

Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Seconda Università degli Studi di Napoli
Dipartimento di Scienze Ambientali

FluGas

Gassificatore a letto fluido
di combustibili alternativi



Manuale tecnico a cura di:

Umberto Arena
Maria Laura Mastellone



Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Seconda Università degli Studi di Napoli
Dipartimento di Scienze Ambientali

FluGas

Gassificatore a letto fluido
di combustibili alternativi

Manuale tecnico a cura di:

Umberto Arena
Maria Laura Mastellone

Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale
Polo delle Scienze e delle Tecnologie
Dipartimento di Scienze Fisiche
C/o Facoltà di Ingegneria - Via Nuova Agnano, 11 - III Piano
80125 - Napoli - Italy
www.amra.unina.it
ambiente@na.infn.it
Tel. +39 081 76-85125/124/115
Fax +39 081 76-85144

Autori

Umberto Arena, Maria Laura Mastellone
Seconda Università degli Studi di Napoli
Dipartimento di Scienze Ambientali

Coordinamento editoriale

dopplavoce
www.doppiavoce.it

Seconda edizione

Copyright © 2006 Università degli Studi di Napoli Federico II – CRdC-AMRA

Tutti i diritti riservati
È vietata ogni riproduzione

Indice

La problematica	5
Perché la gassificazione?	5
Perché i reattori a letto fluido?	9
Confronto tra i processi di trattamento termico di rifiuti	10
Il mercato attuale dei principali processi di trattamento di rifiuti	14
Il gassificatore a letto fluido FluGas	14
Bibliografia	21

La problematica

La continua crescita della produzione di rifiuti solidi di origine urbana ed industriale impone ai *decision-makers* di cercare e valutare tecniche di gestione, ed in particolare di termovalorizzazione, che siano più ambientalmente compatibili e, allo stesso tempo, anche economicamente sostenibili e socialmente accettabili.

Studi di settore condotti da enti ed autori diversi negli ultimi anni [1-4], hanno mostrato che diversi nuovi processi di gassificazione (e di pirolisi) stanno attirando l'attenzione degli operatori internazionali del settore (imprenditori, gestori, costruttori di impianti, enti di gestione e controllo, ecc.), proponendosi come alternativa concreta alla termovalorizzazione convenzionale per combustione. Tali processi presentano aspetti vantaggiosi in termini di recupero di materia e di energia, di impatto ambientale [5] e di accettabilità sociale ma sono per larga parte di definizione relativamente recente e, quindi, di minore affidabilità operativa rispetto alle tecnologie tradizionali.

AMRA propone progetti di ricerca che indaghino proprio nelle aree di maggiore incertezza tecnologica, utilizzando materiali combustibili e agenti gassificanti di elevato interesse, e impiegando reattori di scala diversa, da quella di banco a quella pilota.

Perché la gassificazione?

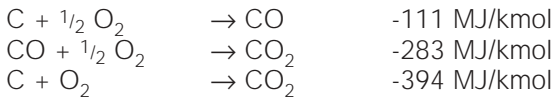
Il termine gassificazione comprende i processi di conversione di qualsiasi combustibile carbonioso in un prodotto gassoso con un potere calorifico utilizzabile. Esclude quindi la combustione (perché i gas effluenti non hanno potere calorifico residuo) ma include la pirolisi, l'ossidazione parziale, l'idrogenazione.

La gassificazione di materiali solidi e liquidi a base carboniosa è nota da quasi duecento anni ed è stata ampiamente impiegata per la produzione di gas di città nell'ultima parte del XIX e del XX secolo. Da allora, sono stati introdotti numerosi migliona-

menti in termini di soluzioni impiantistiche e di condizioni di processo, che consentono oggi di offrire una tecnologia più economicamente competitiva, di elevata efficienza energetica e con un impatto ambientale molto contenuto.

