

**ENEA**

Ente per le Nuove tecnologie,  
l'Energia e l'Ambiente

## **DOSSIER**

# **ENEA E LE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI**

Workshop

**ENEA E LE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI**

18 giugno 2008

Roma

*Ambiente  
Energia  
Innovazione*



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

# **DOSSIER**

## **ENEA E LE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI**

Workshop

**ENEA E LE TECNOLOGIE  
PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI**

18 giugno 2008  
Roma

**A cura di:**  
**Ermanno Barni e Maurizio Coronidi**

**Autori:**  
**Giacinto Cornacchia, Pasquale De Stefanis, Sergio Galvagno, Pier Giorgio Landolfo,  
Domenico Matera, Sabrina Portofino**

## INDICE

<b>TECNOLOGIA E GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI</b>	<b>5</b>
<b>SVILUPPO TECNOLOGICO IN ITALIA SULLA TEMATICA RIFIUTI</b>	<b>7</b>
<b>LE TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO E LE LORO PRINCIPALI LINEE DI SVILUPPO</b>	<b>9</b>
<b>L'IMPEGNO ENEA NEL SETTORE: LINEE DI ATTIVITÀ E FACILITIES SPERIMENTALI</b>	<b>17</b>
<b>IL PROGETTO ENEA "TECNOLOGIE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI"</b>	<b>25</b>
<b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b>	<b>29</b>



## TECNOLOGIA E GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI

La gestione dei rifiuti riveste un ruolo significativo nella definizione di una strategia ambientale sostenibile. I modelli di gestione integrata dei rifiuti si pongono come obiettivo non solo la prevenzione e la riduzione dell'impatto ambientale connesso al ciclo di gestione, ma anche il miglioramento complessivo del sistema "uomo-ambiente" ed un uso più sostenibile delle risorse. La riduzione della produzione dei rifiuti e della loro pericolosità costituisce un elemento fondamentale della politica integrata dei prodotti, ma urgono in ogni caso azioni che incoraggino il riciclaggio e il recupero dei rifiuti.

La gestione dei rifiuti, al pari di altre grandi tematiche legate allo sviluppo sostenibile, si è infatti venuta configurando, essenzialmente a valle dalla Conferenza di Rio del '92, come un problema di dimensioni planetarie che i singoli Paesi sono chiamati ad affrontare, a partire da una corretta gestione a livello territoriale locale, nel quadro delle proprie specificità economiche, strutturali, sociali ed ambientali.

È da queste considerazioni che l'Unione Europea ha sviluppato, nell'ambito del Sesto Programma comunitario d'Azione in materia di Ambiente, la linea di azione inerente all'uso sostenibile delle risorse naturali e alla gestione dei rifiuti. L'obiettivo generale di tale linea d'azione è di evitare che il consumo delle risorse, rinnovabili e no, travalichi la capacità di carico dell'ambiente, e di ottenere il disaccoppiamento dell'uso delle risorse dalla crescita economica mediante un significativo miglioramento dell'efficienza di utilizzo delle risorse stesse.

La Strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti, una delle sette strategie tematiche previste dal Sesto Programma d'Azione, stabilisce gli orientamenti dell'azione dell'Unione Europea e descrive le misure prioritarie per migliorare la gestione dei rifiuti. La Strategia tematica è volta alla riduzione degli impatti ambientali negativi generati dai rifiuti, dalla produzione fino allo smaltimento, passando per il riciclaggio. Tale approccio considera i rifiuti non solo come una fonte d'inquinamento da ridurre ma anche come una potenziale risorsa da sfruttare.



Figura 1 – Gerarchia di gestione dei rifiuti

In ambito Europeo le "linee guida" per una gestione sostenibile dei rifiuti, tracciate dalle direttive-quadro 75/442/CEE, 91/156/CEE e, da ultimo, 2006/12/CE, sono tese ad assicurare un elevato livello di protezione dell'ambiente attraverso l'adozione di una gerarchia di azioni che assegna massima priorità alla prevenzione e si pone come finalità l'attuazione di una strategia di gestione volta ad incoraggiare il riciclaggio dei rifiuti come materie prime secondarie e come fonti di energia.

A livello di UE e, in generale, di Paesi industrializzati ad elevato PIL pro capite, ciò si traduce in un impegno su due fronti tra loro connessi:

- ✓ da un lato, quello della riduzione della quantità e pericolosità dei rifiuti prodotti, che implica di fatto - sul lungo periodo - una profonda revisione degli stessi modelli di produzione-consumo;
- ✓ dall'altro, quello dell'adeguamento dei sistemi territoriali di gestione dei rifiuti comunque prodotti, comportante l'introduzione di cicli tecnologici integrati mirati - con riguardo sia ai rifiuti urbani che agli speciali - alla massimizzazione del riciclaggio e del recupero di materiali ed energia nonché alla minimizzazione del ricorso alla discarica come forma di smaltimento.

A livello nazionale, i principi e gli orientamenti indicati dalla legislazione europea sui rifiuti sono stati recepiti dal Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, noto anche come "Decreto Ronchi", che ha introdotto in Italia la strategia di gestione integrata dei rifiuti, sostanzialmente confermata dal recente Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il cosiddetto "Codice dell'ambiente".

Senza entrare nell'analisi delle motivazioni per cui, a distanza di oltre dieci anni dall'entrata in vigore del "Decreto Ronchi", sperimentiamo ancora un'Italia sostanzialmente a due velocità (nella quale, accanto ad esperienze largamente consolidate di gestione integrata dei rifiuti, si riscontrano ancora situazioni di dichiarata emergenza), rimane tuttavia chiaro il principio per cui attuare modelli di gestione integrata dei rifiuti significa soprattutto cogliere le opportunità di recupero delle risorse, in termini di materiali e di energia, in essi contenute. In tale ottica il riciclaggio e la valorizzazione energetica dei rifiuti sono da considerarsi tuttora come tematiche prioritarie, che richiedono non solo scelte politico-amministrative, ma anche soluzioni tecnico-economiche sostenibili e non differibili, per consentire una effettiva chiusura del ciclo integrato dei rifiuti.

Tanto la prevenzione che la corretta gestione dei rifiuti prodotti si configurano come problematiche eminentemente sistemiche, coinvolgenti cioè prioritariamente aspetti di politica economica, industriale, ambientale accanto a quelli prettamente amministrativi e socio-culturali. *Va tuttavia evidenziato come la tecnologia costituisca comunque un elemento centrale e spesso dirimente nell'approccio e nella risoluzione dei problemi intrinseci della tematica.* In particolare, se è vero che, con riferimento a vaste aree del nostro Paese, il problema prioritario appare rappresentato dai ritardi nell'adeguamento tecnologico dei sistemi di gestione, in prospettiva l'ulteriore sviluppo tecnologico si configura come fondamentale rispetto al raggiungimento degli avanzati obiettivi necessari ad una risposta realmente adeguata sul piano della sostenibilità.

## SVILUPPO TECNOLOGICO IN ITALIA SULLA TEMATICA RIFIUTI

Come per altre grandi tematiche ambientali, la complessità delle problematiche connesse alla gestione dei rifiuti si traduce nell'estrema differenziazione delle tecnologie in campo.

Per semplicità, le potenzialità espresse dal sistema Paese possono essere distinte in due macrocategorie:

- tecnologie finalizzate al miglioramento del controllo complessivo del sistema e della *governance* ambientale del territorio;
- tecnologie finalizzate al miglioramento dell'efficienza economico-ambientale dei cicli di gestione di rifiuti sia urbani che speciali.

Sono ascrivibili alla prima categoria le tecnologie (prevalentemente di tipo metodologico) connesse all'analisi dei flussi (es. LCA, GIS), di monitoraggio delle matrici ambientali, di supporto alla pianificazione territoriale (es. localizzazione di impianti) o, ancora, di individuazione/caratterizzazione di siti abusivi di smaltimento.

Si tratta in genere di sviluppi e di applicazioni di metodi, tecniche e tecnologie utilizzate in origine in ambiti tra loro significativamente differenti e mutate da strutture di ricerca o da settori produttivi non direttamente impegnati nella problematica rifiuti.

La ricchezza e la frammentarietà proprie di questa categoria non ne permettono una trattazione organica in questo contesto. Va peraltro evidenziato come su tale terreno il sistema Paese non presenti particolari specificità rispetto all'ambito europeo, anche in riferimento al posizionamento ed alle attività di un Ente di ricerca come l'ENEA, presente su gran parte delle tematiche sopra ricordate.

Sicuramente più significativa e vicina alle problematiche attuali appare la seconda macrocategoria, che è utile articolare ulteriormente in:

- tecnologie finalizzate al miglioramento della gestione dei sistemi di raccolta;
- tecnologie di recupero/riciclaggio, comprensive di quelle relative alla minimizzazione dei rifiuti prodotti dall'industria manifatturiera;
- tecnologie (ed impiantistica) di trattamento/smaltimento di rifiuti urbani e speciali, comprensive di quelle connesse ai sistemi di controllo/monitoraggio degli impianti.

Le tecnologie finalizzate al miglioramento della gestione dei sistemi di raccolta, anche a causa del generalmente scarso contenuto tecnico-scientifico, non sono di norma oggetto di attenzione da parte della ricerca.

In generale, l'attenzione maggiore dell'industria è rivolta alle tecnologie finalizzate al recupero/riciclaggio ed alla riduzione dei rifiuti nei processi produttivi, sollecitata e favorita in ciò da esigenze tecnico-economiche di settore e dalla approfondita conoscenza dei cicli di produzione. Va peraltro considerato che tale tipologia può essere - forse più correttamente - ricompresa nella dizione di "tecnologie pulite".

Per contro le istituzioni scientifiche tendono a privilegiare, almeno a livello programmatico, la R&S sulle tecnologie di trattamento dei rifiuti, rispondenti ad esigenze specifiche di gestione territoriale dei flussi. In realtà, l'attenzione alle problematiche relative alla gestione dei rifiuti è relativamente recente e in prima istanza i metodi e le tecnologie studiate e applicate risultano mutate da altri settori di intervento: un esempio su tutti è rappresentato dalle tecnologie di termoconversione del carbone, che sono state prima implementate, per esigenze energetiche, per la gassificazione delle biomasse e quindi applicate al trattamento dei rifiuti.

Il presente documento focalizza la propria analisi su quest'ultimo tipo di tecnologie, in particolare su quelle connesse ai trattamenti finalizzati al recupero/riciclaggio dei prodotti a fine vita: tali operazioni sono "interne" ai sistemi territoriali di gestione, a differenza della

precedente tipologia analizzata, che si riferisce ai processi di riciclaggio propri del sistema produttivo.

