

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DEL PIEMONTE ORIENTALE
AMEDEO AVOGADRO
FACOLTA' DI ECONOMIA – NOVARA**

Anno Accademico 1999/2000

**LE TECNOLOGIE DI SMALTIMENTO
DEL RIFIUTO SOLIDO URBANO
NELL'ERA DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA**

Relatore: Prof.ssa Annamaria Torazzo

Candidato: Marco Bonomi

N° di matricola: 9314111

A mio padre

INDICE

1. INTRODUZIONE	
1.1 IL PROBLEMA DEI RIFIUTI NELLE SOCIETA' INDUSTRIALIZZATE.....	4
1.2. LA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI NELLA CIVILTA' DEI CONSUMI	
1.2.1. Caratteri generali.....	6
1.2.2. Metodi di valutazione.....	7
1.3. IL DECRETO RONCHI E LE SUE FINALITA'.....	9
2. COMPOSIZIONE MERCEOLOGICA DEL RSU.....	12
3. ELABORAZIONE DI UN MODELLO PREVISIONALE DEI FLUSSI DI RIFIUTO.....	21
4. LE TECNOLOGIE DI SMALTIMENTO	
4.1. Inceneritore.....	32
4.2. Pirolisi/gasificazione.....	39
4.3. Preselezione/Stabilizzazione.....	40
4.4. Compostaggio e produzione di CDR.....	40
4.5. Produzione di CDR e sua termovalorizzazione.....	41
5. COMPARAZIONE ECONOMICO-AMBIENTALE TRA LE VARIE TECNOLOGIE.....	42
5.1. Risultati dello studio economico.....	44
5.2. Valutazione degli impatti ambientali.....	50
CONCLUSIONI.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	54
ALLEGATI	

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1. IL PROBLEMA DEI RIFIUTI NELLE SOCIETA' INDUSTRIALIZZATE

Tutto ciò che la moderna civiltà industriale genera, sotto forma di ricchezza materiale, in quantità sempre più crescenti, si trasforma inesorabilmente in rifiuti. In termini generali un bene di consumo materiale si può definire come un oggetto materiale che, prima e dopo aver ceduto la sua utilità al consumatore, crea una numerosa serie di rifiuti.

La ricchezza materiale connessa ai rifiuti è solo una parte della ricchezza complessivamente generata dai paesi industrializzati e, fortunatamente, è in relativa diminuzione visto il sempre maggior contenuto immateriale dei servizi che la società dell'informazione viene a creare. In effetti si può affermare che negli ultimi anni si è riscontrata una sostanziale stabilizzazione delle quantità prodotte di rifiuto solido urbano (RSU).

In genere sul rifiuto solido urbano si possono fare delle considerazioni riguardo alle priorità della sua gestione che, accettate nell'ambito dell'Unione Europea (UE) sono state recepite dal decreto Ronchi del quale parlerò in seguito:

1. **Il contenimento:** si deve in tutti i modi contenere il quantitativo di materia immesso negli imballaggi il che implica dei vantaggi diretti (riduzione del quantitativo di materiale da smaltire e minori costi di produzione) ed indiretti (riduzione dell'energia occorrente per spostare i prodotti stessi al consumatore finale).
2. **Il riutilizzo:** ovvero l'oggetto viene riutilizzato nella funzione per la quale era stato creato inizialmente oppure trova altre destinazioni d'uso che non implicano lavorazioni o trasformazioni chimiche e fisiche del prodotto. Questa è evidentemente la soluzione meno impattante da un punto di vista ambientale ed in definitiva quella che è più praticata, anche se nella civiltà dei consumi non tutto quello che può sembrare ragionevolmente riutilizzabile è effettivamente riutilizzato.
3. **Il riciclo :** in questo caso l'interesse è concentrato sulla sostanza di cui è composto il rifiuto che può, attraverso processi tecnologici, essere reimmesso nel ciclo produttivo come materia prima. In effetti non tutto è poi così fattibile, poiché ogni passaggio di riciclo, implica una degradazione del prodotto finale. Ad esempio, la carta, diventerà carta riciclata o componente del cartone per applicazioni e la parte

di fibre di cellulosa troppo corte per essere riutilizzate finiranno ad aumentare i rifiuti industriali non riciclabili della cartiera. Stesso discorso vale per plastica e vetro. In ogni caso il tema del riciclo dei materiali e dell'annessa raccolta differenziata costituisce uno dei temi più importanti riguardo la sostenibilità del nostro sviluppo. Anche se attualmente le materie prime sembrano essere a buon mercato e rendono, da un punto di vista economico, il riciclo economicamente svantaggioso, bisogna considerare che i prezzi delle materie prime possono evolvere in funzione della loro disponibilità sui mercati ed aumentare fortemente in caso di penuria. Ora, per il petrolio, si stima che esistano risorse solo per i prossimi 40 anni, per la cellulosa, che pur va considerata come una risorsa rinnovabile, vi sono dei limiti al suo consumo dovuto alla lentezza del processo biologico di ricrescita delle piante, lo stesso discorso vale per i metalli ed altre materie prime le cui risorse disponibili sono da considerarsi limitate. Il riciclo perciò, risparmiando risorse che non sono rinnovabili o sostituibili facilmente, aiuta a fare in modo che lo sviluppo economico sia più sostenibile da parte del nostro ambiente.

4. **Il recupero energetico:** il RSU contiene una parte considerevole di energia che può essere reintrodotta nel ciclo produttivo sotto forma elettrica o termica. Le considerazioni che si possono fare sono sostanzialmente due; da una parte si ha un risparmio di prodotti combustibili, il che è un vantaggio dal punto di vista economico ed ambientale in generale, d'altra parte bruciare materiali non omogenei e con un contenuto energetico relativamente basso come il RSU pone dei problemi di carattere tecnologico importanti, visto anche l'impatto sull'atmosfera da parte dei fumi e sul suolo da parte delle scorie di combustione.
5. **Lo smaltimento finale:** inesorabilmente una parte residua e non più riutilizzabile dovrà finire in quelli che sono definiti i pozzi o recettori ambientali; che sono l'atmosfera, per i fumi di combustione o dei gas da fermentazione (biogas), ed il sottosuolo rappresentato da discariche, per i residui solidi provenienti da scorie di combustione o da depurazione di liquidi inquinati.

La tesi ora si propone di analizzare soprattutto questi due ultimi punti (recupero energetico e smaltimento finale), alla luce degli sviluppi della raccolta differenziata, e dare alcune risposte riguardo la sostenibilità di alcune scelte tecnologiche piuttosto che altre.

In questa tesi si è cercato poi di esporre in maniera sintetica soprattutto la descrizione dei singoli processi di smaltimento sulla base delle informazioni che si è potuto raccogliere, scelta necessaria per poter ricondurre tutte le tecnologie analizzate ai medesimi termini non avendo disponibili sempre tutti gli aspetti tecnici ed economici necessari per fare un esame comparativo molto dettagliato.

1. 2. LA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI NELLA CIVILTÀ' DEI CONSUMI

1. 2. 1. Caratteri generali

Le amministrazioni locali si confrontano da tempo con il problema della gestione dei rifiuti urbani incontrando spesso numerose difficoltà. In un certo modo la gestione dei rifiuti urbani si differenzia in maniera sostanziale dalle normali gestioni che un'amministrazione affronta quotidianamente e che ha affrontato già da lungo tempo nel passato e sulle quali esiste una certa esperienza ben sedimentata. La differenza che esiste tra le gestioni più correnti e quella dei rifiuti urbani è dovuta a due fattori principali: la difficoltà di prevedere la generazione dei rifiuti e la loro differenziazione sul territorio amministrato e gli aspetti tecnologici piuttosto complessi che caratterizzano le operazioni di smaltimento dei rifiuti che spesso vengono sottovalutati.

Il risultato di questa situazione è che spesso le amministrazioni locali considerano fatale la generazione dei rifiuti e poco influenzabile il livello della loro differenziazione, per poi concentrarsi quasi esclusivamente sul problema dello smaltimento, che è abbastanza complesso da portare facilmente le amministrazioni a scelte non adatte alla situazione del proprio territorio, tipico è il caso ad esempio della scelta di una tecnologia di incenerimento per lo smaltimento dei rifiuti urbani del Bacino Sud della Provincia del Verbano Cusio Ossola ove si è realizzato un impianto di piccola dimensione, senza economie di scala, e con problemi di inquinamento per la sua posizione in un fondovalle con una forte densità abitativa (1). Questo bacino costituirà poi l'esempio di territorio adottato per lo svolgimento di questa tesi.

Il problema in realtà è di avere una visione globale appropriata del sistema rifiuti in un certo territorio che permetta il giusto orientamento della gestione che si vuole adottare mettendo al centro del sistema non il problema dello smaltimento, ma la questione della generazione e della differenziazione dei rifiuti e quindi le possibilità di influenzarle.

In un recente articolo (2) viene data una visione innovativa del sistema territoriale dei rifiuti utilizzando concetti derivati da una moderna scienza detta della complessità (3). In questo caso il sistema territoriale dei rifiuti viene visto come un sistema complesso adattativo e cioè un sistema composto da un insieme di attori autonomi che hanno la libertà di agire in maniera non totalmente prevedibile sulla base dei propri schemi e le cui azioni sono interconnesse in maniera che una certa azione di un attore influenzi l'azione degli altri attori. Il comportamento di questo sistema emerge dall'interazione tra i vari attori sotto l'influenza dell'ambiente in cui è immerso. Nel caso del sistema territoriale dei rifiuti i nuclei familiari e assimilati che lo compongono sono gli attori del sistema e il loro comportamento decide della quantità di rifiuti generata e della loro differenziazione.

Il comportamento dei sistemi complessi adattativi è molto complesso, come lo rivela il nome, ed altamente non lineare, tuttavia è possibile cercare di influenzarne il comportamento seguendo regole dettate dall'esperienza. La gestione dei rifiuti urbani deve quindi iniziare prima di tutto da un'opera di influenza sugli attori del sistema in maniera da ottenere la massima risposta in termini di differenziazione dei rifiuti generati e solo in un secondo tempo occuparsi dei problemi di smaltimento dei rifiuti residui e delle tecnologie più appropriate da adottare.

Esperienze condotte sul territorio (2) hanno permesso di identificare le seguenti regole che si sono dimostrate efficaci per aumentare la raccolta differenziata sul territorio:

- Introdurre la raccolta differenziata della frazione organica
- Fare opera presso gli abitanti per convincerli che la raccolta differenziata rappresenta il vero modo di liberarsi dei rifiuti domestici e che il rifiuto differenziato rappresenta solo il rifiuto fatale che resta dopo che i vari rifiuti sono stati divisi secondo il tipo e destinazione. Inoltre bisogna fare opera di convincimento che la differenziazione dei rifiuti può ridurre o comunque contenere le tariffe da pagare e ridurre l'impatto ambientale degli inquinanti.
- La raccolta sia delle frazioni differenziate che dell'indifferenziato deve essere fatta dallo stesso operatore in maniera che si possa stabilire un rapporto unico e diretto tra operatore e utente dando la possibilità all'operatore di meglio controllare la situazione globale dei rifiuti.
- La raccolta porta a porta, sia per le frazioni differenziate che per il RSU, è nettamente più efficace che l'uso del cassonetto.
- Per rafforzare il messaggio alla popolazione sul rifiuto differenziato come base per gestire i rifiuti è importante ridurre i passaggi per la raccolta della RSU aumentando invece, secondo necessità, i passaggi per la raccolta del differenziato.

Esperienze condotte sul Comune di Gravellona Toce (2) seguendo queste regole hanno dimostrato la possibilità di incrementare in poche settimane la percentuale di raccolta differenziata dal 14-15% a valori vicini al 60%.

L'evoluzione del livello di raccolta differenziata nel sistema rifiuti territoriale rimane comunque un valore molto difficile da prevedere, è però possibile stimare degli scenari di evoluzione, tenendo conto dell'esperienza disponibile, a partire dai quali è possibile quantificare attraverso un modello su calcolatore i vari flussi che si generano e quindi comparare le tecnologie per lo smaltimento dal punto di vista tecnico, economico ed ambientale. Questo è quanto si vuole svolgere in questa tesi.

1. 2. 2. **Metodi di valutazione**

Mentre la scelta dei metodi di valutazione economica è ampia ed i metodi ben conosciuti, non è lo stesso per le valutazioni prettamente tecniche e soprattutto per i

metodi di valutazione di impatto ambientale che possono essere adottati. Riguardo al problema ambientale nella letteratura recente ve ne sono due che si possono ritenere interessanti per essere citati anche perché si prestano a fornire indicazioni di tipo quantitativo, essi sono :

1. Life Cycle Assessment, in breve LCA (4), che definisce in modo quantitativo rigoroso i flussi di materia che un processo produttivo di un impianto disperde nell'ambiente, dall'inizio fino al suo smaltimento definitivo.
2. Analytic Hierarchy Process, in breve AHP (5), altro metodo che partendo da dati forniti ad esempio dal LCA, cerca di dare, attraverso una particolare valutazione quantitativa, una lettura più agevole di risultati tipicamente non omogenei, che non possono essere quindi comparati direttamente, e che possono quindi dare adito a possibili interpretazioni fuorvianti. La valutazione avviene comunque mediante un processo di gerarchizzazione degli impatti quantitativi dei singoli flussi di materia riscontrati nel LCA , dando ad esempio un maggior peso a indicatori degli inquinamenti locali o con un forte impatto diretto sulla salute umana attraverso l'acqua o l'aria (HTCW: Human Toxicological Classification for Water ovvero HTCA: Human Toxicological Classification for Air) rispetto a indicatori globali come l'eutrofizzazione (EUTR) e l'effetto serra (GWP: Global Warming Potential).

Il metodo adottato in questa tesi utilizza un modello su calcolatore di flussi di input e output materiali ed energetici simile al metodo LCA. Esso rappresenta una traduzione semplificata e ridotta su foglio elettronico di modelli globali sviluppati su calcolatore agli inizi anni 70 per incarico del Club di Roma e descritti in due rapporti ben conosciuti (6, 7). Questi modelli a sua volta per certi aspetti derivano sul piano metodologico da lavori precedenti dell'economista Premio Nobel Wassily Leontieff sullo sviluppo dei metodi di input-output in applicazione a importanti problemi economici (8).

Non si è ritenuto utile nel nostro caso adottare il metodo AHP per discutere gli aspetti ambientali dei processi di smaltimento studiati poiché, mentre da una parte i processi di smaltimento termici presentano evidenti differenze di impatto ambientale subito evidenziabili, per altri processi di smaltimento considerati in questa tesi, pur riconoscendo a loro un impatto ambientale minimo, non sono disponibili studi o dati di inquinamento sufficientemente dettagliati per poter utilizzare questo metodo di paragone.

