

Dispense di **INGEGNERIA SANITARIA**

redatte dal

prof. Ing. Ignazio Mantica

17-10-1946 † 04-08-1995

il materiale presente in questo file viene riportato così come lasciato da Ignazio Mantica alla data della sua scomparsa, pertanto può risultare incompleto.

Questo materiale viene pubblicato nella speranza che il frutto di anni di lavoro svolto con passione ed impegno non vada perso e possa essere ancora utile a quanti lo vorranno.

Siete liberi di usare i testi e le immagini presenti in questo documento come meglio credete, vi chiediamo soltanto di citarne la fonte.

- GRAZIE -

**Università degli Studi di Ancona
Istituto di Idraulica**

prof.ing. Ignazio MANTICA

INGEGNERIA DELL' AMBIENTE

trattamento e smaltimento R.S.U.

metodologie per la valutazione dell' impatto ambientale

**argomenti tratti dalle lezioni di Ingegneria Sanitaria tenute nella A.A. 1987/88
e dalla tesi di laurea dell' ing. Gianni Lozzi**

CAPITOLO PRIMO

POSSIBILI ALTERNATIVE PER LO SMALTIMENTO DEGLI R.S.U.

I sistemi di smaltimento che possono essere considerati per realizzazioni in scala reale sono:

A) **Discarica controllata**

B) **Inceneritori**

C) **Impianti a recupero**

Oltre a questi, vi sono altri sistemi che, pur interessanti in linea teorica, presentano ancora notevoli limiti applicativi e, soprattutto, un livello di affidabilità molto basso. Di seguito se ne farà un breve cenno per delineare un quadro completo delle tecnologie proposte per lo smaltimento dei rifiuti.

1.1 DISCARICA CONTROLLATA

In tutti i paesi europei lo scarico sul terreno rimane il principale metodo di smaltimento dei rifiuti solidi urbani. Nella C.E.E. esso é ancor oggi applicato a circa il 60% della produzione globale dei rifiuti, come risulta dalla Tab.1.

Tab.1 Percentuale di rifiuti solidi urbani smaltita, secondo i diversi metodi, nei diversi Paesi.

La discarica controllata prevede, come noto, la sistemazione in strati dei rifiuti sul terreno con modalità tali da evitare effetti negativi per l'ambiente e le persone (principalmente inquinamento delle acque di falda, degrado del paesaggio, emanazione di insetti e roditori, polverosità ecc.), e ciò sia durante l'esercizio che dopo il completamento dello stesso.

Poichè qualsiasi sistema di trattamento dei rifiuti (sia solidi che liquidi, che gassosi), comporta la produzione di residui solidi (o semisolidi), e poiché il terreno é l'unico ambiente disponibile per la sistemazioni di tali residui, lo scarico controllato diviene una scelta obbligata per il loro smaltimento; in particolare per i RSU (rifiuti solidi urbani) la discarica controllata é, generalmente, il metodo più economico di smaltimento ed é pertanto il primo per il quale conviene verificare la fattibilità.

Comunque lo scarico controllato costituisce un complemento indispensabile degli altri sistemi (combustione, trasformazione in compost, recupero) per lo smaltimento dei residui di tali trattamenti (scorie, sovralli, rigetti ecc.) e come soluzione di emergenza in caso

di fermata per manutenzione ordinaria o, per eventi eccezionali, punte stagionali ecc.

La discarica controllata costituisce, a tutti gli effetti, un'opera di ingegneria sanitaria, e comporta quindi la realizzazione di veri e propri impianti nei quali sovente vengono sfruttate tecnologie di una certa complessità.

E' perciò richiesta una specifica progettazione basata su tutta una serie di indagini e studi preliminari che consentono, caso per caso, una scelta della soluzione appropriata per le diverse condizioni locali. Tra tali indagini, come vedremo, rientrano quelle relative alla geologia ed idrologia dell'area, agli aspetti geotecnici, alla caratterizzazione della zona in cui dovrà sorgere l'impianto, alla valutazione dell'impatto ambientale ecc.

La progettazione di un impianto di scarico controllato dovrà completarsi con la definizione delle opere accessorie di sistemazione dell'area, quali edifici per i diversi servizi, pesa, recinzioni, viabilità interna ecc., con l'elaborazione di precise norme per una corretta conduzione delle operazioni gestionali, e con il piano di recupero delle aree utilizzate.

L'esigenza di superare le inaccettabili modalità di smaltimento sul terreno soventemente adottate nel passato ha ovunque prodotto una evoluzione nelle tecniche di approntamento e di gestione, con una maggiore attenzione per i problemi di impatto ambientale e per la possibilità di recupero di siti degradati, insite nel metodo. Il recupero dell'immagine negativa prodotta nel passato acquista in molti paesi europei a forte densità di popolazione una

rilevanza particolare, data anche la frequente realizzazione di discariche nelle immediate vicinanze delle abitazioni.

Al riguardo, ad esempio, la legislazione francese indica una distanza minima di 200 metri.

Le principali tecnologie che si riscontrano nelle tecniche di approntamento delle nuove discariche sono oggi connesse alla modalità di protezione delle acque di falda; per tal motivo l'argomento suddetto verrà preso largamente in esame successivamente illustrando le più recenti tendenze.

In alcuni Paesi (Italia, Germania Federale, Svizzera) ci si è decisamente orientati verso discariche a fondo impermeabile, eventualmente ottenuto mediante interventi artificiali, spesso con posa di manti sintetici. In Italia e in Germania tale esigenza è oggetto di precise disposizioni regolamentari. Ciò pone problemi di raccolta e di successivo smaltimento di percolato, ma rende necessaria anche una corretta organizzazione della discarica in modo da minimizzare le portate da smaltire.

Le acque meteoriche, che non entrano in diretto contatto coi rifiuti, sono peraltro raccolte in circuiti separati per essere direttamente allontanate nei corsi d'acqua superficiali attigui alla discarica. L'insieme dello scarico è pertanto diviso in settori idraulicamente autonomi, con separazione dei circuiti delle acque pulite e di quelle inquinate (percolato + acque di scarico dei servizi presenti nella discarica ivi compreso il servizio lavaggio automezzi).

Se lo scarico è operato in depressioni del terreno (ad esempio vecchie cave in zone pianeggianti) tale sistema rende inevitabile la

progressiva sommersione dello scarico dopo il suo esaurimento, quando venga abbandonato il pompaggio necessario per l'allontanamento del percolato. Per questa ragione in alcuni Paesi si prospettano oggi i vantaggi delle discariche in elevazione in cui le acque di percolazione possono essere allontanate per gravità, e quindi essere immesse direttamente nei recapiti di superficie quando l'evoluzione dei rifiuti abbia prodotto sufficiente attenuazione della loro carica inquinante. Tale tecnica presenta anche vantaggi connessi alla diffusione dei gas, eliminando i rischi di migrazione attraverso le pareti.

D'altra parte, secondo alcune recenti proposte, le discariche impermeabili realizzate in depressioni del terreno, potrebbero offrire la possibilità di un diverso tipo di conduzione con accumulo del percolato nella discarica stessa, che viene in tal modo ad operare come un digestore anaerobico a bassa temperatura. Ne potrebbe derivare un'accelerazione dei processi di degradazione e di gasificazione, e un più razionale sfruttamento del potenziale energetico dei rifiuti. Tale possibilità é oggetto di attenta valutazione di alcuni Paesi europei. La sua applicazione potrebbe comunque essere presa in considerazione solo quando la natura geologica del terreno offra garanzia di assoluta impermeabilità o quando non si pongono comunque rischi di inquinamento delle acque di falda nell'ipotesi di perdite di percolato.

Ove tali condizioni non si verificano e si sia in presenza di interventi di impermeabilizzazione artificiale, é opportuno sottolineare i rischi connessi a considerevoli battenti idrici presenti sul fondo della discarica, dato che attraverso una qualsiasi imperfezione del sistema di impermeabilizzazione potrebbe allora

prodursi la progressiva fuoriuscita anche della totalità del percolato accumulato, vanificando così gli interventi di contenimento realizzati. Il rischio diviene grave soprattutto in corrispondenza delle scarpate laterali, ove naturalmente i manti di impermeabilizzazione vengono posati in assenza di una base di supporto di limitata permeabilità, realizzata invece (e richiesta da alcune normative) sul fondo.

