



Una innovazione tecnologica per
il recupero dell'energia da fonti
rinnovabili nel rispetto
dell'ambiente

Impianto pirolitico

Sito internet:

<http://www.eko-technology.com>

E-mail: info@eko-technology.com

Sede: Via della Trave , 62

Cap 61032 - Fano (PU) MARCHE

P.iva 02144680416

tel. +39 0721.863276

fax +39 0721.868630



eko-technology.com



Tecnologie al servizio dell'ambiente

PREMESSA

E' stato elaborato il progetto descritto nei capitoli successivi della presente relazione che ha lo scopo di proporre la costruzione e la gestione di un sistema completo di smaltimento di CDR e di combustibili alternativi compatibili. L'impianto risulta inoltre adatto al trattamento di rifiuti solidi organici in genere.

Le linee guida vengono così sintetizzate:

- stoccaggio controllato dei residui sottoposti a processo;
- smaltimento delle farine animali o del CDR mediante trattamento di pirolisi;
- combustione del gas di pirolisi e del residuo carbonioso;
- produzione di energia elettrica con l'eccesso di energia termica sviluppatasi nella camera di combustione;
- depurazione dei fumi, entro i limiti di emissione previsti dalla vigente normativa nazionale che ha recepito le norme della legislazione Europea.

Le attese impiantistiche sono molteplici:

- risolvere il problema dello smaltimento in discarica, conferendovi eventualmente solo del materiale inerte circa il rilascio di elementi tossici nell'ambiente, derivante dalla vetrificazione del residuo solido del processo e della frazione di sali di neutralizzazione e carbone attivo raccolti dal filtro a maniche.
- effettuare il recupero energetico del contenuto entalpico della materia prima come energia elettrica.
- la tecnologia di smaltimento è quella del trattamento di pirolisi, tecnologia innovativa che, secondo diffusa opinione degli addetti ai lavori risulta la più idonea al trattamento dei rifiuti,

specie quelli ad alto potere calorifico, in quanto risolve i problemi dello smaltimento senza produrre danni ambientali e apprezzabili quantità di rifiuti di processo .

- limitare le emissioni in atmosfera adottando un sistema di contenimento che costituisce l'ultima evoluzione dei trattamenti a secco: si utilizza sodio bicarbonato e carbone attivo, affidando ad un filtro a maniche il compito di abbattere i sali di neutralizzazione degli inquinanti acidi e gli eventuali metalli pesanti.

Il trattamento dei residui di processo descritto più avanti si basa sulla tecnologia conosciuta, ma da adattare alla specifica materia da gassificare

Il processo presentato per il trattamento è il più flessibile fra quelli noti.

Esso consiste di un riscaldamento del materiale in un reattore, in ambiente stagnante e privo d'aria: ciò converte il materiale organico in un flusso aeriforme di vapori, gas e in un residuo solido di tipo carbonioso.

Per le condizioni di esercizio, i materiali organici vengono desolforati e declorurati; inerti e materiali metallici ordinari, anche polverosi, rimangono inalterati in assenza di trascinarsi di particolato.

La corrente di gas e vapori, avendo un buon potere calorifico, viene utilizzata in un sistema di bruciatori che, insieme al carbone, costituisce la sorgente di calore per il sostentamento del processo.

Nel caso, trattando un rifiuto ricco energeticamente, risulta nei gas e vapori di pirolisi un notevole surplus energetico rispetto alle esigenze impiantistiche. Questo eccesso energetico può essere convenientemente usato per produrre energia elettrica. Le opzioni impiantistiche per l'impianto di generazione sono molteplici; al momento si ritiene più conveniente effettuare il recupero del calore dei fumi del sistema di combustione con una caldaia a recupero a fasci tubieri abbinata ad una turbina a vapore surriscaldato.

MOTIVAZIONE DELLA PROPOSTA

Nell'ambito della valorizzazione energetica dei residui di trattamento e selezione, in genere, le tecniche di base utilizzate sono:

- l'incenerimento
- la pirolisi*

Si è operata la scelta del trattamento di pirolisi, effettuato con un particolare procedimento per l'utilizzo di particolari macchine di produzione di energia quali le turbine a condensazione di vapore. Il trattamento termico mediante pirolisi di questo particolare tipo di rifiuti, gestito in modo appropriato rappresenta la proposta tecnologica più innovativa tra quante finora conosciute nel settore del trattamento dei rifiuti in genere e sicuramente nello specifico settore.

Le motivazioni che hanno indirizzato la scelta risulteranno evidenti dalla descrizione seguente, e sono di carattere ecologico, tecnologico, termodinamico oltre ad essere dettate da motivi economici. Infatti, in particolare si tenta di ottenere un recupero energetico di buon rendimento pur ricorrendo all'uso di turbine generalmente, di basso rendimento elettrico e di scarsa applicabilità per piccoli impianti.

