



TECNOLOGIA INNOVATIVA NELLA PIROLISI DEGLI RSU/CDR

**Impianto di produzione di Pyro-Oil derivante da
RSU/CDR
per la generazione di energia elettrica**

Reattore Pirolitico Olitermic

Rev.	Date	Status	Prepared	Checked	Approved	Kind of revision
00	03/03/09	First Issue	FB	AB	FB/AB	

--	--	--	--	--	--	--

INDICE

<u>1</u>	<u>Introduzione.....</u>	<u>3</u>
1.1	Combustibile da rifiuto urbano RSU/CDR.....	3
1.2	La tecnologia del ricupero	4
1.2.1	Termovalorizzatore e Termolisi.....	4
1.2.2	Processo di Termolisi o Pirolisi.....	5
1.3	Caratteristiche e composizione dei prodotti pirolitici derivati RSU/CDR...6	
1.3.1	Residuo Solido.....	6
1.3.2	Residuo liquido (Pyro-oil).....	6
1.3.3	Gas di Pirolisi.....	6
1.4	Apparecchiature pirolitiche.....	8
1.4.1	Il reattore a carica (batch).....	8
1.4.2	Reattore a letto mobile.....	9
1.4.3	A letto fluido.....	10
1.4.4	Il reattore rotativo.....	11
<u>2</u>	<u>Nuova Tecnologia.....</u>	<u>12</u>
2.1	Il reattore pirolitico OLITERMIC.....	12
2.1.1	Vantaggi.....	13
<u>3</u>	<u>Incentivazioni per la produzione di energia non derivata da fonti di origine fossile - rinnovabili.....</u>	<u>15</u>
3.1	Kyoto.....	15
3.2	Legislazione Italiana.....	15
3.3	Certificati verdi.....	16
<u>4</u>	<u>Riferimenti.....</u>	<u>17</u>
4.1	Legislazione.....	17
4.2	Fonti di informazione.....	17
4.3	Bibliografia.....	18

1 Introduzione

1.1 Combustibile da rifiuto urbano RSU/CDR

In Campania giacciono, sparsi in vari depositi, 6.000.000 di ecoballe (Fig. 1) che corrispondono a circa 4.200.000 tonnellate di combustibile avente un discreto potere calorifico (3000-4500-Kcal/kg).

Tale giacenza costituisce un problema ambientale di non poca gravità (Fig.2) ed un immenso spreco di risorse energetiche, poiché l'RSU/CDR, con il suo potere calorifico, può essere utilizzato in sostituzione dell'olio combustibile, carbone o gas metano consumato nelle centrali termoelettriche per la produzione di F.E.M.



Figura 1: Ecoballe

Una soluzione per risolvere questa problematica è stata indicata nel “Rapporto conclusivo della commissione per le migliori tecnologie di gestione e smaltimento dei rifiuti del 20 Aprile 2007 “[1].

In tale rapporto la commissione ha individuato come migliore sistema di



Figura 2: Ecoballe degradate

smaltimento delle ecoballe la “Termolisi” più comunemente conosciuta come “Pirólisi” nelle sue varianti che si differenziano per le modalità con cui il processo è condotto.

Il vantaggio di questa tecnologia, rispetto alla comune pratica della Termovalorizzazione, consiste nel

ridotto impatto ambientale e l'estrema precisione del controllo di processo che garantisce efficienza di riconversione ed il rispetto degli standard di emissione in atmosfera.

Dal punto di vista economico un impianto di Pirólisi necessita di un investimento ridotto con un B.E.P. (Break Even Point) anticipato rispetto al più costoso

impianto di Termovalorizzazione.

Si ricorda che il decreto Legislativo 16/03/1999 n° 79 (Decreto Bersani), nonché la recente Legge n°239 del 23/08/2004 sul “Riordino del Settore Energetico”, hanno inserito fra le “*fonti rinnovabili*” anche “*la trasformazione in energia elettrica dei rifiuti organici ed inorganici per la parte biodegradabile*”.

Pertanto l’energia elettrica prodotta negli impianti di nuova realizzazione che utilizzano RSU/CDR, può essere oggetto di specifici contratti fra i produttori di energia elettrica (*certificati verdi*).

