

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 SECONDO

COSTI DI IMPIANTO E DI ESERCIZIO PER ALCUNI SISTEMI DI SMALTIMENTO DEGLI R.S.U.

2.1 INTRODUZIONE

I costi di impianto e di esercizio, costituiscono uno degli elementi di confronto più importanti nell'analisi dei sistemi di smaltimento dei RSU per una scelta ottimale del processo e del tipo di realizzazione tecnologica da adottarsi in ogni particolare situazione locale.

In quanto segue si riporta uno studio in proposito svolto da Cernuschi e Cossu [8] che analizza i costi di impianto e di esercizio per i diversi metodi di smaltimento dei RSU attualmente applicabili, valutati in corrispondenza di un certo numero di potenzialità rappresentative dell'intervallo tecnico-economico ottimale di adozione di ogni singolo sistema. Il computo è stato condotto assumendo una serie di ipotesi impiantistiche il più possibile omogenee, si da ottenere dei risultati confrontabili tra loro con un buon grado di affidabilità e considerando le tipologie di processo che corrispondono alle attuali tendenze tecnologiche di ogni singolo sistema esaminato.

Gli AA al cui lavori si fa riferimento hanno considerato le seguenti soluzioni impiantistiche:

a) SCARICO CONTROLLATO

(SC) = impianti senza pretrattamenti dei rifiuti

(SCP) = impianti con pretrattamento mediante pressaggio

b) INCENERIMENTO

(I) = puro incenerimento

(IRV) = incenerimento con recupero totale di vapore

(IREE) = incenerimento con recupero totale di energia elettrica

(IRC) = incenerimento con cogenerazione

c) COMPOSTAGGIO

(CN₁) = compostaggio con maturazione naturale in aia con preselezione grossolana dei rifiuti

(CN₂) = compostaggio con maturazione naturale in aia con preselezione spinta dei rifiuti

(CIA) = compostaggio con maturazione in aia attrezzata con insufflazione d'aria

(CB) = compostaggio effettuato con biodigestione

d) IMPIANTI MISTI

(C+I) = compostaggio con incenerimento dei sovralli.

e) IMPIANTI DI RECUPERO

(RP) = riciclaggio parziale (compost depurato e raffinato + ferro grezzo + RDF)

(RT) = riciclaggio totale (compost depurato e raffinato + ferro depurato + RDF + carta e plastica in balle)

(RTC) = riciclaggio totale completo (compost depurato e raffinato + ferro depurato + RDF + reparti satelliti)

per la produzione di pasta di carta e di granulato
plastico)

Tutte le tipologie di impianto esaminate sono state considerate al meglio delle loro possibilità realizzative, secondo le attuali tendenze di sviluppo della loro tecnologia.

2.2 POTENZIALITA' APPLICATIVE ESAMINATE

Cernuschi e Cossu, in [8], nel fare un'analisi di costi, hanno considerato un certo numero di potenzialità applicative ritenute rappresentative dell'intervallo tecnicoeconomico ottimale di adozione di ogni singola tipologia impiantistica.

Con *Potenzialita' nominale* , P_n , gli autori sopra citati hanno indicato la **potenzialità progettuale dell'impianto, indicativa della quantità dei rifiuti che l'impianto può giornalmente trattare in condizioni ottimali**; essa è così esprimibile:

$$P_n = P_h \times h \quad (\text{t/die})$$

dove:

P_h = potenzialità oraria di dimensionamento dell'impianto (t/h)

h = numero di ore di esercizio giornaliere di progetto (ore/die).

Parimenti con *Potenzialità annua* P_a . si intende la quantità di rifiuti complessivamente smaltita in un anno. Essa è esprimibile con la relazione:

$$P_a = P_n \times D \times t_p \quad (\text{t/anno})$$

dove:

P_n = potenzialità nominale (t/giorno)

t_p = tempo di funzionamento programmato dell'impianto (giorni/anno)

D = coefficiente medio di utilizzo dell'impianto

Con *Popolazione servita*, N , si indica' il numero di abitanti che può essere servito dall'impianto e, quindi, da un'indicazione sulle dimensioni demografiche del bacino d'utenza. Risulta pertanto:

Errore.= Errore.

dove:

P_g = produzione giornaliera di rifiuti procapite (Kg/ab. x giorno).

Nel calcolo della potenzialità annua P_a , il coefficiente medio di utilizzo D dell'impianto, rappresenta una valutazione numerica della continuità di esercizio dell'impianto stesso. Esso é definito come rapporto tra il tempo di effettivo esercizio (trascurate fermate di ordine non tecnico) ed il tempo programmato di funzionamento (espresso in giorni), rendendo così conto delle fermate tecniche di tipo straordinario cui può andare incontro l'impianto.

I valori di D sono caratteristici per ciascun sistema di smaltimento, ma dipendono anche dal tempo di esercizio programmato e dal numero di ore di funzionamento giornaliero. All'aumentare di queste grandezze, D tende a diminuire in quanto risultano maggiori le possibilità di disservizi o di avarie.

Il tempo programmato di esercizio può variare sia in funzione delle modalità organizzative adottate dipendenti dai contratti di lavoro, dal tipo di gestione (pubblica o privata) e da condizioni locali (mercato risorse, fluttuazioni turistiche, ecc.) sia in funzione delle esigenze di processo del sistema (esercizio continuativo o meno) e della complessità degli interventi di manutenzione ordinaria.

Ai fini dell'elaborazione e del confronto dei dati di costo sono stati fissati, per ognuno dei diversi sistemi esaminati, i valori del tempo programmato di esercizio, t_p e del coefficiente medio di utilizzo D riportati in Tab.18.

Tab.18 Valori assunti per il tempo programmato di esercizio t_p (giorni/anno) e per il coefficiente medio di utilizzo dell'impianto D .

Per lo scarico controllato, il valore di t_p può essere assunto pari a 312 giorni/anno, risultanti da un'esercizio di 6 giorni/settimana, mentre il coefficiente D può essere valutato in 0,99 : data la semplicità del metodo non esistono infatti praticamente problemi

tecnici nella continuità di esercizio, salvo che per talune disfunzioni relative agli interventi prospettati in relazione alle tendenze tecnologiche attuali, quali la durata dei manti di impermeabilizzazione artificiale, i disservizi e le rotture nei sistemi di drenaggio e di raccolta del percolato e di captazione del biogas, i problemi di esercizio di un eventuale impianto di depurazione in loco del percolato, conseguenti soprattutto al variare delle caratteristiche di quest'ultimo con l'età dello scarico. Tuttavia tali disfunzioni non comportano, salvo casi eccezionali, la fermata dell'impianto.

Nel caso di scarico controllato con pretrattamento dei rifiuti mediante pressaggio, elemento di una possibile discontinuità di esercizio é rappresentato dalla pressa. Un'eventuale avaria della pressa non pregiudica inoltre la continuità dell'esercizio, che può essere assicurata, da uno scarico di rifiuti di tipo tradizionale.

Per l'incenerimento, si é preso in considerazione un tempo programmato di esercizio di 343 giorni/anno, corrispondente a 49 settimane/anno [3 settimane sono infatti normalmente previste per la manutenzione annuale ordinaria dell'impianto, che va particolarmente curata in relazione al regime di esercizio a <<caldo>> del forno ed alle conseguenti notevoli sollecitazioni a cui sono sottoposti taluni componenti dello stesso (camera di combustione, linea di depurazione e raffreddamento dei fumi, ciclo termico)]. Tenendo inoltre presente che il funzionamento tecnico-economico ottimale del forno richiede normalmente un esercizio continuo per 24 h/giorno per 7 giorni alla settimana, é da ritenersi che il coefficiente di utilizzo D non possa superare il valore in tabella di 0,85 in relazione alle già citate condizioni di esercizio particolarmente severe.

Per gli impianti di compostaggio, t_p può assumersi analogamente allo scarico controllato, pari a 312 giorni/anno. Le apparecchiature presenti nell'impianto risultano in genere ben collaudate e di semplice concezione. Il loro funzionamento, tranne il caso della fermentazione accelerata in biodigestori, avviene a <<freddo>> ed in modo discontinuo; le disfunzioni più facilmente verificabili, risultano poco frequenti ed in ogni caso, richiedono tempi di intervento assai contenuti. Il valore assunto pari a 0,97 va considerato cautelativo, non mancando indicazioni delle ditte costruttrici, per valori leggermente più elevati.

Per gli impianti di riciclaggio, risulta molto difficile esprimere considerazioni definitive e conclusive, essendo la tecnologia senz'altro la più recente ed innovativa tra quelle fin qui considerate. Il funzionamento avviene generalmente a <<freddo>> ed in modo discontinuo per la maggior parte dei reparti di cui è costituito l'impianto (1 o 2 turni giornalieri di 8 ore ciascuno per 5 o 6 giorni alla settimana): le sollecitazioni a cui sono sottoposte le macchine, non sono da considerarsi pertanto particolarmente severe. Un ulteriore fattore positivo è costituito dalla disponibilità di almeno un turno al giorno e un giorno alla settimana da dedicare agli interventi di manutenzione preventiva e di pulizia. Da informazioni acquisite presso ditte del settore, è possibile stimare D pari a 0,9 in corrispondenza di un t_p di 260 giorni/anno (5 giorni/settimana su 2 turni giornalieri). Per gli impianti di riciclaggio parziale, data la loro maggiore semplicità tecnologica, tale coefficiente può essere assunto pari a 0,93.