Il sistema identificato attua un procedimento di pirolisi a bassa temperatura e si distingue dagli altri per le seguenti peculiarità:

- basse temperature di processo (circa 500°C) che mettono in gioco solo processi di blanda demolizione dei materiali organici, senza implicare ciclizzazione o aromatizzazione;
- assenza di processi di scambio termico in regime convettivo, con soppressione del trasporto di particolato nella corrente gassosa;

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



- regime autotermico del processo, in cui il riscaldamento del materiale è effettuato mediante scambio termico con i fumi riciccolanti attorno alla camicia esterna del reattore ed il calore è ottenuto dalla combustione della corrente gassosa di distillazione;
- facilità di recupero dell'entalpia in eccesso rispetto alle esigenze termiche del processo per la produzione di energia elettrica o per altri usi;
- facilità di depurazione dei fumi di combustione con sistema di trattamento a secco mediante processo Neutrec® Solvay atto a rimuovere i componenti acidi e le eventuali tracce di metalli pesanti.
- bassi costi di investimento e di esercizio.

Vantaggi e caratteristiche fondamentali:

La scelta degli impianti di incenerimento tende ad essere abbandonata in quanto studi recenti hanno evidenziato nelle loro emissioni gassose, la presenza di diverse classi di composti organici e di derivati alogenati, comprese alcune classi di sostanze altamente tossiche come le benzodiossine policlorurate (PCDD) ed i benzofurani policlorurati (PCDF).

I prodotti nocivi organoclorurati si generano nelle fasi di raffreddamento dei gas combusti, catalizzati dalle ceneri volanti sempre presenti: il processo di incenerimento favorisce infatti la presenza di notevoli quantità di particolato negli effluenti gassosi, il cui abbattimento costituisce un grosso problema. Queste ceneri contengono metalli pesanti in concentrazione elevata.

Il processo adottato si distingue nettamente sia dai comuni processi di incenerimento dei rifiuti, che dai processi di pirolisi attualmente in uso.

Rispetto ai primi trae vantaggio soprattutto dalla combustione facilmente gestibile della sola frazione volatile ottenuta dalla distillazione a media temperatura dei rifiuti. Ciò garantisce in pratica l'assenza

d'incombusti e di ceneri volanti nei prodotti di combustione e conseguentemente nelle emissioni gassose dell'impianto.

Dal punto di vista impiantistico si é realizzato un sistema di trattamento dei residui, pressoché continuo che offre l'assoluta garanzia contro il pericolo dell'inquinamento atmosferico.

Tutte le operazioni possono essere controllate e gestite in modo estremamente semplice sulla base di parametri preimpostati in funzione della tipologia del residuo, assicurando un'elevata flessibilità operativa.

Il recupero energetico del residuo, è ottenuto in pieno rispetto della sicurezza ambientale, con una tecnologia caratterizzata da semplicità impiantistica, e quindi dai costi contenuti.

I vantaggi offerti dalla tecnologia sono legati sia alla particolare tipologia del processo di pirolisi che all'impiantistica che la realizza, e riassuntivamente si possono così schematizzare:

- Il vantaggio principale è connesso alla sicurezza ambientale: i problemi di inquinamento sono praticamente risolti, infatti la letteratura specialistica associa le emissioni degli impianti di pirolisi a quelle della combustione del metano.
- La pirolisi* è un processo endotermico, condotto a temperature relativamente basse (circa 500°C). Questo oltre a rendere facile il controllo e la gestione del processo di distillazione, riduce drasticamente il quantitativo di fumi, evita la formazione di prodotti indesiderati ed il trascinarsi di particolato.

* La pirolisi è fondamentalmente un trattamento termochimico di materiali organici in ambiente chiuso rispetto all'apporto di ossigeno: in tale condizione ha luogo una serie di processi fisici (essiccamento, distillazione dei composti leggeri) e chimici (demolizione delle molecole organiche fino a lasciare uno scheletro essenzialmente formato da atomi di carbonio) che tendono al completamento all'aumentare della temperatura.
Se la temperatura di fine processo è mantenuta attorno ai 500°C, la conversione in "carbonio fisso" delle sostanze organiche è superiore all'80% (come in un carbone naturale) mentre i materiali inorganici rimangono sostanzialmente non modificati.
La fase volatile è costituita, a parte il vapor d'acqua, dai prodotti di demolizione delle sostanze alimentari, delle plastiche e dei materiali cellulosici: si tratta di sostanze combustibili, accompagnate da tracce di sostanze inorganiche volatili, principalmente acido cloridrico.
La combustione di questi vapori procede come la combustione del metano: sono facilmente raggiungibili tenori di incombusti nulli o prossimi a zero.

