

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Corso di Studio Triennale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio

## ABSTRACT

### *Elaborato di tesi*

La gassificazione e la pirolisi per il trattamento termico di rifiuti solidi urbani e  
biomasse: stato dell'arte in Italia e all'estero

#### **Relatore**

Prof. Ing. Stefano Papirio

#### **Studente**

Maria Libera Sorrentino

matr. 518/382

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

## INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi intende fornire un'analisi delle tecnologie alternative di trattamento termico dei rifiuti solidi urbani e biomasse, confrontando la situazione italiana con il resto del mondo.

Secondo l'ultimo rapporto dell'*International Solid Waste Association* (l'associazione mondiale che riunisce gli operatori del settore trattamento e smaltimento rifiuti), attualmente nel mondo vengono prodotti circa 4 miliardi di tonnellate di rifiuti ogni anno (incluse le biomasse). La metà è rappresentata da rifiuti urbani, mentre l'altra metà riguarda i rifiuti cosiddetti speciali, provenienti cioè da attività industriali e produttive. La collocazione di queste quantità rappresenta un problema non ancora risolto in termini di costo, impatto ambientale e accettabilità sociale.

Ai fini del recupero energetico e della produzione di combustibile, questi rifiuti subiscono dei trattamenti termici nei quali molte sostanze vengono demolite per originarne altre aventi composizioni chimiche più semplici. L'obiettivo primario di un qualsiasi trattamento termico è la trasformazione del rifiuto e ottenere un recupero energetico.

Tra i processi termici rientrano:

- l'*incenerimento* che è un processo di ossidazione diretta del rifiuto; le sostanze organiche sono bruciate con ossigeno in eccesso, dando origine a molecole allo stato gassoso e particolato atmosferico che vanno a costituire i fumi di combustione. La parte inorganica del rifiuto in genere non subisce reazioni ed esce dal processo come residuo solido da smaltire e/o recuperare come ceneri o scorie;
- la *gassificazione* che consiste in una serie di reazioni di riduzione e parziale ossidazione del rifiuto ad opera di un agente gassificante (aria, ossigeno, o acqua); tali reazioni avvengono con un quantitativo di ossigeno inferiore al valore stechiometrico definito dalle reazioni di ossidazione, con produzione di un *syngas* come prodotto finale che verrà poi bruciato per produrre energia;
- la *pirolisi* che è processo termochimico che comporta una degradazione termica della sostanza organica in completa assenza di ossigeno, con formazione di gas di pirolisi (*syngas*) e, similmente alla gassificazione, di un residuo liquido (*tar*) e di un residuo solido carbonioso (*char*) nel quale si concentrano le sostanze inerti;
- la *torcia al plasma* che è un processo in cui il gas ionizzato è in grado di decomporre a livello molecolare la sostanza organica presente nel rifiuto e di fondere i materiali inorganici; è un processo che si presta ad un'applicazione su una vasta gamma di rifiuti dal pericoloso all'urbano.

Di seguito, si riporta un quadro sintetico delle principali norme nel panorama nazionale in tema di rifiuti, le norme inerenti la gestione degli impianti di trattamento termico e l'evoluzione degli incentivi per le fonti rinnovabili, con attenzione particolare alle biomasse.

## **QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO**

Il quadro normativo di riferimento a livello europeo parte dalla *Direttiva 75/442/EEC* relativa ai rifiuti del 15 luglio 1975. In questa prima direttiva, le disposizioni principali sono:

- le definizioni di rifiuto;
- le priorità per la gestione dei rifiuti;
- la tutela dell'ambiente e della salute;
- i piani di gestione dei rifiuti;
- gli obblighi di ottenere permessi in relazione ai tipi e ai quantitativi di rifiuti;
- il principio del "chi inquina paga": *"la parte dei costi non coperta dalla valorizzazione dei rifiuti deve essere ripartita secondo il principio "chi inquina paga" "*.

Il Decreto Legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997 detto anche Decreto Ronchi ha recepito nella sua totalità il principio della gerarchia dei rifiuti adottato a livello europeo, per cui la prevenzione della produzione dei rifiuti deve essere privilegiata rispetto alle altre forme di gestione.

Il 3 aprile 2006 è stato emanato il Decreto legislativo n. 152, noto anche come "Testo Unico sull'Ambiente", che dedica la parte IV alle "Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati".

