

La scelta di tecnologie di smaltimento dei rifiuti urbani.

Angelo Bonomi

Consulente ambientale Verbania (VB), angelo.bonomi2@tin.it

Introduzione

La scelta della tecnologia di smaltimento dei rifiuti urbani più appropriata da parte delle Amministrazioni locali rappresenta un problema particolarmente vivo: esso si può considerare sotto un duplice aspetto, da una parte riguarda la scelta della migliore strategia di raccolta dei rifiuti urbani e dall'altra la scelta di una tecnologia ottimale per il loro smaltimento. La complessità delle tecnologie disponibili, che richiede un'esperienza di tipo industriale spesso piuttosto lontana da quella normalmente esistente nelle amministrazioni pubbliche, unitamente alla difficoltà di prevedere l'evoluzione della generazione e della differenziazione dei rifiuti urbani nel territorio, rende il problema particolarmente complesso.

Questa difficoltà di scelta è ben visibile, se si considerano i numerosi esempi di impianti di smaltimento in Italia, ma anche in Europa, che sono stati costruiti ma che poi non hanno superato le fasi di collaudo o di funzionamento accettabili, senza contare altri numerosi esempi di sovradimensionamento degli impianti, ovvero di sottodimensionamento degli stessi con i relativi costi aggiuntivi. In questo articolo cerchiamo di spiegare, sulla base dell'esperienza accumulata in lavori condotti nel campo della gestione dei rifiuti urbani nella Provincia del Verbano-Cusio-Ossola, come sia possibile sviluppare una buona strategia di

raccolta dei rifiuti e loro smaltimento attraverso lo sviluppo di semplici modelli previsionali, che possono elaborare possibili scenari di evoluzione della situazione dei rifiuti in un particolare territorio, e come si possano fare scelte tecnologiche appropriate alla luce di una moderna visione sulla natura delle tecnologie e della loro valutazione.

Strategie di raccolta dei rifiuti urbani

Il primo punto da affrontare nella scelta di una tecnologia di smaltimento è sicuramente quello di stabilire una valida strategia di raccolta, ponendosi obiettivi ragionevoli sull'evoluzione della raccolta differenziata nel territorio e dei metodi da utilizzare per il raggiungimento di questi obiettivi. Tipicamente in molti piani regionali e programmi provinciali questo problema è stato messo da parte, imponendosi come obiettivo semplicemente il raggiungimento dei valori di raccolta differenziata stabiliti dalla Legge Ronchi. Senza negare la validità di questi valori occorre però dire che la situazione reale di raccolta dei rifiuti è molto varia in Italia ed esistono territori in cui il raggiungimento degli obiettivi di legge appaiono irrealizzabili anche a medio termine, mentre in altri territori è possibile sorpassarli sensibilmente con vantaggi ambientali ed anche economici non indifferenti. E' chiaro che un programma di raccolta dei rifiuti che non è compatibile con la realtà del territorio non

potrà costituire, come vedremo, una buona base per la scelta di una tecnologia appropriata di smaltimento.

Elaborazione di scenari per la raccolta dei rifiuti

La preparazione di scenari e la loro elaborazione attraverso un modello di generazione e raccolta dei rifiuti in un territorio rappresenta un compito fondamentale per lo studio di strategie di raccolta ottimali.

L'informatica mette a disposizione metodi e algoritmi che sono in grado di sviluppare modelli molto sofisticati tuttavia, quando si considerano dei casi reali, difficilmente si possono sviluppare modelli molto complessi e dettagliati essenzialmente per la mancanza di dati o per la grande difficoltà in termini di tempo e costi per averli. Un altro problema che il modello deve affrontare è quello collegato all'aspetto previsionale. Mentre la relazione tra i vari flussi di rifiuti è di tipo lineare, non lo è affatto l'evoluzione che nella realtà emerge dal comportamento collettivo degli abitanti del territorio e costituisce, come è stato descritto in un precedente lavoro (1), un sistema complesso adattativo. Questo sistema, composto dai nuclei familiari che decidono singolarmente su come differenziare i rifiuti, si comporta sulla base delle relazioni che essi hanno sia tra di loro che, in maniera importante, con le organizzazioni che effettuano la raccolta e un cambiamento radicale nei metodi di raccolta può portare a cambiamenti

radicali e immediati anche nella raccolta differenziata (1).

