

Possibili scenari energetici per lo smaltimento dei rifiuti urbani

Angelo Bonomi - Consulente Ambientale, Verbania (VB)

(Pubblicata sugli Atti dei Seminari di RICICLA 2002, Rimini 6-9 novembre 2002, pp. 716-724)

1. Introduzione

L'eliminazione della discarica come sistema di smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU), come previsto dalle direttive europee e dalla legge italiana, lascia essenzialmente altre due possibilità di smaltimento con recupero energetico che sono l'incenerimento e la trasformazione del RSU in un combustibile da rifiuti (CDR) con la sua successiva termovalorizzazione. L'incenerimento del RSU è una tecnologia esistente già da molto tempo che può definirsi matura e che nella sua versione attuale prevista dalla legge deve comunque assicurare un recupero di energia sotto forma di energia elettrica e, quando possibile, anche in parte sotto forma di energia termica. La tecnologia di produzione del CDR è invece più recente e, in particolare, la sua termovalorizzazione risulta ancora in fase sperimentale sul piano industriale, tuttavia, studi recenti (1) ne hanno dimostrata la possibile validità tecnica, economica ed ambientale.

Un contributo a una migliore conoscenza delle possibilità dello smaltimento del RSU attraverso il CDR può essere dato da un'ulteriore analisi della tecnologia da un punto di vista energetico e ambientale comparandola con la sua alternativa costituita dall'incenerimento.

In questa memoria si è studiata l'efficienza di produzione di energia elettrica da termovalorizzazione di RSU, e il corrispondente impatto ambientale, attraverso queste due tecnologie prendendo come esempio la situazione di un territorio, quello della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola, di cui si conosce bene la situazione dei rifiuti urbani e per il quale è stato elaborato un modello previsionale. Il Programma Provinciale di Gestione dei Rifiuti Urbani (2) corrispondente prevede uno smaltimento del RSU attraverso la produzione di CDR accanto a una spinta verso una forte raccolta differenziata, che include la raccolta della frazione organica (FOR). Per questo territorio si sono studiate in passato varie strategie, incluso l'incenerimento del RSU, per il quale esiste già un piccolo impianto di incenerimento con recupero dell'energia elettrica, e i cui risultati sono stati riportati in una precedente memoria (3).

Pur essendo il territorio considerato una realtà di generazione di rifiuti urbani medio-piccola, pensiamo che sia abbastanza simile a molte realtà italiane e che quindi i risultati siano di interesse per nuovi scenari energetici per la sostenibilità di un territorio che non è più solo fruitore ma anche generatore di energia.

2. Il territorio e le strategie di raccolta del RSU

Il territorio della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola considerato ha una superficie abbastanza ampia ma con una popolazione limitata a circa 160'000 abitanti di cui circa il 60-70% vive nei fondovalle e sulle sponde dei laghi in una realtà con una densità abitativa relativamente elevata. La generazione di rifiuti urbani (RUR), somma dei rifiuti indifferenziati e differenziati è abbastanza costante negli anni dal 1996 al 2001 di cui si hanno le registrazioni e si aggira attorno alle 70'000 t/a e di cui non si prevedono evoluzioni particolari. Dall'inizio del 2000 si è introdotto un cambiamento importante nei sistemi di raccolta passando nelle aree meglio urbanizzate dal sistema cassonetto a una raccolta domiciliare con introduzione della raccolta della FOR e osservando dei rapidi incrementi della raccolta differenziata, il primo di questi, realizzato nel Comune di Gravellona Toce, è stato descritto e discusso in una precedente memoria (3). L'estensione di questo metodo ad altri comuni del territorio ha mostrato lo stesso salto transizionale nella raccolta differenziata. Nella Fig. 1 abbiamo riportato il salto osservato di %RD tra i valori medi del 2000 e quelli registrati

nell'ottobre del 2001 in un territorio con circa 62'400 abitanti, in cui si è introdotto il servizio domiciliare, e che mostra una variazione della %RD media dal 20% al 47%.

