

2.1. RIFIUTI E SOSTENIBILITA' AMBIENTALE

“Il Cobianchi”, Verbania, 2002, pp. 4-10 (*)

INTRODUZIONE

Rifiuti, inquinamento, protezione dell'ambiente sono temi attuali oggetto di dibattimenti e prese di posizioni che spesso hanno il risultato di disorientare piuttosto che chiarire l'argomento. Resta il fatto che la cosiddetta “sostenibilità ambientale” rappresenta un criterio serio con cui sia i processi di generazione dei rifiuti che quelli che ne effettuano lo smaltimento devono necessariamente confrontarsi.

Questo articolo vuole affrontare l'argomento da un punto di vista poco comune che è quello tecnologico che però non è da confondersi con il punto di vista tecnico-economico-industriale che spesso si confronta e si scontra con la visione ambientalista del problema. Un punto di vista tecnologico deve tener conto di una visione scientifica del problema come altrettanto lo è la visione dell'ambiente da parte dei biologi o dei naturalisti. Il fatto che il punto di vista tecnologico possa essere scientificamente contrapposto a quello biologico-naturalista deriva dal fatto che anche l'insieme delle tecnologie rappresenta un “ecosistema” e che anche questo, come l'ecosistema biologico o terrestre può modificarsi ed eventualmente collassare.

La natura di ecosistema delle tecnologie non è normalmente riconosciuta eppure le tecnologie si evolvono, competono, si collegano tra di loro, entrano in simbiosi e si estinguono in maniera analoga alle specie di un ecosistema biologico, ad esempio, l'uso del cavallo come sistema di trasporto umano si è estinto a seguito della competizione con l'automobile. Accanto all'estinzione del trasporto umano a cavallo si sono estinte tecnologie come quella del maniscalco, d'altra parte lo sviluppo dell'automobile ha fatto nascere e crescere nuove tecnologie, come quella di produzione della benzina o delle officine di riparazione.

Il fatto che sia possibile esaminare l'ecosistema tecnologico da un punto di vista scientifico lo dobbiamo a una nuova scienza chiamata Scienza della Complessità. Questa scienza, nata negli Stati Uniti negli anni '60 da studi su calcolatore di modelli della meteorologia del globo, è stata promossa da due Premi Nobel: il chimico belga Ilya Prigogine ed il fisico americano Murray Gell-Mann. Verso la metà degli anni 80 venne creato a Santa Fe nel New Mexico il Santa Fe Institute che costituisce tuttora il maggior centro di sviluppo di questa scienza nel mondo.

COSA E' LA SCIENZA DELLA COMPLESSITA'

La Scienza della Complessità è una scienza generale che si occupa del comportamento dei sistemi complessi e trova applicazioni in tutti i campi della scienza dalla fisica alla biologia ed anche ad esempio in medicina, economia e sociologia. Questa scienza, poco conosciuta in Italia, è invece in pieno sviluppo negli Stati Uniti con applicazioni non solo in campo scientifico ma anche ad esempio nel campo del management, della gestione del territorio e della tecnologia

La Scienza della Complessità ha elaborato nel quadro del suo sviluppo alcuni concetti innovativi per descrivere i sistemi complessi di cui due sono particolarmente utili in campo ambientale per quanto riguarda ad esempio la raccolta dei rifiuti e le tecnologie per il loro smaltimento e sono:

(*) In una forma più estesa questo lavoro è stato presentato a Rimini a RICICLA 2000 e pubblicato negli atti di questa manifestazione

- Il concetto di **Sistema Complesso Adattativo** (Complex Adaptive System)
- Un nuovo concetto di **Tecnologia** e di **Paesaggio Tecnologico** (Technology and Technology Landscape)

Un Sistema Complesso Adattativo è un sistema che ha la proprietà di adattarsi al suo ambiente nel perseguimento dei propri scopi. Esso può essere moltissime cose: un'impresa, la borsa, un distretto industriale, ecc. Esso è composto da un insieme di agenti autonomi che hanno la libertà di agire in maniera non totalmente prevedibile sulla base dei propri schemi mentali e le cui azioni sono interconnesse in maniera che una certa azione di un agente influenza l'azione degli altri agenti. Il comportamento di questo sistema emerge dall'interazione tra i vari agenti sotto l'influenza dell'ambiente in cui è immerso. Un sistema provinciale dei rifiuti urbani è un tipico Sistema Complesso Adattativo composto dai nuclei familiari ed assimilati che ne costituiscono gli agenti ed il cui comportamento decide della quantità generata di rifiuti urbani e del livello di raccolta differenziata corrispondente.

