

UTILIZZO DI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA NEL RISPETTO DELLE NORMATIVE DI SALVAGUARDIA AMBIENTALE: L'IMPIANTO TERMOUTILIZZATORE DI LOMELLINA ENERGIA

F. Gasparini, A. Molinari, P.F. Lionetto, E. Perduca *

* Foster Wheeler Italiana S.p.A.

1. Introduzione

Il problema dello smaltimento dei rifiuti urbani è all'ordine del giorno in tutti i Paesi industrialmente avanzati.

In Italia tale problema è ancora più aggravato dai ritardi con cui lo si è affrontato. Nella stragrande maggioranza dei casi, lo smaltimento rifiuti si è attuato e si attua tuttora attraverso discariche (non sempre controllate), ossia attraverso tecnologie caratterizzate da scarsissimo contenuto innovativo e pesante impatto ambientale, sia a breve che a lungo termine.

La raccolta differenziata tesa al recupero del materiale riciclabile e la termodistruzione dei rifiuti non riciclabili sono le due strade, fra loro complementari, attraverso cui anche in Italia, sull'esempio di altri Paesi industrialmente avanzati, si va affermando una nuova politica per lo smaltimento dei rifiuti.

La termoutilizzazione permette di ridurre il volume iniziale del rifiuto (circa il 90%) e di ottenere un rifiuto finale inodore e stabile nel tempo, con riduzione conseguente dei costi di discarica, dove saranno inviati solo le ceneri e gli inerti contenuti nel rifiuto (vetro, pietre, ecc.) e drastica riduzione degli impatti ambientali.

L'evoluzione della normativa tendente all'incentivazione del recupero di materiali e di energia dai rifiuti [1] [2] ha indotto Foster Wheeler Italiana a costruire un impianto di trattamento di rifiuti solidi urbani basato sull'impiego di una caldaia a letto fluido circolante, tecnologia della quale Foster Wheeler è leader mondiale.

L'impianto proposto, autorizzato dalla Regione Lombardia, contribuirà in modo sostanziale alla

soluzione del problema rifiuti nella provincia di Pavia.

L'impianto sorgerà a Parona, un comune della Lomellina a circa 30 km da Milano, membro del CLIR (Consorzio Lomellino Incenerimento Rifiuti), che ha attivamente contribuito allo sviluppo del progetto, ed è destinato a trattare circa il 50% dei rifiuti prodotti in provincia.

L'impianto, avente una capacità nominale di 400 t/d, è progettato per riciclare fino al 40% dei rifiuti entranti come prodotti riutilizzabili, mentre il restante 60% sarà convertito in RDF (acronimo inglese per combustibile derivato dai rifiuti).

La tecnologia di combustione selezionata per la produzione di energia è il letto fluido circolante, che costituisce la più pulita tecnologia di combustione disponibile attualmente sul mercato.

Un impianto di questo tipo, dotato di due linee di combustione avente ciascuna una capacità di 600 TPD, progettato e costruito da FW, è recentemente entrato in marcia con successo a Robbins, un sobborgo di Chicago (Illinois, USA).

2. L'impianto di Lomellina Energia

2.1 Architettura dell'impianto

L'impianto, nella sua configurazione globale, costituisce un ciclo tecnologico integrato di trattamento composto dalle seguenti unità, come indicato nella figura 1:

- selezione con recupero di materie seconde e produzione di RDF;
- stabilizzazione/compostaggio della frazione organica e successiva raffinazione;

- combustione e produzione di energia da RDF e depurazione dei fumi di combustione prima dello scarico all'atmosfera;
- ciclo vapore.

