

**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



*Studi Di INGEGNERIA*

*Prof. Fabio Calvanelli*

## **Principali forme di conversione energetica delle biomasse**

La conversione di biomasse in combustibili può essere ottenuta con diversi processi

- termochimici
- biochimici.

### *Processi termochimici*

La *combustione* diretta è il più antico e più semplice mezzo per lo sfruttamento energetico delle biomasse, adatta a sostanze abbastanza secche. I principali prodotti della combustione sono costituiti da anidride carbonica, vapore d'acqua, e ceneri.

Un altro processo importante è la *pirolisi*, che prevede il riscaldamento delle biomasse in assenza di aria, e che permette di ottenere prodotti liquidi, solidi e gassosi in proporzioni diverse, a seconda della temperatura alla quale si effettua il processo.

La pirolisi avviene a bassi livelli di temperatura, che favoriscono la formazione dei combustibili liquidi e solidi.

Se la temperatura è inferiore a 400-500°C, la pirolisi è definita *carbonizzazione*, e produce carbone di legna, combustibili gassosi, e combustibili liquidi (oli pesanti e leggeri).

Quando la temperatura raggiunge i 1000°C si ha la *gassificazione* completa della biomassa.

### *Processi biochimici*

Tra questi è annoverata la *digestione anaerobica*, dovuta a particolari famiglie di microbi, in assenza di ossigeno. Il gas prodotto (biogas) è costituito principalmente da metano, anidride carbonica, idrocarburi saturi, e tracce di acido solfidrico.

Si applica, con ottimi risultati, ai residui organici caratterizzati dal rapporto carbonio/azoto (C/N) compreso tra 16 e 30, e da una percentuale di umidità superiore al 50%, quali sono le deiezioni animali, e molti sottoprodotti di colture vegetali (mais, patate, pomodori, barbabietole, colture ortive).

A questa si possono aggiungere la *trasformazione idrolitica dei materiali cellulosici* di scarto in monomeri zuccherini, e successiva *fermentazione ad alcool etilico* (etanolo), ed altri prodotti chimici.



Altri processi come la digestione aerobica ed il compostaggio, richiamati per completare il quadro, non sono destinati alla produzione di energia. Infatti la *digestione aerobica* o *metabolizzazione* di sostanze organiche attraverso l'azione di microrganismi, che si

sviluppano in presenza di ossigeno viene utilizzata prevalentemente per la depurazione di liquame e acque di scarto industriale. Il *compostaggio* o decomposizione biologica della materia organica, prevalentemente solida, in condizioni aerobiche, è utilizzato per la produzione di ammendanti agricoli. Solitamente a monte di tutti i processi di conversione sono necessari opportuni pretrattamenti del materiale di base.

Questi possono comprendere lavaggio con acqua, essiccazione con mezzi meccanici (pressatura) o termici, riduzione in piccole dimensioni, densificazione (produzione di pellets, cubetti o formelle), separazione delle fibre (estrazione con solventi).

I prodotti finali, a seconda dell'impiego, debbono, a loro volta, essere trattati: per separarli (ad es. dal substrato che non ha reagito, dai catalizzatori, dai microrganismi, dai solventi), per purificarli e per concentrarli. Si ricorre, a seconda dei casi, alla sedimentazione, alla filtrazione, alla centrifugazione, alla distillazione, all'assorbimento, alla estrazione con solventi, ecc.

## **Processi biochimici**

### ***La digestione anaerobica***

La digestione anaerobica è un insieme di processi biologici mediante i quali le sostanze organiche possono essere "digerite" in un ambiente privo di ossigeno, arrivando alla produzione di gas combustibile e di fanghi humificati e mineralizzati, con migliorate caratteristiche fertilizzanti.

Il termine "mineralizzati" significa che il materiale presente non può essere ulteriormente degradato, mentre per "humificazione" si intende la trasformazione del materiale organico, originariamente putrescibile, in un prodotto metastabile ed innocuo, soggetto a decomposizione molto lenta.

Questi processi avvengono ad opera di una flora batterica di natura anaerobica, che può sussistere solo in ambiente privo di ossigeno. I batteri responsabili della fermentazione metanica sono saprofiti eterotrofi, che utilizzano come fonte di carbonio e di energia i composti organici.