Sulla base dei valori assunti per il tempo programmato di esercizio t_p ed il coefficiente di utilizzo D , in Tab.19 vengono

riassunti i valori della potenzialità annua P_a , e del bacino di utenza N , corrispondenti alle potenzialità nominali giornaliere P_n di ogni singolo sistema preso in esame per le quali sono stati valutati i dati di costo. Il calcolo di P_a e di N sono stati condotti utilizzando le formule viste precedentemente ipotizzando una produzione specifica procapite di rifiuti P_g pari a 0,7 Kg/ab.* die.

Tab.19 Potenzialità nominali giornaliere P_n , potenzialità annua P_a , e bacino di utenza N per i diversi sistemi di smaltimento.

2.3 COSTI DI MPIANTO GENERALITA'

I costi di investimento dei diversi tipi di processi analizzati, sono stati computati assumendo una serie di ipotesi impiantistiche omogenee, in modo da ottenere delle voci il più possibile confrontabili tra di loro.

A tal fine, tutti gli impianti sono stati considerati completi sia delle opere civili necessarie al processo di trattamento dei rifiuti che di quelle relative agli impianti ausiliari ed ai servizi. In particolare tali opere sono comprensive dei capannoni necessari per tutti gli impianti produttivi e dei relativi sistemi di ventilazione e di riscaldamento, della rete viaria interna e dei piazzali di manovra, del locale pesa delle reti di fognatura, acqua potabile e acqua industriale, impianti antiincendio, degli impianti di depurazione delle acque necessari a garantire la tabella C della legge 319/76, degli impianti di depurazione delle arie di processo, dei servizi di fabbrica (sale di controllo, officina, magazzino, centrale di riscaldamento) e dei servizi del personale (portineria, mensa, uffici, servizi igienici, ecc.).

Le opere elettromeccaniche sono state computate considerandole complete dei relativi quadri di controllo.

La voce di spesa relativa all'ingegneria dell'impianto, comprendente gli studi e le indagini preliminari, la progettazione di massima e il capitolato d'appalto, la direzione dei lavori, la revisione prezzi ed il collaudo dell'opera globale, e dei singoli macchinari, è calcolata secondo le tariffe in vigore per gli Ingegneri.

Il costo del terreno su cui sorge l'impianto, è stato valutato sull'impegno di superficie riportato in Tab.20, espresso in m² necessari mediamente per la realizzazione degli impianti per tonnellata giornaliera nominale di potenzialità dell'impianto stesso.

Tab.20 Superfici specifiche (m²/t. giorno) necessarie per la realizzazione degli impianti di smaltimento in funzione della potenzialità e della tipologia.

I dati, stimati in via indicativa da indicazioni delle ditte costruttrici e valori ricavati da impianti esistenti, sono comprensivi delle superfici necessarie per l'area funzionale del processo, per l'area servizi, per l'area di rispetto ed a verde, e per l'area di viabilità interna.

Per lo scarico controllato, data la stretta dipendenza delle superfici dalla morfologia del sito, dal tipo di gestione e dal tempo di esercizio, si è fatta l'ipotesi di considerare un'area con profondità media di 20 m, tempi di esercizio di 15 anni, e un grado di

compattazione dei rifiuti, di 0,7 t/m³ (scarico tradizionale) e di 0,9 t/m³ (scarico con pressaggio).

Per il compostaggio sono state considerate aie di maturazione con tempi di stazionamento oscillanti tra 2 e 3 mesi a seconda del tipo di processo, e messa in cumulo di carattere tradizionale (rivoltamenti con pale meccaniche). Per potenzialità superiori a 200 t/giorno sono anche indicate le superfici che risulterebbero a seguito dell'adozione di sistemi di messa a parco, rivoltamento e ripresa automatici. Le superfici risultanti sono state calcolate ipotizzando cumuli continui, larghi 4 m alla base di altezza compresa tra 2 e 2,5 m in funzione del processo adottato, e della pezzatura del prodotto messo in aia. La distanza tra i cumuli è stata assunta in circa 4 m, mentre un valore inferiore è stato adottato nel caso del processo con areazione forzata che non richiede periodici rivoltamenti dei cumuli. Per quanto riguarda lo stoccaggio si è considerato un unico cumulo con altezza media di 3 m e un tempo di permanenza assunto pari a 3 mesi. Va tenuto presente che i tempi di maturazione e di stoccaggio rappresentano un minimo suscettibile di incrementi in funzione di una non accurata gestione dei due processi, della flessibilità della commercializzazione del compost, dipendente essenzialmente dalle caratteristiche agronomiche del bacino di utilizzo.

Nelle superfici degli impianti di riciclaggio totale, e totale completo, si è sempre tenuto conto di una messa a parco automatica e, per potenzialità superiori a 300 t/giorno, di una dislocazione delle aree di stoccaggio all'esterno dell'impianto, tale da facilitare la commercializzazione del compost prodotto in funzione del bacino di utenza.

Per gli impianti di riciclaggio parziale, che cioè producono RDF in aggiunta ai prodotti tradizionali degli impianti di compostaggio, si sono assunte le stesse superfici viste per questi ultimi, incrementando l'area coperta (area servizi, apparecchiature, stoccaggio) di un 20÷30% per tener conto delle linee di produzione dell'RDF e del suo stoccaggio.

I costi totali che andremo a vedere per ogni tipologia di smaltimento, sono forfettari, IVA esclusa, e non comprendono le spese relative agli allacciamenti esterni (strade di accesso, acquedotto, fognatura, energia elettrica) né i costi relativi a opere civili preliminari da effettuarsi eventualmente sul terreno, (spianature, sottofondazioni, ecc.). Essi vanno intesi come costi medi, in virtù della generalità delle ipotesi assunte: i costi reali sono da considerarsi comunque compresi entro un $\pm 20\%$ dei costi riportati.

I costi specifici degli impianti (10^6 £/ton.* die) sono stati calcolati riferendoli alla potenzialità nominale dei diversi impianti, e riportati in grafico in funzione di essa. Per fornire ulteriori informazioni, nei suddetti grafici sono state anche riportate, in due scale supplementari delle ascisse, la potenzialità equivalente annua P_a (t/anno) ed il bacino di utenza N (abitanti).

Per ogni tipologia di impianto, il computo dei costi presuppone talune ipotesi, oltre a quelle generali già esposte, proprie di ogni singolo sistema; tali ipotesi vengono riportate nella breve esposizione data per ogni sistema di smaltimento.

Per comodità di lettura, le diverse tipologie sono state contrassegnate con le sigle viste in precedenza.

2.3.1 SCARICO CONTROLLATO

Una valutazione dei costi di impianto nello scarico controllato si presenta piuttosto problematica data la grande varietà di condizioni locali che si possono presentare e delle scelte impiantistiche. Al fine di poter quindi computare dei costi di impianto con un minimo di attendibilità, oltre alle ipotesi di carattere generale già esposte, si sono fatte le seguenti assunzioni :

- tempo di esercizio di 15 anni
- acquisto del terreno sul quale insiste l'area dell'impianto ad un costo di £ 1000/m²
- scarico dei rifiuti su aree degradate, in depressione, con ripristino finale del terreno recuperato. Si considera un peso specifico dei rifiuti disposti in strato di 0,7 t/m³
- movimentazione terra per l'allestimento delle zone di scarico, che forniscono almeno il 20% del materiale complessivo per la ricopertura dei rifiuti;
- nella movimentazione terra si é tenuto conto di dover procedere anche alla sagomatura delle sponde;
- presenza nella zona di scarico di un sistema di drenaggio e raccolta del percolato;
- presenza di un impianto di depurazione del percolato. Tale assunzione può ritenersi valida ai fini del computo dei costi, anche nel caso di uno smaltimento alternativo mediante trasporto ad un'impianto di depurazione esterno, considerando dello stesso ordine di grandezza i relativi costi.

Le precedenti ipotesi sono da considerarsi valide per impianti di potenzialità nominale eguale o superiore alle 50 t/giorno, come

indicato nella Tab.20 già vista. Per valori inferiori va tenuto presente che, pur essendo lo scarico controllato ancora possibile da un punto di vista tecnico, esso deve essere realizzato e gestito in maniera estremamente semplificata (copertura dei rifiuti non necessariamente giornaliera, uso di un solo mezzo cingolato, opere per lo smaltimento del biogas e del percolato molto semplificate, piccolo edificio prefabbricato per servizi vari, ecc.).

Nella Tab.21 sono riportati i costi di impianto suddivisi per le diverse voci di spesa, stimate in corrispondenza dei valori delle potenzialità giornaliere riportate in Tab.19, e considerando le due diverse situazioni di interventi di impermeabilizzazione o meno. In tali computi, si é considerato di disporre i rifiuti su un'altezza totale di circa 20 m.