Successivamente, il Decreto legislativo 3 dicembre 2010, n. 205 consolida la gerarchizzazione della sostenibilità delle varie opzioni che compongono la gestione dei rifiuti e conferma "un ordine di priorità di ciò che costituisce la migliore opzione ambientale nella normativa e nella politica dei rifiuti".

In Italia, la principale norma sui trattamenti termici dei rifiuti è rappresentata dal D.lgs. 133 dell'11 maggio 2005 "Attuazione integrale della direttiva 2000/76/CE in materia di incenerimento di rifiuti". Il decreto prevede che siano applicati sistemi di monitoraggio in continuo (SME) per i seguenti inquinanti: NO<sub>x</sub>, CO, polveri totali, TOC, HCl, SO<sub>2</sub>, HF. Gli impianti di incenerimento di rifiuti urbani con una capacità superiore a 3 tonnellate sono assoggettati all'Autorizzazione Integrata Ambientale (indicata anche con l'acronimo AIA), di cui al D. Lgs. 59/2005 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (AIA/IPPC). I rifiuti possono rappresentare, in virtù delle loro caratteristiche merceologiche, delle fonti rinnovabili di energia e, come tali, possono contribuire al conseguimento degli obiettivi europei e nazionali.

Il ruolo che la produzione di energia da rifiuti può ricoprire è stato sancito per la prima volta dalla direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo la quale includeva fra le fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica anche “la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani”. A livello nazionale, il primo incentivo concesso alla produzione di energia da rifiuti era contenuto nella deliberazione del Comitato Interministeriale Prezzi (CIP) n. 6 del 29 aprile 1992 (il cosiddetto “CIP 6”) che riconosceva ai rifiuti un prezzo di cessione predeterminato su base annuale, di gran lunga superiore a quello di mercato. Il sistema di incentivazione della produzione di energia da fonti rinnovabili è stato successivamente rivisto con il D.M. 11 novembre 1999 che ha introdotto il sistema dei Certificati Verdi (CV), inizialmente l’incentivazione è stata applicata alla intera quota di energia prodotta dai rifiuti (inclusa la frazione non biodegradabile). Con la “Finanziaria 2007” sono stati esclusi dall’incentivazione i rifiuti non biodegradabili. Gli impianti a biomasse godono degli incentivi previsti dal decreto per le rinnovabili elettriche non fotovoltaiche “DM 23 giugno 2016”, tale decreto stanziava 195 milioni per l’incentivazione degli impianti a biomasse e biogas di piccola, media e grande taglia. Attualmente si fa riferimento alla Legge di Bilancio 2018 nella quale sono stati prorogati gli incentivi per la produzione di energia da fonti rinnovabili fino al 2020.

## PIROLISI E GASSIFICAZIONE

Oltre all’incenerimento, i processi termici maggiormente conosciuti per il trattamento dei rifiuti solidi sono la gassificazione e la pirolisi.

La *pirolisi* rientra tra i trattamenti termici dei rifiuti ma non è una combustione in quanto avviene in completa assenza di ossigeno. Il CDR (combustibile derivato da rifiuto) viene investito da una corrente di gas caldi affinché aumenti la temperatura del rifiuto che si deve spezzare (*thermal cracking*) dando luogo a delle reazioni chimiche che sono particolarmente complicate. Il processo di pirolisi è anche detto di *distillazione distruttiva* o di *scissione termica* perché il rifiuto viene spezzato nelle sue parti. Affinché si spezzi viene somministrato calore attraverso gas caldi e il processo di scissione è *endotermico* ( $\Delta H < 0$ ). A parte acqua e anidride carbonica, si producono gas combustibili (monossido di carbonio, metano ed idrogeno molecolare) formanti il syngas, un residuo carbonioso combustibile (detto *char*) e olio pirolitico (*tar*). La temperatura alta viene garantita all’interno del reattore di pirolisi per mezzo di parte dei fumi di combustione del syngas. A seconda di come viene condotto il processo di pirolisi, si ottengono differenti composizioni dei prodotti finali. Si possono distinguere quattro modalità e ad ognuna modalità è associata un valore di temperatura finale e una determinata rampa di crescita della temperatura:

- PIROLISI LENTA:  $T_{fin} = 300-500^{\circ}C$ , 50% CHAR, 25% TAR, 25% SYNGAS,  $t=30$  min;
- PIROLISI CONVENZIONALE:  $T_{fin} = 550^{\circ}C$ , 1/3 di ogni residuo,  $t=10$  min;

- PIROLISI VELOCE:  $T_{\text{fin}} = 550^{\circ}\text{C}$ , 75% TAR, 12,5% SYNGAS, 12,5% CHAR,  $t = 5$  secondi;
- PIROLISI FLASH:  $T_{\text{fin}} = 700^{\circ}\text{C}$ , 75% SYNGAS, 12,5% CHAR, 12,5% TAR,  $t = 1$  secondo.