I principali vantaggi della gassificazione nei confronti della combustione sono così schematizzabili:

- **la gassificazione offre vantaggi sia *upstream*** (cioè sulla flessibilità del combustibile in ingresso) **sia *downstream*** (cioè sulla flessibilità dei prodotti ottenuti). In pratica, tutti i materiali a base di carbonio, dal carbone alle biomasse, dai rifiuti (CDR, rifiuti plastici, scarti dei pulper, residui della rottamazione delle auto) al gas naturale, possono essere gassificati dopo un'adeguata preparazione allo scopo di produrre gas di sintesi da utilizzare per ulteriori processi per produzione di energia e/o per produzione di prodotti chimici di base.
- **la gassificazione produce un vettore energetico**, dando quindi la possibilità di conservare (per poi usarla come e quando si ritiene più opportuno) l'energia chimica del rifiuto nel gas di sintesi prodotto, piuttosto che convertirla tutta e subito in energia termica dei gas effluenti. Infatti, dalle reazioni:



si deduce che utilizzando il 28% del potere calorifico del carbonio puro nella conversione da C solido a CO gassoso, il 72% del potere calorifico del C è conservato nel gas. Nella realtà, il combustibile conterrà anche idrogeno oltre al C, e la percentuale del potere calorifico del combustibile originario che diventa disponibile nel gas è, nei processi moderni, tra il 75 e l'88% [6]. Se tale valore fosse stato del solo 50% o meno, la gassificazione non sarebbe mai diventata un processo di successo commerciale.

- progetti già in corso di impianti per produzione di energia elettrica indicano che **la gassificazione può raggiungere efficienze termiche elevate con costi di capitale convenienti**. Si stima che si raggiungeranno efficienze tra il 45 e il 50% entro il 2010 (con costi di capitale di circa 800€/kWe) e tra il 50 e il 60% entro il 2020 (con costi di circa 700€/kWe) [7].

- **la gassificazione rende tecnicamente ed economicamente possibile la cattura della CO₂ dei gas prodotti**, perché rispetto ai processi di combustione produce una maggiore concentrazione di questo gas nei fumi (ed in genere avviene a pressioni di esercizio elevate).
- **la gassificazione può produrre un gas ricco di idrogeno**, utilizzabile come syngas per la produzione di chemicals o dello stesso idrogeno.
- **la gassificazione appare economicamente competitiva con la combustione anche per il trattamento di rifiuti (urbani e speciali)**, con costi di capitale che per le varie tecnologie proposte variano tra 60 e 250€ per t/a installata (a fronte di un *range* 130-230 per gli inceneritori) e *gate fee* che variano tra 30 e 100€ per t/a installata (a fronte di un *range* 40-60 per inceneritori da oltre 200.000t/a) [8-11].
- **la gassificazione produce un gas effluente avente un volume tipicamente pari a circa 1/3 di quello emesso da un impianto di combustione tradizionale**, ciò determina un abbassamento dei costi di capitale e di esercizio connessi al trattamento degli inquinanti.
- **la gassificazione produce residui solidi non pericolosi, che sono agevolmente impiegabili come materiale da costruzione, senza costi addizionali di smaltimento**, ciò determina la possibilità concreta di ottenere un impianto realmente vicino alla condizione "a zero emissioni".

I processi di combustione sono largamente usati da anni e vantano affidabilità operativa perfezionata in decenni di esercizio in varie condizioni. Ma anche gli impianti di gassificazione sono molto diffusi nel mondo: oltre 128 impianti in esercizio, con oltre 400 gassificatori che generano in totale circa 45000MWth di gas di sintesi. Tale gas è impiegato:

- per il 21% per la produzione di energia elettrica;
- per il 28% per la produzione di combustibili;
- per il 42% per la produzione di *chemicals*.

Esiste una percezione diffusa e sempre più condivisa che **la gassificazione sia il cuore della nuova generazione di impianti di produzione di energia, possedendo flessibilità sia sul combustibile in ingresso che sui prodotti in uscita, emissioni pres-**