2.2 Preparazione del combustibile

La sezione di selezione e preparazione del combustibile è progettata per trattare 400 t/d di rifiuto, recuperandone fino al 40% come materie secondarie e/o prodotti riutilizzabili. La composizione percentuale del rifiuto in ingresso è la seguente:

Organico	20.0
Carta/cartone	27.5
Plastica	13.5
Tessuti	3.5
Metalli	3.5
Pannolini	2.0
Scarti di legno	3.5
Verde e sfalci	7.5
Vetro	8.0
Sottovaglio	5.0
Ingombranti	4.0
Altri	2.0
PCI (calcolato), kcal/kg	2190

La sezione si compone di tre linee, di cui due identiche e una terza dedicata alla frazione verde/umida raccolta per via differenziata.

Il rifiuto, scaricato direttamente dagli autocarri, viene prefrantumato, vagliato, ed infine macinato fino alla pezzatura desiderata (< 90 mm).

Magneti permanenti localizzati strategicamente rimuoveranno la quasi totalità del materiale ferroso. Il combustibile prodotto (RDF) avrà un potere calorifico inferiore calcolato pari a 3050 kcal/kg.

2.3 La caldaia a letto fluido

Il generatore di vapore di cui si prevede l'impiego è del tipo a letto fluido circolante [3], comprensivo di tre distinte sezioni: la camera di combustione, il ciclone caldo e la sezione di recupero di calore convettivo. La camera di combustione, inclusiva della griglia di distribuzione dell'aria e della camera d'aria, è costituita da tubi facenti parte del sistema generazione di vapore. La progettazione della camera di combustione nonché dei dettagli meccanici del sistema di alimentazione del combustibile, della distribuzione dell'aria primaria e secondaria e delle pareti a tubi d'acqua sono basati sulla esperienza di oltre 20 anni, sia progettuale che di gestione operativa, del gruppo Foster Wheeler.

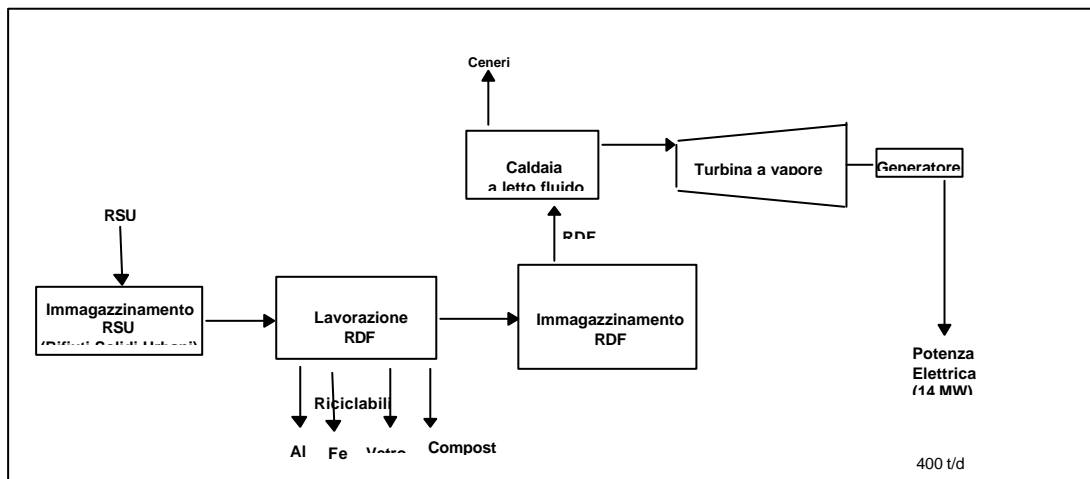


Figura 1 - Schema di flusso

Il letto fluido è costituito principalmente da sabbia, cenere e RDF in una fase densa (nella parte

inferiore della camera di combustione al di sopra della griglia di supporto), ed in una fase meno densa. Il combustibile (RDF) è iniettato nella caldaia mediante un alimentatore a nastro inclinato ad alta velocità, comandato dal sistema di controllo della caldaia in base al carico termico impostato e alle caratteristiche del combustibile; il nastro è racchiuso in un sistema a tenuta di gas.