In pratica il problema si traduce nello sviluppo di un modello semplificato in grado di funzionare con i dati disponibili o stimabili in maniera ragionevole, ma tuttavia sufficientemente dettagliato da dare risultati consistenti con la situazione reale dei rifiuti nel territorio e della sua evoluzione. Nel caso della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola si è ad esempio semplicemente sviluppato un modello elaborato su un foglio elettronico che, a partire da un insieme di dati iniziali di un certo anno di riferimento riguardanti i vari tipi di rifiuto e la loro composizione merceologica, permette, scegliendo un particolare scenario di raccolta differenziata, di calcolare l'evoluzione delle quantità di rifiuto indifferenziato, del suo potere calorifico e delle varie quantità di rifiuto differenziato. Questo modello è stato peraltro descritto in modo dettagliato in una tesi di laurea (3). Naturalmente il problema dell'affidabilità delle previsioni di questo modello dipende dalla validità degli scenari scelti per la raccolta differenziata. Su questo punto è possibile basarsi solo sull'esperienza, considerando in particolare l'influenza che hanno le scelte operative come l'introduzione o no della raccolta della frazione organica, il tipo di raccolta con cassonetto o domiciliare su cui esiste anche un certo numero di studi pubblicati (1, 2, 4, 5, 6, 7).

La scelta delle tecnologie di smaltimento

Effettuare una scelta ottimale per la tecnologia di smaltimento in funzione di uno scenario previsionale per i rifiuti di un territorio, significa valutare le varie tecnologie disponibili su vari piani come quello tecnologico, economico ed ambientale. Per comprendere meglio come queste valutazioni, e in particolare le valutazioni tecnologiche, possano essere fatte in maniera appropriata è utile descrivere brevemente come attualmente si possa rappresentare

una tecnologia in maniera innovativa. Nella seconda metà degli anni '90 il Santa Fe Institute, organizzazione americana famosa per i suoi studi nel campo della scienza della complessità, ha pubblicato una serie di lavori su una nuova definizione di cosa è una tecnologia e sulla sua modellizzazione (8, 9). In questa definizione una tecnologia è vista come un insieme di operazioni (es. riscaldare, trasportare, ecc.), ciascuna caratterizzata da un campo di istruzioni (es. temperatura, entità di spostamento, ecc.). Quando noi specifichiamo le operazioni e le istruzioni di una tecnologia abbiamo una particolare ricetta tecnologica che è caratterizzata da una sua specifica efficienza. Una tecnologia può essere vista quindi come una rappresentazione di tutte le possibili ricette tecnologiche che possono essere ottenute dalle varie possibili combinazioni di istruzioni, per le varie operazioni che la costituiscono. Le varie ricette possibili si possono rappresentare graficamente considerando che tanto più le ricette sono differenti, tanto più saranno lontane tra di loro. Se poi ad ogni ricetta associamo il valore della sua efficienza, abbiamo una rappresentazione grafica chiamata "paesaggio tecnologico". Lo sviluppo e l'ottimizzazione di una tecnologia consiste quindi in un'esplorazione del paesaggio tecnologico alla ricerca di una ricetta ottimale per la tecnologia considerata.

Questa rappresentazione delle tecnologie porta a comprendere facilmente due importanti considerazioni valutative.