In relazione all'intervallo di temperatura in cui agiscono, i batteri sono suddivisi in:

Psicrofili, quando agiscono a temperature inferiori a 25°C

Mesofili, quando agiscono a temperature comprese tra i 25°C e 45°C

Termofili, quando agiscono a temperature superiori a 45°C.

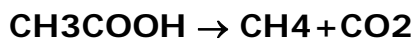
Tali batteri sono sempre presenti nella massa organica originale, si sviluppano rigogliosamente in ambiente chiuso, e trasformano i composti organici in CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, utilizzando gli enzimi come catalizzatori biologici. Gli enzimi sono molecole di natura proteica, sintetizzati dall'organismo stesso che li usa; possono essere di natura unicamente proteica, oppure costituiti da due parti, il



coenzima, che è una molecola organica di origine vitaminica, e l'apoenzima, che è la parte propriamente proteica.

La digestione anaerobica è condotta in reattori (digestori), opportunamente concepiti per evitare il contatto tra la massa liquida in essi contenuta e l'ossigeno atmosferico. Si sviluppa in tre fasi successive:

1. idrolisi della cellulosa, delle proteine, dei lipidi e degli zuccheri e degli amminoacidi,
2. fase acidogenica con formazione di acidi grassi in particolare di acido acetico,
3. metanizzazione del prodotto della seconda fase; questo stadio metanogenico coinvolge una serie di metano-batteri, che completano la trasformazione in metano ed anidride carbonica degli acidi grassi (principalmente acetico), secondo la reazione seguente:



in cui un atomo di carbonio è l'accettore finale di idrogeno, e produce metano, mentre l'altro atomo va a costituire l'anidride carbonica.

I prodotti finali sono un gas combustibile con p.c.i. di 5300-5800 kcal/Nm<sup>3</sup>, un residuo liquido chiarificato, ed un fango inspessito.

Il gas prodotto è una miscela contenente il 65-70% di metano, il 30-35% di anidride carbonica, tracce di acido solfidrico, piccole percentuali di H<sub>2</sub>, CO, e di idrocarburi saturi.

Il surnatante (liquido chiarificato), può essere impiegato per la diluizione, se necessaria, della sostanza organica in ingresso al digestore, per l'allestimento di zone di lagunaggio adibite a colture energetiche, e per la fertirrigazione.

Il fango, la parte inspessita del digerito, quasi inodore e stabilizzata (sia umida che essiccata), può trovare impiego in agricoltura come fertilizzante, in quanto contiene azoto, fosforo e potassio, essenziali per un buon concime.

Per le conversioni di tipo biochimico risultano idonee le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, patata, ortive, ecc.), i reflui zootecnici ed alcuni scarti di lavorazione (acque di vegetazione dei frantoi, ecc.), nonché la biomassa organica eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

### **Processi termochimica**

Tutti i processi termochimici iniziano con la pirolisi: ad essa possono seguire altre fasi, a seconda dei prodotti finali desiderati.

Durante la pirolisi, la olocellulosa e la lignina, (i principali componenti dei materiali lignocellulosici) danno origine a composti diversi.

La olocellulosa produce soprattutto sostanze volatili. Nella combustione diretta, esse, reagendo con l'ossigeno, sono bruciate completamente. Potrebbero essere, però, estratte come gas, o liquefatte. La lignina produce principalmente

**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



carbone di legna, unitamente a sostanze volatili. Il carbone può essere usato come tale, o ulteriormente trattato per ottenere sostanze gassose.

### ***Combustione diretta***

La combustione diretta è stata, per molto tempo, l'unico mezzo per produrre calore ad uso domestico ed industriale.

Oggi la combustione interessa non solo la legna, ma anche gli scarti forestali, la paglia, i residui dell'industria del legno (segatura, trucioli), dell'industria agroalimentare ( gusci, noccioli, ecc.), ed i rifiuti solidi urbani.

In maniera più o meno accentuata tutti questi materiali presentano caratteristiche di dispersione nel territorio, di modesto valore unitario, di grandi volumi, e di discontinuità nel tempo. Ciò pone problemi non facili (in termini economici) di raccolta, di conservazione, di pretrattamento e di distribuzione (comuni, d'altra parte, a tutte le tecnologie di conversione). Il processo di combustione permette la trasformazione dell'energia chimica intrinseca alla

biomassa in energia termica, mediante una successione di reazioni chimico-fisiche.