Infine, sul piano tecnologico la valutazione è stata fatta semplicemente considerando l'aspetto di affidabilità del processo di smaltimento e valutata sulla base del suo livello di industrializzazione e quindi del lasso di tempo in cui il processo funziona regolarmente sul piano industriale.

1. 3. IL DECRETO RONCHI E LE SUE FINALITA'

Il Decreto Ronchi è, per essere esatti, il Decreto Legislativo (D.L.) N° 22 del 5 febbraio 1997. Esso è stato introdotto anche in attuazione delle Direttive europee 91/56/CEE sui rifiuti e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio nonché sulla normativa CEE dei rifiuti pericolosi. Esso ha avuto numerose modifiche non sostanziali tra le quali il D.L. dell'8 novembre 1997 e la Legge N° 426 del 9 dicembre 1998 sino ad arrivare al cosiddetto Decreto Ronchi-TER la cui copia è riprodotta nell'Allegato N° 1.

Il decreto è profondamente innovativo in materia e cerca di dare una svolta all'assetto dei rifiuti in Italia che si caratterizza per un uso diffusissimo delle discariche come metodo di smaltimento finale. Ciò comporta delle considerazioni che non verranno svolte estensivamente nella tesi ma che cercheremo succintamente di descrivere.

Innanzitutto le discariche pongono dei seri problemi di ubicazione, problemi esistenti anche per gli inceneritori, ma sicuramente una discarica va ad occupare un territorio più esteso e genera odori difficilmente controllabili che invece sono assenti dai fumi emessi dagli inceneritori che hanno un sistema moderno di depurazione.

Le discariche hanno inoltre un grosso quesito non risolto rappresentato dai costi e tempi di bonifica e chiusura che sono molto lunghi ed i cui effetti sono poco conosciuti. I problemi principali di una discarica chiusa sono rappresentati dalla generazione di biogas e percolati da parte delle sostanze organiche in putrefazione presenti. Se il biogas può essere sfruttato per produrre energia elettrica alimentando opportuni motori, la sua generazione deve essere controllata per evitare fughe pericolose. I percolati generati dalle discariche devono essere raccolti e depurati ed esiste il pericolo, con il tempo, di perforazione degli spessi strati di polietilene ad alta densità messi a protezione del fondo con il percolato che può raggiungere quindi le falde acquifere inquinandole. Per tutte queste ragioni i costi di riferimento delle attuali discariche vanno prese con molto sospetto e generalmente non includono i costi futuri di gestione della chiusura delle stesse.

Viste queste controindicazioni e considerando come più sostenibile ambientalmente una gestione dei rifiuti che metta al centro la raccolta differenziata, il decreto Ronchi impone che dal 1° gennaio 2000 lo smaltimento in discarica sia ammesso per i soli rifiuti inerti. Anche se questa norma ha avuto delle deroghe, viste le difficoltà che un tale radicale cambio di concezione di smaltimento comporta, essa impone tuttavia uno sforzo alle Regioni che sono deputate alla redazione del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti e che sono tenute a giustificare lo smaltimento del tale quale in discarica e indicare i provvedimenti ed i tempi che occorrono a far sì che la norma venga rispettata.

Un altro punto importante per questa tesi che viene affrontato dal decreto Ronchi è la raccolta differenziata. Tutto il Decreto è sicuramente improntato ad una visione sempre più eco-sostenibile delle attività umane, nel particolare la gestione dei suoi rifiuti. Nel fare ciò si indica nella raccolta differenziata uno dei mezzi per ottenere un maggiore rispetto ambientale. Effettivamente una raccolta siffatta sembrerebbe economicamente non vantaggiosa rispetto a quella attualmente praticata ma la sempre maggiore pressione che l'uomo esercita sull'ambiente consente di prevedere che la facile via dello spreco, come è attuata oggi, non sia più praticabile nel futuro. Nei prossimi anni avremo sicuramente degli aumenti di costo delle tariffe dovuto più che altro ai costi di dismissione dei vecchi impianti e discariche.

La raccolta differenziata è sì più onerosa della raccolta del solo semplice rifiuto urbano, ma essa permette di utilizzare meno intensamente le già difficili da reperire discariche o comunque diminuire il rifiuto da incenerire, inoltre, la realizzazione di vari consorzi di raccolta dei rifiuti differenziati riciclabili e la riduzione delle quantità di RSU da smaltire, permette in molti casi una compensazione dei costi (9, 10, 11).

In definitiva il Decreto Ronchi nel porre degli ambiziosi obiettivi di Raccolta Differenziata pone tutte le amministrazioni locali a dovere rispondere alla sfida di una gestione di rifiuti più responsabile.

Gli obiettivi citati nell'articolo 24 del capitolato, occorre ricordarli, sono di raccogliere in maniera differenziata il 15% del rifiuto complessivamente prodotto entro il 1999 (due anni dall'entrata in vigore del Decreto), il 25 % entro il 2001 ed il 35% entro il 2003.

Occorre ricordare comunque che non sono soglie difficili da raggiungere considerando il fatto che nella percentuale di rifiuto urbano che si può ritenere differenziato vengono inclusi:

1. i rifiuti cosiddetti ingombranti, vale a dire mobili ed elettrodomestici
2. il cosiddetto "verde" originato dalle potature e disboschi nonché dalla pulizia delle strade
3. i rifiuti provenienti dalle esumazioni ed altri ancora citati all'articolo 7 del D.L., anche se la quantità di questi è molto minore rispetto alle precedenti

Le quote obiettivo qui riportate sono poi inserite nei grafici risultanti nel modello elaborato in questa tesi alla figura 3.2. e denotano traguardi raggiungibili con poco sforzo. Occorre naturalmente tener conto che il VCO è una realtà tutto sommato piccola rispetto alla pianura ed alle grandi conurbazioni e dunque difficilmente confrontabile con esse.

In realtà numerose esperienze in atto mostrano che i risultati delle raccolte differenziate, quando è possibile introdurre la raccolta differenziata della frazione

organiche, possono raggiungere valori anche più elevati di quelli stabiliti dalle legge Ronchi e in numerosi casi si possono avere percentuali anche dell'ordine del 60% contro il valore soglia di legge del 35% (2, 12).

CAPITOLO 2

COMPOSIZIONE MERCEOLOGICA DEL RSU

La conoscenza della composizione merceologica del RSU è molto importante per l'utilizzazione delle varie tecnologie di smaltimento dei rifiuti e lo è divenuto ancora di più con l'apparizione di nuove tecnologie che portano alla produzione di un combustibile dai rifiuti il cosiddetto CDR.

La composizione merceologica del rifiuto solido urbano determina infatti il potere calorifico del rifiuto, in generale espresso come Potere Calorifico Inferiore (PCI). Inoltre la composizione merceologica permette di determinare nel RSU le quantità di frazioni come carta, plastica, vetro, ecc. che possono essere raccolte anche in maniera differenziata.

Mentre esistono sistemi standardizzati su come effettuare la determinazione della composizione merceologica di un RSU, non esiste nessuna regola di riferimento per fissare in maniera univoca le varie frazioni da separare e da considerare nella composizione.

Nella Tabella 2.1. abbiamo riportato alcuni esempi di composizione merceologica in cui appaiono le varie scelte differenti per le frazioni considerate.

Tali dati provengono da determinazioni di composizioni merceologiche effettuate dalla I.P.L.A. S.p.A. di Torino nel 1995, nel quadro della redazione del Piano regionale di gestione dei rifiuti per il Piemonte (13), e nel 1997, per il Bacino Sud della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola (VCO), nel quadro delle operazioni di collaudo per il forno inceneritore di rifiuti urbani di Mergozzo (VB) (14). A questi dati sono stati aggiunti valori medi di composizione merceologica di RSU per l'Italia per gli anni 1991 e 1995 apparsi sulla stampa (15).

TABELLA 2.1. Esempi di composizione merceologica di rifiuto urbano

FRAZIONI	VCO SUD 97	VCO SUD 95	PIEMONTE 95	ITALIA 95	ITALIA 91
ALLUMINIO		1,17%	0,77%		
PELLI-CUOIO		0,14%			
ORGANICO	33,84%	33,51%	35,08%	43,00%	42,00%
CARTA-CARTONE	23,94%	27,69%	25,40%	22,00%	22,00%
VETRO		8,03%	8,51%	18,00%	8,00%
PLASTICA FILM		5,53%			
PLASTICA CONTENITORI		1,64%			
PLASTICA VARIA	17,81%	3,63%	10,13%	7,00%	6,50%
LEGNO		3,32%	4,61%		
TESSILI	7,66%	2,63%	3,46%		6,00%
INERTI	2,76%	1,84%	8,07%	7,00%	12,00%
METALLI	4,25%	2,63%	3,56%	3,00%	3,50%
RUP		0,41%	0,41%		
SOTTOVAGLIO	9,74%	7,83%			
TOTALE :	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Dai dati riportati nella Tabella 2.1. si può osservare come siano differenti in numero e denominazione le frazioni merceologiche considerate nei vari casi. E' opportuno segnalare la presenza in certi casi (VCO SUD 97 e 95) della frazione "sottovaglio", costituita da materiale liquido o in polvere fine che passa attraverso i vari vagli ed è composta da materiale inerte (spazzatura, ecc.) e materiale organico (residui alimentari, ecc.). Questa frazione è in certi casi suddivisa e le quantità attribuite alle corrispondenti frazioni vagliate (inerti, organico, ecc.). Riguardo le quantità corrispondenti, informazioni ottenute presso enti di raccolta dei rifiuti (14) fanno stimare per il sottovaglio circa 80% per la parte inerte costituita essenzialmente da polvere da spazzatura e circa 20% per la parte organica attribuita ai residui alimentari.

Per il lavoro di questa tesi, che riguarda l'elaborazione di un modello previsionale dei flussi di rifiuto e loro composizione per lo studio delle varie tecnologie di smaltimento di RSU, si è considerato come esempio la situazione esistente in un'area della Provincia del VCO e precisamente il suo Bacino Sud. Questo bacino è costituito da 46 comuni della parte meridionale della provincia per un totale di circa 100'000 abitanti. La maggior parte della raccolta del RSU in questo bacino è assicurata da un consorzio, il CON.SER.V.C.O. che gestisce anche il forno inceneritore di Mergozzo (VB).

L'elaborazione di un modello previsionale richiede di stabilire una composizione merceologica che da una parte sia compatibile con i dati disponibili di raccolta differenziata del bacino considerato e d'altra parte permetta una certa identificazione chimica delle sue frazioni in modo da poter calcolare il PCI corrispondente.

Questa composizione merceologica utilizzabile nel modello deve essere ottenuta attraverso una rielaborazione dei dati disponibili a partire dalle misure di composizione merceologica fatta sul RSU del bacino.

Per effettuare questa rielaborazione della composizione merceologica sono stati utilizzati i dati ottenuti durante il collaudo del forno inceneritore di Mergozzo nell'aprile del 1997. I dati di composizione merceologica (14) e altri risultati analitici ottenuti sullo stesso RSU del bacino Sud della Provincia del VCO usati sono la media dei valori giornalieri di analisi e controlli effettuati tra il 14 e il 23 aprile 1997 e sono riportati nella Tabella 2.2.

TABELLA 2.2. Composizione merceologica del RSU del Bacino Sud del VCO nell'aprile del 1997

FRAZIONE % Peso	14/04/97	17/04/97	18/04/97	19/04/97	21/04/97	22/04/97	23/04/97	MEDIA
SOTTOVAGLIO <15 mm	7,18	13,08	9,18	8,15	12,94	8,77	8,83	9,73
TESSILI	3,02	5,51	10,63	5,43	4,71	14,04	10,29	7,66
CARTA	17,96	31,71	21,26	20,65	22,35	22,81	30,87	23,94
PLASTICA	14,94	26,25	11,59	26,11	15,29	15,79	14,71	17,81
METALLI	3,59	4,13	2,90	3,26	4,71	5,26	5,88	4,25
ORGANICO	49,09	16,56	42,51	34,77	37,65	29,82	26,49	33,84
INERTI	4,22	2,76	1,93	1,63	2,35	3,51	2,94	2,76
TOTALE	100	100	100	100	100	100	100	100
ACQUA TOTALE	34,9	23,8	33,7	41	29,1	32,2	21,2	30,84
PCI (kcal/kg)	2222	2713	2598	1519	2891	2246	3410	2514

Considerando una ripartizione probabile del sottovaglio per il 20% per la frazione organica e 80% per la frazione inerte, come già spiegato in precedenza è possibile ricavare le frazioni e le composizioni medie merceologiche del mese di aprile del 1997 per il Bacino Sud del VCO riportate nella Tabella 2.3. seguente.

TABELLA 2.3. Composizione merceologica del RSU del Bacino Sud del VCO nell'aprile 1997

FRAZIONE MERCEOLOGICA	% IN PESO NEL RSU
TESSILI	7,66
CARTA	23,94
PLASTICA	17,81
METALLI	4,25
ORGANICO	35,79
INERTI	10,55
TOTALE	100,00

Le frazioni merceologiche riportate nella Tabella 2.3. sono coerenti per quanto riguarda la raccolta differenziata esistente al tempo nel Bacino Sud del VCO sotto forma di carta, plastica, metalli e inerti (vetro). La raccolta della frazione organica è iniziata invece nel 2000. La frazione tessile non è invece raccolta usualmente dal CON.SER.V.C.O. come differenziata. La coerenza delle frazioni merceologiche con il tipo di raccolta differenziata effettuata nel territorio permetterà di collegare in un modello la variazione della composizione merceologica del RSU con l'evolversi della raccolta differenziata.

Un altro aspetto importante da sviluppare è il collegamento tra composizione merceologica del RSU e Potere Calorifico (PCI) del rifiuto. La conoscenza del PCI del RSU è importante sia per i sistemi termici di smaltimento come l'inceneritore e la pirolisi/gasificazione che per i sistemi di smaltimento che producono combustibile da rifiuto (CDR). Ad esempio per l'inceneritore il PCI del RSU determina la sua capacità di smaltimento. In effetti questo tipo di processo avviene a un certo valore costante di temperatura che non può essere superata pena la fusione delle scorie e distruzione della griglia. Un aumento quindi del PCI del RSU deve essere accompagnato da una diminuzione della capacità di trattamento per conservare le condizioni termiche ottimali nell'inceneritore. Nel caso della produzione di CDR da RSU la conoscenza del PCI del RSU è importante poiché permette di stimare il valore massimo ottenibile di PCI per il CDR.