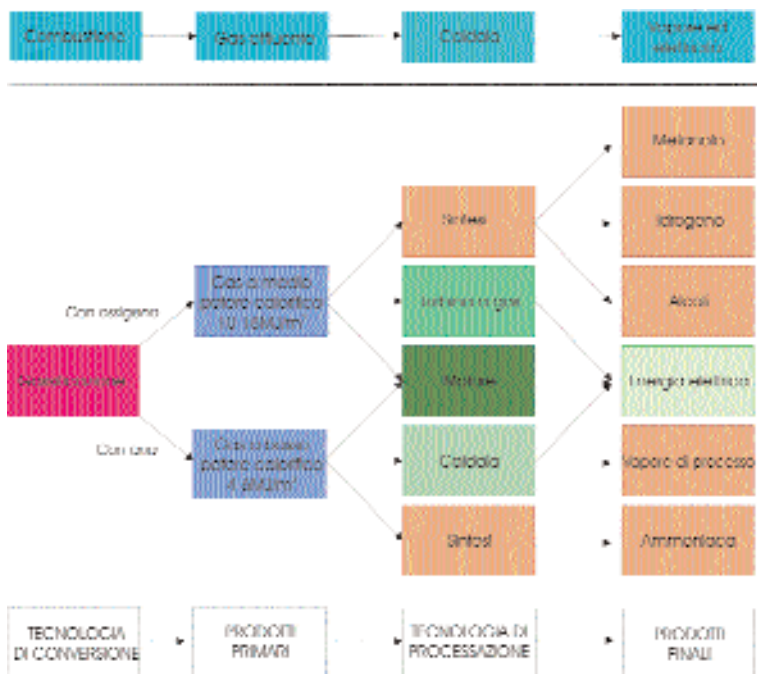


Fig. 1. Confronto tra le tecnologie di combustione e gassificazione, con indicazione dei possibili prodotti finali.

soché nulle di inquinanti, elevate efficienze termiche e di cattura dell'anidride carbonica, bassi costi di esercizio e di manutenzione.

Tali caratteristiche, assieme al prevedibile sviluppo di nuove tecniche di sequestrazione dell'anidride carbonica e alle accertate vaste riserve di *C-based feedstocks* nel mondo, individuano i sistemi basati sul processo di gassificazione come le tecnologie di riferimento nella transizione da un'economia *Carbon-based* verso un'economia *Hydrogen-based* [1, 12].

Perché i reattori a letto fluido?

Differenti analisi sviluppate negli ultimi anni [10, 13, 4] hanno esaminato in dettaglio le caratteristiche tecniche ed economiche dei principali processi di gassificazione (e pirolisi) per rifiuti solidi urbani, rifiuti plastici, residui della rottamazione delle auto, biomasse, ecc., condotti in reattori solido-gas.

I risultati confermano che la tecnologia del letto fluido è imprenditorialmente attraente, per una serie di motivi.

La buona miscelazione, l'elevato livello di trasferimento di calore e di materia e la conseguente omogeneità di temperatura garantiscono prodotti di buona uniformità (quindi non limitati nell'applicazione e di maggiore valore aggiunto) e consentono tempi di permanenza ridotti e temperature di reazione moderate; l'assenza di parti in movimento nella zona calda di reazione riduce tempi e costi di manutenzione; la possibilità di operare anche con scale di impianto relativamente ridotte rende più ampio l'intervallo delle alternative di investimento. Tali aspetti positivi sono indirettamente confermati dall'attività sperimentale su scala pilota e/o dimostrativa condotta dalle principali società del settore, che stanno indagando sulle condizioni di processo e sulle soluzioni impiantistiche che garantiscono le migliori prestazioni economiche ed ambientali [14].

D'altra parte, ci sono problematiche non ancora risolte, quali la necessità di contenere il tenore di cloro nelle correnti di alimentazione, il rischio di peggioramento della qualità della fluidizzazione come conseguenza della potenziale agglomerazione di solidi nel letto e, soprattutto, la mancanza di criteri tecnico-economici affidabili che definiscano la scala e le condizioni di esercizio per le quali sia ottenibile la massima convenienza del processo.

È quindi di interesse approfondire la conoscenza degli aspetti fondamentali e tecnologici relativi ai processi di gassificazione a letto fluido, focalizzando l'attenzione su resa e composizione del gas prodotto, tenendo conto delle esigenze tecniche necessarie ai diversi possibili impieghi ed alle loro relative potenzialità di mercato.