Il flusso continuo del combustibile all'alimentatore è assicurato da un sistema di trasportatori ridondante, generosamente dimensionato, con riciclo del combustibile non iniettato in caldaia allo stoccaggio.

Si realizza così un "anello" concettualmente analogo a quanto normalmente previsto nelle caldaie a combustibile convenzionale liquido.

Il combustibile immesso nel combustore viene a contatto con il "letto" fluidizzato, mantenuto in sospensione da aria (primaria) insufflata attraverso ugelli specificamente progettati per questo servizio e collocati su una apposita piastra refrattoriata di supporto e distribuzione. L'intensa agitazione del letto in sospensione assicura uniformità di composizione e temperatura in tutte le zone del letto. La temperatura operativa è compresa fra 850 e 900 °C. L'orientamento degli ugelli imprime al letto un movimento con componenti orizzontali e verticali che facilitano il trasporto degli inerti verso lo scarico.

Al di sopra della fase densa del letto è iniettata aria secondaria a differenti livelli con lo scopo di completare la combustione (zona o camera di post-combustione). L'iniezione a stadi permette di mantenere la temperatura a valori tali da limitare la formazione di ossidi di azoto, assicurando nel contempo la combustione completa del carbonio e delle sostanze volatili combustibili. In caso di necessità, è prevista la possibilità di iniezione di ammoniaca in soluzione, per il controllo degli NOx. L'iniezione dell'aria secondaria causa un repentino aumento della velocità e il trascinarsi delle polveri più fini.

L'aria primaria e secondaria sono fornite da un unico ventilatore; l'aria primaria è preriscaldata con

vapore a bassa pressione. I fumi e il letto trascinato entrano quindi nel ciclone caldo dove il particolato è separato dai fumi grazie alla forza centrifuga causata dal moto rotatorio impresso ai fumi dall'ingresso tangenziale nel ciclone. Il particolato viene reiniettato nel combustore mediante trasporto con aria di fluidificazione fornita da un apposito ventilatore, con lo scopo di completare la combustione e ottenere l'effetto volano termico in grado di assorbire le variazioni di potere calorifico tipiche di questo combustibile.

Anche il ciclone è costituito da tubi membranati nei quali passa il vapore prodotto in caldaia ed è quindi parte integrante della caldaia stessa. Questo tipo di progettazione rappresenta una peculiarità del generatore che impiega la tecnologia Foster Wheeler e permette di conseguire i seguenti vantaggi principali:

- riduzione della quantità del refrattario, con conseguente drastica riduzione dei tempi di avviamento a freddo della caldaia (da 6 a 8 ore circa) con un aumento della flessibilità operativa dell'intero impianto;
- omogeneità delle temperature fra le pareti membranate del ciclone e quelle del resto del generatore di vapore con conseguente riduzioni degli stress termici.

Si ottiene inoltre un notevole effetto di miscelazione, cosicché sono evitati condizioni localizzate riducenti e picchi di temperatura, assicurando una combustione stabile ed efficiente.

2.4 Il recupero termico e la produzione di energia elettrica

I gas caldi depolverati entrano nella sezione di recupero termico a convezione comprendente i banchi di generazione di vapore e di surriscaldamento primario (a tubi orizzontali) e secondario (a tubi orizzontali e verticali con interposto desurriscaldatore). Tutti i banchi sono racchiusi in pareti membranate raffreddate con vapore del circuito di generazione. La sezione include infine un economizzatore a tubi orizzontali delimitati da pareti metalliche coibentate esternamente.

La caldaia è progettata per bruciare 300 t/d di RDF con un potere calorifico pari a 3050 kcal/kg producendo 57.2 t/h di vapore surriscaldato a 62 bar e 443 °C.

La temperatura dei fumi in uscita dalla caldaia è di 205 °C circa.

