni settori, quali quelli di carta, plastica e tessuti. Si veda pure, Bartl A. (2011) Zero waste: a desirable goal or empty words?, Proceedings Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3-7 October 2011, CISA Publisher, Italy, ISBN 978-88-6265-000-7.

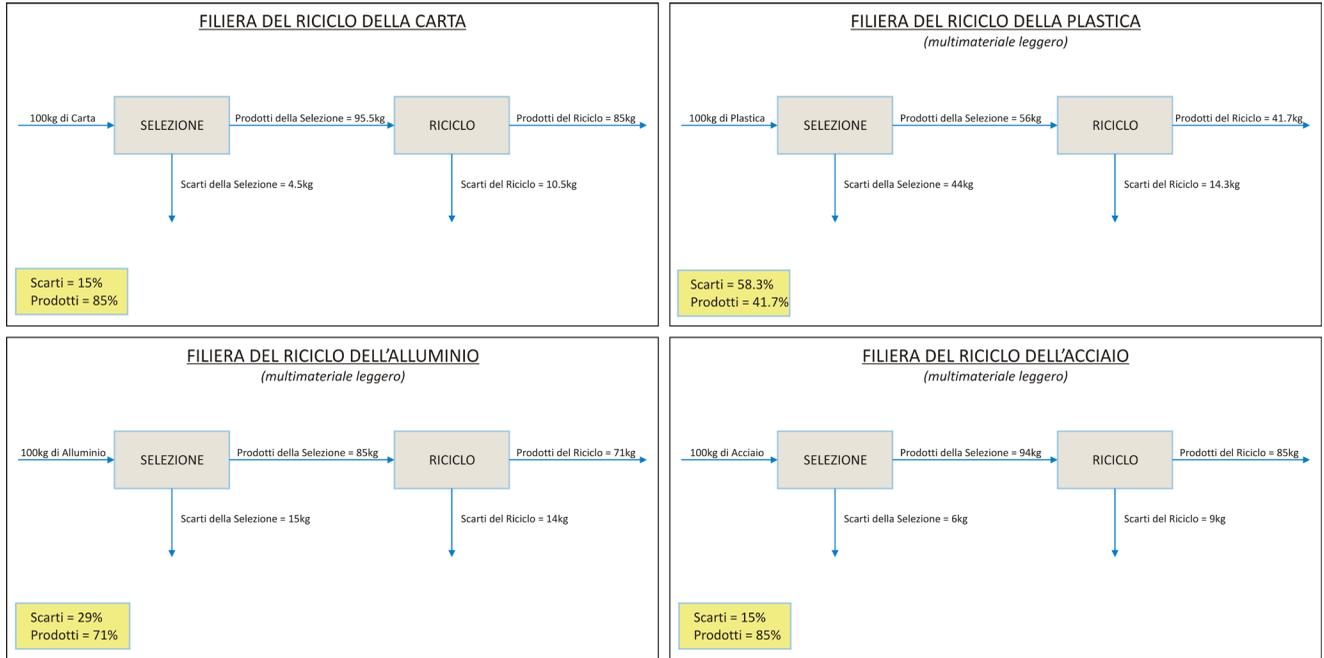


Figura 3. Schematizzazione dei quantitativi di scarti delle fasi di selezione e di riciclo, per alcune filiere. Dati da [10].