Con riferimento alle tecnologie di trattamento, si può affermare in generale che tanto a livello di istituzioni scientifiche che di industria, l'impegno italiano appare complessivamente modesto rispetto ad altri paesi dell'UE, soprattutto a causa della ridotta presenza dell'industria nazionale nel settore dell'impiantistica dedicata. Si ritiene che tale assenza sia principalmente riconducibile all'insufficiente sviluppo di un mercato nazionale per gli impianti di trattamento, soprattutto complessi, rappresentati tipicamente dagli inceneritori, ma anche dagli impianti di compostaggio e, paradossalmente, dagli stessi impianti di discarica. Probabilmente una delle motivazioni principali di questo mancato sviluppo è da ricercarsi nell'elevato impatto degli impianti di trattamento e nella conseguente scarsa accettabilità da parte dell'opinione pubblica. In generale quello che si avverte è lo scollamento tra il modo della ricerca, impegnato nello sviluppo di tecnologie di gestione in linea con i principi di sviluppo sostenibile e di compatibilità ambientale, ed il mondo imprenditoriale, scoraggiato ad investire nell'implementazione industriale delle soluzioni proposte a causa di un numero troppo elevato di fattori contingenti (l'opinione pubblica e la conformazione del territorio, fra tutti).

Coerentemente con la sua natura di ente tecnologico multidisciplinare, l'ENEA è impegnato sulla tematica rifiuti a diversi livelli: sul complesso delle tecnologie connesse al controllo complessivo del sistema ed alle problematiche di recupero/riciclaggio dei rifiuti, attraverso il coinvolgimento delle varie strutture di competenza, e su problematiche sia di sistema che di ricerca e sviluppo, con particolare riguardo ai trattamenti *end of pipe*, con una struttura tecnica specifica.

Il panorama della ricerca in Italia si basa essenzialmente su un sistema pubblico, rappresentato da Enti di ricerca ed Università. Accanto all'ENEA, si occupano di rifiuti essenzialmente solo CNR ed ISS, enti che possono vantare elevate competenze professionali in settori specifici o di nicchia, con attività non propriamente strutturate a livello tecnico e programmatico.

Più complessa è la questione relativa alle Università, dove la numerosità dei gruppi di ricerca e le sollecitazioni rispetto ad una tematica di attualità, quale quella dei rifiuti, pongono le condizioni per un impegno diffuso e assai articolato. Va tuttavia sottolineato che sul terreno della sperimentazione su impianti pilota o dimostrativi le attività sono assai limitate e sono svolte prevalentemente attraverso la partecipazione o la consulenza di singoli ricercatori a programmi di soggetti terzi.

In quest'ambito, l'ENEA vanta un ruolo di eccellenza, grazie alla sua significativa capacità di condurre, attraverso le proprie *facilities* sperimentali, attività di ricerca applicata su scala significativa (pilota o superiore).

## LE TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO E LE LORO PRINCIPALI LINEE DI SVILUPPO

Gli sviluppi della normativa sui rifiuti, a partire dal "Decreto Ronchi" del 1997, impegnano le amministrazioni locali competenti (Regioni in primis, nonché le Province laddove delegate), all'adeguamento dei sistemi territoriali di gestione dei rifiuti, al fine di renderli coerenti con i principi generali e gli obiettivi specifici previsti dalla normativa stessa.

Tale adeguamento riguarda da un lato gli aspetti amministrativi, organizzativi e gestionali in senso stretto e, dall'altro, gli aspetti tecnologici legati ai cicli nonché agli impianti di trattamento, recupero e smaltimento.

Per quanto riguarda questi ultimi, la maturità delle tecnologie attualmente disponibili ed applicabili a costi sostenibili è tale da non comportare problemi di congruenza con i principi e gli obiettivi di cui sopra, anche rispetto ai severi limiti imposti in tema di emissioni e, più in generale, di tutela ambientale.

Con riferimento ai rifiuti urbani (RU), a livello impiantistico, le principali tecnologie in gioco riguardano:

- trattamenti di tipo meccanico-biologico, quali compostaggio, bio-stabilizzazione, bio-essiccazione, digestione anaerobica, produzione CDR (combustibile derivato da rifiuti);
- trattamenti termici, quali combustione, gassificazione, pirolisi, sistemi ad arco-plasma, processi combinati.

I trattamenti di tipo meccanico-biologico (TMB) sono finalizzati a stabilizzare la frazione putrescibile dei rifiuti urbani residui (RUR) mediante l'azione di microrganismi decompositori (con conseguente produzione di anidride carbonica ed acqua e riduzione in massa e volume) e possono essere condotti sia in condizioni aerobiche (in presenza di ossigeno), sia in condizioni anaerobiche (assenza di ossigeno).

Nel caso di condizioni aerobiche i TMB possono essere classificati, a seconda della finalità e delle matrici ai quali vengono applicati come:

- compostaggio di qualità, applicato a flussi di buone caratteristiche qualitative provenienti da raccolta differenziata (RD), indirizzato alla produzione di un materiale valorizzabile in attività agronomiche come ammendante del terreno;
- biostabilizzazione, applicata alla frazione putrescibile dei RUR per dare luogo alla cosiddetta frazione organica stabilizzata (FOS), prevalentemente come forma di pretrattamento a monte dello smaltimento in discarica finalizzata alla riduzione degli impatti connessi alla produzione di biogas e percolato, anche se, in particolari condizioni, la FOS può essere oggetto di forme di riutilizzo;
- bioessiccazione, consistente nell'asportazione relativamente veloce (7-15 giorni) di gran parte dell'umidità originariamente presente, sfruttando il calore sviluppato dai processi biologici, in modo da aumentare il potere calorifico inferiore (PCI) dei RUR, in previsione di successivi utilizzi energetici.

In alternativa può essere impiegato per la frazione putrescibile dei rifiuti il processo di digestione anaerobica, del tutto simile a quello che avviene in una discarica controllata all'interno degli ammassi di rifiuti coperti e compattati, in questo caso condotto all'interno di recipienti chiusi ("digestori"), in condizioni controllate che consentono di recuperare più efficacemente il biogas prodotto. A seconda della qualità del materiale di partenza, il materiale solido palabile che residua dalla digestione ("digestato") può essere oggetto o meno di riutilizzo tramite una successiva fase di trattamento aerobico del tutto simile a quelle precedentemente esposte.

Alla categoria dei TMB appartiene anche la tecnica della produzione del CDR, consistente nel sottoporre i RUR a pretrattamenti (riduzione pezzatura, selezione), cui segue una fase di raffinazione per ottenere una frazione combustibile utilizzabile sia in impianti di recupero energetico da rifiuti, sia in impianti industriali esistenti, tipicamente costituiti dai cementifici e dalle centrali termoelettriche. La produzione di CDR avviene di norma a partire dalla "frazione

secca", ottenuta dalla separazione (tramite vagliatura) dalla "frazione umida" ("trattamento a due flussi") che in tal caso è sottoposta a biostabilizzazione, andando a costituire la FOS.

Attualmente sta prendendo piede una soluzione alternativa, che prevede un trattamento biologico di bioessiccazione sull'intera massa ("trattamento a flusso unico") dei RUR che può portare, tramite successiva raffinazione, alla produzione di quantitativi maggiori di CDR, nel quale rimane inglobata anche la frazione a più alto contenuto di materiale organico (rinnovabile).

I trattamenti termici, finalizzati al recupero di energia, si basano principalmente su processi di combustione che utilizzano apparecchiature ("forni") di diversa tipologia per il trattamento di RUR, della "frazione secca" che da essi deriva o del CDR. I forni di più larga diffusione sono quelli a griglia (caratterizzati da notevole flessibilità d'esercizio e buon grado di affidabilità, consentendo di trattare un'ampia gamma di rifiuti che vanno dai RUR sino al CDR. Trovano anche applicazione i forni a letto fluido, il cui campo di impiego è limitato a specifiche tipologie di rifiuti ("frazione secca", CDR, rifiuti speciali di origine industriale, ecc.). La normativa vigente e la convenienza economica suggeriscono l'adozione di sistemi avanzati di recupero energetico (da cui i neologismi "termovalorizzazione" e "termoutilizzazione") attraverso la produzione di energia termica e/o elettrica, anche in combinazione.

Le tecniche appena esaminate hanno tutte raggiunto la maturità commerciale e vengono correntemente applicate nella realtà nazionale con differenti modalità e gradi di sviluppo.

Per quanto concerne i rifiuti speciali - la cui gestione sul territorio è anch'essa materia di pianificazione regionale, anche se con modalità affatto diverse dagli urbani, dove in capo alla pubblica amministrazione vanno anche le responsabilità tipiche del "produttore" - valgono considerazioni analoghe rispetto alla maturità delle tecnologie (trattamenti chimico-fisici finalizzati al recupero o alla stabilizzazione/inertizzazione, termodistruzione, discarica) ed alla loro sostanziale rispondenza alle esigenze esplicitate dalla normativa.

Le tecnologie attualmente disponibili si configurano peraltro sufficientemente flessibili da consentire significative integrazioni a livello di sistema tra le due macrocategorie di rifiuti.

In tale contesto si può affermare che in generale - con qualche eccezione per quel che riguarda il recupero di materiali - l'adeguamento tecnologico dei sistemi territoriali di gestione è prevalentemente un problema amministrativo-gestionale oltre che, evidentemente, economico.

Tuttavia, le crescenti esigenze di tutela ambientale da un lato, la necessità di ottimizzazioni economico-gestionali dall'altro e, infine, le problematiche connesse all'accettabilità sociale, alimentano la necessità di ulteriori sviluppi tecnologici a medio termine.

Su un piano strettamente logico, gli sforzi della R&S nel settore dovrebbero concentrarsi sullo sviluppo del riciclaggio (riciclaggio e recupero di materia) dei rifiuti speciali e delle frazioni dei rifiuti urbani raccolte in modo differenziato, sia a causa della maggiore valenza quantitativa (circa 100 Mt/a di speciali contro 32 Mt/a dei RU, la metà dei quali, in prospettiva, da destinare al riciclaggio) che qualitativa (rifiuti speciali pericolosi).

Occorre tuttavia tenere presente che la tematica del riciclaggio, a causa della estrema varietà delle tipologie di rifiuti e dei processi produttivi in cui esso deve andare a realizzarsi, comporta approcci ed interventi di fatto frammentari, che vedono come protagonisti principali singole aziende sia come sviluppatrici/proponenti di tecnologie che come utilizzatrici dei materiali recuperati da riciclare. L'industria italiana è tutt'altro che inattiva su questo terreno, anche se carente sul piano degli approcci organici a livello di associazioni di categoria e di investimenti conseguentemente significativi.

L'attenzione e l'interesse del settore pubblico, a livello di ministeri e di enti locali, sia per le implicazioni politico-amministrative che mediatiche, risultano tuttavia concentrati sullo sviluppo di nuove tecnologie per la gestione dei RU, con particolare riguardo a quelle che si configurano come potenzialmente alternative alla termovalorizzazione del rifiuto indifferenziato e/o del CDR.

Le tecnologie sviluppate a livello dimostrativo o sperimentale sono sostanzialmente riconducibili a:

- gassificazione
- pirolisi
- torcia plasma

sovente in combinazione tra loro.

A differenza dell'incenerimento, basato sulla combustione diretta e l'utilizzo del calore sensibile dei fumi per produrre vapore e da questo energia elettrica (gli usi diretti sono meno diffusi, anche a causa dei meccanismi di incentivazione), tali tecnologie essenzialmente comportano la produzione di un gas (o di gas e di una frazione liquida) combustibile che può venire a sua volta bruciato in loco per produrre energia oppure essere utilizzato come materia prima per la produzione di combustibili potenzialmente commerciabili (idrogeno compreso) oppure di materie prime ("chemicals") per l'industria chimica.