Nel grafico di Fig.6 i costi riportati sono espressi in milioni di lire per tonnellata giornaliera smaltita in funzione ancora della potenzialità giornaliera e annua e delle dimensioni del bacino di utenza.

I costi oscillano tra i 15 ed i 33 milioni/t.giorno per gli scarichi non impermeabilizzati, e tra 26 e 52 milioni/t.giorno per quelli con impermeabilizzazione. Il fattore di scala sostanzialmente non risente della presenza o meno dell'impermeabilizzazione.

Tab.21 Costi di impianto per lo scarico controllato in funzione delle diverse potenzialità, suddivisi per le diverse parti operative dell'impianto (A=scarico con impermeabilizzazione, B=scarico senza impermeabilizzazione), espressi in milioni di lire, eccetto i costi specifici in milioni di lire/t.giorno.

Analizzando quanto esposto, il costo percentualmente più importante è quello relativo all'impermeabilizzazione stessa (35% circa) quando essa è prevista, seguito da quello relativo alla movimentazione del terreno. Nel computo dei costi di impianto non si è tenuto conto della rivalorizzazione del terreno, che sarà considerata nel capitolo relativo ai costi di esercizio.

L'adozione del pressaggio comporta un'incremento dei costi d'impianto legato all'acquisto della pressa ed alla realizzazione delle opere civili relative. Tali costi aggiuntivi oscillano tra 1,8 miliardi (pressa da 10 t/h) e 2,9 miliardi (pressa da 30 t/h) e sono comprensivi delle opere civili.

Fig.6 Costi di impianto dello scarico controllato (£/t.giorno) in funzione di P_n , P_a , ed N .

2.3.2 INCENERIMENTO

I costi di impianto dei tre diversi tipi di incenerimento analizzati (incenerimento senza recupero, incenerimento con recupero di vapore, incenerimento con produzione di energia elettrica) sono stati calcolati assumendo, oltre alle ipotesi di carattere generale già esposte, le seguenti caratteristiche di impianto :

- due linee completamente indipendenti, dotate degli opportuni sistemi di distribuzione dell'aria primaria, secondaria, e terziaria;
- camera di post-combustione in refrattario con termostazione automatica ed indipendente;
- sistema di depurazione dei fumi di combustione costituito da elettrofiltro a due campi indipendenti e lavaggio dei fumi assumendo per quest'ultimo equivalenti i costi di impianto per i diversi sistemi proponibili (a secco, a semisecco, ed a umido);
- sistema di dispersione degli effluenti gassosi all'atmosfera tramite camino in cemento armato bicanna;
- opere civili ed elettromeccaniche caratteristiche del processo (fossa di stoccaggio rifiuti chiusa in depressione con carroponte e prese d'aria di combustione, sistema di

spegnimento delle scorie ad acqua, fossa di stoccaggio scorie con carroponete).

Gli impianti a recupero sono inoltre completi di :

- impianti di trattamento acqua per caldaia e degasatore
- caldaia di recupero a tubi d'acqua con sistema automatico di pulizia
- condensatore ad aria di emergenza, caldaia di emergenza ad olio combustibile e 1 Km. di condotta per gli impianti che producono vapore
- turbina a condensazione predisposta per derivazione con condensatori (principale e di bypass) ad acqua o ad aria.

Per il costo dell terreno é stato assunto pari a £ 3000/m².

Non si sono prese in considerazione installazioni di potenzialità nominale inferiore a 150 t/giorno (2 linee da 75 t/die l'una) in base alle raccomandazioni del Ministero della Sanità (Circolare n.77 del 7/10/1980) che sconsiglia l'adozione di impianti di incenerimento con potenzialità nominale inferiore alle 80100 t/giorno, ritenendo che tale valore costituisca il limite inferiore di convenienza tecnicoeconomica per l'istallazione di una linea fumi idonea a contenere il relativo impatto ambientale. Per quanto riguarda gli impianti con recupero, mediamente le potenzialità minime per l'adozione sono comprese tra 150 e 200 t/giorno.

I costi di investimento risultanti sono riassunti in Tab.22 per le diverse potenzialità esaminate suddividendo i costi per le opere elettromeccaniche e per le opere civili.

Per meglio visualizzarne l'andamento, i costi specifici d'impianto (milioni di lire/t.*die) sono riportati nel grafico di Fig.7 in funzione

della potenzialità nominale ed annua e delle dimensioni del bacino di utenza.

Dall'esame del grafico si osserva che:

-i costi d'impianto, in ordine crescente, sono quelli relativi
:

-all'incenerimento senza recupero;

-all'incenerimento con recupero di vapore;

-a quello con produzione di energia elettrica o con cogenerazione,

e sono pari, nell'intervallo di potenzialità esaminato, a:

-per l' incenerimento senza recupero a 6082 milioni/t.die

-per l' incenerimento con recupero di vapore 5996 milioni/t.die

-per l' incenerimento con recupero di energia elettrica o cogenerazione a 75117 milioni/t/die

I costi delle opere elettromeccaniche sono di gran lunga superiori a quelli delle opere civili. Questi ultimi si mantengono grossomodo costanti per i diversi sistemi esaminati ed oscillano tra il 25÷33% del costo totale di investimento.

L'effetto scala è leggermente più pronunciato per gli impianti senza recupero (cioè quelli a minor costo d'impianto), mentre negli impianti a recupero ha sostanzialmente, lo stesso andamento. A pari potenzialità vediamo che , rispetto al sistema senza recupero, l'adozione di un impianto con recupero di vapore incrementa il costo di investimento del 15÷30%, mentre quello di un impianto di produzione di energia elettrica o con cogenerazione, lo fa aumentare del 55÷70%.

Tab.22 Costi di impianto del processo di incenerimento, in funzione di P_n e di P_a .

Fig.7 Costi di impianto dell'incenerimento (£/t.die)i n funzione di P_n , P_a , N .

2.3.3 COMPOSTAGGIO

La valutazione dei costi di impianto del compostaggio è stata condotta assumendo, oltre alle ipotesi di validità generale già esposte, le seguenti tipologie di impianto variabili con la potenzialità nominale:

per potenzialità nominali inferiori a 50 t/g, impianti improntati alla massima semplicità, con fermentazione naturale in aia. Aie con fermentazione accelerate possono venir adottate per il limite superiore ora citato e se esistono problemi di spazi ridotti.

Per potenzialità nominali di 50÷100 t/g, si può prendere in considerazione di adottare un biodigestore dopo un pretrattamento non spinto di rifiuti; in alternativa, o ad integrazione può essere prevista un'aia a fermentazione accelerata

Per potenzialità nominali comprese tra 100 e 200 t/die, non si prevede più la maturazione naturale; si adotta la preselezione del rifiuto prima di inviarlo al biodigestore e/o all'aia di fermentazione accelerata e la raffinazione del prodotto prima dello stoccaggio e smercio. Può essere previsto l'incenerimento dei sovralli;

Per potenzialità nominali tra 200 e 300 t/die sono da adottarsi pre-trattamenti spinti prima di inviare i rifiuti al biodigestore e/o ad aie attrezzate, con raffinazione del prodotto prima dello stoccaggio.

Si tenga presente che la potenzialità nominale di 300 t/die non risulta un limite superiore di carattere tecnicoeconomico, ma deriva dalle difficoltà di commercializzazione del compost. Per potenzialità

superiori sono quindi da privilegiare impianti cosiddetti "misti" al fine di poter preferenziare il recupero dei prodotti più facilmente commerciabili.

Assumendo per il terreno un costo di 3000 £/m², i costi di impianto risultanti sono riportati in Tab.23 ed espressi graficamente in Fig.8, in funzione della potenzialità nominale e di quella annua e delle dimensioni del bacino di utenza.

Tab.23 Costi di impianto per il processo di compostaggio, in funzione di Pn e di Pa.

Fig.8 Costi di impianto per il processo di compostaggio, in funzione di Pn e di Pa.

Per i biodigestori si é assunto un valore medio di 1200 milioni di lire per potenzialità tra 100 e 150 t/die e 2600 milioni di lire per potenzialità tra 200 e 300 t/die, mentre per l'aia di maturazione ad insufflazione d'aria, si é ipotizzato un costo suppletivo di £ 40000/m².

I costi di impianto sono compresi tra i 33 e i 49 milioni di lire/t.g, con effetto scala praticamente analogo per le tre diverse tipologie impiantistiche esaminate.

Il costo delle opere civili si aggira indicativamente attorno al 30% del costo complessivo dell'impianto. L'incidenza delle voci riguardanti l'acquisto del terreno e spese di ingegneria, sul costo complessivo, risulta di pochi percento, variando da un massimo del 4,5% ad un minimo del 3%.

2.3.4 IMPIANTI MISTI

I costi degli impianti misti (compostaggio + incenerimento) possono essere computati secondo la seguente relazione:

$$M_{C+I} = M_C + (M_{(OM)I} + 0,5 M_{(OC)I}) * 1,03$$

dove:

M_{C+I}	= Costo di impianto per il sistema misto
M_C	= Costo di impianto per il compostaggio
$M_{(OM)I}$	= Costo delle opere elettromeccaniche degli impianti di incenerimento (vedere Tab.22)
$M_{(OC)I}$	= Costo delle opere civili degli impianti di incenerimento (vedere Tab.22)
1,03	= Fattore moltiplicativo che tiene conto delle spese di ingegneria e varie.