Stante l’obbligatorietà del recupero energetico dei rifiuti, stabilito dal Decreto Ronchi (D.lgs n° 22 DEL 5/02/97), e l’inserzione dei rifiuti industriali fra le “fonti rinnovabili” (con tutti i conseguenti vantaggi), nel presente documento la nostra attenzione verrà rivolta soprattutto al sistema di valorizzazione del rifiuto tramite la *Termolisi*.

1.2 La tecnologia del ricupero

1.2.1 Termovalorizzatore e Termolisi

Bruciare in un Termovalorizzatore l’RSU/CDR tal quale risulta il processo più semplice da implementare. Epperò valutando l’impatto delle emissioni in atmosfera, prodotte dal Termovalorizzatore, ed il residuo solido che comunque sarà smaltito in discarica, non si può che scegliere la *Termolisi* quale tecnologia elettiva per il ricupero energetico.

Autorevoli ricercatori si sono occupati della determinazione dei parametri cinetici dei singoli componenti degli RSU/CDR durante lo svolgimento di un processo Pirolitico [3-5]. Altri ancora hanno studiato i vari miscugli dei singoli componenti degli RSU/CDR per poter simular al meglio le molteplici variazioni nella composizione degli RSU/CDR [6-10] che saranno avviati al processo di *Termolisi*.

1.2.2 Processo di Termolisi o Pirolisi

Il più antico e conosciuto processo di pirolisi è la “**carbonizzazione del legno**”, che avviene a temperature comprese tra i 300 e 500 °C. Da tale processo si ricupera solo la frazione solida (carbone vegetale).

Praticamente con il processo di pirolisi si trasforma un combustibile a bassa densità energetica (3.000-4.000 kcal/kg) in un altro con contenuto

energetico più elevato (8.000-10.000 kcal/kg), risparmiando sui costi di trasporto e distribuzione.

Il processo di *Pirolisi* avviene, in assenza di ossigeno, nel campo di temperature tra i 400 ed 800°C in cui le molecole delle sostanze organiche vengono trasformate in elementi più semplici.

I prodotti della reazione sono:

- **Nero fumo** (Carbon black o char) \cong 20-30% (in peso) -Frazione “solida” contenente residui a più alto peso molecolare, furani derivati e composti fenolici.
- **Olio combustibile** (Pyro-oil) \cong 40-60% - Frazione “liquida oleosa” contenente acqua e composti organici a basso peso molecolare: alcoli aldeidi, acidi, chetoni.
- **Gas** \cong 5-10% - Frazione “gassosa” a medio potere calorifico contenente CO, CO₂, idrocarburi (CH₄, C₂H₄, C₃H₆), H₂O, H₂;

Il controllo della velocità di svolgimento del processo permette di massimizzare la formazione delle frazioni più leggere (liquidi e gas - pirolisi veloce e temperature più elevate) o pesanti (*char* e liquidi - pirolisi lenta e temperature più basse).

La percentuale di trasformazione, per singolo componente è, quindi, strettamente legata alle condizioni del processo pirolitico [13,14,15]



Figura 3: Carbonizzazione del legno
(Upsala University)

1.3 Caratteristiche e composizione dei prodotti pirolitici derivati RSU/CDR

1.3.1 Residuo Solido

Il residuo solido generalmente contiene carbone (carbon black o char), la cui qualità è riportata in numerosi studi [17,18,19] e tutti i minerali presenti inizialmente negli RSU/CDR.

Il carbone può essere utilizzato dopo opportuni trattamenti e dopo attivazione, per l'adsorbimento di fenoli e metalli pesanti dall'acqua, o riutilizzato, in altri campi tecnologici, consentendo un notevole risparmio di energia e una riduzione della produzione di CO₂. Una volta epurato può anche essere bricchettato ed utilizzato nelle stufe per riscaldamento.

1.3.2 Residuo liquido (Pyro-oil)

La fase liquida è il prodotto più importante del processo pirolitico costituendone dal 50 al 58% in peso.

Le analisi hanno rilevato composti organici aromatici (53.4-74.8 %), nitrogenati (2.47-3.5 %) ed alcuni ossigenati (2.29-4.85%).

Le caratteristiche del liquido pirolitico possono essere approfondite consultando i lavori in bibliografia.

La caratteristica fondamentale della fase liquida è rappresentata dal suo potere calorifico (42MJ/kg), maggiore di quello di altri prodotti petroliferi commerciali rispetto ai quali presenta un contenuto in zolfo pari o addirittura leggermente inferiore (0.5 -1.4 %).