La prima riguarda il fatto che una tecnologia non è nulla di permanente, ma sottoposta a una continua evoluzione verso ricette ottimali anche dopo che è stata sviluppata ed è entrata nell'uso industriale. Questo fenomeno di modifica è ben conosciuto ed è all'origine della cosiddetta "curva di apprendimento", ovvero del fatto che, ad esempio, i costi unitari di produzione di una nuova tecnologia tendono a ridursi sensibilmente nel tempo dapprima in maniera rapida e poi

molto più lentamente. L'attività che permette di ottenere ricette sempre migliori in campo industriale è comunemente chiamata in inglese "learning by doing" ovvero apprendere con il fare (8). Una conseguenza importante di questo fenomeno si ha nella valutazione comparata di tecnologie. Ad esempio, quando si considerano delle tecnologie di smaltimento come l'incenerimento comparato con la tecnologia più recente di trasformazione del rifiuto in combustibile (CDR) e sua successiva termovalorizzazione, ci si può aspettare che i costi o altri parametri della tecnologia di incenerimento, utilizzata industrialmente da molto tempo, avranno miglioramenti più limitati rispetto a quelli possibili per la nuova tecnologia di termovalorizzazione del CDR che ha una storia industriale molto più recente. Tutto ciò porta alla considerazione che la comparabilità diretta delle tecnologie è possibile solo per tecnologie che si trovano allo stesso stadio di sviluppo o grado di industrializzazione. Se questo non è il caso, è indispensabile per paragonarle prevedere l'evoluzione delle tecnologie meno sviluppate o industrializzate in maniera da poterle considerare tutte allo stesso stadio evolutivo.

La seconda considerazione riguarda invece le varie operazioni che costituiscono una particolare tecnologia. Queste operazioni possono avere storie di utilizzazione industriale più o meno lunghe in precedenti tecnologie, che possono essere utili per fare previsioni sulle possibili difficoltà di industrializzazione di una nuova tecnologia. A rigore questa valutazione può essere complicata dal fatto che le istruzioni scelte per una particolare operazione possono in certi casi influenzare l'efficienza di un'altra operazione, che non necessariamente era presente nella tecnologia storica considerata, e quindi a rigore è necessario tener conto anche dell'influenza delle possibili interazioni fra le varie operazioni sull'efficienza globale della tecnologia. Una valutazione di questo tipo è stata fatta, ad

esempio, per la nuova tecnologia di pirolisi dei rifiuti di Thermoselect (10). Questa tecnologia combina molte operazioni di origine siderurgica e altre prese dalla chimica industriale del carbone, e una sua valutazione tecnologica ha permesso di identificare, ad esempio, nei refrattari che devono resistere a scorie fuse acide ad elevata temperatura uno dei problemi più acuti.

La **valutazione economica** delle tecnologie è naturalmente un altro aspetto molto importante della scelta, anche se è caratterizzata da importanti limitazioni. Le valutazioni economiche dipendono infatti da molti fattori (investimenti, prestiti, costi vari, ecc.) che possono variare in maniera molto ampia e che difficilmente si possono valutare con precisione al di fuori di casi specifici, per i quali si conoscono dettagliatamente le condizioni. In conseguenza, quando si vuole fare una valutazione economica generale di varie tecnologie difficilmente i risultati ottenibili vanno al di là di pure, anche se utili, indicazioni. Detto questo è comunque interessante vedere quali sono i fattori che incidono in maniera più importante sull'economia, in particolare, delle tecnologie di smaltimento. Uno dei fattori più importanti è sicuramente quello dovuto **all'effetto scala** e

cioè al fatto che, tipicamente, all'aumentare delle capacità di smaltimento, gli investimenti necessari e il bisogno di manodopera aumenta in misura inferiore riducendo così i costi unitari di smaltimento. In realtà queste riduzioni si manifestano in certi campi determinati di capacità di smaltimento, al di fuori dei quali l'effetto scala è sottoposto a discontinuità dovute essenzialmente a limitazioni di origine tecnologica. Nel campo dello smaltimento dei rifiuti abbiamo, ad esempio per la trasformazione del RSU in CDR, un limite tecnologico dell'effetto scala dovuto alla dimensione massima del mulino che accoglie i rifiuti per prepararli alla fase di biodisidratazione. Se la capacità di smaltimento necessaria supera il valore della massima capacità del mulino, è necessario sdoppiare l'apparecchiatura con forte aumento degli investimenti e con costi unitari di smaltimento superiori a quelli per capacità immediatamente inferiori. Questa limitazione non esiste invece per i forni di incenerimento, dove la riduzione dei costi di smaltimento dovuta all'effetto scala si manifesta in tutto il campo delle capacità di smaltimento che sono normalmente prese in considerazione. Questa situazione è ben rappresentata dal grafico della **Figura 1**, tratto da un