Confronto tra i processi di trattamento termico di rifiuti

Fra le diverse forme di trattamento termico di rifiuti solidi con sufficiente contenuto di frazione organica, si individuano tre diversi processi fondamentali, ciascuno caratterizzato da una diversa quantità di ossigeno presente nel sistema reagente:

1. **combustione**, in cui si realizza l'ossidazione totale e veloce della frazione organica del composto alimentato, in presenza di un adeguato eccesso d'aria rispetto alla richiesta stechiometrica e con il risultato di ottenere prodotti completamente ossidati ed un considerevole rilascio di energia.
2. **gassificazione**, in cui si realizza un insieme di reazioni tra materiali carboniosi ed uno o più reagenti contenenti ossigeno (di solito, aria, aria arricchita di ossigeno, ossigeno puro, vapor d'acqua, anidride carbonica o miscele di tali gas), a temperature generalmente superiori agli 800°C, per ottenere prodotti gassosi da utilizzare come fonte di energia o come sostanze di base per l'industria chimica.

Le reazioni, che avvengono in ambiente riducente, cioè in presenza di una quantità di ossigeno inferiore a quella richiesta dalla stechiometria della reazione di ossidazione, sono quelle di combustione, quella di Boudouard, la reazione di water gas e la reazione di metanazione. La Tabella 1 le riporta nel caso in cui il combustibile sia carbonio puro e nel caso di un combustibile reale.

La maggior parte dei processi industriali di gassificazione è termicamente autosufficiente, cioè è richiesta una quantità nulla o limitata di calore esterno. Il gas prodotto è essenzialmente una miscela di CO, H₂, CO₂, H₂O, N₂ e CH₄, che contiene però anche inquinanti quali, piccole particelle di materiale carbonioso non reagito (*char*), ceneri, tar e liquidi condensabili. Dopo il trattamento di pulizia, il gas - che ha un potere calorifico che varia tra un intervallo minimo di 4-7 MJ/m³_N (per la gassificazione con aria, che origina un prodotto con un tenore di azoto fino al 60%) ed uno massimo di 10-18 MJ/m³_N (per la gassificazione con ossigeno, che necessita però di una fornitura di ossigeno puro con elevati

costi di investimento e di esercizio) - può essere direttamente impiegato in caldaie, motori o turbine a gas per produrre calore ed energia elettrica o costituire un prodotto di base per la preparazione di gas di sintesi per l'ammoniaca, il metanolo ed i prodotti da esso derivati.

Tab. 1. Principali reazioni del processo di gassificazione.

Reazioni per combustibile C puro				
Reazioni di combustione	1	$C + \frac{1}{2} O_2$	$\rightarrow CO$	-111 MJ/kmol
	2	$CO + \frac{1}{2} O_2$	$\rightarrow CO_2$	-283 MJ/kmol
	3	$H_2 + \frac{1}{2} O_2$	$\rightarrow H_2O$	-242 MJ/kmol
Reazione di Boudouard	4	$C + CO_2$	$\Leftrightarrow 2 CO$	+ 172 MJ/kmol
Reazione di water gas	5	$C + H_2O$	$\Leftrightarrow CO + H_2$	+ 131 MJ/kmol
Reazione di metanazione	6	$C + 2 H_2$	$\Leftrightarrow CH_4$	- 72 MJ/kmol
Reazioni per combustibile reale				
$C_n H_m + \frac{n}{2} O_2 \Leftrightarrow n CO + \frac{m}{2} H_2$				
$C_n H_m + n H_2O \Leftrightarrow n CO + (\frac{m}{2} + n) H_2$				

3. **pirolisi**, in cui non ha luogo alcuna forma di ossidazione ma una degradazione termica del materiale organico, in assenza di ossigeno ed a temperature superiori ai 400°C (e tipicamente inferiori agli 800°C), raggiunte attraverso l'apporto diretto o indiretto di calore. I prodotti principali del processo sono gas combustibili di pirolisi, liquidi organici condensabili ed un residuo solido, contenente il *char* e la frazione inorganica dei rifiuti. Le proporzioni relative di tali prodotti dipendono dalla natura del composto di partenza e dalle condizioni di esercizio del processo (in particolare, temperature più basse producono una maggiore frazione di prodotti liquidi mentre quelle più alte producono una maggiore quantità di syngas). È importante notare che il rifiuto deve essere essiccato prima che le reazioni di pirolisi possano avvenire e che sia l'essiccazione che la pirolisi sono processi endotermici, cioè richiedono una sorgente esterna di calore.

