

SELEZIONE DI TECNOLOGIE APPROPRIATE PER LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI URBANI

Angelo Bonomi
Consulente Ambientale

(presentata e pubblicata sugli Atti dei Seminari di RICICLA 2001,
Rimini Fiera, 26-29 Settembre 2001, pag. 447-460)

1. Introduzione

Questa memoria è stata ricavata da uno studio condotto nell'estate del 2000 per conto delle Provincie che costituiscono il Quadrante Nord Orientale del Piemonte e cioè Biella, Novara, Vercelli e il Verbano Cusio Ossola, con lo scopo di identificare le tecnologie più appropriate per la realizzazione di uno o più impianti interprovinciali comuni con possibili economie di scala, sia per lo smaltimento del rifiuto urbano indifferenziato che della raccolta differenziata del rifiuto organico.

Il Quadrante Nord Orientale del Piemonte forma un territorio di circa 6600 km², in parte pianeggiante e in parte montagnoso, con una popolazione di circa 870'000 abitanti. La quantità di rifiuti indifferenziati (RSU) generati su questo territorio è stata nel 1999 di circa 300'000 tonnellate mentre la raccolta differenziata (RD) ha raggiunto il valore del 24%. La raccolta differenziata della frazione organica (FOR) è solo agli inizi e comincia ad essere importante soprattutto nella Provincia di Novara dove ha raggiunto la cifra di oltre 5000 t nel 1999.

Delle 300'000 t di RSU generate nel Quadrante solo circa 100'000 t sono smaltite in inceneritori presso gli impianti di Vercelli e Mergozzo (VB) mentre il resto è smaltito in varie discariche, alcune in via di esaurimento. Nella prospettiva di dover rispettare in futuro norme che proibiscono lo smaltimento in discarica del tal quale del RSU, che non sia stato preventivamente stabilizzato, si affaccia chiaramente il bisogno di nuovi impianti di smaltimento sul territorio, tenendo conto che la creazione di nuove discariche risulterebbe molto difficile per la loro bassa accettabilità da parte della popolazione di questo territorio.

2. Generazione e differenziazione dei rifiuti nel Quadrante

La prima parte dello studio è stata dedicata alla previsione sull'evoluzione della generazione di RSU e FOR nel Quadrante attraverso una modellizzazione della generazione dei rifiuti e della raccolta differenziata nell'orizzonte del 2004 la cui metodologia è stata già applicata per la Provincia del Verbano Cusio Ossola e riportata in una precedente memoria (1). Sul modello realizzato si sono studiati due scenari rispettivamente di alto e basso incremento della raccolta differenziata per i vari bacini di raccolta dei rifiuti delle Provincie del Quadrante. Tenendo conto che, ad eccezione della Provincia di Biella che ha un solo bacino, le altre ne hanno due, si sono quindi studiati un totale di sette bacini i cui risultati sommati danno il totale della generazione del RSU e della raccolta differenziata esistente nel Quadrante. La Fig. 1 riporta l'evoluzione della generazione di RSU calcolata dal modello per gli anni dal 1999 al 2004 per i due scenari

considerati di bassa ed alta raccolta differenziata. Nella Fig. 2 è stata invece riportata l'evoluzione della raccolta della frazione organica sempre per gli anni dal 1999 al 2004 e per i due scenari considerati. Si può osservare dalle figure citate che la generazione di RSU è prevista per il 2004 tra le 180'000 e le 200'000 t/a mentre la raccolta della frazione organica, sempre per lo stesso anno, è prevista tra le 50'000 e le 60'000 t/a. Queste cifre confrontate con i dati del 1999 rispettivamente di 300'000 t per il RSU e di circa 6000 t per la frazione organica danno un'idea degli sforzi che le Province intendono fare per sviluppare la raccolta differenziata introducendo, in maniera estensiva anche la raccolta dell'organico.