1.3.3 Gas di Pirolisi

La produzione del gas pirolitico varia considerevolmente in funzione delle condizioni di processo, come dimostrato dai molteplici esperimenti condotti.

Generalmente oscilla tra il 2.4- 4.4 % (in peso). La sua composizione è eterogenea ma in gran parte costituita da idrogeno e metano[13]. Di regola il gas pirolitico è utilizzato per il sostentamento del processo di decomposizione termica.

Assenza di Gas tossici

Nei Termovalorizzatori i gas di combustione contengono gas tossici PCDD/F comunemente individuati come Diossine e Furani, la loro formazione è descritta con esaustiva chiarezza in [12,16,17]. Essi si formano durante la combustione degli RSU/CDR, ed aumentano in modo esponenziale in un intervallo di temperatura ben preciso tra i 200 e 400 °C scomparendo intorno ai 600°C per poi riformarsi, di nuovo, a temperature più elevate. Questo meccanismo di formazione dei PCDD/F si manifesta in presenza di ossigeno, condizione che si riscontra durante la combustione sulle griglie dei Termovalorizzatori.

L'andamento della formazione dei PCDD/F in funzione della temperatura è rappresentata nella figura 4.

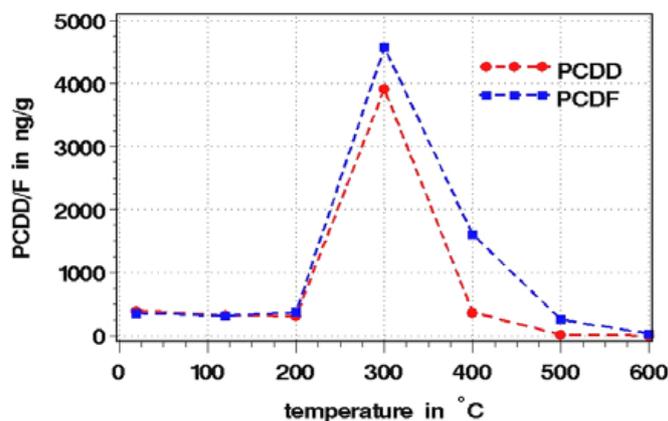


Figura 4: Formazione PCDD/F in funzione della temperatura

La *Termolisi* poiché opera in “*assenza totale di ossigeno*”, non permette la combustione di materiale organico che, in presenza di sostanze clorurate, può dar luogo alla formazione di diossine.

Per impedire che, anche in minima parte, si possano formare delle diossine nel reattore pirolitico la zona di temperatura compresa tra i 200 e 400°C va individuata con estrema precisione ed è in questa zona che si atomizza una piccola quantità di calce o di carbonato sodico per neutralizzare l'HCl presente nei fumi. Con la neutralizzazione dell'HCl si inibisce la formazione degli PCDD/F in quanto, come in precedenza evidenziato, essi derivano dalla parziale combustione della frazione organica in presenza di sostanze clorurate.

Anche dal punto di vista delle emissioni di polveri sottili [19] il processo pirolitico si presenta come un tecnologia vincente Tab.1.

Tabella 1 Comparazione delle emissioni in atmosfera per differenti tecnologie di smaltimento.

Elemento	Unità	Combustione	Pirolisi	Gassificazione
O ₂	vol%	6 - 12	0	< 0.1
HCL	ppm	1000		600
SO ₂	ppm	150 - 400	< 100	
H ₂ S	ppm		>1000	800 - 1500
NO	ppm	200 - 500		
NH ₃	ppm	5 - 30	20-100	< 3
HCN	ppm		1-50	1-10
CO	vol%	0.002	30	35 - 40
CO ₂	vol%	16 - 20	20 - 40	20 - 30
H ₂	vol%		15	35
CH ₄	vol%	< 0.0005	15	< 0.5
C _n H _m	vol%	< 0.0001	5	< 0.1
PCDD/F	ng/m ³	0.5 - 5		< 0.05

Tabella 1: Emissioni in atmosfera

1.4 Apparecchiature pirolitiche

Le apparecchiature pirolitiche, per la dissociazione termica, sono raggruppate in due famiglie di reattori:

- A carica (batch).
- Continui:
 - A letto mobile (*moving bed*)
 - A letto fluido (*fluidized bed*)
 - A tamburo rotante (*Rotary drum*)
 - Ad avanzamento alternato “*Processo Olitermic*”

1.4.1 Il reattore a carica (batch)

Generalmente è costituito da un serbatoio cilindrico ad asse verticale, dotato di un coperchio superiore a chiusura ermetica Fig.5. Esso presenta semplicità di costruzione, associata ad un’elevata ed intrinseca sicurezza di funzionamento. Di fatti su di esso è possibile implementare facilmente efficienti sistemi di tenuta della chiusura che assicurano l’esatto dosaggio d’aria nel processo di



Figura 5: Reattore a carica "Batch" (Upsala University)

degradazione termica.

L'ingresso incontrollato dell'aria produrrebbe pericolose esplosioni all'interno del reattore. Un impianto a carica richiede una messa a regime lunga e non consente elevate produzioni a causa dei costi di gestione dovuti al personale impiegato ed all'energia persa per i continui riavvii delle singole unità costituenti l'impianto.

1.4.2 Reattore a letto mobile

L'apparecchiatura in Fig. 6 è realizzata con una griglia costituita da barrotti mobili, intercalati a barrotti fissi, che con il loro movimento fanno avanzare lentamente la massa in processo sul letto di reazione sino ai sistemi di evacuazione degli inerti. La conduzione del processo è semplice non necessitando di particolari accorgimenti tecnici.

1. Alimentazione degli RSU/CDR
2. Letto fisso
3. Estrazione inerte
4. Estrazione gas distillati



Figura 6: Reattore a letto mobile
(Upsala University)

Al pregio della semplicità di costruzione e conduzione fa riscontro la difficoltà di assicurare l'ermeticità del reattore all'ingresso dell'aria esterna, pertanto quasi sempre questi reattori vengono condotti per ragioni di sicurezza con flussaggio di Azoto o CO₂, dovendo rinunciare al vuoto con tutti i vantaggi che esso comporta.

1.4.3 A letto fluido

L'apparecchiatura in Fig.8 è costituita da un cilindro ad asse verticale dal cui fondo è insufflata una corrente di gas che, attraversando un setto poroso Fig.7, forma un letto fluido su cui galleggia il prodotto in Termolisi.

Il processo è ad alta efficienza e possono essere introdotti combustibili ad alto potere calorifico poiché il refrattario, interno al reattore, protegge la struttura dalle alte temperature. In questo tipo di apparecchiatura si possono coniugare i processi di *Pirolisi* e di *Gassificazione* per ottenere un gas di sintesi utilizzabile per altre applicazioni.



Figura 7: Letto fluido
(Sheffield University)

La conduzione del processo di *Pirolisi* è nello specifico reattore è abbastanza delicata per:

- Introduzione di materiale con una pezzatura omogenea e compatibile al galleggiamento, evitando l'introduzione di pezzi metallici.
- Regolazione dell'altezza del letto fluido per scongiurare il pericolo che il materiale possa attaccarsi al setto poroso od essere trascinato all'esterno dalla corrente di gas fluidizzante.
- Regolazione della temperatura nella zona di *Pirolisi* e di *Gassificazione*

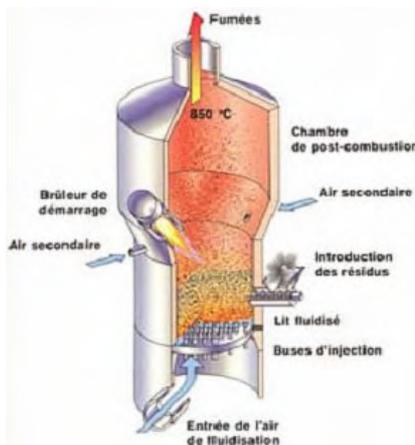


Figura 8: Reattore a letto fluido

1.4.4 Il reattore rotativo

È costituito essenzialmente da un cilindro orizzontale posto in rotazione su dei rulli lungo il suo asse di rivoluzione. È l'apparecchiatura più utilizzata poiché rende possibile una marcia continua dell'impianto richiedendo poco personale per la sua gestione, contenendo le perdite energetiche nella fase di avviamento. Lo svantaggio legato all'uso del reattore rotativo è rappresentato da una frequente usura delle tenute all'aria, in ingresso ed in uscita, provocato dal suo continuo rotolamento sui rulli di sostegno. Questo determina la necessità di controlli continui data l'estrema delicatezza del processo intollerante ad accidentali ingressi d'aria. Spesso questi reattori vengono pressurizzati con azoto (gas neutro) per