Il processo di *gassificazione* si trova a metà strada tra quello di incenerimento e quello di pirolisi. La gassificazione è un trattamento termico con difetto o carenza d'aria. Il rifiuto o la sostanza solida sottoposta a gassificazione viene parzialmente ossidata fino ad ottenere la produzione di un gas combustibile chiamato *syngas*. Le reazioni, che avvengono in ambiente riducente, cioè in presenza di una quantità di ossigeno inferiore a quella richiesta dalla stechiometria della reazione di ossidazione, sono numerose. Le reazioni di ossidazione parziale con l'ossigeno forniscono il calore necessario a mantenere la temperatura di esercizio del gassificatore al valore desiderato: quindi il vapore d'acqua può essere impiegato come unico agente gassificante soltanto se una sorgente esterna fornisce il calore necessario alle reazioni endotermiche di gassificazione. Il gas prodotto è essenzialmente una miscela di CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e C solido, e contiene però anche prodotti indesiderati e inquinanti, tra i quali ceneri, tar e liquidi condensabili. Dopo il trattamento di pulizia, il gas può essere direttamente impiegato in caldaie, motori o turbine a gas per produrre calore ed energia elettrica o costituire un prodotto di base per la preparazione di idrogeno, ammoniaca, metanolo ed altri composti da essi derivati. I diversi tipi di processi di gassificazione dei rifiuti sono generalmente classificati sulla base del mezzo ossidante utilizzato. L'ossidazione parziale con aria genera un gas diluito dall'azoto atmosferico (fino a circa il 60%) che ha un potere calorifico variabile tra i 4 e i 7 MJ/Nm<sup>3</sup>; l'ossidazione parziale con ossigeno puro genera un syngas libero da azoto e con un potere calorifico ancora più alto, tra i 10 e i 15 MJ/Nm<sup>3</sup>.

A seconda della collocazione e del ruolo della sezione di pulizia, si individuano due configurazioni di impianto per i termovalorizzatori di RSU per gassificazione:

- *gassificazione termica*, in cui il syngas è inviato in un forno a bruciatore ed i fumi esausti alla caldaia collegata ad una turbina a vapore e poi ai dispositivi di pulizia e al camino;
- *gassificazione di potenza*, in cui il syngas è prima pulito al meglio possibile e poi inviato a turbina a gas o motore a combustione interna.

La gassificazione di potenza consente più elevate efficienze di conversione in energia elettrica ma, ad oggi, ha costi elevati del condizionamento per l'investimento iniziale e/o per l'esercizio.

Rispetto alle configurazioni di reattori termici adottate per la gassificazione e la pirolisi è possibile, in linea generale, raggrupparle in:

- reattori a letto fisso;
- reattori a letto fluido;
- reattori a letto mobile;

- reattori di tipo particolare.

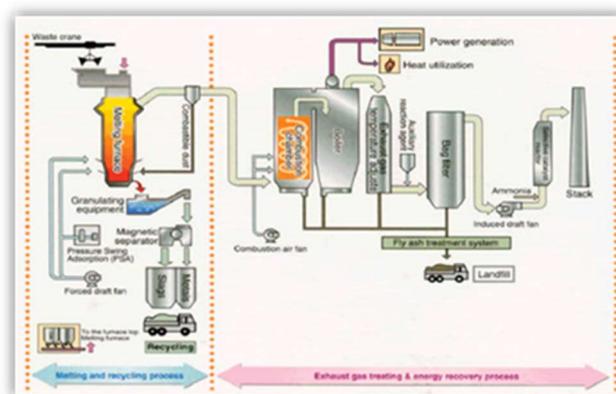
In generale la differenza tra le varie configurazioni impiantistiche risiede nei differenti tempi di permanenza e nella velocità di riscaldamento.