Per correlare la composizione merceologica del RSU al suo PCI si è utilizzato un metodo adottato nel Piano Provinciale per la Gestione dei Rifiuti Urbani nel VCO all'Allegato 2 (1). Questo metodo prevede prima di tutto di caratterizzare in maniera semplificata le varie frazioni merceologiche sul piano chimico nel modo seguente:

TESSILE: si considera essenzialmente costituito da cotone e quindi chimicamente da cellulosa con un PCI stimato a 2969 kcal/kg,

CARTA: è considerata essenzialmente della cellulosa con un PCI stimato a 2969 kcal/kg,

PLASTICA: è considerata costituita principalmente da polietilene proveniente da sacchetti, film e fogli e da polietilentereftalato (PET) che costituisce il materiale principale utilizzato per le bottiglie. Poiché la raccolta differenziata della plastica è effettuata principalmente con le bottiglie si stima che la plastica sia composta da 80% di polietilene e da 20% di PET. Per il polietilene si è stimato un PCI di 8761 kcal/kg e per il PET un PCI di 5838 kcal/kg. Tenuto conto delle differenti concentrazioni di polietilene e PET nella plastica il PCI di quest'ultima può essere stimato a 8176 kcal/kg,

ORGANICO: in questo caso non si è proceduto a una caratterizzazione chimica, tra l'altro molto complessa. Considerando che i residui alimentari sono costituiti

essenzialmente da vegetali (cellulosa), grassi e proteine, il valore del PCI calcolato dovrebbe situarsi al di sotto di quello della plastica e non molto superiore a quello della cellulosa. La stima del valore di PCI della frazione organica è avvenuto attraverso un calcolo iterativo descritto più avanti,

METALLI ed INERTI non contribuiscono praticamente alla formazione del PCI del RSU e non è quindi necessario caratterizzarli chimicamente.

I valori di PCI riportati sopra si riferiscono alle frazioni merceologiche secche, in realtà nel RSU è contenuta molta acqua, per circa il 30% nel caso del RSU preso in considerazione, e questa evaporando contribuisce negativamente alla formazione del PCI del RSU per un valore di 546 kcal/kg.

Un calcolo della relazione tra composizione merceologica e PCI necessita di conoscere anzitutto la parte di umidità che accompagna mediamente le varie frazioni mentre di fatto si conosce dalle misure solo il tenore di umidità totale del RSU mentre il PCI è calcolato a partire dalla misura sperimentale del Potere Calorifico Superiore togliendo la parte di calore che è ceduta dalla condensazione dell'acqua contenuta.

La soluzione possibile necessita la realizzazione di un calcolo iterativo che attraverso l'attribuzione di possibili valori ragionevoli di umidità alle frazioni e di PCI della frazione organica permetta di calcolare un valore di umidità totale e di PCI del RSU i più vicini a quelli misurati sperimentalmente.

Per effettuare questo calcolo occorre innanzitutto trasformare la composizione merceologica riportata nella Tabella 2.3. in termini di frazioni chimicamente omogenee e cioè:

INCOMBUSTIBILI: dati dalla somma degli inerti e dei metalli

CELLULOSA: data dalla somma della carta e del tessile

POLIETILENE: dato dall'80% della plastica

PET: dato dal 20% della plastica

ORGANICO: come nella composizione merceologica

Occorre quindi calcolare la parte secca delle varie frazioni togliendo l'acqua calcolata a partire dal tenore presumibile di questa che accompagna le varie frazioni e quindi considerare la somma costituita da: incombustibili, cellulosa, polietilene, PET e organico come frazioni secche, acqua che accompagna la parte organica e acqua che accompagna la parte non organica che andrà a costituire la composizione in base alla quale è possibile calcolare:

- La percentuale di acqua totale presente nel RSU
- La contribuzione di ciascuna frazione secca al PCI del RSU moltiplicando la percentuale della frazione per il suo PCI.
- L'assorbimento di calore dovuto alla presenza di acqua nel RSU moltiplicando la percentuale di acqua presente per il suo calore latente di vaporizzazione.
- Il valore del PCI del RSU come somma delle contribuzioni delle varie frazioni meno l'assorbimento dovuto all'evaporazione dell'acqua contenuta.

Questo calcolo è stato effettuato su calcolatore utilizzando il foglio elettronico EXCEL ed è rappresentato nella Tabella 2.4. mentre le formule utilizzate nella tabella sono riportate nell'Allegato N°2, Parte 1. La Tabella 2.4. riporta i valori ottimali trovati di umidità delle varie frazioni e del PCI della frazione organica che permettono di calcolare un'umidità totale e un PCI del RSU molto vicini ai valori misurati sperimentalmente e il cui confronto è riportato nella Tabella 2.5. I valori di umidità il valori di PCI dell'organico trovati sono riportati nei due riquadri rispettivi della Tabella 2.4. mentre i risultati ottenuti di umidità totale e PCI sono riportati in grassetto e nel loro rispettivo riquadro. Nella scelta di valori ragionevoli di umidità associati alle varie frazioni si è tenuto conto che la maggior parte dell'acqua è accompagnata alla frazione organica e che la cellulosa può assorbire molta più acqua che la plastica e gli incombustibili.

TABELLA 2.4. Calcolo del PCI del RSU e umidità delle frazioni merceologiche

FRAZIONI	% PESO	% PESO	PCI	PCI FRAZIONE
	Calcolato	Normalizzato	kcal/kg	kcal/kg
INCOMBUSTIBILI	14,05	14,11	0	0
CELLULOSA	28,44	28,56	2969	848
POLIETILENE	13,54	13,59	8761	1191
PET	3,38	3,40	5838	198
ORGANICO	10,74	10,78	3610	389
ACQUA NON ORGANICA	4,39	4,41	-546	-24
ACQUA ORGANICA	25,05	25,15	-546	-137
TOTALE	99,59	100,00	PCI RSU	2465

ACQUA ORGANICO	70%
ACQUA INCOMBUSTIBILI	5%
ACQUA CELLULOSA	10%
ACQUA PLASTICA	5%
TOTALE ACQUA	29,44%

TABELLA 2.5. Confronto tra valori calcolati e sperimentali

PARAMETRO	VALORE CALCOLATO	VALORE MISURATO
PCI RSU in kcal/kg	2465	2514
Umidità totale RSU %	29,44	30,84

Occorre notare che il calcolo delle composizioni del RSU sotto forma di frazioni secche e acqua a partire da valori ipotetici di umidità delle varie frazioni può portare a valori totali leggermente differenti dal 100% e quindi le percentuali trovate devono essere normalizzate al 100% come risulta dalla colonna “% PESO Normalizzato” della Tabella 2.4.

A partire dai dati elaborati nella Tabella 2.4. è possibile presentare una formula che lega il PCI del RSU alla sua composizione merceologica usando le frazioni riportate nella Tabella 2.3. Nel caso ipotetico che il RSU sia privo di umidità, il suo PCI è facilmente calcolabile a partire dal PCI di ciascuna frazione secca moltiplicata per la percentuale della frazione e cioè:

$$\text{PCI RSU (kcal/kg)} = \% \text{ORGANICO} \times 3610 + \% \text{CARTA} \times 2969 + \% \text{PLASTICA} \times 8176 + \% \text{TESSILE} \times 2969 \quad (2.1.)$$

Per il calcolo del PCI di un RSU umido con percentuali di acqua associate alle varie frazioni come definito nella Tabella 2.4. occorre ridurre il PCI di ogni frazione secca del valore assorbito dall’evaporazione dell’acqua che l’accompagna. In questo caso anche le percentuali dei metalli e degli inerti partecipano alla formazione del PCI del RSU per la parte di assorbimento di calore dovuto all’acqua che li accompagna. Il calcolo, effettuato sempre attraverso il foglio elettronico EXCEL è riportato nella Tabella 2.6. e le formule usate in tabella riportate nell’Allegato N°2 Parte 2.

TABELLA 2.6. PCI delle frazioni e acqua contenuta

FRAZIONI	PCI SECCO kcal/kg	ACQUA %	PCI UMIDO kca/kg
ORGANICO	3610	70%	705
CARTA	2969	10%	2618
PLASTICA	8176	5%	7741
TESSILI	2969	10%	2618
INERTI	0	5%	-27
METALLI	0	5%	-27
ACQUA	-540	100%	

In questo caso la formula diventa:

$$\text{PCI RSU (kcal/kg)} = \% \text{ORGANICO} \times 705 + \% \text{CARTA} \times 2618 + \% \text{PLASTICA} \times 7741 + \% \text{TESSILE} \times 2618 - \% \text{INERTI} \times 27 - \% \text{METALLI} \times 27 \quad (4.2.)$$

I calcoli eseguiti finora hanno permesso di stimare una composizione merceologica e un PCI caratteristico del Bacino Sud del VCO nel mese di aprile 1997, tuttavia, per l'elaborazione del modello previsionale del flusso dei rifiuti è necessario conoscere i dati caratteristici del RSU per un anno più vicino come il 1999. La composizione merceologica del RSU del 1999 ha subito delle variazioni sotto l'influenza dell'evoluzione della raccolta differenziata che pur se in misura limitata ha influenzato le quantità di carta e in minore misura le quantità di inerte (vetro) presente nel RSU. Il CON.SER.V.C.O. ha inoltre segnalato (14) che il tenore in plastica del RSU utilizzato durante il collaudo dell'aprile del 1997 sarebbe stato più alto di quello attuale, da cui un PCI relativamente elevato di circa 2500 kcal/kg contro una stima attuale che lo vedrebbero invece vicino alle 2100 kcal/kg.

A seguito di questa situazione si è proceduto a un calcolo iterativo su foglio elettronico EXCEL per abbassare il tenore di carta e di inerti ed ancor più quello della plastica nel RSU, partendo dalla composizione di riferimento del 1997, e in maniera da ridurre il PCI a un valore vicino a quello stimato attualmente di circa 2100 kcal/kg. Il calcolo è presentato nella Tabella 2.7. mentre le formule adottate nella tabella sono riportate nell'Allegato N°2 Parte 3. Le variazioni di percentuale ipotizzate per le varie frazioni sono riportate in un riquadro nella Tabella 2.7. mentre le composizioni normalizzate a 100% e il valore di PCI corrispondente sono riportati in grassetto e nei riquadri corrispondenti della tabella. La miglior corrispondenza è stata trovata per una variazione di -3% per la carta, -5,5% per la plastica e -0,2% per gli inerti, che permette di ottenere un PCI del RSU di 2135 kcal/kg.

TABELLA 2.7. Stima della composizione merceologica e PCI del RSU (1999) del Bacino Sud del VCO

FRAZIONE	% PESO Rif. 1997	VARIAZ. %	% PESO RSU	%PESO Normalizzato	% UMIDITA'	PCI UMIDO kcal/kg	FRAZ. PCI kcal/kg
TESSILI	7,66	0	7,66	8,39	10	2618	220
CARTA	23,94	-3	20,94	22,94	10	2618	600
PLASTICA	17,82	-5,5	12,32	13,49	5	7740	1044
METALLI	4,25	0	4,25	4,65	5	-27	-1
ORGANICO	35,79	0	35,79	39,20	70	701	275
INERTI	10,54	-0,2	10,34	11,33	5	-27	-3
TOTALE	100,00		91,30	100,00			PCI RSU 2135

Infine nella Tabella 2.8 sono stati riportati i valori di composizione merceologica stimati dal calcolo della Tabella 2.7 con gli altri esempi di composizione merceologica riportati nella Tabella 2.1. i cui valori sono stati elaborati in maniera di avere lo stesso tipo di frazioni merceologiche utilizzate nei nostri calcoli.

TABELLA 2.8. Paragone delle composizioni calcolate con altri esempi di composizione merceologiche

FRAZIONI	VCO SUD 99	VCO SUD 97	VCO SUD 95	PIEMONTE 95	ITALIA 95	ITALIA 91
ORGANICO	39,20%	35,79%	40,56%	35,08%	40,00%	42,00%
CARTA	22,94%	23,94%	27,69%	25,40%	19,00%	22,00%
PLASTICA	13,49%	17,81%	10,80%	10,13%	7,00%	6,50%
TESSILI	8,39%	7,66%	6,09%	8,07%	6,00%	6,00%
INERTI	11,33%	10,55%	10,65%	16,58%	25,00%	20,00%
METALLI	4,65%	4,25%	4,21%	4,74%	3,00%	3,50%
TOTALE :	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Come si può vedere dalla Tabella 2.8. i della dati composizione merceologica calcolati sono coerenti, pur considerando le inevitabili differenze, con quelli di altre composizioni merceologiche determinate sperimentalmente.

CAPITOLO 3

ELABORAZIONE DI UN MODELLO PREVISIONALE DEI FLUSSI DI RIFIUTO

Il modello previsionale dei flussi di rifiuto deve permettere di calcolare i flussi a partire da scenari di evoluzione della generazione globale di rifiuti e della raccolta differenziata in un particolare territorio e per un certo orizzonte temporale.

Esso deve essere inoltre abbastanza particolareggiato da poter prevedere anche l'evoluzione della composizione merceologica del rifiuto solido urbano (RSU) e quindi del suo potere calorifico inferiore (PCI).

Nella costruzione del modello si è adottata una metodologia usata per l'elaborazione del modello previsionale descritta nell'Allegato 1 del Piano Provinciale per la Gestione dei Rifiuti Urbani nel VCO (1).

Il modello è stato elaborato su calcolatore utilizzando il foglio elettronico EXCEL prendendo come esempio la situazione esistente nel Bacino Sud della Provincia del VCO. Il modello comprende una serie di tre fogli collegati denominati:

**SCENARIO
DATI
PREVISIONI**

Il foglio **SCENARIO** comprende i dati considerati di evoluzione della raccolta differenziata delle varie frazioni considerate e cioè:

**CARTA
VETRO
PLASTICA
ORGANICO**

espressi come percentuale della raccolta differenziata della frazione rispetto alla frazione totale e cioè rispetto alla somma della frazione differenziata con la frazione esistente nel rifiuto urbano indifferenziato (RSU). La raccolta differenziata di altre frazioni come i metalli contribuisce in minima parte al totale della raccolta differenziata considerata (RDR) ed è stata quindi trascurata. Seguendo le considerazioni descritte nel Capitolo 5 del Piano di Gestione dei Rifiuti Urbani del VCO (1) la generazione di rifiuti urbani globali (RUR) è stata ritenuta costante nel periodo considerato dal 1999 al 2004. In queste condizioni la somma della raccolta

delle varie frazioni differenziate considerate (RDR) e del RSU è costante e pari al RUR secondo l'equazione:

$$RUR = RSU + RDR \quad 3.1.$$

Un aumento quindi della RDR provoca necessariamente una riduzione del RSU da smaltire.