- La distillazione in assenza di aria trasforma gli alogeni e lo zolfo, principali responsabili del macro-inquinamento, in composti acidi idrogenati, che vengono abbattuti con alta efficienza ed allontanati dalla corrente gassosa.
- L'assenza di ossigeno durante i processi di formazione del gas di pirolisi inibisce la trasformazione di alcuni metalli ad una forma ossidativa più pericolosa, ne consente oltretutto il recupero, come in questo caso, anche in condizioni disperse e polverose.
- La limitata quantità di fumi da depurare rispetto ad un tradizionale termodistruttore riduce i costi d'investimento del sistema d'abbattimento e favorisce la stessa fase di depurazione, aumentando le rese.
- La frazione solida residua dal trattamento di pirolisi, viene resa inerte mediante vetrificazione in un apposito forno rotativo.
- L'energia termica derivante dalla combustione del distillato é utilizzata parte direttamente nell'impianto costituendone la fonte energetica, la parte restante per produrre energia a mezzo di un sistema turbina a vapore - alternatore. La combustione del gas di pirolisi, gestita in particolari condizioni di temperatura e tempo di residenza, assicura la distruzione di eventuali composti organici nocivi.
- Le basse temperature d'esercizio, oltre a portare dei benefici a livello processistico, comportano anche dei benefici impiantistici: favoriscono la vita dei rivestimenti isolanti e di tutti gli organi meccanici in genere, riducendo conseguentemente le spese di manutenzione.

- Il progetto proposto presenta inoltre vantaggi intrinseci derivanti dalla sua configurazione:
 - . accettabile costo d'investimento e di gestione
 - . semplicità e compattezza costruttiva
 - . facilità di montaggio ed avviamento
 - . facilità di regolazione e di controllo dei parametri processuali
 - . semplicità di gestione
 - . modularità impiantistica

LA PIROLISI

La Pirolisi è un processo ambientalmente compatibile, consentendo, con un processo puramente termico, la trasformazione dei composti e dei materiali organici complessi in prodotti più semplici. Alla base del processo sta il fatto che ad alta temperatura gli idrocarburi a basso peso molecolare risultano più stabili di quelli ad alto peso molecolare: in tali condizioni l'affinità chimica fra carbonio ed idrogeno per formare i primi è maggiore che per formare i secondi.

L'aumento di temperatura provoca la perdita di un atomo di H di qualche idrocarburo formando dei radicali instabili che si rompono in molecole più piccole, stabili, ed altri radicali, cosicché la reazione procede a catena. L'aumento di temperatura favorisce la generazione di radicali e la loro instabilità e quindi accelera tutte le reazioni portando alla formazione di prodotti basso-molecolari e gassosi. L'aumento di pressione favorisce invece l'incontro di radicali fra loro, e quindi la loro riunione con formazione di prodotti stabili a peso molecolare più elevato, e quindi limita la formazione di prodotti gassosi.

La pirolisi degli idrocarburi, o dei materiali contenenti idrocarburi si realizza in ambiente chiuso, senza presenza di ossigeno o di aria.

Secondo il materiale da trattare e i prodotti desiderati, la temperatura di pirolisi varia nell'ordine di 300°C - 600°C e la pressione da ipobarica a qualche bar. Per avere come prodotti idrocarburi a basso peso molecolare è preferibile realizzare la pirolisi in pressioni ipobariche fino alla pressione atmosferica.

Diversamente dalla gasificazione, dove abbiamo una parziale combustione, la pirolisi è un processo di "cracking", piroscissione degli idrocarburi, che in parole povere vuol dire volumi minori, qualità più alta dei prodotti, minore inquinamento.

MATERIALI TRATTABILI CON LA PIROLISI

In generale i materiali trattabili con la pirolisi sono tutti quelli che contengono una certa quantità di idrocarburi.

In base agli articoli 31-33 del D. Leg.vo 22/97 nonché al D.M. del 05/02/1998, per potere usufruire della procedura semplificata di recupero di materia ed energia, nell'impianto possono essere trattati i seguenti materiali definiti dal relativo codice C.E.R.:

<u>C.E.R.*</u>	<u>Descrizione</u>
- 15 01 01	Imballaggi in carta e cartone
- 15 01 02	Imballaggi in plastica
- 15 01 03	Imballaggi in legno
- 15 01 05	Imballaggi in materiali compositi
- 15 01 06	Imballaggi in materiali misti
- 16 01 03	Pneumatici fuori uso
- 16 01 19	Plastica
- 17 02 01	Legno
- 17 02 03	Plastica
- 19 12 10	CDR (Combustibile Derivato da Rifiuti)
- 20 02 03	Altri rifiuti non biodegradabili
	- Farine animali in ottemperanza alla Ordinanza del Ministero della Sanità del 30 marzo 2001, prorogata in base all'Ordinanza 1° luglio 2002 del Ministero della Salute.

* come da direttiva 09/04/2002 del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



PRODOTTI DELLA PIROLISI

I prodotti della pirolisi dipendono dal tipo di materiale trattato e dai parametri del processo quali temperatura e pressione.

In generale i prodotti della pirolisi possono essere:

- Gas - sono idrocarburi a basso peso molecolare, non condensabili a pressione e temperatura ambiente.
- Liquidi - sono per la maggior parte idrocarburi a peso molecolare più elevato in forma liquida a temperatura e pressione ambiente, e in quantità minore acqua e altre condense.
- Carbone - il carbone e il residuo di pirolisi degli idrocarburi
- Materiale inerte - il materiale inerte dipende dal contenuto di esso nel materiale trattato con la pirolisi, e può essere vetro, metalli, fibre, etc.