Si é assunto che la presenza dell'inceneritore negli impianti misti, non comporti una significativa variazione nel costo del terreno rispetto agli impianti di solo compostaggio.

La potenzialità riferita a RSU, dell'inceneritore negli impianti misti può calcolarsi sulla base della seguente relazione :

$$(P_n)_I = (P_a)_C * f * \text{Errore.* Errore.}$$

dove :

$(P_n)_I$	= Potenzialità nominale dell'inceneritore riferita a rifiuti solidi grezzi (t/giorno)
$(P_a)_C$	= Potenzialità annua della linea di compostaggio (t/anno)
f	= Frazione di sovvalli rispetto ai RSU trattati
PCI_{SOVV}	= Potere calorifico dei sovvalli (Kcal/Kg)
PCI_{RSU}	= Potere calorifico degli RSU (Kcal/Kg)

Di	=	Coefficiente di utilizzo degli impianti di incenerimento (assunto pari a 0,85)
(tp)I	=	Tempo programmato di esercizio degli impianti di incenerimento (assunto pari a 343 giorni per 24 h/die di funzionamento)

2.3.5 RICICLAGGIO

Anche in questo caso, prima di esaminare i costi, é opportuno, fare qualche precisazione circa le potenzialità applicative del sistema.

Tenuto conto che le linee di selezione automatica, ormai standardizzate, hanno generalmente potenzialità compresa dalle 10 alle 20 t/h di RSU e tenuto conto della consuetudine di questi impianti di funzionare dalle 8 alle 16 h/giorno per 5 giorni la settimana, risulta che si possono costruire impianti di riciclaggio a partire da potenzialità nominali di 80 t/giorno (1 linea da 10 t/h in esercizio 8 h/giorno). Impianti di questa potenzialità sono tuttavia economicamente giustificati solo se atecnologia molto semplice, del tipo a riciclaggio parziale, con un limite superiore di applicabilità dettato dal raggio di commercializzazione dei prodotti, in particolare del compost e dell'RDF.

Per gli impianti di riciclaggio totale, caratterizzati da una tecnologia più complessa, il limite inferiore di convenienza economica é pari a 160 t/g di potenzialità nominale (1 linea da 20 t/h in esercizio 8 h/g), mentre per quelli a riciclaggio completo, eventualmente dotati di centrale termoelettrica interna a RDF, tale potenzialità minima diventa pari a 640 t/g nominali (2 linee da 20 t/h in esercizio 16 h/g).

Nella valutazione dei costi di investimento, il terreno é stato al solito computato in £ 3000/m². I costi risultanti sono stati riassunti in Tab.24, per diverse potenzialità di impianto, mentre i costi specifici totali, delle opere civili e di quelle elettromeccaniche sono riportati graficamente in Fig. 9, in funzione della potenzialità nominale giornaliera, di quella annua e delle dimensioni del bacino di utenza.

Tab.24 Costi di impianto del processo di riciclaggio, in funzione di Pn e di Pa.

Fig.9 Costi di impianto del riciclaggio (£/t.giorno) in funzione di Pn, Pa ed N.

I costi di investimento variano nell'intervallo 33÷54 milioni £/t.giorno per il riciclaggio totale ed in quello 51÷65 milioni £/t.giorno per il riciclaggio totale completo. L'effetto scala ha, per i 2 impianti, sostanzialmente la stessa incidenza. I costi per le opere elettromeccaniche sono pari al 65÷70% del costo totale di investimento, mentre quelli delle opere civili sono circa del 25% ; il resto (5% circa) é da imputarsi all'acquisto del terreno ed alle spese di ingegneria.

L'adozione di un riciclaggio totale completo comporta un onere aggiuntivo del 60÷70% mediamente, rispetto all'adozione di un riciclaggio totale

Si ricorda che la differenza essenziale tra i due tipi di processo é la nobilitazione della carta e della plastica grezze in pasta di carta e granulato plastico.

Per quanto riguarda gli impianti di riciclaggio parziale, cioè gli impianti che oltre a compost e ferro producono RDF, i costi di investimento derivano da quelli degli impianti di compostaggio con fermentazione accelerata incrementati del costo addizionale della linea di produzione di RDF, come indicato in Tab.24.

2.4 COSTI DI ESERCIZIO GENERALITA'

I costi di esercizio complessivi dei diversi tipi di impianti presi in considerazione, sono stati calcolati sottraendo dai costi di puro esercizio i ricavi derivanti dalla vendita dei prodotti e dell'energia eventualmente ricavata.

I costi di puro esercizio sono comprensivi:

- a) delle spese relative al personale necessario alla conduzione dell'impianto, la cui entità numerica é ricavabile assumendo un costo unitario annuale di £. 25.000.000 per addetto.
- b) delle spese inerenti i consumi di energia elettrica, valutate assumendo un costo di £. 120/KWh
- c) delle spese relative ai consumi di acqua, acqua demineralizzata, olio combustibile, gasolio per autotrazione e reagenti chimici.

I costi unitari assunti sono i seguenti:

i)	acqua	£ 150/m ³
ii)	acqua demineralizzata	£ 600/m ³
iii)	gasolio per autotrazione	£ 507/litro
iv)	olio combustibile	£ 350/Kg.

- d) delle spese per la manutenzione ordinaria e straordinaria (pezzi di ricambio e materiali di consumo), calcolate come il 3% dei costi di impianto delle opere elettromeccaniche più l'1% del costo di impianto delle opere civili, ritenuti come valori minimi atti a garantire la buona funzionalità dell'impianto durante tutta la sua durata;
- e) del costo di smaltimento finale dei residui inerti dei processi. Tale costo è composto essenzialmente dalla somma del costo di trasporto e di quello di messa a discarica. Per quanto riguarda il costo di trasporto, esso è stato assunto pari a £. 5000/t avendo ipotizzato un costo di £. 200/Km ed una distanza media di 25 Km. Il costo della messa a discarica dei rigetti, è stato assunto in £. 12.000/t per le ceneri residue del processo di incenerimento, ed in £. 20.000/t per i rigetti inerti dagli impianti di compostaggio e riciclaggio.
- f) delle spese varie, tecniche ed amministrative, assunte pari in misura al 10% della somma dei costi di esercizio già elencati.

Per i ricavi derivanti dalla vendita dell'energia e dei prodotti recuperati, si sono assunti i seguenti prezzi medi indicativi

vapore	£. 20	Kg
energia elettrica	£. 50÷90	KWh
compost digerito e maturo	£. 5	Kg
plastica leggera grezza, in balle	£200	Kg
ferro grezzo, in balle	£. 200	Kg
ferro pulito, sfuso	£. 100	Kg
pasta di carta al secco comm.	£. 100	Kg
granulato plastico	£. 800	Kg
RDF grezzo	£. 20÷30	Kg
RDF densificato	£. 30÷40	Kg

Per quanto riguarda l'energia elettrica si è fatto riferimento alla tariffazione definita dalla legge 308/1982 per l'energia prodotta da fonti rinnovabili, fra le quali la legge stessa annovera anche i RSU.

Va ricordato che é possibile un contratto di scambio con l'ENEL solo per l'eventuale eccesso di energia elettrica dopo aver soddisfatto l'autoconsumo interno. Inoltre il prezzo di cessione dipende dalla fascia oraria in cui la cessione avviene quindi i prezzi assunti per la remunerazione del KWh. vanno intesi come valori medi di minimo e massimo; il caso inferiore (£. 50/KWh) si riferisce alla cessione totale dell'energia prodotta all'ENEL, mentre quello superiore (£. 90/KWh) é relativo al servizio di scambio dell'energia, avendo ipotizzato utenze consorziate o gestite direttamente dall'ente che ha in conduzione l'inceneritore.

2.4.1 SCARICO CONTROLLATO

Per la valutazione dei costi di esercizio si sono fatte le seguenti ipotesi, oltre a quelle ritenute valide per tuutti gli impianti viste precedentemente:

- A) per le macchine operatrici si considera il periodo di effettivo funzionamento giornaliero conteggiando le seguenti voci: carburante, olio motore, olio trasmissione, olio idraulico, grasso, filtri, pneumatici, manutenzione ordinaria e straordinaria. La voce relativa all'operatore é computata nei costi relativi al personale. La Tab.25 riporta, in funzione della potenzialità nominale dello scarico, alcune indicazioni orientative sui mezzi operativi adottabili.

Tab.25 Indicazioni orientative sui mezzi operativi adottabili negli impianti di scarico controllato.