In altri Paesi invece, le discariche per RSU (rifiuti solidi urbani) sono abitualmente realizzate su terreni semipermeabili in modo da consentire l'infiltrazione del percolato nel sottosuolo e da sfruttare i fenomeni di autodepurazione naturale.

In Gran Bretagna l'approvazione di un sito di discarica é comunque subordinato sempre ad un'indagine idrogeologica atta ad individuare la presenza di una zona insatura e la capacità di attenuazione degli strati che la compongono, mediante opportune prove sperimentali da condursi caso per caso.

La legislazione francese richiede che lo spessore della zona insatura, compresa tra il fondo della discarica e il più alto livello stagionale della falda, debba sempre superare i 5 metri con un coefficiente di permeabilità comunque inferiore a 10 cm/sec (10 cm. al giorno).

Oltre alla discarica controllata vi sono numerosi altri metodi, come già detto, di smaltimento dei RSU la cui scelta dipende da diversi fattori, in particolare di ordine economico ambientale e culturale. In un'indagine condotta nel 1972 dalla Tecneco, é risultato che, come media nazionale solo il 21,5% dei RSU veniva smaltito in impianti di trattamento: ciò significa che il restante 78,5% di rifiuti

veniva abbandonato in discarica incontrollata con danni ambientali gravissimi.

La situazione attuale é indicata nelle Tabb.23 elaborate dall'Ente Nazionale della Cellulosa e Carta nel 1980.

Tab.2 Tipo di smaltimento per area geografica.

Tab.3 Tipi di smaltimento adottati in Italia.

I dati mostrano che in più del 50% dei comuni viene adottato lo smaltimento dei rifiuti a discarica semplice con un deposito pari al 26,40% del totale prodotto; segue l'utilizzazione della discarica controllata nel 29% dei comuni con uno smaltimento dei rifiuti equivalente a circa il 36% del totale prodotto. Il sistema della

discarica é quindi quello ancora prevalentemente adottato: nell'80% dei comuni, con il 60% del totale prodotto.

Dalla Tab.2 si evidenzia come varia la tipologia degli impianti di trattamento in funzione delle aree geografiche italiane.

Nel Sud ad esempio, l'82,6% dei comuni utilizza la discarica semplice, mentre questa percentuale scende al 39,7% nei comuni dell'Italia centrosettentrionale. Dalla stessa tabella si vede come con il crescere della dimensione del centro urbano, cresce il livello di sofisticazione degli impianti di smaltimento: nei centri con oltre 100.000 abitanti sono utilizzati impianti multipli, inceneritori, discariche controllate, nel 90% dei casi.

Ai fini dell'elaborazione dei dati economici sono state considerate le seguenti soluzioni impiantistiche:

- a) Impianti senza pretrattamento dei rifiuti
- b) Impianti con pretrattamento mediante pressaggio recanti le seguenti caratteristiche:
 - disposizione dei rifiuti in strati compattati, con stabilizzazione dei rifiuti di tipo anaerobico
 - impiego di aree a bassa permeabilità naturale o impermeabilizzate artificialmente
 - drenaggio, raccolta e smaltimento del percolato
 - captazione e smaltimento del biogas (per potenzialità nominali di RSU superiori a 50 t/giorno, é stata anche presa in considerazione, l'ipotesi di un utilizzo del gas).

1.2 INCENERIMENTO

L'incenerimento é un metodo che consente di rendere rapidamente inoffensivi i rifiuti attraverso le trasformazioni provocate dalla combustione, offrendo le massime garanzie igieniche e di continuit  di smaltimento. Come gi  detto non é un sistema di distruzione totale, ma trasforma i rifiuti solidi in altri rifiuti; consiste cio  in un'ossidazione ad alta temperatura che trasforma la parte combustibile dei rifiuti solidi o dei fanghi, in materiale solido, sterile, inerte facilmente smaltibile (scorie e ceneri) e in effluenti gassosi (fumi) utilizzando appositi sistemi di combustione (forni). Nel forno di incenerimento si realizza il processo di combustione caratterizzato da una prima fase di essiccazione ed accensione dei rifiuti, nonch  dalla combustione degli stessi ancora allo stato solido seguita dalla combustione in fase gassosa delle sostanze volatili liberatesi.

L'alimentazione dei rifiuti é sempre effettuata dall'alto e l'avanzamento della massa carburente avviene per gravit  sulle griglie, generalmente inclinate.

Altra caratteristica fondamentale   l'andamento dei fumi. Fino ad alcuni anni fa, si prendevano in considerazione tre diversi possibili andamenti dei fumi rispetto al percorso seguito dai rifiuti:

andamento equicorrente

andamento controcorrente

andamento misto.

La scelta veniva effettuata in base alle tecnologie disponibili ed alle tipologie dei rifiuti da trattare.

Attualmente, in seguito alle preoccupazioni di natura ambientale destinate dagli inceneritori, si adotta l'andamento controcorrente seguito da una postcombustione dei fumi. Dal forno quindi i fumi fluiscono in una camera di postcombustione. A seguito infatti del ritrovamento nei fumi combusti dei componenti organoclorurati, si è resa opportuna l'aggiunta di questa unità, al fine di garantire l'eliminazione o almeno il controllo di emissioni inquinanti.

Durante il processo si formano inoltre anidride carbonica, vapor d'acqua, scorie e ceneri; a seconda delle caratteristiche dei rifiuti, si possono formare, in quantità variabili, altri effluenti, quali anidride solforosa ecc. L'ossidazione libera calore; si ha come conseguenza una notevole riduzione del volume: per i rifiuti solidi il volume delle scorie e delle ceneri risultanti dall'incenerimento, costituisce il 10÷20% di quello dei rifiuti (e il 30% in peso), mentre per i fanghi il volume delle ceneri, arriva fino al 310% del volume iniziale.

Le finalità sono:

- 1) incenerire i rifiuti, producendo ceneri e scorie, contenenti residui combustibili, e sostanze putrescibili imposte dalle norme;
- 2) produrre il minor quantitativo possibile di ceneri volanti ed una combustione completa prima che i fumi entrino in caldaia e poi nell'impianto di raffreddamento fumi;
- 3) produrre fumi esenti da odori e con inquinanti nei limiti imposti dalle norme.

Il problema più grave, che dai drammatici eventi di Seveso, ha messo in crisi la validità del sistema della combustione totale dei rifiuti, è quello della emissione di microinquinanti. Recenti studi hanno messo in risalto la presenza di specie chimiche di elevata tossicità nelle ceneri e nei fumi degli inceneritori.

E' stato infatti accertato che le emissioni contengono una vasta gamma di composti organici tra cui i principali e più pericolosi, detti composti cloroorganici: sono i PCDD (policlorodibenzodiossine) ed i PCDF (policlorodibenzofurani). Queste famiglie di composti normalmente non sono presenti nei rifiuti solidi ma sono il risultato di complesse reazioni, che avvengono durante la combustione, aventi come origine altre sostanze, dette "precursori" individuate nei fenoli e polifenoli (presenti negli scarti vegetali), e nei clorobenzeni (presenti nei pesticidi e plastiche clorurate come ad esempio il PVC).

L'attuale normativa italiana (D.P.R. 915 e disposizioni applicative) prescrive pertanto che un sistema di incenerimento debba essere dotato oltre che della zona di combustione primaria anche di quella di postcombustione. In tale zona il completamento della combustione dei composti inquinanti contenuti nei fumi, é garantito dal mantenimento di adeguate condizioni di processo: temperatura sufficientemente elevata, buon mescolamento e disponibilità di ossigeno per completare le reazioni di ossidazione.

Salvo prescrizioni più restrittive stabilite dalla Regione, la camera di postcombustione deve rispettare , nel caso di RSU , dei rifiuti speciali e dei rifiuti tossici e nocivi diversi da quelli nei quali é presente cloro organico in concentrazione superiore al 2%, i seguenti valori operativi minimali:

tenore di ossigeno libero nei fumi	6%	in volume	
velocità media nei gas nella sezione di ingresso	10	m./sec	
tempo di contatto	2	s.	tempera

Accanto ai prodotti di combustione presenti nei fumi (essenzialmente N_2 , CO_2 , H_2O , O_2), vengono ammesse anche piccole quantità di elementi inquinanti:

- a) inquinanti solidi (polveri)
- b) inquinanti gassosi (SO_2 , SO_3 , HCl , CO_2 , HF ecc.).