Nello specifico del nostro impianto, dove l'intento è quello di utilizzare direttamente i prodotti di pirolisi per ottenere il massimo recupero energetico dal materiale entrante, non verranno prodotti idrocarburi allo stato liquido in quanto il gas prodotto viene utilizzato direttamente in caldaia per la produzione di energia senza portare a condensazione la frazione più pesante.

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



IMPIANTO DI PIROLISI

L'impianto di pirolisi secondo la nostra tecnologia brevettata è un insieme di reattori, forni, combustori, recuperatori di energia e caldaie, generalmente auto sostenuti energeticamente, che permettono di recuperare, anche da un materiale dichiarato come rifiuto, prodotti pregiati come gas combustibili, carbone, e, nel caso si voglia effettuare uno stoccaggio, prodotti combustibili liquidi.

L'energia in eccesso viene recuperata per la produzione di vapore da utilizzare per la generazione di energia elettrica mediante un sistema turbina a vapore-alternatore.

Il materiale, nel reattore, subisce un processo di pirolisi cracking della materia organica con produzione di pirogas e materiale solido.

Il pirogas è costituito essenzialmente da idrocarburi oltre che da ossido di carbonio ed in piccola parte idrogeno.

La produzione viene realizzata nel reattore ove il materiale introdotto raggiunge la temperatura caratteristica di processo e grazie al continuo rimescolamento dello stesso è garantita una omogeneità termica che è garanzia per il raggiungimento del processo sull'intera massa.

La velocità di trasferimento è inversamente proporzionale alle dimensioni della massa trattata. Il processo inizia già alla temperatura di 100-120°C ed interessa tutto il percorso sviluppato nel reattore. La movimentazione all'interno del reattore è garantita da un sistema di coclee che consente al materiale di percorrere il reattore in un senso ed in quello opposto.

Il gas sviluppato viene convogliato in parte nella camera di combustione statica ed in parte nel forno rotativo unitamente alle scorie e combusto ad elevate temperature. La combustione del gas nel forno rotativo consente la vetrificazione delle scorie che vengono allontanate previo raffreddamento.

I fumi prodotti nella combustione con il loro contenuto energetico vengono utilizzati per il riscaldamento ed il raggiungimento della temperatura caratteristica di pirolisi del materiale e per la produzione di vapore e successivamente trattati per il raggiungimento degli standard europei delle emissioni in atmosfera con processo di trattamento a secco.

Le scorie, costituite essenzialmente da carbone, vengono combuste nel forno rotativo vetrificate ed estratte. La vetrificazione è tale da consentire un rilascio di metalli in acqua acida inferiori allo standard europeo e pertanto il materiale è considerato inerte.

Il processo, quindi, trasforma il rifiuto in due fasi, una solida ed una gassosa, consentendo una combustione della fase gassosa gestibile più facilmente e con produzione di fumi di gran lunga inferiori ad altri processi .

La fase solida utilizzando parte dei gas prodotti viene resa inerte mediante la vetrificazione recuperando il suo contenuto energetico.

Il processo è molto flessibile e facilmente controllabile lungo tutte le sue fasi.

I rendimenti ottenibili superano il 70%.

PECULIARITÀ DELLA TECNOLOGIA DI PIROLISI

Il processo pirolitico realizzato in ambiente ipobarico nel trattamento del C.D.R. e farine animali, consente il conseguimento di molti vantaggi, tra cui:

- ⇒ il minimo impatto ambientale, derivante da una immissione in atmosfera di un quantitativo di fumi minore di qualsiasi processo di combustione diretta, fumi tra l'altro provenienti dalla combustione di idrocarburi puliti che non contengono zolfo, cloruri e metalli pesanti.
- ⇒ realizzazione di un elevato rendimento del processo grazie al triplo passaggio del materiale all'interno del forno;
- ⇒ semplicità costruttive e dimensioni ridotte;

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



- ⇒ alimentazione e temperatura di reazione regolabili per le variazioni delle quantità dei prodotti in uscita;
- ⇒ minima manutenzione del sistema con interventi manutentivi programmati;
- ⇒ richiesta di personale esclusivamente per la sorveglianza essendo il sistema completamente autonomo e munito di test di controllo dei parametri di processo con predisposizione all'anti-spegnimento dell'intero sistema.
- ⇒ indipendenza termica del processo, se non per i soli periodi di avviamento.

CONFRONTO TRA IMPIANTI DI PIROLISI ED IMPIANTI DI INCENERIMENTO

Il procedimento di pirolisi sviluppato si pone in netta competizione con le usuali tecnologie di termodistruzione o termovalorizzazione dei rifiuti (incenerimento).

L'incenerimento dei rifiuti avviene in un apposito forno, generalmente del tipo a griglia mobile, appositamente progettato per bruciare una tipologia di "combustibile", il rifiuto, caratterizzato da basso potere calorifico ed elevata disomogeneità qualitativa e dimensionale. La combustione diretta dei rifiuti presenta indubbiamente una serie di vantaggi, tuttavia, nel confronto diretto col procedimento di pirolisi i suoi limiti risultano evidenti:

TECNOLOGIA DI PIROLISI

Minimo impatto ambientale ed elevata affidabilità di esercizio.