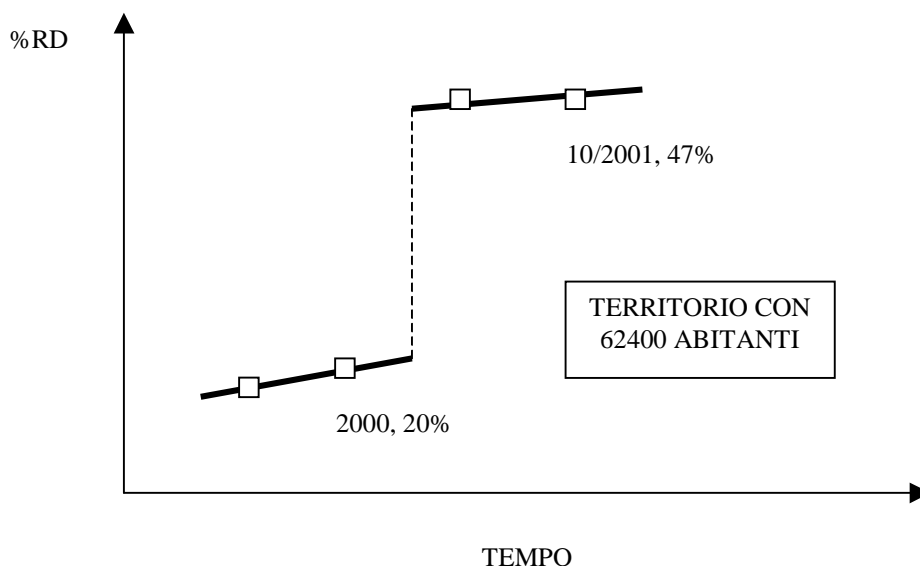


Fig. 1. *Variazione della RD% nel territorio con raccolta domiciliare*

Dal punto di vista della raccolta il territorio della Provincia è diviso in due bacini, un bacino nord che fa capo a Domodossola e il cui RSU è attualmente messo in discarica presso questa località e, un bacino sud, che fa capo a Verbania, il cui RSU è smaltito nell'inceneritore di Mergozzo. Il Programma Provinciale prevede un nuovo impianto in grado di trattare tutti i rifiuti dei due bacini trasformandoli in CDR che è quindi esportato fuori Provincia per la sua termovalorizzazione e la cui capacità di trattamento è stata dimensionata sulla base dell'evoluzione prevista della raccolta differenziata. Occorre notare che Verbania, con la sua %RD di oltre il 50% è il capoluogo di provincia con la più alta raccolta differenziata in Italia.

3. Modello Previsionale

Nel quadro dell'elaborazione del Programma Provinciale di Gestione dei Rifiuti Urbani è stato sviluppato un modello previsionale in grado di calcolare la possibile evoluzione dei vari flussi di rifiuto differenziato e indifferenziato con le rispettive composizioni merceologiche e il corrispondente Potere Calorifico Inferiore (PCI) del rifiuto. In pratica il modello, a partire da una situazione nota, nel nostro caso il 2001, calcola, sulla base di scenari possibili di evoluzione della percentuale dei vari tipi di raccolta differenziata i loro flussi corrispondenti e la generazione di RSU con la composizione merceologica e il potere calorifico corrispondente. Una descrizione più dettagliata del modello è riportata in una tesi di laurea (4) sostenuta presso la Facoltà di Economia di Novara dell'Università degli Studi del Piemonte Orientale. I risultati previsionali del modello calcolati a partire dalla situazione del 2001 ed estesi fino al 2006 sono riportati nelle Fig. 2 a 5. In particolare nella Fig. 2 è riportata l'evoluzione della generazione di RSU secondo due scenari (alto e basso) della raccolta differenziata, nella Fig. 3 è riportata l'evoluzione della RD% per gli stessi scenari, nella Fig. 4 è riportata l'evoluzione della raccolta della FOR (scenario ad alta RD), nella Fig. 5 infine è riportata l'evoluzione del PCI del RSU raccolto (scenario ad alta RD).