Il vapore surriscaldato proveniente dalla caldaia è inviato direttamente in una turbina a vapore avente una potenza pari a 14 MW, dove l'energia termica è convertita in energia meccanica che a sua volta muove un generatore di energia elettrica. La turbina è del tipo a condensazione con estrazioni multiple non controllate e valvola di regolazione multipla sull'immissione del vapore. Le estrazioni producono vapore a media (12 bar a circa) e bassa pressione (2 e 0.8 bar a circa) per usi interni per i seguenti servizi:

- degasaggio acqua alimento caldaia
- preriscaldamento condensa
- preriscaldamento aria di combustione

Il vapore esausto in uscita dalla turbina viene condensato a pressione sub atmosferica (0.1 bar a circa) in un condensatore ad aria. La condensa così recuperata viene preriscaldata in una batteria di scambiatori di recupero da fluidi di servizio caldi e da vapore spillato appositamente dalla turbina e degasata. L'acqua così ottenuta viene inviata direttamente in caldaia a mezzo della pompa acqua alimento caldaia; il degasatore opera ad una pressione di 7.5 bar.

E' previsto infine un sistema di by-pass della turbina nel caso di impossibilità di esportare energia elettrica verso la rete. In questo caso il vapore in eccesso a quello richiesto per usi interni (inclusa la generazione di energia elettrica per gli autoconsumi dell'impianto), opportunamente desurriscaldato, viene inviato direttamente nel condensatore e riimmesso in ciclo. In questo modo non si richiede la fermata dell'impianto. Il sistema di by-pass è utilizzabile anche in caso di fermo della turbina (isolandola mediante opportune valvole).

3. L'impatto con l'ambiente

3.1 La movimentazione e lo stoccaggio dei rifiuti

Dal punto di vista del trasporto dei rifiuti, è significativo il confronto tra la soluzione impiantistica proposta, caratterizzata da una elevata integrazione tra le funzioni di preselezione/recupero, valorizzazione energetica e smaltimento dei residui di combustione, e soluzioni impiantistiche che prevedano la localizzazione in siti distinti delle funzioni suindicate. A parità di altre condizioni (capacità di trattamento, modalità di recupero materiali e valorizzazione energetica, ecc.), la soluzione impiantistica proposta risulta nettamente migliorativa, riducendo il volume di traffico veicolare del 21% circa, rispetto a soluzioni impiantistiche più tradizionali e non integrate.

Un accurato studio della viabilità interna permetterà inoltre di evitare la sosta degli autocarri all'esterno dell'impianto durante le ore di picco del conferimento rifiuti.

Tutti gli edifici relativi alla fossa accumulo rifiuti e all'impianto di selezione sono tenuti in completa depressione per evitare la fuoriuscita di odori molesti nell'ambiente circostante. Il locale di stoccaggio del rifiuto (fossa) sarà segregato dall'esterno da un doppio sistema di chiusura. L'aria aspirata viene inviata al reattore di compostaggio (dove è utilizzata per accelerare la fermentazione della sostanza organica). A sua volta l'edificio di compostaggio è mantenuto in depressione e l'aria aspirata viene inviata ad un bio-filtro, dove l'aria è saturata con acqua e quindi depurata biologicamente, con totale eliminazione di ogni sostanza organica maleodorante. Il biofiltro è costituito da uno spesso strato di cortecce e radici triturate che fanno da supporto ad una popolazione di microrganismi in grado di distruggere totalmente le sostanze organiche odorifere, convertendole principalmente in vapor d'acqua ed anidride carbonica. L'area di stoccaggio e ripresa del combustibile è completamente contenuta in un fabbricato, per evitare spandimenti di materiale combustibile leggero nell'ambiente circostante. Il fabbricato sarà mantenuto continuamente ventilato;

l'aria aspirata sarà utilizzata come aria di combustione. Sono stati selezionati sistemi di trasporto meccanico in virtù delle qualità di semplicità, robustezza, affidabilità e ridotto impatto ambientale. Tutti i trasportatori di ceneri e di materiali in polvere saranno a tenuta, al fine di evitare ogni fuoriuscita di polvere.