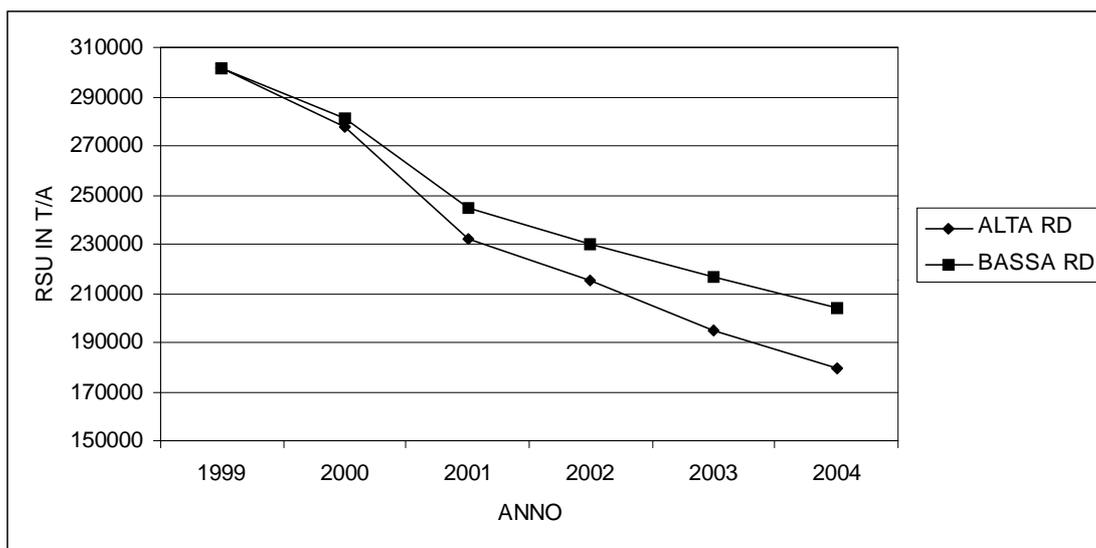


Fig. 1. Evoluzione del RSU nel Quadrante

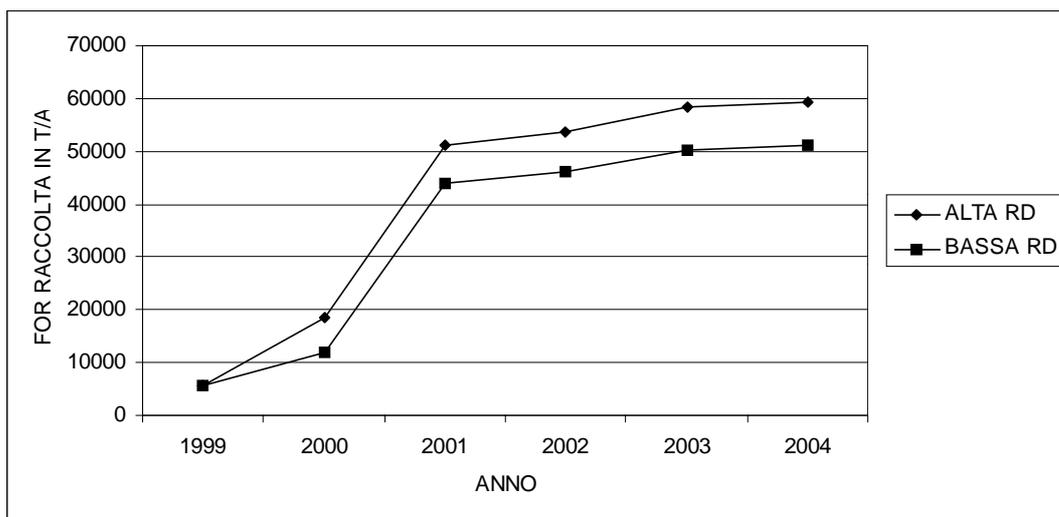


Fig. 2. Evoluzione della frazione organica nel Quadrante

Sulla base delle previsioni di generazione di RSU e di raccolta della frazione organica si è determinato il campo di dimensionamento delle capacità di smaltimento di eventuali impianti interprovinciali che risultano tra le 100'000 e le 200'000 t/a per lo smaltimento di RSU e tra le 10'000 e le 30'000 t/a per la frazione organica. La conoscenza delle capacità di smaltimento necessarie per un territorio è particolarmente importante poiché le varie tecnologie di smaltimento hanno differenti capacità ottimali da un punto di vista economico.

3. Le tecnologie di smaltimento considerate

Per lo studio delle tecnologie di smaltimento si sono scelti una serie di tipi di processo già industrializzati o in fase di industrializzazione che per lo smaltimento del RSU sono:

- Incenerimento
- Pirolisi/gasificazione
- Compostaggio/produzione CDR
- Produzione CDR/termovalorizzazione

mentre per lo smaltimento della frazione organica si sono considerati:

- Compostaggio aerobico
- Compostaggio anaerobico

A rigore per lo smaltimento del RSU esiste anche un processo basato sulla preselezione del RSU e stabilizzazione della frazione umida separata che, unitamente a quella secca, viene poi messa in discarica. Il trattamento del RSU con questo processo non cambia praticamente il volume che deve essere messo in discarica e quindi necessita per il Quadrante nuove capacità di discarica che, come avevamo già segnalato, non sono desiderate sul territorio. L'eventualità di prendere in considerazione l'utilizzo della parte secca come CDR per ridurre i volumi da mettere in discarica non è molto interessante per il basso valore di potere calorifico inferiore presentato da questo residuo, poco più di 3000 kcal/kg contro le oltre 4000 kcal/kg presentate da CDR prodotti con moderne tecnologie come è stato stimato in un recente studio (2). Per queste ragioni questo tipo di smaltimento non è stato considerato in questa memoria.

Per i vari processi di smaltimento considerati si può dare la breve descrizione seguente:

Incenerimento

Questa tecnologia è utilizzata da molti anni e consiste nel bruciare il RSU in un forno recuperando il calore dei fumi per produrre vapore e quindi energia elettrica ed eventualmente fare del teleriscaldamento. I problemi di questa tecnologia sono i costi di smaltimento, la bassa resa in energia elettrica e un impatto ambientale fortemente negativo dovuto alla grande quantità di fumi emessi e all'importante quantità di scorie e ceneri che devono essere messi in discarica.

Pirolisi/Gasificazione

Questa tecnologia prevede una fase di disidratazione e pirolisi del RSU seguita da una fase di gasificazione del residuo con metano ed ossigeno. Il gas ottenuto è utilizzato in motori per produrre elettricità o bruciato per produrre vapore per teleriscaldamento. Le scorie sono ottenute fuse in basso del reattore di gasificazione in quantità simile a quella dell'inceneritore. Questa tecnologia presenta sulla carta vantaggi riguardo ai costi e all'impatto ambientale rispetto all'inceneritore, tuttavia, l'unico impianto industriale esistente a Karlsruhe, utilizzando la tecnologia Thermoselect, è tuttora ancora in fase di dimostrazione industriale dei risultati annunciati.

Compostaggio e produzione di CDR

In questa tecnologia il RSU è sottoposto a una separazione spinta della frazione umida dal secco con vaglio e idropolpatore. La frazione umida dispersa in acqua è sottoposta a digestione anaerobica con produzione di biogas che alimenta dei motori per la produzione di energia elettrica. Il secco può essere messo in discarica oppure estruso per produrre CDR. L'economia di questa tecnologia è caratterizzata da investimenti contenuti e costi bassi. Molto rispettosa dell'ambiente per quanto riguarda l'emissione degli odori, questa tecnologia presenta aspetti negativi quanto alla necessità eventuale di mettere in discarica il secco, in caso di difficoltà di vendere il CDR prodotto, e soprattutto presenta l'incognita dello smaltimento della composta prodotta da RSU.

Produzione di CDR e sua termovalorizzazione

Questa tecnologia effettua una biodisidratazione del RSU seguita da una separazione a secco dei metalli e degli inerti dalla frazione combustibile (CDR). Questo CDR può essere venduto e anche termovalorizzato direttamente con produzione di energia elettrica con una resa molto superiore a quella ottenibile in un inceneritore. L'economia di questa tecnologia è caratterizzata da investimenti e costi più elevati di quelli della tecnologia precedente. Anche questa tecnologia è molto rispettosa dell'ambiente e presenta, come la precedente, il problema della vendita del CDR ma non della composta. La termovalorizzazione è efficiente ma economicamente interessante solo se il prezzo di vendita del kWh è alto.

Compostaggio aerobico

Il compostaggio aerobico della frazione organica è conosciuto da molto tempo. Il FOR è miscelato con verde e sottoposto a compostaggio con aria, prima in capannoni chiusi e poi all'aperto. Se il trattamento nella fase chiusa ha un buon sistema di depurazione l'emissione di odori è minima. Gli investimenti necessari sono bassi e i costi contenuti.

Compostaggio anaerobico

Il compostaggio anaerobico della frazione organica è anch'esso conosciuto da molto tempo. In questo caso il FOR è miscelato con acqua ed eventualmente liberato da frazioni leggere e pesanti non fermentabili in un idropolpatore e quindi inviato in un digestore per la produzione di biogas che alimenta motori per la produzione di energia elettrica. I fanghi ottenuti sono miscelati con verde e compostati all'aria. Come il precedente processo l'emissione di odori è minima. Il processo è vantaggioso economicamente per capacità di smaltimento abbastanza importanti e per prezzi elevati di vendita del kWh. L'uso dell'idropolpatore potrebbe permettere di produrre una composta più pulita rispetto a quella del processo aerobico.