Alcune delle differenze fondamentali tra i tre processi termici sono riportati nella Tabella 2.

Tab. 2. Principali differenze tra i processi di combustione, gassificazione e pirolisi.

	COMBUSTIONE	GASSIFICAZIONE	PIROLISI
Scopo del processo	Massimizzare la conversione del feedstock a CO ₂ e H ₂ O (produrre gas ad alta temperatura)	Massimizzare la conversione del feedstock a CO e H ₂ (produrre gas ad alto potere calorifico)	Massimizzare la conversione del feedstock tramite degradazione termica a gas (idrocarburi) e oli
Condizioni di esercizio			
Ambiente di reazione	Ambiente fortemente ossidante (elevati eccessi d'aria)	Ambiente riducente (quantità di ossigeno inferiore a quella stechiometrica)	Assenza di ossigeno
Temperatura	Minore del punto di fusione delle ceneri	Generalmente superiore agli 800°C (maggiore del punto di fusione delle ceneri)	Comprese tra i 500°C e gli 800°C (minore del punto di fusione delle ceneri)
Pressione	Generalmente atmosferica	Da atmosferica ad elevata (fino a 40bar)	Leggera sovrappressione
Gas reagente	Aria	Vapore, ossigeno, aria, anidride carbonica	Nessuno (si usa azoto o parte del gas prodotto)
Output del processo			
Gas prodotti	CO ₂ , H ₂ O	CO, H ₂ , CO ₂ , H ₂ O, CH ₄	CO, H ₂ , CH ₄ e in genere C _n H _m con n>5
Inquinanti	SO ₂ , NO _x , HCl	H ₂ S, HCl, COS, NH ₃ , HCN, tar	H ₂ S, HCl, COS, NH ₃ , HCN, tar
Stato delle ceneri	Spesso secche (materiale minerale convertito a ceneri di fondo e ceneri volanti)	Spesso vetrose (materiale minerale convertito a scorie vetrose e particolato fine devolatilizzato)	Spesso con contenuto di carbonio non trascurabile

(continua)

Tab. 2. Principali differenze tra i processi di combustione, gassificazione e pirolisi (*segue*).

	COMBUSTIONE	GASSIFICAZIONE	PIROLISI
Trattamento dei gas			
	A pressione atmosferica	Anche ad alta pressione	A pressione atmosferica
	Gas effluenti trattati emessi in atmosfera	Gas di sintesi trattati usati per produzione di chemicals o di energia (con successiva emissione in atmosfera)	Gas trattati usati per produzione di chemicals o di energia (con successiva emissione in atmosfera)
	Zolfo convertito ad anidridi ed emesso in atmosfera	Recupero dello zolfo come sottoprodotto vendibile in varie forme	
Gestione dei residui solidi			
	Ceneri di fondo e ceneri volanti sono raccolte, trattate e smaltite come rifiuti speciali	Scorie non lisciviabili, adatte per utilizzo nei materiali di costruzione	Ceneri di fondo e ceneri volanti raccolte, trattate e smaltite come rifiuti speciali o riciclate come materiale da costruzione
		Particolato fine riciclato al gassificatore o processato per recupero metalli	

Il mercato attuale dei principali processi di trattamento di rifiuti

Studi recenti sullo stato dell'arte delle tecnologie più interessanti per i processi di gassificazione di rifiuti solidi urbani e speciali [2, 4] indicano che processi di gassificazione o di pirolisi, ma anche processi che combinano assieme pirolisi e gassificazione, sono in numerosi paesi in fase di sviluppo e, in diversi casi, già allo stato di commercializzazione.

In Giappone, in particolare, e nell'area orientale in genere, l'attività è stata frenetica già dal 2000 e, perlomeno sinora, il mercato non dà segni di saturazione [3, 15]. Anzi da oltre cinque anni il numero di nuovi impianti di gassificazione per il trattamento di rifiuti è maggiore di quello di nuovi impianti di incenerimento.

In Europa c'è molto interesse e diverse iniziative in itinere anche se il fallimento di alcune iniziative ha creato qualche perplessità e frenato alcuni investimenti. La situazione è simile in Canada ed in Australia.

