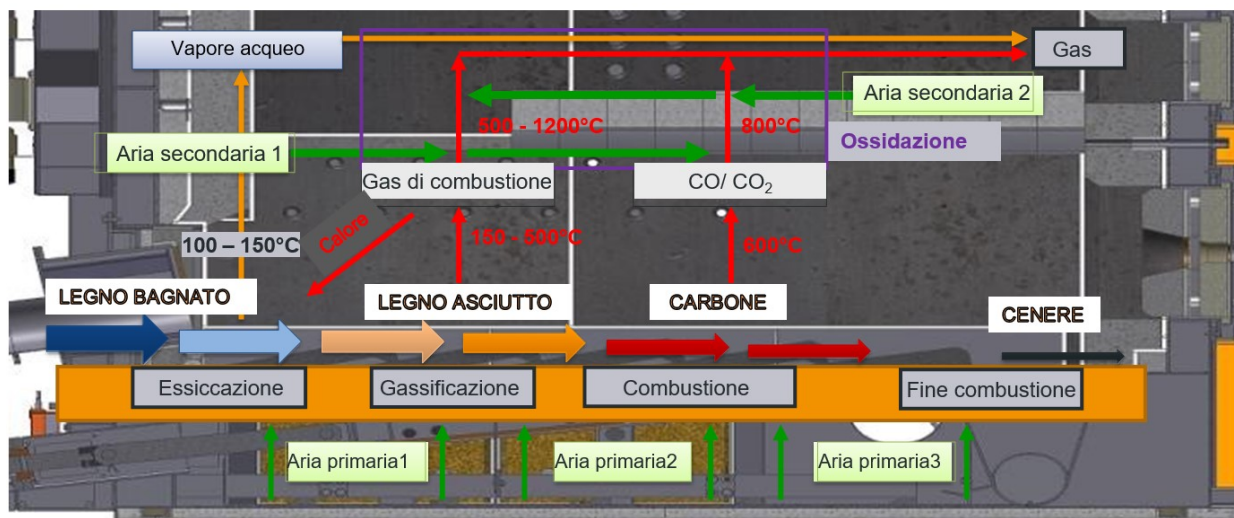


## Processo di combustione

Il processo di combustione può essere sostanzialmente descritto attraverso i seguenti stadi intermedi successivi:

- riscaldamento del combustibile attraverso l'irradiazione della fiamma, del letto di braci e delle pareti della camera di combustione
- essiccazione del combustibile attraverso l'evaporazione e il rilascio dell'acqua che avviene a partire da 100 °C
- decomposizione pirolitica della s.s. del legno per effetto della temperatura a partire da 150 °C
- gassificazione della s.s. del legno con ossigeno e formazione di gas combustibili (CO e CnHm) e carbone solido (da ca. 250 °C)
- gassificazione del carbone solido con CO<sub>2</sub>, vapore d'acqua e O<sub>2</sub> e formazione di CO (da ca. 500 °C)
- ossidazione dei gas combustibili con ossigeno e produzione di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O nell'ambito di un intervallo di temperature comprese tra 700 e 1400 °C (reale) fino a ca. 2000 °C (teorica)
- trasferimento del calore della fiamma allo scambiatore e in seguito al nuovo combustibile in ingresso.



Il legno è dapprima riscaldato attraverso l'irradiazione della fiamma, del letto di braci e delle pareti della camera di combustione, ma anche attraverso convezione e conduzione termica di calore nel combustibile.

L'evaporazione dell'acqua di imbibizione e saturazione inizia a partire da 100 °C. A questo punto procede il fronte d'essiccazione dall'esterno all'interno del legno; la velocità di tale fronte è funzione della capacità di conduzione di calore, ovvero della massa volumica del legno.

Non appena essiccate le particelle del combustibile, inizia la decomposizione pirolitica del legno, indotta dall'aumento di temperatura. Avviene così la rottura dei composti a catena lunga (nel legno per lo più la cellulosa) trasformati in composti a catena corta, da cui si formano gas combustibili quali il CO, gli idrocarburi carboniosi in forma gassosa e gli oli pirolitici (catrami). Questo processo non richiede O<sub>2</sub> perché utilizza quello messo a disposizione dalla rottura dei legami chimici causata dalla reazione di ossidazione, nel corso del rilascio del calore disponibile. Si tratta quindi dell'O<sub>2</sub> immagazzinato in forma chimica che nel legno è ca. il 44% della s.s., oltre a quello messo a disposizione dall'immissione di aria comburente. Per mantenere attivo il processo di gassificazione del legno ed ottenere la potenza termica voluta, è fornita nella zona della decomposizione pirolitica (letto di braci) aria-ossigenata chiamata "aria primaria". Nella fase di gassificazione è fornito il calore necessario alla reazione (incompleta) dei prodotti pirolitici gassosi, in presenza di ossigeno. Per permettere che i prodotti pirolitici solidi e gassosi (carbone, catrami) possano essere aggrediti è necessario arrivare ad una temperatura superiore ai 500 °C. Sotto l'effetto dell'aria ossigenata qui iniettata ("aria