4. Il problema della valutazione delle tecnologie

La scelta delle tecnologie più appropriate implica una valutazione delle stesse tecnologie nel quadro delle capacità di smaltimento considerate. Una moderna valutazione di tecnologie non può più essere semplicemente economica, ma occorre considerare aspetti prettamente tecnici e di impatto ambientale quest'ultimo molto importante per lo studio di tecnologie per lo smaltimento di rifiuti.

Per la valutazione degli aspetti economici di una tecnologia si possono usare metodologie ben conosciute traducendosi, nel nostro caso, nella determinazione di investimenti e costi di smaltimento in funzione delle capacità considerate.

La valutazione tecnica riguarda essenzialmente due aspetti collegati che sono l'affidabilità ed il potenziale di miglioramento che una tecnologia può avere nel corso del suo uso. In effetti, una tecnologia che risulta più costosa e che quindi è meno favorevole da un punto di vista economico non lo è necessariamente da un punto di vista tecnico. Infatti, se la tecnologia sfavorita economicamente è recente essa può presentare un potenziale di miglioramento della sua economia, ed eventualmente anche del suo impatto ambientale. Tutto ciò è dovuto a un fenomeno ben conosciuto, chiamato in inglese "Learning by Doing" (LbyD) ovvero "apprendere facendo", questa attività, insieme alla Ricerca & Sviluppo (R&S), costituisce il motore del processo di innovazione tecnologica. Gli effetti economici del LbyD sono stati studiati negli Stati Uniti negli anni 30 per l'industria della componentistica aeronautica (3) e poi ritrovati praticamente in tutti i tipi di tecnologie. Ne risulta che una tecnologia recente, che appare sfavorita economicamente ed ambientalmente, può divenire nel giro di poco tempo molto più efficiente di una vecchia tecnologia se possiede un buon potenziale di miglioramento dovuto al LbyD.

La valutazione ambientale può risultare ancora più complessa. L'impatto di una tecnologia in questo campo agisce su vari piani con effetti che vanno da quelli tossicologici sull'uomo dovuti agli inquinanti, agli effetti locali in termini ad esempio di eutrofizzazione, smog, ecc. fino ad effetti globali sull'ambiente come per l'effetto serra o il buco di ozono. Se sul piano tossicologico non è semplice paragonare diversi tipi di inquinanti che possono avere effetti clinici molto diversi, sul piano dell'ecosistema terrestre è difficile trasformare in un solo indice effetti locali combinati con effetti globali.

In aggiunta alle difficoltà di eseguire valutazioni specifiche delle tecnologie, in particolare dal punto di vista tecnico ed ambientale, esiste infine il problema di trasformare i risultati di questi tre aspetti valutativi in un solo indice globale che permetta di fare paragoni tra le varie tecnologie.

Al di là delle varie metodologie proposte per risolvere le difficoltà citate e che contengono nella maggior parte dei casi parametri soggettivi, per una migliore valutazione è utile avere una visione più moderna della tecnologia come quella fornita dalla Scienza della Complessità utilizzando poi i metodi innovativi di valutazione che ne derivano.

5. Scienza della Complessità e Tecnologia

Nella visione tradizionale la tecnologia è indicata come una scienza dei processi e delle conoscenze applicate alla produzione di beni e servizi. Questa definizione, pur corretta, non aiuta a capire molto sulla natura e i processi evolutivi di questa particolare attività umana. La Scienza della Complessità fornisce una definizione più moderna della

tecnologia definita come una sequenza di operazioni, ciascuna caratterizzata da un insieme di istruzioni che caratterizzano una particolare ricetta di produzione di un bene o di un servizio (4). Una tecnologia può essere definita quindi come un insieme di ricette di produzione ottenibili come risultato di tutte le combinazioni possibili delle varie istruzioni che caratterizzano ogni operazione. L'insieme delle tecnologie inoltre costituisce un ecosistema nel quale, analogamente a quanto avviene negli ecosistemi biologici, le tecnologie cooperano o competono sviluppandosi o estinguendosi (5). Ad esempio la tecnologia del cavallo per il trasporto umano è stata sostituita dalla tecnologia dell'automobile. Con l'estinzione della tecnologia del cavallo per il trasporto umano sono scomparse altre tecnologie associate come quella del maniscalco. Al contrario lo sviluppo della tecnologia dell'automobile ha fatto nascere nuove tecnologie associate come quella della produzione della benzina.

Ritornando alla tecnologia come insieme di ricette di produzione è possibile farne una rappresentazione grafica nella quale le distanze tra le ricette sono funzione delle differenze nelle istruzioni che esistono tra di loro, inoltre, ogni ricetta di produzione può essere associata a un valore di efficienza ottenendo così alla fine un grafico multidimensionale che è chiamato Paesaggio Tecnologico. In questo paesaggio le ricette di produzione molto efficienti occuperanno i "picchi" mentre quelle poco efficienti gli "avvallamenti". Questo concetto di Paesaggio Tecnologico è molto importante poiché in questo paesaggio si può rappresentare il lavoro di R&S e di LbyD che porta una tecnologia in sviluppo verso una ricetta caratterizzata da un'alta efficienza e quindi da un'alta competitività. Questo processo di ottimizzazione della ricetta di produzione può essere descritto come un percorso esplorativo nel Paesaggio Tecnologico ed è in parte aiutato dalle conoscenze scientifiche e in parte basato su esplorazioni casuali. Una visione del paesaggio e della posizione della ricetta permettono quindi di stabilire il possibile potenziale di miglioramento di una nuova tecnologia che può raggiungere nuovi "picchi" di maggior efficienza rispetto a una vecchia tecnologia che si trova già su un "picco" di efficienza ed il cui paesaggio è già stato ben esplorato. La definizione di efficienza di una tecnologia è sicuramente un argomento non facile. Da un punto di vista strettamente economico essa può essere definita semplicemente come l'inverso del costo di produzione associato ad una particolare ricetta, mentre può divenire alquanto complessa se si vuol tener conto anche degli aspetti ambientali. In ogni caso il Paesaggio Tecnologico è un paesaggio dinamico poiché l'apparizione di nuove tecnologie o l'evoluzione dei mercati o di normative ambientali possono modificare l'efficienza relativa delle tecnologie abbassando l'altezza del "picco" o perfino appiattendolo e provocando quindi l'obsolescenza della tecnologia.

In conclusione, la valutazione globale di una tecnologia, usando il concetto di Paesaggio Tecnologico, consiste dapprima nel cercare di situare questa tecnologia nel paesaggio per valutare sul piano tecnico i progressi possibili verso una maggiore efficienza. L'efficienza è a sua volta valutabile attraverso una combinazione complessa di fattori sia economici che ambientali.

6. Valutazione tecnica delle tecnologie di smaltimento

Come abbiamo visto precedentemente per la valutazione di tecnologie è utile prima di tutto vedere di situarle nel loro Paesaggio Tecnologico per stimare il loro potenziale di miglioramento in termini di efficienza economica ed ambientale. Il posizionamento di una tecnologia nel Paesaggio Tecnologico non è facile poiché in generale il paesaggio

di una tecnologia non è conosciuto nella sua interezza ed è necessario effettuare delle congetture per poterne stimare l'andamento.

