

M. Grosso, M. Laurenzi

Diar - Sez. Ambientale - Politecnico di Milano

Le tecnologie di



trattamento dei

rifiuti

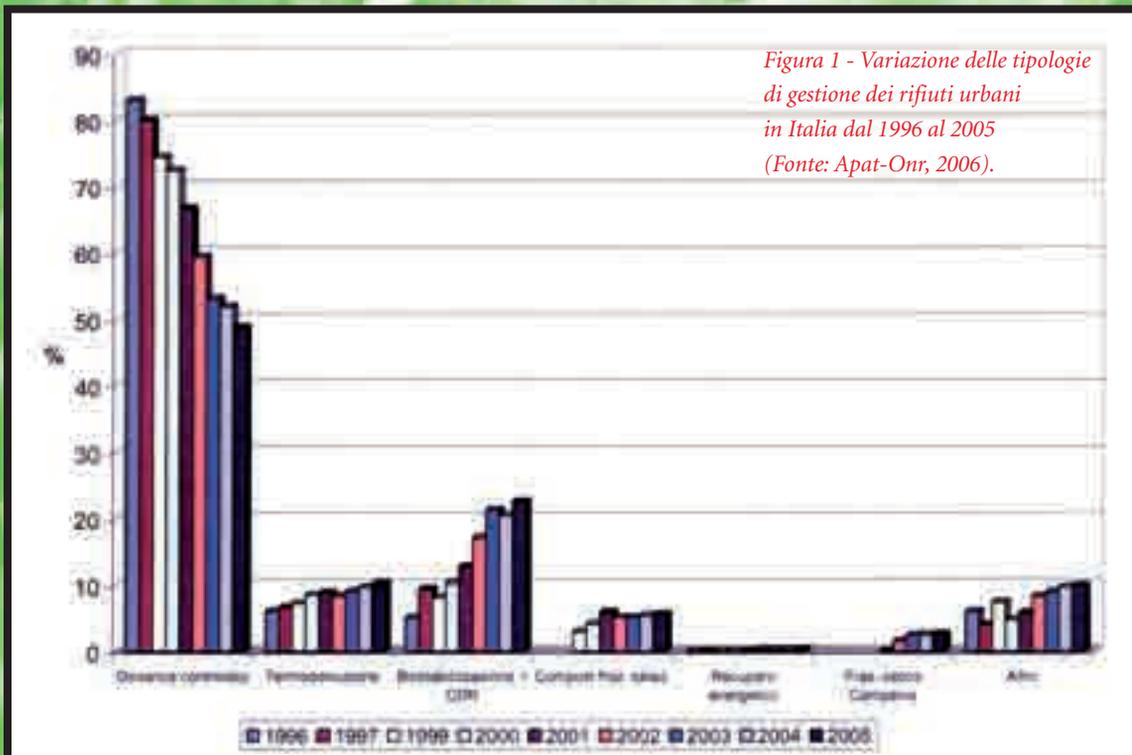


Acquisendo informazioni sulle caratteristiche di ogni singolo materiale, i metodi di smaltimento dei rifiuti possono essere mirati, affinati e ottimizzati.

L'obiettivo è fare di scarto virtù.

L'evoluzione delle tipologie di trattamento del rifiuto urbano residuo nell'ultimo decennio in Italia è chiaramente descritta nella Figura 1. Il considerevole decremento del ricorso allo smaltimento in discarica controllata, conseguenza dell'applicazione delle Direttive Europee dei primi anni '90, si è concretizzato a discapito di un notevole incremento dei trattamenti meccanico-biologici (indicati con la voce "biostabilizzazione + Cdr" secondo la dicitura ufficiale del Rapporto rifiuti Onr) e di un incremento più contenuto della termodistruzione e del compostaggio di qualità. Due ulteriori elementi di novità nel quadro della realtà italiana dei trattamenti sono rappresentati dal recupero energetico mediante co-combustione del Cdr in impianti non dedicati e dal forte interesse verso la digestione anaerobica per il trattamento delle frazioni organiche putrescibili. La co-combustione in impianti industriali ha riguardato, nell'anno 2004, circa 100.000 tonnellate di Cdr,

e all'incirca un'analogha quantità di frazione organica è stata trattata nei sei impianti di digestione anaerobica che risultavano operativi al 2005 [1]. Valori ancora sicuramente modesti, ma destinati probabilmente ad aumentare alla luce del rinnovato interesse per queste opzioni di recupero. Come abbiamo già avuto modo di accennare in una precedente pubblicazione su questa stessa rivista [2], la modalità di classificazione dei trattamenti adottata dall'Osservatorio Nazionale Rifiuti non si può definire formalmente ineccepibile, poiché vengono posti sullo stesso piano trattamenti finali (quali ad esempio la discarica controllata) con trattamenti che producono ulteriori scarti da smaltire (termodistruzione) con trattamenti intermedi che producono dei materiali semilavorati da collocare utilmente sul mercato o da avviare a smaltimento finale (gli impianti meccanico-biologici). Per quanto riguarda questi ultimi, in particolare, è stato messo in evidenza