Quando la biomassa viene immessa in camera di combustione subisce inizialmente un'essiccazione, quindi, man mano che la temperatura aumenta si succedono processi di pirolisi, gassificazione e combustione.

Il risultato dei suddetti processi è la produzione di calore che viene recuperato mediante scambiatori di calore in cui si trasferisce l'energia termica ad altri fluidi vettori, quali aria o acqua. La quantità di energia termica fornita dalla biomassa è funzione del tipo utilizzato, della quantità di ceneri e del contenuto di umidità.

### ***Pirolisi e Gassificazione***

Le sostanze organiche con piccolo tasso di umidità (minore del 50%) ed un alto tenore di carbonio, riferito all'azoto presente (rapporto C/N maggiore di 30) possono essere impiegate nel processo di pirolisi: ad esempio: il legno, la segatura, i trucioli, le foglie, la paglia, i residui di potatura, i cascami derivanti dalla pulitura del bosco, altri residui vegetali, i rifiuti solidi urbani e quelli industriali (gomma, plastica) a carattere organico.

La scelta del materiale da impiegare per l'alimentazione del reattore di pirolisi, è legata al prodotto finale desiderato.

La composizione del legno ha molta influenza sulle caratteristiche dei prodotti ottenuti: ad esempio, la cellulosa produce acido acetico, ma non alcool metilico, mentre la lignina origina principalmente quest'ultimo, oltre che prodotti solidi.



**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



**C + O<sub>2</sub> - 95 kcal → CO<sub>2</sub>**

**C + H<sub>2</sub>O + 32 kcal → CO + H<sub>2</sub>**

**C + CO<sub>2</sub> + 41,2 kcal → 2CO**

**C + 2H<sub>2</sub>O - 9,8 kcal → CO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>**

In questa fase si dissocia anche il catrame.

Quando per la gassificazione si usa aria, il bilancio globale dei materiali può essere così espresso: 1 kg di materia vegetale secca + 0,2 kg di acqua + 2 kg di aria (composta da 0,4 kg di O<sub>2</sub> + 1,6 kg di N<sub>2</sub>) = 3,1 kg di gas povero.

Il gas è composto essenzialmente da CO, H<sub>2</sub> ed N<sub>2</sub> (introdotto con l'aria), ed ha un potere calorifico di 1100/1800 kcal/Nm<sub>3</sub>. Ricorrendo, invece, all'ossigeno si otterrà un gas privo di N<sub>2</sub>, ed avente un potere calorifico di 3000 kcal/Nm<sub>3</sub>.

In questo caso, a parità di vegetale di partenza, la quantità di gas ottenuta è di soli 1,5 kg, in quanto è assente l'azoto.

Il combustibile gassoso ottenuto è utilizzabile in motori a combustione interna o in caldaie per la produzione di energia meccanica o termica ma anche in forni di produzione, per esempio, di cementi o laterizi.

## **Biocombustibili**

Un ulteriore aspetto che riguarda le biomasse non ancora considerato riguarda i biocombustibili. La filiera dei biocombustibili bioetanolo e biodiesel riveste particolare attenzione in relazione alla individuazione di soluzioni praticabili per il contenimento dell'inquinamento causato dai combustibili fossili usati per il trasporto.

Il biodiesel deriva dalla transesterificazione degli oli vegetali effettuata con alcol metilico ed etilico. Ne deriva un combustibile simile al gasolio. Gli oli vegetali prodotti provengono da colture su terreni a set-aside di colza e girasole.

Il bioetanolo viene prodotto tramite processi di fermentazione e distillazione di materiali zuccherini o amidacei. La destinazione più considerata è il suo utilizzo nella sintesi dell'ETBE (etil-terbutil-etero), usato in miscela alle benzine come additivo ossigenato ed antidetonante in sostituzione del piombo tetraetile o degli idrocarburi aromatici.