Il foglio DATI contiene i dati di riferimento del modello corrispondenti all'anno 1999 e cioè le quantità delle frazioni raccolte in maniera differenziata, la quantità di RSU generata e la sua composizione merceologica ed altri dati di raccolta differenziata, come i residui urbani pericolosi (RUP), gli ingombranti, il verde e varie, per un totale indicato come RDD. Questi ultimi dati sono caratterizzati da variazioni di raccolta negli anni abbastanza irregolari e ininfluenti sulla quantità di RSU quindi, per semplicità, sono stati considerati costanti per il periodo considerato dal 1999 al 2004. Questi dati di raccolta differenziata, pur non influenzando la quantità di RSU generata, contribuiscono alla definizione di percentuale di raccolta differenziata RD% secondo la Legge Ronchi. Indicando come RDD la somma di queste frazioni e RDR la somma delle frazioni di RD che invece influenzano la quantità generata di RSU, come dall'equazione 3.1, si ha la seguente definizione di RD%:

$$RD\% = (RDR + RDD)/(RDR + RDD + RSU) \times 100 \quad 3.2$$

Il foglio PREVISIONI contiene i risultati del modello ottenuti per un certo scenario di evoluzione della RD delle frazioni differenziate considerate e calcolati per i cinque anni considerati dal 2000 al 2004. I risultati comprendono l'evoluzione delle quantità di raccolta differenziata delle frazioni considerate, l'evoluzione del RSU calcolato come dall'equazione 3.1 (con RUR costante), l'evoluzione della RD% come definita dall'equazione 3.2 (con RDD costante), la composizione merceologica in termini di quantità delle varie frazioni del RSU e la composizione merceologica percentuale con il corrispondente valore di PCI.

Il sistema di calcolo su tabelle del modello, riportato in dettaglio nell'Allegato N°2 Parte 4, prevede, a partire dai dati di composizione merceologica del RSU del 1999 del foglio DATI e dai dati di percentuale di raccolta differenziata di scenario delle varie frazioni presenti nel foglio SCENARIO, di calcolare una nuova composizione merceologica del RSU prevista per il 2000, quindi riprendere i dati così ottenuti per un ricalcolo per il 2001 e così via fino all'anno 2004. Accanto ai dati di composizione merceologica, espressa sia in quantità che in percentuale, è possibile calcolare i nuovi flussi delle varie frazioni differenziate, la percentuale di RD come stabilito dalla Legge Ronchi, e il PCI corrispondente alla composizione merceologica calcolata per il RSU, il tutto riportato nelle tabelle del foglio PREVISIONI.

Per quanto riguarda le percentuali di raccolta differenziata delle varie frazioni si sono considerati due insiemi di dati riguardanti rispettivamente uno scenario con alta raccolta differenziata e uno scenario con bassa raccolta differenziata riportati rispettivamente nelle Tabelle 3.1 e 3.2. Questi dati sono in accordo con quanto attualmente è previsto per il Bacino Sud del VCO nel quadro del Piano Rifiuti per la Provincia del VCO (15).

TABELLA 3.1. Scenario di alta raccolta differenziata per il Bacino Sud del VCO

FRAZIONE	2000	2001	2002	2003	2004
CARTA	26%	34%	44%	56%	71%
VETRO	53%	64%	70%	80%	86%
PLASTICA	12%	16%	23%	30%	42%
ORGANICO	30%	45%	45%	45%	50%
RIFIUTO URBANO	0%	0%	0%	0%	0%

TABELLA 3.2. Scenario di bassa raccolta differenziata per il Bacino Sud del VCO

FRAZIONE	2000	2001	2002	2003	2004
CARTA	26%	28%	33%	38%	41%
VETRO	53%	58%	62%	68%	70%
PLASTICA	12%	14%	20%	23%	28%
ORGANICO	8%	41%	41%	41%	45%
RIFIUTO URBANO	0%	0%	0%	0%	0%

Si noti nelle due tabelle qui sopra che la variazione del totale del rifiuto urbano globale è stata considerata nulla, nell'orizzonte temporale considerato come già discusso precedentemente.

I risultati previsionali ottenuti con il modello sono riportati nelle Tabelle 3.3 e 3.4, rispettivamente per gli scenari di alta e bassa raccolta differenziata. Da questi dati è possibile trarre alcuni grafici (Figure 3.1, 3.2, e 3.3) che permettono di confrontare i risultati dei due scenari. La Figura 3.1, presenta l'evoluzione della generazione di RSU per i due scenari di raccolta differenziata. Si noti che nell'orizzonte dell'anno 2004 la differenza tra i due scenari è di circa 7000 t/a e che la generazione di RSU nel 2004, secondo lo scenario di alta RD, risulta la metà del valore stimato per il 1999.

La Figura 3.2. presenta l'evoluzione della RD% calcolata secondo la Legge Ronchi per i due scenari di alta e bassa RD. Si noti che la RD% prevista per ambedue gli scenari supera i valori minimi previsti dalla Legge Ronchi rispettivamente negli anni 1999, 2001 e 2003. La RD% prevista nel 2004 è di circa il 60% nel caso di uno scenario di alta RD e di circa il 50% nel caso di uno scenario di bassa RD. Infine si può notare che la RD% aumenta fortemente negli anni di introduzione della raccolta della frazione organica come si può verificare confrontando i dati del grafico con quelli della raccolta differenziata dell'organico nelle Tabelle 3.3 e 3.4.

TABELLA 3.3. Previsioni flussi di rifiuti per il Bacino Sud del VCO con alta RD

ANNO	1999	2000	2001	2002	2003	2004
FRAZIONE RD	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A
CARTA	1828	2829	3700	4788	6094	7726
VETRO	3560	4257	5140	5622	6425	6907
PLASTICA	485	697	929	1336	1743	2440
ORGANICO	0	4641	6962	6962	6962	7736
RDR	5873	12424	16731	18708	21224	24809
RSU	39467	32916	28609	26632	24116	20531
RUR	45340	45340	45340	45340	45340	45340
RUP	19	19	19	19	19	19
INGOMBRANTI	3805	3805	3805	3805	3805	3805
VERDE	860	860	860	860	860	860
VARIE	2665	2665	2665	2665	2665	2665
ALTRA RD (RDD)	7349	7349	7349	7349	7349	7349
RD%	25,09%	37,53%	45,70%	49,45%	54,23%	61,03%
COMPOSIZIONE RSU	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A
TESSILI	3311	3311	3311	3311	3311	3311
CARTA	9054	8052	7182	6094	4788	3156
PLASTICA	5324	5112	4880	4473	4066	3369
METALLI	1835	1835	1835	1835	1835	1835
ORGANICO	15471	10830	8509	8509	8509	7736
INERTI	4472	3775	2891	2409	1606	1124
COMP. MERCEOLOGICA	%	%	%	%	%	%
TESSILI	8%	10%	12%	12%	14%	16%
CARTA	23%	24%	25%	23%	20%	15%
PLASTICA	13%	16%	17%	17%	17%	16%
METALLI	5%	6%	6%	7%	8%	9%
ORGANICO	39%	33%	30%	32%	35%	38%
INERTI	11%	11%	10%	9%	7%	5%
PCI (KCAL/KG)	2139	2336	2489	2449	2433	2360

TABELLA 3.4. Previsioni flussi di rifiuti per il Bacino Sud del VCO con bassa RD

ANNO	1999	2000	2001	2002	2003	2004
FRAZIONE RD	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A
CARTA	1828	2829	3047	3591	4135	4462
VETRO	3560	4257	4658	4980	5461	5622
PLASTICA	485	697	813	1162	1336	1627
ORGANICO	0	1238	6266	6266	6266	6962
RDR	5873	9021	14784	15998	17198	18672
RSU	39467	36319	30556	29342	28142	26668
RUR	45340	45340	45340	45340	45340	45340
RUP	19	19	19	19	19	19
INGOMBRANTI	3805	3805	3805	3805	3805	3805
VERDE	860	860	860	860	860	860
VARIE	2665	2665	2665	2665	2665	2665
ALTRA RD (RDD)	7349	7349	7349	7349	7349	7349
RD%	25,09%	31,07%	42,01%	44,31%	46,59%	49,39%
COMPOSIZIONE RSU	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A	T/A
TESSILI	3311	3311	3311	3311	3311	3311
CARTA	9054	8052	7835	7291	6747	6420
PLASTICA	5324	5112	4996	4647	4473	4183
METALLI	1835	1835	1835	1835	1835	1835
ORGANICO	15471	14233	9205	9205	9205	8509
INERTI	4472	3775	3373	3052	2570	2409
COMP. MERCEOLOGICA	%	%	%	%	%	%
TESSILI	8%	9%	11%	11%	12%	12%
CARTA	23%	22%	26%	25%	24%	24%
PLASTICA	13%	14%	16%	16%	16%	16%
METALLI	5%	5%	6%	6%	7%	7%
ORGANICO	39%	39%	30%	31%	33%	32%
INERTI	11%	10%	11%	10%	9%	9%
PCI (KCAL/KG)	2139	2183	2432	2392	2395	2393

Fig. 3.1. Evoluzione del RSU nel Bacino Sud del VCO

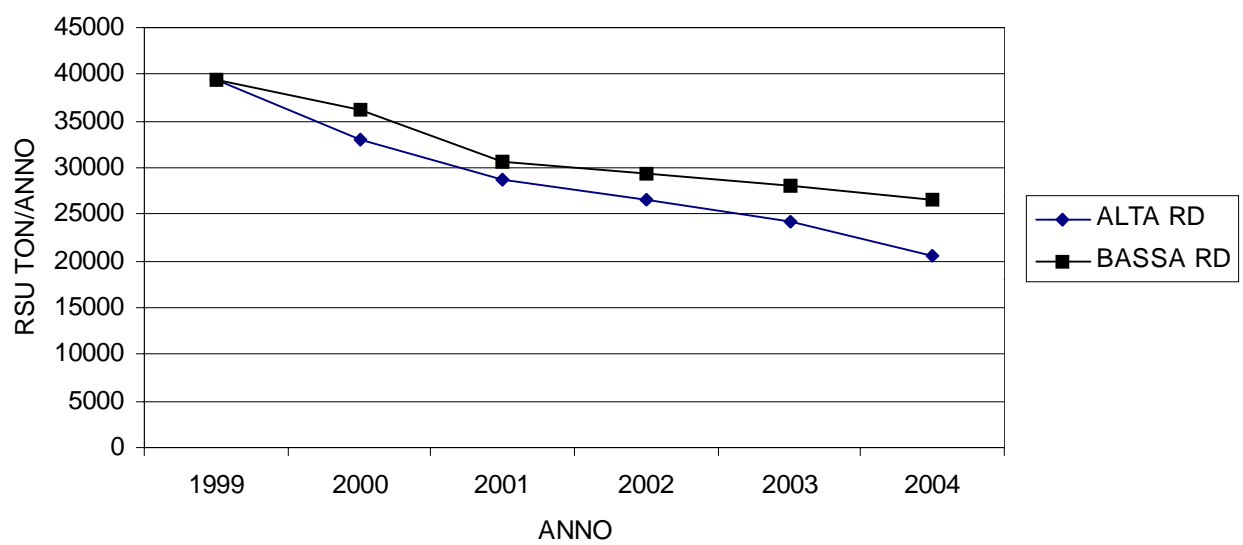


Fig. 3.2. Evoluzione della RD% nel Bacino Sud del VCO

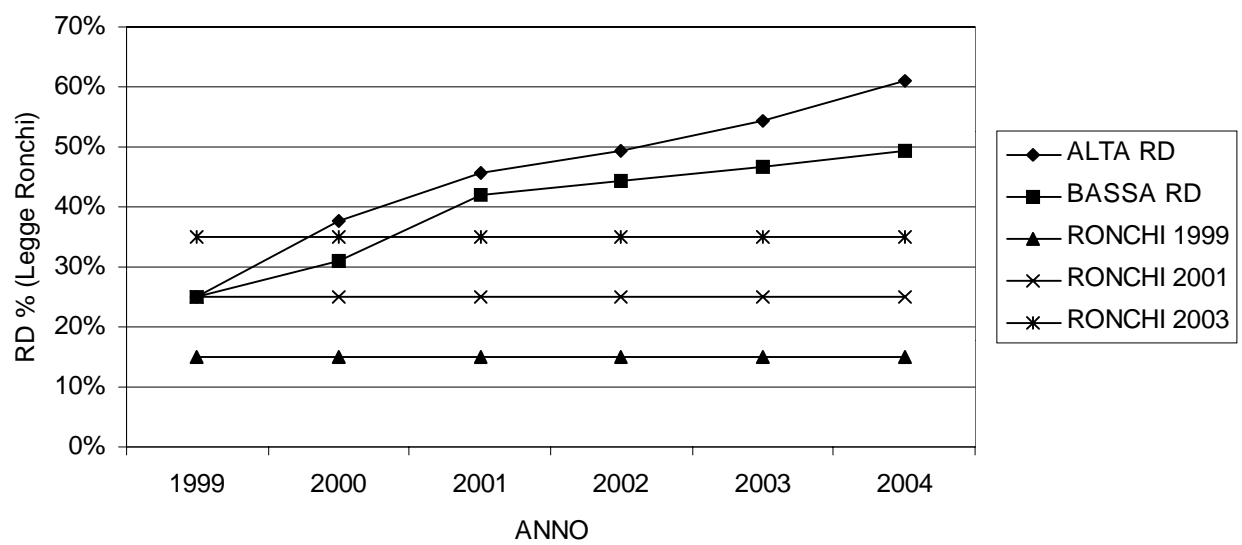
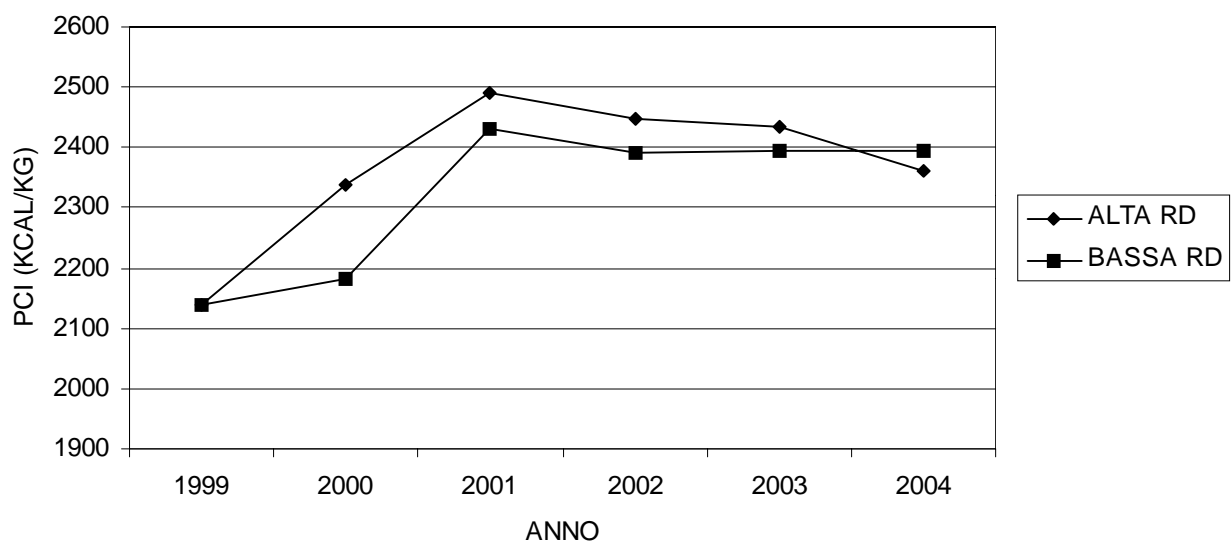


Fig. 3.3. Evoluzione del PCI del RSU nel Bacino Sud del VCO



La Figura 3.3. presenta infine l'evoluzione del PCI per il RSU previsto nei vari anni considerati per il calcolo. Si può notare come il PCI aumenti con il livello della RD, in particolare con l'introduzione della raccolta della frazione organica (Vedi tabelle 3.3. e 3.4.) per poi ridursi leggermente e situarsi un po' al di sotto le 2400 kcal/kg. Questa riduzione può essere spiegata dal continuo aumento della raccolta differenziata della plastica, che è la frazione di maggior apporto per il PCI del RSU, e che si riduce in percentuale nel RSU a partire dal 2001 fino al 2004 secondo le simulazioni effettuate con il modello.