Per quanto riguarda la tecnologia essa può essere considerata come una sequenza di operazioni ciascuna caratterizzata da un possibile insieme di istruzioni. Le tecnologie nel loro insieme possono cooperare o competere tra di loro nell'ecosistema tecnologico ed il successo o l'obsolescenza di una tecnologia dipenderà dalla sua efficienza. Un insieme preciso di operazioni che definiscono una tecnologia ciascuna caratterizzata da una delle istruzioni possibili costituisce una **Ricetta di Produzione**. Esisteranno quindi tante ricette di produzione quante sono le combinazioni possibili di tutte le varie scelte di istruzioni per le operazioni. L'insieme di tutte queste ricette di produzione costituisce quello che comunemente si chiama **Tecnologia**.

Se ora consideriamo una tecnologia con il suo insieme di ricette di produzione, ciascuna ricetta potrà essere caratterizzata da una sua efficienza specifica, si può allora definire **Paesaggio Tecnologico** un insieme di punti ciascuno rappresentante una ricetta a cui è associato il rispettivo valore di efficienza mentre la distanza tra i punti (ricette) è determinata dal grado di differenza nelle istruzioni. (quanto più una ricetta è differente tanto è più distante da un'altra). In questo paesaggio le ricette più efficienti occuperanno dei "picchi" di optimum mentre quelle meno efficienti si situeranno negli "avvallamenti". Lo sviluppo di una nuova tecnologia che si espleta attraverso il lavoro di ottimizzazione delle istruzioni da usare può essere quindi considerato come un percorso esplorativo nel Paesaggio Tecnologico alla ricerca di un optimum.

Questa nuova visione della tecnologia nel quadro del suo Paesaggio Tecnologico è di grande utilità nella valutazione di tecnologie in competizione, ad esempio nel caso di tecnologie destinate allo smaltimento dei rifiuti, come anche per fare previsioni sul possibile successo di nuove tecnologie di smaltimento in sviluppo.

IL PROBLEMA DELLA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI

Il problema della gestione dei rifiuti da parte delle Amministrazioni è sempre stato particolarmente acuto sia per la complessità delle tecnologie e impiantistica da usare, piuttosto lontane dalla normale esperienza legata soprattutto a realizzazioni di tipo civile, sia per le difficoltà di prevedere l'evoluzione della generazione e differenziazione dei rifiuti della popolazione amministrata. Molto spesso le Amministrazioni si sono limitate a considerare l'organizzazione della raccolta, senza intervenire più di tanto per la differenziazione, e ad una scelta impiantistica per lo smaltimento senza le valutazioni tecnologiche adeguate che in molti casi hanno portato ad investimenti inutilizzabili, a pesanti impatti ambientali ed a costi di smaltimento eccessivamente elevati.

Un approccio corretto consiste nel mettere al centro del problema gestionale la popolazione del territorio vista come sistema complesso adattativo liberandone le forze che naturalmente portano verso una generazione e raccolta differenziata dei rifiuti ottimale.

Premesso che una popolazione ha generalmente un'attitudine positiva verso la raccolta differenziata occorre riallacciare contatti sia tra i vari nuclei familiari che le organizzazioni che effettuano la raccolta attraverso una personalizzazione dell'atto di eliminazione dai propri rifiuti ad esempio passando da un sistema di raccolta per cassonetti ad un sistema porta a porta.