Trattamento degli effluenti gassosi in quantità limitata rispetto a quelli derivanti dalla combustione diretta del rifiuto urbano. La pirolisi dei rifiuti produce un quantitativo di emissioni circa 10 volte inferiore a quello prodotto con le usuali tecnologie di combustione diretta.

Il processo di pirolisi, per sua natura endotermico, viene condotto in condizioni riducenti a temperature relativamente basse, prossime ai 500 °C. Questo facilita il controllo della temperatura e di tutto il processo, riduce drasticamente il quantitativo di effluenti gassosi prodotti ed evita la formazione di prodotti tossici indesiderati.

Nessuna produzione di reflui liquidi che necessitano poi di una propria sezione di depurazione e trattamento acque con gli ovvi benefici economici-ambientali del caso.

La bassa temperatura a cui si svolge il processo di pirolisi e la pratica assenza di elevate turbolenze all'interno del reattore riduce notevolmente il trascinamento di polveri e particolato nel gas di pirolisi.

Poiché il processo di pirolisi ha, come prodotto principale, un combustibile in forma gassosa costituito dal gas di pirolisi, risulta poi agevole la gestione del successivo processo di combustione e con recupero energetico.

TECNOLOGIA DI INCENERIMENTO

Dubbia compatibilità ambientale, in particolare in relazione alle emissioni di micro-inquinanti, e minore affidabilità in relazione alle caratteristiche disomogenee del rifiuto.

Trattamento effluenti gassosi a valle della combustione e quindi su un flusso quantitativamente importante rende molto costoso il processo di depurazione dei fumi. Per ottenere una combustione il più possibile completa dei rifiuti, si opera infatti con un eccesso d'aria pari a 1,5 – 2,5 volte la quantità strettamente necessaria.

I processi d'incenerimento sono processi esotermici ossidativi, caratterizzati da temperature superiori a 1.000 °C. La regolazione della temperatura del processo di combustione è di difficile gestione in quanto influenzato principalmente dalla variazione della portata dei rifiuti in alimentazione (elevata inerzia del sistema).

Necessità di un'importante sezione per il trattamento dei reflui liquidi, con tutte le problematiche economiche ed ambientali connesse.

A causa del movimento dei rifiuti sulla griglia e delle notevoli portate d'aria necessarie alla combustione, si ha una notevole presenza di polveri e particolato nei fumi con i conseguenti costi di rimozione prima dell'emissione in atmosfera.

La combustione diretta di un prodotto eterogeneo come il rifiuto, con formazione di svariati prodotti caratterizzati da molecole complesse e presenza di incombusti rende difficoltoso una perfetta gestione del processo di combustione.

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



La tecnologia della pirolisi costituisce un sistema di smaltimento pressochè universale, potendo essere applicato ad un'ampia gamma di rifiuti.

Come residuo solido, il processo di pirolisi, produce unicamente scorie vetrificate che risultano totalmente inerti per quanto riguarda il rilascio di elementi tossici nell'ambiente. Anche le polveri risultanti dal processo di depurazione dei fumi di combustione prima del loro rilascio in atmosfera vengono ricondotti dentro l'impianto e vetrificate.

I forni di incenerimento a griglia possono risultare sensibili alle variazioni di potere calorifico del materiale, in particolare rifiuti caratterizzati da un alto potere calorifico (pneumatici usati) possono danneggiare le griglie.

Gli impianti di incenerimento producono un elevato quantitativo di scorie, fino al 30% del rifiuto immesso, di cui risulta poi problematico lo smaltimento.

I grossi difetti dell'incenerimento, che possono essere riassunti in:

- Incompleta combustione dei residui solidi
- Grossa produzione di scorie solide tossiche
- Grossi volumi di fumi da trattare
- Emissioni pericolose in atmosfera
- Perdita di valore delle componenti inorganiche del rifiuto pongono in evidenza le peculiarità del processo di pirolisi proposto.

E' un processo applicabile a diverse tipologie di rifiuto, in cui i danni ambientali sono sicuramente evitati ed i costi di smaltimento ed il valore dell'investimento contenuti.

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

L'impianto è costituito dalle seguenti fasi:

- Alimentazione;
- Reattore di pirolisi;
- Camera di combustione gas di pirolisi-vevtrificazione;
- Caldaia a recupero per produzione di vapore;
- Unità di trattamento fumi;
- Controlli, impianto elettrico, quadro comandi;
- Produzione di energia elettrica.

Il tempo di trattamento garantisce la pirolisi completa di tutto il materiale, anche di quello al cuore del cumulo. Il materiale solido da trattare viene caricato all'ingresso, con un sistema automatico di prelievo dall'area di stoccaggio. Il materiale subisce dei riscaldamenti passando velocemente dalla temperatura ambiente a quella stabilita per la pirolisi (500÷600°C).

Il processo di distillazione dei residui è energeticamente autosostenuto; l'apporto termico viene fornito nella sezione di pirolisi, attraverso lo scambio termico con il calore sensibile dei fumi ottenuti bruciando in un'apposita camera di combustione i prodotti pirolitici che si sviluppano durante il processo (il riscaldamento, che avviene in maniera indiretta attraverso lo scambio termico con la camicia del reattore, ha il vantaggio di mantenere concentrata la

corrente dei prodotti pirolitici, favorendo e semplificando le fasi successive di trattamento e di recupero energetico).