## **Esempio di sfruttamento dei residui derivati da biomassa: pellets**

Il pellet è un'estrusione in continuo che viene suddivisa poi in tronchetti di differenti dimensioni (diametro da 6 a 12 mm altezza da 12 a 18 mm) idonei per l'alimentazione di stufe e caldaie. Si ottiene grazie all'azione di macchine pellettizzatrici che agiscono comprimendo residui legnosi di ridotte dimensioni, trucioli, segatura, corteccia, appartenenti a diverse specie legnose. La fase di

**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



compressione può essere preceduta, se necessario, da interventi di triturazione qualora il pezzame presenti dimensioni elevate, e di essiccazione.

Questo per evitare che il materiale troppo umido possa essere soggetto a riscaldamento, di conseguenza perdere di sostanza, perdere in termini di massa e contemporaneamente dare origine a incrementi nell'emissione di polvere.

I pellets sono caratterizzati da un basso contenuto di umidità, 6-10%, così come un basso contenuto di ceneri, approssimativamente 0.5%. Peculiarità del pellet, che lo contraddistingue dal legno, è quella di presentare un volume praticamente costante. Questa sua caratteristica è conseguenza del processo di formazione; la compressione di materiale fine, infatti, porta alla realizzazione di un prodotto con porosità nettamente inferiore rispetto al legno. Il pellet ha un potere calorico inferiore di circa 4200 kcal/kg, nettamente superiore rispetto agli altri combustibili d'origine legnosa.

Queste proprietà contribuiscono ad evidenziare le qualità del prodotto dal punto di vista della commercializzazione e degli spazi necessari per lo stoccaggio.

Le caratteristiche sopra descritte, insieme alla disponibilità sul mercato di tecnologie per il suo utilizzo affidabili ed efficienti, fanno del prodotto una valida alternativa ai combustibili tradizionali. Infatti le modalità di utilizzo sono paragonabili a combustibili tradizionali come il gasolio in termini di stoccaggio, alimentazione, distribuzione ed automazione del processo di combustione.

In Europa la Svezia è il più grande produttore ed utilizzatore di questa tipologia di prodotto,

che è comunque diffuso in molti altri paesi europei. In Italia l'utilizzo dei pellets è molto contenuto anche se negli ultimi anni presenta un trend di crescita decisamente positivo.

Infatti la produzione italiana è stimata intorno alle 500 tonnellate annue, decisamente non comparabile a paesi come la Svezia con produzione superiore alle 500.000 tonnellate, Danimarca (~ 150.000 ton.), Austria (~ 35.000 ton.). Attualmente in Italia si importano pellets soprattutto da Austria, Spagna e Romania.

## **Caratteristiche delle tecnologie che utilizzano biomasse a fini Energetici**

### **Tecnologie per la combustione**

Tra i vari processi di utilizzazione energetica della biomassa, la combustione è senza dubbio la più antica e la più matura.

In relazione al tipo di biomassa utilizzata quale combustibile, al contenuto di umidità presente e alla quantità di ceneri, il Potere Calorifico Inferiore (PCI) derivante dalla combustione varia nella gamma 10.500-19.000 kJ/kg.

Gli impianti che sfruttano la combustione di biomassa a scopi energetici possono essere suddivisi in due categorie:



1. Impianti per la produzione di energia termica eventualmente in cogenerazione, a partire da combustibile solido (generalmente <5-6 MWt);

2. Impianti per la produzione di energia elettrica eventualmente in cogenerazione a partire da combustibile solido o liquido (2-15 MWe);

Gli impianti appartenenti alla prima categoria sono quelli che presentano, da un punto di vista tecnico ed economico, le migliori prestazioni generali, anche in termini di potenziale risparmio energetico.

Gli schemi impiantistici, per impianti inferiori a 0,5 MW, operano nella seguente maniera:

- combustione a fiamma inversa con alimentazione manuale del combustibile;

- combustione di tipo convenzionale (o ancora a fiamma inversa) con tramoggia di alimentazione e relativo bruciatore automatico.

Mentre per impianti superiori a 0,5 MW:

- accumulo di materiale ligno-cellulosico sminuzzato a tenori di umidità molto variabili;

- prelevamento automatico del combustibile dall'accumulo o carico di tramogge con mezzi gommati;

- introduzione del combustibile in caldaia in quantità dipendente dalla temperatura dei fumi

- e dell'acqua circolante nella caldaia stessa;

- introduzione di aria comburente per mantenere un prefissato tenore di ossigeno nei fumi;

- sistema d'abbattimento del particolato con cicloni.