Un primo approccio consiste nel considerare il livello di sviluppo delle varie tecnologie dal punto di vista industriale. Per quello che riguarda le tecnologie di smaltimento del RSU noi abbiamo una tecnologia ben conosciuta con una relativamente lunga esperienza industriale (oltre 10 anni) che è quella di incenerimento, due tecnologie con una storia industriale relativamente giovane (3 – 4 anni) che sono quelle di compostaggio/produzione CDR e produzione CDR/ termovalorizzazione, infine una tecnologia di pirolisi/gasificazione che non ha ancora concluso la fase di sviluppo industriale con un impianto Thermoselect a Karlsruhe ancora in fase di avviamento. Per quello che riguarda le tecnologie di smaltimento della frazione organica sia la tecnologia aerobica che quella anaerobica sono conosciute e utilizzate industrialmente da tempo e possono considerarsi allo stesso livello di sviluppo industriale.

Valutazione delle tecnologie di smaltimento del RSU.

Salvo l'avvento di possibili ma poco probabili innovazioni radicali, la tecnologia di incenerimento può considerarsi matura con poco potenziale di miglioramento della sua efficienza in termini economici (rese energetiche) ed ambientali. Più possibilità di miglioramento hanno invece le tecnologie di compostaggio/CDR e CDR/termovalorizzazione che hanno pochi anni di esperienza industriale. Possibili miglioramenti in questo caso potrebbero riguardare ad esempio una migliore eliminazione degli inerti con la produzione di un CDR caratterizzato da un più basso tenore di scorie e ceneri. Un discorso a parte merita invece la tecnologia di pirolisi/gasificazione che non ha ancora completato la sua industrializzazione e il cui interrogativo non è tanto se presenta possibilità di potenziali miglioramenti ma piuttosto se l'efficienza raggiungibile nella fase di avviamento sia sufficiente a renderla industriale da un punto di vista economico ed ambientale. Premesso che non abbiamo a disposizione tutte le informazioni e i dati riguardanti questo processo è comunque possibile fare, con le informazioni disponibili, alcune interessanti congetture. Una previsione riguardo le possibilità di industrializzazione di questa tecnologia e i principali problemi che dovrebbe affrontare possono essere stimati considerando le varie operazioni ed istruzioni che la caratterizzano tenendo conto da una parte la storia delle stesse operazioni in altre tecnologie e dall'altra le nuove condizioni (istruzioni) che sono usate in questa nuova tecnologia. Nella Tabella 1 abbiamo riportato le operazioni principali della tecnologia Thermoselect indicando altre tecnologie ben conosciute che utilizzano le stesse operazioni e le corrispondenti variazioni più importanti nelle istruzioni.

Tabella 1. Operazioni ed istruzioni della tecnologia Thermoselect

OPERAZIONE	TECNOLOGIA ORIGINARIA (dell'operazione)	MODIFICHE ISTRUZIONI (rispetto tecnologia originaria)
Compressione RSU e pirolisi	Trattamento RSU per riduzione volume	Temperatura più elevata (600°C) per pirolisi
Gasificazione residuo carbonioso	Gasificazione carbone (sintesi del metanolo)	Temperatura più elevata (2000°C), uso di lance
Lancia metano/ossigeno	Fusione acciaio al forno elettrico	Fiamma nel reattore di gasificazione, ciclo cont.
Lancia a ossigeno	Acciaieria a ossigeno (convertitore LD)	Combustione residuo carbonioso, ciclo continuo
Lavaggio gas povero	Gasificazione carbone (sintesi metanolo)	Presenza di impurezze metalliche da eliminare
Scarico scorie liquide e granulazione	Granulazione scorie d'alto forno (produzione ghisa)	Temperatura più elevata e scorie acide
Produzione energia elettrica con motori a gas povero	Motori diesel ed alternatori (energia da biogas)	Gas povero invece di metano e anidride carbonica

Come si può vedere dalla Tabella 1 le operazioni principali che compongono il processo Thermoselect derivano da tecnologie industriali precedenti ben conosciute e che hanno dimostrato la loro affidabilità. Le modifiche principali con le nuove istruzioni introdotte riguardano soprattutto l'alta temperatura, che Thermoselect afferma di essere vicina ai 2000°C nel reattore di gasificazione, e nella necessità di eseguire le operazioni in continuo con una durata la più lunga possibile (ad esempio da qualche settimana a un mese) senza avere riparazioni da effettuare con interruzione nel processo. Nella produzione di acciaio ad esempio la riparazione dei refrattari avviene alla fine di ogni ciclo che può durare da 20 minuti ad un'ora circa. Operazioni industriali continue di questo tipo alla temperatura di circa 2000°C esistono, ad esempio nella fabbricazione del carburo di calcio, in questo caso il carburo di calcio esce dal forno fuso, accompagnato da una scoria basica, a contatto di refrattari basici che hanno una resistenza alle alte temperature alquanto buona e migliore in generale di quella dei refrattari acidi. Nel Processo Thermoselect, coscienti di questo problema, si usano probabilmente refrattari neutri o acidi che possono resistere alla scoria tipicamente acida proveniente dal RSU, inoltre è prevista la possibilità di cambiare rapidamente il fondo del reattore qualora intervenissero problemi di usura. Il problema dei refrattari appare comunque come il più critico per il processo Thermoselect almeno sulla base delle

informazioni disponibili. Nella realtà le attività di avvio del processo industriale, che durano dall'aprile del 1999, hanno fatto apparire soprattutto problemi che riguardano le concentrazioni di inquinanti nelle emissioni che superano le norme e quindi problemi di lavaggio o purificazioni delle stesse. Non avendo disponibili ulteriori dettagli sul processo è difficile stabilire se questi problemi sono dovuti a un'ingegneria non appropriata o a problemi intrinseci al processo. Quanto ai refrattari la durata di funzionamento dell'impianto nel periodo di avviamento non è stata ancora così lunga da evidenziare problemi di questo tipo. In conclusione, allo stato attuale, non è ancora possibile confermare economia ed affidabilità a questo processo di pirolisi/gasificazione dal punto di vista industriale.

Valutazione delle tecnologie di smaltimento della frazione organica

Abbiamo già visto precedentemente che le due tecnologie di smaltimento della frazione organica, quella aerobica e quella anaerobica, sono molto simili per quanto riguarda il loro sviluppo industriale e le loro possibilità di miglioramento. Poiché la tecnologia anaerobica è un po' più complessa di quella aerobica è possibile che essa abbia un potenziale di miglioramento più accentuato rispetto alla tecnologia aerobica.