3.2 Il controllo degli inquinanti

La componente atmosferica ha focalizzato le maggiori attenzioni nello sviluppo del progetto in esame, rispetto ad altre componenti ambientali meno critiche quali ambiente idrico, suolo e sottosuolo, ecc.

L'unica sorgente di emissione in atmosfera dall'unità di combustione RDF sarà costituita dal camino posto a valle della sezione di depurazione dei fumi di combustione.

Il controllo degli inquinanti incomincia già nella caldaia dove, grazie da un lato al già citato effetto volano termico che assicura la assenza di zone localmente riducenti e/o fredde minimizzando la formazione di monossido di carbonio e quindi la presenza di composti incombusti o parzialmente ossidati e dall'altro alla combustione a stadi che minimizza la formazione di NOx.

A valle della caldaia è previsto un sistema di depurazione a secco nella variante con torre di condizionamento per il controllo dell'umidità e dalla temperatura al filtro a maniche.

E' prevista l'iniezione di carbone attivo per il controllo del mercurio e dei microinquinanti organici.

I valori garantiti delle emissioni sono:

	Media Settimanale	Media Oraria
CO, mg/Nm ³ (*)	50	150
Polveri, mg/Nm ³ (*)	10	20
HCl, mg/Nm ³ (*)	10	30
HF, mg/Nm ³ (*)	1	4
SOx (come SO ₂), mg/Nm ³ (*)	100	200
NOx (come NO ₂), mg/Nm ³ (*)	200	400
Diossine (PCDD) e furanis (PCDF), ng/Nm ³ (*) (**)	0.1	

Mercurio+Cadmio+Tallio mg/Nm ³ (*)	0.1	
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn, g/Nm ³ (*)	0.5	
IPA, mg/Nm ³ (*)	0.05	
PCB, mg/Nm ³ (*)	0.1	
SOV, mg/Nm ³ (*)	10	20

(*) Riferiti a gas secchi corretti all' 11% vol. di O₂.

(**) Come 2,3,7,8 TCDD equivalente.

Valori molto più bassi sono attesi per il CO e il SOV, mentre per l'NOx il valore garantito dovrebbe essere raggiunto senza l'iniezione di ammoniacca.

L'impianto sarà comunque predisposto per l'aggiunta di una sezione di deNOx tecnico nel caso si rendesse necessario (ad esempio in caso di alto contenuto di azoto nell'RDF).

Un sistema di monitoraggio analizza e registra in continuo i principali parametri dei fumi (temperatura, contenuto di ossigeno, CO, ecc.), sia per la verifica della qualità dei fumi, sia come supervisione dell'impianto di depurazione degli stessi.

L'uso di un condensatore ad aria eviterà la formazione delle nebbie associate alle torri di raffreddamento. Inoltre permette di realizzare un impianto nel suo complesso a scarico liquido zero, ad eccezione delle acque piovane non contaminate e degli scarichi sanitari.

4. L'impianto elettrico

4.1 Lo schema

Lo schema elettrico dell'impianto è stato concepito in modo da mantenere indipendenti fra loro la parte relativa alla centrale di produzione di energia e quella relativa all'impianto di trattamento rifiuti vero e proprio (vd. figura 2).

Il generatore elettrico da 16 MVA cede alla rete ENEL a 132 kV la potenza prodotta, al netto dei consumi degli ausiliari di centrale, per mezzo di un trasformatore elevatore a tre avvolgimenti.