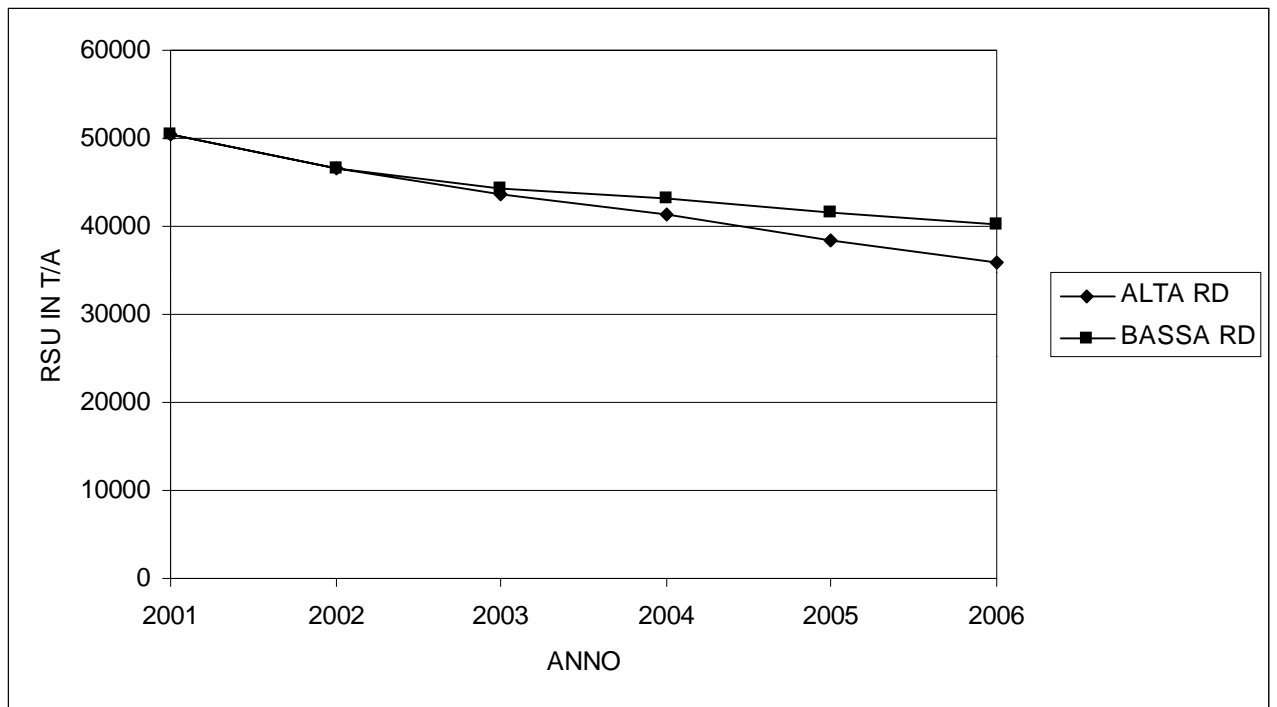


Fig. 2. Evoluzione della raccolta di RSU nel V.C.O.

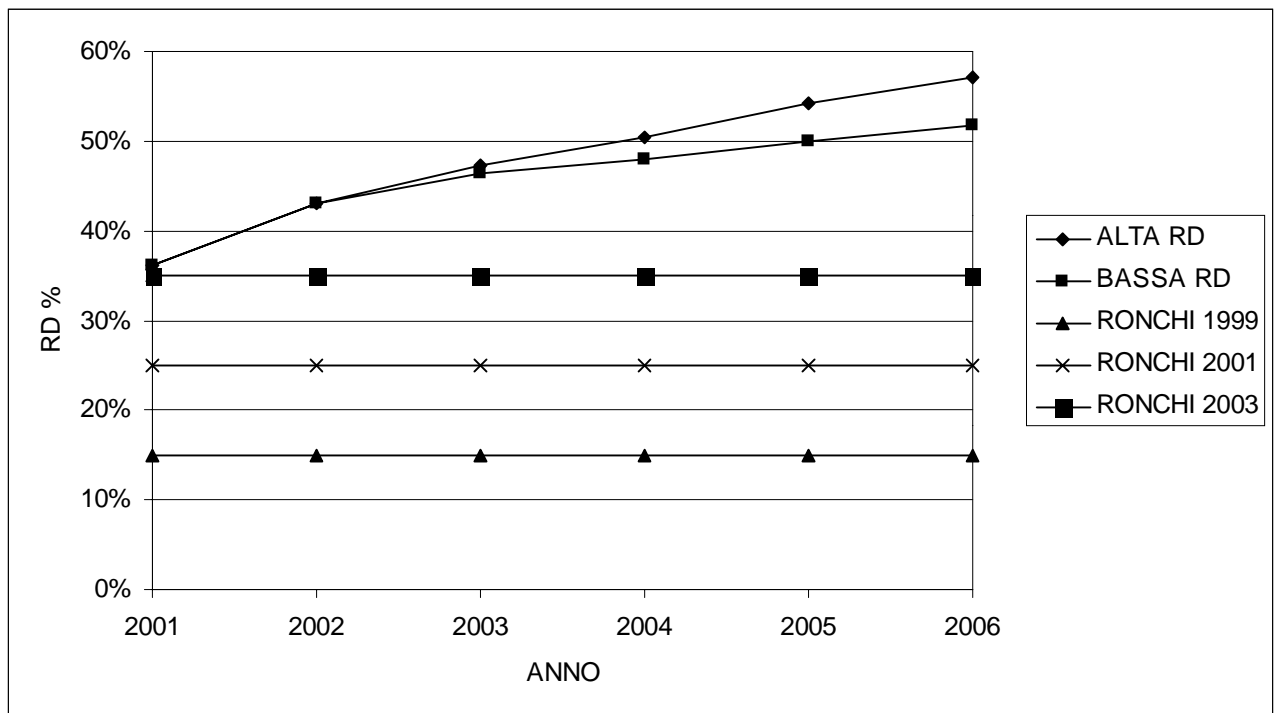


Fig. 3. Evoluzione della %RD nel V.C.O.