come il parco impiantistico attuale, ben lontano dalle prestazioni ottenibili con l'applicazione delle migliori tecnologie disponibili, comporta mediamente una riduzione complessiva di solo il 17% ed una produzione di Cdr "a specifica" di poco più dell'8%. La restante quantità, pari quindi ai tre quarti del materiale complessivamente trattato, con la sola eccezione dei metalli recuperabili è costituita da prodotti di scarsa qualità e difficile, se non impossibile, collocabilità sul mercato del recupero (frazione organica stabilizzata, generica frazione secca, scarti vari). Ciò premesso, verranno brevemente esaminate e descritte nel seguito le principali tecnologie di trattamento del rifiuto residuo attualmente praticate.

Trattamenti meccanico-biologici

Un impianto di trattamento meccanico-biologico (Tmb) dei rifiuti è costituito da parecchie operazioni eseguite in serie, con lo scopo di separare dal materiale le componenti indesiderate e di migliorarne le caratteristiche energetiche, di trasportabilità e di stoccabilità. La qualità del prodotto finale ottenuto

dipende dal tipo, dall'ordine, dal numero e dall'efficienza delle operazioni che vengono eseguite sul rifiuto. Le possibili composizioni di una linea di pretrattamento sono innumerevoli e dipendono, soprattutto, dalle caratteristiche del materiale che si vuole ottenere: saranno la composizione del rifiuto in arrivo all'impianto e la destinazione del prodotto finale ottenuto a suggerire l'architettura della linea. Le caratteristiche del rifiuto solido da trattare dipendono, oltre che dai fattori propri dell'area servita, dalle caratteristiche della raccolta differenziata attuata a monte. I pretrattamenti possono essere di natura meccanica o biologica. Con i processi meccanici si cerca di operare sulla separazione opportuna delle diverse frazioni merceologiche costituenti il rifiuto, mentre i processi biologici hanno il duplice scopo di stabilizzare la frazione organica putrescibile e di favorire la riduzione del contenuto di umidità del materiale, grazie al calore rilasciato dalle reazioni biochimiche. Per minimizzare l'apporto di energia dall'esterno e per mantenere il contenuto energetico del rifiuto, tali processi sono generalmente di tipo

aerobico. Un'ulteriore importante distinzione è quella tra i processi a flusso separato e i processi a flusso unico, rappresentati schematicamente nella Figura 2. Nei primi viene effettuata dapprima una classificazione dimensionale del materiale, al fine di separare la frazione secca (il sopravaglio) dalla frazione umida (il sottovaglio); quest'ultima viene sottoposta a stabilizzazione biologica, generalmente aerobica, e trasformata nella cosiddetta frazione organica stabilizzata (Fos), un materiale destinato a operazioni di recupero ambientale o alla discarica. In questo caso quindi il processo biologico non ha implicazioni dirette nell'ambito della produzione del Cdr. Nei processi a flusso unico, invece, l'intera massa del rifiuto viene sottoposta ad una iniziale fase aerobica, in cui il processo biologico è funzionale alla produzione di Cdr, in quanto contribuisce, grazie al rilascio di calore, alla riduzione del contenuto di umidità del materiale. Gli impianti a flusso separato, che hanno conosciuto un elevato numero di applicazioni in Italia negli anni '80 e '90 e rappresentano ancora una tecnologia molto utilizzata, sono tutta-

via destinati a cedere il passo rispetto a quelli a flusso unico, che presentano una serie di vantaggi quali:

- una resa di produzione di Cdr generalmente più elevata (circa 50% rispetto al 30-40% dei sistemi a flusso separato);

- una riduzione più efficace del contenuto di umidità del materiale;

- l'assenza della produzione di matrici di difficile gestione quale la Fos.

Con riferimento a quest'ultimo punto è bene ricordare che la Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, che ha recentemente affrontato le problematiche relative all'elaborazione del "Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica" (ai sensi del DLgs. 36/03), ha valutato come "limitatissima la possibilità di impiego della Fos sia come ripristini ambientali sia come ricopertura di discariche", e pertanto ritiene "opportuno disincentivare la realizzazione di nuovi impianti con produzione di frazione organica sporca da stabilizzare e da smaltire in discarica".