7. Valutazione economica delle tecnologie di smaltimento

La valutazione economica delle tecnologie di smaltimento è stata effettuata sulla base di informazioni ottenute da società d'ingegneria fornitrici delle tecnologie studiate, da dati di impianti di incenerimento attualmente funzionanti e articoli sull'argomento (6). Nel caso del processo di pirolisi/gasificazione si sono utilizzati i dati forniti dalla Thermoselect corrispondenti ai possibili valori industriali ottenibili alla fine dell'avviamento del processo. Per gli investimenti si sono considerati dei campi di capacità di trattamento definiti dal modello previsionale e cioè tra le 100'000 e le 200'000 t/a per il RSU e tra 10'000 e 30'000 t/a per la frazione organica ed un ammortamento semplice su 15 anni. I costi di eliminazione di prodotti e rifiuti secondari ottenuti nei vari processi di smaltimento possono costituire una parte importante del costo di smaltimento e d'altra parte avere valori alquanto variabili a seconda dei casi. Per i nostri calcoli abbiamo utilizzato per tutti i processi dei costi di: 140 L/kg per lo smaltimento della composta ottenuta da RSU, 80 L/kg per lo smaltimento di scarti inerti, 183 L/kg per lo smaltimento di scorie tipo inceneritore, 540 L/kg per lo smaltimento di scarti solidi inquinati o ceneri mentre si è considerata nulla la valorizzazione ovvero il costo di smaltimento del CDR.

Valutazione dei processi di smaltimento del RSU

Nella Fig.3. abbiamo riportato le stime degli investimenti per i processi di incenerimento, pirolisi/ gasificazione, compostaggio/CDR e produzione CDR/termovalorizzazione. Si può osservare che gli investimenti per l'incenerimento, nel campo di capacità di smaltimento considerato, risultano i più elevati seguiti da quelli per la pirolisi/gasificazione e produzione CDR/termovalorizzazione. Netamente più bassi gli investimenti per il compostaggio/CDR. La Fig. 4 mostra l'andamento del costo di smaltimento per i vari processi in funzione del prezzo di vendita del kWh in un campo di valori da 150 a 300 lire per una capacità di trattamento di 100'000 t/a RSU mentre la Fig. 5 mostra lo stesso andamento per una capacità di smaltimento di 200'000 t/a RSU.