lavoro precedente (10), in cui si è rappresentato l'andamento degli investimenti per impianti di incenerimento con forni a griglia (INC), di pirolisi secondo la tecnologia Thermoselect (THS) e di trasformazione del RSU in CDR e successiva termovalorizzazione (CDR+TV). Si può vedere facilmente come la tecnologia del CDR, e in misura minore anche quella di Thermoselect, richieda un investimento più basso per le piccole capacità di smaltimento mentre è più elevato per le grandi capacità di smaltimento. Questa situazione si ripercuote alla stessa maniera anche sui costi rispettivi di smaltimento. Naturalmente i dati presentati per la tecnologia Thermoselect vanno presi con una certa prudenza visto il differente grado di sviluppo di questa tecnologia rispetto alle altre due. Un altro aspetto importante delle valutazioni economiche riguarda l'esistenza di determinati fattori che influenzano fortemente l'economia dei processi. Nel caso dello smaltimento dei rifiuti uno riguarda ad esempio il prezzo di vendita, ovvero il costo di acquisto dell'energia elettrica. Questo fattore influenza fortemente, ad esempio, le tecnologie di smaltimento della frazione organica dei rifiuti raccolta in maniera differenziata (FOR), e che può essere smaltita con una tecno-

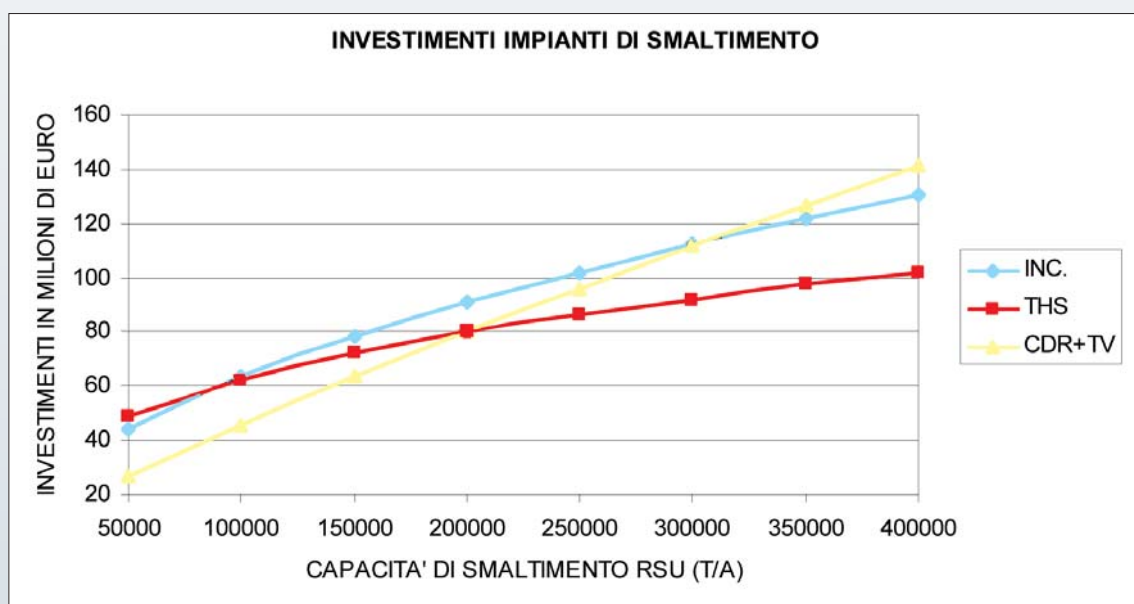


Figura 1 - Investimenti in funzione delle capacità di smaltimento per le varie tecnologie.

logia di tipo aerobico ovvero anaerobico con produzione di biogas utilizzato per la produzione di energia elettrica. Gli investimenti per impianti anaerobici sono nettamente più elevati di quelli per impianti aerobici tuttavia, se il prezzo di vendita dell'energia elettrica è elevato, il costo di smaltimento per via anaerobica può diventare molto più basso, come si vede dai dati riportati nella **Figura 2** per un impianto con una capacità di smaltimento di 10.000 t/a di FOR (10).