Compostaggio

Il panorama attuale delle tecnologie per il compostaggio della frazione organica dei rifiuti prevede tre principali tipologie impiantistiche: compostaggio in cumuli periodicamente rivoltati compostaggio in cumuli statici aerati e compostaggio in bioreattori. La terza tipologia è senza dubbio quella più utilizzata, in particolare quando le matrici trattate comprendono la frazione umida putrescibile, mentre le prime due, decisamente più "leggere" dal punto di vista impiantistico, trovano applicazione nel caso di compostaggio di matrici prevalentemente ligneo-cellulosiche ma anche nelle fasi di maturazione successive alla fermentazione accelerata vera e propria. Il compostaggio in cumuli rivoltati rappresenta un sistema di relativa semplicità tecnologica, che si configura come un sistema dinamico, tipicamente aperto (eventualmente confinabile). Prevede la disposi-

zione della matrice in lunghi cumuli, generalmente di sezione triangolare o trapezoidale, movimentati o rivoltati periodicamente. I cumuli sono aerati principalmente dalle correnti d'aria e dai suoi moti convettivi e diffusivi, ed il ricambio d'aria all'interno della matrice in compostaggio dipende dalla porosità dello stesso. Il rivoltamento consente il rimescolamento dei materiali, contribuendo anche a ridurre la pezzatura delle particelle, con il conseguente aumento della superficie disponibile per l'attacco microbico. Esso ripristina anche la porosità della matrice in trasformazione, incrementando al contempo gli scambi passivi del vapore acqueo e degli altri gas prodottisi nell'atmosfera interna al cumulo.

Esistono differenti tipologie di macchine operatrici destinate al rivoltamento del materiale: dalle semplici pale meccaniche, adatte per piccoli impianti, ai poderosi telai cavalca-cumulo, montati su ruote gommate o cingoli, a convogliatori cingolati a nastro trasportatore mobile su piano inclinato.

Con il metodo dei cumuli rivoltati periodicamente, la fase di compostaggio attivo dura generalmente da tre a nove settimane, a seconda della natura del substrato di partenza e della frequenza delle movimentazioni. I sistemi statici aerati, al contrario di quanto appena descritto, non comprendono il rivoltamento del materiale ma si limitano alla sua aerazione, effettuata in maniera passiva o forzata. Una volta formato, infatti, il cumulo non viene più movimentato se non a fine processo. Risultano

quindi necessari pretrattamenti di omogeneizzazione spinta, con utilizzo di elevate quantità di strutturante ligneo-cellulosico, per rendere il materiale idoneo al trattamento. Si usa inoltre disporre sulla superficie del cumulo uno strato di compost maturo a garantire un leggero effetto di coibentazione e, soprattutto, la biofiltrazione degli effluenti gassosi che si liberano dalla superficie del cumulo. I bioreattori rappresentano infine, come detto, le apparecchiature più utilizzate per la fase accelerata del compostaggio (Act, Active Composting Time), grazie alla maggiore possibilità di controllo del processo sia dal punto di vista biologico sia termometrico. Le tecnologie più diffuse sono le biocelle e le trincee dinamiche aerate.

Le biocelle sono strutture in calcestruzzo, coibentate, provviste generalmente di sistemi di ricircolo dell'aria con scambiatori di calore, sistemi di rilevazione dei principali parametri di stato (umidità, percentuale di ossigeno, temperatura) e sistemi di regolazione in feedback dei flussi d'aria e delle percentuali di ricircolo. In particolare l'adozione di uno scambiatore di calore attraverso cui far passare l'aria esausta consente di disaccoppiare la necessità di controllo termometrico (drenaggio del calore in eccesso) da quelle di ossigenazione della biomassa. Si tratta ovviamente di un processo batch, che dopo uno stazionamento di 7-12 giorni del materiale all'interno della cella richiede la sistemazione in cumuli dello stesso, per la successiva fase di maturazione

Figura 2 - Schemi concettuali dei due principali processi di produzione del Cdr.



lenta in aia. Le trincee dinamiche aerate sono reattori dinamici, a sviluppo orizzontale, tipicamente condotti in continuo, dove si combina la movimentazione (con opportune macchine rivoltacumulì) con la sua aerazione forzata. La combinazione delle due attività rende tali soluzioni impiantistiche in grado di garantire una buona conduzione del processo anche in condizioni di partenza sfavorevoli, come elevata umidità e alto grado di putrescibilità. A completamento del processo di compostaggio è opportuno prevedere sistemi di pretrattamento, trattamento intermedio e raffinazione finale del materiale, oltre che sistemi di depurazione delle arie di processo, finalizzati essenzialmente al controllo delle emissioni odorogene.