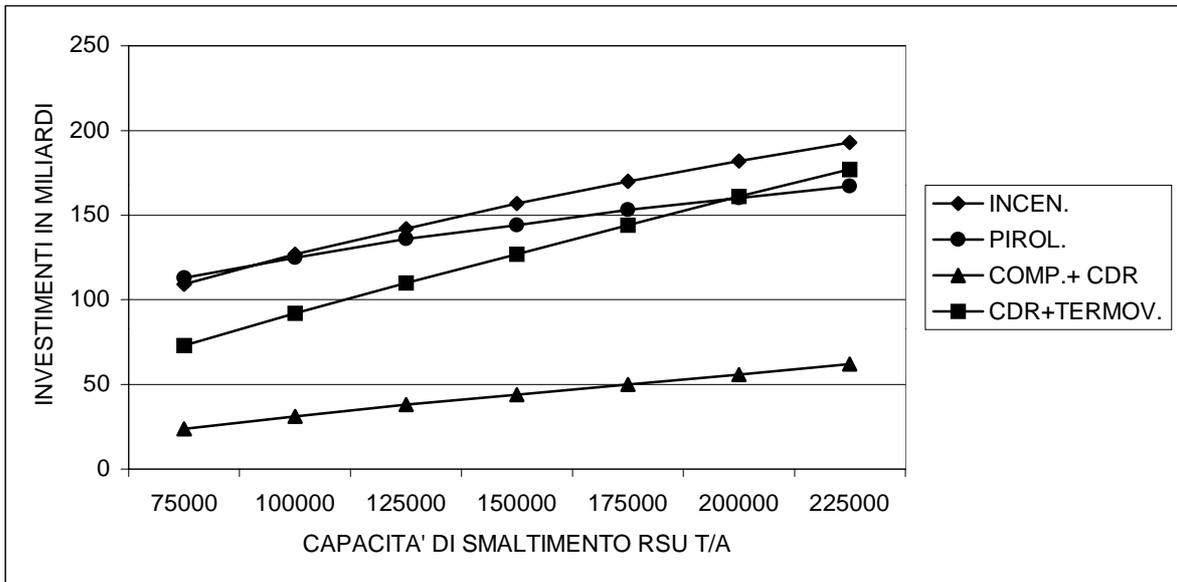


Fig. 3. Investimenti per i processi di smaltimento di RSU

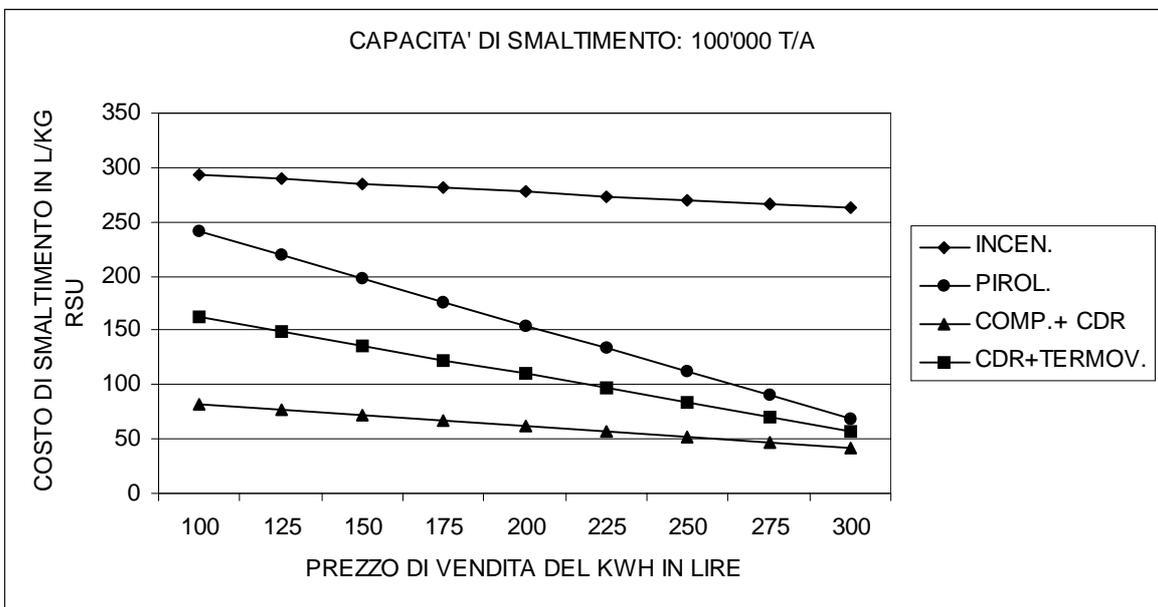


Fig. 4. Costo di smaltimento RSU (100'000 t/a) in funzione del prezzo del kWh

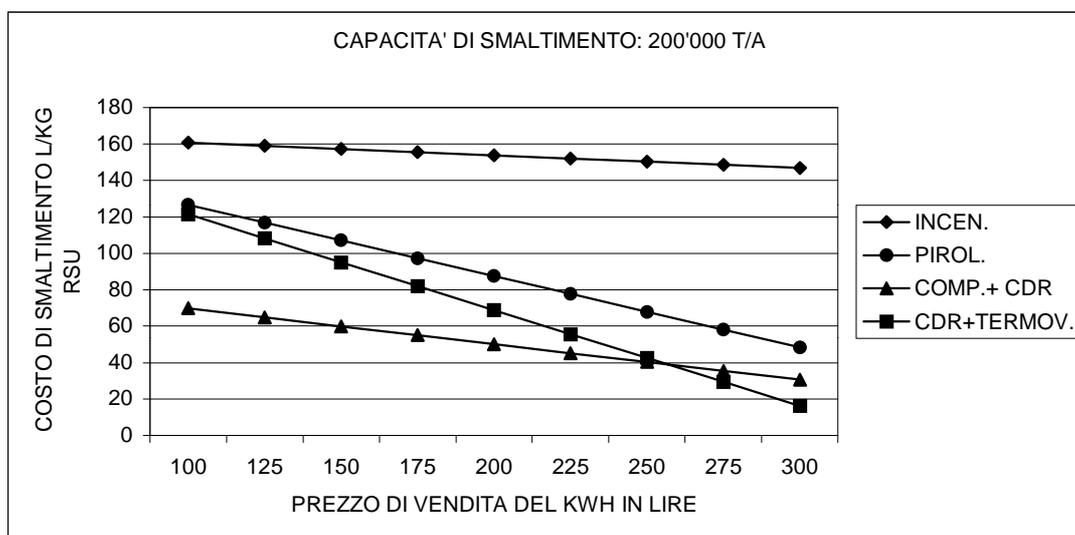


Fig. 5. Costo di smaltimento RSU (200'000 t/a) in funzione del prezzo del kWh

Si può osservare nelle Fig. 4 e 5 che i costi di smaltimento dell'inceneritore rimangono alquanto alti e sono poco sensibili alla variazione del prezzo del kWh venduto mentre i costi di smaltimento degli altri processi sono piuttosto sensibili a questo prezzo. I costi di smaltimento del processo di compostaggio/CDR sono i più bassi, tuttavia, per prezzi elevati di vendita del kWh e alta capacità di smaltimento (200'000 t/a RSU) il costo di smaltimento per il processo di produzione di CDR/termovalorizzazione risulta leggermente più basso.

Valutazione dei processi di smaltimento della frazione organica

Nella Fig. 6 abbiamo riportato gli investimenti necessari per i due processi rispettivamente aerobico ed anaerobico per capacità di trattamento tra le 10'000 e le 30'000 t/a di FOR. Come si può vedere dalla Fig. 6 gli investimenti per il processo anaerobico sono nettamente più elevati che per il processo aerobico. Nelle Fig. 7 e 8 abbiamo riportato i costi di smaltimento della FOR in funzione del prezzo di vendita del kWh rispettivamente per una capacità di 10'000 t/a e 30'000 t/a di FOR. In questo caso il costo dello smaltimento aerobico, che non produce energia elettrica, non si riduce all'aumentare del prezzo del kWh, ma al contrario aumenta leggermente a causa del suo consumo energetico considerando che il prezzo di vendita del kWh sia uguale a quello di acquisto. Come prevedibile il processo anaerobico ha un costo di smaltimento inferiore a partire da una soglia di prezzo del kWh. Nel nostro caso questa soglia è attorno alle 170 lire per una capacità di smaltimento di 10'000 t/a FOR ed attorno alle 125 lire per una capacità di smaltimento di 30'000 t/a FOR. Notiamo infine che il costo di smaltimento per il processo anaerobico è praticamente nullo al prezzo di 300 L/kWh

per una capacità di 10'000 t/a FOR mentre diventa addirittura negativo per una capacità di 30'000 t/a FOR.