Le principali problematiche inerenti l'utilizzo di questi impianti riguardano:

- l'approvvigionamento del combustibile in termini organizzativi;

- l'impegno economico richiesto dai sistemi di teleriscaldamento;

- la gestione degli impianti e della vendita del calore.

Gli impianti descritti, oltre che per la produzione di calore, si prestano anche per la generazione di elettricità in piccole taglie (circa pari al 15% della potenza termica) utilizzando la tecnologia del ciclo Rankine. Si può produrre elettricità sia impiegando turbine a vapore sia utilizzando macchine OCR con fluidi organici.

Quest'ultima soluzione si basa sull'impiego, come fluido intermedio, di olio diatermico alla temperatura nominale di 300°C e sulla produzione di acqua calda direttamente dall'olio o al condensatore della macchina OCR.

La categoria di impianti del secondo tipo ha avuto una certa spinta a seguito delle agevolazioni previste dalle Leggi 9 e 10/91 e dal provvedimento CIP 6/92. Tuttavia non è ancora chiara l'effettiva penetrabilità di queste soluzioni impiantistiche.

Le diverse tecnologie di combustione della biomassa fanno riferimento a:

- combustione a griglia (fissa o mobile);

- combustione in sospensione;

**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



combustione a tamburo rotante;  
combustione a doppio stadio;  
combustione a letto fluido.

## **Tecnologie per la Gassificazione**

I dispositivi per la gassificazione si differenziano soltanto per pochi particolari costruttivi e di processo.

In genere il processo si articola in tre fasi:

Essiccamento;

Pirolisi;

Processi ossido-riduttivi.

La biomassa, al suo ingresso nel sistema, viene liberata dal suo contenuto di umidità e successivamente trasformata in vapore d'acqua, anidride carbonica, sostanze catramose, idrocarburi e residui carboniosi; le sostanze volatili, procedendo dal basso verso l'alto, subiscono un successivo processo di trasformazione combinandosi con l'aria di gassificazione e formando il gas grezzo finale.

Nel bilancio generale di processo assumono rilevante importanza le seguenti variabili:

portata oraria della biomassa;

portata oraria dell'aria;

temperatura del letto;

contenuto di umidità della biomassa;

tempo di residenza della biomassa e dei gas nel letto inerte.

A loro volta queste variabili sono influenzate dai parametri determinati per progettare un gasogeno a letto fluido:

granulometria ottimale del materiale inerte costituente il letto fluido;

velocità minima del vettore utilizzato per la fluidificazione;

altezza ottimale del letto;

dimensioni del reattore e delle apparecchiature accessorie.

## **Aspetti ambientali derivanti dall'utilizzo delle biomasse**

L'uso delle biomasse in sostituzione dei tradizionali combustibili (es. gasolio, metano) comporta importanti benefici ambientali come la sensibile riduzione della CO<sub>2</sub> immessa nell'atmosfera; in particolare gli impianti termici a biomassa, rispetto a quelli a gasolio, permettono una riduzione della CO<sub>2</sub> pari a circa 0,772 kg per Whe sostituito e pari a circa 0,33 kg per kWh sostituito. Inoltre le biomasse sono praticamente esenti da zolfo (0,01-0,15 %) e da cloro (0,01-0,1%).

I principali gas inquinanti nei fumi di un tipico impianto a biomassa sono i composti dell'azoto, dell'ossido di carbonio, degli idrocarburi incombusti, delle sostanze derivate dall'acido cloridrico e delle polveri, secondo le concentrazioni illustrate in tabella.



**Concentrazione dei gas inquinanti nei fumi di un tipico impianto alimentato a biomassa (residui legnosi)**

**Sostanza Limiti [mg/mc]**

<b>Polveri</b>	<b>&lt; 100</b>	<b>Anidride solforosa</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>&lt; 15</b>	<b>Ossidi di Azoto</b>
<b>(NO<sub>x</sub>)</b>	<b>&lt; 100</b>	
<b>(CO)</b>	<b>&lt; 100</b>	
<b>(VOC)</b>	<b>&lt; 150</b>	
<b>Ammoniaca</b>	<b>&lt; 5</b>	
<b>Cloro-Fluoro</b>	<b>&lt; 6</b>	

I composti azotati sono gli NOX e gli N<sub>2</sub>O che risultano nocivi per la salute dell'uomo poiché provocano un aumento dell'effetto serra e favoriscono la distruzione dell'ozono. La percentuale di azoto nei vegetali è in genere bassa (0,1-1,1%). La formazione di questi composti azotati è favorita in larga parte dalla alta temperatura di combustione in caldaia (temperatura della fiamma) che ossida l'azoto atmosferico contenuto nell'aria di combustione. Le emissioni possono variare da 25 a 140 mg/MJt - (25 mg/MJt = 1,5 mg di NO<sub>x</sub>/kg di combustibile).