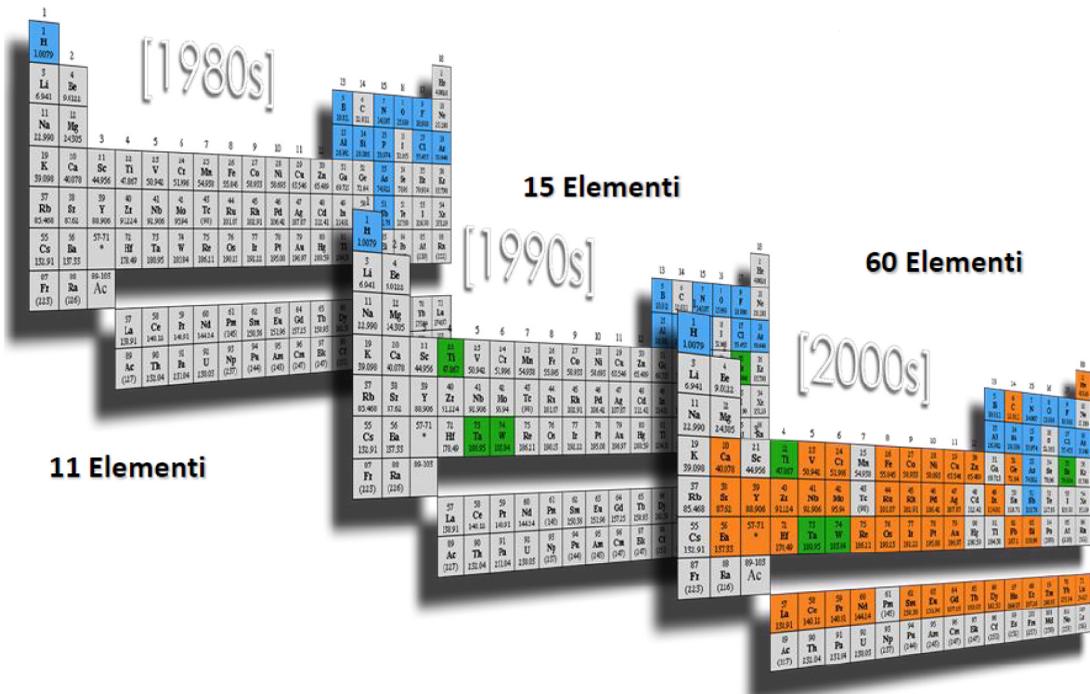


Figura 4. Complessità crescente della composizione dei beni di consumo e quindi dei rifiuti da essi risultanti. La figura riporta gli elementi chimici utilizzati nei prodotti informatici, negli ultimi tre decenni. Fonte: T. McManus, Intel Corp., 2006 (Courtesy T. Graedel).

I trattamenti biologici

Si sviluppano a più basse temperature di esercizio e velocità di conversione rispetto ai processi termici ma tendono ad offrire una maggiore selettività nei prodotti. Materiali a più alto livello di umidità, come la frazione umida organica da raccolta differenziata dei rifiuti urbani, sono in genere buoni candidati per i processi biochimici, che includono principalmente la conversione aerobica (compostaggio) e la digestione anaerobica.

La conversione aerobica include il compostaggio ed i processi di trattamento dei fanghi attivi delle acque di rifiuto. Utilizza aria o ossigeno per supportare il metabolismo di microrganismi aerobi che degradano il substrato. I processi aerobici operano a velocità maggiori dei processi anaerobici ma di solito non producono gas combustibili utili. Il compostaggio andrebbe impiegato solo per flussi di scarti organici di pregio e privi di contaminanti e nel caso vi sia un mercato o una concreta richiesta di ammendanti organici. L'applicazione di questo processo ai rifiuti urbani può risultare inutile ed economicamente ed ambientalmente onerosa, perché non solo non consente di recuperare materia stabilizzata che possa essere utilizzata sul suolo ma necessita di un elevato fabbisogno energetico e di grandi superfici.

La digestione anaerobica consente di ottenere una perdita in peso simile a quella della conversione aerobica ma recuperando al contempo metano. Il processo si sostiene economicamente e consente di pre-stabilizzare la frazione organica senza immettere in atmosfera odori o microrganismi patogeni. Il processo opera a secco o a umido (in continuo o in discontinuo), in assenza di ossigeno libero e sfrutta un processo biologico promosso da microrganismi già naturalmente presenti nel rifiuto or-

ganico. Il prodotto principale è un gas (biogas) che può essere usato come combustibile per motori o caldaie perché contiene principalmente metano (per il 60-65%), oltre ad anidride carbonica (per il 35-40%) e a circa l'1% di impurità quali umidità, acido solfidrico (H_2S), silossani e materiale particolato. Si stima che 1t di solido organico da raccolta differenziata, digerito a temperature tra 35 e 40°C, in un periodo di tempo tra i 15 e i 30 giorni, fornisca circa 100-150 m³ di biogas. Poiché il potere calorifico del metano è di 33 MJ/m³_N, il potenziale output energetico (elettrico + termico) di un digestore anaerobico, è di circa 0,4-0,6 MWh/t. Il residuo solido della digestione anaerobica è parzialmente stabilizzato e, a seconda della qualità del rifiuto di partenza e del contenuto di sostanze inquinanti all'interno, può:

- a) preferenzialmente, essere stabilizzato definitivamente tramite un processo di post-compostaggio, se la buona qualità del substrato ne permette lo spandimento sul suolo come ammendante (si sfrutta in questo caso un altro importante vantaggio della digestione anaerobica: il contenuto di azoto del combustibile non è distrutto ed i nitrati sono trattenuti nel fango finale, non digeribile, consentendone l'uso come ammendante);
- b) in alternativa, essere impiegato in un trattamento termico, soprattutto nel caso in cui la presenza di contaminanti sia tale da sconsigliare un inutile ed oneroso processo aerobico.