L'interesse dell'uso di un modello previsionale dei flussi di rifiuti nel quadro di uno studio delle tecnologie di smaltimento del RSU risiede nelle sue previsioni sulla quantità di RSU generata che permette un corretto dimensionamento degli impianti. In effetti quando si interviene su un particolare territorio per aumentare il livello di raccolta differenziata e decidere di investimenti per lo smaltimento del RSU residuo, bisogna considerare che la quantità di RSU attuale da smaltire può essere nettamente superiore a quella che esisterà dopo alcuni anni durante i quali la raccolta differenziata subisce un netto aumento, soprattutto nel caso in cui si introduca la raccolta differenziata della frazione organica. Una corretta previsione della quantità di RSU da smaltire evita di ritrovarsi con impianti sovradimensionati e quindi con costi di smaltimento nettamente più elevati che nel caso di una previsione e dimensionamento corretto degli impianti.

Un altro aspetto utile dei risultati del modello previsionale risiede nella possibilità di avere dati sulla composizione merceologica del RSU previsionali e quindi di poter prevedere il PCI non solo dello stesso RSU, utile per il dimensionamento del forno inceneritore o di pirolisi, ma anche del possibile PCI del combustibile da rifiuti (CDR) che si può ottenere attraverso nuove tecnologie alternative all'incenerimento o alla pirolisi.

Per la previsione del PCI di un CDR a partire dalla composizione merceologica del RSU occorre fare alcune considerazioni preliminari. Prima di tutto occorre notare che esistono due vie di produzione del CDR da RSU: la prima effettua una separazione preliminare della frazione "secca" da quella umida (organico) e poi procede a eliminare il più possibile gli inerti incombustibili dalla frazione "secca" ed a una disidratazione per la sua trasformazione in CDR, la seconda effettua direttamente la disidratazione (per via biologica) del RSU e quindi una separazione la più spinta possibile della parte inerte incombustibile. Nel primo caso abbiamo quindi un CDR ricavato dalla carta, plastica e tessile esistente nel RSU mentre nel secondo caso è presente anche la frazione organica secca. La quantità di CDR ottenibile in quest'ultimo caso è superiore ma il PCI è leggermente inferiore che nel primo caso. Nell'Allegato N°2 Parte 5 è riportato il sistema di calcolo su tabella utilizzato per il calcolo del PCI di un CDR a partire dalla composizione merceologica di un RSU considerando le due vie possibili di produzione descritte sopra. In un primo caso abbiamo quindi un CDR costituito semplicemente dalla frazione "secca" separata

dall'organico, quindi quello costituito dalla frazione "secca" disidratata e infine quello ottenibile eliminando anche gli inerti dalla frazione "secca" disidratata; nell'altro caso si ha un CDR costituito da RSU semplicemente disidratato e infine si può ottenere un CDR da RSU disidratato e separato dagli inerti.

Nella Tabella 3.5 si sono riportati i risultati di questo calcolo utilizzando la composizione merceologica del RSU del Bacino Sud del VCO stimata per il 1999 e quella prevista per il 2004 in caso di alta raccolta differenziata.

TABELLA 3.5. Calcolo del PCI dei CDR ottenibili da RSU del bacino Sud del VCO

PCI CDR BACINO SUD VCO ANNO 1999 (STIMA)

CONDIZIONI DI PRODUZIONE	PCI IN KCAL/KG
RIFIUTO URBANO TALE QUALE	2142
FRAZIONE "SECCA"	3068
FRAZIONE "SECCA" DISIDRATATA	3355
FRAZIONE "SECCA" DISIDRATATA SENZA INERTI	4597
RSU DISIDRATATO	3401
RSU DISIDRATATO SENZA INERTI	4379

PCI CDR BACINO SUD VCO ANNO 2004 (PREVISIONI)

CONDIZIONI DI PRODUZIONE	PCI IN KCAL/KG
RIFIUTO URBANO TALE QUALE	2353
FRAZIONE "SECCA"	3363
FRAZIONE "SECCA" DISIDRATATA	3666
FRAZIONE "SECCA" DISIDRATATA SENZA INERTI	4764
RSU DISIDRATATO	3659
RSU DISIDRATATO SENZA INERTI	4529

Si può osservare nella Tabella 3.5. come il PCI aumenti man mano che si effettuano le operazioni di separazione e disidratazione sul RSU. Si può osservare anche che il risultato finale di PCI per il CDR è migliore partendo da un RSU con un PCI più elevato (vedi caso del RSU del 1999 confrontato con quello del 2004). Infine si può notare che il CDR ottenuto eliminando gli inerti dalla frazione "secca" disidratata è leggermente superiore a quello ottenuto eliminando gli inerti da RSU disidratato.

Occorre infine notare che i processi industriali di produzione di CDR non sono in grado di eliminare completamente l'umidità e separare completamente gli inerti dal prodotto. I valori di PCI riportati nella Tabella 3.5. costituiscono quindi dei valori massimi teorici di PCI ottenibili dai vari processi.

CAPITOLO 4

LE TECNOLOGIE DI SMALTIMENTO

Le tecnologie di smaltimento del RSU considerate e identificate attraverso ricerche su Internet, visita a fiere specializzate (16) ed altre informazioni e contatti (15) sono le seguenti:

- INCENERIMENTO
- PIROLISI/GASIFICAZIONE
- PRESELEZIONE/STABILIZZAZIONE
- COMPOSTAGGIO/PRODUZIONE DI CDR
- PRODUZIONE DI CDR/TERMOVALORIZZAZIONE.

Le tecnologie di incenerimento e pirolisi/gasificazione sono conosciute da anni e così la tecnica di preselezione per triturazione/vagliatura con separazione di una parte umida che può essere biostabilizzata. Le tecniche di produzione di compost e combustibile da rifiuti (CDR) sono invece più recenti anche se possono vantare già alcuni anni di funzionamento in paesi come la Germania. Le Fig. da 4.1 a 4.5 riportano schematicamente il funzionamento di queste tecnologie che saranno descritte più avanti.

4.1. Inceneritore

La tecnologia di incenerimento del RSU è conosciuta da molto tempo e largamente diffusa. Come si può vedere dalla Fig. 4.1, il RSU, unitamente ad additivi e acqua necessari per il lavaggio dei fumi, alimenta l'impianto che scarica poi scorie, ceneri o polveri e la parte di acque reflue inquinate che non possono più essere riciclate ma devono essere depurate. Il gasolio è utilizzato nelle fasi di avviamento dell'impianto e in casi particolari di alimentazione di RSU molto umido con basso potere calorifico per mantenere sufficientemente elevata la temperatura del forno. Il calore dei fumi può essere recuperato producendo vapore che a sua volta può alimentare una turbina per la produzione di energia elettrica. In certi casi il vapore può essere usato vantaggiosamente per fare del teleriscaldamento.

Le quantità di scorie e ceneri da smaltire ulteriormente rispetto alla quantità iniziale di RSU sono importanti e dell'ordine del 25%-30% del RSU per le scorie e 3-4% per le ceneri o polveri. Queste ultime in particolare sono molto costose da smaltire perché molto inquinate.

La resa energetica per la produzione di elettricità calcolata a partire dal potere calorifico del RSU è piuttosto bassa e non raggiunge il 10%. Nel caso di utilizzazione

anche termica del vapore (teleriscaldamento) la resa energetica migliora e può avvicinarsi per i grandi impianti al 20%.