Un ultimo tipo di valutazione è sicuramente quello **ambientale**.

Un esame completo degli aspetti ambientali necessiterebbe di strumenti di valutazione come il Life Cycle Assessment (LCA), ma può essere sufficiente comparare i vari impatti ambientali generati dalle diverse tecnologie di smaltimento. Questi impatti sono a

livello di rifiuti solidi (scorie, ceneri, inerti, ecc.), rifiuti liquidi (acque di lavaggio, ecc.) ed emissione di gas e fumi. Mentre i rifiuti solidi e liquidi subiscono un trattamento che porta in definitiva a un loro contenimento ed eliminazione in discariche controllate, l'emissione in particolare dei fumi di combustione, nonostante l'uso di moderne tecnologie di abbattimento e il rispetto delle norme di legge, costituisce una sorgente importante di inquinanti che si disperdono nell'ambiente. Nel grafico in **Figura 3** abbiamo riportato gli impatti ambientali, riferiti allo smaltimento di 1000 t di RSU, di polveri ed emissioni acide stimate per le tre tecnologie di smaltimento del RSU considerate e calcolate in alcuni studi (10, 11). Possiamo osservare che la tecnologia di incenerimento

presenta degli impatti ambientali nettamente superiori alle altre due. Occorre naturalmente notare che i dati riportati per la tecnologia Thermoselect si riferiscono a un processo che non è ancora allo stesso stadio di sviluppo delle altre due tecnologie.

Un'ultima osservazione importante riguarda la possibile integrazione delle valutazioni tecnologiche, economiche ed ambientali. Se le valutazioni di tipo tecnologico si possono in una certa misura rendere integrabili con le valutazioni economiche, ben diversa è la situazione delle valutazioni ambientali. Si può quindi presentare il caso in cui una scelta tecnologica sia più costosa ma più rispettosa dell'ambiente, e viceversa. Naturalmente da un punto di vista ambientale si può ribattere che una tecnologia meno costosa ma più inquinante è in real-

tà più economica solo perché non si tiene conto dei costi ambientali.

Tuttavia, il calcolo dei costi ambientali è molto complesso poiché essi riguardano non solamente situazioni locali (piogge acide, eutrofizzazione dei laghi, ecc.) ma anche problemi globali (emissione di gas serra, ecc.) e non esistono criteri generalmente accettati per queste valutazioni. La scelta di una tecnologia di smaltimento in queste condizioni rimane quindi una scelta necessariamente politica, che deve tener conto della sensibilità ambientale della popolazione.

Elaborazione di modelli di simulazione

I processi tecnologici di smaltimento possono essere facilmente simulati con modelli che collega-

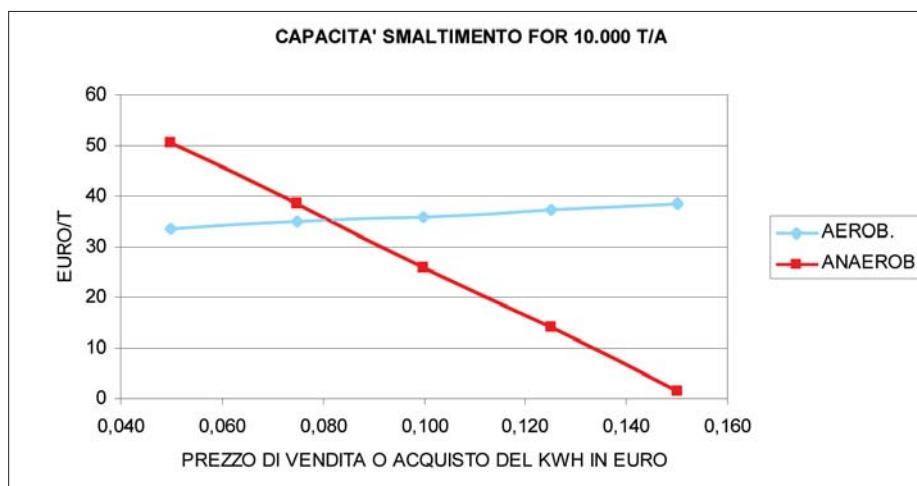


Figura 2 - Costi di smaltimento della FOR in funzione del prezzo del kWh.