Gli impianti di digestione anaerobica utilizzano solo reattori chiusi, hanno un basso impatto ambientale complessivo, non immettono nei comparti ambientali né odori né microrganismi patogeni, consentono di recuperare energia e stabilizzano i residui solidi. La digestione anaerobica è però efficace solo con la parte putrescibile del rifiuto: il processo

non avviene in modo ottimale se altri rifiuti, come frammenti di plastica e metalli, sono presenti assieme alla frazione putrescibile. Ecco perché essa è la soluzione da preferire per la frazione umida organica derivante da raccolta differenziata mentre non è invece applicabile a quella prodotta dai trattamenti meccanici, che risulta sempre inevitabilmente contaminata da prodotti estranei.

I trattamenti termici

I processi di valorizzazione energetica dei rifiuti (in inglese WtE, *waste-to-energy*) hanno cominciato ad essere utilizzati oltre 50 anni fa, con un impiego crescente, particolarmente nei Paesi fortemente industrializzati dell'Europa e dell'Asia, a causa soprattutto della carenza di siti adeguati per discariche controllate. Un rapporto della World Bank [11] riporta che essi sono “soprattutto utilizzati nelle aree dove la localizzazione delle discariche è in forte conflitto con altri aspetti, quali lo sviluppo delle città, l'agricoltura e il turismo”. Negli ultimi venti anni, anche a seguito dei forti miglioramenti delle prestazioni ambientali ed energetiche, la termovalorizzazione del rifiuto residuale alla raccolta differenziata e degli scarti combustibili delle filiere del riciclo, è divenuta una delle componenti essenziali di una gestione integrata e sostenibile dei rifiuti urbani, perché presenta una serie di vantaggi rilevanti:

- a) riduce drasticamente l'ammontare di rifiuto (per circa il 70-80% in peso e l'80-90% in volume [12]) e quindi preserva preziosi volumi di discarica (si è stimato che una discarica per 30 milioni di tonnellate richieda una superficie di circa 3.000.000 m² contro i circa 100.000 m² necessari per un termovalorizzatore che tratti la stessa quantità [13]);
- b) distrugge diversi contaminanti che possono essere presenti nel rifiuto

[14, 15] o li concentra ed immobilizza per consentirne il riutilizzo e/o lo smaltimento in sicurezza [16];

- c) recupera metalli (ferrosi e non) contenuti nelle ceneri di fondo [17, 18];
- d) riduce le emissioni di gas serra (soprattutto metano) da decomposizione anaerobica dei rifiuti organici (si stima un risparmio tra 0,6 e 1 tonnellata di CO₂ equivalente per ogni tonnellata di rifiuto mandato a termovalorizzazione piuttosto che a discarica) [13];
- e) valorizza in modo compatibile l'energia del rifiuto, con sensibili risparmi di emissioni (“carichi ambientali evitati”) rispetto ad altre fonti di energia, come risultato di limiti di emissione molto più severi [19-22].

Quest'ultimo aspetto è sicuramente poco noto. Esiste ancora una diffusa convinzione che i termovalorizzatori comportino gravi conseguenze per l'ambiente e la salute umana. Nella realtà, le prestazioni ambientali dei moderni impianti di termovalorizzazione, che devono rispettare i nuovi limiti di emissione, inferiori di ordini di grandezza a quelli precedenti, sono notevolmente migliorate negli ultimi 15 anni, e sono oggi valutate pari a quelle di un'industria di media dimensione [20]. L'agenzia per l'ambiente degli Stati Uniti, US EPA, ha pubblicamente riconosciuto i termovalorizzatori come centrali di energia “con meno impatto ambientale della maggior parte delle altre centrali” [23]. Uno studio della Technical University di Vienna [22] ha quantificato questa affermazione, mettendo a confronto le emissioni di 50 termovalorizzatori europei con quelli di centrali a carbone, a olio, a metano, a biomasse e forni di cementifici (Figura 5), e riportando anche le emissioni dei soli termovalorizzatori sul totale delle altre emissioni, anche in uno scenario ipotetico in cui tutto il rifiuto dovesse essere termovalorizzato (Figura 6).

