

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



*FACOLTÀ DI INGEGNERIA*

Dipartimento di Ingegneria chimica

**TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA AMBIENTE E TERRITORIO**

**ABSTRACT**

**TITOLO**

*Analisi tecnico-economica della produzione di energia termica in un  
impianto di produzione di carta per imballaggio*

**Relatore**

Ch.mo Prof. Ing. ROBERTO NIGRO

**Candidato**

D'Andrea Elisa

Matr.324/149

Anno accademico 2010 - 2011

La carta per imballaggio e da supporto viene prodotta a partire da carta riciclata con l'uso di un processo che prevede 4 fasi principali:

spappolamento (pulping)

sbiancamento

pressatura

Essiccamento

La materia prima in ingresso al processo produttivo viene alimentata sottoforma di balla dalle tipiche dimensioni di 1 x 1x 1 [m x m x m].

La produzione della carta industriale ha una considerevole produzione di scarti (essenzialmente dalla fase di spappolamento) che risulta formata essenzialmente da polimeri e da sabbia e che viene normalmente conferita allo smaltimento.

L'elevato quantitativo di scarti di pulper nonché l'elevato potere calorifico (6000 cal/g per i polimeri e circa 4000 cal/g per la sabbia) suggerisce la termovalorizzazione degli scarti creando quindi una risorsa energetica ed economica per la produzione di carta.

Lo scopo del mio elaborato di tesi è l'analisi tecnico economica del processo di produzione della carta senza e con termovalorizzazione degli scarti di cartiera.

La attività di tesi è suddivisa nelle seguenti fasi:

1. Studio del processo produzione della carta
2. Analisi delle materie prime
3. Analisi chimico fisica degli scarti di cartiera
4. Dimensionamento di massima di un termovalorizzatore a forno rotante
5. Analisi tecnico economica del processo di produzione della carta

## 1. Studio del processo produzione della carta

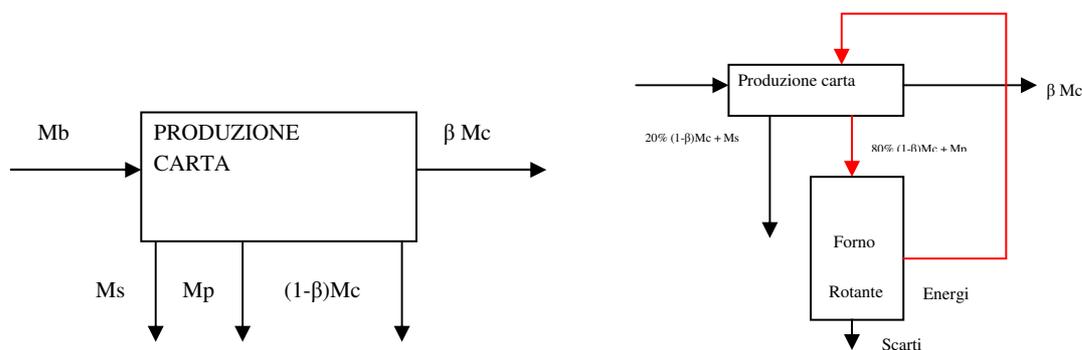
Il processo di produzione della carta a partire da balle di differenziata consiste in vari stadi che portano alla formazione della carta. I principali stadi sono:

preparazione delle fibre ovvero lo spappolamento (pulping): le balle vengono ridotte in poltiglia, si formano delle paste rompendo i legami che tenevano insieme i vari materiali differenziati;

sbiancamento (bleaching): prevede l'utilizzo di ossido e biossido di cloro;

trattamenti termici superficiali vari: prevedono l'utilizzo di un'ampia gamma di additivi per raggiungere le proprietà desiderate.

Lay-out impianto senza e con recupero di energia



## 2. Analisi delle materie prime

Per verificare la conformità del materiale in ingresso al processo produttivo viene eseguita l'analisi merceologica delle balle di materiale differenziato campionate con il metodo della miscelazione.