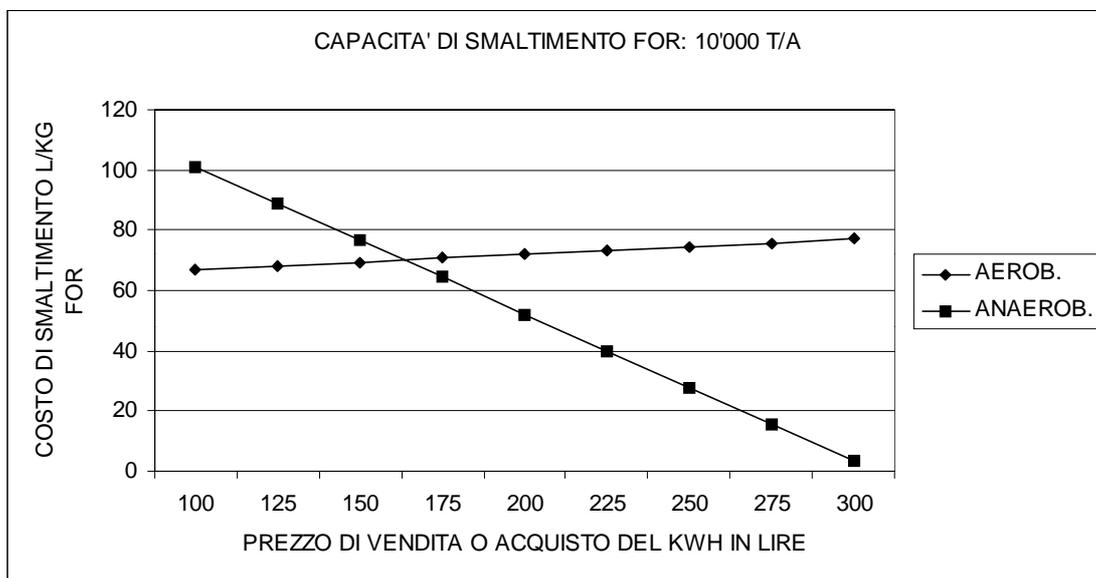


Fig. 6. Investimenti per i processi di smaltimento della FOR

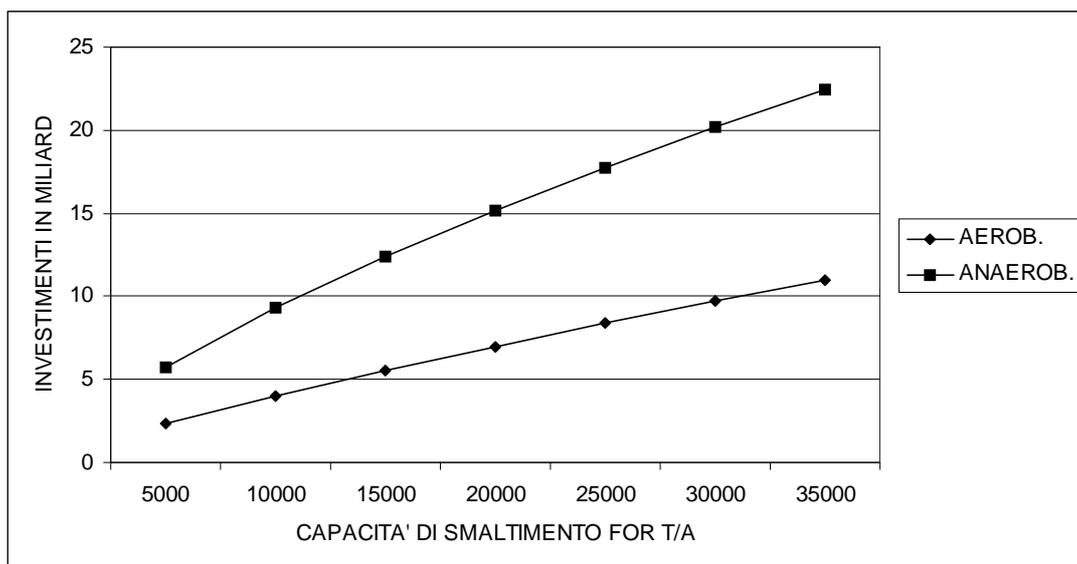


Fig. 7. Costo di smaltimento FOR (10'000 t/a) in funzione del prezzo del kWh

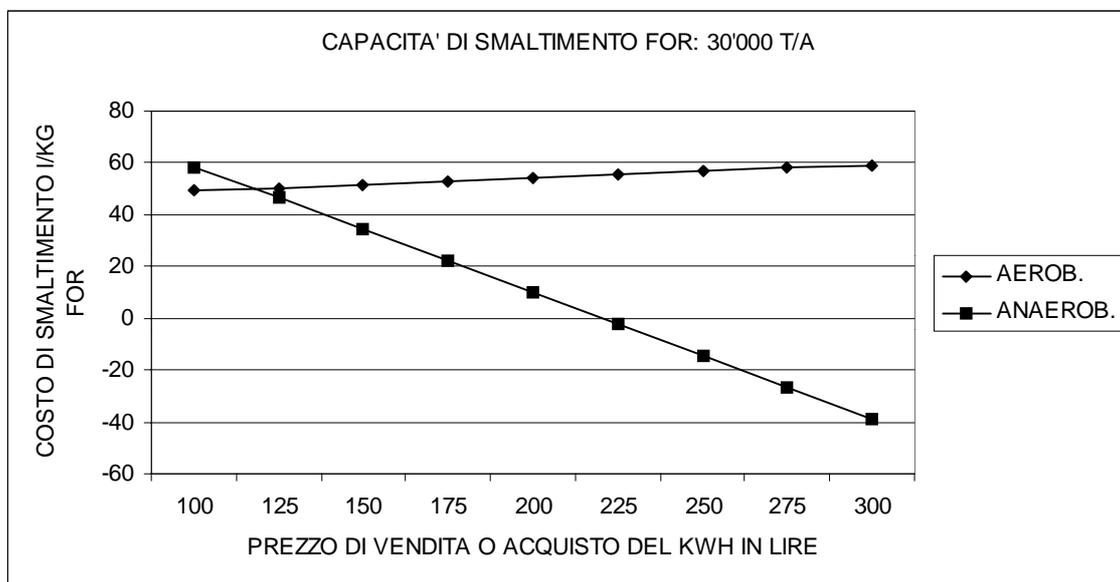


Fig. 8. Costo di smaltimento FOR (30'000 t/a) in funzione del prezzo del kWh

8. Valutazione dell'impatto ambientale delle tecnologie di smaltimento

Abbiamo già visto precedentemente le difficoltà esistenti nella valutazione degli impatti ambientali che in linea generale avvengono su vari livelli da quello tossicologico diretto sull'uomo a impatti globali sull'ecosistema terrestre come l'effetto serra o il buco di ozono. Esistono varie metodologie per effettuare una valutazione globale di questi impatti, la più interessante è quella ad esempio basata su una gerarchizzazione degli effetti degli impatti che possono avvenire a differenti livelli e che è denominata AHP (Analytic Hierarchy Process) e descritta in un recente articolo (7). Tutte queste metodologie non possono fare a meno di usare parametri soggettivi nella valutazione degli impatti nei vari livelli di influenza. Nel nostro caso è possibile condurre una valutazione più semplice considerando gli impatti principali sull'ambiente delle varie tecnologie. L'impatto più importante è senz'altro quello legato ai fumi emessi e che riguardano essenzialmente le tecnologie di incenerimento, di pirolisi/gasificazione e di termovalorizzazione del CDR mentre si può considerare in seconda battuta l'inquinamento prodotto dalle operazioni di compostaggio esistenti nei vari processi considerati.

Innanzitutto possiamo assumere che l'impatto ambientale della termovalorizzazione del CDR è praticamente nullo poiché le sue caratteristiche di combustibile permettono rese energetiche vicine a quelle normalmente presenti nelle centrali termiche. Il CDR può quindi essere considerato come un sostituto dei normali combustibili usati e il cui uso

non comporta variazioni importanti di impatto rispetto a quanto già avviene nella produzione termica di energia elettrica.

Non così è il caso dell'incenerimento e della pirolisi/gasificazione dove si hanno importanti emissioni di fumi e una resa energetica di produzione di energia elettrica molto bassa, generalmente inferiore al 10% rispetto a valori che possono superare facilmente il 30% nel caso delle centrali termiche convenzionali. Sul piano dell'impatto ambientale è interessante comparare il diverso caso dell'inceneritore rispetto all'impianto di pirolisi/gasificazione come riportato nelle Tabelle 2 e 3.

I valori riportati nelle Tabelle 2 e 3 sono stati ottenuti per l'inceneritore da dati reali di funzionamento dell'impianto di Mergozzo (VB), dotato di una tecnica moderna di trattamento dei fumi, mentre per l'impianto Thermoselect sono stati utilizzati dati stimati di funzionamento per l'impianto industriale forniti dalla stessa società. Nella Tabella 2 possiamo osservare che, a parte il caso degli ossidi di azoto la cui concentrazione nei fumi è nettamente più bassa per il processo Thermoselect, la concentrazione degli altri inquinanti è piuttosto simile. Diverso è il discorso dell'impatto ambientale calcolato in termini di emissione annuale stimata per uno smaltimento di 100'000 t di RSU come riportato nella Tabella 3. In questo caso il processo Thermoselect presenta un minore impatto per la quantità inferiore di fumi emessi dovuta all'uso di ossigeno puro per la combustione nel reattore che riduce quindi il bisogno di aria per poi bruciare il gas di sintesi nei motori.