- B) il materiale di ricoprimento è stato conteggiato in quantità pari a 0,2 m³/t RSU, nell'ipotesi che circa il 20% del quantitativo globale risulti disponibile a seguito delle movimentazione terra nell'area di scarico; il costo medio per l'acquisizione dall'esterno del materiale é stato fissato in £. 2500/m³
- C) nella voce "Varie" sono comprese le spese per la manutenzione ordinaria e straordinaria sia delle opere elettromeccaniche che civili, per operazioni varie (disinfezione derattizzazione lavaggio automezzi analisi e controlli, ecc.), per consumi diversi (acqua, reattivi per la depurazione del percolato, ecc.) per assicurazioni, per cancelleria, utenze telefoniche, ed imprevisti. L'incidenza sui costi di esercizio di tale voce, é assunta pari a circa il 20% della somma dei costi computati in precedenza.
- D) I consumi di energia elettrica e di carburante in funzione della potenzialità nominale della discarica, sono riportati

in Tab.26. I consumi di carburante sono stati valutati sulla base delle indicazioni fornite in Tab.25.

E)I consumi specifici, come si può vedere dalla tab.26 oscillano tra 0,7 e 2,0 l/t RSU per il carburante e tra 2,0 ed 8,5 KWh/t RSU per l'energia elettrica, con i valori più bassi riferiti agli impianti a potenzialità maggiori: a questo proposito fa eccezione il consumo di energia elettrica per gli scarichi controllati di bassissima potenzialità (<30t/g), risultato pari a 2,5 KWh/t in virtù delle ipotesi aggiuntive citate in precedenza circa l'impianto di depurazione del percolato e quello di smaltimento del biogas.

F)Il personale impiegato negli impianti di scarico controllato in funzione della potenzialità, suddiviso per qualifica, è riportato nella Tab.27.

Tab.26 Consumi di energia elettrica e di carburante negli impianti di scarico controllato.

Tab. 27 Personale impiegato negli impianti di scarico controllato.

Nel caso di scarico controllato con pressaggio, l'organico del personale non cambia rispetto allo scarico controllato normale. La riduzione di addetti che si ha infatti nella sistemazione in strato dei rifiuti, è bilanciata dalla richiesta di personale per l'esercizio della pressa. Come si vede dalla Tab.27, l'impegno del personale é stato aumentato del 20% per tener conto di ferie, permessi e malattie, mentre il personale che svolge funzioni amministrative e di guardiania, essendo la spesa ad esso relativa inclusa nelle spese varie, non é stato considerato.

I ricavi che possono essere computati nel calcolo dei costi di gestione dello scarico controllato, sono da considerarsi i seguenti:

- 1) biogas
- 2) terreno recuperato.

Per il primo si é ipotizzata la vendita del 100% del metano prodotto, valutato in 25 Nm³/t RSU, ad un costo di £.100/Nm³. Risulta cosí un ricavo di £.2500/t.

Per il terreno recuperato, tenuto conto del costo di acquisto di £1000/m² (vedi costi di impianto), puó essere preventivamente indicata una rivalorizzazione che ne porta il valore ad un prezzo (attuale) di £ 3000/m². Tuttavia questo costo é concretamente configurabile in dipendenza della modalitá di acquisizione del terreno, per cui esso é stato trascurato.

Nelle Tabb. 28 e 29 sono riportati i costi relativamente di puro esercizio e di esercizio, questi ultimi calcolati tenendo conto dei ricavi detti.

Tab.28 Costi di puro esercizio negli impianti di scarico controllato.

Tab.29 Costi specifici di esercizio degli impianti di scarico controllato.

I costi specifici di puro esercizio ed i ricavi specifici, riferiti alla potenzialità effettiva annuale, sono stati riportati in grafico in Fig.10, in funzione della stessa potenzialità annua equivalente.

Fig.10 Costi specifici di puro esercizio e ricavi per gli impianti di scarico controllato, in funzione di P_n , P_a e di N .

Il fattore di scala ha un'influenza assai marcata sui costi di puro esercizio che passano da £ 14.300/t per uno scarico da 9300 t/anno a £4000/t per uno da 155.000 t/anno : di conseguenza i costi di esercizio per le potenzialità più elevate risultano estremamente contenuti rispetto alle basse potenzialità. La voce di spesa a maggiore incidenza sul costo totale é relativa al personale (50% circa mediamente) seguita da quella per l'energia (25% circa mediamente). Nell'esercizio per gli impianti di scarico controllato con pressaggio, si ha un incremento dei costi, dovuti ai consumi di energia elettrica, olio idraulico, filo di ferro per l'avvolgimento delle balle e materiali di manutenzione e consumo, valutabile indicativamente in 1800 £/t.

2.4.2 INCENERIMENTO

I consumi di energia elettrica e di combustibile per le tipologie di impianto esaminate e per diverse potenzialità sono riportati in Tab.30.

Tab.30 Consumi di energia elettrica e combustibile negli impianti di incenerimento, in funzione di Pn e di Pa.

Tali consumi sono stati valutati sulla base di un fabbisogno specifico di energia elettrica pari a 45 KWh/t RSU negli impianti senza recupero ed a 50 KWh/t RSU negli impianti a recupero, e di un consumo specifico di combustibile pari a 0,4 Kg/t RSU per tutte le tipologie esaminate. Va tenuto presente che il consumo di combustibile non é comprensivo del quantitativo necessario per la camera di postcombustione dei fumi perché all'epoca della pubblicazione degli AA l'attuale normativa che prevede la suddetta non era in vigore e gli AA non erano in grado di dare una stima attendibile, cosicché il fabbisogno reale di combustibile risulta oggi incrementato.

Oltre ai suddetti consumi, sono anche conteggiati i fabbisogni di acqua di rete e di acqua demineralizzata. L'acqua consumata è in gran parte destinata allo spegnimento delle scorie, al lavaggio dei fumi di combustione (per la depurazione con procedimento ad umido) ed al raffreddamento degli stessi (riscontrabile talvolta negli

impianti che non attuano il recupero del calore), mentre una piccola percentuale viene utilizzata nei servizi igienici, per il lavaggio e le pulizie dell'impianto. Il fabbisogno specifico è stato stimato in 3 m³/t RSU per tutte le tipologie di impianto esaminate. Il consumo di acqua demineralizzata per il reintegro della caldaia nel ciclo termico, e presente quindi solo negli impianti a recupero, é stato calcolato sulla base di un fabbisogno specifico di 0,085 m³/t RSU, avendo stimato mediamente tale reintegro pari al 5% della potenzialità oraria di produzione di vapore della caldaia stessa.

L'impegno di personale per i diversi tipi di impianto, é riportato nella Tab.31 in funzione della potenzialità nominale e suddiviso per qualifica.

Tab.31 Personale impiegato nei diversi tipi di impianti di incenerimento, in funzione di Pn.

Come già visto per lo scarico controllato, il personale é stato incrementato del 20%.

Per la valutazione della voce di costo relativa allo smaltimento dei rifiuti inerti della combustione, si é assunto che essi costituiscano il 30% in peso della quantità dei rifiuti alimentati al forno.

Sulla base delle precedenti ipotesi, i costi di puro esercizio risultanti per le tipologie di inceneritori esaminate, sono riportate in Tab.32 e diagrammati in Fig.11 in funzione della potenzialità annua, di quella nominale giornaliera e del bacino di utenza.

Tab.32 Costi di puro esercizio negli impianti di incenerimento, in funzione di P_n , P_a , ed N .

Fig.11 Costi di puro esercizio e ricavi per gli impianti di incenerimento.

Dai dati risultanti si possono trarre le seguenti indicazioni:

- L'effetto scala ha un'incidenza leggermente superiore per l'incenerimento con produzione di energia elettrica.
- Nell'intervallo di potenzialità esaminate, i costi sono risultati pari a:

a) Incenerimento senza recupero	24.300÷32.200 £/t
b) Incenerimento con recupero di vapore	23.500÷35.800 £/t
c) Incenerimento con produzione di energia elettrica o con cogenerazione.	19.900 ÷ 31.400 £/t

L'incidenza percentuale della voce di costo relativa al personale decresce in misura maggiore di quella relativa alle altre voci con l'incremento della potenzialità, passando in media dal 33% circa del costo totale per le basse potenzialità al 20% circa per le alte potenzialità.

Negli impianti con produzione di energia elettrica e con cogenerazione, l'autoproduzione del fabbisogno di energia elettrica,

provoca una riduzione nei costi tale da rendere questi tipi di installazioni meno onerose di quelle a recupero di vapore, nonostante le spese per il personale e la manutenzione siano per questi ultimi impianti leggermente inferiori.

I ricavi della vendita dell'energia recuperata sotto forma di vapore e di elettricità, sono riportati in tab.33 e in fig.11 già illustrata.

Le quantità specifiche disponibili alla vendita sono state assunte pari, in media, a 1,6 t. di vapore/t. RSU ed a 260 KWh/t. RSU, rispetto ad una produzione di 1,72 t. di vapore/t. RSU e 310 KWh/t. RSU, per tener conto degli autoconsumi interni di stabilimento rispettivamente di 0,12 t. di vapore/ t. RSU e 50 KWh/t. RSU.

Tab.33 Ricavi dalla vendita di energia recuperata negli impianti di incenerimento di diverse potenzialità.