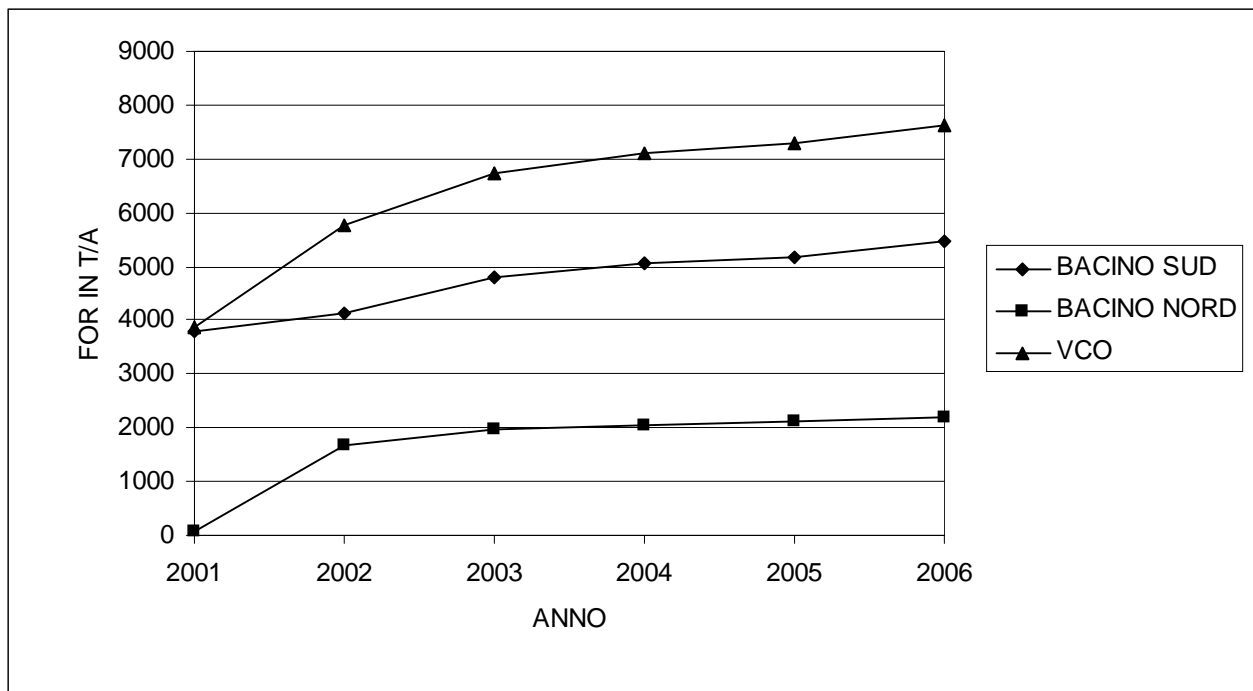


Fig. 4. *Evoluzione della raccolta della FOR nel V.C.O.*

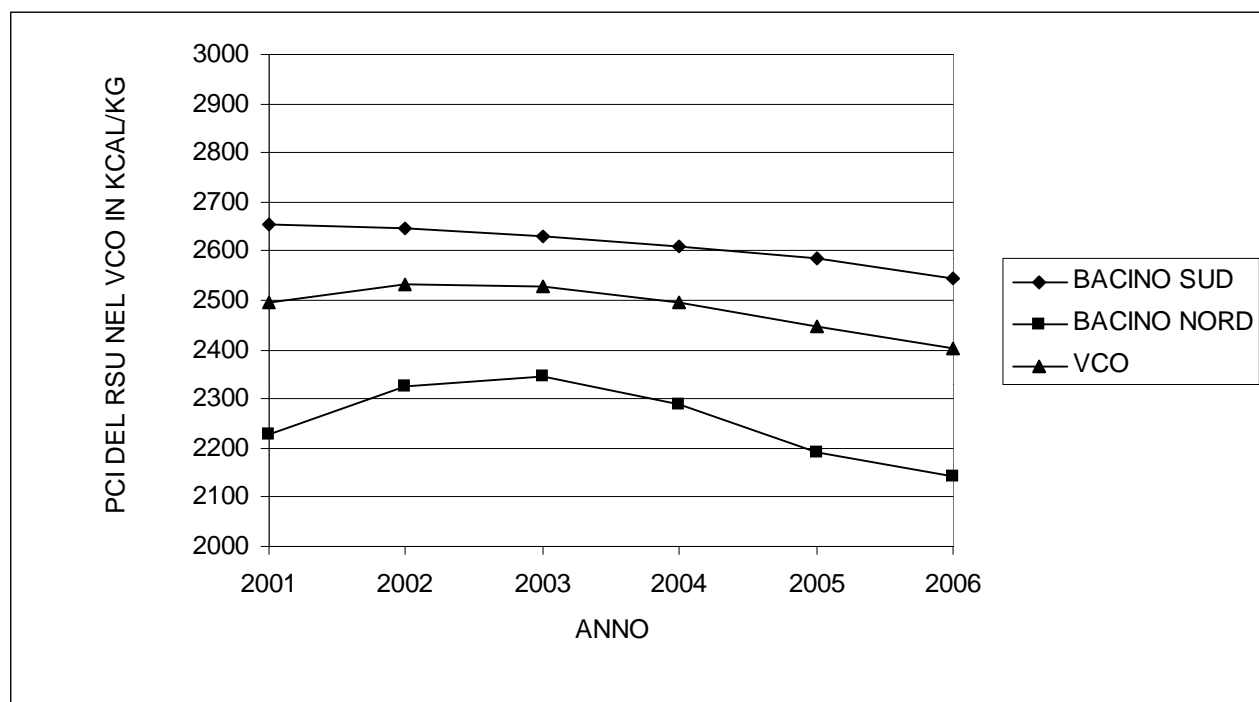


Fig. 5. *Evoluzione del PCI del RSU nel V.C.O.*

4. Scenari considerati

Lo studio comparativo è stato condotto considerando come riferimento la situazione dei rifiuti urbani nel territorio per il 2002. La scelta di questo anno è stata dettata da molti fattori tra cui il fatto che sia abbastanza vicino all'anno di riferimento del 2001 nel modello previsionale, il fatto che questo anno abbia la per la prima volta la raccolta differenziata della FOR estesa a tutto il territorio previsto e infine il fatto che il PCI del RSU stimato sia vicino al valore massimo possibile con l'evoluzione della raccolta differenziata nel territorio. I due scenari di base considerati sono quelli di un avvio del RSU generato nel 2002 rispettivamente verso l'incenerimento con produzione di energia elettrica ovvero verso la sua trasformazione in CDR e sua termovalorizzazione con produzione di energia elettrica. Questi due scenari di base sono poi sdoppiati considerando anche il caso in cui si decida di non fare la raccolta della FOR lasciando tutta la frazione organica nel RSU. I dati ottenuti in questo modo dal modello previsionale sono riportati nella Tabella 1:

SCENARIO	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
RUR (t/a)	68999	68999
RSU (t/a)	46627	52285
RD%	43%	31%
FOR (t/a)	5781	0
PCI (kcal/kg RSU)	2534	2338

Tab. 1. *Dati previsionali per l'anno 2002 usati per lo studio comparativo*