Vista così la necessità di limitare le suddette emissioni solide e gassose, è necessario procedere ad un raffreddamento dei fumi.

Infatti se venissero introdotte delle apparecchiature di depolverizzazione (multicicloni o elettrofiltri) a circa $900\div 1000^\circ C$, creerebbero inconvenienti tali da danneggiarle e da non consentire l'abbattimento di polveri desiderato. Inoltre il raffreddamento dei fumi è consigliato da considerazioni di carattere energetico e di recupero di calore come vedremo tra breve.

Sono ammessi anche sistemi di incenerimento di tipo diverso, purché in grado di assicurare pari efficienza in termini di combustione continua e di registrazione della temperatura e della concentrazione di ossigeno libero.

In tutti gli impianti destinati all'incenerimento dei rifiuti devono essere applicati sistemi di blocco automatico dell'alimentazione se la temperatura dei fumi scende a valori inferiori di $50^\circ C$ rispetto a quella minima prescritta nel provvedimento di autorizzazione.

A carattere periodico, e in relazione alle caratteristiche degli impianti, ed a particolari rischi derivanti dalla natura dei rifiuti da trattare, dovranno essere analizzati gli effetti gassosi e le ceneri, per verificare l'eventuale presenza, nei medesimi, di microinquinanti organoclorurati.

Per i rifiuti solidi, la parte combustibile, può essere considerata somma del contenuto in materia cellulosa (carta, legname, vegetali ecc.) con potere calorifico relativamente basso, e del contenuto in materiale ad alto potere calorifero (plastica, gomma, ceneri non totalmente combuste ecc.). Come ordine di grandezza, valori del p.c.i. intorno alle 1500 kcalorie/kg, rappresentano il confine tra rifiuti di qualità e rifiuti che richiedono aggiunta di combustibile per mantenere il processo di combustione.

Il progressivo aumento del potere calorifero dei rifiuti solidi urbani, e la necessità di ridurre fortemente il volume, ha favorito la diffusione dell'incenerimento.

Fatti salvi casi specifici, espressamente valutati ed ammessi dalla Regione competente, gli impianti destinati all'incenerimento dei rifiuti urbani non possono avere potenzialità inferiore a 100 tonnellate/giorno, di rifiuti.

Negli impianti di incenerimento per RSU ed assimilabili con potenzialità termica minima a partire da 107 Kcal/h é opportuno il recupero di energia dal calore sensibile dei fumi. Il recupero può essere ottenuto con:

- produzione di energia termica ed elettrica
- cogenerazione di energia termica ed elettrica
- produzione di sola energia elettrica.

Il recupero può avvenire sfruttando i fumi effluenti a 900÷1000°C e/o sottraendo calore dalle pareti della camera di combustione mediante fasci di tubi. E' così possibile ottenere acqua calda o vapore surriscaldato, utilizzato come tale ovvero per

produrre energia elettrica. La scelta del tipo di energia da recuperare dipende dal tipo e dalla presenza di utilizzatori in prossimità dell'impianto.

La validità dei recuperi é confermata al di sopra di soglie minime dimensionali dell'impianto, solo se si riescono a compensare i maggiori costi di installazione e di esercizio con i ricavi dalla vendita dell'energia recuperata.

Nel campo delle usuali realizzazioni, dall'incenerimento di 1 tonn. di RSU con p.c.i. di 1500 Kcal/kg, si possono produrre 1,6÷1,8 tonn. di vapore o 0.320 KWh. Gli impianti più semplici sono quelli destinati a produrre acqua calda ottenuta facendo passare le tubazioni nelle pareti del forno e attraverso i fumi. L'acqua viene riscaldata sino ad una temperatura prossima a quella di ebollizione ed inviata, in tubazioni termicamente isolate, agli utilizzatori. Questa forma di utilizzo presuppone comunque la loro ubicazione a breve distanza dall'inceneritore (1 Km. o poco più). Se l'acqua calda é destinata al riscaldamento di abitazioni, l'utilizzo é solo stagionale: se é impiegata come acqua calda per servizi, l'utilizzo può essere più costante.

La produzione di vapore richiede apparecchiature analoghe ma più complesse. Il vapore può essere poi utilizzato tal quale o servire per produrre energia elettrica. Per la produzione di vapore l'acqua viene generalmente preriscaldata nell'economizzatore, da cui i fumi escono a temperatura di 250÷300°C, quindi vaporizzata nel vaporizzatore. L'inceneritore diventa così in sostanza un particolare tipo di caldaia per la produzione di vapore, utilizzando un combustibile non tradizionale.

Gli utilizzatori di vapore devono, come per l'acqua calda, essere relativamente vicini all'impianto e garantire possibilmente un utilizzo continuo. Tra i possibili utilizzatori di vapore si possono annoverare :

- magazzini frigoriferi
- industrie chimiche
- macelli
- cartiere
- centrali termo elettriche
- centrali termiche
- ospedali
- piscine
- serre.

E' oggi allo studio la possibilità di utilizzare il vapore prodotto per essiccare i fanghi di depurazione dei liquami domestici, che potrebbero poi essere adottati al forno come combustibile organico.

La produzione di energia elettrica si ottiene facendo passare il vapore in turbina, accoppiata ad un alternatore, e quindi, in un condensatore che lo rimette in ciclo. L'energia elettrica così generata viene in parte utilizzata per i consumi interni ed il resto immessa in rete.

Ai fini di confronti di dati economici, che vedremo più avanti , sono state considerate le seguenti tipologie di processo :

- a) Incenerimento totale
- b) Incenerimento con recupero totale di vapore
- c) Incenerimento con recupero totale di energia elettrica
- d) Incenerimento con cogenerazione (produzione di vapore e energia elettrica in cogenerazione).

1.3 IMPIANTI A RECUPERO

1.3.1 GENERALITA'

In alternativa allo scarico controllato ed all'incenerimento, lo smaltimento dei RSU può essere effettuato considerandoli come fonte di energia e di risorse in essi contenute recuperabili e riutilizzabili .

Allo stato attuale della tecnica i RSU sono riutilizzabili:

- a) usandoli direttamente come combustibile recuperando il calore da utilizzare direttamente o da trasformare in altre forme di energia (Incenerimento con recupero di energia)
- b) trasformandoli in altri combustibili solidi, liquidi gassosi (Pirolisi)
- c) selezionando i materiali a reimpiego diretto (carta, plastiche, ferro, vetro)
- d) selezionando i materiali a reimpiego dopo trasformazione (sostanze organiche per produzione di compost, sostanze combustibili per produzione di combustibili solidi (R.D.F. Refuse Derived Fuel)) .

Il riciclo di cui ai punti c) d), diviene economicamente conveniente, quando il costo della separazione e il valore dei materiali recuperati siano inferiori al costo di approvvigionamento della materia prima vergine (per esempio costo per la separazione e valore economico della carta da macero, contro costo della paglia e/o legno , tenendo conto ovviamente dei diversi costi di lavorazione delle due diverse materie prime e del valore dei prodotti ottenibili); nel bilancio economico sarà altresì valutata la voce di spesa per lo smaltimento obbligatorio del materiale che non venisse recuperato. Il riciclo deve altresì consentire un risparmio energetico come differenza positiva tra i valori energetici necessari per produrre la prima volta i materiali

e quelli necessari per la loro reimmissione nel ciclo dopo il recupero. Vedi a tal proposito la Tab.4.

In tale tabella, per i principali materiali che compongono i RSU, sono indicati i valori energetici per la produzione primaria e il fabbisogno energetico per il loro reimpiego dopo il recupero (a meno dell'energia necessaria per il recupero e la raffinazione da valutarsi in funzione dei sistemi adottati). Per esempio: per la carta é considerato da un lato l'energia necessaria per coltivare le piante, tagliarle, trasformarle in pasta di carta, e dall'altro lato l'energia per la ritrasformazione in pasta di carta e poi in carta .

Tab.4 Valori energetici per i principali materiali che compongono i RSU, nel processo primario e per il reiserimento in quello produttivo.

E' da tener presente che il recupero é possibile e, maggiormente conveniente a monte del conferimento (raccolta differenziata), oltre che tramite gli impianti a recupero . E' da escludere che si possa giungere ad una spinta selezione dei materiali a monte del

conferimento potendo contare solo limitatamente sulla, peraltro indispensabile, collaborazione del cittadino utente del servizio di N.U.