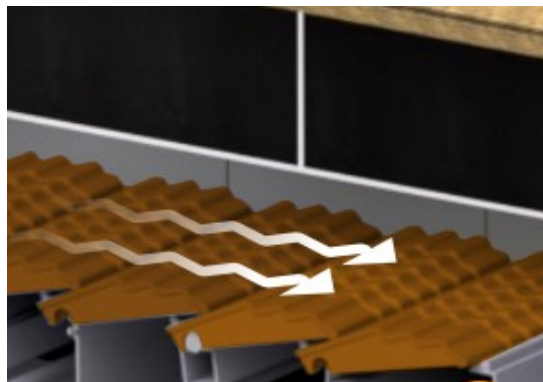
secondaria”), avviene una più o meno completa ossidazione dei prodotti gassosi liberati quali il CO e CnHm, da cui, attraverso la formazione di prodotti intermedi (es. idrogeno), si formano CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Dalla decomposizione degli idrocarburi carboniosi si forma CO come prodotto intermedio, che è poi ossidato formando CO<sub>2</sub>. In questa fase la combustione è auto-catalizzata ed esotermica (libera calore) e irradia luce e calore dalla fiamma. Le reazioni d’ossidazione forniscono così l’energia ai prevalenti processi endotermici di riscaldamento, essiccazione e decomposizione pirolitica.

Oltre che dalla caratteristica “fiamma viva”, l’ossidazione del legno è altrettanto significativa anche nella fase di “fiamma lenta”. Questa forma d’ossidazione si presenta nello stadio finale dei processi di combustione e genera quali prodotti finali della decomposizione pirolitica carbone solido (degassificazione residua) che è dapprima gassificato sul letto di braci e alla fine ossidato nella fase gassosa. Quale residuo solido della combustione rimangono le ceneri.

Il fenomeno del fuoco scoppiettante nel corso della combustione è ben conosciuto; esso avviene a causa dell’esplosione delle cellule sottoposte a pressione durante l’innalzamento della temperatura. Tale pressione è particolarmente elevata nei legni ricchi di resina, poiché le resine a partire da ca. 60 °C rammolliscono e vanno così ad ostruire nel legno le vie radiali di fuoriuscita del vapore d’acqua.

### **Tecnica della combustione**

L’introduzione del combustibile sulla griglia del focolare avviene mediante spintore idraulico. La griglia mobile trasporta il combustibile, e relativi prodotti non volatili sopra descritti, orizzontalmente attraverso la zona di combustione primaria del focolare e fino al sistema di rimozione cenere. La griglia mobile piana di nuova concezione trasporta in modo uniforme il combustibile attraverso le zone di combustione mediante un movimento di sollevamento continuo. I barrotti di griglia garantiscono una fuoriuscita uniforme dell’aria primaria grazie a una disposizione frontale delle aperture di fuoriuscita dell’aria e una sovrapposizione laterale. La griglia è dotata di depositi in ghisa grigia resistente all’usura, a scelta anche con barrotti di griglia in acciaio alto legato.

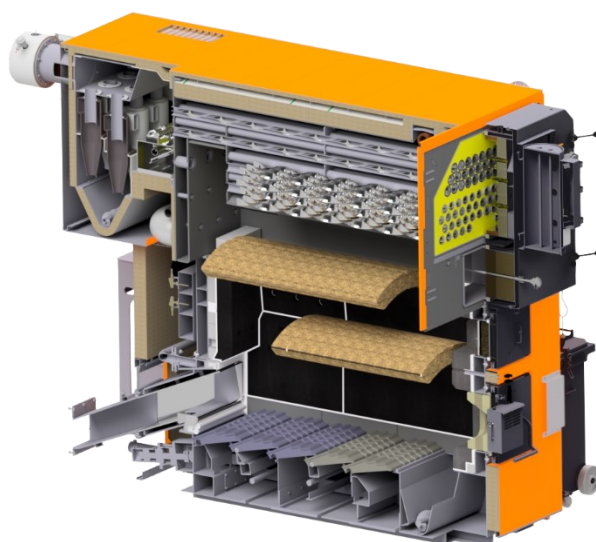


La griglia di combustione ha velocità e movimento regolabile. In particolare, la movimentazione non è intermittente ma continua e lentissima in funzione di molteplici parametri impostati. La movimentazione è affidata a un pistone oleodinamico esterno alla camera di combustione.