Nel caso della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola il Programma di Gestione dei Rifiuti ha dato indicazioni precise in accordo con le considerazioni precedenti che possono essere riassunte nei punti seguenti:

- Occorre fare opera presso gli abitanti per convincerli che la raccolta differenziata rappresenta il vero modo di liberarsi dei rifiuti domestici e che il rifiuto indifferenziato 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 abbassare le tariffe da pagare e ridurre l'impatto ambientale degli inquinanti provenienti dallo smaltimento.
- 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 a porta a porta sia per le frazioni differenziate che per il rifiuto indifferenziato 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 del rifiuto indifferenziato aumentando invece, secondo necessità, i passaggi per la raccolta del differenziato.
- E' necessario allo stesso tempo in cui si riorganizza il sistema di raccolta differenziata introdurre anche la raccolta della frazione organica dei rifiuti per raggiungere così tassi elevati di raccolta differenziata.

I risultati dell'applicazione di questi principi non si sono fatti attendere come lo dimostrano i grafici delle Fig. 1 e 2 che si riferiscono ai casi di Gravellona Toce e di Verbania. In questi grafici si può osservare come l'introduzione del nuovo modo di raccolta abbia causato immediatamente una transizione nel valore della percentuale della raccolta differenziata da valori rispettivamente di circa il 15% a circa il 60% per Gravellona Toce e da circa il 24% al 45% per Verbania. Attualmente questo tipo di ristrutturazione della raccolta è esteso a tutto il territorio urbanizzato della Provincia con l'intento di raggiungere e sorpassare un tasso medio di RD% provinciale superiore al 50%.

Sul piano delle scelte tecnologiche per lo smaltimento dei rifiuti il lavoro effettuato per la Provincia del Verbano-Cusio-Ossola è stato più articolato poiché inizialmente si sono considerate tre possibili strategie riguardanti:

1. Chiusura degli impianti attuali di discarica e incenerimento ed esportazione dei rifiuti indifferenziati verso un impianto di smaltimento interprovinciale da realizzare con una tecnologia da selezionare ulteriormente
2. La realizzazione di una terza linea di incenerimento a Mergozzo per potenziare l'impianto ed eliminare l'attuale esportazione dell'eccesso di rifiuti non smaltibili nell'impianto attuale
3. L'utilizzazione dopo ristrutturazione dell'impianto Thermoselect esistente sul territorio

La scelta della Strategia 1 è risultata evidente dopo considerazioni fatte sul pesante impatto ambientale e gli elevati costi di smaltimento tipici di un impianto di incenerimento di piccola dimensione caratteristici della Strategia 2 e infine l'incertezza tecnologica esistente per la Strategia 3 riguardo alla situazione dell'industrializzazione di questo processo.