Negli USA l'abbondanza di siti per discarica ed i bassi costi di smaltimento hanno fatto sì che solo negli ultimi mesi si registrasse un evidente aumento dell'interesse degli operatori.

Il gassificatore a letto fluido FluGas

Il gruppo di ricercatori dell'Unità "Gestione rifiuti ed emissioni industriali" del CRdC AMRA è attivo da anni nel settore dei processi di termolisi di rifiuti diversi, costituendo, in particolare, uno dei pochi centri di ricerca europei impegnato sperimentalmente sulla gassificazione e pirolisi a letto fluido di rifiuti plastici¹.

¹ con collaborazioni con diverse Università straniere; diversi progetti di dottorato di ricerca portati avanti negli ultimi anni; una quindicina di papers su riviste scientifiche internazionali (da *Polymer Degradation and Stability* ad *American Institute of Chem. Eng. Journal, Fuel, Chemical Eng. Science*); perlomeno cinque progetti nel settore già finanziati con fondi europei, nazionali o privati.

Grazie a tale gruppo AMRA ha concluso nel 2004 la progettazione preliminare di un gassificatore a letto fluido in scala pilota (potenzialità di circa 60kg/h) per il quale ha ricevuto un finanziamento di 540k€ per il reattore e 800k€ per le apparecchiature diagnostiche di alta specializzazione. La progettazione esecutiva e realizzazione è stata affidata, dopo un bando di gara europeo, ad ANSALDO RICERCHE s.p.a. che ha installato il reattore nello stabilimento industriale di Le Calorie s.p.a. di Caserta (Figura 2).



Fig. 2. Area dello stabilimento Le Calorie s.p.a. nell'area ASI di Caserta a disposizione delle attività di AMRA e del Dipartimento di Scienze Ambientali della Seconda Università di Napoli.

AMRA propone progetti di ricerca che impiegano tale reattore a letto fluido in diverse condizioni di gassificazione di rifiuti urbani trattati ed imballaggi post-consumo.

Lo scopo è definire al meglio il quadro tecnico-economico per un più agevole trasferimento tecnologico ad imprese, anche di piccola e media dimensione, che vogliono operare nel settore

del recupero di materia e di energia da rifiuti urbani trattati e, in particolare, da quelli di imballaggi post-consumo.

In particolare, va osservato che:

- la possibilità di orientare la tipologia dei prodotti (fase gas, fase condensata e fase solida) variando le condizioni di processo (essenzialmente temperatura e tempo di permanenza), il tipo di agente fluidizzante (aria, aria e vapore o agenti gassificanti diversi) e le condizioni fluidodinamiche (agendo su velocità di fluidizzazione e tipologia di materiale del letto) è ancora poco esplorata. Di conseguenza, le stesse potenzialità di mercato del processo di gassificazione, soprattutto in reattori a letto fluido, sono probabilmente sottostimate.
- è ancora scarsa la conoscenza del comportamento in gassificazione di miscele di rifiuti di imballaggi post-consumo.
- poco si sa sulla possibilità di migliorare resa e selettività del processo attraverso l'aggiunta lungo il *freeboard*, a quote differenti, di reagenti diversi (ossigeno, anidride carbonica, vapore) o di parte del gas ricircolato.
- i sistemi di alimentazione *in-bed* e *over-bed* non hanno ancora raggiunto standard accettabili, a livello di progettazione di componenti e di criteri gestionali.
- l'entità delle diverse problematiche di sicurezza (nella fasi di avviamento e spegnimento, nell'esercizio ordinario, nella manutenzione del reattore e delle linee, nello stoccaggio e movimentazione dei materiali e degli agenti gassificanti), benché sia considerabile come acquisita a livello di grossi impianti industriali, va valutata per impianti medio-piccoli allo scopo di definire criteri di gestione che rendano sicura e agevole la conduzione di processi di questo tipo [16].

Il reattore è riccamente strumentato e prevede diverse opzioni impiantistiche: ha quindi le caratteristiche tecniche (Tabella 3) per consentire un'estesa ed utile sperimentazione su tali argomenti, garantendo un importante trasferimento tecnologico alle imprese operanti nel settore.