1.3.2 MATERIALI RECUPERABILI

I materiali contenuti nei RSU e suscettibili di essere recuperati sono essenzialmente i seguenti :

materiale organico putrescibile:

materiale celluloso;

materiale plastico;

materiali metallici;

materiale vetroso;

materiale combustibile.

Un impianto di riciclaggio non deve necessariamente prevedere fin dall'inizio, tutti i recuperi sopra menzionati, ma é essenziale che esso lasci la possibilità a che detti recuperi possano verificarsi in futuro, qualora mutamenti nelle caratteristiche merceologiche dei rifiuti, o nel mercato dei prodotti recuperati, ne dimostrassero la convenienza.

Dati relativi alla quantità di rifiuti solidi urbani prodotti in Italia (C.N.R. 1978÷79) sono riassunti in Tab.5.

Il materiale organico putrescibile rappresenta, almeno in Italia, una delle componenti dei rifiuti quantitativamente più importante (vedi Tab.6)

Tab.5 Dati relativi alla quantità di RSU prodotti in Italia 1978/79

Tab.6 - Dati relativi alle caratteristiche qualitative dei RSU in Italia e di alcune grandi città.

Il suo recupero implica quindi una significativa riduzione delle quantità dei rifiuti da smaltire.

Un tipico tradizionale processo che prevede il recupero di questa frazione, unitamente ad una certa parte del materiale cellulosico, é quello della trasformazione in fertilizzanti organici umificati (**compost**) .

Dalla parte più nobile del materiale organico putrescibile é stato anche prodotto mangime per animali. La tecnologia produttiva (selezione, sterilizzazione, triturazione, essiccamento) comportava, peraltro, elevati costi di investimento e di gestione e la qualità del mangime, soprattutto per la presenza di inerti, ha sollevato, da più parti, numerose riserve.

Il materiale cellulosico, essenzialmente carta e cartoni, può essere recuperato da impianti di riciclaggio sotto forma di carta grezza in balle con processi a secco. La successiva lavorazione del prodotto grezzo, in reparti satelliti, permette la produzione di pasta di carta presso lo stesso impianto di recupero. Tuttavia, tenendo conto degli alti costi di esercizio e di investimento connessi con l'impianto di produzione della pasta e con l'impianto di trattamento degli effluenti liquidi, e, tenuto altresì conto delle grandi fluttuazioni di mercato della carta da macero, la tendenza attuale sembra piuttosto quella di recuperare direttamente la carta grezza in balle o di trasformare questa frazione in combustibile urbano (RDF).

Per quanto riguarda le materie plastiche, i principali polimeri presenti nei RSU sono rappresentati da polietilene a bassa densità, da polivinilcloruro (PVC) e da polistirolo.

Dal punto di vista del recupero viene fatta la distinzione tra plastica leggera e plastica pesante. La prima è costituita principalmente da polietilene a bassa densità. Essa può essere recuperata grezza in balle oppure, dopo lavorazione in apposito reparto satellite, sotto forma di granulo.

Tra i materiali metallici, il ferro è quello che vanta una lunga tradizione di recupero. Esso può essere recuperato oltre che in impianti di riciclaggio e di trasformazione in compost, anche in impianti di incenerimento (dalle scorie) e discarica controllata. Per i metalli non ferrosi, (alluminio, rame) essendo ancora piuttosto bassa la loro percentuale nei RSU italiani non sono mai stati presi in seria considerazione, perlomeno in Italia, sistemi miranti al loro recupero.

Per il vetro la tendenza attuale è quella di non includerlo nel novero dei materiali recuperabili in impianti di trattamenti finali dei rifiuti. Le operazioni infatti da compiere per la selezione del vetro (sia per metodo ottico che per flottazione) risultano onerose sia sul piano economico che tecnico e non giustificate dal basso valore intrinseco del materiale. Inoltre il prodotto recuperato crea notevoli problemi per il suo riutilizzo in vetreria a causa del suo elevato contenuto di inquinanti (sassi, ceramiche, metalli ecc.), deteriorandone la qualità delle colate e provocando danneggiamenti ai forni di fusione.

I rifiuti solidi urbani possono essere usati direttamente come materiale combustibile secondo una delle seguenti modalità :

- a) incenerimento di rifiuti grezzi con recupero di energia
- b) combustione di un prodotto derivato dalla selezione delle frazioni combustibili presenti nei rifiuti.

Il prodotto combustibile derivato dai rifiuti dopo selezione, viene denominato, con terminologia anglosassone, R.D.F. (Refuse Derived Fuel).

Tale prodotto può offrire, a seconda del ciclo produttivo, un'ampia gamma di qualità. In genere in Italia si fa riferimento ad un RDF ottenuto separando la frazione leggera dei rifiuti (soprattutto carta e plastica leggera) nell'ambito di impianti di smaltimento tendenti al recupero anche di altri prodotti (impianti di compostaggio o di riciclaggio).

In diverse esperienze estere si è invece teso a produrre in impianti ad hoc e, come materiale di recupero, un RDF non eccessivamente raffinato, con rese anche del 90% del rifiuto grezzo trattato. E' evidente come la scelta tecnologica da operare dipenda molto dalle caratteristiche qualitative degli stessi rifiuti grezzi (e, in particolare dal loro potere calorifero), dal tipo di utilizzatore, dalla distanza di questo dall'impianto di produzione di RDF, ecc.

Esigenze di commercializzazione portano poi a produrre dell' RDF con diversa forma fisica: grezzo (in piccola o media pezzatura), pellettizzato o, secondo una più recente tendenza tecnologica di alcune ditte del settore, densificato.

1.3.3 SCHEMI PRODUTTIVI QUANTITA' RECUPERABILI

La valutazione dei recuperi di materiali conseguibili nello smaltimento dei rifiuti, può essere fatta considerando le diverse tipologie di impianto, con indicati i prodotti ottenibili:

1) Compostaggio

- Compost
- Metalli ferrosi

2) Riciclaggio parziale

- Compost
- Metalli ferrosi
- RDF

3) Riciclaggio totale

- Compost
- Metalli ferrosi
- Carta e cartoni/Pasta di carta
- Plastica leggera/Granulato plastico
- RDF.

La composizione merceologica media assunta per i RSU grezzi, é quella riportata in Tab.5, nell'ultima colonna.

I dati sulle percentuali di recupero di seguito esposte derivano da esperienze di ditte del settore e di società di gestione di impianti a recupero (SO.GE.IN. e altre), e da elaborazioni dell'Istituto di Ingegneria Sanitaria del Politecnico di Milano. Tali percentuali vanno ovviamente riferite ad impianti che operano in condizioni ottimali.

Negli impianti di compostaggio la frazione di rifiuto grezzo inviata alla trasformazione in compost oscilla, in funzione dello schema tecnologico adottato tra il 60 e l'80%.

Il valore più alto, può essere assunto per processi con maturazione naturale in aia, con preselezione grossolana e successiva selezione del prodotto dopo maturazione. Il valore più basso è usualmente raggiunto in impianti che prevedono sistemi più complessi di fermentazione (biodigestori, aie con insufflazione d'aria). Ad esso corrisponderà una linea di preselezione, ovviamente più spinta.

Durante la fase di maturazione del compost si hanno perdite, dovute sia all'evaporazione dell'acqua che agli stessi processi di fermentazione, valutabili oscillanti attorno al 30% in peso del flusso di materiale da compostare. Durante la fase di raffinazione tra il 15 e il 20% in peso dello stesso materiale, viene separato e inviato nel flusso dei sovralli. Il compost prodotto risulterà quindi essere compreso tra il 30 e il 35% in peso riferito al materiale grezzo in ingresso all'impianto ed al 45÷55% in peso del flusso del materiale della frazione addotta al compostaggio.

Il ferro recuperato corrisponderà a circa il 93÷96% di quello in ingresso, pari al 33,5% in peso sul rifiuto grezzo.

Il materiale da addurre a discarica può essere stimato tra il 40 e il 50% in peso sul rifiuto grezzo in ingresso.

Nella Fig.1 è riportata una rappresentazione schematica indicativa dei flussi di materiale in ingresso e in uscita che si hanno in un tradizionale impianto di compostaggio.