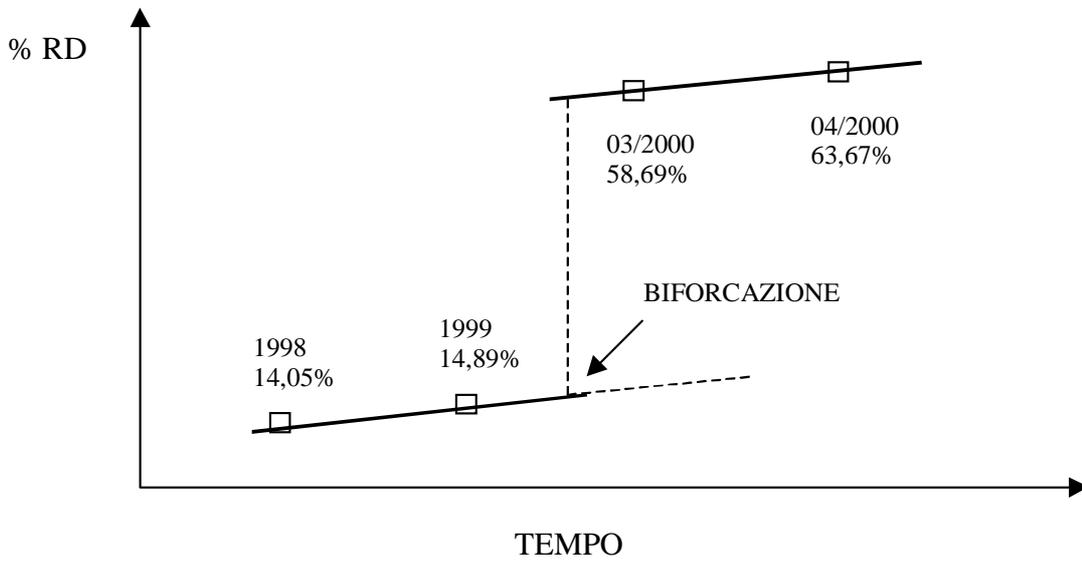


Fig. 1. Variazione della RD% nel comune di Gravellona Toce

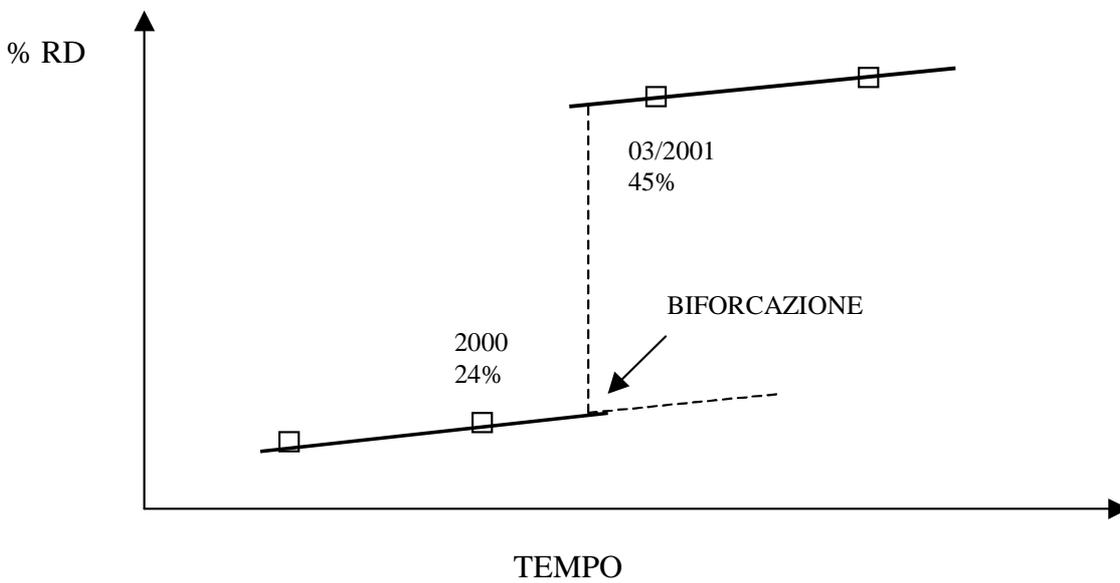


Fig. .2. Varazione della RD% nel Comune di Verbania

Si è passato quindi a studiare le possibili tecnologie di smaltimento per un possibile impianto interprovinciale in vista di selezionare quella più appropriata. La selezione è avvenuta sulla base di tre criteri principali:

- CRITERIO TECNICO: riguardante l'affidabilità del processo e delle sue potenzialità di miglioramento futuro
- CRITERIO ECONOMICO: riguardante gli investimenti ed i costi di smaltimento
- CRITERIO AMBIENTALE: riguardante l'impatto ambientale delle varie tecnologie di smaltimento

Le tecnologie di smaltimento scelte per lo studio riguardavano una serie di processi già industrializzati o in fase di industrializzazione che per lo smaltimento del rifiuto indifferenziato sono:

- Incenerimento
- Pirolisi/gasificazione
- Compostaggio/produzione di combustibile da rifiuti (CDR)
- Produzione di combustibile da rifiuti (CDR)/termovalorizzazione

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

Incenerimento

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

Pirolisi/Gasificazione

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

Compostaggio e produzione di CDR

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

Produzione di CDR e sua termovalorizzazione

Questa tecnologia effettua una biodisidratazione del rifiuto seguita da una separazione a secco dei metalli e degli inerti dalla frazione combustibile (CDR). Questo CDR può essere venduto e anche

termovalorizzato direttamente con produzione di energia elettrica con una resa molto superiore a quella ottenibile in un inceneritore. L'economia di questa tecnologia è caratterizzata come la precedente da investimenti e costi contenuti. Anche questa tecnologia è molto rispettosa dell'ambiente e presenta, come la precedente, il problema della vendita del CDR ma non della composta.