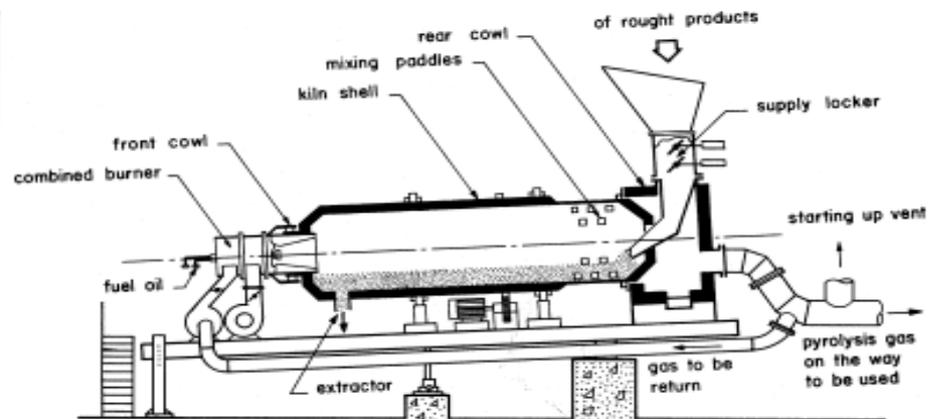


Figura 9: Reattore rotativo

impedire la formazione di miscele aria/combustibile infiammabili, con conseguente aumento dei costi. Un altro aspetto negativo del reattore rotativo è la difficoltà di operare sottovuoto per incrementare la frazione oleosa sino al 58 % in peso[15,16] riducendo il residuo solido.

2 Nuova Tecnologia

2.1 Il reattore pirolitico OLITERMIC

E' un distillatore termolitico di nuova concezione, già testato ed utilizzato per il riscaldamento e l'inertizzazione di fanghi inquinati, esso è composto da:

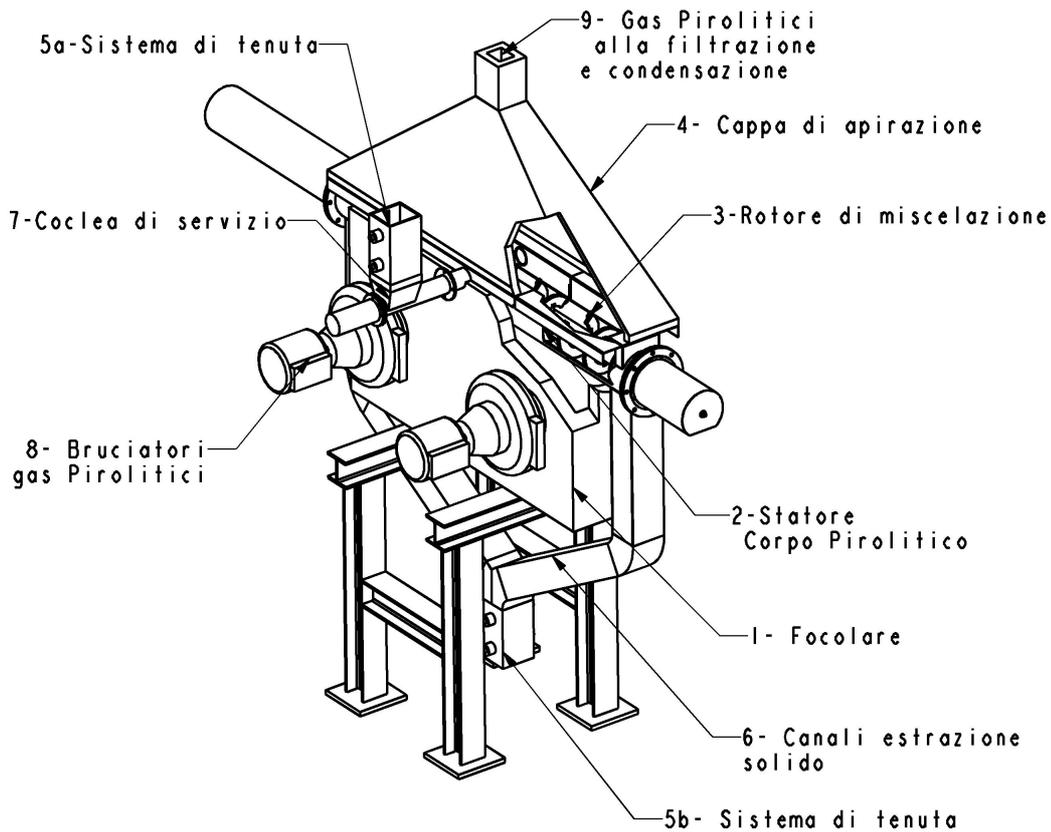


Figura 10: Reattore *Olitermic*

- *Focolare* (1) monolitico a cui sono applicati i bruciatori alimentati dal gas prodotto durante il processo pirolitico.
- *Statore* (2) realizzato con un involucro esterno a profilo cilindrico allocato sul focolare e posto a diretto contatto con i gas di combustione dei bruciatori deputati a fornire il calore necessario al processo pirolitico. Internamente allo statore sono poste delle alette fisse che hanno lo scopo di favorire il disgregamento del materiale in decomposizione e di aumentare la superficie di scambio termico. Lo statore è realizzato con acciai refrattari il cui campo di applicazione si estende sino a 1150°C.
- *Rotore* (3) costituito da un albero sul quale sono installati dei settori di

disco. Il *rotore* è dotato di moto rototraslatorio alternato (push-pull) in modo da favorire lo scambio termico tra il prodotto in degradazione e la parete di conduzione dello *statore*. La regolazione della velocità di rotazione e del movimento push-pull determina il tempo di permanenza del materiale all'interno del reattore. Anche il *rotore* è realizzato con acciai refrattari il cui campo di applicazione si estende sino a 1150°C.

- *Cappa di aspirazione* (4) di raccolta dei gas prodotti dalla *pirolisi*
- *Sistemi di tenuta* (5a-5b) all'aria esterna in ingresso ed uscita al reattore
- *Canali di evacuazione* (6) prodotti solidi

Il materiale è alimentato al centro dello *statore* tramite il sistema di tenuta (5a), esso è spinto all'interno dello *statore* con la coclea di servizio (7).

Il *rotore* con il suo movimento di rototraslazione alternata lo distribuisce nei due rami dello *statore* conducendolo sino alle bocche di scarico, a destra e sinistra dello stesso. I *canali di evacuazione* (6) del solido portano il prodotto al sistema di tenuta di uscita (5b) del prodotto solido. Durante il processo la cappa di aspirazione (4) raccoglie i distillati e i gas prodotti per indirizzarli ai sistemi di condensazione e di stoccaggio.

2.1.1 Vantaggi

Poter disporre di un reattore statico facilita l'applicazione dei sistemi di tenuta e dei controlli di processo, consentendo il funzionamento dell'apparecchiatura anche “*sotto vuoto spinto*” per indirizzare la *termolisi* verso prodotti più pregiati quali i Pyro-oil (circa 58% in peso), riducendo di conseguenza la produzione del solido e per evitare, come già in precedenza detto, la formazione delle Diossine.

La superficie di scambio è limitata al letto dello *statore* la quale è l'unica esposta ai gas caldi di combustione. Il materiale in processo è sottoposto a continuo movimento e disgregazione prodotto dal suo confinamento tra le palette ed i settori circolari posizionati sul rotore; ciò facilita la separazione del distillato dalla massa solida evitando la formazione di agglomerati bituminosi.

La staticità dell'apparecchiatura semplifica e riduce gli interventi di manutenzione.

In sintesi:

- Vasta scelta dei programmi di processo
- Alta percentuale di produzione olio combustibile
- Semplicità di conduzione
- Alta sicurezza intrinseca
- Ridotta manutenzione
- Ridotti inquinanti nelle emissioni dei gas in atmosfera
- Minore produzione di ceneri da smaltire in discarica

NOTA

L'impianto, ***“Olitermic”*** dopo aver esaurito il suo compito di smaltimento delle ecoballe può essere utilizzato ancora per la *Termolisi* di Biomasse, fanghi di depurazione od di altre sostanze con un discreto contenuto di materiale organico.