Fig.1.- Rappresentazione schematica indicativa dei flussi di materiale in ingresso ed in uscita in un'impianto di compostaggio.

Per tali impianti si sono assunte le seguenti ipotesi:

Flusso di materiale inviato al compostaggio =	60%	RSU in ingresso
Perdite in fermentazione =	30%	flusso inviato al compostaggio
Rigetti della raffinazione del compost =	23%	flusso inviato al compostaggio
Compost prodotto =	33%	RSU in ingresso
Sovvalli =	46%	RSU in ingresso
Ferro recuperato (non depurato) =	3,2%	RSU in ingresso

Negli impianti a riciclaggio parziale, dopo la selezione automatica, circa il 70% in peso del rifiuto in ingresso può essere inviato alla linea di compostaggio. Il 95% in peso del materiale

ferroso, pari a circa il 3,2% in peso sul rifiuto grezzo, viene recuperato tal quale, mentre la restante frazione, pari al 27,5% in peso del rifiuto grezzo, può essere utilizzata nella produzione di RDF.

La composizione merceologica delle tre frazioni recuperata é riportata in Tab.6 già vista precedentemente. Ovviamente le percentuali citate non sono restrittive, ma vanno considerate a carattere puramente indicativo.

In particolare l'RDF può essere prodotto anche con una percentuale di organico che ne migliorerebbe le caratteristiche. Il tutto comunque per assumere un carattere di rigosità dovrà essere esaminato alla luce di sperimentazioni mirate, non potendo a tutt'oggi fare affidamento su una significativa casistica di impianti in esercizio.

Il rendimento in compost della linea di compostaggio può essere assunto pari a circa il 42% in peso del materiale inviato alla linea stessa; il 30% circa di tale flusso viene perduto per evaporazione e per trasformazioni biologiche, mentre il restante 28% (circa) viene a costituire i rigetti inerti dopo la raffinazione totale.

Nella fase di depurazione finale del ferro, nel caso in cui essa sia prevista, si perde come rigetto inerte circa il 16% del materiale ferroso grezzo.

In sintesi, da un impianto di riciclaggio parziale, completo di un reparto satellite per la depurazione del materiale ferroso grezzo, si possono ottenere mediamente i seguenti prodotti (espressi come percentuale in peso sul rifiuto grezzo in ingresso) :

-materiale ferroso pulito 2,53%

-RDF densificato 27÷28%

-compost maturo e depurato 28÷30%

-rigetti inerti 18÷20%.

Il recupero globale massimo raggiungibile è pari al 60% circa. Tali flussi materiali del processo sulla base delle ipotesi di rendimento assunto, sono riassunti graficamente nella Fig.2.

Fig.2 Rappresentazione schematica indicativa dei flussi di materiale in ingresso ed in uscita in un'impianto di riciclaggio parziale.

Nel caso degli impianti a riciclaggio totale viene spesso privilegiato il recupero della carta e della plastica leggera a spese di una minor produzione di RDF. Tale affermazione non ha carattere assoluto in quanto il flusso relativo di carta e di plastica e di RDF viene influenzato dalle caratteristiche del mercato per questi prodotti. In questa sede pertanto si fanno solamente delle ipotesi di rendimento per i diversi materiali per uno schema produttivo tipo.

In Tab.7, sono riportate le quantità e le composizioni delle frazioni recuperate dopo la fase di selezione automatica.

Tab.7 Quantità e composizione indicativa delle frazioni recuperabili dopo la selezione automatica in un'impianto di riciclaggio totale.

La frazione compostabile é sempre il 70% circa del rifiuto grezzo in ingresso; la carta grezza rappresenta il 17% circa e la plastica leggera grezza il 23% del rifiuto in ingresso, con rendimenti di recupero rispettivamente del 75% e del 70% circa mediamente sulle frazioni corrispondenti. Il materiale ferroso grezzo é pari al

33,5% in peso (con un rendimento di separazione del 95% circa), e l'RDF rappresenta infine l'89% in peso del rifiuto grezzo trattato, ed é essenzialmente costituito da gran parte della carta e della plastica leggera non recuperate come tali (le restanti quantità fanno parte della frazione compostabile), dall'organico non recuperato come compostabile, dalla plastica pesante e da sostanze varie.

La fase di compostaggio presenta rendimenti analoghi a quelli indicati per l'impianto di riciclaggio parziale, in quanto identiche sono sia le condizioni di processo sia la natura e composizione della frazione compostabile alimentata.

Le quantità dei prodotti recuperabili in uscita da un impianto di riciclaggio totale, qualora siano presenti i reparti satelliti per la produzione di pasta di carta e di granulato plastico, e per la depurazione dei materiali ferrosi, sono dunque le seguenti (esprese come % in peso sul rifiuto grezzo trattato) :

- materiale ferroso pulito 2,53%
- pasta di carta al secco comm. (88%) 12÷14%
- granulato plastico 1,52%
- RDF densificato 89%
- compost maturo e depurato 28÷30%
- rifiuti inerti 2425%.

Il rendimento totale di recupero oscilla intorno al 60% in peso sul totale dei rifiuti trattati. La percentuale maggiore si riferisce a RSU più ricchi di materiale celluloso e aventi minor contenuto di materia organica, e quindi di umidità.

I flussi materiali del processo sono riassunti graficamente in Fig.3.

Fig.3 rappresentazione schematica indicativa dei flussi di materiale in ingresso ed in uscita in un'impianto di riciclaggio totale.

1.3.4 ANALISI DEI MATERIALI RECUPERATI

L'elenco dei materiali che attualmente possono essere recuperati é riportato in Tab.8, con indicato il sistema proponibile e le quantità ricavabili.

Tab.8 Elenco dei materiali attualmente recuperabili, con indicato il sistema proponibile, la quantità ricavabile in (Kg/t RSU), la qualità, lo stato del mercato e l'indicativo prezzo di vendita.

Nella Tab.9 sono invece indicati i materiali e/o le tecnologie di recupero che non possono essere proposte per le motivazioni in tabella.

Tab.9 Elenco dei materiali e/o tecnologie di recupero attualmente non proponibili per motivi tecnico economici.

Attualmente lo stato della commercializzazione può essere così sinteticamente delineato per i diversi materiali:

CARTA

Il mercato esiste anche se la quantità della cartaccia ottenuta negli impianti di riciclaggio può presentare, almeno per alcuni usi, dei problemi. La vendita risente molto di un mercato fluttuante, con continue variazioni del prezzo.

VETRO

Il mercato esiste solo per il prodotto ricavato da raccolta differenziata, che viene reimpiegato senza molti problemi

PLASTICA

La qualità della plastica recuperata è molto scadente e le tecnologie proposte per il suo reimpiego appaiono, a tutt'oggi, non completamente affidabili o collaudate. Mancano inoltre imprese attrezzate per il riutilizzo del materiale. Il mercato pertanto attualmente è inesistente.

FERRO

Può contare ormai su un mercato consolidato e non porre problemi per la sua commercializzazione. L'incidenza del ferro selezionato dai RSU sul totale del rottame di ferro impiegato in Italia è comunque trascurabile.

ALLUMINIO

La qualità del materiale ottenibile con la raccolta differenziata delle lattine, è molto buona e non pone problemi per il suo impiego. Dati gli elevati risparmi energetici che si conseguono con il riciclo dell'alluminio di recupero, rispetto alla produzione della materia prima, il mercato è molto ricettivo. Le qualità recuperabili inoltre possono incidere notevolmente sulle importazioni italiane di rottame. Il prezzo di vendita del materiale recuperato è molto alto.

RDF

Il mercato, pur promettente al momento attuale non esiste. L'impiego di questo prodotto, alternativo ai combustibili solidi, é ancora allo stato sperimentale. Una sua buona commercializzazione potrebbe in futuro risolvere i problemi legati al mercato della plastica che potrebbe essere recuperata quasi esclusivamente nella produzione di RDF.

COMPOST

E' un tradizionale prodotto di recupero dai RSU che soffre da sempre di problemi di commercializzazione legati alla scadente qualità con la quale assai spesso viene prodotto e ad una mancanza di una efficiente rete organizzativa per la sua produzione e vendita e per l'assistenza tecnica agli agricoltori. Un mercato potenziale é quindi presente per un compost di buona qualità a basso prezzo.