Digestione anaerobica

La digestione anaerobica non rappresenta certamente un processo innovativo, essendo utilizzato da tempo nel settore della depurazione delle acque reflue ed in particolare nella stabilizzazione dei fanghi di supero. Esiste tuttavia un rinnovato interesse verso la sua applicazione al trattamento della frazione organica dei rifiuti, in alternativa o in sinergia con il compostaggio,

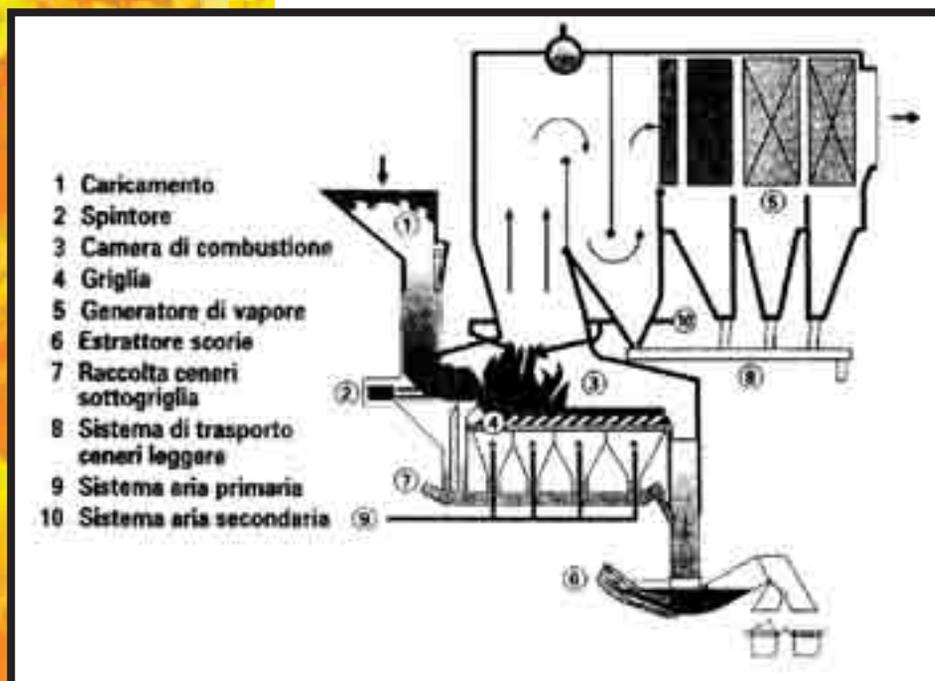
essenzialmente grazie alla potenzialità di produzione di energia insita in questo tipo di processo. Si intravede così la possibilità di effettuare un recupero simultaneo di materia ed energia, dove quest'ultima è inequivocabilmente e completamente caratterizzata dal bollino di "rinnovabilità", al contrario di quanto avviene per il recupero energetico mediante combustione, sul quale sono in corso numerose discussioni in merito. Gli elementi di forte interesse sono pertanto associati alle politiche sempre più rivolte verso il rispetto dei vincoli del Protocollo di Kyoto e agli interessanti incentivi economici associati alla produzione di energia rinnovabile. Non è certo questa la sede per effettuare una disamina completa delle tecnologie di digestione anaerobica applicabili al trattamento della frazione organica del rifiuto, argomento come detto ancora in una fase embrionale quantomeno in Italia, pertanto ci si limiterà a fornire alcuni spunti di riflessione per meglio comprendere potenzialità e criticità della tecnologia [3]. Pare difficile ritenere che ci sarà uno sviluppo di impianti basati unicamente sulla digestione anaerobica e trattanti unicamente frazione organica dei rifiuti solidi; è invece più

ragionevole attendersi impianti di co-digestione della Forsu con altri substrati (fanghi di depurazione, reflui dell'industria agro-alimentare ecc.), piuttosto che un'integrazione della linea di digestione anaerobica con una linea di compostaggio aerobico. Gli elementi problematici associati alla digestione anaerobica sono relativi ai maggiori costi di impianto rispetto al compostaggio, alla produzione di acque di processo in eccedenza, che necessitano di uno specifico trattamento finalizzato in particolare alla rimozione dell'azoto, all'assetto normativo ancora poco favorevole per quanto riguarda la gestione del digestato. L'integrazione dei sistemi anaerobici ed aerobici comporta invece una serie di vantaggi, quali il miglioramento del bilancio energetico complessivo dell'impianto, un miglior controllo dell'inquinamento olfattivo (le fasi odorogene sono gestite al chiuso), un minor impegno di superficie complessiva grazie alla maggiore compattezza dell'impiantistica anaerobica e una riduzione dell'emissione di CO₂ in atmosfera. Un'altra alternativa di interesse è associata alla possibilità di introdurre una linea di digestione anaerobica all'interno degli impianti di compostaggio esistenti al fine di conseguire un incremento della potenzialità di trattamento.