L'entità del vapore e dell'energia elettrica recuperabili, sono state ricavate effettuando un bilancio termico del forno, ipotizzando le condizioni "medie" seguenti ad un potere calorifico inferiore di 1600 Kcal/Kg per un rifiuto la cui composizione é riportata in tab.34 :

- A) temperatura in camera di post combustione = temperatura dei fumi in ingresso alla caldaia di recupero = temperatura delle ceneri = 1050 °C
- B) temperatura dei fumi in uscita dalla caldaia a recupero = 300 °C
- C) perdita per irraggiamento = 3% del P.C.I. dei rifiuti
- D) incombusti nelle ceneri = 5% delle scorie in peso (1,5% in peso dei rifiuti da incenerire assumendo che le scorie rappresentino il 30% in peso dei rifiuti grezzi). Il loro potere calorifico può essere assunto pari a 8000 Kcal/Kg, essendo essi presenti normalmente come carbonio.
- E) acqua di alimentazione caldaia = 100 °C
- F) perdita caldaia = 1%
- G) rendimento della turbina = 0,2 KWh/Kg di vapore in ingresso (ottenibile in impianti di potenzialità medioelevata).

Tab.34 Composizione merceologica dei RSU.

Le condizioni entalpiche del vapore prodotto nei relativi impianti a recupero per un suo sfruttamento come fluido termovettore industriale, corrispondono a 20 ata di pressione, con un surriscaldamento dell'ordine di 30 °C.

Nel caso dell'incenerimento con cogenerazione, si é ipotizzato un esercizio estivo, di durata pari a 3000 ore, in cui non si ha derivazione di vapore, ed un esercizio invernale, esteso alle rimanenti 4000 ore annue, in cui si è in presenza di derivazione di vapore, ipotizzato a 23 ata di pressione e surriscaldato di circa 20 °C. Pertanto durante l'estate la quantità di energia elettrica disponibile alla vendita, é sempre pari a 260 KWh/t. RSU, come nel caso dell'impianto a solo recupero di elettricità; viceversa, d'inverno le quantità specifiche disponibili risultano pari a 1,6 t. di vapore/t. RSU ed a 155 KWh/t.RSU di energia elettrica (detratti per ambedue gli autoconsumi di stabilimento), ricavate ipotizzando produzioni medie in derivazione pari al 75% come vapore e, al 15% come energia elettrica del contenuto entalpico del vapore in ingresso alla turbina.Si

rendono così totalmente disponibili alla vendita 200 KWh/t.RSU di energia elettrica, e 0,72 t. di vapore/ t. RSU.

Detraendo i ricavi derivanti da tali produzioni, (tab.33) dai costi di puro esercizio si ricavano i costi di esercizio riportati in tab.35 in funzione delle potenzialità annue, nominali e del bacino d'utenza.

Dall'esame di tali costi si possono trovare le seguenti indicazioni :

A) i costi specifici di esercizio inferiori, in tutto il campo di potenzialità esaminate, sono risultati quelli relativi all'incenerimento con recupero di vapore e vendita della totalità del vapore recuperato e quello medio dell'incenerimento con cogenerazione; per tali impianti, al di sopra delle 250 t/g circa di rifiuti smaltiti, possono configurarsi degli utili di esercizio, di entità confrontabile per ambedue e che possono giungere fino a circa 10.000 £/t per 600 t/g di potenzialità nominale. Assumendo per il KWh prodotto un prezzo di vendita pari al limite superiore ipotizzato in precedenza (90 £/KWh) l'incenerimento con cogenerazione diviene economicamente più conveniente, dando luogo a degli utili di esercizio per potenzialità superiori a circa 170 t/g.

Tab.35 Costi specifici di esercizio, al netto dei ricavi, degli impianti di incenerimento, in funzione di Pn, Pa e di N.

B) Va tuttavia ricordato che, a differenza dell'energia elettrica di cui é comunque garantita la collocabilità, va attentamente verificata in fase di studio di fattibilità, l'esistenza di utenze esterne per il vapore recuperato, siano esse civili o industriali, situate in vicinanza dell'impianto ed in grado di garantire il costante assorbimento della produzione.

Tenendo presenti tali considerazioni, l'incenerimento con cogenerazione, può costituire il punto ottimale di incontro tra recupero di solo vapore e produzione di sola energia elettrica.

A) l'incenerimento con recupero di energia elettrica, risulta mediamente più costoso di quello con recupero di vapore se la vendita di quest'ultimo é pari o superiore al 60% circa della produzione annuale

B) per nessuna delle potenzialità esaminate, l'incenerimento puro è risultato competitivo nei confronti degli impianti a recupero di energia, come costi di esercizio; ciò

giustifica l'attuale tendenza tecnologica all'adozione di impianti di questo tipo.

2.4.3 COMPOSTAGGIO

Per la valutazione dei costi di puro esercizio degli impianti di compostaggio, si sono assunti, i consumi energetici medi riportati in tab.36, in funzione della potenzialità degli impianti.

Il consumo medio specifico di energia elettrica è risultato crescente con la scala d'impianto; ciò é da imputarsi all'aumento delle macchine impiegate. Il fabbisogno medio di energia elettrica é compreso, tra 15 KWh/t e 35 KWh/t di RSU trattati.

Il consumo di gasolio per autotrazione, imputabile ai mezzi per la movimentazione dei prodotti e sovvalli all'interno dell'impianto, é valutabile tra 0,4 ÷1 litro/t di rifiuti trattati (per il calcolo dei dati riportati in tab.36 si é assunto un valor medio di 0,6 l/t), mentre il consumo di olio combustibile per il riscaldamento invernale, é stato stimato in circa 0,34 Kg/t di rifiuti trattati.

Tab.36 Consumi energetici medi indicativi di impianti di compostaggio, in funzione di Pn e di Pa.

Per il fabbisogno medio dell'acqua (umidificazione compost, lavaggio piazzali, servizi ecc.) é stimato in 0,25 m³/t di rifiuti trattati.

L'impegno di personale necessario alla conduzione degli impianti, é riportato in tab.37 in funzione delle diverse potenzialità e suddiviso per qualifica e funzione.

Tab.37 Personale impiegato negli impianti di compostaggio, in funzione di Pn.

Al solito esso é incrementato del 20% per tener conto di ferie permessi e malattie mentre il personale amministrativo e di guardiania é compreso nella voce di spese varie cosí come dell'addetto allo smaltimento finale dei rigetti in discarica controllata.

Per gli impianti fino a 100 t/g, si è adottato un solo turno lavorativo e non è stata prevista la copertura del capo-impianto (assolta dall'operaio piú esperto) e del personale di segreteria (ipotizzando una bassa incidenza oraria giornaliera, max. 2 ore, svolta da un'impiegato dell'organismo di gestione).

Le quantità dei rigetti inerti prodotti dal processo di compostaggio, per un rifiuto avente la composizione media riportata in tab.34, sono stimati sul 43% circa in peso del rifiuto alimentato all'impianto mentre il compost ed il ferro non depurato ricavati, sono valutabili rispettivamente come il 30,35% ed il 3,2% del peso di rifiuto grezzo trattato.

Le produzioni specifiche assunte per i calcoli dei costi e dei ricavi, sono risultate quindi pari a 0,43 t/t RSU di rigetti, 0,33 t/t RSU di compost e 32 Kg/t RSU di ferro non depurato.

Sulla base delle precedenti ipotesi, i costi di puro esercizio sono risultati, per le diverse potenzialità di impianto, quelli riportati in tab.38 e nel grafico di fig.12.

Tab.38 Costi di puro esercizio per gli impianti di compostaggio, in funzione di Pn, Pa e di N.

Come si può notare, soprattutto dalla fig12 gli impianti più semplici presentano un forte abbassamento del costo specifico, passando

dalle potenzialità inferiori (£ 34.200/t RSU per 30 t/g) a quelle mediobasse (£ 25.700/t RSU per 100 t/g).

Tale diminuzione non si presenta così drastica, viceversa, negli impianti più complessi caratterizzati da un livellamento del costo specifico attorno alle £ 25.000/t RSU per potenzialità superiori alle 200 t/g.

Fig.12 Costi specifici di puro esercizio e ricavi per gli impianti di compostaggio, in funzione di P_n , P_a e di N .

Sempre in fig 12 é riportata la retta dei ricavi specifici, ovviamente costanti, e pari, con le ipotesi assuntive esposte, a £ 3250/t RSU. Tale dato scaturisce da conteggi riportati in tab.39.

I costi specifici di esercizio, sottraendo cioè i ricavi dai costi di puro esercizio, sono riportati in tab.40.

Tab.39 Ricavi dalla vendita dei prodotti recuperati negli impianti di compostaggio, in funzione di Pn, Pa e di N.

Tab.40 Costi specifici di esercizio degli impianti di compostaggio, in funzione di Pn, Pa e di N.

Essendo i ricavi costanti, essi presentano l'andamento già illustrato per i costi di puro esercizio delle diverse tipologie esaminate al variare della potenzialità, e sono risultati compresi nei seguenti intervalli:

-impianti con maturazione naturale	22.500 ÷ 31.000 £/t
-impianti con aia ad insufflazione d'aria	22.000 ÷ 23.000 £/t
-impianti con biodigestore	22.500 ÷ 24.000 £/t.