Se definiamo R il rapporto tra la quantità effettiva di agente ossidante (aria e/o ossigeno) e quella teorica ("stechiometrica"), i principali processi termici possono essere schematicamente rappresentati in figura 2.

La gassificazione è un processo di trattamento termico, in cui un combustibile solido viene trasformato in un combustibile gassoso in condizioni di parziale ossidazione in atmosfera reagente controllata, adoperando come agente gassificante aria, anidride carbonica, vapore o un altro gas reattivo. I principali componenti del flusso gassoso sono idrogeno, monossido di carbonio, biossido di carbonio e metano, in composizione variabile a seconda delle condizioni di processo. In particolare, la presenza del vapore ha l'effetto di promuovere fortemente la formazione di un gas ricco di idrogeno.

Il gas derivato prodotto presenta un contenuto energetico (PCI) piuttosto ridotto, in funzione delle caratteristiche del materiale trattato e delle condizioni operative, e può essere impiegato come combustibile in un generatore di vapore, anche se il suo impiego ottimale dovrebbe essere in apparecchiature ad alta efficienza, quali i motori a combustione interna o le turbine a gas.

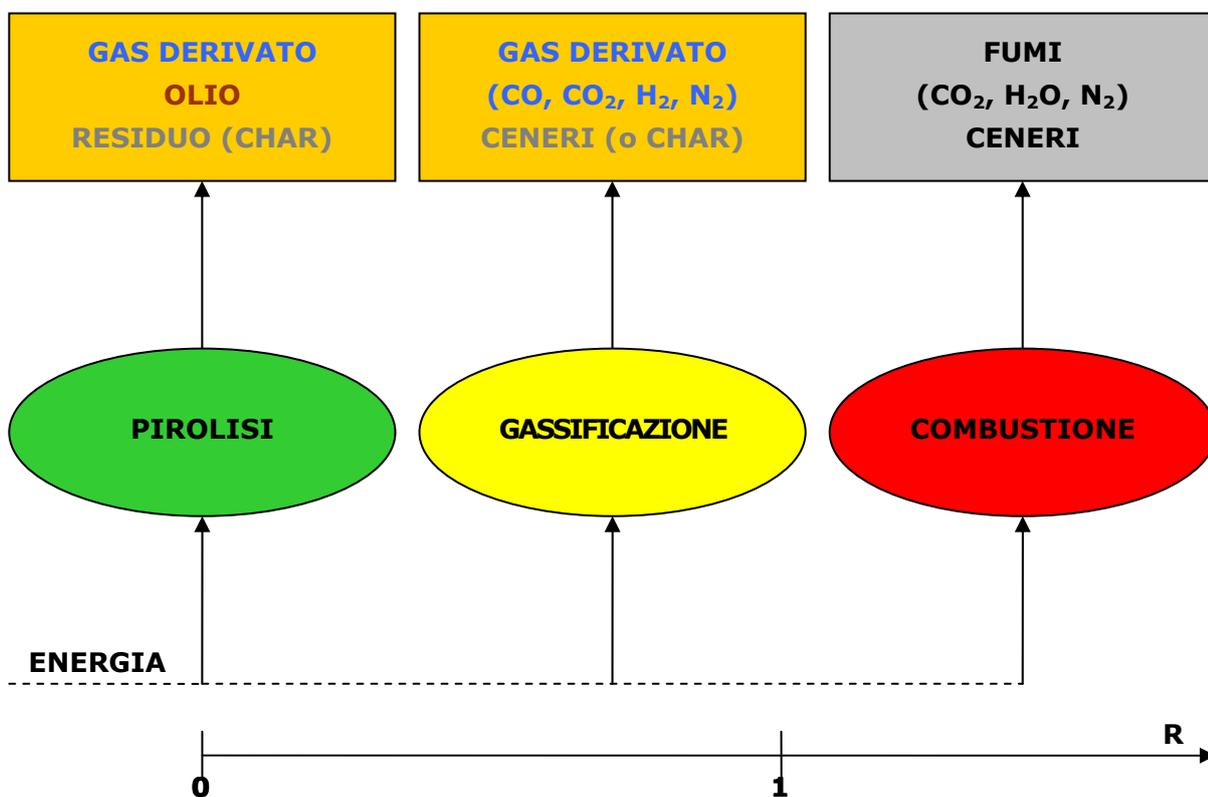


Figura 2 - Rappresentazione schematica dei processi di trattamenti termico

Il processo di pirolisi consiste invece nella degradazione termica di un materiale, in assenza di aria, tramite l'azione di energia fornita dall'esterno, di norma attraverso la combustione di parte dei prodotti ottenuti. L'azione del calore comporta la rottura delle molecole complesse con produzione di un gas, di una frazione liquida a temperatura ambiente (olio) e di un residuo solido ancora combustibile (char), le cui caratteristiche e relative quantità dipendono, oltre che dal tipo di materiale trattato, dalle condizioni operative alle quali viene condotto il processo.

Al termine gassificazione può essere attribuito un significato piuttosto ampio, comprendente, in senso lato, qualsiasi trattamento termico innovativo di materiali solidi di scarto, finalizzato alla produzione di un gas derivato ("syngas") da impiegare principalmente come combustibile per la produzione di energia. In tale accezione, essa include anche la pirolisi o i trattamenti che si basano sulla combinazione di due o più processi di trattamento termico (vedi figura 3), nonché i trattamenti basati sull'utilizzo di tecnologie al plasma.

L'interesse nei confronti di queste tecniche innovative di trattamento termico è determinato essenzialmente dalle potenzialità che esse offrono in termini di incremento del rendimento di recupero del contenuto energetico dei rifiuti, di riduzione delle portate di effluenti gassosi da sottoporre a trattamenti depurativi, di miglioramento delle caratteristiche d'inertizzazione dei residui solidi, nonché della possibilità di conseguire la convenienza economica per taglie di impianto più ridotte con conseguente migliore integrazione con la specifica realtà locale e con lo sviluppo della piccola-media impresa (PMI).

A questi potenziali vantaggi fanno riscontro alcuni aspetti, principalmente di carattere tecnico-economico, che ne hanno frenato, ad oggi, la loro applicazione su vasta scala, quali i problemi di natura tecnica tuttora irrisolti (scale-up degli impianti alla scala industriale, tecniche e sistemi di pretrattamento ed alimentazione dei rifiuti, di depurazione spinta del syngas grezzo, di conversione dello stesso in energia elettrica tramite soluzioni impiantistiche ad elevata efficienza), le incertezze di tipo economico legate alla definizione dei costi di trattamento (a causa della limitata esperienza acquisita nell'esercizio di impianti industriali), la necessità di mettere in atto ulteriori programmi di R&S e dimostrazione.

In tema di trattamenti termici innovativi, si assiste periodicamente alla proposizione di tecnologie (per lo più messe a punto in realtà estere, anche extraeuropee) molto spesso caratterizzate da nomi altisonanti ma che, sotto l'aspetto tecnico, sono sempre riconducibili a rivisitazioni di processi di pirolisi, gassificazione (anche in combinazione fra di loro) ovvero di combustione, magari con utilizzo di aria arricchita di ossigeno o ossigeno puro.

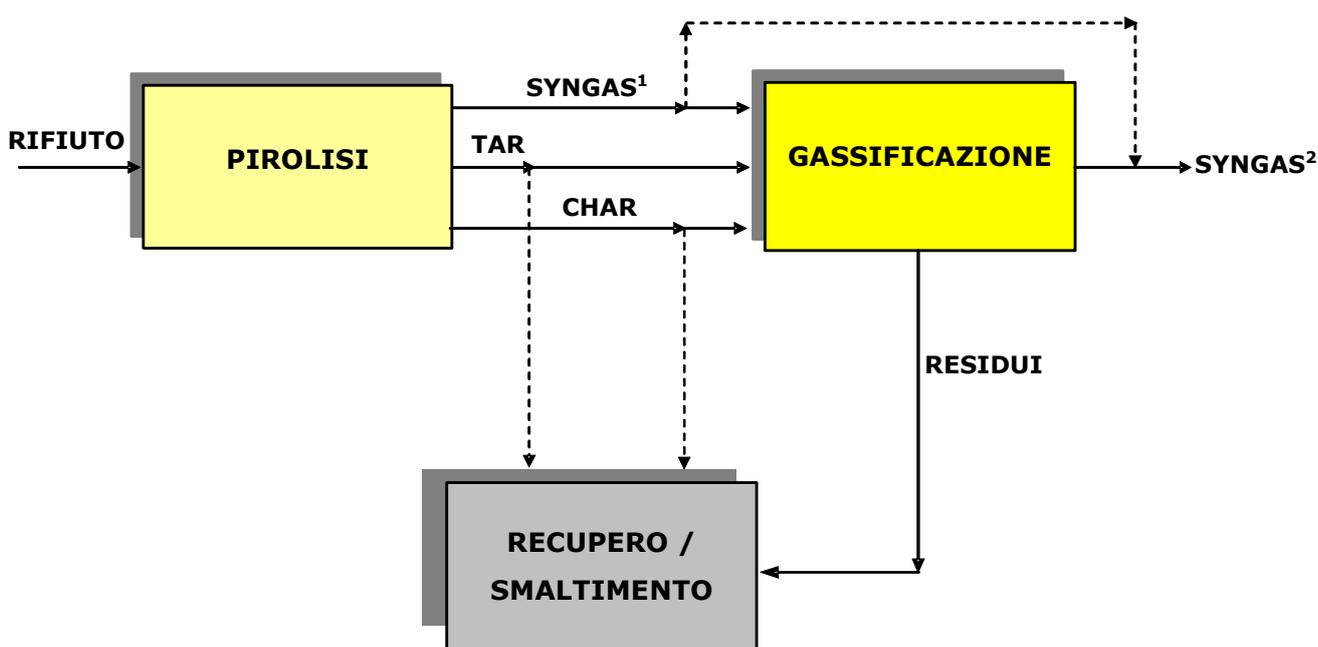


Figura 3 – Processi combinati di pirolisi/gassificazione

Sfruttando la percezione negativa dell'opinione pubblica nei confronti della termovalorizzazione diretta dei rifiuti (che si può ritenere frutto di disinformazione o di cattiva informazione molto spesso "gridata", più sui media che in ambito tecnico-scientifico, per motivi ideologici o meri interessi economici) vengono anche proposte come alternativa tecnologie che risultano, di norma, ancora ad uno stadio sperimentale e che poco o nulla hanno a che fare con il recupero energetico, ma che si configurano più come tecniche di pretrattamento dei rifiuti, da destinare successivamente a recupero energetico ovvero allo smaltimento in discarica.

Il numero di tali tecnologie, se si considerano anche quelle che si propongono sostanzialmente nei progetti, è piuttosto elevato, dell'ordine delle decine. Se si ragiona tuttavia in termini di maturità commerciale ed impianti, la situazione si presenta assai diversa.