La produzione di CDR è stata considerata pari al 50% in peso del RSU trattato. Più complesso si presenta la stima del potere calorifico del CDR prodotto a partire da una certa composizione merceologica e potere calorifico del RSU. Innanzitutto si è considerata la tecnologia di trasformazione in CDR del RSU senza separazione preliminare dell'umido, questa scelta è stata dettata tra l'altro dal fatto che per questo CDR esistono dei primi dati industriali sulla termovalorizzazione del CDR ottenuto. In questo modo il RSU subisce dapprima una fase di ossidazione batterica con emissione di anidride carbonica il cui calore sviluppato provoca una biodisidratazione del prodotto che infine è sottoposto a una raffinazione che elimina una buona parte dei metalli e del sottovaglio contenente una parte degli inerti. Sulla base dei dati di trattamento disponibili si è cercato di stimare una composizione merceologica e un PCI per il CDR ottenuto rispettivamente dal RSU ottenuto con e senza raccolta della frazione organica. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 2.

Si può osservare nella Tabella 2 che la presenza di una frazione organica maggiore nel RSU dovuta al fatto di non raccogliere la FOR ha un'influenza limitata sull'aumento del PCI del CDR ottenuto, questo è ragionevole considerando che una larga parte dell'apporto della frazione organica è costituito da acqua che incide negativamente sul valore del PCI finale. I valori di PCI calcolati attorno alle 4000 kcal/kg sono in accordo con la maggior parte dei valori ottenuti sperimentalmente sul CDR ottenuto in questo modo da RSU, tuttavia, non avendo disponibili dati sperimentali ottenuti con il RSU del territorio questi valori sono da considerare accompagnati da una certa incertezza.