FIG. 4.1. INCENERITORE

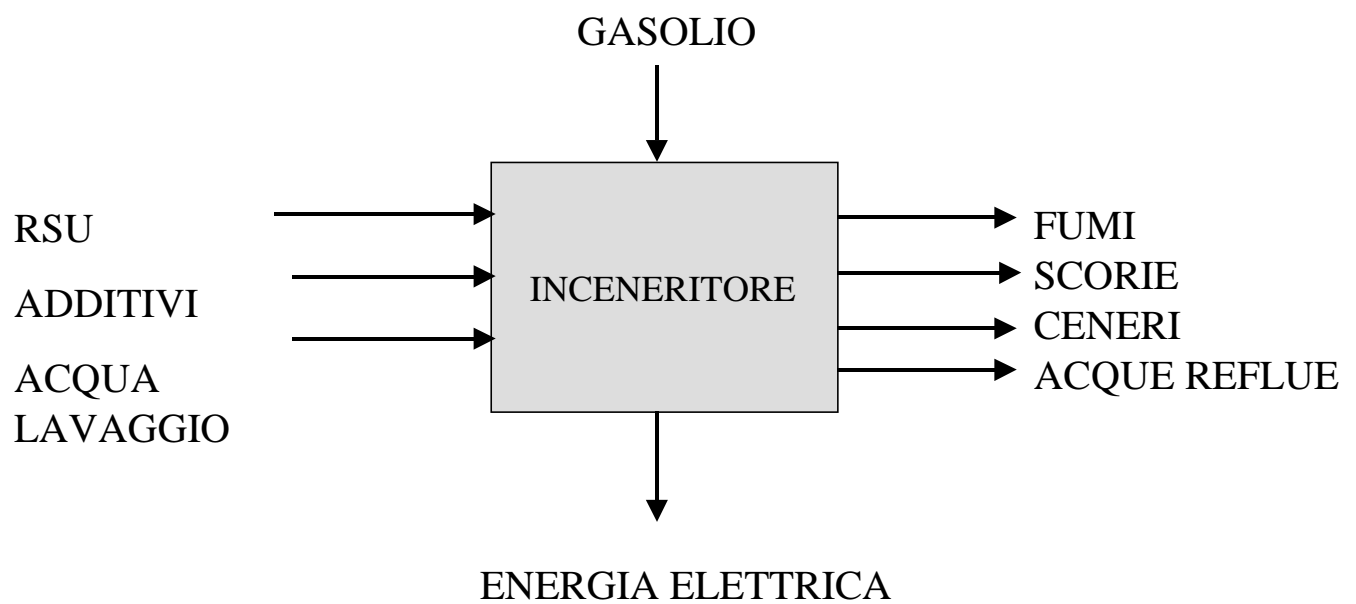


FIG. 4.2. PIROLISI/GASIFICAZIONE

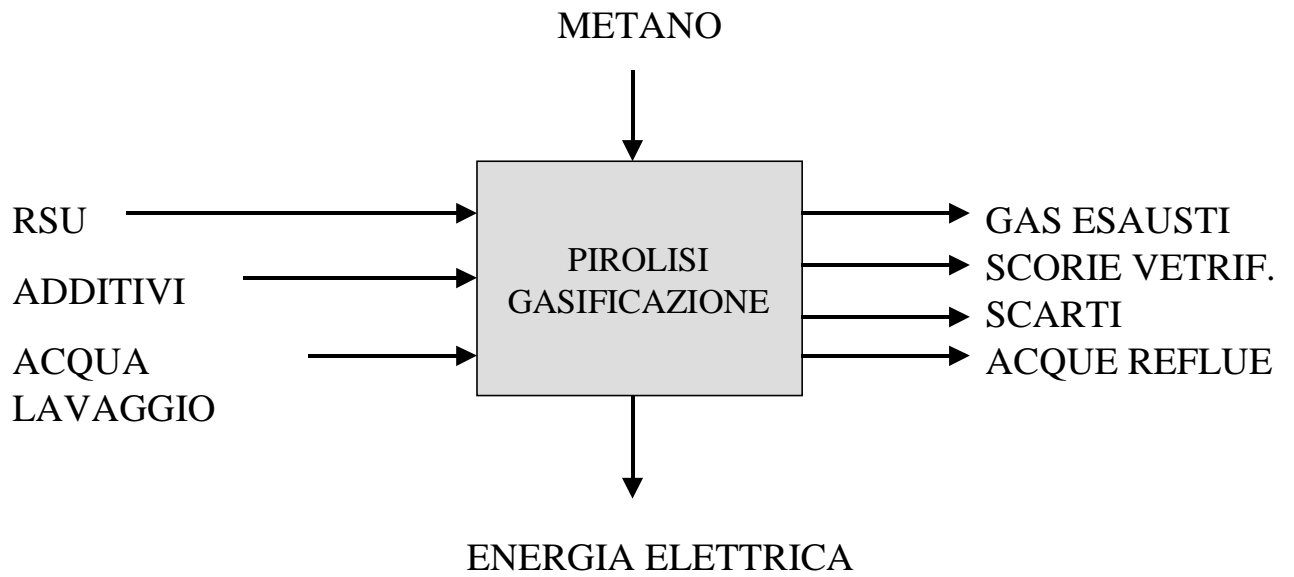


FIG. 4.3. PRESELEZIONE/STABILIZZAZIONE

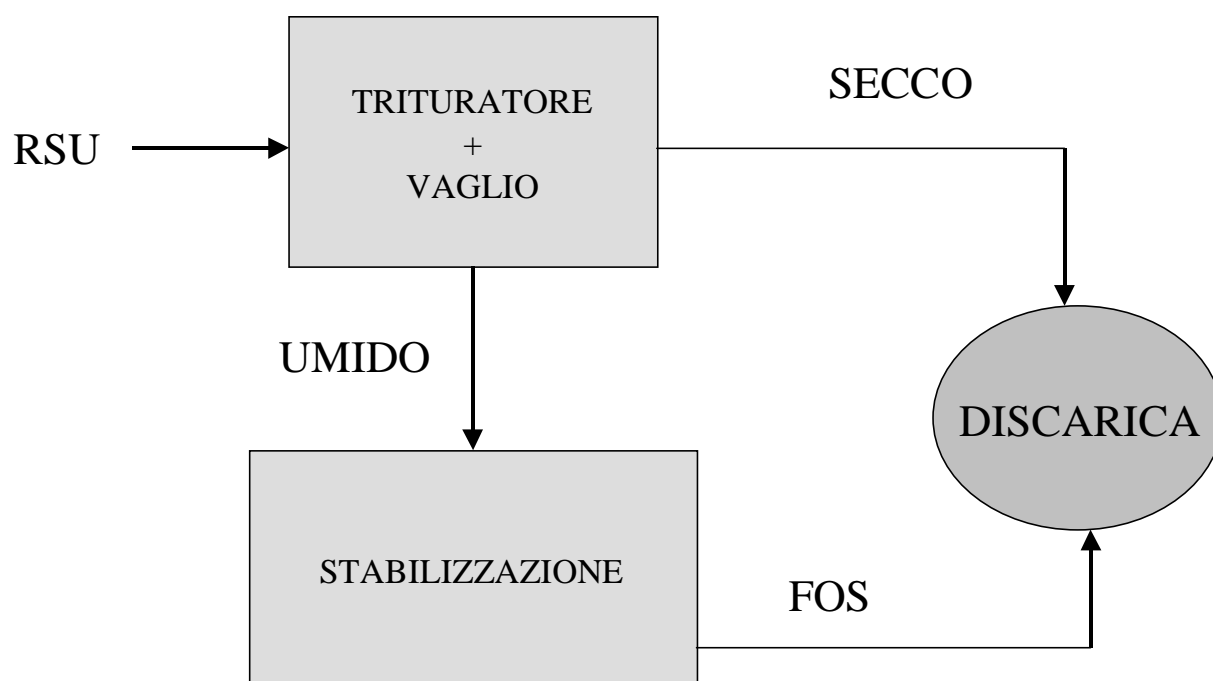


FIG. 4.4. COMPOSTAGGIO + PRODUZIONE CDR

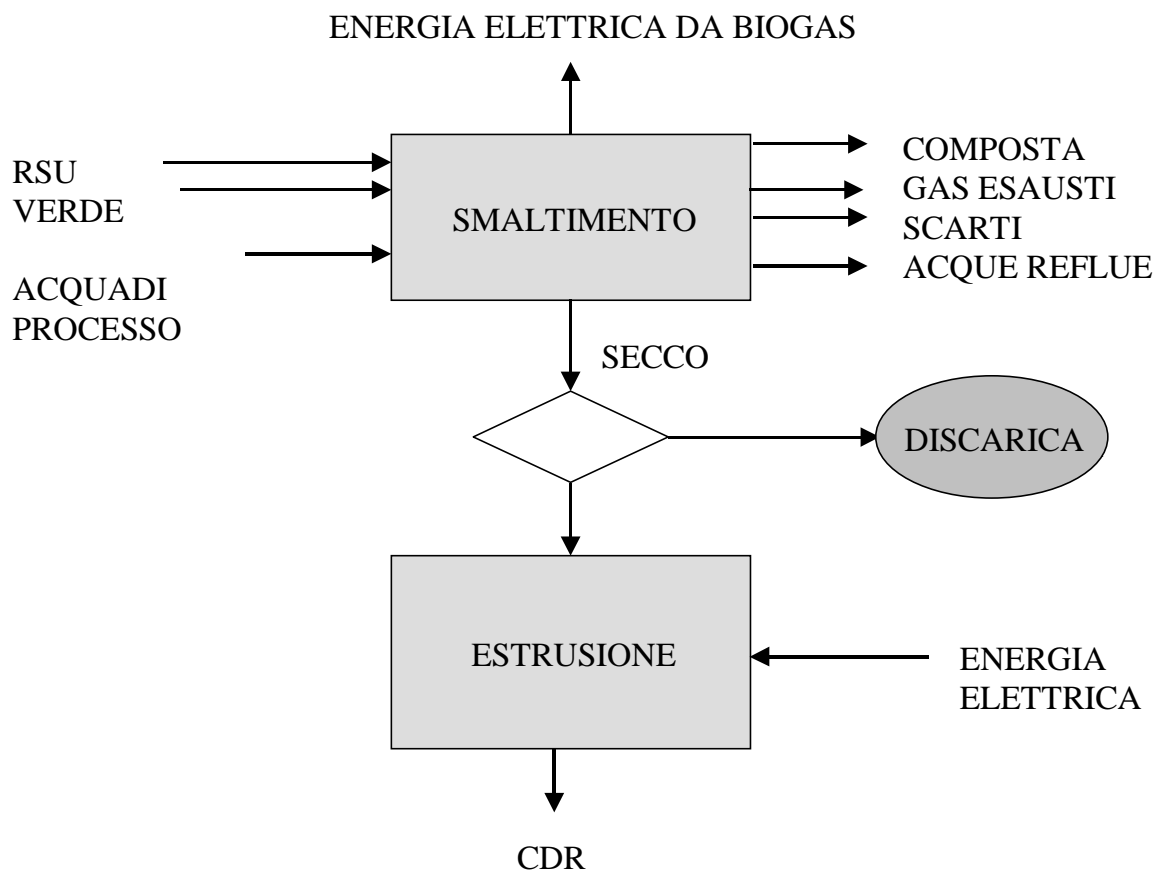
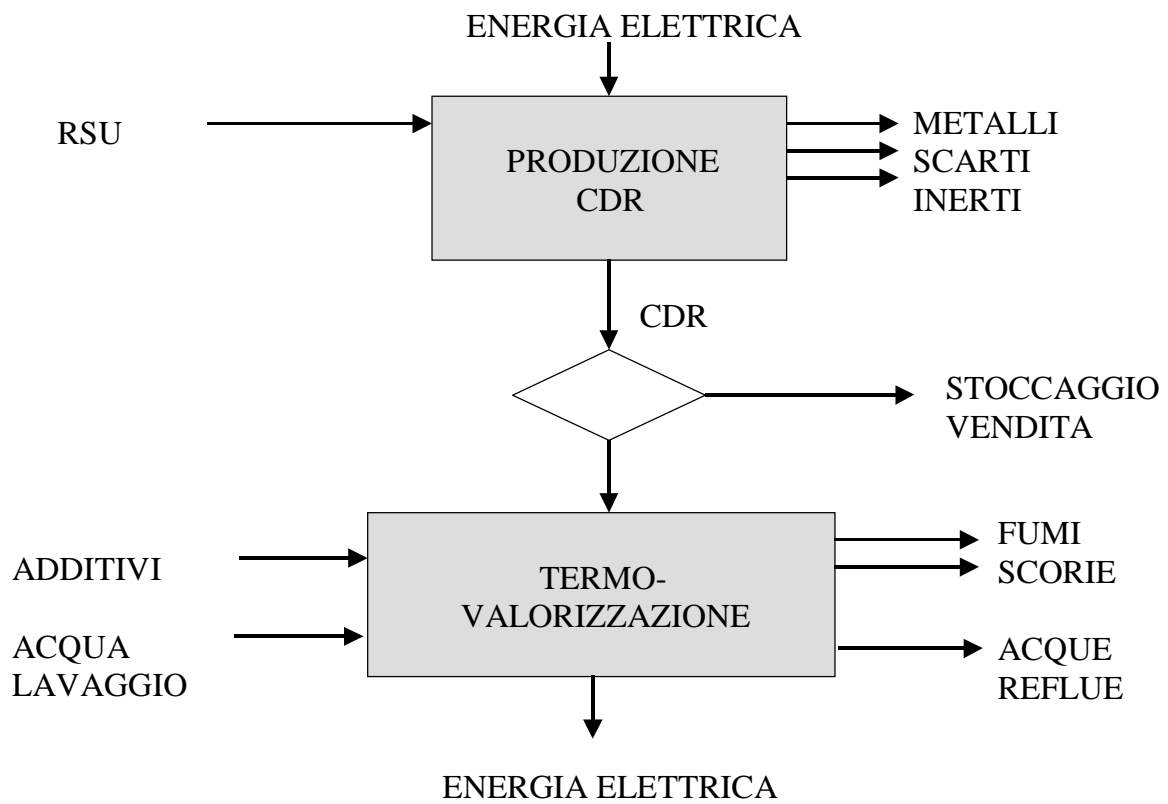


FIG. 4.5. PRODUZIONE CDR + TERMOVALORIZZAZIONE



La combustione del RSU necessita grandi volumi d'aria che si traducono in grandi quantità di fumi inquinanti che devono essere trattati. Nonostante il trattamento, e pur nel pieno rispetto dei limiti di legge sull'emissione di inquinanti, la quantità di acidi e polveri che un inceneritore emette ogni anno è considerevole. Si può calcolare che la combustione di 10'000 t di RSU emette nell'atmosfera qualcosa come circa 14 t di acidi e circa 1,2 t di polveri e composti carboniosi.

4.2. Pirolisi/gasificazione

La pirolisi del RSU seguita in genere dalla gasificazione dei residui carboniosi che si formano è stata studiata da molti anni e si conoscono almeno una decina di processi differenti sviluppati allo stadio laboratorio o pilota e poi abbandonati. Solo recentemente è stato realizzato un primo impianto industriale di questo tipo in Germania a Karlsruhe che utilizza la tecnologia Thermoselect.

Attualmente questo impianto è in fase di dimostrazione e per il momento non si conoscono i risultati industriali reali ottenuti mentre sono disponibili condizioni di funzionamento e valori di emissione d'inquinanti dichiarati dal costruttore e utilizzati per descrivere questa tecnologia.

Come si può vedere dalla Fig. 4.2 l'impianto è alimentato con RSU, additivi per il trattamento dei gas e acque di lavaggio. I rifiuti sono pirolizzati direttamente nel canale di alimentazione del reattore di gasificazione in cui è insufflato ossigeno. I gas ottenuti alimentano dei motori per la produzione di elettricità dopo opportuna depurazione. La temperatura elevata che bisogna avere nel reattore di gasificazione è mantenuta con una lancia che brucia metano con ossigeno puro. L'ossigeno utilizzato è prodotto direttamente nell'impianto utilizzando parte dell'energia elettrica prodotta con i motori.

Le scorie, in quantità simile a quella ottenuta negli inceneritori, vengono estratte dal fondo del reattore allo stato vetrificato e, per queste ragioni, potrebbero avere condizioni di smaltimento più favorevoli che quelle dell'inceneritore. Vi sono poi anche piccole quantità di residui inquinati e acque reflue da trattare.

Dal punto di vista energetico questo processo produce più energia elettrica per tonnellata di RSU trattato che l'inceneritore, tuttavia, la resa energetica è molto più bassa per l'uso di quantità importanti di metano e non raggiunge l'1%.

L'uso di ossigeno invece di aria nella fase di gasificazione riduce la quantità di fumi emessa da questo processo rispetto a quella emessa dall'inceneritore. Sul piano delle concentrazioni di inquinanti si hanno meno acidi, in particolare meno ossidi d'azoto, sempre per l'uso di quantità minori di aria per la combustione. L'impatto ambientale di questo processo è, sulla base di quanto dichiara il costruttore, molto meno importante che quello dell'inceneritore.

4.3. Preselezione/stabilizzazione

Questa tecnologia si sta diffondendo soprattutto in vista della proibizione prevista per il 2000 dalla Legge Ronchi di scaricare RSU tal quale nelle discariche. Lo schema del processo, riportato nella Fig. 4.3, è semplice: il RSU è triturato e poi immesso in un vaglio per separare la parte umida (organico) da quella secca. La parte umida viene sottoposta a un compostaggio parziale, detto stabilizzazione, per interrompere tutti i processi fermentativi. Ambedue le frazioni sono poi messe in discarica come inerti.

Le apparecchiature usate sono semplici e possono essere anche trasportabili, le frazioni ottenute tuttavia non fanno guadagnare praticamente nulla sul piano dei volumi per la discarica. Se la stabilizzazione dell'umido comporta una riduzione del 30% in peso, il secco ottenuto è piuttosto voluminoso e alla fine i volumi in discarica sono simili a quelli del RSU. L'uso di questa tecnologia permette quindi di inertizzare il RSU ma non fa diminuire il bisogno in volume della discarica rispetto a quello necessario per lo smaltimento diretto del RSU.

Dal punto di vista ambientale questa tecnologia è delicata soprattutto nella fase di stabilizzazione che si tende a fare nelle condizioni più economiche possibili e può dar luogo a emissioni di odori fastidiosi.

4.4. Compostaggio e produzione di CDR

Le tecnologie di compostaggio e produzione di CDR sono una diretta evoluzione di quelle precedenti. Si parte sempre da una triturazione e vaglio del RSU per separare l'umido organico dal secco. La frazione umida è però ulteriormente trattata con acqua in un idropolpatore che separa per densità la parte leggera (plastica, legno, ecc.) dalla parte pesante (metalli, inerti), ancora presenti nella fase umida, mentre la parte organica resta in sospensione nell'acqua e viene inviata in un digestore anaerobico dove produce biogas. All'uscita del digestore si separano i fanghi dall'acqua che viene riciclata. L'eccesso d'acqua che si ottiene viene invece mandato alla depurazione. I fanghi sono miscelati per estrusione con materiali strutturanti (verde, legno) e compostati in cumuli all'aria. Lo schema del processo è riportato nella Fig. 4.4.

Il biogas ottenuto alimenta dei motori per la produzione di elettricità. La parte secca può essere inviata in discarica oppure trasformata attraverso un'estrusione in CDR in forma di bricchetti con un tenore residuo di inerti del 10-15% e un potere calorifico dell'ordine di 4500 kcal/kg.

Dal punto di vista energetico si possono ottenere attraverso il biogas 90-100 kWh per tonnellata di RSU trattata.

Dal punto di vista ambientale le emissioni di odori è minima considerando che le prime fasi di trattamento sono effettuate al chiuso. Resta il problema del secco che costituisce circa la metà del RSU trattato che deve andare in discarica se non può essere trasformato e utilizzato come CDR. Lo stesso vale per la composta prodotta,

pari a circa il 15% del RSU trattato, che potrebbe avere problemi di qualità, vista la sua origine da RSU, e che se non può essere ceduta deve anch'essa finire in discarica.

4.5. Produzione di CDR e sua termovalorizzazione

Questa tecnologia è alternativa alla precedente e si basa su principi di trattamento diversi. In questo caso il RSU è stabilizzato per biodisidratazione in opportune celle di compostaggio e la separazione delle varie frazioni avviene sul materiale secco in maniera, a detta del costruttore, molto più efficace. Vengono così separati ferro, metalli non ferrosi ed inerti dalla parte combustibile che, a differenza del CDR del processo precedente, contiene anche la parte organica. La parte inerte può essere ulteriormente trattata per separare la parte in vetro più grossolana. Lo schema del processo è riportato nella Fig. 4.5.

Il CDR ottenuto ha un potere calorifico di circa 4300 kcal/kg ed ha un bassissimo contenuto in inerti (meno dell'1%) e le scorie di combustione sono dell'ordine solo del 5%.