La gassificazione costituisce al momento l'unica tecnologia che si configura come competitiva all'incenerimento per la valorizzazione energetica del rifiuto urbano indifferenziato e del CDR. I gassificatori sono poco diffusi in Europa, (vedi figura 4) dove le esperienze connesse ad impianti commerciali hanno fornito risultati deludenti (es. Greve in Chianti in Italia, Thermosteact e Siemens in Germania), ma abbastanza affermati in Giappone dove sono presenti - in posizione minoritaria - accanto agli inceneritori (vedi tabella 1).

Il realizzando impianto di Roma (Malagrotta), ad esempio, è un gassificatore basato su tecnologia derivata da quella Thermosteact ma priva del primo stadio di pirolisi, fatto reso possibile dall'alimentazione di CDR anziché di RUR non trattati.

Va evidenziato che i gassificatori "maturi" si configurano sostanzialmente come inceneritori a due stadi: il gas prodotto dal processo viene bruciato in loco per produrre energia elettrica. Ci sono, come negli inceneritori, emissioni al camino entro i limiti imposti dalla legge, scorie ed altri rifiuti solidi o liquidi derivanti dai sistemi di abbattimento fumi. I vantaggi, sui quali peraltro le evidenze scientifiche sono carenti, rientrano essenzialmente nella categoria dei miglioramenti tecnico-economici di tipo ingegneristico.

Non esistono per contro esperienze commerciali significative di impianti di valorizzazione energetica di rifiuti urbani indifferenziati basati sulla pirolisi o sulla torcia al plasma.

*Tabella 1 - Tecnologie di gassificazione consolidate nel settore dei rifiuti urbani e assimilati*

<b>Taglia</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Processo</b>	<b>Rifiuti trattati</b>
Grande	Foster Wheeler (FL/USA)	Letto fluido	Biomasse/RDF
Media	Hitachi Zosen (J)	Letto fluido	RU
	JFE (J)	Gassif. Alta T	RU
	Mitsui (J)	Pirolisi+combustione	RU
Medio-piccola	Ebara (J)	Letto fluido	RU
	Energos (N)	Griglia	RU
	Entech (Aus)	Griglia	RDF
	Kawasaki Giken (J)	Gassif. Alta T	RU
	Nippon Steel (J)	Gassif. Alta T	RU

Elaborazione ENEA su fonti varie (2007)

Legenda: Taglia: piccola 20-75 kt/a; media 75-250 kt/a; grande > 250 kt/a

Quest'ultima si configura tuttavia come tecnologia industrialmente matura per la termodistruzione di particolari tipologie di rifiuti speciali pericolosi nonché per la vetrificazione di scorie/ceneri da incenerimento. Per la pirolisi, ferma restando la sua attuale immaturità come alternativa all'incenerimento e alla stessa gassificazione del rifiuto urbano indifferenziato, possono considerarsi come oltre lo stato dimostrativo alcune particolari applicazioni finalizzate al recupero/riciclaggio di rifiuti speciali, terreno sul quale è attivo lo stesso ENEA.

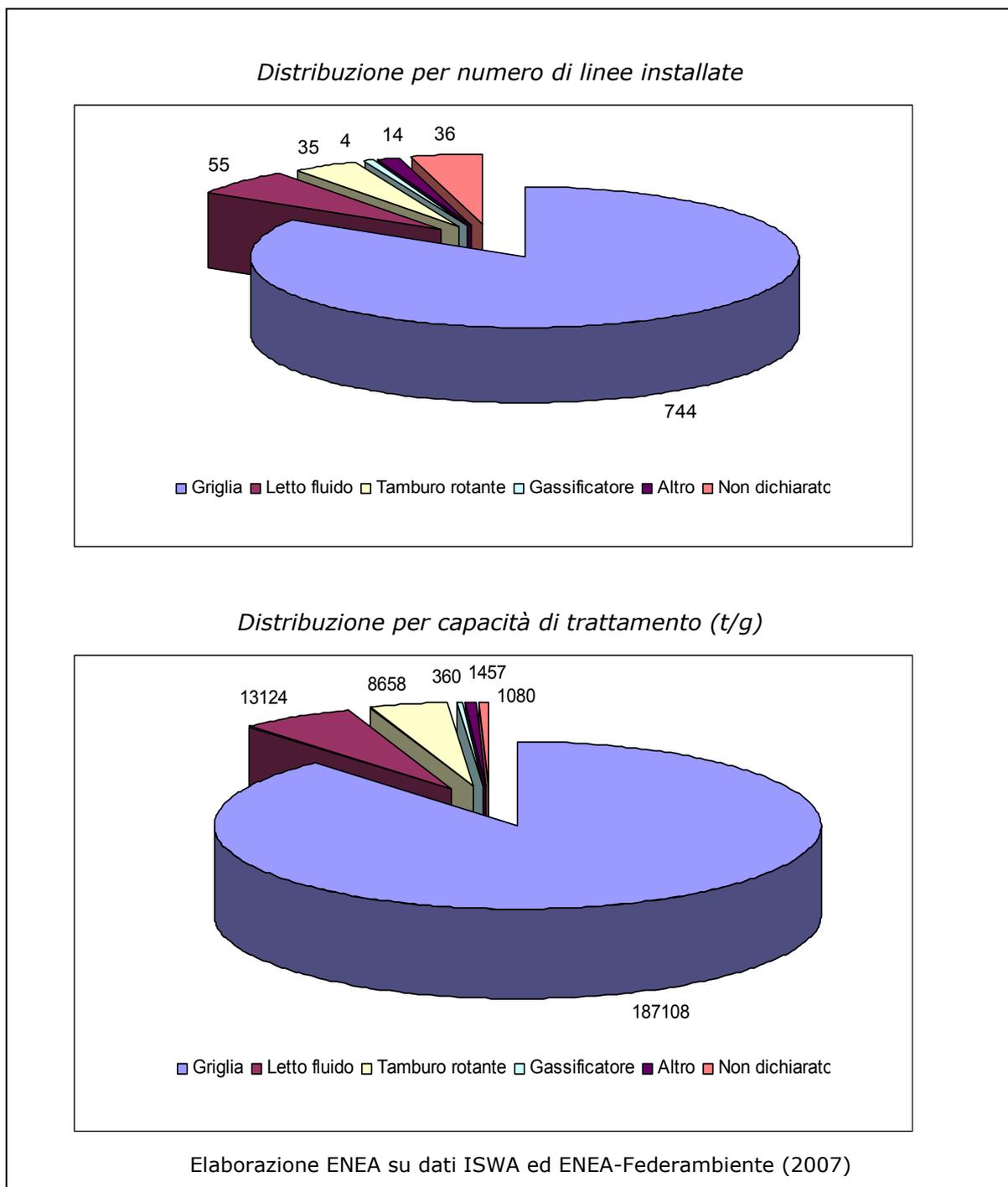


Figura 4 – Tecnologie di trattamento termico di rifiuti urbani e assimilati in Europa (2005)

Buona parte delle tecnologie attualmente proposte in Italia come alternative all'incenerimento con recupero energetico si basano su impianti di piccola taglia sviluppati e ingegnerizzati per trattare biomasse o rifiuti diversi dall'urbano indifferenziato, a volte per esigenze di bonifica. Quasi sempre peraltro il grado di sviluppo impiantistico non comprende le sezioni di purificazione del gas derivato ("syngas") e di recupero energetico dello stesso.

Le tecnologie basate sui processi di gassificazione e pirolisi che hanno dato vita ad impianti significativi sono di seguito elencate a titolo indicativo e non esaustivo:

- tecnologie di gassificazione ad alta temperatura (sviluppate in Giappone e per lo più di derivazione da processi dell'industria metallurgica), cui segue nella maggior parte dei casi una combustione del syngas grezzo prodotto ed un recupero energetico tramite ciclo termico tradizionale con turbina a vapore;
- la tecnologia commercializzata in Italia come "Pyrol B", basata su un processo di pirolisi a tamburo rotante messa a punto negli anni '80 in Germania e della quale sono presenti nello stesso paese un paio di impianti che trattano frazioni secche di rifiuti urbani e di origine commerciale/industriale;
- la tecnologia proposta in Italia come "dissociazione molecolare", messa a punto negli Stati Uniti come trattamento termico (di tipo discontinuo) costituito da un primo stadio di gassificazione a bassa temperatura cui segue un secondo stadio di combustione del syngas grezzo e recupero di energia di tipo termico tradizionale. La "variante" proposta in Italia, che prevede la depurazione del syngas ed il suo successivo utilizzo in apparecchiature ad alta efficienza, necessita ovviamente di un adeguato stadio di sviluppo e sperimentazione per verificarne la sua fattibilità.

Un cenno a parte merita la tecnologia denominata "THOR" messa a punto dal CNR ISMN, in quanto non si tratta di un trattamento termico bensì di una tecnica, allo stadio prototipale, finalizzata alla produzione di un particolare tipo di CDR. Tramite trattamenti convenzionali di tipo TMB, viene dapprima ottenuta una frazione secca che viene successivamente micronizzata per mezzo di un mulino di tipo planetario. In fase di macinazione è possibile inoltre ridurre il contenuto di inquinanti acidi (SO<sub>2</sub>, HCl) tramite l'aggiunta di opportuni reagenti.

Attualmente, in linea con le principali direttive comunitarie in materia di gerarchie di gestione di rifiuti, la ricerca europea si sta orientando verso applicazioni integrate finalizzate principalmente alla valorizzazione dei rifiuti più che alle tecnologie di smaltimento, in un panorama politico economico in cui il depauperamento delle risorse e la crisi energetica si configurano come fattori limitanti dai quali non è possibile prescindere. In tal senso, anche i trattamenti termici possono essere visti come il punto di partenza per lo sviluppo di una "chimica del recupero", finalizzata all'ottenimento di *chemicals* e combustibili di seconda generazione (vedi figura 5).

In questo settore gli sforzi dell'ENEA sono concentrati soprattutto nello sviluppo di tecnologie di trattamento termico basate su processi combinati di pirolisi e gassificazione finalizzate al recupero, oltre che di energia, di materiali (solidi, liquidi e gassosi) ad alto valore aggiunto, con particolare riguardo alla gassificazione con vapore che porta alla produzione di correnti gassose ricche in idrogeno, da utilizzare come combustibile in apparecchiature di conversione energetica ad alta efficienza, ovvero come materia prima per l'industria chimica per l'applicazione di processi di sintesi di tipo "Fischer-Tropsch".