Il DSA della Seconda Università di Napoli ha inoltre collocato nella stessa area dove è localizzato il gassificatore di AMRA una serie di reattori in scala di laboratorio (Figura 3) che consentiranno di verificare preventivamente sulle scale inferiori le problematiche di esercizio che si dovranno affrontare nelle

varie condizioni programmate per l'impianto pilota. Nella stessa area, in appositi laboratori con ambienti climatizzati, AMRA ha poi collocato alcune apparecchiature di analisi di elevato valore.

La Tabella 4 riassume l'insieme delle *facilities* di cui si può disporre nell'area sperimentale AMRA-Le Calorie.

Tab. 3. Principali caratteristiche del gassificatore a letto fluido di AMRA.

Parametri geometrici	Diametro interno: 381 mm Altezza complessiva: 5,90 m Spessore pareti: 12,7 mm Altezza del reattore: 4,64 m Volume di reazione: 0,53 m ³
Combustibili alimentabili	CDR, rifiuti residuali protrattati, rifiuti plastici, biomasse, rifiuti di pulper
Potenzialità di trattamento	30-60 kg/h
Sistemi di alimentazione	<i>In-bed</i> (con coclea raffreddata ad acqua) e <i>Over-bed</i> (con coclea raffreddata ad aria)
Agenti gassificanti alimentabili	Aria, ossigeno, vapore, anidride carbonica (e miscele)
Intervallo di temperature di esercizio	750-900°C
Sistemi di trattamento effluenti	Ciclone Scrubber Torcia
Sistemi di sicurezza	Guardia idraulica Valvole di sicurezza Dischi di rottura Torcia Allarmi di alta e bassa pressione Linea azoto di sicurezza
Principali variabili operative	Temperatura del reattore Pressione del reattore Altezza del letto Portata di agente gassificante Velocità di fluidizzazione

Tab. 4. Principali facilities di cui dispone l'area sperimentale AMRA presso Le Calorie s.p.a.

Reattore	Apparecchiature ausiliarie disponibili	Utilizzo
BFB batch da 25mmID	<p>Prelievo del gas dalla sommità del reattore. Scarico dell'intero letto per un istantaneo quenching in uno scambiatore ad azoto liquido.</p>	<p>Per effettuare studi cinetici, in quanto permette di conoscere a tempi diversi i contenuti di C e H nel letto.</p>
BFB da 55mmID con alimentazione continua di combustibile	<p>Prelievo del gas dalla sommità del reattore. Linea di campionamento e raffreddamento dei gas e dei liquidi prodotti. Tramoggia di alimentazione del combustibile in pellet. Gas-cromatografo on-line. Sistema di acquisizione e gestione del reattore e dei dati di pressione e temperatura.</p>	<p>È stato già utilizzato per comprendere le problematiche di funzionamento di un BFB durante processi termici di polimeri e per studiare la composizione dei gas prodotti da pirolisi. È utilizzabile come gassificatore in scala di laboratorio e può dare informazioni sulla composizione del syngas ottenibile in varie condizioni operative.</p>
BFB da 102mmID con alimentazione continua di combustibile	<p>Prelievo del gas dalla sommità del reattore e da un'altezza intermedia corrispondente al pelo libero di un letto di ammontare medio. Linea di campionamento e raffreddamento dei gas e dei liquidi prodotti. Tramoggia di alimentazione del combustibile in pellet. Gas-cromatografo on-line. Sistema di acquisizione e gestione del reattore e dei dati di pressione e temperatura.</p>	<p>È utilizzabile come gassificatore in scala pre-pilota e può dare informazioni sulla composizione del syngas ottenibile in varie condizioni operative e sull'effetto del passaggio di scala dal 55mmID al 102mmID. Può campionare anche subito a valle della zona primaria ovvero del pelo libero del letto, caratteristica importante per poter studiare l'effetto della variazione del tempo di residenza nel letto e nel <i>freeboard</i> e per poter distinguere tra le reazioni primarie e quelle che avvengono nel <i>freeboard</i>. È inoltre possibile implementare un'estrazione in continuo del materiale del letto.</p>

(continua)

Tab. 4. Principali facilities di cui dispone l'area sperimentale AMRA presso Le Calorie s.p.a. (segue).