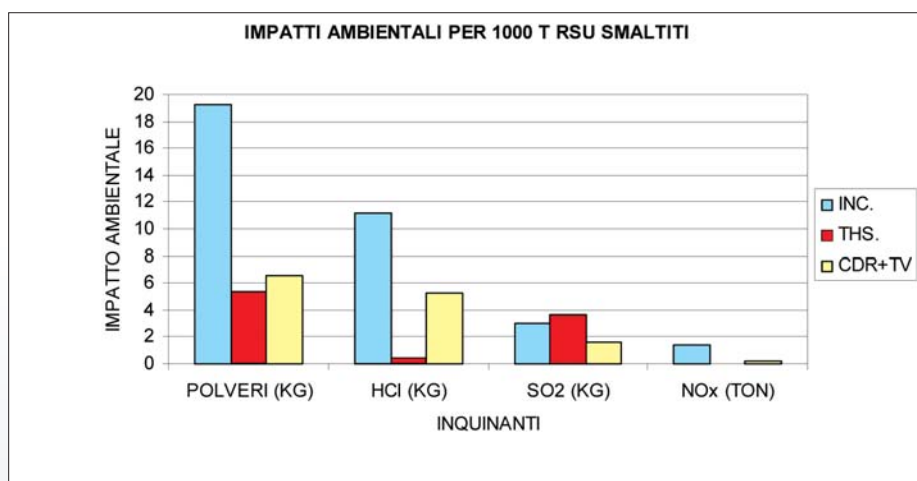


Figura 3 - Impatti ambientali dei fumi per varie tecnologie di smaltimento di RSU.

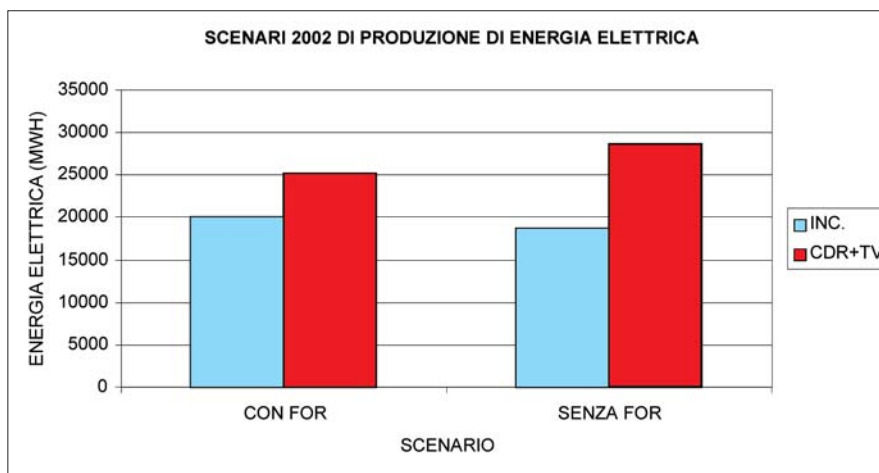


Figura 4 - Produzione di energia elettrica secondo vari scenari di gestione dei rifiuti.