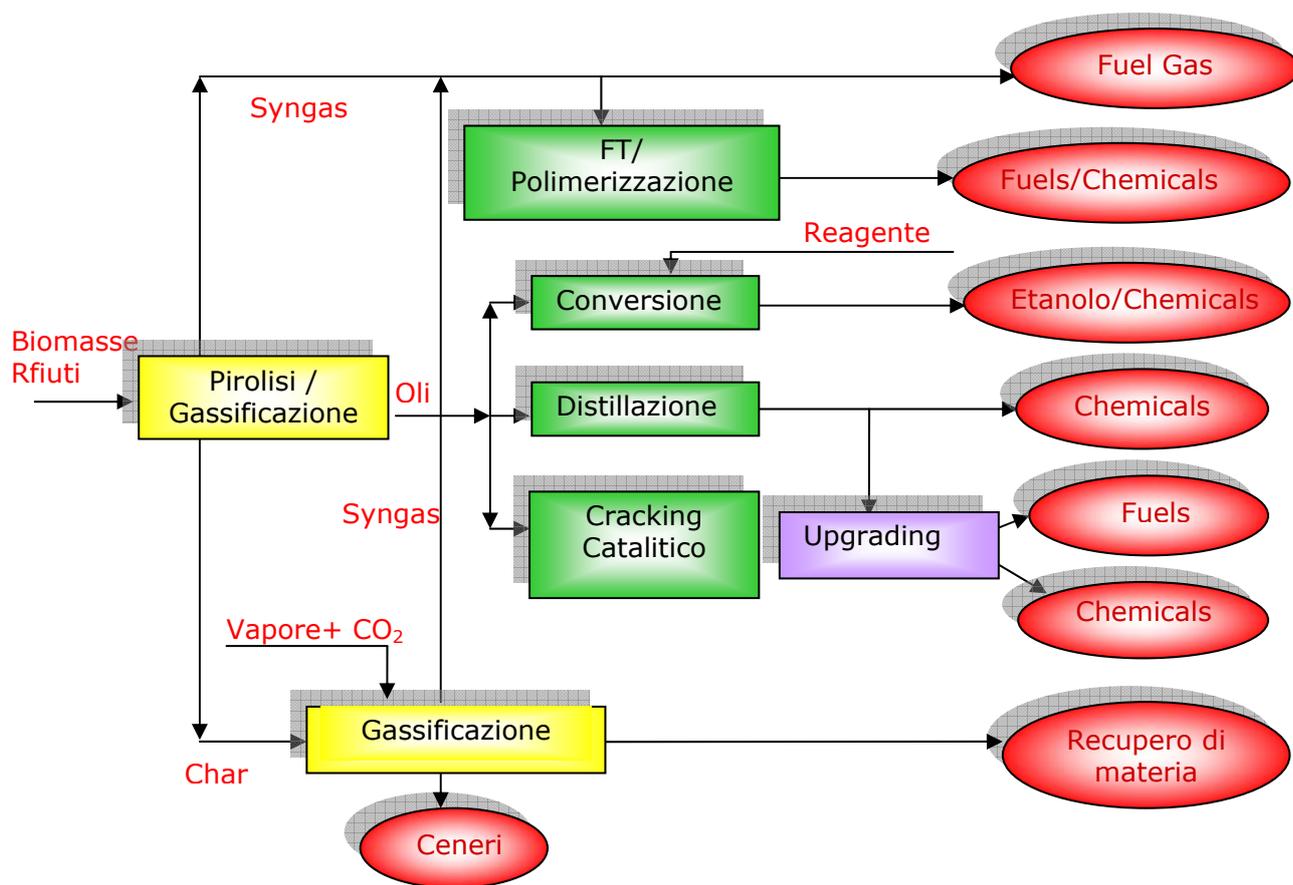


Figura 5 - Trattamenti combinati di "raffinazione" dei rifiuti

## **L'IMPEGNO ENEA NEL SETTORE: LINEE DI ATTIVITÀ E FACILITIES SPERIMENTALI**

Accanto alle considerazioni espresse sullo stato delle tecnologie di trattamento e sulle loro possibilità di sviluppo (nel capitolo precedente), emerge che l'accettazione di impianti industriali di grandi dimensioni non appare scontata da parte della popolazione dove tali impianti andrebbero inseriti, anche perché l'Italia, così come l'Europa, è caratterizzata da una distribuzione di popolazione variabile con la presenza sia di aree metropolitane che di comuni di dimensioni medio/piccoli.

Anche a causa di tale disomogeneità, la produzione di energia distribuita così come i cicli di gestione/smaltimento distribuiti appaiono sempre più un'opzione tecnologica con rilevanti valenze applicative. Inoltre l'uso del vettore idrogeno pone nel breve e medio termine essenzialmente due problemi, relativi sia all'infrastrutturazione (reti, stazioni di rifornimento, ecc.) sia agli attuali sistemi di utilizzo, tutti basati su combustibili a base di carbonio.

Occorre osservare che i rifiuti hanno alcune caratteristiche tipiche delle fonti rinnovabili di energia, e sono distribuiti sul territorio essenzialmente in funzione della popolazione e del grado di industrializzazione. Inoltre l'alto contenuto tecnologico dei prodotti (in termini di materie prime utilizzate ed energia spesa per la produzione) configura lo smaltimento in discarica come uno spreco di risorse e di conseguenza giustifica la volontà di recupero "estremo" dei rifiuti, da utilizzare come materie prime seconde o al limite da riconvertire in petrolio.

D'altro canto il recupero energetico dei rifiuti e la produzione di energia da fonti fossili e rinnovabili devono necessariamente essere considerati in un unico quadro di riferimento, che è rappresentato dal rispetto degli impegni sottoscritti con il Protocollo di Kyoto.

Nell'ambito delle problematiche relative alla gestione e al trattamento dei rifiuti, l'ENEA è stato coinvolto a partire dai primi anni '90 nello sviluppo e nella dimostrazione di tecnologie innovative, in particolare nei Centri di Ricerca di Casaccia e, più recentemente, di Trisaia.

Le competenze si sono sviluppate soprattutto nel settore dei trattamenti termici, mediante la realizzazione e l'esercizio di una serie di laboratori, di impianti pilota e di impianti su scala reale, con l'obiettivo principale di sperimentare processi innovativi per il trattamento di rifiuti finalizzati in particolare al recupero di materia ed energia.

A questi temi di ricerca, si sono inoltre affiancate altre attività relative al trattamento di reflui civili ed industriali, orientate al recupero della risorsa idrica e all'abbattimento del carico inquinante, accanto al più recente sviluppo di processi volti al recupero energetico dalla sostanza organica.

Le attività sperimentali hanno riguardato i principali processi di termovalorizzazione (combustione, pirolisi e gassificazione), oltre che una serie di processi di stabilizzazione dei rifiuti e di trattamento di reflui civili ed industriali. Nel complesso, l'impiantistica attualmente operativa (vedi Tabella 2), finanziata con fondi europei, nazionali (MIUR, MSE, MATTM), regionali (POR) e privati, costituisce una stazione sperimentale per il trattamento di rifiuti e reflui (sita nel Centro di Ricerche ENEA di Trisaia) in grado di presentarsi come un riferimento e un supporto sia per le industrie e gli operatori pubblici e privati del settore, sia per la Pubblica Amministrazione (centrale e periferica), sia per le Università e i Centri di Ricerca.

Tabella 2 – Principali facilities ENEA

LABORATORI	IMPIANTI PILOTA	IMPIANTI DIMOSTRATIVI
Laboratori di analisi per la caratterizzazione chimica, chimico-fisica e termica	Impianto di pirolisi e gassificazione a tamburo rotante	Impianto FOCUS
Laboratorio di caratterizzazione amianto	Impianto di pirolisi a letto fisso	Impianto DEDALO
Laboratorio sviluppo processi su scala banco	Impianto di pirolisi e steam reforming a tamburo rotante	Impianto ICAM
	Impianto di pirolisi e gassificazione a letto fluido	Impianto GOCCIA
	Impianto di digestione anaerobica di rifiuti solidi urbani selezionati	
	Impianto di decomposizione ossidativa di reflui organici	
	Biorettore a membrana	
	Biorettore a membrana in condizioni anaerobiche	

#### **Laboratori di analisi per la caratterizzazione chimica, chimico-fisica e termica**

Il laboratorio viene adoperato per la caratterizzazione dei materiali da sottoporre ai trattamenti, dei prodotti di reazione e delle emissioni gassose, liquide e solide derivanti dai processi.

#### **Laboratorio di caratterizzazione amianto**

È attrezzato per l'analisi qualitativa e quantitativa di amianto come fibre aerodisperse, in campioni in massa e per la messa a punto di processi di stabilizzazione in matrice cementizia di rifiuti contenenti amianto (RCA).

#### **Laboratorio sviluppo processi su scala banco**

È attrezzato con apparecchiature e piccoli impianti per consentire la definizione dei processi di trattamenti di rifiuti per il recupero di materiali ed energia da rifiuti e la valorizzazione dei prodotti di processo in condizioni strettamente controllate.

#### **Impianto di pirolisi e gassificazione a tamburo rotante**

L'impianto, con potenzialità di trattamento di 10 kg/h, è costituito essenzialmente da un tamburo rotante della lunghezza di un metro, nel quale il materiale viene alimentato e trattato in un range di temperature che può arrivare fino a 1000 °C. Di seguito al trattamento termico, il residuo solido viene raccolto in un serbatoio, mentre il flusso gassoso passa nel sistema di abbattimento (costituito da una sezione di raffreddamento, una sezione di filtrazione di polveri e una sezione di lavaggio) prima di essere analizzato e bruciato in torcia. L'impianto per le sue caratteristiche è risultato estremamente versatile ed è stato utilizzato per la realizzazione di una serie di campagne sperimentali, in particolare:

- pirolisi dell'ASR;

- pirolisi di granulato di pneumatico;
- gassificazione di CDR e rifiuti lignocellulosici.

I risultati sperimentali dimostrano che il trattamento termico, effettuato in un range di temperature tra 500 e 800 °C, porta alla produzione di un residuo solido ad alto contenuto di carbonio, che ne consente il successivo utilizzo come carbone attivo o come fonte di carbonio per sintesi di materiali, di una frazione liquida ad elevato potere calorifico, utilizzabile come combustibile, e di una frazione gassosa ricca in idrogeno e metano. Nel caso della gassificazione dello pneumatico, del CDR e dei rifiuti lignocellulosici, l'utilizzo di vapore come agente gassificante ha consentito la produzione di un gas altamente ricco in idrogeno (fino al 60%), a sua volta utilizzabile, dopo l'opportuno cleaning, per l'alimentazione di celle a combustibile.



*Figura 6 - Impianto pilota a tamburo rotante situato nel Centro di Ricerche ENEA-Trisaia*

### **Impianto di pirolisi a letto fisso**

L'impianto "batch" con reattore da 5 m<sup>3</sup> permette il recupero delle fibre di carbonio da sfridi e scarti di lavorazione di materiali compositi e manufatti a fine vita. La temperatura massima del reattore è di 700 °C; il calore necessario al processo è fornito da un bruciatore esterno che funziona anche da combustore per gas di pirolisi. L'impianto è dotato di una sezione di raffreddamento per la condensazione degli oli di pirolisi, di una sezione di lavaggio alcalino per la purificazione del gas prima della combustione nel bruciatore, di una sezione di trattamento fumi che assicura l'abbattimento degli inquinanti prima dello scarico in atmosfera. I gas di processo ed i fumi di combustione sono monitorati on-line. Il processo brevettato permette il recupero delle fibre di carbonio, che conservano ancora il 90% delle caratteristiche meccaniche delle fibre vergini ma il cui recupero avviene a costi inferiori al 20% del costo commerciale.