Recupero energetico

Combustione

Il forno a griglia costituisce il sistema maggiormente sperimentato nel campo del termoutilizzo dei rifiuti, con unità operanti in un ampio campo di potenzialità, da qualche decina a 800, 1.000 tonnellate al giorno. La combustione avviene su una griglia alimentata attraverso una tramoggia ed un dispositivo di spinta che distribuisce il materiale sulla griglia stessa. La griglia è generalmente mobile e può assumere differenti configurazioni in modo da favorire il rimescolamento dei rifiuti, provocarne l'avanzamento e promuovere, per quanto possibile, il contatto con l'aria comburente. Per facilitare il movimento di



avanzamento della massa dei rifiuti le griglie sono generalmente inclinate verso il basso, anche se non mancano esempi di griglie orizzontali. Inoltre le diverse sezioni in cui è suddivisa la griglia possono assumere differenti velocità di movimento per favorire la completa combustione del rifiuto. L'aria necessaria al processo di combustione viene alimentata in parte sotto la griglia attraverso il letto di combustione (aria primaria) ed in parte sopra la griglia per garantire il completamento del processo di ossidazione in fase gassosa (aria secondaria e terziaria). In tutte le realizzazioni più recenti la camera di combustione è dotata di superfici di scambio termico per il controllo della temperatura. Si ottiene in questo modo un'integrazione del sistema forno-caldaia, che permette anche di ridurre, rispetto al caso adiabatico, la quantità di aria secondaria necessaria per il controllo della temperatura dei fumi. Il raffreddamento ad acqua della griglia è stato introdotto in alcune installazioni recenti per limitare il grado di usura delle piastre, aumentato a seguito del maggiore Pci del rifiuto bruciato e, quindi, per poter garantire per lungo tempo un corretto assetto delle stesse [4]. Tale sistema di raffreddamento prevede l'utilizzo di piastre realizzate per essere flussate con acqua per mezzo di un circuito chiuso di raffreddamento; il calore asportato dalle piastre è poi recuperato attraverso opportuni scambiatori di calore che prelevano il calore dall'acqua riscaldata dalle piastre e lo cedono nuovamente alla sezione di combustione (pre-riscaldamento dell'aria di combustione) o alla sezione di recupero energetico. Questa capacità di raffreddamento è molto importante per minimizzare l'usura meccanica, che dipende anche dalla temperatura del materiale, e permette inoltre di limitare l'attacco chimico sulle piastre della griglia. Infatti la corrosione, in particolare, da acido cloridrico porta ad un rapido assottigliamento dello spessore delle piastre per temperature di metallo superiori ai 550°C: durante il funzionamento normale, la temperatura si mantiene

tra 400 e 500°C mediante il raffreddamento ad aria, mentre nel caso di raffreddamento con acqua tale temperatura è in genere inferiore ai 200°C.

All'uscita della camera di combustione i fumi entrano in una caldaia a recupero per la generazione di vapore in pressione e la successiva produzione di energia elettrica e/o calore. Si può dire che non esistono particolari limiti tecnici di applicabilità di questa tecnologia, salvo il fatto di valutarne la convenienza economica in relazione alle caratteristiche ed al contenuto energetico del rifiuto da trattare. In ogni caso, è possibile indicare i seguenti intervalli di utilizzo: griglie completamente raffreddate ad aria, per rifiuti aventi Pci variabili da 6.000 a 12.000 kJ/kg; griglie con raffreddamento misto acqua/aria, per rifiuti aventi Pci variabili da 10.000 a 22.000 kJ/kg.

Nel forno a letto fluido il materiale solido combustibile viene miscelato con un sorbente (sabbia o calcare) destinato a catturare lo zolfo e altri composti minori direttamente in camera di combustione, e quindi mantenuto in sospensione fluida mediante l'insufflazione dal basso di aria comburente, eventualmente con l'aggiunta di prodotti di combustione riciccolati [5].