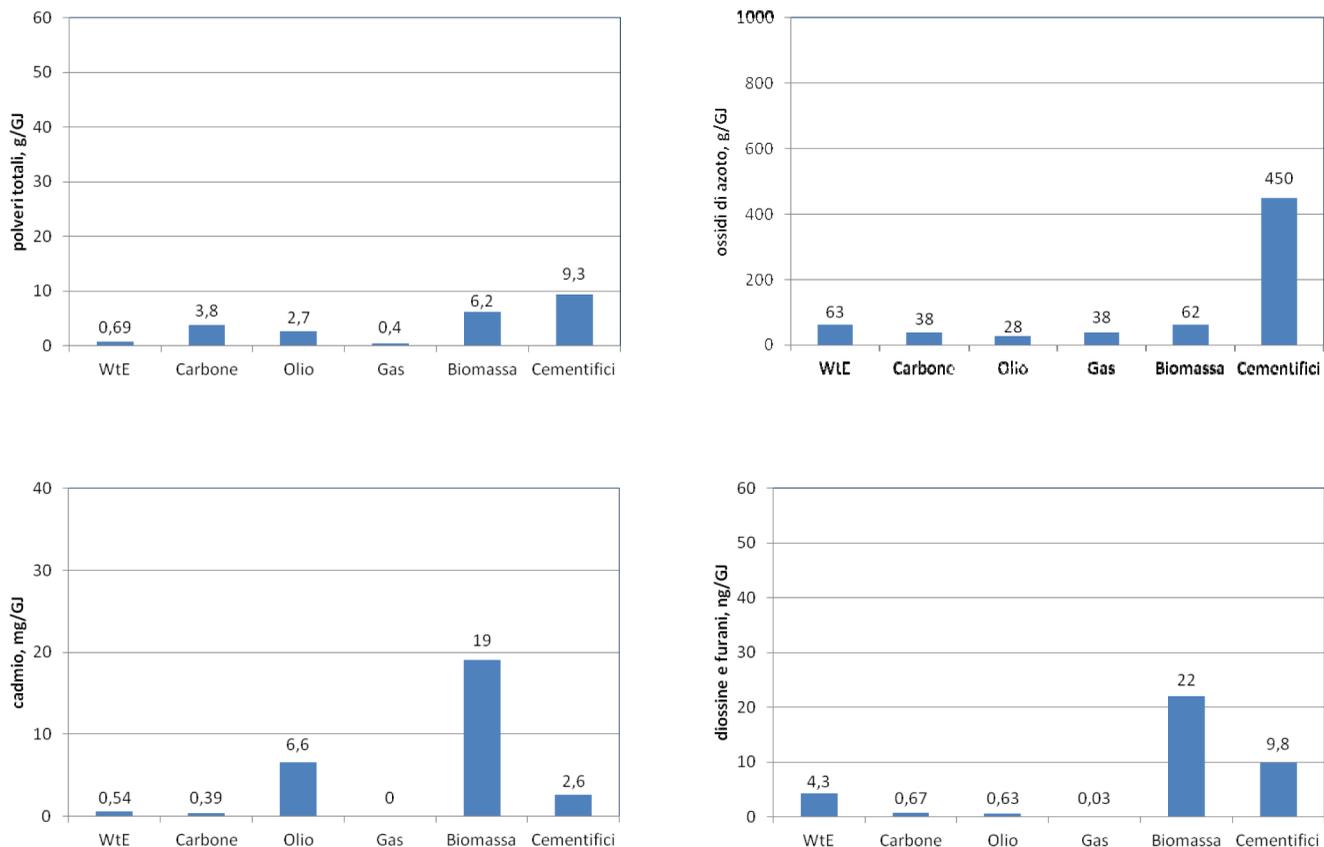


Figura 5. Confronto tra le emissioni da termovalorizzatori (WtE) e quelle di altri centrali di energia. Dati da impianti europei elaborati da [22].