*Figura 7 - Impianto pilota per la pirolisi a letto fisso nel Centro di Ricerche ENEA-Trisaia*

## **Impianto di pirolisi e steam reforming per la produzione di carboni attivi e gas di sintesi da rifiuti e biomasse**

L'impianto, con potenzialità di trattamento di 30 kg/h, è stato realizzato con un partner industriale (SICAV srl) e presenta come reattore un tamburo rotante, lungo all'incirca 4 metri. È stato progettato per la messa a punto di un processo di termovalorizzazione di biomasse e/o rifiuti, al fine di valutarne la conversione in prodotti solidi dall'elevato valore aggiunto (carboni attivi) e gas di sintesi. A questo scopo, mentre il residuo solido ottenuto dopo il trattamento termico viene raccolto e qualificato per essere commercializzato, il syngas prodotto, una volta purificato nella sezione dedicata al *cleaning* (sezione di condensazione, sezione di filtrazione, sezione di lavaggio alcalino), subisce un trattamento di *steam reforming* per l'arricchimento in idrogeno. L'impianto è inoltre equipaggiato per recuperare il calore dai gas di processo, che viene poi utilizzato per surriscaldare la linea di uscita dei gas (ed evitare la condensazione di tar) e per la produzione del vapore di processo.



*Figura 8 - Impianto pilota SICAV a tamburo rotante situato nel Centro di Ricerche ENEA-Trisaia*

## **Impianto di pirolisi e gassificazione a letto fluido**

L'impianto è stato progettato e realizzato per il trattamento di 10 kg/h di CDR alla pressione massima di 0,5 bar. Si compone di una sezione di misura e preparazione dei gas di fluidizzazione e degli agenti gassificanti, di un reattore di pirolisi/gassificazione a letto fluido, completo di una sezione di condensazione e separazione dei tar, nonché di una sezione catalitica costituita da 3 reattori a letto fisso (di feed purification, di *steam reforming* e di *water gas shift*) implementati con un reattore a letto fluido (secondo reformer). L'impianto è stato realizzato per lo studio dei processi di pirolisi e gassificazione di rifiuti in letto fluido, nonché dei processi catalitici di *steam reforming* e di *water gas shift* per l'arricchimento in idrogeno della corrente gassosa prodotta.



*Figura 9 - Impianto pilota Letto Fluido situato nel Centro di Ricerche ENEA-Trisaia*

### **Impianto di digestione anaerobica di rifiuti solidi urbani selezionati**

L'impianto è attrezzato per il trattamento di residui organici con un contenuto in solidi anche pari al 20% con un reattore di tipo *plug-flow* inclinato e riscaldato di 1,3 m<sup>3</sup>. La tecnologia implementata per il reattore permette un ottimo controllo delle fasi di degradazione anaerobica (idrolisi e acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi), che avvengono in volumi consequenziali, aumentando così il campo di utilizzo della tecnologia ad una maggiore varietà di rifiuti trattabili (industriali, urbani, agricoli ecc.). La capacità di trattamento massima raggiunge i 100 kg/giorno. L'impianto permette inoltre lo sviluppo di processi per il recupero di energia sotto forma di biogas. Le campagne sperimentali, realizzate su scarti mercatali (in miscela con fanghi di depurazione), sulla frazione organica dei rifiuti da raccolta differenziata di RU e su famiglie selezionate di scarti agroindustriali hanno dimostrato che il biogas prodotto può raggiungere un contenuto di metano superiore al 60% (il resto è costituito principalmente da anidride carbonica). Il trattamento del refluo in uscita dalla digestione anaerobica con scarti dell'agroindustria ha permesso la produzione di compost di qualità. Sono state inoltre svolte prove di produzione di idrogeno dal biogas da digestione anaerobica, dopo purificazione da H<sub>2</sub>S, mediante *steam reforming*.

### **Impianto di decomposizione ossidativa di reflui organici**

L'impianto permette lo studio della decomposizione ossidativa di reflui organici adoperando come ossidanti ozono, aria o acqua ossigenata; il processo può essere catalizzato da raggi ultravioletti o da sali disciolti. La tecnologia risulta economicamente conveniente per trattamenti di finitura e per trattamenti di reflui con un basso carico organico. Il processo, effettuato con ozono e combinato con UV e/o altri catalizzatori, è stato utilizzato per il trattamento di reflui industriali, di acque prepotabili, di acque di falda ed acque superficiali, e per la disinfezione di acque reflue urbane per il successivo riutilizzo irriguo.

### **Bioreattore a membrana**

L'impianto implementa un sistema di ultrafiltrazione che utilizza la tecnologia delle membrane immerse a fibra cava Zee-Weed, con membrane di porosità di 0,2 µm. L'impianto permette di effettuare la depurazione di reflui civili/industriali a basso/medio carico inquinante, accoppiando processi di ossidazione biologica di composti organici ed azotati al processo di microfiltrazione. Quest'ultimo processo permette, oltre alla completa rimozione dei solidi sospesi, la completa ritenzione del fango biologico all'interno del reattore. L'acqua depurata in uscita ha caratteristiche tali da far prevedere il suo riutilizzo irriguo.

### **Bioreattore a membrana in condizioni anaerobiche**

L'impianto pilota AMBRA (Anaerobic Membrane Bio-Reactor) è un prototipo sperimentale realizzato per testare un innovativo processo di depurazione di scarichi civili e/o industriali ad alto carico organico, basato sull'accoppiamento fra processi biologici anaerobici a biomassa sospesa e microfiltrazione su membrana con la contemporanea produzione di biogas. Tale configurazione ha il duplice scopo di contribuire all'abbattimento generale del COD, fornendo di fatto una barriera alla frazione particellata, e permettere il mantenimento di una concentrazione anche elevata di biomassa nel reattore.

### **Impianto FOCUS**

Impianto mobile di termodistruzione a tamburo rotante per il trattamento di rifiuti solidi urbani (RSU), speciali e pericolosi e per la bonifica di suoli inquinati, con potenzialità di trattamento di 7,7 MW<sub>t</sub>, pari a 70 t/giorno di RSU. L'impianto FOCUS è installato su nove semirimorchi gommati che permettono un rapido spostamento su strada. La superficie di ingombro dell'impianto FOCUS, comprensiva degli spazi di manovra, è di circa 1500 m<sup>2</sup>.



*Figura 10 - Impianto Focus per il termotrattamento di rifiuti e la bonifica di suoli inquinati*

### **Impianto DEDALO**

Impianto mobile per il trattamento di percolati di discarica di rifiuti solidi urbani con una potenzialità di trattamento pari a 70 m<sup>3</sup>/giorno. L'impianto ha una potenza elettrica installata pari a 180 kW. La centrale termica può utilizzare come combustibile sia biogas prodotto dalla discarica stessa sia olio combustibile. La superficie di ingombro dell'impianto DEDALO, comprensiva degli spazi di manovra, è di circa 1.000 m<sup>2</sup>.



*Figura 11 - Impianto DEDALO per il trattamento di percolati di discarica*

### **Impianto ICAM**

Impianto mobile per il trattamento di amianto e di rifiuti contenenti amianto mediante stabilizzazione in matrice cementizia, con una potenzialità di trattamento di rifiuti di 10 m<sup>3</sup>/giorno. La superficie di ingombro dell'impianto ICAM, comprensiva degli spazi di manovra, è di 800 m<sup>2</sup>.



*Figura 12 - Impianto ICAM per la stabilizzazione di amianto in matrice cementizia*

## **Impianto GOCCIA**

Impianto per il trattamento terziario di acque reflue civili, installato presso il depuratore di Rocca imperiale (CS) e finalizzato alla qualificazione del processo di affinamento delle acque reflue in uscita dal depuratore per un loro riuso agricolo. La capacità di trattamento è di 1000 m<sup>3</sup>/giorno. L'acqua depurata in uscita ha caratteristiche tali da poter essere impiegata per uso irriguo.



*Figura 13 - Impianto per il trattamento terziario di acque reflue civili installato presso il depuratore di Rocca Imperiale (CS)*

## **Le linee di attività e le prospettive future**

Le attività sviluppate nel campo della gestione dei rifiuti, in linea con i *trend* della ricerca europea, hanno riguardato principalmente i trattamenti *end of pipe* e le tecnologie studiate sono state indirizzate al conseguimento del maggiore recupero di materia ed energia; alla contemporanea minimizzazione dell'impatto ambientale degli impianti; allo sviluppo di tecnologie abili alla realizzazione di impianti di piccola e media taglia.

L'ENEA ha così maturato una consolidata esperienza nell'ambito dei trattamenti termici, in particolare mediante gassificazione con vapore, principalmente di CDR, rifiuti lignocellulosici e pneumatici, ma anche di residui da frantumazione di autoveicoli (ASR – automobile shredding residue), di amianto e rifiuti contenenti amianto e di rifiuti plastici (compositi a matrice polimerica, PVC, plastiche miste, ecc.).

La tecnologia maggiormente adoperata per lo sviluppo dei processi di trattamento termico è stata quella del tamburo rotante, che per quanto poco diffusa nel campo della gassificazione, consente un più agevole trattamento di matrici fortemente eterogenee quali sono invece i rifiuti.

La filosofia adottata è stata quindi quella di seguire un approccio integrato finalizzato al recupero di materiali ad alto valore aggiunto, in maniera diretta (carboni attivi, fibre di carbonio) o per trattamenti successivi (sintesi di materiali ceramici), e di energia (energia elettrica, syngas, H<sub>2</sub>), come schematicamente indicato nelle figure successive (figure 14 e 15).

Accanto alle tecnologie di trattamento termico, gli impianti dedicati al trattamento dei reflui consentono lo sviluppo e l'ottimizzazione di:

- cicli produttivi a minore impatto ambientale (riduzione o riuso della risorsa idrica utilizzata, dei reagenti, riutilizzo degli scarti ecc.);
- processi di depurazione di reflui industriali e civili finalizzati al riutilizzo della risorsa idrica.