Gli ossidi di zolfo (SOX) sono dovuti all'ossidazione dello zolfo totale contenuto nel combustibile (le emissioni possono variare da 0,1 a 30-40 mg/MJt).

Il monossido di carbonio (CO) è dovuto ad una incompleta combustione della biomassa per insufficiente ossigeno nell'aria di combustione o per tempi brevi di permanenza in camera di combustione (la quantità di emissioni può variare da 0,1 a 3 mg/MJt in impianti ben controllati e tecnicamente validi).

Gli idrocarburi incombusti sono costituiti da prodotti non completamente ossidati e la loro formazione dipende da una combustione incompleta. Anche in questo caso è necessaria una corretta regolazione dell'aria immessa in camera di combustione per contenere queste emissioni che, in genere, sono molto contenute (1 mg ogni kg di combustibile).

I composti del cloro (acido cloridrico, cloruro di ammonio, di calcio e potassio), sono presenti in piccolissima parte (circa 0,5 mg/kg); il fenomeno va in ogni caso tenuto sotto controllo.

La riduzione di questi inquinanti, variabile anche in rapporto alle caratteristiche fisico chimiche della biomassa impiegata, può essere attuata attraverso una razionale progettazione e gestione degli impianti termici, dove particolare cura andrà rivolta alla regolazione della quantità di aria di combustione immessa in caldaia, al mantenimento di una giusta temperatura di combustione ed al tempo di combustione.

Il particolato solido è costituito per lo più da cenere, fuliggine e inquinanti organici formati, anche in questo caso, da fenomeni di combustione incompleta ed è emesso all'esterno attraverso il trascinarsi da parte dei fumi.

Queste particelle di particolato, che possono assorbire sostanze più o meno nocive quali i residui della combustione, sono emesse in quantità variabili da poche decine di mg/kg di combustibile a qualche centinaio di mg/kg. Sono necessari pertanto opportuni sistemi di filtraggio dei fumi come:

- **la camera a gravità**; il principio di funzionamento è la precipitazione delle particelle per gravità. Permette l'abbattimento di particelle di dimensioni

**Green Energy Sabina** ATS

**Sede Operativa**

Via degli Achi, 1 02049 Torri in Sabina (RI)

Tel. **0765.62370** Fax. 0765.602965

e-mail [greenenergysabina@hotmail.it](mailto:greenenergysabina@hotmail.it)

[www.greenenergysabina.it](http://www.greenenergysabina.it)



comprese fra 50 e 10 m, in relazione alla loro densità (concentrazione nei fumi);

- **il ciclone centrifugo**; il principio di funzionamento è basato sulla forza centrifuga che tende a separare il particolato dal gas. La sua efficienza di abbattimento è del 90% circa

per particelle con diametro superiore a 25  $\mu$ m e del 60% circa per particelle con diametro superiore a 6  $\mu$ m. Sistemi avanzati multiciclonici permettono l'abbattimento di particelle con diametro inferiore 3-5  $\mu$ m.

- **i filtri porosi**; diffusi sono quelli a manica (filtri in tessuto) che possono raggiungere l'efficienza del 99% per particelle con diametro inferiore a 1  $\mu$ m; hanno elevate perdite di carico, richiedono frequenti pulizie e non possono essere usati per fumi con temperatura superiore a 250°;

- **i filtri elettrostatici**; il principio di funzionamento si basa sull'attrazione da parte di elettrodi di polarità opposta di particelle cariche. Hanno un'alta efficienza di raccolta (90- 95% per particelle con diametro pari o superiore a 1  $\mu$ m), elevata capacità di trattamento volumetrico, bassi consumi di energia, basse perdite di carico.