Reattore	Apparecchiature ausiliarie disponibili	Utilizzo
BFB in scala pilota da 381mmID con alimentazione continua di combustibile e materiale inerte	<p>Prelievo del gas dalla sommità del reattore e da altezze intermedie.</p> <p>Tramogge di alimentazione del combustibile in pellet.</p> <p>Sistema di acquisizione e gestione del reattore e dei dati di pressione e temperatura.</p> <p>Scrubber per la depurazione dei gas e torcia per la combustione dei gas.</p>	<p>Il reattore di gassificazione in scala pilota sarà esercito nelle condizioni operative già indagate nella sperimentazione sui reattori di laboratorio; allo scopo di verificare il funzionamento in una scala già rappresentativa per scopi commerciali.</p>
Laboratorio di analisi e diagnostica	<p>Analizzatore elementare per C, H, N, S, O</p> <p>Analizzatore <i>on line</i> per CO, CO₂, O₂, H₂, CH₄</p> <p>Bilancia termogravimetrica con MS.</p> <p>Gasromatografo con MS.</p> <p>HPLC con MS</p> <p>ICP-MS.</p> <p>Microscopio elettronico SEM.</p>	



Fig. 3. Reattori a letto fluido in scala di laboratorio e pre-pilota presso l'area dello stabilimento Le Calorie s.p.a. a disposizione delle attività del Dipartimento di Scienze Ambientali della Seconda Università di Napoli.

Bibliografia

1. Stiegel G.J. & Maxwell,R.C., Gasification Technologies: the path to clean, affordable energy in the 21st century, Fuel Processing Technology, 71:79-97 (2001).
2. Malkow, T., Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal, Waste Management, 24:53-79 (2004).
3. Klein, A., Whiting K., Archer E., Schwager J., Gasification and pyrolysis: what is the current situation for waste management?, Waste Management World, 71-75 (September 2004).
4. Arena U. & Mastellone, M.L., Fluidized Pyrolysis and Gasification of Solid Wastes, in Proc. of Industrial Fluidization South Africa 2005, The South African Institute of Mining and Metallurgy (ISBN 1-919782-83-0), pp. 53-68 (2005).
5. Perugini, F., Arena, U., Mastellone, M.L., A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes", Env. Progress, 24, 2: 137/154(2005).
6. Higman, C. and van der Burgt, M., Gasification, Gulf Professional Publishing, 2003.
7. Stiegel G.J., Overview of Gasification Technologies, Nat. Energy Technology Lab. (US DOE), presentato al Global Climate and Energy Project Advanced Coal Workshop, March 15, 2005.
8. Juniper Consultancy Services Ltd, Pyrolysis and Gasification of Waste - A Worldwide Technology and Business Review, 2nd ed., 2001.
9. AiIE-Associates in Industrial Ecology, Review of Residual Waste Treatment Technologies, 2nd ed., 2003.
10. Livingston W.R., Technical and Economic Assessment of Energy Conversion Technologies for MSW, Report No. B/WM/00553/REP for DTI Sustainable Energy Programmes PUB URN NO: 02/1347 (2002).
11. Schwager, J. & Whiting, K., European Waste Gasification: Technical & Public Trends and Developments, presentato alla Gasification Technology Conference, San Francisco (CA), October 28, 2002.
12. National Energy Policy Development Group, USA Report 2001.
13. Tukker, A., Plastics Waste-Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration, Rapra Review report, 13, No. 4, 2002.

14. Arena U. & Mastellone, M.L., Fluidized Bed Pyrolysis of Plastic Wastes, capitolo 16 in Scheirs, J. & Kaminsky, W. (Eds.) Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics, J. Wiley&Sons Ltd, pp. 435-474, 2006.
15. Schwager J. and Whiting K., Progress towards commercialising waste gasification, The Gasification Technologies Conference, San Francisco, 14 October 2003.
16. Arena U., Romeo, E., Mastellone, M.L., Fluidized Bed Gasification of Solid Wastes: Analysis of Possible Deviations of the Main Process Variables, in Proc. of 19th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion 2006, American Soc. of Mech. Eng., F. Winter (ed.), Vienna, 21-24 May 2006.

Finito di stampare nel mese di novembre 2006
presso Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli S.p.A. – Napoli

I manuali del CRdC-AMRA 11