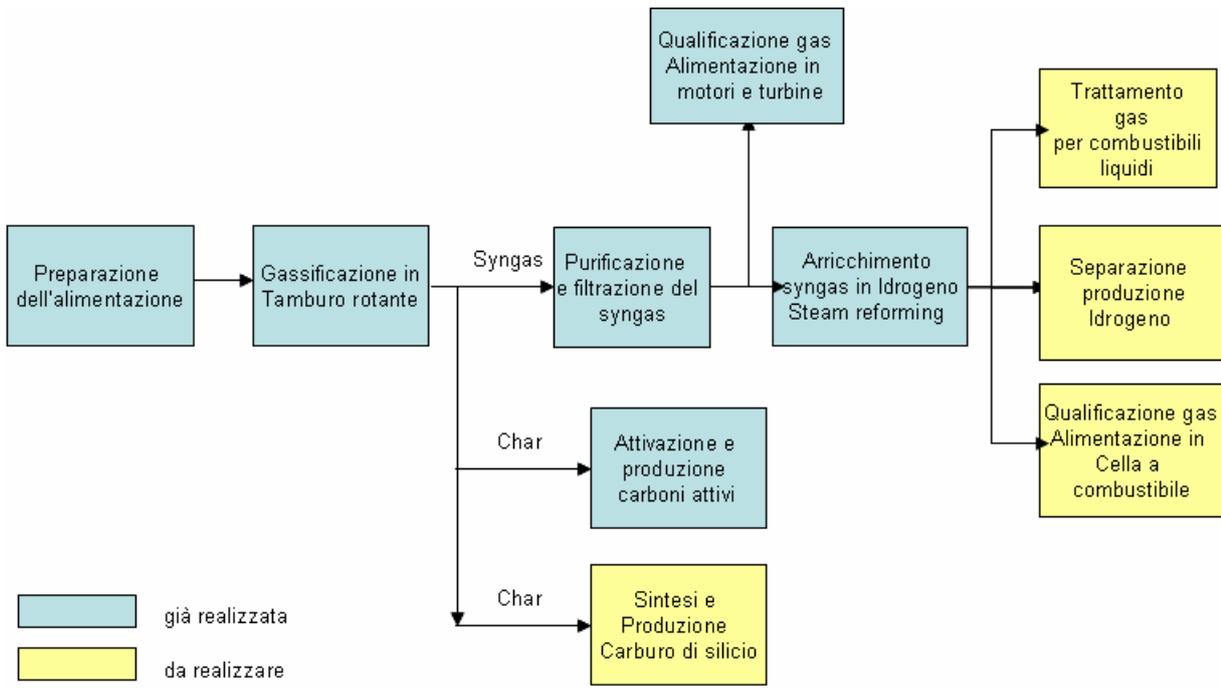


Figura 14 - Recupero di materia ed energia da rifiuti (Tamburi rotanti e processi di sintesi)

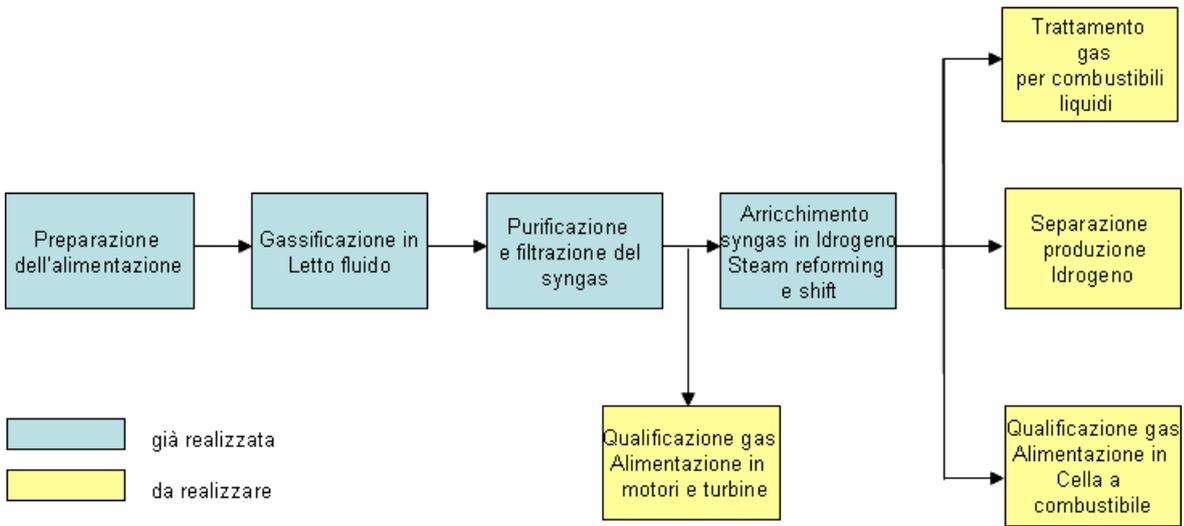


Figura 15 - Recupero di materia ed energia da rifiuti (Letto Fluido Bollente)

## **IL PROGETTO ENEA "TECNOLOGIE PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI"**

Nell'ambito dell'area afferente alle "Tecnologie per il territorio" l'ENEA intende fornire risposte alle crescenti sfide poste dalle pressioni antropiche e naturali sull'ambiente e sul territorio in una ottica di sviluppo sostenibile e di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra; la sostenibilità dell'interazione tra produzione e consumo di energia, l'efficienza energetica, la mobilità, gli equilibri ambientali e gli assetti territoriali, i rischi naturali ai quali è esposto il territorio nazionale, gli effetti dei cambiamenti climatici e le relative politiche di adattamento e mitigazione, sono il fulcro delle attività dell'ENEA in questo ambito. L'attenzione è inoltre posta sui processi di interazione tra le varie componenti e sulla minimizzazione degli effetti negativi attraverso attività di studio, di caratterizzazione del territorio, di innovazione e promozione delle migliori e più avanzate tecnologie, studi relativi agli usi energetici nel terziario e nel residenziale così come ai trasporti che costituiscono nel nostro Paese, e non solo, i settori più resistenti alle politiche di riduzione delle emissioni.

In questo quadro, l'ENEA è impegnato nello sviluppo del Progetto "Tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti".

Le criticità dei sistemi di gestione dei rifiuti, particolarmente sentite in estese porzioni del territorio nazionale ed essenzialmente conseguenti a problematiche socio-politico-amministrative, scontano infatti sia la carenza di una forte connotazione tecnico-scientifica ed ambientale nella impostazione dei percorsi istituzionali che una insufficiente articolazione delle opzioni tecnologiche disponibili. Risulta perciò strategicamente rilevante fornire ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione sia alle trasformazioni dei cicli industriali che all'ottimizzazione delle prestazioni energetico-ambientali di cicli, tecnologie ed impianti di trattamento e smaltimento, al fine di garantire la sostenibilità complessiva (tecnica, economica ed ambientale) del ciclo integrato di gestione dei rifiuti

Obiettivo strategico del Progetto "Tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti" è la diffusione di tecnologie innovative di recupero di materia ed energia da rifiuti e la validazione tecnico-economica delle sinergie ottenibili nell'integrazione dei trattamenti di differenti flussi di rifiuti di origine sia urbana che industriale.

A tale scopo il Progetto prevede l'attuazione di un intervento dimostrativo sul territorio per la diffusione, a livello di sistemi integrati di gestione rifiuti, di una o più tecnologie innovative di trattamento attualmente in corso di sperimentazione su scala banco o pilota. L'intervento sarà mirato ad incrementare la sostenibilità e l'eco-efficienza del ciclo di gestione dei rifiuti, ad indurre positive ricadute sullo sviluppo industriale nazionale e locale, nonché, a livello più generale, a sostenere la crescita di intese programmatiche tra istituzioni locali e soggetti imprenditoriali, favorendo il riposizionamento del sistema produttivo verso attività a maggior valore aggiunto.

Riguardo allo sviluppo tecnologico, il fulcro è rappresentato dall'adozione di tecnologie termiche emergenti basate su processi di pirolisi, gassificazione e/o piro-gassificazione, con particolare enfasi, oltre che al contenimento delle emissioni ed alla più generale riduzione degli impatti ambientali, all'utilizzo dei processi mirati a finalità non esclusivamente energetiche, ma indirizzati anche al recupero di materiali ad elevato valore aggiunto.

L'utilizzazione delle frazioni secche e dei combustibili derivati da rifiuti, particolarmente necessaria stante l'obbligo normativo di pretrattamento dei rifiuti e la carenza di impianti di valorizzazione dei rifiuti per via termica, sta deludendo le aspettative: le ragioni del mancato decollo sono in parte da ricercare negli stringenti limiti normativi (tipologia, provenienza e caratteristiche del rifiuto) che regolamentano la produzione del CDR; inoltre la variabilità della composizione del CDR ne condiziona il suo impiego da parte di utilizzatori secondari, quali cementifici, industrie siderurgiche e calcifici che, vincolati da standard di prodotto e dai limiti normativi per le emissioni, preferirebbero flussi più selezionati. A completare il quadro interviene inoltre la sporadica presenza sul territorio di impianti di termovalorizzazione (incenerimento) dedicati, anche in virtù dell'impatto negativo che questi ultimi generano sull'opinione pubblica.

D'altra parte rispetto alla termovalorizzazione tradizionale, l'opportunità di impiego del CDR per la produzione di gas combustibile sembra essere particolarmente vantaggiosa. Le ricerche sviluppate dall'ENEA sul processo di gassificazione con vapore del CDR hanno già prodotto ottimi risultati. Pertanto l'implementazione in scala pilota e/o dimostrativa del processo permetterebbe di valutare in modo significativo la fattibilità tecnico-economica del processo, che presenta vari aspetti positivi, in quanto:

- realizza la trasformazione del combustibile da solido a gassoso o liquido (elevandone la flessibilità d'uso);
- avviene in condizioni che limitano la formazione di composti organoclorurati;
- si presta ad operazioni di scala.

L'impiego del syngas presenta notevoli applicazioni; soprattutto a livello di trattamento combinato di differenti tipologie di rifiuti (per esempio, CDR e fanghi di depurazione), di produzione distribuita e combinata di energia elettrica e calore, di sistemi avanzati di produzione dell'energia (celle a combustibile).

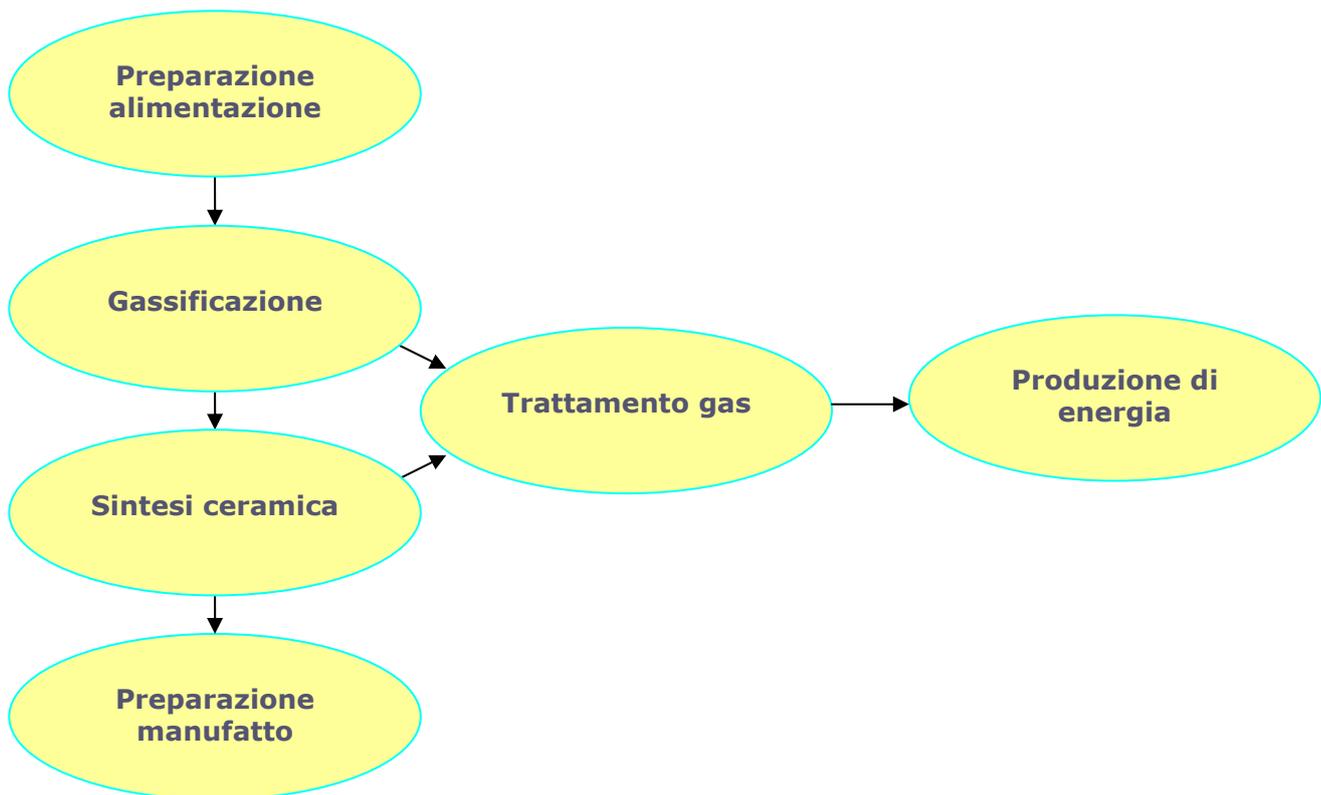
Accanto all'impiego del syngas prodotto per gassificazione (o pirolisi) per alimentare dispositivi per la produzione energetica, sta ultimamente, prendendo piede l'impiego di questa corrente come alimentazione per sintesi di Fischer-Tropsch (FT).