Laddove si vogliono trattare rifiuti aventi caratteristiche meno omogenee e più variabili nel tempo, è possibile combinare l'utilizzo di due o più processi di trattamento termico. L'adozione di processi combinati può scaturire dall'esigenza di conseguire particolari obiettivi di trattamento, molto spesso legati alla volontà del proponente di accedere a specifici segmenti di mercato ovvero alla necessità di fare fronte a precisi vincoli o prescrizioni, soprattutto di carattere ambientale.

## AZIENDE E TECNOLOGIE LEADER NEL CAMPO DELLA GASSIFICAZIONE E DELLA PIROLISI

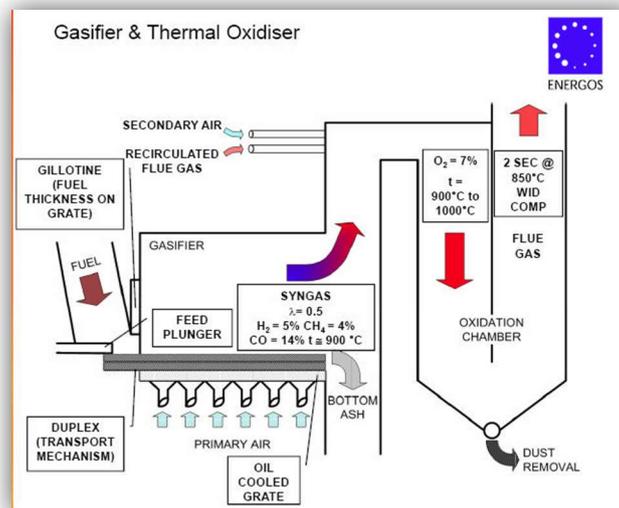
L'applicazione ai rifiuti urbani di tecnologie alternative all'incenerimento tradizionale non ha trovato, fino ad oggi, a livello mondiale, una grande diffusione. Fa eccezione il Giappone, dove è concentrata la quasi totalità degli impianti a tecnologia innovativa, per lo più basati sul processo di gassificazione e, in misura molto ridotta, di pirolisi. Nel panorama europeo esistono alcune significative applicazioni industriali di tecnologie innovative, concentrate soprattutto in Germania.

La Società Giapponese NIPPON STEEL, terzo produttore mondiale dell'acciaio, tratta la maggior quantitativo di rifiuti urbani attraverso un processo termochimico ad alta temperatura detto DMS (*direct melting system*, sistema a fusione diretta). Si tratta di gassificazione di RSU e fusione delle scorie tramite forno a tino, il quale è costituito da quattro zone: essiccamento, decomposizione termica e gassificazione, combustione e fusione. La scorie prodotte, dopo la regolazione della loro basicità con calcare, vengono rapidamente raffreddate e solidificate sotto forma di una mistura granulare di loppa e metallo, utilizzata in Giappone come materiale per l'edilizia.



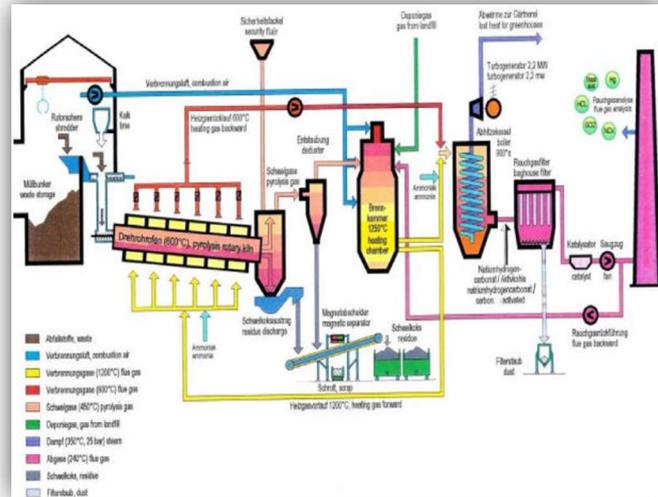
Tecnologia DMS- schema di processo

La società norvegese ENERGOS, ha realizzato, a partire dal 1997, sette impianti di cui cinque in Norvegia, uno in Germania e uno nell'isola di Wight. La conversione termica avviene in due stadi. L'essiccamento e la gassificazione del combustibile avvengono nell'unità di gassificazione equipaggiata con una griglia orizzontale raffreddata ad olio, divisa in numerosi settori separati, ciascuno con un sistema indipendente di alimentazione di aria. Il gas di sintesi proveniente dall'unità di gassificazione passa nella camera di ossidazione ad alta temperatura, dove l'iniezione di aria e di gas riciclati, attraverso ugelli opportunamente distribuiti nella camera, assicura il controllo della temperatura e l'ossidazione completa del gas di sintesi proveniente dall'unità di gassificazione. Le scorie di gassificazione sono scaricate e raffreddate in una vasca; i gas esausti passano dalla camera di ossidazione ad alta temperatura al sistema di recupero del calore. La tecnologia Energoss è da considerarsi una tecnologia industrialmente matura.