Il CDR prodotto può essere direttamente venduto tal quale o imballato e immagazzinato. Può essere anche bruciato tal quale in un forno a griglie raffreddate e i fumi utilizzati per produrre vapore e quindi energia elettrica. Il forno è nettamente più compatto di quello di un inceneritore della stessa capacità di smaltimento e la resa elettrica può raggiungere il 20%-23% a seconda delle dimensioni del forno, valore più del doppio di quello degli inceneritori.

Dal punto di vista ambientale le emissioni di odori, come per il precedente processo, sono minime. Nel caso della termovalorizzazione esiste l'impatto ambientale caratteristico delle centrali termiche, l'emissione di metalli pesanti è tuttavia nettamente inferiore a quella di un inceneritore per l'elevato grado di separazione dei metalli realizzato in questo processo.

Nel caso in cui il CDR non sia termovalorizzato direttamente esiste il problema di cederlo o smaltirlo come nel processo precedente.

CAPITOLO 5

COMPARAZIONE ECONOMICO-AMBIENTALE TRA LE VARIE TECNOLOGIE

La comparazione economico–ambientale tra le varie tecnologie rappresenta un aspetto importante per la scelta delle tecnologie di smaltimento del RSU più appropriate. Questa comparazione è stata fatta considerando per l’aspetto economico i costi di smaltimento e, per l’aspetto ambientale, l’impatto degli inquinanti generati dalle tecnologie di smaltimento. Un altro aspetto importante da considerare è rappresentato dall’affidabilità della tecnologia di smaltimento. Essa è tanto più elevata quanto più elevato è il suo sviluppo come tecnologia e tanto più lungo il suo tempo di utilizzazione con successo a livello industriale.

Da un punto di vista economico si sono considerati gli investimenti, con i relativi costi di ammortamento, e i vari costi operativi di smaltimento, di manodopera e di manutenzione che concorrono alla determinazione del costo totale. Si è cercato nella migliore misura possibile di rendere comparabili i vari tipi di costo delle differenti tecnologie tenendo presente che i dati di base (costi e investimenti) utilizzabili per le valutazioni economiche provengono da origini molto diverse e cioè da varie società impiantistiche fornitrici delle tecnologie e da operatori degli impianti. Nella Bibliografia sono riportate le varie sorgenti di dati per le tecnologie considerate in questo studio e descritte nel Capitolo 4 e precisamente quelle di incenerimento (14), pirolisi/gasificazione (17), preselezione/stabilizzazione (18), compostaggio/produzione di CDR (19) e produzione di CDR/termovalorizzazione (20).

Sul piano delle capacità di smaltimento si deve considerare che le quantità di RSU da smaltire previste per il Bacino Sud del VCO si situano per il 2004, anno per una possibile entrata in funzione degli impianti, tra le 20'000 e le 27'000 t/anno. Queste quantità sono troppo basse per essere trattate economicamente in un loro impianto di smaltimento. In effetti il Piano provinciale per la gestione dei rifiuti urbani nel V.C.O. (1) prevede di accorparle con il RSU proveniente dal Bacino Nord e con quello di altre Province del Quadrante Nord Orientale del Piemonte (oltre al V.C.O. Biella, Novara e Vercelli). Il RSU così riunito dovrà essere smaltito in un futuro impianto interprovinciale di adeguate dimensioni e con costi di smaltimento contenuti da una buona situazione di economia di scala come riportato nel capitolo 6 del Piano provinciale per la gestione dei rifiuti (1). Le capacità considerate attualmente per questo impianto interprovinciale, secondo quanto dichiarato da Angelo Bonomi, consulente per l’ambiente della Provincia del VCO (15), sono tra le 100'000 e le 200'000 t/anno RSU. Per lo studio comparativo si sono quindi scelte queste due capacità di smaltimento di 100'000 e 200'000 t/anno di RSU. Per le varie tecnologie

considerate si sono stimati i corrispondenti valori di investimento, mentre i costi di ammortamento sono stati calcolati su un periodo di 15 anni. Per semplicità non è stato considerato nessun onere finanziario proveniente dagli investimenti o dal capitale circolante.

Riguardo ai costi operativi si è considerato per la manodopera un costo medio per persona di 50 milioni/anno mentre i costi di manutenzione annui sono stati stimati, a seconda delle tecnologie, dal 2% al 4% del valore dell'investimento. Infine, sono state considerate delle spese generali pari al 20% della somma dei costi operativi, del personale e della manutenzione. Nel caso della tecnologia di compostaggio/produzione di CDR esiste una produzione di compost da RSU e di CDR che deve essere ceduta. La composta ottenuta, pur essendo più pura del prodotto ottenuto da semplice stabilizzazione della frazione umida separata, è difficilmente commercializzabile ma piuttosto utilizzabile come terreno di riempimento o messa in discarica come inerte in ambedue i casi con un costo di smaltimento. Lo stesso discorso vale per il CDR prodotto che teoricamente potrebbe essere venduto a un certo prezzo come combustibile ma in pratica, sulla base dell'esperienza esistente in paesi come la Germania dove esiste un mercato per questo prodotto, ha invece un suo costo di smaltimento. Sulla base di queste considerazioni e informazioni avute su questo argomento (15) si è fissato a 62 L/kg il costo di smaltimento della composta prodotta e a 50 L/kg il costo di smaltimento del CDR prodotto. La maggior parte dei processi di smaltimento considerati produce un surplus di energia elettrica che può essere venduta. Il prezzo di vendita dell'energia elettrica può essere molto variabile a seconda del tipo di contratto che si può concludere con le società erogatrici (ENEL o altre società produttrici) e in molti casi influenza il costo totale di smaltimento del RSU in maniera significativa. Per queste ragioni si è deciso di fare per questo prezzo uno studio parametrico sui costi di smaltimento delle varie tecnologie considerando un campo di variabilità per il prezzo del kWh da 150 a 300 lire.

Un discorso a parte merita infine la tecnologia di smaltimento basata sulla preselezione/stabilizzazione del RSU. Essa è caratterizzata da un basso costo di investimento, da due a quattro miliardi circa per capacità di trattamento da 100'000 a 200'000 t/anno RSU, è basata su un impianto che è trasportabile per la parte preselezione (tritratore e vaglio) e che può essere anche ottenuto in leasing. Questo tipo di smaltimento è spesso condotto all'interno della gestione di una discarica ed è difficile avere disponibili dati specifici per i costi di smaltimento come nel caso delle altre tecnologie. Informazioni ottenute (18) indicano costi dell'ordine di 7 L/kg RSU per la triturazione, 35 L/kg RSU per la separazione con il vaglio e 34 L/kg RSU per la stabilizzazione dell'umido separato per un totale di 76 L/kg RSU. I costi della messa in discarica della frazione secca e dell'umido stabilizzato sono molto variabili da discarica a discarica. Nel caso della discarica di Ghemme (NO) (18), essi sono attualmente di 72 L/kg RSU che aggiunti ai costi di preselezione e stabilizzazione danno un costo globale di 148 L/kg RSU. Questi costi, come avviene spesso, non tengono conto dei costi di chiusura della discarica. Infatti durante questo periodo si

può avere per un certo tempo liberazione di biogas, utilizzabile per produrre elettricità, ma anche percolati che devono essere trattati e questo per un certo numero di anni non ancora ben definiti dall'esperienza in questo campo. Per queste ragioni, aldilà del problema di difficile soluzione di dover sempre disporre con questa tecnologia di nuove discariche di grande capacità per smaltire il RSU trattato, esiste una grande incertezza sui costi reali di questo tipo di smaltimento e quindi questa tecnologia non è stata considerata nello studio comparativo dei vari processi di smaltimento considerati.

Per quanto riguarda l'aspetto ambientale bisogna qui distinguere tra le tecnologie termiche (incenerimento, pirolisi/gasificazione e termovalorizzazione del CDR) che presentano problemi di emissione di fumi inquinanti, acque reflue e scorie dalle tecnologie basate sul compostaggio (stabilizzazione o compostaggio dell'umido o compostaggio diretto del RSU) che hanno produzione di percolati da trattare e possono avere emissione di odori molesti. Nel primo caso è possibile fare una comparazione ambientale basata sulla quantità di inquinanti emessi annualmente nei fumi considerando che scorie e acque reflue sono rispettivamente messe in discarica speciale e trattate praticamente senza impatto ambientale. Nel secondo caso il problema è più complesso e l'emissione di odori, di cui si conoscono male gli effetti ambientali, può però costituire un grave ostacolo a seguito di possibili proteste della popolazione coinvolta che hanno in certi casi impedito la realizzazione o addirittura fatto chiudere impianti di questo tipo.

5.1. Risultati dello studio economico

Le Tabelle da 5.1 a 5.8 riportano i calcoli dei costi di smaltimento delle tecnologie considerate: incenerimento, pirolisi/gasificazione, compostaggio/produzione di CDR e produzione di CDR/termovalorizzazione e questo per le due dimensioni di impianto considerate e cioè di 100'000 e 200'000 ton/anno di RSU. I costi di smaltimento riportati nelle tabelle sono stati calcolati considerando un prezzo di vendita del surplus di energia elettrica prodotta di 150 L/kWh e cioè considerando il prezzo di vendita più basso possibile per l'energia elettrica. Nella Tabella 5.9. sono stati riassunto i costi di smaltimento per le quattro tecnologie ottenuti considerando i due prezzi limite dell'energia elettrica venduta rispettivamente di 150 e 300 L/kWh e per le due capacità di smaltimento rispettivamente di 100'000 e 200'000 t/a RSU. Si può osservare che la tecnologia di incenerimento e di pirolisi/gasificazione hanno costi di smaltimento più elevati delle altre due tecnologie e che la tecnologia di compostaggio/produzione di CDR sia meno costosa di quella di produzione di CDR/termovalorizzazione solo quando il prezzo di vendita dell'energia elettrica è basso mentre la situazione si inverte quando il prezzo di vendita dell'energia elettrica è alto.

TABELLA 5.1. Costo di smaltimento per incenerimento (100'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 100.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 127 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			1.503.694.200
SCORIE	183 L/KG	26.430 T/A	4.836.690.000
CENERI	540 L/KG	2.450 T/A	1.323.000.000
ACQUE REFLUE	147.000 L/M3	10.000 M3/A	1.470.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	7.700 MWH/A	-1.155.000.000
GASOLIO	1.000 L/KG	48 T/A	48.000.000
PERSONALE	22	50 ML/A	1.100.000.000
MANUTENZIONE: 3% INVESTIMENTO			3.810.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			1.062.738.840
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			8.466.666.667
TOTALE COSTO ANNUALE :			22.465.789.707
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			224.658

TABELLA 5.2. Costo di smaltimento per incenerimento (200'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 200.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 182 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			3.007.388.400
SCORIE	183 L/KG	52.860 T/A	9.673.380.000
CENERI	540 L/KG	4.900 T/A	2.646.000.000
ACQUE REFLUE	147.000 L/M3	20.000 M3/A	2.940.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	15.400 MWH/A	-2.310.000.000
GASOLIO	1.000 L/KG	96 T/A	96.000.000
PERSONALE	22	50 ML/A	1.100.000.000
MANUTENZIONE: 3% INVESTIMENTO			5.460.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			1.693.477.680
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			12.133.333.333
TOTALE COSTO ANNUALE :			36.439.579.413
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			182.198

TABELLA 5.3. Costo di smaltimento per pirolisi/gasificazione (100'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 100.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 130 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			598.400.000
SCORIE	183 L/KG	26.900 T/A	4.922.700.000
RESIDUI INQ.	540 L/KG	100 T/A	54.000.000
CONC. INQ.	1.000.000 L/M3	400 M3/A	400.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	43.500 MWH/A	-6.525.000.000
METANO	1.000 L/NM3	3.200.000 NM3	3.200.000.000
PERSONALE	22 N°	50 ML/A	1.100.000.000
MANUTENZIONE: 4% INVESTIMENTO			5.200.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			1.159.680.000
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			8.666.666.667
TOTALE COSTO ANNUALE :			18.776.446.667
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			187.764

TABELLA 5.4. Costo di smaltimento per pirolisi/gasificazione (200'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 200.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 160 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			1.196.800.000
SCORIE	183 L/KG	53.800 T/A	9.845.400.000
RESIDUI INQ.	540 L/KG	200 T/A	108.000.000
CONC. INQ.	1.000.000 L/M3	800 M3/A	800.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	87.000 MWH/A	-13.050.000.000
METANO	1.000 L/KG	6.400.000 T/A	6.400.000.000
PERSONALE	22	50 ML/A	1.100.000.000
MANUTENZIONE: 4% INVESTIMENTO			6.400.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			1.519.360.000
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			10.666.666.667
TOTALE COSTO ANNUALE :			24.986.226.667
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			124.931

TABELLA 5.5. Costo di smaltimento per compostaggio/CDR (100'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 100.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 32 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			1.536.088.571
SCARTI	80 L/KG	11.000 T/A	880.000.000
RESIDUI INQ.	540 L/KG	100 T/A	54.000.000
ACQUE REFLUE	47.000 L/M3	6.000 M3/A	282.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	1.398 MWH/A	-209.700.000
COMPOSTA	62 L/KG	15000 T/A	930.000.000
CDR	50 L/KG	39.500 T/A	1.975.000.000
PERSONALE	18 N°	50 ML/A	900.000.000
MANUTENZIONE: 2% INVESTIMENTO			640.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			435.217.714
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			2.133.333.333
TOTALE COSTO ANNUALE :			9.555.939.619
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			95.559

TABELLA 5.6. Costo di smaltimento per compostaggio/CDR (200'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 200.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 56 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			3.072.177.142
SCARTI	80 L/KG	22.000 T/A	1.760.000.000
RESIDUI INQ.	540 L/KG	200 T/A	108.000.000
ACQUE REFLUE	47.000 L/M3	12.000 M3/A	564.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	2.796 MWH/A	-419.400.000
COMPOSTA	62 L/KG	30.000 T/A	1.860.000
CDR	50 L/KG	79.000 T/A	3.950.000
PERSONALE	18	50 ML/A	900.000.000
MANUTENZIONE: 2% INVESTIMENTO			1.120.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			838.435.428
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			3.733.333.333
TOTALE COSTO ANNUALE :			11.682.355.904
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			58.412

TABELLA 5.7. Costo di smaltimento per CDR/termovalorizzazione (100'000 t/a RSU)

CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 100.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 91 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			3.800.000.000
SCARTI	80 L/KG	15.000 T/A	1.200.000.000
SCORIE+CENERI	540 L/KG	7.500 T/A	4.050.000.000
ACQUE REFLUE	47.000 L/M3	5.000 M3/A	235.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	52.500 MWH/A	-7.875.000.000
PERSONALE	26 N°	50 ML/A	1.300.000.000
MANUTENZIONE: 3% INVESTIMENTO			2.730.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			1.306.000.000
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			6.066.666.667
TOTALE COSTO ANNUALE :			12.812.666.667
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			128.127