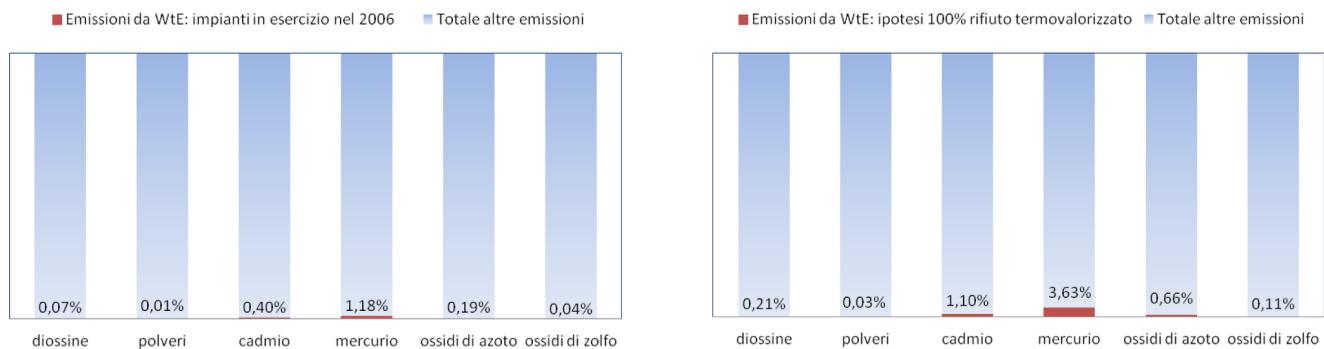


Figura 6. Confronto tra le emissioni da termovalorizzatori e quelle totali poste pari al 100%. Dati da impianti europei elaborati da [22].

Ciò nonostante, “la storia è difficile da cancellare” e la paura dell’inquinamento ancora trascina gli impianti di trattamento termico al centro del dibattito emozionale del pubblico, per la massima parte basato su percezioni vaghe piuttosto che su evidenze obiettive e scientifiche. Per vincere questi timori e dimostrare l’affidabilità ambientale di questi impianti, i costruttori continuano a mettere a punto sempre nuove soluzioni impiantistiche per migliorare le prestazioni sia del processo di conversione del rifiuto (per combustione o gassificazione) sia soprattutto quelle dei sistemi di controllo dell’inquinamento, per ciò che riguarda le emissioni in atmosfera ma anche la natura e la riutilizzabilità dei residui solidi prodotti. I dati dei moderni impianti rassicurano ampiamente, garantendo emissioni nell’ambiente trascurabili rispetto ad altre attività umane.

Il conferimento in discarica

È un’opzione indispensabile per lo smaltimento definitivo del rifiuto finale (*ultimate waste*), cioè del rifiuto che non può più essere recuperato in alcun modo, e quindi dei residui della filiera del riciclo e dei trattamenti termici e biologici. Di tale soluzione se ne è però fatto, e se ne continua a fare, un abuso, nei casi peggiori devastando interi territori e in quelli migliori sottraendo spazi vitali alle generazioni future. L’aspetto negativo dell’opzione discarica, spesso utilizzata perché la “più facile” da assumere, non è soltanto il pur inaccettabile spreco di materia ed energia ma soprattutto il gravissimo depauperamento della risorsa suolo, che in alcune regioni, soprattutto del mondo occidentale, ha raggiunto livelli preoccupanti. Il problema è così sentito che la Comunità Europea ha già emesso Direttive [24] che impongono agli Stati Membri for-

ti riduzioni dei quantitativi di rifiuti biodegradabili da inviare a discarica, richiedendo che siano preventivamente sottoposti a trattamenti per il recupero di materia e di energia che ne riducano anche drasticamente il volume prima dell’invio a smaltimento definitivo. In molti Paesi (soprattutto in quelli con territori simili a quello italiano, con alti livelli di sismicità, elevata densità abitativa e ricchi di corsi d’acqua anche sotterranei) si sono già fatte scelte precise e decise, puntando su incentivi cospicui per la minimizzazione del rifiuto da portare a discarica e su programmi credibili e fortemente finanziati per la bonifica dei siti di discariche esaurite.