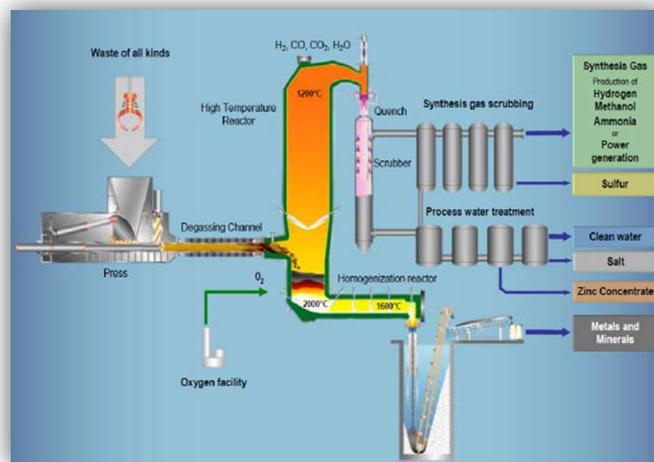
*Tecnologia Energoss – schema di processo*

La TECHTRADE GMBH offre a tutt'oggi forni e reattori rotanti utilizzati per la pirolisi. Nel 1982 Pleq ha fornito la propria tecnologia ed i reattori per l'impianto pubblico di smaltimento rifiuti urbani di Burgau (Distretto di Gunzburg-Germania) della potenzialità di 35.000 t/anno. L'impianto è basato su un processo di pirolisi lenta a bassa temperatura a tamburo rotante. La temperatura all'interno del reattore è di 500-600 °C e i tempi di permanenza variabili tra 30 minuti e 2 ore. Il rifiuto, caricato in testa, attraversa il cilindro e viene scaricato in coda come residuo carbonioso (char). Il gas prodotto viene bruciato in camera di combustione ad una temperatura superiore ai 1250°C. Una parte dei fumi prodotti nella camera di combustione viene ricircolata per il riscaldamento dei forni rotativi, mentre la parte restante viene convogliata a una caldaia di recupero, dove si produce vapore espanso in turbina producendo energia elettrica.



*Tecnologia Techtrade – schema di processo*

La THERMOSELECT è una società svizzera che detiene la licenza del processo di trattamento termico dei rifiuti costituito da pirolisi lenta seguita da gassificazione in letto fisso e vetrificazione delle scorie. Il rifiuto è compresso da una pressa idraulica ad un quinto del volume originale ed è trasportato attraverso un canale di degassaggio riscaldato, dove avviene la pirolisi in un reattore ad alta temperatura. Per effetto dell'aumento di temperatura all'interno del canale di degassaggio, i rifiuti vengono essiccati, i composti organici subiscono un processo di degassificazione e convogliati in continuo in un reattore ad alta temperatura. Il materiale fuso viene quindi sottoposto ad un raffreddamento rapido con acqua formando un granulato minerale e un granulato metallico. Il gas di sintesi generato dal processo viene inizialmente sottoposto ad un raffreddamento rapido per inibire la riformazione di molecole organiche. Dopo la depurazione e la deumidificazione, il gas di sintesi può essere utilizzato per produrre energia elettrica.



*Tecnologia Thermoselect – schema di processo*

Per quanto riguarda il panorama italiano, non esistono al momento impianti di trattamento di rifiuti solidi urbani basati su pirolisi e gassificazione. Le applicazioni di tali tecnologie si basano essenzialmente su impianti di piccola taglia sviluppati e ingegnerizzati per trattare specifiche tipologie di rifiuti, quali ad esempio scarti di cartiera, pneumatici, plastiche e biomasse (scarti vegetali, legno, sansa di olive ecc). Nell'agosto 2008 è stata avviata la prima delle tre linee del gassificatore di Roma-Malagrotta, basato su tecnologia Thermosteact, che doveva essere il primo impianto di questa tipologia in Italia per il trattamento di RSU, in particolare CDR con una potenzialità di 500 tonnellate/giorno. Tale impianto ha avuto problemi inerenti all'applicabilità, affidabilità e convenienza economica al trattamento di rifiuti di origine urbana e non è mai entrato in funzione. L'impianto non risultava in regola con le norme antincendio e con la legge Seveso 2, che vieta di concentrare in una stessa area più siti industriali a rischio, in particolare una raffineria e un deposito di Gpl.