Senza entrare nel dettaglio delle metodologie derivate dai concetti innovativi di tecnologia e paesaggio tecnologico e utilizzate per l'esame degli aspetti tecnici, economici ed ambientali dei vari processi di smaltimento dei rifiuti indifferenziati (RSU), è risultato evidente che le tecnologie che comprendono la produzione di combustibile da rifiuti (CDR) sono nettamente avvantaggiate rispetto alle tecnologie di incenerimento ovvero di pirolisi/gasificazione per i loro minori costi di esercizio, di investimento e per il loro basso impatto ambientale. La produzione diretta del CDR senza composta presenta qualche vantaggio in più perché evita il problema dello smaltimento della composta da rifiuto indifferenziato non utilizzabile in agricoltura, ed è proprio questo tipo di tecnologia che è stata selezionata per lo smaltimento dei rifiuti indifferenziati residui della Provincia. Tenendo poi conto che questa tecnologia raggiunge condizioni economiche ottimali già per capacità di smaltimento dell'ordine delle 50-60 mila tonnellate di rifiuto annuo, questo permette di effettuare una scelta autonoma per la Provincia per l'impianto di smaltimento senza dover dipendere da una lunga procedura di realizzazione di un impianto interprovinciale che invece potrebbe essere considerato per la parte di termovalorizzazione. La Fig. 3 riporta schematicamente il processo di smaltimento scelto.

Come si può vedere dalla Fig. 3 il processo è diviso in due fasi. Nella prima avviene la trasformazione del rifiuto in combustibile attraverso un'operazione di biodisidratazione e separazione degli inerti. Nella seconda fase avviene il processo di termovalorizzazione. Accanto al processo indicato di utilizzo del CDR per la produzione di energia elettrica in un termovalorizzatore dedicato è possibile anche utilizzarlo nei forni rotativi per la produzione di cemento e nelle centrali termiche a carbone a letto fluido. In ogni caso il CDR prodotto, per il suo elevato potere calorifico e la buona resa termica che ne consegue, a differenza del rifiuto indifferenziato, può essere considerato un combustibile sostitutivo del carbone o dell'olio combustibile e quindi non contribuisce ad aumentare l'impatto ambientale già provocato dai processi termici di generazione di energia o di produzione di cemento. Occorre infine notare che si prevede per la Provincia di limitarsi alla fase di produzione del CDR e quindi esportarlo fuori del territorio per la sua termovalorizzazione.

SOSTENIBILITA' AMBIENTALE E SVILUPPO SOSTENIBILE

Come abbiamo potuto vedere nelle descrizioni precedenti nell'opera di selezione delle tecnologie più appropriate per lo smaltimento dei rifiuti indifferenziati in Provincia si è cercato, per quanto possibile, di scegliere strategie e tecnologie sostenibili ambientalmente promuovendo al massimo la raccolta differenziata e selezionando tecnologie di smaltimento con un impatto globale sull'ambiente minimo se non nullo. Questo ci porta a fare alcune considerazioni tra l'ecosistema tecnologico, la sostenibilità ambientale e lo sviluppo sostenibile.

Una definizione molto valida di *sostenibilità ambientale* è quella di considerarla come *le condizioni in cui un'attività umana non fa pagare alle generazioni future le conseguenze di questa attività*. E' facile sulla base di questa definizione presentare molti esempi di attività umane che degradando l'ambiente lasciano alle generazioni future il costo del ripristino. Tuttavia sulla base della definizione precedente di sostenibilità, esistono anche casi che si possono riferire invece all'ecosistema tecnologico, ad esempio, l'interruzione del finanziamento di ricerche sulla base di giustificazioni ideologiche, nel campo ad esempio della bioingegneria, da parte di