TABELLA 5.8. Costo di smaltimento per CDR/termovalorizzazione 2100'000 t/a RSU)

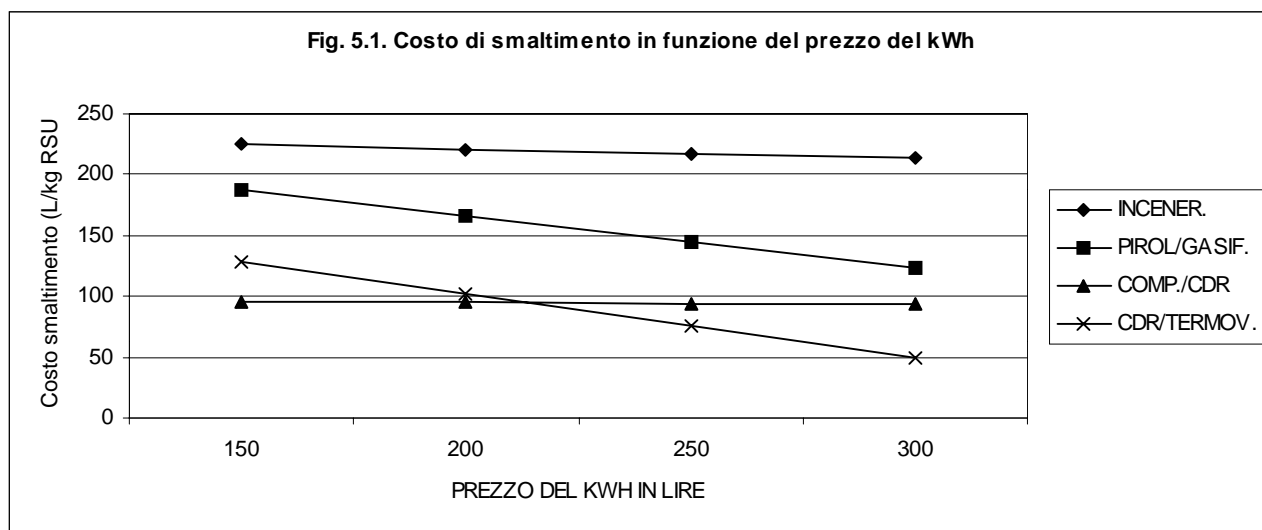
CAPACITA' DI TRATTAMENTO: 200.000 T/A RSU
 INVESTIMENTO: 160 MILIARDI

COSTI	COSTO UNITARIO	QUANTITA'	COSTO ANNUALE
CONSUMABILI			7.600.000.000
SCARTI	80 L/KG	30.000 T/A	2.400.000.000
SCORIE+CENERI	540 L/KG	15.000 T/A	8.100.000.000
ACQUE REFLUE	47.000 L/M3	10.000 M3/A	470.000.000
EN. ELETR. VEN.	-150 L/KWH	105.000 MWH/A	-15.750.000.000
PERSONALE	26	50 ML/A	1.300.000.000
MANUTENZIONE: 3% INVESTIMENTO			4.800.000.000
SPESE GENERALI: 20% COSTI			2.480.000.000
AMMORTAMENTI SU 15 ANNI			10.666.666.667
TOTALE COSTO ANNUALE :			22.066.666.667
COSTO TOTALE TONNELLATA RSU			110.333

TABELLA 5.9. Costi di smaltimento comparati in L/kg RSU

COSTO KWH IN LIRE	150		300	
	100.000	200.000	100.000	200.000
INCENERITORE	225	182	213	171
PIROLISI/GASIFICAZIONE	188	125	123	60
COMPOSTAGGIO/CDR	96	58	93	56
CDR/TERMOVALORIZZAZIONE	128	110	49	32

Infine, nella Fig. 5.1. sono stati riportati i risultati dello studio parametrico del costo di smaltimento per le quattro tecnologie considerate in funzione del prezzo di vendita del kWh prodotto nel campo tra le 150 e le 300 L/kWh che conferma i costi più elevati per l'incenerimento e la pirolisi/gasificazione e la presenza di una situazione di inversione dei costi relativi per gli altri due processi che avviene attorno a un prezzo di vendita del kWh dell'ordine di 220 lire.



5.2. Valutazione degli impatti ambientali

Come già accennato precedentemente è molto difficile valutare in maniera quantitativa gli impatti ambientali delle tecnologie di compostaggio poiché la natura e la pericolosità delle emissioni sono poco conosciute, mentre è ben conosciuto il problema delle emissioni da parte di processi termici come l'incenerimento e la pirolisi/gasificazione. Meno conosciuto esattamente è l'impatto ambientale dovuto alla combustione di CDR; molto spesso questo prodotto costituisce un'alimentazione minore di centrali a carbone termoelettriche o forni rotativi per la produzione di cemento e il suo impatto ambientale è praticamente quello di questi tipi di impianti.

Nel Piano provinciale per la gestione dei rifiuti urbani nel VCO (1) esistono dati interessanti di paragone di impatto ambientale tra l'inceneritore di Mergozzo (VB) e quelli previsti per uno smaltimento per pirolisi/gasificazione con la tecnologia Thermoselect i cui gas prodotti alimentano motori a scoppio per la produzione di energia elettrica. Questi dati sono riportati nelle Tabelle 5.10 e 5.11. La prima si riferisce alle concentrazioni di inquinanti emessi e la seconda all'emissione totale annuale di inquinanti per un impianto di trattamento di 30'000 t/a di RSU sia per incenerimento che per pirolisi/gasificazione. Occorre subito notare che i dati riferiti all'inceneritore sono dati reali di misure fatte sull'impianto mentre i dati di Thermoselect sono dati previsti forniti da questa società ma non ancora confermati dall'impianto attualmente in avviamento a Karlsruhe in Germania. Si può vedere nella Tabella 5.10 che le concentrazioni di inquinanti nei fumi sono abbastanza simili per le due tecnologie ma la quantità di fumo emessa dal Processo Thermoselect è nettamente inferiore poiché questo processo usa ossigeno puro e non aria per la gasificazione evitando la presenza dell'azoto nel gas ottenuto. Al contrario l'inceneritore usa aria per la combustione e i suoi fumi contengono una grande quantità di azoto e hanno un volume maggiore. Questa emissione minore di fumi da parte del Processo Thermoselect fa sì che l'impatto ambientale annuale di inquinanti sia nettamente inferiore per questo processo come si può vedere dai dati della Tabella 5.11.

TABELLA 5.10. 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 5.11. Impatto ambientale di emissione di**Emissione in kg per un trattamento annuale di 30'000 t RSU**

MICROINQUINANTE	INCENERITORE	THERMOSELECT
POLVERI TOTALI	580	169
ACIDO CLORIDRICO	335	11
ACIDO FLUORIDRICO	42	6
CARBONIO TOTALE	446	281
CO	2647	281
SO ₂	89	112
NO ₂	40628	675
Hg	0,58	0,56
DIOSSINE E FURANI MAX. in milligrammi	0,0046	0,0023
POLVERI TOTALI	580	169
EMISSIONI ACIDE TOTALI	41094	804
COMPOSTI CARB. TOTALI	3092	562
EMISSIONI TOTALI	44767	1535

CONCLUSIONI

Questa tesi vuole dimostrare come il problema del riciclo, riutilizzo e smaltimento dei rifiuti urbani nell'era della raccolta differenziata possa essere affrontato in maniera innovativa sottolineando come aspetto centrale del problema quello costituito dalla popolazione del territorio, che decide della generazione e differenziazione dei rifiuti e quindi delle quantità da riciclare e smaltire, e non quello dello smaltimento e delle sue tecnologie.

L'esperienza degli ultimi anni e le nuove conoscenze in questo campo hanno dimostrato che è possibile, con un'adeguata informazione alla popolazione e l'organizzazione di sistemi appropriati di raccolta dei rifiuti che includano in particolare la raccolta differenziata della frazione organica, portare rapidamente le percentuali di raccolta differenziata a valori vicini al 60%, ben oltre i valori stabiliti dalla Legge Ronchi, con la conseguenza di diminuire drasticamente la quantità di rifiuti indifferenziati da smaltire.

Disponendo di validi scenari di evoluzione della raccolta differenziata in un certo territorio, sviluppando una opportuna correlazione tra la composizione merceologica dei rifiuti e il loro potere calorifico, è possibile elaborare un modello previsionale dei flussi di rifiuto primari e secondari e del loro potere calorifico e determinare così i bisogni in capacità di smaltimento e le tecnologie utilizzabili e prevedibili nell'orizzonte di alcuni anni necessari per realizzare e mettere in funzione gli impianti di smaltimento.

Le tecnologie di smaltimento attualmente disponibili mettono in risalto le possibilità non solo di eliminare i rifiuti per incenerimento e pirolisi ma anche di trasformare i rifiuti in compost o combustibili che possono essere riutilizzati nel campo agricolo e industriale. Un'analisi preliminare sul piano economico ed ambientale delle tecnologie disponibili ha dimostrato la validità delle tecnologie di trasformazione rispetto a quelle di incenerimento e pirolisi sia sul piano economico che su quello ambientale. Si è inoltre individuata una forte dipendenza dei costi di smaltimento dal possibile prezzo di vendita dell'energia elettrica che è generabile in molti dei tipi di tecnologie di smaltimento studiate.

Per quanto riguarda lo studio dei processi di smaltimento l'analisi dei costi ha dimostrato che i processi basati sul compostaggio e la produzione di CDR sono nettamente meno costosi dei processi di incenerimento o pirolisi/gasificazione del RSU. Il costo di smaltimento è risultato anche fortemente dipendente dal prezzo di vendita del kWh prodotto e si è potuto dimostrare che il processo di produzione del CDR e sua termovalorizzazione diventa nettamente il più economico per prezzi del kWh superiori alle 220 lire.

Sul piano ambientale gli impatti dei processi basati sul compostaggio, anche se poco conosciuti, sono comunque minimi se si realizzano in edifici chiusi con aspirazione dell'aria e sua purificazione con biofiltri. L'inceneritore resta invece il processo più inquinante, soprattutto per le emissioni da parte dei fumi. I processi di pirolisi/gasificazione, come il Processo Thermoselect, hanno un'emissione totale di inquinanti nettamente inferiore all'inceneritore, tuttavia, va considerato che i dati comparativi disponibili per il Processo Thermoselect non sono stati ancora confermati dalla pratica industriale.

Da un punto di vista dell'affidabilità occorre infine notare che il processo di incenerimento gode di una lunga esperienza industriale mentre i processi di compostaggio e produzione del CDR sono più recenti pur avendo tuttora alle spalle alcuni anni di funzionamento regolare. Per la tecnologia di pirolisi/gasificazione l'unica tecnologia industrializzata attualmente è rappresentata dal Processo Thermoselect, utilizzato in un impianto di smaltimento di RSU a Karlsruhe in Germania. Questo impianto non ha ancora terminato attualmente la fase di avviamento e quindi questo processo non può essere considerato per il momento con lo stesso grado di affidabilità degli altri processi considerati.

Concludendo, una buona gestione del problema dei rifiuti urbani di un certo territorio dovrebbe prima di tutto occuparsi, attraverso opportuni interventi, del problema di portare i livelli di raccolta differenziata a valori elevati e quindi, attraverso una ragionevole previsione dei bisogni di smaltimento, di scegliere, sulla base delle capacità necessarie, le tecnologie più appropriate da usare sia sul piano economico che quello ambientale.

BIBLIOGRAFIA

1. A. Bonomi “Piano Provinciale per la Gestione dei Rifiuti Urbani nel V.C.O.” Verbania, Dicembre 1999
2. A. Bonomi “Strategie di raccolta e smaltimento dei rifiuti urbani” RICICLA 2000 Atti dei Seminari, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 439-450
3. A. Gandolfi “Formicai, imperi, cervelli. Introduzione alla scienza della complessità” Bollati Boringheri Editore, Torino, 1999
4. A. Bonoli, P. Cavina, “L’applicazione del LCA alla gestione dei rifiuti solidi nel bacino delle provincie di Forlì-Cesena e Rimini” RICICLA 1999, Atti dei Seminari, Maggioli Editore, pp. 169-174
5. R.Canziani, M.Ragazzi, E. Tonolli “Applicazione di un modello decisionale per la gestione dei rifiuti solidi al caso del Trentino” RS Rifiuti Solidi, Vol. 14, Maggio-Giugno 2000, pp. 161-169
6. D.H. Meadows, D.L. Meadows, et. al. “I Limiti dello Sviluppo” Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1972
7. J.W. Forrester, D.L. Meadows, et al. “Verso un Equilibrio Globale” Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1973
8. W. Leontieff “Il Futuro dell’Economia Mondiale” Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1977
9. E. Favoino, M. Ricci, A. Tornavacca, M. Centemero, S. Morabito “Le raccolte differenziate degli scarti compostabili in Italia in confronto all’Europa: specificità, risultati, costi dei sistemi” Atti dei Seminari RICICLA 2000, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 68-79.
10. A. Valentini, A. Tornavacca, E. Favoino, L. Frattini, M. Marino, A. Miorandi “Gli impatti economici ed ambientali dei sistemi di raccolta differenziata della frazione organica” Atti dei Seminari RICICLA 2000, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 118-124.
11. E. Favoino, M. Ricci, R. Ragazzi, A. Tornavacca, “La valutazione dei costi dei sistemi di raccolta differenziata secco-umido: i vantaggi dell’integrazione operativa” RS Rifiuti Solidi, Vol. 14, N.2 Marzo-Aprile 2000, pp. 76-84
12. C. Giacomelli, S. Zanardello, S. Gabri “La gestione integrata del ciclo dei rifiuti cassonetto personalizzato, sistema di identificazione e pesatura, centro comunale raccolta differenziata, passaggio da tassa a tariffa (D.P.R. 158/99)” Atti dei Seminari RICICLA 2000, Rimini Fiera, 8-11 Novembre 2000, pp. 393-401.
13. “Piano regionale di gestione dei rifiuti” Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte, 3° Supplemento speciale al N°38. Torino, 29/09/1997
14. CON.SER.V.C.O. Documenti ricevuti, Verbania, 2000
15. Angelo Bonomi, Consulente per l’Ambiente della Provincia del VCO, Documenti ricevuti, Verbania, 2000.
16. Meeting Ambiente 21, Fiera di Milano, 2-5 Marzo 2000

17. Thermoselect S.r.l. Documentazione ricevuta, Verbania, 1999
18. Consorzio del Medio Novarese Documentazione ricevuta, Ghemme (NO), 2000
19. PROMECO S.r.l. Documentazione ricevuta, Como, 2000
20. Ladurner S.r.l. Documentazione ricevuta, Lana (BZ), 2000