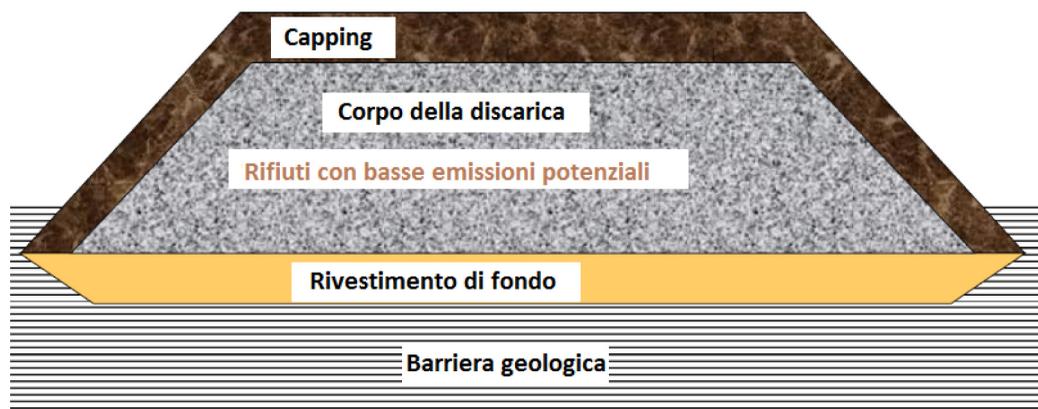
Un moderno sistema di gestione deve pertanto garantire che siano conferiti in discarica solo rifiuti che residuano da altre operazioni di trattamento, così da ottenere la massima protezione dei siti dove sono collocate le discariche, in base al criterio delle quattro barriere (Figura 7): barriera geologica del sito, barriera artificiale del rivestimento di fondo e di quello superficiale superiore (*capping*) e “barriera intrinseca” costituita dal conferimento di solo rifiuto stabilizzato [25].

Conclusioni

I grandi cambiamenti che nel recente passato hanno interessato il settore potrebbero suggerire che ci sia relativamente poco da inventare nei criteri di gestione dei rifiuti urbani ma certamente c’è ancora tantissimo da fare in termini di comunicazione e di valutazioni oggettive.

La raccolta differenziata è indispensabile e va fatta in quantità e qualità adeguate. La frazione secca riciclabile va inviata alla filiera selezione+riciclo, curando sempre più la sinergia tra le tecnologie di riciclo ed il progetto/processo di realizzazione dei più diffusi

Figura 7. Criterio della quadrupla barriera per discariche “sostenibili”: barriera geologica; rivestimento di fondo; conferimento di rifiuto proveniente solo da altri trattamenti e con basse emissioni potenziali; rivestimento superficiale superiore (capping).



beni di consumo. La frazione umida va trattata in impianti biologici integrati che consentano il recupero di energia tramite il biogas e la produzione di un ammendante di qualità. La frazione secca residuale alla raccolta differenziata e gli scarti combustibili delle filiere del riciclo vanno termovalorizzati in impianti di nuova generazione, che consentano un recupero sostenibile dell'energia del rifiuto e la minimizzazione del materiale da conferire in discarica. Quest'ultima deve essere usata solo per residui degli altri trattamenti, localizzata in siti adatti, progettata con criteri moderni e gestita come un impianto industriale che fornisce un servizio prezioso.

Bisogna però investire in ricerca, di base ed applicata, per il miglioramento continuo sia del riciclo che dei trattamenti termici e biologici: questa è una scelta obbligata se la gestione dei rifiuti vuole, e non può non farlo, reggere la sfida con beni di consumo sempre più complessi da produrre e poi da smaltire. Molto c'è ancora da fare infine per garantire una comunicazione tempestiva, trasparente e corretta, indispensabile per conquistare un consenso attento e consapevole dei cittadini. Anche attraverso sistemi di monitoraggio che garantiscano l'ambiente e la salute e consentano un dibattito serio sull'argomento, basato su dati certificati a disposizione di

tutti i cittadini e non su affermazioni vaghe e preconcepite o su slogan facili da proporre e da recepire ma privi di concretezza.