3 Incentivazioni per la produzione di energia non derivata da fonti di origine fossile - rinnovabili

3.1 Kyoto

Il protocollo di Kyoto sui cambiamenti climatici è un accordo internazionale che stabilisce precisi obiettivi per i tagli delle emissioni dei gas, da parte dei Paesi industrializzati, responsabili dell'effetto serra e del riscaldamento del pianeta. L'Italia ha recepito la Direttiva Europea 2001/77 in tema di incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili Dlgs 387/03 .

3.2 Legislazione Italiana

Si definiscono energie rinnovabili (Dlgs 387/03)

Art. 2. Definizioni

a) fonti energetiche rinnovabili o fonti rinnovabili: le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas).

In particolare, per biomasse si intende: la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché' la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

*Art. 17.- Inclusionione dei rifiuti tra le fonti energetiche ammesse a beneficiare del regime riservato alle fonti rinnovabili*¹. Ai sensi di quanto previsto dall'articolo 43, comma 1, lettera e), della legge 1° marzo 2002, n. 39, e nel rispetto della gerarchia di trattamento dei rifiuti di cui al decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, sono ammessi a beneficiare del regime riservato alle fonti energetiche rinnovabili i rifiuti, ivi compresa, anche tramite il ricorso a misure promozionali, la frazione non biodegradabile ed i combustibili derivati dai rifiuti, di cui ai decreti previsti dagli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 92 e alle norme tecniche UNI 9903-1.

Pertanto, agli impianti, ivi incluse le centrali ibride, alimentati dai suddetti rifiuti e combustibili, si applicano le disposizioni del presente decreto, fatta eccezione, limitatamente alla frazione non biodegradabile, di quanto previsto all'articolo 11. Sono fatti salvi i diritti acquisiti a seguito dell'applicazione delle disposizioni di

cui al decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79, e successivi provvedimenti attuativi.

3.3 Certificati verdi

I certificati verdi (brevemente *CV*) costituiscono una certificazione attestante che l'energia prodotta in un anno da un produttore di energia elettrica è stata originata da fonti rinnovabili o comunque ricadenti nell'art. 17 del Dlgs 387/03.

I *CV* vengono rilasciati da Gestore Servizi Elettrici (GSE s.p.a.) dopo l'ottenimento della qualifica IAFR dell'impianto (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili), rilasciata dallo stesso Ente.

Il valore dei *CV* è un valore aggiunto alla vendita dell'energia elettrica al GSE, tale valore è stabilito annualmente da una delibera dell'Autorità per l'energia e il gas (ARG/elt) che fissa il prezzo di vendita per MWh prodotto.

Il periodo di rilascio dei *CV* è fissato, per i nuovi impianti, in 15 anni, dalla loro messa in produzione.

4 Riferimenti

4.1 Legislazione

- Dlgs n° 22 DEL 5/02/97 – Decreto Ronchi
- Dlgs n° 79 del 16/03/1999 – Decreto Bersani
- Direttiva CE 18 Sett. 2000 –n°20053/CE
- D.M. 11 Marzo 1998 n°141
- Dgls 3 Aprile 2006 n°152
- Dgls 2008 n°4

4.2 Fonti di informazione

- GSE s.p.a. Gestore dei servizi elettrici – www.gsl.it
- ARG/elt - Autorità per l'energia ed il gas – www.autorita.energia.it
- APER – Associazione Produttori Energie da Fonti Rinnovabili
www.aper.it
- INVITALIA-Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa- www.invitalia.it –
www.sviluppoitalia.it/impresa_interna.jsp?ID_LINK=1493&area=239
- ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
www.apat.gov.it
- Università degli Studi di Pisa - www2.ing.unipi.it
- Università degli Studi di Modena – www.dima.unimore.it
- Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 5 - 7 September 2007, Chennai, India. pp.385-392-385
- Basel Convention Technical Guideline on Identification and Management of Used Tyres. www.basel.int
- High Value Products from Scrape Tyres www.leeds.ac.uk
- Pilot-Scale Evaluation of the Potential for Emission of Hazardous Air Pollutants from Combustion of Tires-Derived Fuel - www.ecochem.biz