Esiste in tema di ricircolo di materiali di recupero un vuoto normativo che andrebbe colmato. Se é vero infatti che la qualità dei materiali recuperati non é in genere elevata, é vero anche che per molte produzioni non sempre é necessaria la massima purezza dei materiali impiegati. Al riguardo in diversi paesi sono state elaborate normative che fissano o incentivano per diversi prodotti i livelli quantitativi minimi di materie di recupero da adottare. Tali livelli ad esempio sono previsti negli Stati Uniti dal "Resource Conservation and Recovery Act", 1976, per la carta impiegata dalle Amministrazioni Pubbliche.

Le decisioni relative ad iniziative di recupero, soprattutto con impianti di recupero, e le diverse considerazioni, spesso emotive, riguardanti i vantaggi conseguibili in termini di risparmi di energia e di risorse naturali, di favorevoli bilanci economici, di protezione dell'ambiente, di funzioni socioeducative, ecc., debbono prioritariamente confrontarsi con i problemi di commercializzazione dei recuperi ipotizzati.

In particolare per gli impianti di riciclaggio nell'attuale panorama di incertezza della situazione italiana, apparirebbe ragionevole, piuttosto che dibattere sulle affascinanti possibilità offerte dal recupero, o sulle "filosofie" di processo, intraprendere, anche su larga scala, un'unica e seria iniziativa che abbia carattere sperimentalepilota, che sia ben controllabile scientificamente, tecnicamente ed economicamente, e che in ultima analisi rappresenti un punto di riferimento (positivo o negativo), scoraggiando nel frattempo il moltiplicarsi di iniziative che potrebbero risultare fallimentari.

Il processo specifico del compostaggio verrà ripreso e trattato approfonditamente, in un apposito capitolo in seguito.

Ai fini dell'elaborazione dei dati economici, sono state prese in esame le seguenti tipologie di impianto:

- a) Riciclaggio parziale con produzione di compost depurato e raffinato, ferro grezzo e RDF
- b) Riciclaggio totale con produzione di compost depurato e raffinato, ferro depurato, RDF, carta e plastica in balle
- c) Riciclaggio totale completo. Analogo al precedente ma con reparti satelliti per la produzione di pasta di carta e granulato plastico.

1.4 ALTRI SISTEMI DI TRATTAMENTO

I seguenti sistemi sono scarsamente diffusi, perché o poco economici o in fase sperimentale, o privi delle necessarie garanzie di affidabilità sul piano igienico gestionale.

Maggiore spazio é dedicato agli impianti per la produzione di combustibile da rifiuti (**RDF= Refuse Derived Fuels**) perché la tecnologia ad essi relativa é in forte espansione

A) IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI COMBUSTIBILI DA RIFIUTI (RDF)

Sono impianti per la produzione di **RDF** (Refuse Derived Fuels) quelli in cui una frazione dei RSU o assimilabili, viene selezionata e trattata in modo da ottenere un combustibile ausiliario di pezzatura e caratteristiche controllate. Nella medesima categoria rientrano gli impianti che trattano rifiuti speciali in modo da ricavarne una frazione o, renderne la totalità utilizzabile come combustibile. Gli RDF costituiti, dalla frazione combustibile e leggera dei rifiuti, costituiscono una buona fonte energetica. Le caratteristiche fisicochimiche che dipendono sia dal rifiuto di provenienza, sia dal tipo di impianto, sono particolarmente vicine a quelle della lignite.

Le esperienze europee, e soprattutto quelle americane, dimostrano che gli RDF sono particolarmente adatti all'impiego in centrali di riscaldamento urbano, di edificio e di quartiere, e negli impianti di generazione termoelettrica. E' necessario però stabilire delle caratteristiche di riferimento per qualificare gli RDF al fine di poter favorire la loro commerciabilità.

Considerando la produzione di un combustibile solido che possa essere commercializzato come tale si ritiene che esso debba possedere le seguenti caratteristiche:

- a) fornire energia termica ad un costo unitario inferiore a quello dei combustibili convenzionali;

- b) poter essere maneggiato ed alimentato in unità di combustione predisposte per l'impiego di combustibili solidi senza eccessive modifiche impiantistiche ed operative;
- c) comportare, se impiegato in impianti energetici esistenti, effluenti gassosi che non richiedano aggiuntivi sistemi depurativi;
- d) il più alto contenuto di ceneri riscontrabile nell'RDF e la loro più bassa temperatura di fusione non devono essere tali da creare problemi per la rimozione delle scorie.

Indicativamente le caratteristiche del prodotto devono essere le seguenti:

potere calorifico	>	3000 Kcal./Kg.
umidità	<	20% in peso
ceneri	<	30% in peso.

Un altro aspetto qualitativo dell'RDF é legato alla forma fisica con la quale può essere prodotto, e cioè:

- a) grezzo
- b) pellettizzato
- c) densificato.

L'RDF grezzo, detto *fluff* o *a coriandolo* quando é prodotto con pezzature non superiori a 23 cm., presenta il vantaggio di una più semplice produzione con un relativo basso consumo energetico. Per contro comporta maggiori costi di trasporto, dato che il basso peso specifico (0,10,15 t./m³), richiede l'uso di combustori a sospensione completa, può consolidarsi per lunghi stoccaggi, formare ponti nell'alimentazione all'unità di combustione o comunque comportare un disagiata maneggiamento e convogliamento (intasamenti, polverosità ecc.).

Il suo impiego appare pertanto limitato ad utilizzatori ubicati nelle vicinanze dell'impianto produttore, soprattutto quando il combustibile già impiegato abbia caratteristiche simili, come il polverino di carbone.

I vantaggi e svantaggi dell'RDF grezzo praticamente si invertono per il prodotto in forma di pellets, che richiede una produzione più complessa, con più alti consumi energetici, economicamente molto più onerosa. Stoccaggio, trasporto ed utilizzo, in normali unità di combustione a carbone in pezzatura, sono peraltro facilitate, dalla consistenza del prodotto e dal più elevato peso specifico ($0,45 \div 0,50 \text{ t/m}^3$).

La produzione di RDF in pellets é quindi quella prospettabile quando si voglia commerciare questo prodotto come combustibile su un mercato non spazialmente limitato.

Attualmente si intravede la tendenza da parte di alcune ditte del settore, a proporre la produzione e l'impiego di RDF in forma densificata, cioè con caratteristiche qualitative intermedie tra le due forme prima viste, che consentono una ottimizzazione del bilancio vantaggi/svantaggi.

Le esperienze tecnicamente ed economicamente più riuscite nella produzione ed impiego di RDF si sono avute con la produzione del combustibile in forma grezza impiegato presso centrali termoelettriche a carbone, come ad esempio a Saint. Louis (USA), o in particolari caldaie industriali (soprattutto cementifici), come a Westbury (Gran Bretagna).

Anche se attualmente non esiste in Italia un mercato per l'RDF, alcune confortanti sperimentazioni condotte dal CNR, su varie qualità di RDF presso diversi tipi di utenze industriali, potrebbero indurre a pensare che in futuro si possano aprire spazi commerciali anche per questo prodotto.

Da queste esperienze é risultato:

- che l'eccessiva nobilitazione del combustibile non genera apprezzabili vantaggi operativi tali da giustificare i maggiori oneri economici di produzione
- che anche RDF non particolarmente raffinati possono essere impiegati, convenientemente miscelati ai combustibili tradizionali, senza rilevanti problemi di combustione e di gestione in generale
- che problemi di convogliamento e alimentazione, possano nascere con l'impiego di RDF in forma *fluff* ;
- che le unità di combustione più adatte all'impiego di RDF sono quelle con elevati livelli termici e alti tempi di permanenza, come in cementifici e centrali termoelettriche. Al riguardo infatti ha dato risultati negativi la sperimentazione condotta in un forno a tunnel per laterizi.