SCENARIO	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
% TESSILI + LEGNO	16,2	16,2
% CARTA	34,6	34,8
% PLASTICA	25,1	25,2
% METALLI	2,5	2,2
% ORGANICO	19,3	19,4
% INERTI	2,4	2,2
PCI (kcal/kg CDR)	4064	4086

Tab. 2. Composizione merceologica e PCI stimati per il CDR

5. Rese energetiche e impatti ambientali

Per resa energetica considerata in questo studio si intende il rapporto percentuale tra l'energia elettrica ottenibile e l'energia termica del RSU o CDR termovalorizzato calcolabile a partire dal loro rispettivo PCI. Anche se alcuni importanti impianti di incenerimento lo fanno non si è considerato nello studio alcuna utilizzazione di energia termica accanto alla produzione di energia elettrica. Una parte dell'energia elettrica prodotta è inoltre utilizzata internamente all'impianto e riduce la quantità vendibile, poiché però questa quantità è piuttosto variabile nello studio comparativo l'autoconsumo è stato considerato nullo.

La resa energetica dell'inceneritore di Mergozzo calcolata a partire dai dati disponibili è piuttosto bassa e si aggira attorno all'8%. Questo valore è piuttosto basso a causa di dimensionamenti degli impianti non ottimali. Uno studio (5) effettuato sull'inceneritore portato a maggiore capacità con l'installazione di una terza linea indica un possibile maggior rendimento che si avvicina al 10%. Questa resa è confermata anche da dati operativi ottenuti (6) per l'inceneritore di Vercelli che smaltisce circa 72'000 t/a di RSU con una resa energetica vicina al 10%. Nello studio comparativo si è quindi considerato come riferimento il valore del 10% per la resa energetica di termovalorizzazione del RSU in un inceneritore.

Riguardo la resa energetica della termovalorizzazione del CDR i dati disponibili sono più scarsi. In Europa esiste un solo impianto di termovalorizzazione di CDR in funzione situato ad Asslar in Germania. L'impianto della potenza termica di 10 MW è in grado di fornire una potenza elettrica di 2 MW per usi interni con una resa elettrica dell'ordine del 20%. Secondo quanto discusso (7) con gli ingegneri che lo hanno sviluppato un impianto più grande potrebbe facilmente raggiungere una resa dell'ordine del 23-24%. Altre indicazioni al riguardo vengono dal progetto di costruzione dell'impianto di Corteolona (8) in grado di termovalorizzare 60'000 t/a di CDR con una potenza termica di 31 MW in grado di fornire una potenza elettrica di circa 7 MW con una resa elettrica di circa il 23%. Considerando possibili progressi che possono essere ancora fatti su questo tipo di termovalorizzazione abbiamo considerato come riferimento il valore del 24% per la resa energetica di termovalorizzazione del CDR.

Nel calcolo della produzione di energia elettrica a partire da una certa quantità di RSU generata su un certo territorio occorre considerare che sia la produzione di CDR sia lo smaltimento della FOR, a cui va aggiunta una quantità equivalente di verde, consuma un certo quantitativo principalmente di energia elettrica. Sulla base di dati disponibili da studi precedenti (1) si è fissato a 46 kwh/t di FOR l'energia elettrica necessaria per la trasformazione in composta e a 44,45 kwh/t di RSU l'energia elettrica necessaria per trasformare il RSU in CDR. I quantitativi di energia consumati per queste operazioni devono essere sottratti all'energia elettrica prodotta per avere un valore di energia elettrica netta comparabile per i vari scenari.

Gli impatti ambientali coinvolti nello smaltimento del RSU come pure della FOR secondo le varie vie possibili sono molteplici. Occorre innanzitutto considerare che gli impianti di smaltimento della FOR o produzione di CDR effettuati in ambiente chiuso e con biofiltri opportunamente dimensionati hanno un impatto ambientale minimo e che quindi gli impatti ambientali importanti avvengono essenzialmente a livello della termovalorizzazione sia del RSU che del CDR. Gli impatti sono in questo caso a livello delle scorie, delle acque reflue e dei fumi. Mentre le scorie e le acque reflue sono comunque trattate per eliminare gli inquinanti, i fumi, benchè trattati, rilasciano inquinanti nell'ambiente che costituiscono un impatto non trascurabile. Per lo studio comparativo abbiamo considerato gli impatti ambientali più importanti costituiti dalle emissioni di polveri e dalle emissioni acide (HCl, SO₂, NO_x). Nella Tabella 3 abbiamo riportato i valori di concentrazione di inquinanti di riferimento considerati per la termovalorizzazione rispettiva del RSU e del CDR. I valori per il RSU sono i valori operativi dell'impianto di Mergozzo che possiede un moderno sistema di trattamento fumi mentre i valori per il CDR sono quelli previsti per l'impianto di Corteolona. Si può osservare nella Tabella 3 che non esistono importanti differenze nella concentrazione di inquinanti nei fumi per i due tipi di termovalorizzazione.