Per quanto riguarda le emissioni inquinanti da parte delle operazioni di compostaggio esse sono tipicamente rappresentate da emissioni di odori sgradevoli soprattutto nelle prime fasi di trattamento. L'uso di edifici completamente chiusi e di biofiltri efficaci evita in gran parte questo problema. Si può osservare, in ogni caso, che per la tecnologia anaerobica le prime operazioni di fermentazione sono necessariamente condotte al chiuso.

In conclusione si può affermare che l'impatto ambientale delle tecnologie di compostaggio/CDR, di produzione di CDR/Termovalorizzazione e lo smaltimento della frazione organica, sia con la tecnologia aerobica o anaerobica, effettuate in ambienti chiusi e con biofiltri efficaci hanno sicuramente un impatto ambientale nettamente inferiore alle tecnologie di incenerimento e pirolisi/gasificazione tipo Thermoselect anche se questa può potenzialmente presentare un impatto ambientale nettamente inferiore a quello dell'inceneritore.

TABELLA 2. Emissione di inquinanti solidi, liquidi gassosi**EMISSIONE NEI FUMI in mg/Nm³**

MICROINQUINANTE	INCENERITORE	THERMOSELECT
POLVERI TOTALI	2,50	3,00
ACIDO CLORIDRICO	1,45	0,20
ACIDO FLUORIDRICO	0,18	0,10
CARBONIO TOTALE	1,92	5,00
CO	11,40	5,00
SO ₂	0,39	2,00
NO ₂	175	12
Hg	0,003	0,01
DIOSSINE E FURANI MAX. in nanogrammiTE/NM ³	0,02	0,01
FUMI EMESSI in Nm³/t RSU	7739	1874
EFFLUENTI INQUINATI in kg/t RSU		
REFLUI INQUINATI	19	0
FANGHI CONC. INQUINATI	0	3
RIFIUTI SOLIDI DA SMALTIRE in kg/t RSU		
SCORIE/GRANULATI	266	239
RESIDUI METALLICI	72	30
CENERI/RESIDUI INQUINATI	41	1

TABELLA 3. Impatto ambientale di emissione di microinquinanti**EMISSIONE IN KG PER UN TRATTAMENTO ANNUALE DI 100'000 T RSU**

MICROINQUINANTE	INCENERITORE	THERMOSELECT
POLVERI TOTALI	1935	562
ACIDO CLORIDRICO	1118	37
ACIDO FLUORIDRICO	139	19
CARBONIO TOTALE	1486	937
CO	8820	937
SO ₂	298	375
NO ₂	135425	2249
Hg	1,93	1,87
DIOSSINE E FURANI MAX. in milligrammi	0,0155	0,0077
POLVERI TOTALI	1935	562
EMISSIONI ACIDE TOTALI	136981	2680
COMPOSTI CARB. TOTALI	10307	1874
EMISSIONI TOTALI	149223	5116

9. Valutazioni conclusive

Dal punto di vista tecnico tutti i processi considerati hanno confermato la loro validità industriale ad eccezione della pirolisi/gasificazione il cui unico impianto industriale costruito con la tecnologia Thermosteect non ha ancora, al momento in cui scriviamo questa memoria, confermato la sua validità terminando la sua fase di avviamento. Dal punto di vista dei potenziali miglioramenti delle tecnologie si può considerare in particolare la produzione di CDR che potrebbe dare nel futuro un prodotto con minori quantità di inerti e maggiore potere calorifico. In misura minore anche che il processo anaerobico di trattamento della frazione organica potrebbe avere ulteriori miglioramenti. Dal punto di vista economico i processi di smaltimento RSU con compostaggio/CDR o produzione di CDR/termovalorizzazione sono quelli nettamente più interessanti sia da un punto di vista degli investimenti che dei costi operativi rispetto all'incenerimento o alla pirolisi. Per i processi di smaltimento della frazione organica il processo anaerobico risulta più economico per impianti di grande capacità e per prezzi elevati di vendita del kWh.

Dal punto di vista ambientale anche in questo caso risultano avere un impatto nettamente inferiore i processi di compostaggio/CDR o produzione CDR/termovalorizzazione rispetto all'incenerimento e alla pirolisi/gasificazione. Per quanto riguarda lo smaltimento della frazione organica i due processi aerobico e anaerobico possono avere situazioni di impatto trascurabile se condotti in edifici chiusi e con biofiltri efficaci.

Concludendo si può affermare che per lo smaltimento di RSU nel campo di capacità tra le 50'000 e le 150'000 t/a le nuove tecnologie basate sulla produzione di CDR si presentano nettamente più economiche e con impatti ambientali trascurabili rispetto alle tecnologie di incenerimento o pirolisi/gasificazione e questo in particolare per il caso della tecnologia di compostaggio/CDR. Tuttavia, il vantaggio economico relativo di questa tecnologia, rispetto alla produzione di CDR/termovalorizzazione, può essere discutibile considerando il quadro di incertezza esistente sui costi di smaltimento della composta prodotta da RSU, non utilizzabile come ammendante agricolo, e della eventuale necessità di avere nuove discariche per accogliere questo prodotto. Questo tipo di problema non esiste nel caso di produzione diretta di solo CDR da RSU.

Bibliografia

- [1] ANGELO BONOMI, *Strategie di raccolta e smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei Seminari RICICLA 2000, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 439-450
- [2] MARCO BONOMI, *Le tecnologie di smaltimento del rifiuto solido urbano nell'era della raccolta differenziata*, Tesi, Università degli Studi del Piemonte Orientale, Facoltà di Economia, Novara, Anno Accademico 1999/2000, pp. 30-31
- [3] T.P. WRIGHT, *Factors affecting the cost of airplanes*, J. of the Aeronautical Science, 2, 1936, pp. 122-128
- [4] P. AUERSWALD, S. KAUFFMAN, J. LOBO, K. SHELL, *The Production Recipe Approach to Modeling Technological Innovation: An Application to Learning by Doing*. September 24, 1998, Santa Fe Institute Working Document 98-11-100. Accessibile sul sito: www.santafe.edu
- [5] MORRIS M. WALDROP, *Complessità*, Instar Libri, Torino, 1996, pp. 181-184

- [6] R. CANZIANI, M. RAGAZZI, E. TONOLLI, *Applicazione di un modello decisionale per la gestione dei rifiuti solidi al caso del Trentino*, Rifiuti Solidi, 14, 3, Maggio.Giugno 2000, pp. 161-169.
- [7] GIORGIO DODERO, MICHELE COLETTI, *Energy from town wastes: thermal treatment technologies and their capital costs*, Atti dei Seminari RICICLA 1999, Rimini Fiera, 21-24 Ottobre 1999, pp. 72-78