## **LA DISPONIBILITÀ DI BIOMASSE PER FINI ENERGETICI NEL MONDO**

Le biomasse costituiscono da sempre una risorsa fondamentale per le esigenze energetiche dei Paesi meno sviluppati. Oggi, però, sono destinate a svolgere un ruolo decisivo anche nei Paesi avanzati per realizzare un futuro più sostenibile e a ridotte emissioni di CO<sub>2</sub>. La Direttiva europea 2009/28/CE, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, stabilisce che entro il 2020 il consumo di energia nell'UE dovrà essere soddisfatto per almeno il 20% da energia prodotta da fonte rinnovabile. Per l'Italia, l'obiettivo da raggiungere entro il 2020 è una quota di consumo da risorse rinnovabili sul totale del 17%. L'impiego di biomasse a fini energetici deve essere attentamente controllato per evitare, soprattutto nel comparto agro-forestale, eccessivi sfruttamenti delle risorse agricole e boschive.

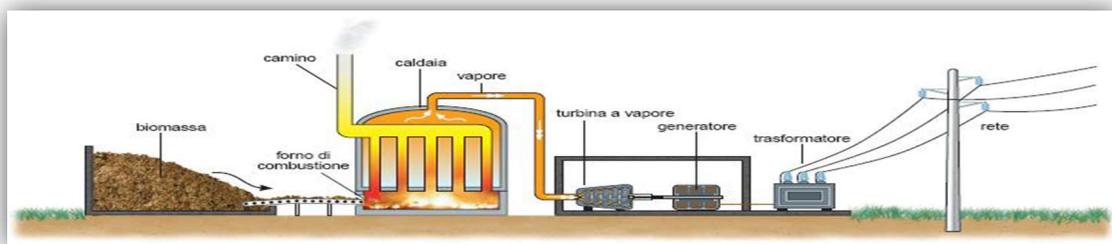
La disponibilità di biomasse in Italia è raggruppata in 15 tipologie differenti di colture annuali: avena, barbabietola da zucchero, colza, girasole, frumento duro, frumento tenero, mais, orzo, patata, pomodoro da industria, segale, riso, soia, sorgo, tabacco. Le 15 colture rappresentano il 58% della superficie a seminativo in Italia (Istat, 2010). Le superfici investite nelle colture annuali oggetto dello studio sono state estratte dal database pubblico del VI Censimento Generale dell'agricoltura italiana del 2010, le superfici destinate a colture annuali si concentrano in prevalenza in quattro bacini: la pianura padana, il bacino centrale tosco-umbro-marchigiano, il bacino pugliese e quello siciliano.

Le configurazioni degli impianti a biomasse sono le seguenti:

- impianti tradizionali con forno di combustione della biomassa solida, caldaia che alimenta una turbina a vapore accoppiata ad un generatore;

- impianti con turbina a gas alimentata dal syngas da biomasse in ciclo semplice o combinato con turbina a vapore;
- impianti termoelettrici ibridi, che utilizzano biomasse e fonti convenzionali (il caso più frequente è la co-combustione della biomassa e della fonte convenzionale nella stessa fornace);
- impianti, alimentati da biomasse liquide (oli vegetali, biodiesel), costituiti da motori accoppiati a generatori (gruppi elettrogeni).

Dal 2000 al 2008 il numero impianti è aumentato del 50% (passando da 186 a 352 unità) raggiungendo invece nel 2012 un tasso di crescita dell'81% rispetto all'anno precedente. La maggior parte degli impianti alimentati a biomassa sono localizzati nel Nord Italia (1.652 impianti pari a circa il 75% del totale), prevalentemente in Lombardia (580 impianti), Veneto (307 impianti), Emilia Romagna (269 impianti) e Piemonte (233 impianti).



*Schema di un impianto termoelettrico alimentato a biomasse*