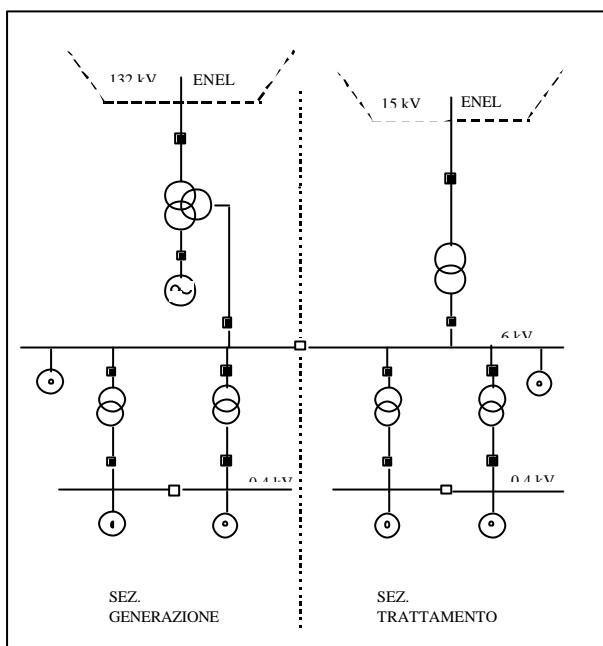


Figura 2 - Diagramma unifilare semplificato

Mentre gli avvolgimenti primario e secondario permettono la cessione di potenza all'ENEL, il terziario alimenta a 6 kV gli ausiliari del ciclo termico. Gli ausiliari del ciclo sono alimentati a due diversi livelli di tensione, in relazione alla loro potenza: 6 kV per i motori di potenza pari o superiore a 200 kW; 380 V per i motori di potenza inferiore.

La rete di distribuzione in BT si sviluppa secondo uno schema doppio radiale, con ridondanza del 100%.

L'impianto di trattamento dei rifiuti è alimentato dalla rete ENEL a 15 kV: un trasformatore abbassatore provvede all'alimentazione del quadro a 6 kV da cui sono alimentate le utenze di media tensione. La suddivisione dei carichi in relazione alla loro potenza segue lo stesso principio sopra esposto.

I servizi comuni di centrale e dell'impianto trattamento rifiuti, nonché le alimentazioni delle utenze in corrente continua e le alimentazioni ininterrompibili, sono derivati dalla parte relativa al ciclo termico, in modo da assicurare maggiore continuità di servizio sia in condizioni normali che in emergenza. La rete a 132 kV è infatti più affidabile di quella in media tensione dal punto di vista della

frequenza dei guasti; inoltre, essendo il collegamento a 132 kV effettuato in entra-esce, l'eventualità di perdere la rete ENEL è da considerarsi estremamente remota.

L'impianto elettrico non presenta particolarità specifiche nella sua concezione se non quelle legate alla ricerca di una suddivisione ottimale delle utenze in dipendenza della loro funzione, delle diverse condizioni operative e delle diverse esigenze di manutenzione. Particolare attenzione merita il dimensionamento dei componenti, in particolare i trasformatori, per tener conto del fatto che i carichi, specialmente nella parte trattamento rifiuti, sono caratterizzati da potenze di targa rilevanti rispetto al loro fattore di utilizzo.

Ad esempio, i trituratorie presentano un assorbimento in kW dipendente dal tipo di rifiuto e dalla cadenza di carica, e caratterizzato da una variazione nel tempo con picchi rilevanti.

Un dimensionamento ottimale ha come risultato principale una diminuzione delle perdite, che per queste tipologie di impianti è uno dei tanti obiettivi da perseguire. Per l'impianto di Lomellina Energia il valore capitalizzato di un kW, considerata la vita dell'impianto e il tasso di interesse bancario stabilito dalle banche che partecipano al finanziamento del progetto, si aggira su circa 6 MLit.

Ogni provvedimento impiantistico o sui componenti atto a determinare una riduzione di un kW nei consumi e nelle perdite, ottenibile con costi inferiori alla cifra sopraindicata, è stato attentamente valutato e, ove tecnicamente fattibile, perseguito.