La corrente pirolitica che si genera all'interno del tunnel, caratterizzata da un alto potere calorifico, viene continuamente aspirata ed inviata alla camera di combustione dimensionata in modo da soddisfare ai requisiti di funzionamento come bruciatore di gas, garantendo la combustione completa e tempi di permanenza ad alta temperatura (1400°C) per oltre tre secondi e quindi la formazione di prodotti finali a norma di legge.

I fumi prodotti, prima di essere avviati a produzione di vapore, percorrono la camicia esterna avvolgente il reattore di pirolisi fornendo l'energia necessaria al processo di distillazione.

All'uscita dalla camicia di pirolisi, i fumi hanno una temperatura di circa 900-1000 °C. Questa energia termica viene utilizzata in una caldaia a recupero a fasci tubieri con pluriricircolo dei fumi di combustione; il fascio tubiero ad acqua è dimensionato per la produzione di 20 ton/h di vapore surriscaldato alla temperatura di 430°C ed alla pressione di 30 bar. In uscita dalla caldaia i fumi di combustione hanno la temperatura di 180°C.

Descriviamo ora sinteticamente le varie fasi elencate in precedenza:

1) ALIMENTAZIONE

Il materiale, C.D.R, viene depositato in appositi silos localizzati all'esterno del capannone. Dai silos il materiale viene prelevato e convogliato all'entrata dell'alimentazione a pistone per mezzo di un sistema pneumatico in modo tale da evitare eventuali dispersioni di polveri e/o odori nell'ambiente di lavoro.

L'alimentatore spinge il materiale all'interno del condotto di entrata del reattore di pirolisi. La speciale costruzione e geometria della coppia alimentatore a pistone-condotto d'entrata, comprimono il materiale all'interno del condotto in modo da creare, con lo stesso materiale, una tenuta la quale non permette all'aria esterna di entrare nel reattore di pirolisi.

L'accesso della bocca del reattore è munito altresì di una vite di Archimede per la rottura di eventuali ponti e di una rotocella a camere a tenuta.

2) REATTORE DI PIROLISI

E' costituito da un cilindro in acciaio refrattario in grado di sopportare temperature di 1.100°C ed ha dimensioni di max D=2.500 mm L= 12.000 mm con all'interno una sistema di coclee in grado di attuare un rimescolamento efficace del materiale oltre che la traslazione dello stesso. La velocità del sistema viene regolata automaticamente a mezzo di plc in connessione delle temperature di progetto. Il reattore viene percorso tre volte dal rifiuto assicurando il completo sviluppo del processo.

La temperatura del processo è di 500-600 °C.

L'intero reattore è coibentato a mezzo di una camicia costituita da materiale refrattario ed isolante di spessore tale da garantire una temperatura esterna di parete di 60°C quando all'interno persiste una temperatura di 1.400°C.

La camicia è realizzata in modo tale da imprimere un moto elicoidale ai fumi tale da consentire una efficiente cessione di energia termica e nel contempo realizzare una efficace struttura di sostegno del reattore. Tale camera è dotata di n°4 termocoppie di cui due per i fumi e due per la parete del reattore. Tutte le tenute degli organi rotanti sono realizzate con vapore. La pressione di esercizio all'interno del reattore è di circa 20 mm di acqua inferiore a quella atmosferica.

3) CAMERA DI COMBUSTIONE GAS DI PIROLISI-VETRIFICAZIONE

E' la sede in cui vengono combusti parte dei gas di pirolisi, ha una cubatura di circa 50 mc, la temperatura di combustione è di 1400°C ed è tale di assicurare un tempo di permanenza dei fumi di oltre 3 secondi.

E' interamente realizzata in materiale refrattario e rivestita con materiale isolante in modo che la temperatura esterna di parete non superi i 60°C.

A questa è associato un forno rotativo avente una cubatura di 25mc ove viene realizzata la combustione del carbone e la vetrificazione della frazione solida.

Le alte temperature sviluppate dalla combustione nel forno vetrificatore bruciano la parte organica contenuta nel materiale solido uscente dalla pirolisi e fondono la parte inorganica la quale cola lungo le pareti verso il fondo del forno per uscire dall'apposita imboccatura.

Il materiale vetroso inerte, in uscita dal forno vetrificatore, viene raccolto in una vasca d'acqua dove si raffredda e da lì, mediante un trasportatore viene inviato nel deposito di raccolta di materiale inerte vetrificato.

I fumi della combustione passano all'interno della camicia refrattaria del reattore riscaldando dall'esterno il reattore stesso, cedendo così l'energia necessaria per la realizzazione del processo di pirolisi, senza entrare in contatto con il materiale all'interno del reattore.