no gli input e gli output di materia ed energia, e costi o ricavi relativi, come pure l'emissione di inquinanti. Inoltre si può tener conto dell'andamento degli investimenti e del bisogno di manodopera, permettendo quindi di calcolare costi di smaltimento, investimenti, produzione di energia e impatti ambientali anche in funzione della scala degli impianti. Questi modelli di processo si possono quindi collegare con modelli di generazione dei rifiuti in un determinato territorio, e fornire un utile sistema di simulazione di possibili scenari combinati di generazione, raccolta e smaltimento dei rifiuti per lo studio di strategie utili per la programmazione della gestione dei rifiuti in un determinato territorio. In **Figura 4** è riportato un esempio di uso di modelli integrati di generazione di rifiuti e tecnologie di smaltimento, effettuato nel quadro degli studi sulla gestione dei rifiuti nel territorio della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola (11). Il caso riportato considera la stima della possibile produzione di energia elettrica sulla base della generazione di rifiuti, calcolata dal modello per l'anno 2002, secondo due scenari - con raccolta o senza raccolta della FOR - e utilizzando due tecnologie possibili di termovalorizzazione e cioè l'incenerimento diretto del RSU o la sua trasformazione preliminare in CDR e successiva termovalorizzazione.

Si noti come la tecnologia utilizzante la trasformazione di RSU in CDR produca più energia elettrica, essenzialmente per la maggiore resa energetica (circa il 24%) esistente per la combustione del CDR rispetto a quella, circa il 10%, esistente per la combustione del RSU. La produzione di energia elettrica con il CDR, in assenza di raccolta della FOR, è maggiore semplicemente perché vi è una produzione maggiore di questo combustibile. Al contrario, la presenza di raccolta della FOR aumenta la produzione di energia elettrica mediante incenerimento perché il potere calorifico del RSU è maggiore, a causa della minore umidità presente nel rifiuto.

Bibliografia

- 1] A. Bonomi (2000), *Strategie di raccolta e smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei Seminari di RICICLA 2000, Rimini 8-11 Novembre 2000, pp. 439-450
- 2] A. Tornavacca, E. Favoino, S. Morabito (2000), *Analisi dei modelli di raccolta dei rifiuti in relazione alle interazioni con la produzione pro capite di RU*, Atti dei Seminari di RICICLA 2000, Rimini 8-11 Novembre 2000, pp. 423-431
- 3] M. Bonomi (2001), *Le tecnologie di smaltimento del rifiuto solido urbano nell'era della raccolta differenziata*, Tesi di laurea, Università del Piemonte orientale, Facoltà di economia, Novara, Anno accademico 1999/2000.
- 4] E. Favoino, M. Ricci, A. Tornavacca, *I costi dei sistemi di raccolta differenziata: i vantaggi dell'integrazione operativa*, Atti dei Seminari di RICICLA 1999, Rimini 21-24 Ottobre 1999, pp. 142-148.
- 5] A. Valentini, E. Favoino (1999), *Sistemi di raccolta differenziata secco-umido: la valutazione parametrica dei costi di gestione*, Atti dei Seminari RICICLA 1999, Rimini 21-24 Ottobre 1999, pp. 209-214.
- 6] E. Favoino, M. Ricci, A. Tornavacca, M. Centemero, S. Morabito (2000), *Le raccolte differenziate degli scarti compostabili in Italia in confronto all'Europa: specificità, risultati, costi dei sistemi*, Atti dei Seminari di RICICLA 2000, Rimini 8-11 Novembre 2000, pp. 68-79.
- 7] A. Valentin, A. Tornavacca, E. Favoino, L. Frattini, M. Marino, A. Miorandi (2000), *Gli impatti economici ed ambientali dei sistemi di raccolta differenziata della frazione organica*, Atti dei Seminari di RICICLA 2000, Rimini 8-11 Novembre 2000, pp. 118-124.
- 8] P. Auerswald, S. Kauffman, J. Lobo, K. Shell (1998), *The Production Recipe Approach to Modelling Technology Innovation: An Application to Learning by Doing*, Santa Fe Institute Working Document 98-11-100.
- 9] S. Kauffman, J. Lobo, W.G. Macready (1998), *Optimal Search on a Technology Landscape*, Santa Fe Institute Working Document 98-10-091E.
- 10] A. Bonomi (2000), *Selezione di tecnologie appropriate per lo smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei Seminari di RICICLA 2001, Rimini 26-29 Settembre 2001, pp. 447-460.
- 11] A. Bonomi (2002), *Possibili scenari energetici per lo smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei Seminari di RICICLA 2002, Rimini 6-9 novembre 2002, pp. 716-724.