Di seguito sono riportati i vari momenti del campionamento e dell'analisi:



Miscelazione

Prelievo campione

Frazioni merceologiche

L'analisi statistica effettuata su più fornitori e sulle due tipologie di raccolta (congiunta e selettiva), ha permesso di definire che il peso di altro rifiuto ( polimeri, sabbia, vetro, legno, ecc) rispetto al peso totale è di circa 1.15% se la raccolta è selettiva, del 14% se la raccolta è congiunta. La presenza di altro materiale diverso da polimeri e sabbia è trascurabile.

Facendo riferimento ad una piccola cartiera campana con una produzione di carta pari a circa 100.000 t/anno, si ottiene una produzione di scarto di pulper (con una umidità del 40-45%) pari a circa 9000 t/anno di polimeri e 3200 t/anno di sabbia rispettivamente pari all' 11,25% e al 4% delle balle in ingresso.

### 3. Analisi chimico fisica degli scarti di cartiera

L'analisi chimico fisica ha permesso di determinare il potere calorifico e l'umidità della sabbia e del pulper ed i principali elementi chimici presenti, quali metalli pesanti, cloruri , fluoruri, solventi organici , pesticidi.

Per l'analisi del potere calorifico sono stati utilizzati la bomba di Mahler e l'analizzatore elementare Leco(analisi CHN):



Calorimetro Parr 6200

Analizzatore elementare Leco

I risultati delle analisi sono i seguenti:

Sabbia: potere calorifico pari a 4990cal/g, contenuto di umidità pari all'84.3%.

Pulper: potere calorifico pari a 3700cal/g, contenuto di umidità pari al 45%.

Inoltre per il pulper è stato determinato il contenuto di metalli con la procedura EPA 3050 che prevede l'utilizzo di un mineralizzatore a microonde e di uno spettrometro di massa accoppiato con una torcia al plasma, dispositivo detto ICP-MS che consente di identificare il tipo di metallo e la sua concentrazione nel campione.

Analogamente a quanto fatto prima diamo dei risultati sull'analisi dei metalli pesanti e degli altri composti.

Parametri	Unità di misura	Valore Determinato	Metodo di analisi
Umidità	Calcolo	32.3	% in peso
Potere calorifico inferiore	Calcolo	25606	KJ/Kg
Potere calorifico superiore	Calcolo	27517	KJ/Kg
Ceneri	Metodo gravimetrico	10.27	% in peso
Peso specifico		0.45	Kg/l
Carat. organolettiche		vario	
pH		3.62	
Densità	Kg/mc	n.d.	
Infiammabilità	secondi	non infiammabile	EPA 1030
Punto di infiammabilità	°C	n.d.	ASTM D 3828
Stato fisico		solido non polverulento	
Residuo a 105°C	%	38.81	Gravimetrico
Residuo a 600°C	%	8.32	Gravimetrico
Oli minerali	mg/Kg	812	
Idrocarburi leggeri C<12	mg/Kg	n.d.	EPA 8260
Idrocarburi leggeri C>12	mg/Kg	n.d.	EPA 8260
Alluminio e composti	mg/Kg	248.28	EPA 3050
Antimonio e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Arsenico e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Bario e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050

Berillio e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Bismuto	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Boro	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Cadmio e composti	mg/Kg	1.22	EPA 3050
Cobalto e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Cromo totale	mg/Kg	17.95	EPA 3050
Ferro e composti	mg/Kg	138.49	EPA 3050
Manganese e composti	mg/Kg	18.85	EPA 3050
Mercurio	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Nichel e composti	mg/Kg	3.41	EPA 3050
Piombo e composti	mg/Kg	2.92	EPA 3050
Rame totale	mg/Kg	7.44	EPA 3050
Rame composti solubili	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Selenio e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Stagno e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Tallio e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Tellurio	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Vanadio e composti	mg/Kg	n.d.	EPA 3050
Zinco	mg/Kg	33.32	EPA 3050
Bario	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Cadmio	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Cromo	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Rame	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Ferro	mg/lt	0.87	IRSA-CNR- APAT
Manganese	mg/lt	0.16	IRSA-CNR- APAT
Mercurio	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Molibdeno	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Nichel	mg/lt	0.02	IRSA-CNR- APAT
Piombo	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT

Antimonio	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Selenio	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Zinco	mg/lt	0.2	IRSA-CNR- APAT
Cloruri	mg/lt	78.1	IRSA-CNR- APAT
Fluoruri	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Cianuri	mg/lt	n.d.	IRSA-CNR- APAT
Solventi organici aromatici	mg/lt	n.d.	IRSA-APAT
Solventi organici azotati	mg/lt	n.d.	IRSA-APAT
Solventi organici clorurati	mg/lt	n.d.	IRSA-APAT
pesticidi totali non fosfati	mg/lt	n.d.	IRSA-APAT
Pesticidi totali fosfati	mg/lt	n.d.	IRSA-APAT
Solfati	mg/lt	n.d.	IRSA

#### 4. Dimensionamento di massima di un termovalorizzatore a forno rotante

In accordo con l'obiettivo del decreto legge 152/06 di recupero energetico dei rifiuti, gli scarti del processo potrebbero essere valorizzati e riutilizzati per la produzione di energia termica diminuendo, di conseguenza, la quantità di rifiuti da smaltire. L'impianto di termovalorizzazione prescelto, e fra l'altro indicato come preferenziale dal piano rifiuti della Regione Campania, è un forno a tamburo rotante al quale sarà conferito lo scarto pulper, rifiuto speciale, ed individuato dal codice il materiale CER 030307 con una portata pari a 1250 kg/h.

Il dimensionamento dell'impianto è stato effettuato in collaborazione con l'ufficio tecnico della cartiera ipotizzando il riutilizzo dell'energia prodotta sotto forma di vapore. Di seguito i principali dati dimensionali e di processo del termovalorizzatore.

Per il dimensionamento del tamburo rotante si prendono in esame i seguenti valori:

- 1) Calore in entrata 4600 Mcal/h
- 2) Calore in uscita 4000 Mcal/h
- 3) Portata fumi 11300 Nm<sup>3</sup>/h
- 4) Temperatura dei fumi in uscita 920 °C

I parametri operativi sono i seguenti:

- 1) Tempo di permanenza fumi 2-2.5 sec
- 2) Tempo di permanenza materiale 140-170 sec
- 3) Riempimento 8-12 %
- 4) Velocità di uscita fumi 3.5-4.5 m/sec

Sulla scorta di questi parametri si hanno le seguenti dimensioni:

Volume del forno	36	m <sup>3</sup>
Lunghezza	9,5	m
Diametro interno	2,2	m
Diametro esterno	2.830	mm

Per il dimensionamento del post combustore si assumono i seguenti valori:

- 1) Portata fumi 15000 Nm<sup>3</sup>/h
- 2) Tempo di residenza 2.5 sec
- 3) Temperatura di riferimento 850°C
- 4) Temperatura di ingresso fumi > 900°C
- 5) Temperatura di uscita fumi > 850°C

Sulla scorta di questi parametri si hanno le seguenti dimensioni:

Volume utile	43	m <sup>3</sup>
Diametro interno	3.300	mm
Diametro esterno	4.076	mm
Altezza utile (dopo ingresso aria)	5.100	mm

Per il dimensionamento della caldaia per l'utilizzo del vapore tal quale sono presi in considerazione i seguenti valori:

1) Temperatura nominale di ingresso fumi (Temperatura di uscita post combustore):	900	°C
2) Portata fumi nominale	11.300	Nm <sup>3</sup> /h
3) Portata fumi massima	15,500	Nm <sup>3</sup> /h
4) Quantità di calore ingresso nominale	3.850	Mcal/h
5) Perdite di calore $\approx 3$ %	120	Mcal/h
6) Temperatura di uscita fumi (50 °C > T. Entrata olio)	210	°C
7) Quantità di calore in uscita	880	Mcal/h
8) Quantità di calore recuperato nominale	2.850	Mcal/h

La portata di aria, maggiorata dell'eccesso è pari a 11800 Nm<sup>3</sup>/h

La portata di fumi, maggiorata dell'eccesso, è pari a 10800 Nm<sup>3</sup>/h

composizione percentuale di fumi in uscita :

CO<sub>2</sub> = 5-6% Vol      H<sub>2</sub>O = 9-12% Vol

O<sub>2</sub> = 8-12% Vol      HCl + SO<sub>2</sub> + NO<sub>x</sub> = Irrilevanti

N<sub>2</sub> = Resto

polveri sottili = 2-3 mg/ m<sup>3</sup> e

ceneri = 5-6 % del rifiuto alimentato e pari a 60-80Kg/h.