Negli impianti medio-piccoli (<15.000 t/a) la spesa per il personale ha l'incidenza maggiore sui costi totali di puro esercizio (35%÷45% in media), seguita da quella relativa allo smaltimento dei rigetti (25%÷30% in media); negli impianti a potenzialità media ed elevata tale tendenza si inverte: lo smaltimento dei rigetti ha l'incidenza maggiore valutabile intorno al 30%35% del costo totale (il personale incide solo, in tali casi, per un 20%÷25%). Nel caso degli impianti misti, i costi di puro esercizio ed i ricavi vanno calcolati in funzione soprattutto del processo di incenerimento scelto, avendo riguardo alla minore incidenza della mano d'opera e dello smaltimento dei sovvalli, mentre i consumi energetici e dei materiali nonché i ricavi di energia possono considerarsi invariati. Come per i costi di investimento, si deve far riferimento ad impianti di

incenerimento con potenzialità nominale equivalente di RSU, $(P_n)_I$, come visto in precedenza.

2.4.4 RICICLAGGIO

Ai fini del computo dei costi di esercizio degli impianti di riciclaggio parziale e totale, i relativi consumi di energia elettrica possono valutarsi, orientativamente, in circa 80 - 100 KWh/t RSU e 190 - 200 KWh/t RSU rispettivamente. Tali consumi medi si intendono comprensivi dei fabbisogni degli impianti ausiliari, dell'illuminazione e dei servizi generali.

Nel caso in cui si produca RDF pellettizzato, i consumi di energia elettrica si incrementano di circa 10÷15 KWh/t RSU. Negli impianti a riciclaggio parziale, il maggiore consumo (45% circa del totale) è dovuto alla linea di selezione automatica, seguito da quello della linea compost (30%) e dall'addensamento RDF (17%).

Negli impianti a riciclaggio totale, il consumo più elevato è relativo invece alla produzione della pasta di carta (40% del totale), seguito da quelli delle linee di granulazione della plastica e di selezione automatica (20% ambedue).

I consumi specifici medi di olio combustibile (comprensivi dei fabbisogni ausiliari e dei servizi) possono essere valutati in circa 2 Kg/t RSU per gli impianti di riciclaggio parziale, e in 3 Kg/t RSU per gli impianti di riciclaggio totale.

Infine i consumi d'acqua sono indicativamente compresi tra 0,25 e 1,5 m³/t RSU negli impianti di riciclaggio parziale, e tra 3 e 5 m³/t RSU negli impianti di riciclaggio totale.

I consumi di energia elettrica e combustibile, sono riassunti in tab.41

L'impegno di personale in funzione del tipo di impianto e del numero delle linee supposte tutte, per semplicità, da 20 t/h di potenzialità nominale, in esercizio 16 h/g, per 5 gg/settimana, e 52 settimane/anno, é riportato in tab. 42.

Tab.41 Consumi di energia elettrica e di combustibile negli impianti di riciclaggio, in funzione della potenzialità.

Analogamente a quanto detto in precedenza il numero del personale é incrementato del 20%, così come il costo del personale amministrativo , di guardiania e l'addetto allo smaltimento rigetti, é compreso sotto la voce varie.

Per gli impianti di riciclaggio parziale, si possono considerare validi gli organici previsti per il compostaggio incrementati di due addetti per turno per linea di produzione di RDF.

Per la valutazione dei recuperi di materiali conseguibili nel riciclaggio, si fa riferimento sempre alla composizione merceologica riportata in tab.34.

Tab.42 Personale impiegato negli impianti di riciclaggio totale e di riciclaggio totale completo.

Le ipotesi di rendimento assunte per i diversi materiali in uscita, da ritenersi non restrittive ma a carattere puramente indicativo, in relazione sia ad una mancanza di una significativa casistica di impianti in esercizio, che all'influenza esercitata dalle caratteristiche del mercato sui flussi relativi di carta, plastica ed RDF, sono di seguito riportate, espresse in termini di percentuale in peso sul rifiuto grezzo in ingresso:

a) <u>RICICLAGGIO PARZIALE</u>	
materiale ferroso pulito	2,5÷3%
RDF densificato	27÷28%
compost maturo e depurato	28÷30%
rigetti inerti	18 20%

b) <u>RICICLAGGIO TOTALE</u>	
materiale ferroso pulito	2,5÷3%
carta grezza	16÷17%
plastica leggera grezza	2,0÷2,8%
RDF grezzo	8 9%
compost maturo e depurato	28÷30%
rigetti inerti	18÷20%

c) <u>RICICLAGGIO TOTALE COMPLETO</u>	
materiale ferroso pulito	2,5÷3%
pasta di carta al secco comm. (88%)	12÷14%

granulato plastico	1,5÷2%
RDF densificato	8÷9%
compost maturo e depurato	28÷30%
rigetti inerti	24÷25%

I costi di puro esercizio risultanti per i diversi tipi di impianti analizzati, sono riassunti in tab.43 per diverse potenzialità di impianto, mentre i costi specifici sono stati riportati nel grafico di fig.13 in funzione della potenzialità equivalente annua dell'impianto, della potenzialità nominale giornaliera, e delle dimensioni del bacino d'utenza.

Tab.43 Costi di puro esercizio degli impianti di riciclaggio, in funzione di Pn, Pa e di N.

Fig.13 Costi specifici di puro esercizio e ricavi della vendita di materiali recuperati in impianti di riciclaggio totale e totale completo, in funzione di Pn, Pa e di N.

Dai costi riportati si possono trarre le seguenti indicazioni:

- l'effetto scala ha sostanzialmente lo stesso andamento nel campo di potenzialità preso in esame, per i due tipi di impianto
- il puro esercizio di un impianto a riciclaggio completo costa circa il doppio di quello di un impianto a riciclaggio totale completo; l'unica differenza tra i due tipi di processi é infatti la << nobilitazione >> della carta e della plastica in pasta di carta e in granulato plastico, rispettivamente, che quindi ha un'incidenza notevolissima sull'economia di esercizio
- per gli impianti a riciclaggio totale, i costi relativi al personale hanno una forte incidenza sul costo totale per la media potenzialità (sino a 70.000 t/anno); per le potenzialità medioalte, acquistano un'importanza più elevata i costi energetici, e per quelle alte (superiori alle 225.000 t/anno), anche le spese per lo smaltimento dei rigetti;
- per gli impianti a riciclaggio totale completo, l'incidenza maggiore sul costo é relativa all'energia consumata, seguita dalle spese per il personale : la manutenzione e lo smaltimento sovvalli hanno praticamente la stessa incidenza relativa. I ricavi teorici della vendita dei prodotti

recuperati, assunti per essi i rendimenti di recupero precedentemente visti, come così pure i prezzi medi unitari elencati nell'introduzione, sono stati riportati in tab.44 in funzione della potenzialità degli impianti esaminati.

I ricavi specifici risulterebbero pari a £ 14.500/t per il riciclaggio totale completo, invariati al variare della potenzialità, avendo considerato dei rendimenti di recupero costanti con essa. La produzione di pasta di carta e di granulato plastico, consente così di triplicare i ricavi unitari anche se ciò va considerato a livello indicativo, in quanto i ricavi dipendono da molte variabili locali, quali la qualità dei rifiuti, la localizzazione degli impianti, la commercializzazione, e così via.

I costi di esercizio (puro esercizio ricavi) risultanti sono riportati in tab.45.

Tab.44 Ricavi dalla vendita dei prodotti recuperati negli impianti di riciclaggio

Tab.45 Costi specifici di esercizio degli impianti di riciclaggio, in funzione di Pn, Pa e di N.

I costi relativi al riciclaggio totale, sono risultati sempre inferiori a quelli del riciclaggio totale completo: questi ultimi vi si avvicinano solo per le grandi potenzialità.

I costi di esercizio del riciclaggio parziale, dipendono dal tipo di processo adottato per il compostaggio, e dalle caratteristiche di produzione dell'RDF (grezzo, addensato, pellettizzato).

Occorre inoltre tener conto che l'adozione di una linea di RDF in un tradizionale impianto di compostaggio, comporta una diminuzione del coefficiente di utilizzo e quindi, una minore quantità di rifiuti annualmente trattata. Indicativamente, e mediamente, l'incremento dei costi di puro esercizio, rispetto ad un'impianto di compostaggio tradizionale, può oscillare, in funzione anche del tempo programmato di esercizio, tra le 5 e le 10.000 £/t RSU , tenuto conto della minor quantità di rigetti da avviare a discarica e della maggiore incidenza delle voci relative a personale, energia, manutenzione.

A fronte dell'incremento dei costi di esercizio, si ha peraltro un'aumento nei ricavi variabile tra le 8.000 e le 11.000 £/t RSU, a secondo del tipo di RDF prodotto. Questi ricavi quindi se effettivamente concretizzabili, configurerebbero una diminuzione dei costi di esercizio degli impianti di riciclaggio parziale rispetto a quelli di solo compostaggio.

2.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE SOLUZIONI ESAMINATE

I costi specifici di impianto dei diversi sistemi di smaltimento analizzati, sono stati riportati graficamente in fig.14 in funzione della potenzialità nominale.

Fig.14 Costi specifici di impianto per i diversi sistemi di smaltimento di RSU esaminati, in funzione di Pn.