Bibliografia

1. Massarutto A., de Carli A., Graffi M. (2011) Material and Energy Recovery in Integrated Waste Management Systems: a Life-Cycle Costing Approach, *Waste Management*, 31:2102-2111.
2. Massarutto A., de Carli A., Graffi M. (2010) La gestione integrata dei rifiuti urbani: analisi economica di scenari alternativi. *Rapporto IEFE*. Università Bocconi, disponibile su www.iefec.unibocconi.it.
3. EAI-Environmental Assessment Institute (2005) *Rethinking the waste hierarchy*. EAI, Copenhagen (DK), disponibile su www.imv.dk.
4. Dornburg V., Faaij A., Meulman B. (2006) Optimising waste treatment systems. Part A: Methodology and technical data for optimising energy production and economic performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 49/1:68-88.
5. Mastellone M.L., Brunner P.H., Arena U. (2009) Scenarios of Waste Management for a Waste Emergency Area: a Substance Flow Analysis. *J. of Industrial Ecology*, 13/5:735-757.
6. Azapagic A., Perdan S., Clift R. (2004) *Sustainable Development in Practice*, J. Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK
7. Clearly J. (2009) Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: a comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environ. International*, 35/8:1256-1266.
8. Arena U., Mastellone M.L., Perugini F., Clift R. (2004). Environmental Assessment of Paper Waste Management Options by means of LCA Methodology. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43:5702-5714.

9. Perugini F., Arena, U., Mastellone, M.L. (2005) A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes, *Env. Progress*, 24/2:137-154.
10. Giugliano M., S. Cernuschi, M. Grosso, L. Rigamonti (2011) Material and Energy Recovery in Integrated Waste Management Systems: an Evaluation Based on Life Cycle Assessment, *Waste Management*, 31:2092-2101.
11. World Bank (2000) *Municipal Solid Waste Incineration. Technical Guidance Report*. The Int. Bank for Reconstruction and Development, Washington D.C. (USA).
12. Consonni S., Giugliano M. e Grosso M. (2005) Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: Mass and energy balances. *Waste Management*, 25: 123-135.
13. Psomopoulos C.S., Bourka A., Themelis N.J. (2009) Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, 29:1718-1724.
14. McKay (2002) Dioxin characterization, formation and minimization during municipal solid waste (MSW) incineration: a review. *Chemical Engineering Journal*, 86:343-368.
15. Vehlow, J. (2005) Dioxins in Waste Combustion – Conclusions from 20 Years of Research, Bioenergy Australia 2005, Melbourne, December 12-13
16. Samaras P., Karagiannidis A., Kalogirou E., N. Themelis N.J., Kontogianni St. (2010) An inventory of characteristics and treatment processes for fly ash from waste-to-energy facilities for municipal solid wastes, 3rd Int. Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy 8-11 November 2010. CISA Publisher, Italy-ISBN 978-88-6265-008-3.
17. ISWA (2006) Management of Bottom Ash from WTE Plants, ISWA-WG Thermal Treatment Subgroup Bottom Ash from WTE-Plants, disponibile su www.iswa.org.
18. Grosso M., L. Rigamonti, L. Biganzoli (2010) *Separazione e recupero dei metalli e valorizzazione delle scorie di combustione dei rifiuti urbani*. Rapporto per Federambiente e CiAl.
19. European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control (2006) Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, disponibile su [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf](http://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf).
20. Ministero dell'ambiente, della conservazione della natura e della sicurezza nucleare del Governo Tedesco (2005) Waste incineration: a potential danger? (disponibile su http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/muellverbrennung_dioxin_en.pdf).
21. National Environmental Research Institute - Aarhus University (2010) Emissions from decentralised CHP plants 2007 - ENERGINET.DK. Environmental Project No. 786 - Project Report No. 5 (disponibile su: <http://www2.dmu.dk/pub/FR786.pdf>).
22. Rechberger H. e Schöller G. (2006) Comparison of Relevant Air Emissions from Selected Combustion Technologies. Project CAST. CEWEP - Congress, Waste-to-Energy in European Policy, 18 May 2006.
23. US-EPA Environmental Protection Agency (2003) Letter to President of Integrated Waste Service Association (disponibile su www.wte.org/docs/epaletter.pdf).
24. Direttiva Europea Discariche 1999/31/CE, recepita in Italia con il D.Lgvo 36/2003, e Direttiva Europea Rifiuti 2008/98/CE, recepita in Italia con il D.Lgvo 205/2010.
25. Lechner P. e M. Huber-Humer (2011) The Road To Sustainable Landfilling, Proceedings Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 - 7 October 2011, CISA Publisher, Italy, ISBN 978-88-6265-000-7, p. III.