4) CALDAIA A RECUPERO PER PRODUZIONE DI VAPORE

E' una caldaia a fascio tubiero con pluri ricircolo dei fumi (900-1000°C), provenienti dalla combustione dei gas di pirolisi e dalla combustione del carbone contenuto nelle scorie, che sfrutta l'energia termica contenuta dagli stessi per la produzione di vapore surriscaldato. Il fascio tubiero ad acqua è calcolato per una produzione oraria di 20 ton di vapore alla

pressione di 30 bar e temperatura di 430°C con un contenuto entalpico di 750 kcal/kg; é dotata di misuratori di livello acqua trasduttori di pressione e valvole di sicurezza.

5) TRATTAMENTO DEI FUMI

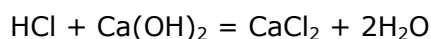
All'uscita dalla camicia del reattore di pirolisi i fumi, come detto, hanno una temperatura di 900-1000°C circa prima di essere mandati in una caldaia a recupero dove vengono raffreddati fino alla temperatura di 180°C per una portata di circa 27.000 Nm³/h.

Il trattamento dei fumi per abbattere le eventuali emissioni, viene realizzato secondo un sistema semi-secco mediante l'iniezione di una soluzione acquosa di Ca(OH)₂ ed una successiva filtrazione con filtri a maniche e filtri a carbone attivo.

Il sistema di depurazione è costituito da silos di stoccaggio calce o soda, dosatrice di alimento, vasca di miscelazione con acqua, elettropompe dosatrici di rinvio, nebulizzatori, aerociclone per la creazione della turbolenza necessaria, filtro a maniche e successivo filtro a carboni attivi.

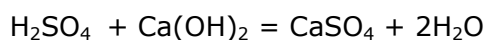
Supposto che il C.D.R. contenga 5 kg/ton di cloro, 3 kg/ton di zolfo e 2 kg/ton di fluoro-elementi cioè i precursori dei prodotti acidi, per l'eliminazione la riduzione degli stessi ai limiti tabellari, si adotta un procedimento di abbattimento a semiumido con latte di calce (soluzione acquosa di Ca(OH)₂).

Dalle reazioni:



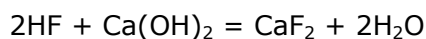
si ricava che per neutralizzare 5 kg di Cl occorrono 4,6 kg di Ca(OH)₂ con la produzione di 7,48 kg di CaCl₂.

Da:



Si ricava che per neutralizzare 3 kg di S occorrono 2,32 kg di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con la produzione di 4,16 kg di CaSO_4 .

Da:



Si ricava che per neutralizzare 2 kg di F occorrono 1,99 kg di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con la produzione di 2,04 kg di CaF_2 .

Globalmente quindi occorrono 8,91 kg/h di $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Successivamente i fumi sono inviati in un filtro a maniche della superficie $S = 42,283 / (3600 \cdot 0,03) = 391$ mq. L'ingombro di tale filtro è $6,50 \cdot 1,70 \cdot 5,70$ con un numero di maniche pari a 400.

Di seguito, i fumi vengono fatti passare attraverso dei filtri a carbone attivo della superficie di 30 mq e dello spessore di 500 mm prima di essere inviati ad un camino a sezione circolare con un diametro di 1.100 mm ed altezza di 16 metri. La velocità di passaggio è compresa da un minimo di 9,8 sec ad un massimo di 12,5 sec.

sostanze organiche COT	5.5 mg/mc
acido cloridrico	7 mg/mc
acido fluoridrico	0.1 mg/mc
biossido di zolfo	32 mg/mc
Cd+Tl e loro composti	< 0.05 mg/mc
Hg e suoi composti	< 0.05 mg/mc
Sb+As+Pb+Cr+Cu+Mn+	
Ni+V+Sn	< 0.5 mg/mc
CO	< 50 mg/Nmc (come valore medio giornaliero)
NOx	< 200 mg/Nmc
PCDD+PCDF	< 0.1 ng/Nmc
IPA	< 0.01 mg/Nmc

6) CONTROLLI, IMPIANTO ELETTRICO E QUADRO COMANDI

Ciascuna fase viene controllata mediante trasduttori con segnale proporzionale e dotati di comandi di retroazione con transitorio trascurabile in modo da gestire in automatico le varie fasi del processo mediante un terminale a video.

La fase di caricamento che è la responsabile della quantità di materiale introdotto, viene controllata e regolata dalla temperatura di processo e dalla qualità dei fumi in uscita con processo di decisione assegnata ad un plc.

La velocità di rotazione del reattore di pirolisi e quindi i tempi di permanenza sono regolati dalla temperatura di processo.

L'aria di combustione nelle caldaie viene regolata da un analizzatore in continuo di CO ed ossigeno, che può inibire l'intero processo se l'anomalia perdura per oltre 5 sec., oltre che dalla temperatura raggiunta in caldaia.

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



La produzione di vapore viene controllata da pressostati e termocoppie che controllano temperatura e pressione del vapore ed agiscono sui dispositivi di sicurezza del sistema.

Un analizzatore in continuo dei fumi per il controllo dei micro-inquinanti, regola la quantità di bicarbonato e carbone attivo ed è in grado di inibire l'intero sistema qualora l'anomalia superi il tempo di 10 sec.