COMBUSTIBILE	RSU	CDR
Polveri (mg/Nm ³)	2,5	2,0
HCl (mg/Nm ³)	1,5	1,6
SO ₂ (mg/Nm ³)	0,4	0,5
NO _x (mg/Nm ³)	175	69

Tab. 3. Concentrazione dei principali inquinanti nei fumi della termovalorizzazione

Sulla base delle portate dei fumi misurate o previste è possibile calcolare gli impatti ambientali corrispondenti alle emissioni per i due tipi di termovalorizzazione e riferite a 1000 t/a di combustibile come riportato nella Tabella 4.

COMBUSTIBILE (1000 t/a)	RSU	CDR
Polveri (kg/a)	19,3	13,2
HCl (kg/a)	11,2	10,6
SO ₂ (kg/a)	3,0	3,2
NO _x (kg/a)	1354	457

Tab. 4. Impatto ambientale dei principali inquinanti dei fumi della termovalorizzazione

6. Risultati del modello

Sulla base dei dati riportati nella Tabella 1 per i vari scenari e dei dati di riferimento discussi e riportati al paragrafo 5 è semplice calcolare la produzione di energia elettrica netta nel territorio considerato per i vari scenari considerati per l'anno 2002 di riferimento.

Nella Tabella 5 abbiamo riportato l'energia elettrica netta prodotta nel caso dell'uso dell'incenerimento di RSU come sistema di smaltimento con o senza raccolta di FOR.

Nella Tabella 6 abbiamo invece riportato l'energia elettrica netta prodotta nel caso di produzione di CDR e sua termovalorizzazione con o senza raccolta di FOR.

SCENARIO CON INCENERITORE	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
RUR (t/a)	68999	68999
RSU (t/a)	46627	52285
FOR (t/a)	5781	0
CDR (t/a)	0	0
CONSUMO ENERGIA PER FOR (Mwh)	278	0
CONSUMO ENERGIA PER CDR (Mwh)	0	0
PCI RSU (kcal/kg)	2534	2338
PRODUZIONE ENERGIA DA RSU (Mwh)	20350	18776
ENERGIA ELETTRICA NETTA (Mwh)	20073	18776

Tab.5. *Produzione di energia elettrica netta per l'anno 2002 con smaltimento con inceneritore*

SCENARIO CON CDR	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
RUR (t/a)	68999	68999
RSU (t/a)	46627	52285
FOR (t/a)	5781	0
CDR (t/a)	23214	26143
CONSUMO ENERGIA PER FOR (Mwh)	277	0
CONSUMO ENERGIA PER CDR (Mwh)	1049	1176
PCI CDR (kcal/kg)	4064	4086
PRODUZIONE ENERGIA DA CDR (Mwh)	26466	29838
ENERGIA ELETTRICA NETTA (Mwh)	25139	28662

Tab.6. *Produzione di energia elettrica netta per l'anno 2002 con termovalorizzazione del CDR*

Utilizzando quindi i dati disponibili nelle Tabelle 3 e 4 è possibile calcolare anche gli impatti ambientali corrispondenti ai vari scenari sempre riferiti all'anno 2002. Nella Tabella 7 abbiamo riportato gli impatti ambientali calcolati nel caso di smaltimento del RSU con o senza raccolta della FOR. Infine nella Tabella 8 abbiamo riportato gli impatti ambientali calcolati nel caso di termovalorizzazione del CDR con o senza la raccolta della FOR.

SCENARIO CON INCENERITORE	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
POLVERI (kg/a)	900	1009
HCl (kg/a)	522	586
SO ₂ (kg/a)	140	157
NO _x (kg/a)	63133	70794

Tab. 7. *Impatti ambientali per l'anno 2002 con smaltimento di RSU con inceneritore*

SCENARIO CON CDR	CON RACCOLTA FOR	SENZA RACCOLTA FOR
POLVERI (kg/a)	308	345
HCl (kg/a)	247	277
SO ₂ (kg/a)	75	84
NO _x (kg/a)	10654	11947

Tab. 8. *Impatti ambientali per l'anno 2002 con smaltimento di CDR con termovalorizzazione*

7. Discussione dei risultati

Confrontando i risultati riportati nelle Tabelle 5 e 6 appare subito come la produzione di energia elettrica netta sia sensibilmente superiore nel caso della termovalorizzazione del CDR rispetto all'incenerimento del RSU con valori che raggiungono per il CDR i 25139 Mwh con raccolta della FOR e i 28662 Mwh senza raccolta della FOR contro i rispettivi valori di 20073 Mwh e 18776 per l'incenerimento del RSU. Ciò significa che il maggiore PCI del CDR unito a un rendimento energetico più elevato compensa largamente la minore quantità di combustibile disponibile rispetto alla quantità di RSU. Si noti come il PCI leggermente maggiore e le maggiori quantità disponibili nel caso di CDR ottenuto senza raccolta della FOR risulti in una maggiore quantità di energia elettrica netta prodotta. Al contrario la quantità maggiore di RSU disponibile, in assenza di raccolta della FOR, ma accompagnata da un PCI nettamente inferiore risulti un una quantità di energia elettrica netta prodotta nettamente più bassa nel caso di incenerimento del RSU.