4.3 Bibliografia

1. Commissione Parlamentare d'Inchiesta sul Ciclo dei Rifiuti e sulle Attività (*istituita con legge 20 ottobre 2006, n. 271*)
2. Gasification vs Combustion of Waste/Biomass in Fluidized Bed Reactors - D.L. Granatstein, Natural Resources Canada, CANMET Energy Technology -Centre-Ottawa (CETC-O), 1 Haanel Drive, Ottawa, Ontario, Canada K1A 1M1
3. Experimental Studies on Municipal Solid Waste and Biomass Pyrolysis Trondheim, May 2007 Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science and Technology - Department of Energy and Process Technology-
4. Solid Waste Conversion - University of California Davis Department of Biological and Agricultural Engineering - R. B. Williams, B. M. Jenkins, D. Nguyen - December, 2003
5. Solid Waste Treatment by Pyrolysis – C. Vasile, M.Brebu, Y.Sakata, H.Pardel C.Roy, R. Miranda – Jurnal of Environmental Protection and Ecology 3, N° 1, 230-235 (2002)
6. A Preliminary Modeling Study of a Fluidized Bed Pyrolyser for Plastic Wastes - M.L. Mastellone¹, U. Arena¹, G. Barbato¹, C. Carrillo¹, E. Romeo¹, S. Granata^{1,2}, A. Frassoldati², T.Faravelli², E. Ranzi²⁻¹. *Dipartimento di Scienze Ambientali – Seconda Università di Napoli, Caserta 2. Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica – Politecnico di Milano*
7. Definizione di Composizione Surrogate che descrivano il comportamento alla Volatilizzazione, Gassificazione e Combustione di Biomasse e Rifiuti – Consorzio LEAP Laboratorio Energia Ambiente Piacenza
8. Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste -Ojolo, S. J.1 and Bamgboye, A. I.2-1Mechanical Engineering Department, University of Lagos, Akoka, Lagos.- 2Agricultural Engineering Department, University of Ibadan, Ibadan.
9. Modeling & Simulation of Pyrolysis: Effect of Convective -Heat Transfer & Orders of Reactions -B.V. Babu* and A.S. Chaurasia -Department of Chemical Engineering-Birla Institute of Technology & Science-Pilani - 333 031.
10. Pyrolysis Characteristics of Refuse Derived Fuel in a Pilot-Scale Unit -Binlin Dou,[†] Sanguk Park,[†] Sungjin Lim,[†] Tae-U Yu,[‡] and Jungho Hwang*,[†]*Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea, and Korea Institute of Industrial Technology, Chunan, Korea Received May 14, 2007. Revised Manuscript Received July 9, 2007*
11. Origine delle emissioni di sottoprodotti tossici e di particolato sottile dai processi di combustione e dal trattamento termico di materiali e rifiuti pericolosi ed effetti sulla salute.- Traduzione dall'inglese a cura di Marco Baldini di: "Origin and Health Impacts of Emissions of Toxic By-Products and Fine Particles from Combustion and Thermal Treatment of

- Hazardous Wastes and Materials". Stephania A. Cormier, Slawo Lomnicki, Wayne Backes, and Barry Dellinger
12. Impatto Ambientale dei Processi di Incenerimento di Rifiuti - Marco Caldiroli *Centro per la Salute "Giulio A. Maccacaro"* via Roma 2 21053 Castellanza (VA)
 13. Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges
Tamer Karayildirim *ed. a/stris* - 6 January 2006
 14. A Comparison of Gasification with Pyrolysis for the Recycling of Plastic Containing Wastes-Ruby Ray and RB Thorpe- *International Journal of Chemical Reactor Engineering* ' Volume 5 2007 Article A85
 15. Natural Resources Management and Environment Department - The research progress of biomass pyrolysis processes
 16. X Dioxins in Waste Combustion – Conclusions from 20 Years of Research -Jürgen Vehlow Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Institute for Technical Chemistry – Thermal Waste Treatment Division
 17. Fenomenologia della combustione di biomasse.- *T. Faravelli, A. Frassoldati S. Granata, A. Cuoci, E. Ranzi* Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica - Politecnico di Milano
 18. SINTEF Energy Research - Characterisation of MSW for Combustion Systems – 2001-02-22
 19. Assessment of Materials Management Options for the Massachusetts Solid Waste Master Plan Review -Massachusetts Department of Environmental Protection – December 2008