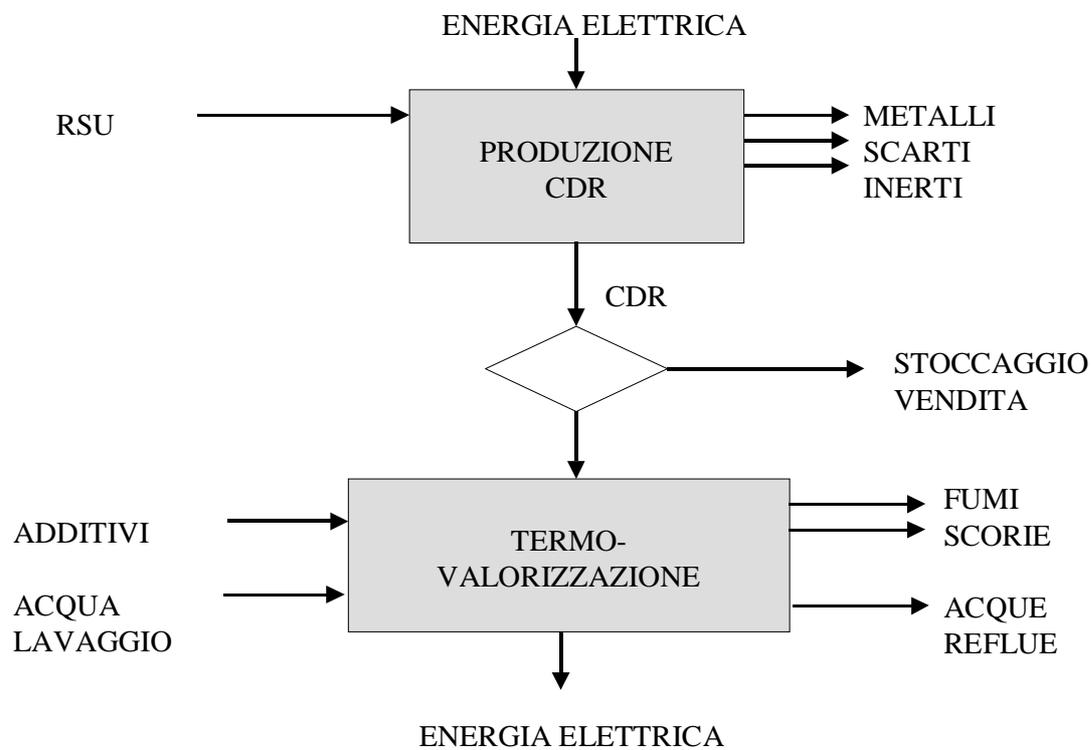


Fig. 3. Processo di trasformazione di rifiuto in CDR e sua termovalorizzazione

un'amministrazione è un atto che fa pagare alle generazioni future il non sviluppo di tecnologie di grande utilità per la sopravvivenza futura dell'uomo nel suo ambiente.

Riguardo alla tecnologia si possono poi fare alcune considerazioni. La prima riguarda l'ampia definizione che la tecnologia può avere nel quadro dell'attività umana. In effetti non bisogna considerare tecnologia solo quanto è di più tecnicamente avanzato. Una vecchia pompa che serve a portare l'acqua in un villaggio di un paese in via di sviluppo è altrettanto tecnologia quanto quella che serve a portare gli uomini sulla luna. Una seconda considerazione riguarda invece l'importanza delle tecnologie per la sopravvivenza e sviluppo della specie umana. L'attività tecnologica ha accompagnato l'uomo in tutta la sua evoluzione permettendone il suo sviluppo numerico. Se attualmente esistiamo sulla terra in un numero di circa sei miliardi lo dobbiamo all'esistenza di un'attività tecnologica senza la quale la sopravvivenza della specie umana sarebbe ridotta a un numero di individui grandemente inferiore.