Il combustore assume la forma di un cilindro verticale (che può essere anche in pressione) dalla cui sommità sono scaricati i gas prodotti dalla combustione e, a seconda della velocità dei gas stessi, quantità più o meno grandi di particelle solide. I prodotti di combustione che evolvono al di sopra del letto vengono convogliati ad una convenzionale caldaia a recupero. Nelle versioni più avanzate, alle pareti ed all'interno del cilindro che costituisce il letto sono collocate le tubazioni entro le quali si genera il vapore. Da un punto di vista impiantistico, si distinguono due tipologie costruttive, che differiscono principalmente per la velocità dell'aria che mantiene le particelle solide in sospensione [5] - letto fluido "bollente" (Figura 5), nel quale la velocità dell'aria è relativamente bassa (1,3 m/s) cosicché le particelle solide ricadono

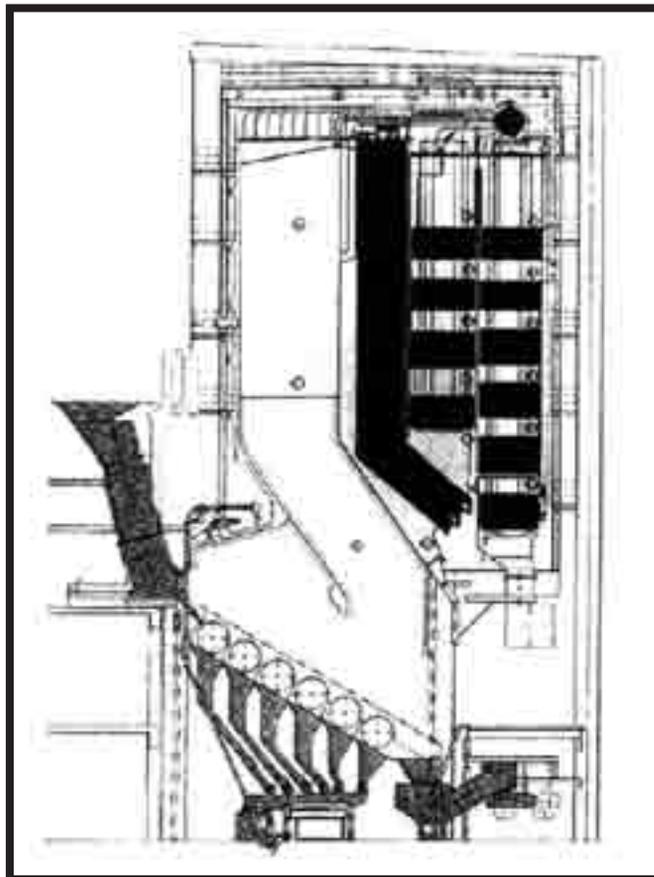


Figura 4 - Griglia a rulli con caldaia verticale [5].



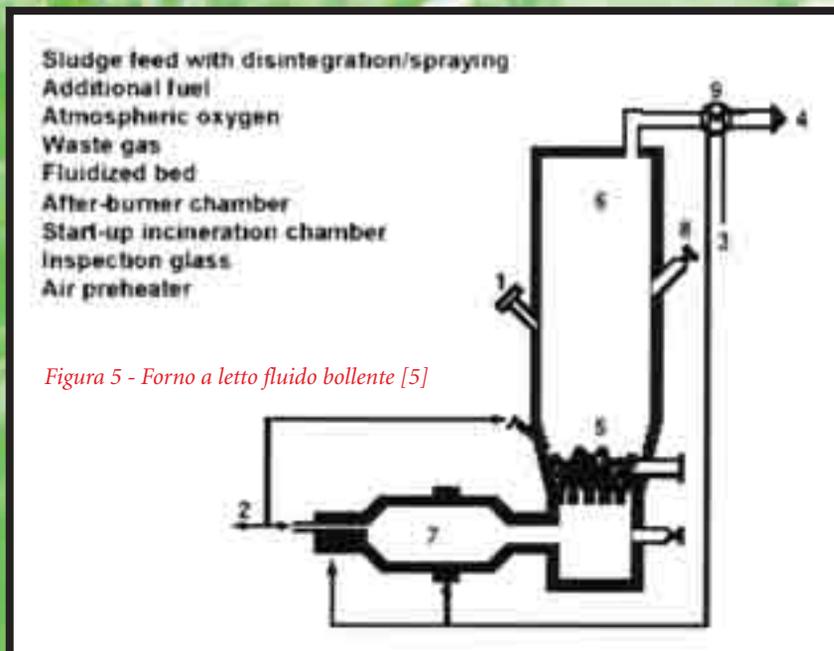


Figura 5 - Forno a letto fluido bollente [5]

su se stesse prima di raggiungere la sommità del cilindro che costituisce il letto. I gas uscenti dal combustore riescono, infatti, a trascinare con sé solamente le particelle fini, che sono raccolte dapprima con cicloni e quindi nel sistema di depurazione a valle della caldaia;