4.2 Gli azionamenti a velocità variabile

Nell'ottica di riduzione delle perdite e dei consumi si è fatto uso, oltre che di trasformatori a basse perdite, anche di azionamenti a velocità variabile [4]. Questi sono stati applicati a due utenze che ben si prestavano a tale soluzione, quali le pompe di acqua alimento caldaia e i ventilatori dell'aria e dei fumi nella camera di combustione.

L'utilizzo di tali azionamenti ha permesso di ottenere un notevole risparmio energetico a fronte di un maggiore investimento economico iniziale.

Nel caso della pompa dell'acqua di alimento caldaia, l'azionamento a velocità variabile, che permette di operare al carico ottimale nel campo dal 60% al 100% della velocità nominale, consente di risparmiare circa 40 kW a fronte di un investimento superiore di 70 MLit.

La seconda pompa dell'acqua alimento caldaia è stata selezionata con una turbina a vapore come motore primo, per permettere la messa in sicurezza della caldaia in caso di black-out elettrico. Questa soluzione ha permesso di limitare l'azionamento a una sola pompa; inoltre non è stato necessario prevedere il bypass dell'azionamento.

Per quanto concerne i ventilatori dell'aria e dei fumi, attraverso gli azionamenti a velocità variabile si è conseguita una diminuzione di consumi dell'ordine di 500 kW globali a fronte di un investimento di 250 MLit. Il campo di funzionamento in questa specifica applicazione va dal 50 % al 100% dalla velocità nominale.

Non è previsto il bypass, in quanto da una parte i valori di MTBF degli azionamenti sta diventando molto elevato (circa 50000 h) e dall'altra si sarebbe dovuto provvedere ad installare comunque dei sistemi di controllo meccanico (serrande di regolazione) che avrebbero annullato in buona parte i vantaggi economici riconducibili alla soluzione con azionamenti.

Ovviamente una mirata azione di diagnostica unita ad una accurata scelta di parti di ricambio consentirà di limitare il tempo di riduzione di prestazioni, minimizzando il MTTR.

Per entrambi gli azionamenti è stata selezionata la tipologia a tensione impressa con uso di transistori di tipo IGBT (insulated Gate Bipolar Transistor); questa tecnologia è risultata ottimale, considerata anche la taglia in gioco dei motori (300 kW), che ha permesso di selezionare motori alimentati in bassa tensione senza dover ricorrere a trasformatori abbassatori. Con la soluzione a tensione impressa si è conseguito anche il

vantaggio di lavorare a rendimento e a fattore di potenza costanti ed elevati ($\eta > 98\%$; $\cos\phi > 0.95$) su tutto il campo di funzionamento, conseguendo così anche una riduzione delle perdite di impianto.

Conclusioni

L'impianto di trattamento rifiuti di Lomellina Energia, grazie alla configurazione impiantistica che ne fa un ciclo tecnologico integrato dalla preselezione e recupero, valorizzazione energetica e smaltimento controllato dai residui di combustione, rappresenta un chiaro esempio di come possa essere affrontato anche in Italia il problema dello smaltimento rifiuti, con soluzioni tecnologicamente avanzate a basso impatto ambientale.

L'uso della tecnologia della caldaia a letto fluido circolante consente di mantenere una combustione dei rifiuti in caldaia stabile a temperatura costante, ad alta efficienza e a ridotte emissioni al camino.

Bibliografia

- [1] Legge N. 9/91 del 09/01/91 - GU del 16/01/91
- [2] D.L. 5 febbraio 1997, n. 22
- [3] M.G. Matuny, A. Allen: "Municipal solid waste and state of the art - Circulating fluid bed technology", negli Atti della Conferenza su *Waste Incineration Technology*, Milano, 1995
- [4] W. Metz, T. Peters: "Choice and application of large variable speed drives in power plants", Cigré, 1993