Questo processo, da tempo noto, consente di realizzare, a partire da un gas ricco in idrogeno e monossido di carbonio, polimerizzazioni catalitiche in fase gassosa; con formazione di una miscela di idrocarburi di vario genere (syncrude).

La possibilità di accoppiare ad un processo di trattamento termico (tipo gassificazione) la polimerizzazione in fase gassosa tipo Fischer-Tropsch del syngas prodotto, consentirebbe di perseguire completamente la strada del recupero di materia, ricostruendo le materie prime dopo la degradazione ed indirizzando la sintesi verso la produzione di combustibili liquidi e/o polimeri. Alla luce dell'attuale panorama energetico internazionale, la produzione di combustibili liquidi da rifiuti o biomassa acquista una valenza fortemente strategica. La demolizione del materiale e la successiva ricostruzione selettiva del prodotto risulta preferibile rispetto all'ottenimento di combustibili liquidi tramite pirolisi, processo che limiterebbe fortemente la variabilità di prodotto e che richiederebbe opportuni stadi di purificazione.

Una ulteriore limitazione allo sviluppo dei processi di piro-gassificazione è rappresentata dalla scarsa appetibilità del sottoprodotto solido della fase pirolitica (char). Il char ingloba in sé le ceneri di processo ed in mancanza di altro utilizzo costituisce un rifiuto da smaltire in discarica; questa "destinazione finale", oltre a contravvenire alla politica di corretta gestione dei rifiuti, pregiudica fortemente l'economicità dell'intero processo termico che lo ha prodotto; il suo convenzionale sfruttamento per la produzione di carboni attivi ha, d'altra parte, condotto a risultati alterni. Esperienze documentate, generalmente applicate alle biomasse, suggeriscono indirettamente che il char di pirolisi possa essere impiegato di come fonte di carbonio per la sintesi ad alta temperatura di polveri ceramiche. I sottoprodotti provenienti da processi di trattamento termico (char da gassificazione e/o pirolisi) possono essere valorizzati come fonte di carbonio per la produzione di materiali ad alto valore aggiunto, quali principalmente carburi o nitruri, mediante processo di riduzione carbotermica ad alta temperatura (come schematicamente illustrato in figura 16). Particolare attenzione potrebbe essere rivolta al char da pneumatico che, oltre ad avere un elevato tenore di carbonio, nelle nuove forniture può possedere già parte della silice necessaria alla sintesi del carburo di silicio (SiC). Un recupero addizionale di materia da rifiuti può essere realizzato utilizzando, come ulteriore fonte di silice, del vetro di scarto.

L'utilizzo del char di piro-gassificazione come materia prima per la sintesi di ceramici consente, in ultima analisi, di intervenire in maniera positiva sul bilancio economico del processo termico e di abbattere i costi di produzione di materiali ad alto valore aggiunto.



*Figura 16 – Schema di processo combinato di gassificazione e valorizzazione dei residui*

Le attività del Progetto “Tecnologie per la gestione sostenibile dei rifiuti” possono contribuire:

- alla diffusione di tecnologie per il trattamento dei rifiuti economicamente ed ambientalmente sostenibili;
- alla minimizzazione dello sfruttamento delle risorse ed alla massimizzazione del recupero di materiali e di energia da rifiuti;
- alla minimizzazione degli impatti ambientali connessi alla gestione dei rifiuti;
- allo sviluppo dell’industria nazionale e locale connessa ai cicli territoriali di gestione dei rifiuti.

Il Progetto è coerente con i trend comunitari in materia di sviluppo sostenibile, ed in particolare:

- ❖ con il VI Programma d’Azione per l’Ambiente, che individua come prioritaria la tematica “Risorse naturali e rifiuti” e si pone come obiettivo di “garantire che il consumo di risorse non superi la capacità di carico dell’ambiente e dissociare dalla crescita economica l’uso delle risorse, migliorando l’efficienza di quest’ultime e diminuendo la produzione di rifiuti”;
- ❖ con la Strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti, che è volta alla riduzione degli impatti ambientali negativi generati dai rifiuti, dalla produzione fino allo smaltimento, passando per il riciclaggio. La Strategia considera, infatti, i rifiuti non solo come una fonte d’inquinamento da ridurre, ma anche come una potenziale risorsa da sfruttare, e mira a costruire nuove opportunità per la gestione dei rifiuti, incoraggiando lo sviluppo di una società del riciclaggio, vale a dire “meno rifiuti in discarica, più energia dai rifiuti, maggiore e migliore riciclaggio dei rifiuti”.

Accanto alla valenza tecnologica del Progetto, è importante sottolineare il suo impatto sul sistema territoriale, rispetto al quale gli elementi innovativi riguarderanno, in dipendenza dalle scelte progettuali definitive, aspetti come l'integrazione tra il sistema di gestione dei rifiuti urbani e quello dei rifiuti speciali (sistemi che, troppo spesso, operano su piani paralleli e non sfruttano le potenziali sinergie), l'ottimizzazione del trattamento di flussi di scarto derivanti dalle operazioni di raccolta differenziata (la cui valorizzazione si rende particolarmente necessaria, anche strategicamente, a fronte dell'atteso incremento delle relative percentuali) e dal trattamento meccanico-biologico del rifiuto indifferenziato, nonché la potenziale sostituzione dei sistemi di valorizzazione energetica basati sulla combustione diretta nelle realtà territoriali di dimensione medio-bassa (nelle quali la sostenibilità tecnico-economica di tale forma di trattamento appare fortemente in dubbio, anche a fronte delle incertezze connesse alle possibili fonti di incentivazione pubblica).

## DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- ◆ Decisione n. 1600/2002/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 22 luglio 2002, che istituisce il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente (*GU L 242 del 10.9.2002, pagg. 1-15*)
- ◆ Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni - Portare avanti l'utilizzo sostenibile delle risorse - Una strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti, COM(2005) 666 definitivo, 21/12/2005
- ◆ Direttiva 2006/12/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006, relativa ai rifiuti (*GU L 114 del 27.4.2006, pagg. 9-21*)
- ◆ Decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, recante "Norme in materia ambientale", *GU n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96*
- ◆ Coronidi M., Checcucci G., Carlo E., "Un nuovo "codice" per l'ambiente", *Energia, ambiente e Innovazione*, n. 5/06, pagg. 6-17
- ◆ De Stefanis P. (2002), "*Le tecnologie innovative per il recupero di energia da rifiuti*", *Rapporto Tecnico ENEA RT/AMB/2001/25*
- ◆ De Stefanis P. (2005), "*Potenzialità e limiti del recupero energetico da rifiuti*", *RIFIUTI*, bollettino di informazione normativa, n. 117 (5/05), pagg. 2-10
- ◆ De Stefanis P., Coronidi M., Iaboni V., "La gestione dei rifiuti urbani: tecniche e risvolti ambientali", *Energia, Ambiente e Innovazione*, n. 6/06, pagg. 29-40
- ◆ Coronidi M., De Stefanis P., Scaldasferri M. F., "Indirizzi comunitari per una gestione sostenibile dei rifiuti", *Energia, Ambiente e Innovazione*, n. 6/06, pagg. 41-45
- ◆ Coronidi M., Rossi Marcelli A., Sagnotti G., "Quadro nazionale e azioni per una gestione integrata dei rifiuti", *Energia, Ambiente e Innovazione*, n. 6/06, pagg. 46-52
- ◆ Galvagno S., Fortuna F., Cornacchia G., Casu S., Coppola T., Sharma V.K., "Pyrolysis process for treatment of automobile shredder residue: preliminary experimental results", *Energy Conversion & Management*, 42 (2001), pagg. 573-586
- ◆ Galvagno S., Casu S., Casabianca T., Calabrese A., Cornacchia G., "Pyrolysis process for the treatment of scrap tyres: preliminary experimental results", *Waste Management* 22 (2002), pagg. 917-923
- ◆ Galvagno S., Casu S., Casciaro G., Martino M., Russo A., Portofino S., "Steam gasification of RDF: influence of process temperature on yield and products composition", *Energy & Fuels* 20 (2006), pagg. 2284-2288
- ◆ Galvagno S., Portofino S., Casciaro G., Casu S., d'Aquino L., Martino M., Russo A., Bezzi G., "Synthesis of beta silicon carbide powders from biomass gasification residue", *Journal of Materials Science* 42 (2007), pagg. 6878-6886
- ◆ Matera D.A., Cornacchia G., "Le prospettive dei trattamenti termici per il recupero di materia ed energia da rifiuti: un caso studio sintesi idrocarburi", *Atti della Fiera Ecomondo 2007*, Maggioli Editore
- ◆ Avella R., Cornacchia G., Matera D.A., "Liquid Fuels from Biomass and Waste by Integrated Gasification-Fischer Tropsch Process", 2006 Great Wall World Renewable Energy Forum and Exhibition (GWREF 2006) 23-27 October 2006, Beijing China
- ◆ Alonso Pippo W., Garzone P., Cornacchia G., "Agro-industry sugarcane residues disposal: the trends of their conversion in energy carriers in Cuba", *Waste management* 27 (2007), pagg. 869-885

- ◆ Ferraris M., Innella C., Malpei F., Pollice A., "Anaerobic membrane bioreactor for industrial wastewater treatment", EUROMBRA WORKSHOP Bio-fouling in membrane systems, Trondheim, 11-12 luglio 2006



Edito dall'ENEA  
Unità Comunicazione

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati

Finito di stampare nel mese di giugno 2008