- letto fluido "circolante" (Figura 6), nel quale la più elevata (5,9 m/s) velocità dell'aria provoca il trascinarsi oltre la sommità del letto di buona parte delle particelle solide. La grande quantità di solidi presenti nei gas uscenti dal letto deve necessariamente essere immessa di nuovo nel combustore sia per motivi energetici, perché nel tempo relativamente breve trascorso nel letto la combustione non viene completata, sia per salvaguardare la caldaia ed assicurare poteri calorifici elevati (preferibilmente almeno 14.000, 15.000 kJ/kg). Per questi motivi, la maggioranza degli impianti finora realizzati è alimentata con il Cdr (Combustibile Derivato dal Rifiuto). Da un punto di vista energetico, le prestazioni di un impianto a letto fluido sono analoghe a quelle di un impianto che utilizza un forno a griglia.

compiendo numerosi passaggi fino a consumazione per processi meccanici (urti con pareti ed altre particelle) e chimici (ossidazione). Questo elevato tempo di permanenza, unito all'intimo contatto tra i solidi e l'aria comburente reso possibile dal vigoroso mescolamento attuato nel letto, consente l'espletamento pressoché totale delle reazioni di combustione, producendo ridottissime concentrazioni, nei gas avviati alla caldaia, di ossido di carbonio, composti organici, diossine e furani. I principali vantaggi degli impianti a letto fluido, rispetto ai tradizionali forni a griglia sono costituiti da [5]: minor contenuto di inquinanti nei fumi a monte dei sistemi di depurazione, grazie sia alla cattura (principalmente di zolfo) operata dal sorbente, sia all'elevato tempo di permanenza del rifiuto nel letto, sia all'assenza di elevati picchi di temperatura (da cui la minore produzione di ossidi di azoto termici); semplicità costruttiva, per l'assenza di organi meccanici in movimento; per taglie medio piccole (inferiori a 12,15 t ora-1) costi inferiori ai forni a griglia. A fronte di questi vantaggi, il principale limite è costituito dalla necessità di pretrattare il rifiuto. Infatti, per poter assicurare adeguata fluidità e distribuzione di temperatura del letto, è necessario frantumare meccanicamente il rifiuto ed assicurare poteri calorifici elevati (preferibilmente almeno 14.000, 15.000 kJ/kg). Per questi motivi, la maggioranza degli impianti finora realizzati è alimentata con il Cdr (Combustibile Derivato dal Rifiuto). Da un punto di vista energetico, le prestazioni di un impianto a letto fluido sono analoghe a quelle di un impianto che utilizza un forno a griglia.

Tecnologie alternative

di recupero energetico
 Con il principale scopo di migliorare gli aspetti relativi alle implicazioni ambientali dei processi consolidati per il recupero di energia dai rifiuti, una serie di filoni di ricerca ha indagato e continua ad indagare su processi innovativi che nella prospettiva