A titolo largamente indicativo, il prezzo di una eventuale vendita di RDF può essere calcolato prendendo come riferimento quello del carbone, considerando a parità di calorie fornite un deprezzamento del 60% in quanto combustibile di recupero, secondo una relazione di questo tipo:

$$C_{RDF} = C_C \cdot \text{Errore.a}$$

dove:

C_{RDF} é il prezzo di vendita dell'RDF (£/kg.)
 C_c é il prezzo di vendita del carbone (£/kg.)
 PCI_{RDF} é il potere calorifico dell'RDF (kcal/kg.)
 PCI_c é il potere calorifico del carbone (kcal/kg.)
 a é un coefficiente che tiene conto della forma fisica che sarà pari ad:

1,0	per il grezzo
1,2	per il fluff
1,5	per il densificato
1,8	per il pellettizzato

Ad esempio, considerando un RDF con potere calorifico di 3000 Kcal/Kg in forma densificata, prendendo come confronto un carbone con potere calorifico di 7000 Kcal/Kg e un prezzo di vendita di 200 £/Kg, si potrebbe stimare un prezzo di vendita per il combustibile di recupero pari a circa 50 £/Kg.

Si riporta qui di seguito un'indagine svolta da J.I.Walpot in Olanda sulle possibilità di mercato dell'RDF.

La produzione e l'uso dell'RDF in Olanda non sono ancora diffusi su larga scala, a causa delle opposizioni di tipo tecnico, economico, e di tipo ambientale che si sono finora presentate, insieme alle incertezze ancora presenti in questo campo.

La scelta dei sottomercati potenzialmente allettanti, per la distribuzione commerciale dell'RDF, é stata fatta in base ad:

Un'analisi dei consumi energetici olandesi per le singole attività economiche del paese

un'analisi delle quantità dei rifiuti in offerta

un'analisi delle statistiche sulla produzione industriale

la letteratura esistente sul tema dell'RDF.

Per ogni sottomercato é stata stimata l'attrattiva teorica dell'utilizzo dell'RDF, tenendo presenti i requisiti riguardanti la corrente elettrica, l'esperienza acquisita con i combustibili solidi, la possibilità di bruciare i rifiuti di una ditta insieme all'RDF, e proposte simili.

I risultati ottenuti sono riportati in Tab.10

La Tab.11 riporta invece una valutazione sulla desiderabilità dell'RDF sulla base dei requisiti energetici, dei problemi di smaltimento dei rifiuti, e dei dati esistenti in letteratura.

Sembra che solo delle compagnie o organizzazioni interpellate, abbia considerato la possibilità negli ultimi anni, di usare l'RDF come combustibile, anche se nel corso della ricerca di mercato, sono state coinvolte solo quelle compagnie e organizzazioni che, sulla base della quantità di energia utilizzata e dell'esperienza acquisita all'estero, potrebbero realisticamente utilizzare l'RDF come combustibile. L'interesse per l'RDF ha origine recente (dal 1983 in poi) e spesso é legata all'iniziativa degli stessi produttori.

Tab.10 Valutazione della "desiderabilità" dell'RDF per l'utilizzo nei singoli sottomercati.

Tab.11 "Desiderabilità" potenziale dell'RDF per i diversi sottomercati con particolare riguardo ai vantaggi energetici e al problema dei rifiuti

Solo metà delle compagnie intervistate non si aspetta di vedere in futuro alcun cambiamento nell'uso di energia. Il motivo principale risiede nel fatto che, avendo già ridotto i costi energetici in buona misura, nessun ulteriore cambiamento dovrebbe essere possibile.

Le compagnie che pensano realmente di poter ridurre i costi energetici in futuro, associano tale riduzione all'introduzione dell'energia termica, di sistemi ad energia totale, e all'uso del calore residuo. La possibilità di usare l'RDF viene quotata meno rispetto a quella di usare altre misure di risparmio energetico. Si può tuttavia concludere che delle 71 compagnie e organizzazioni interpellate, 8 sono attualmente impegnate nell'introduzione dell'RDF oppure stanno considerando le possibilità offerte dall'RDF.

L'RDF é allettante per compagnie e organizzazioni per cui siano importanti uno o più dei seguenti aspetti:

- consumo elevato di energia
- esperienza nell'uso dei combustibili solidi
- elevata percentuale del costo dell'energia sul valore aggiunto lordo
- esperienza con equipaggiamenti e metodi di pulizia delle condotte del gas
- problemi nella lavorazione dei loro stessi rifiuti combustibili
- disponibilità di esperienze internazionali nell'uso dell'RDF in attività industriali simili alla propria.

I sottomercati che offrono le migliori possibilità di utilizzo dell'RDF sono:

- a) Compagnie per la produzione di energia elettrica
- b) Impianti di produzione di calore (impianti municipali e distrettuali con eventuale produzione di energia elettrica)
- c) Industria del cemento
- d) Industria della carta e derivati
- e) Impianti di depurazione delle acque e fanghi
- f) Industria alimentare
- g) Industria metallurgica di base
- h) Industria per materiali da costruzione.

I più importanti ostacoli incontrati dai potenziali acquirenti sono:

- problemi di inquinamento dell'aria;
- corrosione degli impianti;
- la composizione chimica dell'RDF;
- atteggiamenti e reazioni degli abitanti locali;
- approvazione pubblica;
- problemi di smaltimento dei residui;
- incertezze riguardo alla disponibilità di RDF in futuro.

B) IMPIANTI DI FERMENTAZIONE ANAEROBICA E DI METANIZZAZIONE

Impianti in cui la frazione organica dei RSU viene fatta fermentare in ambiente controllato e in condizioni di anaerobiosi per produrre biogas.

C) IMPIANTI DI COCOMBUSTIONE

Sono impianti di cocombustione gli impianti termici il cui funzionamento é assicurato prevalentemente, o in caso di necessit , anche totalmente, da combustibili tradizionali, ma che possono sviluppare parte o tutta la loro potenzialit  termica utilizzando, combustibile ausiliario ricavato dai RSU o assimilabili e da rifiuti speciali, ovvero utilizzando rifiuti tal quali.

D) IMPIANTI DI PIROLISI

Sono impianti di pirolisi quelli in cui viene effettuata la distillazione e la decomposizione dei rifiuti in difetto di ossigeno; gli effluenti gassosi ottenuti possono essere completamente ossidati in una seconda camera di combustione, oppure trattati e/o utilizzati in modo da separare per condensazione le frazioni liquefacibili e da utilizzare come combustibili quelle aereiformi. Il residuo solido, in relazione alla natura dei rifiuti trattati ed alle caratteristiche dei processi utilizzati, pu  essere impiegato come combustibile ausiliario o essere posto a discarica.

Il gas recuperato ha un potere calorifico variabile da 3000÷5000 Kcal./Nm³ con un tenore di metano fino al 15% (potere calorifico del metano 9000Kcal./Nm³). Gli impianti pi  utilizzati sono:

- forno verticale;
- forno rotante;
- forno a letto fluido.

E) IMPIANTI DI GASSIFICAZIONE

I rifiuti vengono bruciati in difetto d'aria o, con un miscuglio di ossigeno e vapor acqueo, sotto pressione controllata; le temperature di esercizio sono le stesse che per la pirolisi. Il gas recuperato ha un

potere calorifico molto basso da 500 a 1500 Kcal./Nm³. Anche in questo processo sono impiegati gli stessi impianti della pirolisi:

- forno verticale;
- forno rotante;
- forno a letto fluido.

Altri procedimenti combinano il processo della pirolisi con quello della gassificazione.

F) IMPIANTI DI LITIFICAZIONE

Sono impianti di litificazione quelli in cui i rifiuti "tossici e nocivi" allo stato liquido o di fanghi vengono additivati e trattati in modo da realizzare la stabilizzazione chimica, e l'innocuizzazione delle sostanze tossiche contenute, trasformando quindi il prodotto ottenuto in un aggregato solido di consistenza lapidea.

G) IMPIANTI A CICLO INTEGRATO DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI

Impianti che combinano trattamenti di selezione, di compostaggio, di incenerimento, di produzione di RDF, di pirolisi e di riciclaggio per trattare rifiuti urbani, assimilabili, speciali e fanghi.

1.5 SCELTA DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO

Gli elementi da prendere in considerazione nella scelta dei trattamenti da adottare per i RSU sono:

- costo del trattamento (per tonnellate o per abitante all'anno)
- ammontare degli investimenti
- prevedibile numero di anni di funzionamento
- numero di posti di lavoro creati
- consumo di acqua e di energia

- tempi di costruzione e di entrata in funzione
- capacità di trattamento normale e capacità di punta
- grado di partecipazione della popolazione
- eventuali inconvenienti per la popolazione vicina
- inquinamento atmosferico ed idrico; odori
- tutela del paesaggio
- valorizzazione dei rifiuti
- capacità di far fronte alle perturbazioni;
- facilità di gestione.