L'importanza vitale della tecnologia per la sopravvivenza della specie umana porta a considerare la possibilità di avere un collasso nell'ecosistema tecnologico analogo a quanto avviene nell'ecosistema biologico. Questo collasso tecnologico non rappresenta certo un pericolo evidente quanto quelli che assistiamo attualmente per l'ambiente, tuttavia è interessante presentarne un esempio di come potrebbe avvenire. Consideriamo ad esempio il problema dell'elettrosmog e supponiamo che delle normative limitino l'intensità dei campi elettromagnetici a valori di 100 o 1000 volte il campo elettromagnetico di fondo naturale. Questo livello escluderebbe l'uso di gran parte delle apparecchiature elettriche ed elettroniche attuali inclusi i computer e, in particolare, non sarebbe ammesso l'uso dei telefoni cellulari per i quali non è pensabile di utilizzare una schermatura. La messa al bando o la loro utilizzazione in condizioni difficili delle apparecchiature citate a seguito delle norme avrebbe come conseguenza il collasso delle loro tecnologie. A questo punto, tenendo conto che comunque l'elettrosmog non dovrebbe avere impatti sulla salute così importanti come quelli riconosciuti ad esempio nel campo della radioattività, ci si potrebbe allora domandare se il numero di morti possibili a causa del non rispetto delle normative citate non sia nettamente inferiore al numero di morti che sarebbero causati dall'abbandono obbligato di almeno una parte delle tecnologie elettriche ed elettroniche attuali causate da dette norme.

La relazione tra tecnologia ed ambiente è tuttavia drammatica. Una definizione di tecnologia dal punto di vista ambientale potrebbe essere quella di *un'attività umana che trasforma l'ambiente in rifiuti in cambio di un servizio*. L'attività tecnologica è normalmente collegata alla realizzazione e uso di manufatti. La generazione di rifiuti inizia già durante la produzione dei manufatti, continua poi con l'uso di questi manufatti e infine sono gli stessi manufatti che diventano rifiuto alla fine dalla loro utilizzazione. Il riciclo dei rifiuti rappresenta la sola possibilità che si ha per ridurre, almeno parzialmente questo processo continuo di degradazione dell'ambiente

Una visione molto interessante sul problema dell'interazione tra tecnologia ed ambiente è stata presentata recentemente dal Rocky Mountains Institute. Questo istituto, situato nello stato americano del Colorado, ha introdotto il concetto di *capitale naturale* accanto alle varie forme di capitale considerate in campo economico come il capitale finanziario o il capitale umano. Quando noi utilizziamo le risorse naturali riduciamo quindi il capitale naturale disponibile e, non tenendo conto di questo valore, falsiamo i conti economici reali del sistema e creiamo situazioni non sostenibili ambientalmente che faranno pagare alle future generazioni le conseguenze.

Dal punto di vista della tecnologia è possibile considerare accanto al capitale finanziario, umano e naturale anche un *capitale tecnologico*. L'interesse di questo capitale può diventare molto importante quando questo è in grado di sostituire almeno in parte il capitale naturale. A questo punto è possibile definire lo *sviluppo sostenibile* in un modo differente da quello tradizionale che implica che lo sviluppo economico sia associato ad una forte protezione delle risorse naturali poiché

il capitale naturale non può essere sostituito da un capitale artificiale antropico. *Il nuovo concetto di sviluppo sostenibile* implica invece che lo sviluppo tecnologico, e non quello economico che gli è tributario, cooperi con l'ambiente considerando che il capitale naturale può essere sostituito in parte dal capitale tecnologico antropico.

Oltre alla tecnologia un altro fattore in una relazione drammatica con l'ambiente è rappresentato dalla crescita più che esponenziale della specie umana. La popolazione umana è raddoppiata nei primi cinquant'anni del XX secolo, si è triplicata negli altri cinquant'anni di questo secolo raggiungendo la popolazione attuale di circa sei miliardi. Questa popolazione è destinata a raddoppiare entro pochi decenni mettendo a dura prova la disponibilità di risorse del pianeta conseguenza dall'elevato livello di attività tecnologica necessaria per mantenere in vita una tale popolazione. Anche se l'espansione della popolazione avviene principalmente in paesi a basso tasso di consumo di risorse, la grandezza della loro popolazione e il loro sviluppo tecnologico per quanto limitato finiranno per contribuire in maniera sensibile al consumo delle risorse. Uno studio dell'ONU prevede che i grandi paesi come l'India e la Cina raggiungeranno un consumo energetico totale con la conseguente emissione di gas serra simile all'Europa entro una decina d'anni. Non è poi pensabile di poter frenare in maniera sensibile sia l'incremento di popolazione ne il loro sviluppo nei consumi in un periodo di tempo di solo qualche decina d'anni. In queste condizioni di fortissima evoluzione non è pensabile di risolvere i problemi ambientali mettendo in equilibrio l'uomo con la natura a colpi di limitazioni in quella visione che si potrebbe chiamare *l'illusione ambientalista*. D'altra parte non è neanche pensabile di risolvere questi problemi continuando lo stesso tipo di sviluppo tecnologico attuale con il suo elevato tasso di consumo di capitale naturale in una visione delle cose che si potrebbe chiamare di *cecità tecnologica*.