## 5. Analisi tecnico-economica del processo di produzione della carta

L'analisi tecnico-economica ha permesso di ricavare l'andamento della funzione guadagno per le tre differenti strategie di produzione:

- A. produzione di carta senza termovalorizzazione;
- B. produzione di carta con termovalorizzazione della sola aliquota polimerica dello scarto pulper;
- C. produzione di carta con totale termovalorizzazione dello scarto pulper (polimeri + sabbia).

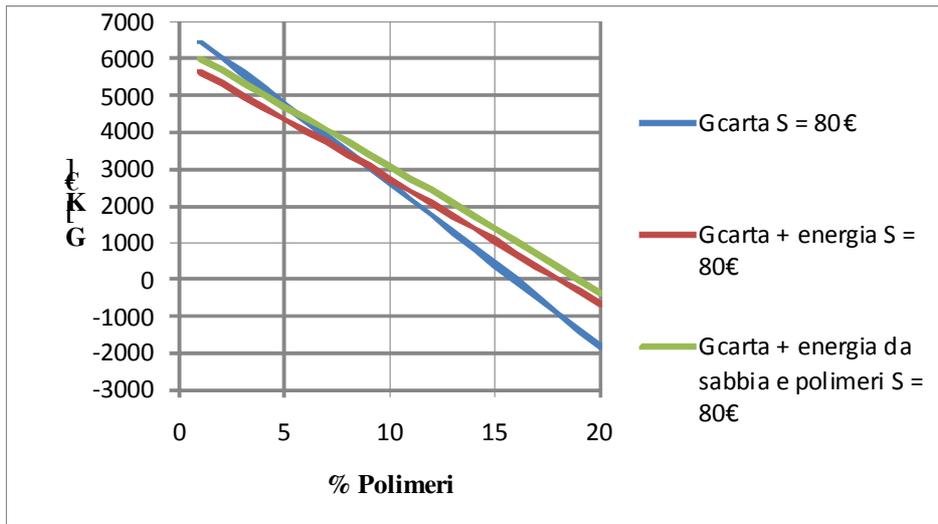
La funzione guadagno,  $G$ , è stata valutata al variare della quantità di carta prodotta, della quantità di polimeri presenti nella materia prima (carta da differenziata) in ingresso al ciclo produttivo e del costo unitario di smaltimento dei rifiuti (variabile fra 60\$ e 120 \$).

Di seguito le funzioni guadagno relativi ai tre casi in elenco e la comparazione grafica della funzione nel caso del costo unitario di smaltimento pari a 80 €.

$$G = (P \times M_c \times \beta) - C - S(M_p + M_s + (1 - \beta)M_c)$$

$$G = (P \times M_c \times \beta) + \Delta - C - S(M_s + 0.2 \times (1 - \beta)M_c) - C_f$$

$$G = (P \times M_c \times \beta) + \Delta_1 - C - C_f$$



Dall' analisi effettuata è possibile concludere che:

- 1) Il termovalorizzatore è una strada percorribile per il trattamento degli scarti di pulper, consentendo di incrementare i margini operativi;
- 2) All'aumentare dei costi di smaltimento è sempre più vantaggioso per l'azienda produrre energia.
- 3) La strategia di recupero energetico dell'impianto migliora se si considera anche il conferimento della sabbia al termovalorizzatore per effetto del non trascurabile potere calorifico (4990 cal/g) e dovuto principalmente alla presenza di sostanze cellulosiche e polimeriche di dimensioni micrometriche provenienti dalla materia prima in ingresso.