A tal fine dovranno essere noti:

- a) le caratteristiche qualitative dei rifiuti
- b) il potere calorifico dei rifiuti
- c) il mercato per il compost o il vapore
- d) il mercato dei prodotti di recupero
- e) le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito scelto.

Nella Tab.12 é quantizzato il "grado di inquinamento ambientale" che può essere causato da una discarica incontrollata e da quella controllata, dagli impianti di incenerimento, di compostaggio, e di recupero.

Tab.12 Gradi di inquinamento ambientale e numeri indice.

Nella Tab.13 sono riportati i "vincoli relativi alla localizzazione" per i diversi sistemi di smaltimento.

Tab.13 Vincoli relativi alla localizzazione per i diversi sistemi di smaltimento.

La delibera del 27 Luglio 84, nel sottoparagrafo 3.2.1. relativo ai criteri generali per la ubicazione e la conduzione degli impianti, prevede che la loro ubicazione sarà determinata tenuto conto della loro compatibilità con l'assetto urbano e l'ambiente naturale e paesaggistico, e delle condizioni metereologiche e climatiche. Sono fatte salve le norme vigenti per la localizzazione delle industrie insalubri. Gli impianti devono essere ubicati, in conformità con la normativa tecnica (sottoparagrafo 3.2.1.), in posizione tale da rendere agevole il transito dei veicoli adibiti al trasporto dei rifiuti, evitando, ove possibile, l'attraversamento dei centri urbani.

Gli impianti per il trattamento dei rifiuti, oltre a rispettare le norme vigenti in materia di tutela dell'ambiente, debbono in ogni caso possedere requisiti tali da evitare (sottoparagrafo 3.2.2. della normativa tecnica):

- a) inquinamento da rumore;
- b) esalazioni dannose o moleste;
- c) sviluppo di larve, ratti, insetti.

Nella Tab.14 é riportata l'importanza di alcuni elementi di scelta tra i diversi sistemi di smaltimento.

Nella Tab.15 sono messi in evidenza i vantaggi e gli svantaggi dei principali sistemi di trattamento dei rifiuti.

Nella Tab.16 viene esaminato il numero degli addetti e delle competenze del personale per una buona gestione dei vari tipi di impianto.

Tab.14 Importanza di alcuni elementi di scelta tra i diversi sistemi di smaltimento.

1.5.1 POTENZIALITA' DEI DIVERSI SISTEMI DI SMALTIMENTO

Per motivi tecnici, oltre che economici, ciascun sistema di smaltimento richiede una potenzialità minima al di sotto della quale non possono essere adottate tutte le soluzioni tecniche necessarie al corretto funzionamento, né può essere garantita una gestione adeguata.

Le potenzialità per i diversi sistemi sono indicate schematicamente, in Fig.4, ove si è distinto un campo di dimensioni ottimali da un campo di dimensioni minori, tecnicamente ed economicamente giustificabili solo con soluzioni semplificate o, quando risulti dimostrata l' impossibilità di una maggiore centralizzazione.

Fig.4 Potenzialità adottabili con i diversi sistemi di smaltimento.

Impianti di dimensioni ancora minori sono da escludere, salvo che per le condizioni veramente eccezionali (ad esempio per le piccole isole), in cui l'assenza delle alternative deve far accettare soluzioni anomale sia dal punto di vista dei risultati tecnici che degli oneri economici.

A chiarimento delle indicazioni di Fig.4, si osserva quanto segue:

Uno scarico controllato normalmente condotto non dovrebbe scendere al di sotto di una potenzialità di 50 t/g. In caso di necessità tale campo può essere esteso fino a 10 t/g, eventualmente con semplificazioni nella tecnica di deposizione (ad esempio coperture meno frequenti).

Per la triturazione si è assunta una potenzialità minima di 15 t/g, corrispondente al quantitativo di rifiuti trattabile dalla più piccola apparecchiatura in commercio, per il funzionamento su di un solo turno lavorativo. Il campo ottimale comincia dalle 50 t/g, ed è subordinato a quello dello scarico controllato, oltre che ad una maggiore efficienza gestionale del trattamento.

Il pressaggio, secondo il metodo americano (formazione di blocchi pressati di rifiuti che escono da grosse presse), utilizza presse da 40 t/h. La sua applicazione resta dunque subordinata ad un'adeguata utilizzazione dell'impianto. Si è ammesso un orario di

lavoro ottimale non inferiore alle 8 ore, con possibilità di scendere a 6 ore. Il metodo giapponese consente invece una maggiore elasticità, essendo disponibile una serie di presse di diversa potenzialità (campo ottimale al di sopra delle 100 t/g, con possibilità di scendere fino a 60 t/g).

La trasformazione in compost può essere realizzata su impianti anche da sole 35 t/g, quando venga scelto il metodo di fermentazione naturale. Con impianti a fermentazione accelerata è bene non scendere al di sotto delle 70 t/g. Impianti di dimensioni rilevanti, tecnicamente ben realizzabili, possono presentare difficoltà particolari nella commercializzazione del prodotto.

Per tale motivo in Fig.4 il campo al di sopra delle 300 t/g è stato indicato con una simbologia particolare.

Per impianti misti (trasformazione in compost ed incenerimento), la presenza del forno consiglia di non scendere al di sotto delle 90÷120 t/g..

Per le dimensioni maggiori, valgono le stesse osservazioni fatte in precedenza per la sola trasformazione in compost.

I sistemi a recupero sono applicabili al di sopra delle 150÷200 t/g, quando non sia prevista la lavorazione della carta in pasta di carta. In quest'ultimo caso sono in genere preferibili potenzialità superiori. Tali indicazioni si riferiscono al recupero di carta, ferro, compost, ed eventualmente di mangime. Non si dispone di elementi per quanto riguarda vetro, plastica ed alluminio.

L'incenerimento senza recupero di calore, é applicabile al di sopra delle 72 t/g (due forni da 1,5 t/h). E' questa infatti la

potenzialità minima per garantire una corretta combustione dei rifiuti e per giustificare apparecchiature di depolverazione a livello sufficiente per non creare problemi di inquinamento atmosferico. Inceneritori di minori potenzialità, debbono costituire veramente un'eccezione, in assenza di ogni altra possibilità. Al di sopra delle 200 t/g é in genere opportuno prevedere una forma di recupero energetico. Già tra le 100 e le 200 t/g é conveniente la produzione di vapore (se esistono possibilità di utilizzazione) o, eventualmente di energia elettrica per coprire i fabbisogni interni.

Per la cocombustione e la pirolisi mancano indicazioni sicure. In via orientativa si possono stabilire potenzialità minime rispettivamente di 400 e 150÷200 t/g.

1.5.2 POSSIBILITA' DI RECUPERI

Si tratta di un importante elemento di valutazione dei vari sistemi, anche al di là dell'influenza diretta sul costo di smaltimento, per i riflessi che può comportare nel risparmio di materie prime di cui l'economia nazionale é tributaria dell'estero. Questi risparmi sono quantificabili per il recupero di materiali (ferro, compost, mangime, carta) e per il recupero energetico (utilizzo del potere calorifico dei rifiuti); il recupero paesaggistico conseguente allo smaltimento sul terreno dei rifiuti, é invece di più difficile valutazione, essendo predominanti le condizioni locali.

In Tab.17 sono riportate per i vari sistemi di smaltimento le possibilità di recupero: il reimpiego sul terreno é considerato in

termini qualitativi, mentre i valori per i materiali e l'energia sono stati calcolati sulla base delle caratteristiche dei rifiuti del Mezzogiorno.

Dai valori dati in Tab.17, in Fig.5 sono riassunti i possibili ricavi derivanti dai recuperi per i diversi sistemi di smaltimento. Per il recupero paesaggistico non è stata fatta una valutazione economica, possibile solo in funzione delle condizioni locali, riportando soltanto per i diversi sistemi il volume disponibile per colmate di terreno, espresso come percentuale rispetto allo scarico controllato dei rifiuti grezzi. Analogamente non si è quantificata la possibile utilizzazione dei blocchi ottenuti con il metodo giapponese di pressaggio.

Tab.17 Possibilità di recupero per i diversi sistemi di smaltimento.

Fig.5 Possibili ricavi derivanti dai recuperi di materiali o di energia nei diversi sistemi di smaltimento.