Il problema è che se esiste una soluzione per questi problemi essa è probabilmente essenzialmente tecnologica. Un futuro approccio allo sviluppo di nuove tecnologie non può però essere dello stesso tipo di quello attuale ma deve necessariamente essere in grado di affrontare i problemi di un livello superiore di complessità sviluppando, con una visione globale, tecnologie che cooperano tra di loro e con l'ambiente capaci di sostituire parte del capitale naturale con del capitale tecnologico.

Il Rocky Mountain Institute ha pubblicato recentemente un libro "Il Capitalismo Naturale", edito in Italia da Edizioni Ambiente, che illustra in modo esemplare la varie possibilità per riorientare lo sviluppo tecnologico verso un grande risparmio di risorse energetiche e materiali prospettando alla fine un'economia più prospera e stabile dell'attuale. Ciò è realizzabile attraverso strategie appropriate come un forte incremento della produttività delle risorse che automaticamente riduce l'emissione di inquinanti, lo sviluppo di processi bio-imitativi che riduce attraverso il riciclo i flussi dei materiali evitando allo stesso tempo le grandi perdite energetiche dei processi termici e infine la trasformazione dall'attuale economia basata sulle merci e gli acquisti verso un'economia basata sui flussi e servizi delocalizzando e dematerializzando il soddisfacimento dei bisogni umani.

E' evidente comunque che il risparmio delle risorse per quanto spinto non può evitare un certo consumo di capitale naturale. Per compensare questo consumo è quindi necessario sviluppare tecnologie che siano in grado di creare capitale tecnologico capace di sostituire del capitale naturale consumato. Purtroppo le tecnologie attuali che possono essere considerate capaci di sostituire il capitale naturale sono ben poche e poco sviluppate. Un esempio sono le tecnologie fotovoltaiche, esse possono sostituire in un certo senso la fotosintesi naturale nella generazione di energia. Le cellule fotovoltaiche, a differenza della fotosintesi, non fissano l'anidride carbonica liberando ossigeno, d'altra parte esse non necessitano neanche di ossigeno ne liberano anidride carbonica come invece è necessario per liberare energia dal legno prodotto per fotosintesi. Un altro esempio è la tecnologia di compostaggio dei rifiuti che permette il ritorno sul terreno della composta prodotta contribuendo al processo naturale di fissaggio del carbonio, e questo invece di liberare anidride carbonica con l'incenerimento degli stessi rifiuti.

Anche la tecnologia scelta per lo smaltimento dei rifiuti in Provincia e basata sulla produzione di CDR può essere considerata potenzialmente creativa di capitale tecnologico. La fase di biodisidratazione dei rifiuti e la separazione degli inerti avviene con un consumo contenuto di energia elettrica mentre la disidratazione avviene attraverso un processo esotermico di ossidazione biologica a temperatura relativamente bassa che non intacca il potere calorifico del combustibile prodotto. Al contrario nell'incenerimento dei rifiuti l'acqua presente è evaporata ad alta temperatura assorbendo così buona parte dell'energia termica liberata dalla combustione. Sul piano ambientale poi l'ossidazione che accompagna la biodisidratazione avviene a bassa temperatura senza formazione di ossidi di azoto, questi invece si formano nell'incenerimento e sono poi emessi in parte nei fumi e si ritrovano infine come acidi nell'ambiente circostante. In definitiva il processo di produzione di CDR scelto somma le tipiche caratteristiche di un processo che coopera con l'ambiente e che si traduce in minori costi economici, basso impatto ambientale e minore generazione di flussi di residui secondari da smaltire rispetto alle grandi quantità di scorie e ceneri prodotte dall'inceneritore.