Poiché il valore del PCI del CDR presenta un certo grado di incertezza è stato rifatto un calcolo considerando un valore di PCI molto più basso pari a sole 3700 kcal/kg CDR. In questo caso l'energia elettrica netta prodotta diminuisce rispettivamente a 22769 Mwh e 25843 Mwh nei casi con raccolta e senza raccolta della FOR rimanendo tuttavia ancora nettamente più elevata di quella recuperabile con l'incenerimento. Un altro controllo è stato fatto considerando una resa energetica di termovalorizzazione del CDR più bassa pari a solo il 20%. In questo caso le energie elettriche nette prodotte sono rispettivamente di 20728 Mwh e 23689 Mwh nei casi con raccolta e senza raccolta della FOR. In questo caso il valore dell'energia elettrica netta ottenuta con il CDR con raccolta della FOR è solo leggermente superiore a quella corrispondente ottenuta per incenerimento del RSU dimostrando che il sistema è fortemente sensibile alla variazione delle rese energetiche.

Sul piano degli impatti ambientali il confronto dei risultati delle Tabelle 7 e 8 fa apparire chiaramente il minore impatto ambientale della termovalorizzazione del CDR, ciò è facilmente comprensibile considerando che la quantità da bruciare di RSU è praticamente doppia di quella del CDR disponibile. Da queste tabelle risulta anche che l'impatto ambientale nel caso di assenza di raccolta della FOR è più elevato in accordo con il fatto che in questo caso il RSU o il CDR disponibile è in quantità più elevata.

8. Conclusioni

Questo studio comparativo ha mostrato che lo smaltimento del RSU attraverso la produzione di CDR e sua termovalorizzazione può produrre energia elettrica in quantità maggiore ed avere allo stesso tempo un minore impatto ambientale rispetto all'incenerimento diretto del RSU con recupero dell'energia. Se si considera poi la possibilità per il CDR di essere usato anche come combustibile nei forni rotativi per la produzione di cemento o nelle centrali termiche a letto fluido di carbone con una resa energetica ancora maggiore appare ancora più evidente il vantaggio energetico e ambientale di questa via indiretta allo smaltimento del RSU. E' pur vero che esistono moderni impianti di incenerimento che utilizzano anche parte dell'energia termica prodotta o realizzano una separazione preliminare della frazione umida del RSU raggiungendo rese energetiche superiori al 15%. Si tratta però di impianti molto grandi che non possono essere presi in considerazione per una realtà medio-piccola come quella considerata nel nostro studio.

Resta infine da considerare la scelta di effettuare o no la raccolta differenziata della FOR in un territorio. Abbiamo visto che in assenza della raccolta della FOR è possibile un maggiore recupero di energia elettrica accompagnato però anche da un maggiore impatto ambientale. La scelta tra queste due possibilità potrebbe essere facilitata se si conoscesse con più precisione gli impatti favorevoli sull'ambiente che può avere la composta prodotta a partire dalla FOR.

Bibliografia

- [1] ANGELO BONOMI, *Selezione di tecnologie appropriate per lo smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei seminari di RICICLA 2001, Rimini Fiera 26-29 Settembre 2001, pp. 447-460
- [2] ANGELO BONOMI, *Progetto di programma provinciale per la gestione dei rifiuti nel VCO*, Verbania, Agosto 2001
- [3] ANGELO BONOMI, *Strategie di raccolta e smaltimento dei rifiuti urbani*, Atti dei Seminari RICICLA 2000, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 439-450
- [4] MARCO BONOMI, *Le tecnologie di smaltimento del rifiuto solido urbano nell'era della raccolta differenziata*, Tesi di laurea, Università degli studi del Piemonte orientale, Facoltà di economia, Novara, Anno Accademico 1999/2000
- [5] *Terza linea del termoutilizzatore di Mergozzo*, CON.SER.V.C.O. Verbania, Agosto 1999
- [6] ANGELO BONOMI, *Visita all'inceneritore di Vercelli*, 4 Luglio 2000
- [7] ANGELO BONOMI, *Visita agli impianti della Herhof, Solms-Niederbiel*, 26 Luglio 2000
- [8] *PROGETTO ECOENERGIA, Aspetti progettuali, compatibilità territoriale e valutazione socio-economica dell'impianto di Corteolona*, ECODECO, Giugno 2000