Per ciascuna fase sono previsti apparecchi di misura in modo da controllare in tempo reale le quantità in gioco.

Dispositivi di sicurezza:

in caso di anomalia delle camere di combustione i gas di pirolisi sono convogliati in due torce e combusti in atmosfera.

Tutte le procedure di accensione e di spegnimento vengono realizzate in presenza di vapore al fine di prevenire indesiderati scoppiettii.

7) PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

I fumi caldi in uscita dal reattore di pirolisi hanno un valore energetico considerevole.

Questi prodotti possono essere utilizzati come fonte di energia termica per alimentare caldaie a recupero per produrre vapore.

Il vapore prodotto si può espandere in turbine a vapore a scopo di produzione di energia elettrica.

Realizzando il ciclo Rankine a vapore surriscaldato a temperatura 430°C a condensazione completa si possono produrre 26.250.000 kwh di energia elettrica in un anno.

Energia disponibile dai fumi caldi risulta:

$$Q = 15.400.000 \text{ kcal/h}$$

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



Questa energia può essere usata per produrre vapore surriscaldato, in una caldaia a recupero.

Il vapore viene usato per produrre energia elettrica in una turbina a vapore.

CONSUMO VAPORE \approx 20 t/h

ENERGIA ELETTRICA CEDUTA ALLA RETE

$E = 3500 \text{ kWh}$

PRODUZIONE ANNUALE DI ENERGIA ELETTRICA

(tempo a pieno regime 7500 ore/anno)

$$E_j = 7.500 * 3.500 = 26.250.000 \text{ kWh/anno}$$

Per realizzare il ciclo Rankine per la produzione di energia elettrica si necessita:

1) caldaia per la produzione dal vapore surriscaldato.

capacità produttiva dalla caldaia

$G = 20.000 \text{ kg/h}$ di vapore surriscaldato a temperatura 430°C e pressione 30 bar

2) Turbina a vapore surriscaldato 430°C , 30 bar a condensazione in grado di elaborare 20.000 kg/h di vapore a temperatura 430°C e pressione 30 bar in grado di sviluppare al minimo 3500-3800 kWh.

- 3) Condensatore di vapore (titolo 90-95%) in grado di trattare 20.000 kg/h vapore a pressione 0.2 bar assoluti.
- 4) Pompe di alimentazione della caldaia (elettropompe e pompe a vapore di riserva) prevalenza 40 bar, portata max 35 m³/h.
- 5) Elettrogeneratore potenza 3.5 MW (cabina di trasformazione).
- 6) Allacciamento alla rete elettrica.
- 7) Circuito di raffreddamento dell'acqua, in grado di circolare 600 m³/h di acqua.
- 8) Impianto desalinazione e degassificazione dell'acqua di alimentazione caldaia, capacità di trattamento 3 m³/h.
- 9) Bruciatori di olio combustibile.
- 10) Bruciatori di carbone polverizzato.
- 11) N°2 ventole di rifornimento area di combustione.
Portata 20.000 m³/h - Pressione 360 mm H₂O
- 12) N°2 ventole di aspirazione fumi di combustione (una di riserva).
Portata 26.000 m³/h - Pressione 800 mm H₂O
- 13) Impianto trattamento fumi di combustione.
- 14) Camino smaltimento fumi di combustione.
- 15) Accessori per il normale funzionamento della centrale termo-elettrica.
- 16) Sala di comando e controllo della centrale termo-elettrica.

Progetto di massima:

Parametri di progetto:

Materiale da trattare

CDR

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



Potere calorifico	3.800 kcal/kg
Umidità	< 5%
Massa da trattare	5 ton/h

Reattore:

Energia specifica richiesta	600 kcal/kg
Energia complessiva richiesta	3.000.000 kcal
Energia dispersa nell'ambiente	600.000 kcal
Energia complessiva impegnata	3.600.000 kcal
Produzione pirogas	3.000 kg/h
Produzione scorie	2.000 kg/h
Contenuto in carbone	1.100 kg /h
Potere calorifico gas	4.800 kcal/kg

Camera di combustione e vetrificazione:

Energia teorica prodotta dalla combustione del gas	14.600.000 kcal
Energia teorica prodotta dalla combustione del carbone	4.400.000 kcal
Energia indisponibile	900.000 kcal
Energia dispersa con i fumi	1.240.000 kcal
Energia netta disponibile	13.260.000 kcal
Produzione fumi	27.000 Nmc/h
Produzione di scorie	0.5 ton/h

Caldaia a recupero

Energia termica disponibile	15.400.000 kcal
Energia termica sfruttabile	13.260.000 kcal

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
MEDIANTE TECNOLOGIA PIROLITICA



Produzione vapore surriscaldato

20 ton/h

Trattamento fumi

Produzione oraria fumo

27.000 Nmc/h

Quantità oraria necessaria

44 kg/h

Produzione di energia elettrica

Potenza elettrica producibile

3,5 MW

Energia elettrica prodotta

26.250.000 kWh/anno

Petrolio risparmiato

2.250 T.E.P./anno \approx 16.000 barili