Rimandando ai paragrafi precedenti per vedere ciò che viene preso in considerazione per la stima di queste cifre e per rendersi conto dell'inevitabile grado di approssimazione presente, dall'esame delle curve riportate in fig.14, si possono trarre le seguenti considerazioni :

- a) ampia variabilità dei costi di impianto da sistema a sistema :
si passa da un minimo di 15 - 20 milioni di £/t.giorno per lo scarico controllato senza impermeabilizzazione (ove ciò é consentito dal sottosuolo), ad un massimo di 70 - 100 milioni di £/t.giorno per i sistemi a tecnologia complessa (incenerimento e riciclaggio) ;
- b) in tutto l'intervallo di potenzialità osservate, lo scarico controllato senza impermeabilizzazione, è risultato il sistema più economico, anche se le aree idonee ad una sua applicazione risultano limitate ;
- c) nel campo di potenzialità inferiori alle 100 t/g il compostaggio con maturazione naturale in aia, risulta dopo lo scarico controllato non impermeabilizzato, il sistema meno costoso ;
- d) nel campo di potenzialità compreso tra 100 e 300 t/g il compostaggio con fermentazione accelerata risulta di costo confrontabile a quello dello scarico controllato senza impermeabilizzazione ;
- e) i maggiori costi d'impianto sono risultati quelli degli impianti a tecnologia complessa (incenerimento e riciclaggio). Nel caso degli impianti di incenerimento, l'adozione del

recupero di calore con produzione di vapore, comporta un onere aggiuntivo del 15÷30% (a pari potenzialità d'impianto) rispetto al sistema senza recupero ; l'adozione di un recupero di calore con produzione di energia elettrica incrementa tale onere fino al 55÷70% sempre rispetto al sistema senza recupero di pari potenzialità. Analogamente nel caso del riciclaggio, la produzione di semilavorati di qualità industriale, comporta, a pari potenzialità, un onere aggiuntivo del 60÷70% mediamente, rispetto al riciclaggio con produzione di carta e plastica grezze. Attualmente, peraltro, alcuni di questi costi aggiuntivi (in particolare recupero energetico e granulazione della plastica), sono consigliabili per l'ottimizzazione economica degli impianti ;

f) nel caso di potenzialità superiori alle 600÷700 t/g, i costi di investimento degli impianti di incenerimento con recupero di calore e di quelli di riciclaggio totale completo possono considerarsi confrontabili.

In fig.15 sono state riportate le curve dei costi specifici di puro esercizio dei vari tipi di impianto di smaltimento di RSU presi in considerazione in funzione della potenzialità nominale.

Fig.15 Costi specifici di puro esercizio degli impianti di smaltimento di RSU esaminati, in funzione di P_n dell'impianto.

Nella fig.16 sono invece riportati, sempre in funzione della potenzialità nominale, i costi specifici di esercizio (puro esercizio ricavi).

Fig.16 Costi specifici di esercizio (spesericavi) degli impianti di smaltimento di RSU, in funzione di Pn dell'impianto.

- a) 50 £/KWh : valore di cessione all'ENEL
- b) 90 £/KWh : valore medio del prezzo del KWh di autoconsumo di impianto.

Per i ricavi derivanti dalla vendita dei prodotti recuperati nei vari tipi di impianti, si sono assunti i prezzi medi indicativi riportati nell'introduzione, tranne gli impianti di IRV, IREE, IRC per i quali i prezzi di vendita sono riportati in fig.16.

Rimandando anche in questo caso ai paragrafi precedenti per l'illustrazione completa delle voci raggruppate nelle cifre esposte, dal grafico di fig. 15 si possono trarre le seguenti indicazioni di massima :

- in tutto il campo di potenzialità esaminato, lo scarico controllato presenta i minori costi specifici di puro esercizio, compresi tra le 4.000 e le 15.000 £/t smaltita ;
- nel campo delle potenzialità inferiori alle 200 t/g i costi più bassi di puro esercizio, dopo lo scarico controllato,

sono risultati quelli relativi al compostaggio, compresi tra 25.000 e 34.000 £/t senza sostanziali differenze tra i diversi tipi di processo esaminati. Seguono quelli relativi agli impianti di incenerimento : il sistema senza recupero risulta meno oneroso (28.000÷32.000 £/t) di quello con recupero di vapore;

- nel campo delle potenzialità comprese tra 200 e 400 t/g, i costi di puro esercizio del compostaggio e dell'incenerimento senza recupero o con recupero di energia elettrica e con cogenerazione, divengono paragonabili, almeno per potenzialità attorno alle 250÷300 t/g, risultando pari a 25.000 £/t; per potenzialità più elevate, l'incenerimento con recupero di vapore, diviene confrontabile al compostaggio, mentre quelli con recupero di energia elettrica e con cogenerazione, divengono meno onerosi (circa 23.000 £/t per potenzialità di 400 t/g) ;
- per potenzialità superiori a 400 t/g, l'incenerimento con produzione di energia elettrica e quello con cogenerazione, presentano i costi di puro esercizio più bassi (19.000÷22.000£/t) rispetto a quelli dell'incenerimento con recupero di vapore (23.000÷26.000 £/t), del riciclaggio totale (25.000÷37.000 £/t) e del riciclaggio totale completo (51.000÷60.000 £/t): in particolare per quest'ultimo sistema, i costi medi risultano più che doppi rispetto all'incenerimento con recupero sia di vapore che di energia elettrica.

Per quanto riguarda invece i costi specifici di esercizio dalla fig.16 si possono ricavare le indicazioni di massima che seguono :

- in tutto il campo di potenzialità esaminate, l'incenerimento con cogenerazione e quello con recupero di vapore, presentano i costi più bassi; al di sopra delle 200 t/g circa, i ricavi dell'incenerimento con recupero di vapore superano le spese, dando luogo a degli utili di esercizio che divengono più marcati con l'aumento della potenzialità, raggiungendo 8.000 £/t smaltita per 600 t/g di rifiuti inceneriti. Analoga situazione per l'incenerimento con cogenerazione per il quale, tuttavia, l'entità degli utili é dipendente dalla remunerazione unitaria ipotizzabile per il KWh autoprodotta; mediamente si può comunque assumere che gli utili siano dello stesso ordine di grandezza di quelli relativi al recupero di solo vapore e compresi nell'intervallo 5.000÷13.000 £/t ;
- per potenzialità inferiori alle 200 t/g, lo scarico controllato presenta, dopo l'incenerimento con recupero di vapore, i costi di esercizio più bassi, risultati compresi tra le 4.000 e le 15.000 £/t smaltita. Gli impianti di compostaggio presentano costi superiori e compresi tra le 22.000 e le 31.000 £/t smaltita, mentre l'incenerimento puro e il riciclaggio totale, risultano decisamente più onerosi, con costi che si vengono a situare rispettivamente intorno alle 30.000 £/t e alle 38.000 £/t smaltita, mediamente ;

_ per potenzialità comprese tra 200 e 400 t/g si osservano utili di esercizio della stessa entità media (3.000÷4.000£/t) per gli impianti di incenerimento con recupero di solo vapore e per quelli con cogenerazione, costi mediamente più bassi per lo scarico controllato (2.000÷4.000 £/t) rispetto all'incenerimento con sola produzione di energia elettrica (5.000÷13.000 £/t), costi più alti per il compostaggio (22.000 £/t mediamente) e sostanziale non competitività dell'incenerimento puro (25.000÷28.000 £/t) e del riciclaggio (25.000÷35.000 £/t) rispetto agli altri sistemi esaminati ;

- per potenzialità superiori alle 400 t/g, l'incenerimento con recupero di vapore e con cogenerazione presentano utili di esercizio mediamente confrontabili e compresi tra le 5.000 e le 13.000 £/t, e risultano ovviamente i sistemi più vantaggiosi. Segue lo scarico controllato con costi di esercizio compresi tra le 1.000 e le 2.000 £/t ; mentre l'incenerimento con recupero di energia elettrica, caratterizzato da costi medi tra 2.000 e 5.000 £/t, risulta competitivo, per le potenzialità più alte, con lo stesso scarico controllato. Decisamente più onerosi risultano, analogamente ai casi precedenti, gli impianti di riciclaggio totale (11.000 22.000 £/t), e di riciclaggio totale completo (16.000 25.000 £/t). Si ribadisce che i costi specifici di esercizio (esercizio puro ricavi) calcolati e commentati nel presente paragrafo, non comprendono le spese relative all'investimento iniziale.

Inoltre, essi sono stati ricavati assumendo la vendita totale dei prodotti e dell'energia recuperata, esclusa ovviamente quella destinata agli autoconsumi interni dell'impianto, alle remunerazioni unitarie esposte precedentemente. Per gli impianti di incenerimento con recupero di energia elettrica e con cogenerazione, si sono presi in considerazione, a scopo di confronto, i valori medi dei costi specifici di esercizio ricavati in base alle remunerazioni minima e massima ipotizzate: va altresì fatto notare che la vendita del KWh al prezzo assunto come limite superiore, renderebbe tali sistemi economicamente ancor più convenienti, come si può verificare direttamente dalla fig. 16.