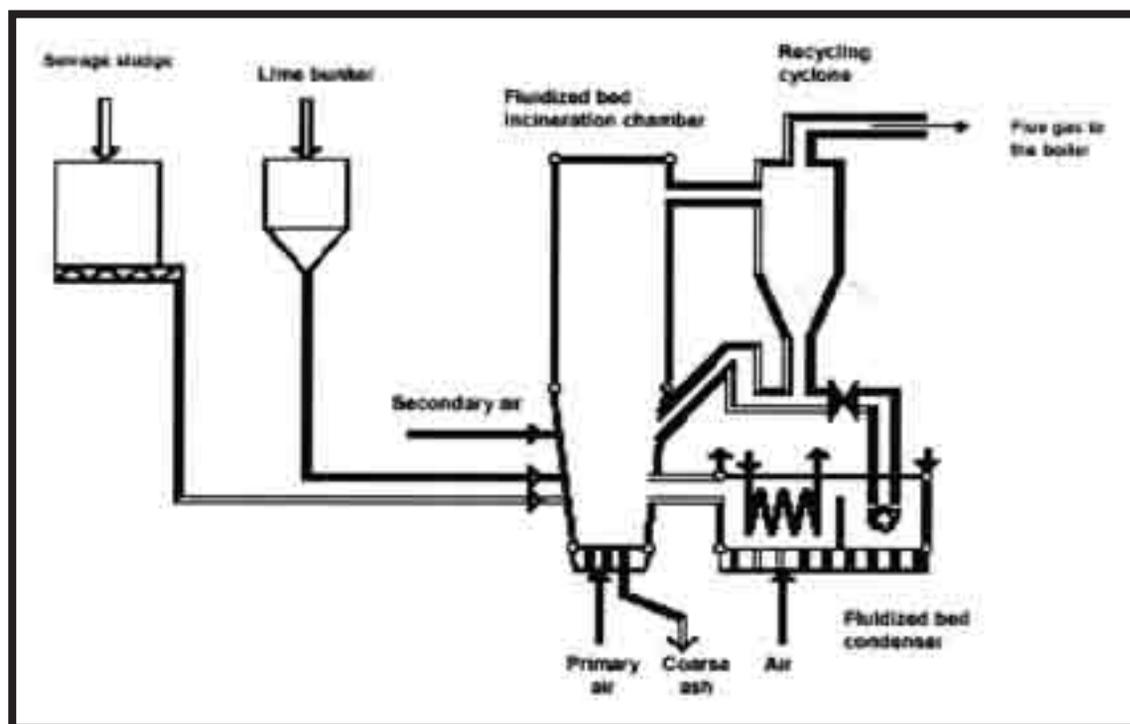


Figura 6 - Forno a letto fluido circolante [5].

possano costituire una valida alternativa alla combustione convenzionale a griglia o a letto fluido. Si tratta in genere di tecniche che operano con principi noti da decenni, spesso già applicate a materiali omogenei (carbone, tar, biomasse). Un primo gruppo comprende processi di combustione in assenza d'aria (pirolisi), in difetto d'aria ad alta temperatura (gassificazione ad alta temperatura) e di gassificazione a bassa temperatura, nota con il termine di "smoldering", spesso tradotta con il termine di "dissociazione molecolare". Tutti i sistemi ricavano combustibili liquidi, solidi, gassosi (pirolisi) o solo gassosi (syngas da gassificazione ad alta e bassa temperatura) che possono essere bruciati come tali o dopo depurazione in sistemi a più alta efficienza, ad esempio turbine a gas. La gassificazione ad alta temperatura può realizzare la parziale vetrificazione delle scorie ed un miglior controllo delle emissioni di composti organici, ma spesso richiede l'aggiunta di combustibile fossile per facilitare il processo di gassificazione (fino al 10%) e l'impiego di ossigeno o aria arricchita per la vetrificazione delle ceneri. La complessità dei processi ne fa veri e propri impianti chimici, con costi di realizzazione e di gestione tendenzialmente più elevati. Anche rendi-

menti energetici che sono confrontabili con gli inceneritori convenzionali nel caso della combustione del syngas tal quale, diventano meno interessanti nel caso della depurazione del syngas, anche se il potenziale convogliamento di quest'ultimo in cicli combinati porta ad un incremento dell'efficienza energetica. Ampiamente nota ed applicata, nel settore dei rifiuti, a casi particolari di rifiuti tossici e residui di dismissione dell'industria bellica, è la tecnica della torcia al plasma. Esistono infine alcune esperienze di inceneritori convenzionali che utilizzano aria comburente arricchita di ossigeno (Syncom) con risultati positivi sul piano del dimensionamento dell'impianto ma non incoraggianti su quello

energetico. Di tutte le possibilità citate le uniche che possono vantare una pratica industriale su ampia scala sono i processi di gassificazione con utilizzo del syngas ampiamente diffusi in Giappone. Tali tecniche, nonostante i ripetuti tentativi, non hanno ottenuto finora pari successo in Europa, come testimoniano, ad esempio, le due esperienze italiane (impianti di Greve in Chianti e dell'isola d'Elba, entrambi fuori servizio) e il caso molto significativo dell'impianto di Karlsruhe in Germania, mai entrato in esercizio commerciale in quanto non in grado di raggiungere le prestazioni di progetto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Apat-Onr, Rapporto rifiuti 2006 (<http://www.osservatorionazionale rifiuti.it>), 2006.
- [2] M. Grosso, L. Rigamonti, *Inquinamento*, 2006, 86, 58.
- [3] M. Centemero, W. Zanardi, "Il trattamento biologico dei rifiuti urbani in Italia: compostaggio, trattamento meccanico-biologico, digestione anaerobica", in *Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati*, corso di aggiornamento del Politecnico di Milano, 2007.
- [4] F. Tonelli, M. Gariboldi, "La termovalorizzazione della frazione secca derivante dai rifiuti (aspetti impiantistici, tecnologici ed economici)". In: "Ecomondo 22/25 ottobre 2003, Rimini, atti dei seminari: La valorizzazione termica dei rifiuti: pirolisi, incenerimento, gassificazione"; 2003, 136.
- [5] S. Consonni, "Tecniche correnti e avanzate per il recupero di energia". In "La termodistruzione del rifiuto urbano: recupero energetico ed emissioni", 18° Salone internazionale Servizi Pubblici e Antinquinamento, Padova, Marzo 2000.
- [6] Commissione Europea, "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration", 2006, disponibile in <http://eippcb.jrc.es>