L’aria primaria viene convogliata sotto la griglia e miscelata con i fumi di ricircolo.

L’introduzione dell’aria secondaria avviene con una serie di ugelli annegati nei refrattari della camera di combustione, in modo da imprimere un moto turbolento. In questo modo viene assicurata la massima miscelazione dei vari gas per una combustione più completa con il minimo eccesso d’aria.

I gas fumo nascenti percorrendo i vari condotti con velocità adeguata, investono lo scambiatore (caldaia) raffreddandosi e cedendo calore al fluido primario. Il ventilatore a giri variabili in aspirazione convoglia i gas di scarico all’impianto di depurazione e filtraggio fumi. Anche il ventilatore viene comandato dalla logica di controllo e comando.

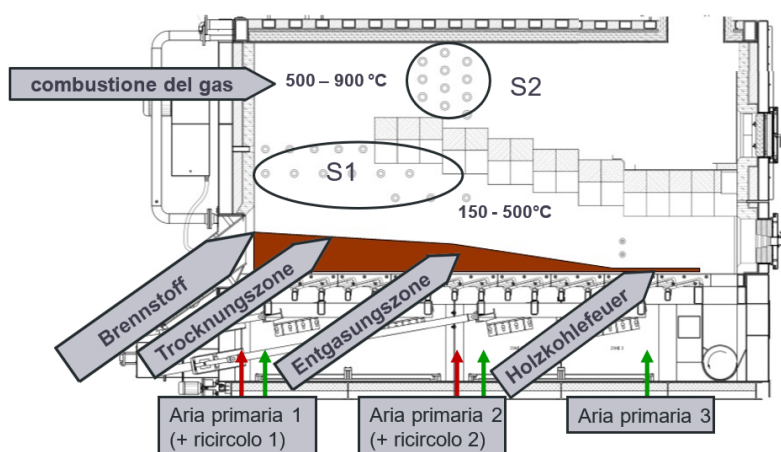


Per ottenere un elevato rendimento e un basso livello di emissioni nocive, la tecnica costruttiva degli apparecchi di combustione Schmid tiene in considerazione le differenti caratteristiche qualitative dei biocombustibili solidi.

La completa e ottimale combustione del legno viene assicurata mediante:

- fornitura di un mezzo di ossidazione (aria) in eccesso
- raggiungimento di un sufficiente tempo di permanenza della miscela gas combustibili-aria comburente nella zona di reazione
- raggiungimento di una temperatura di combustione sufficientemente elevata
- garanzia di una buona miscelazione dei gas combustibili con l'aria comburente attraverso un'elevata turbolenza.

Su tali basi vengono regolate sia la potenza che la combustione, mantenendo separate la zona di decomposizione e gassificazione del combustibile solido - indotte con aria primaria nel letto di braci - dalla zona di ossidazione dei gas - favorita dall'iniezione di aria secondaria nella seconda camera di combustione. Entrambi i flussi d'aria devono essere separatamente regolabili. L'aria primaria influenza la potenza del focolare mentre l'aria secondaria è responsabile principalmente della completa ossidazione dei gas combustibili. Nella zona di combustione secondaria sono raggiungibili elevate temperature.



Il sistema di gestione della combustione Schmid permette di gestire e monitorare la quantità di ossigeno residuo nei fumi:

$\lambda < 1$  - Difetto d'aria

Pericolo di deflagrazione se l'O<sub>2</sub> nella camera di combustione aumenta improvvisamente, ad esempio a causa dell'apertura di una porta di ispezione

$\lambda = 1$  - Rapporto stechiometrico

Tutti gli atomi/molecole reagiscono completamente. Combustione ideale e massima temperatura di combustione

$1 > \lambda$  - Eccesso d'aria

Necessario per sistemi di combustione a biomassa, raffreddamento della camera di combustione per eccesso di O<sub>2</sub> e riduzione del rischio di deflagrazione (funzionamento più sicuro)

Troppo poca aria secondaria:

- Combustione incompleta del gas di legna
- Sostanze inquinanti nei gas di scarico

Troppo aria secondaria:

- Raffreddamento della camera di combustione
- Il CO non brucia completamente (500 – 700°C per 1 sec.)
- Troppo O<sub>2</sub> nei gas di scarico
- Perdita di calore per eccesso di gas di scarico

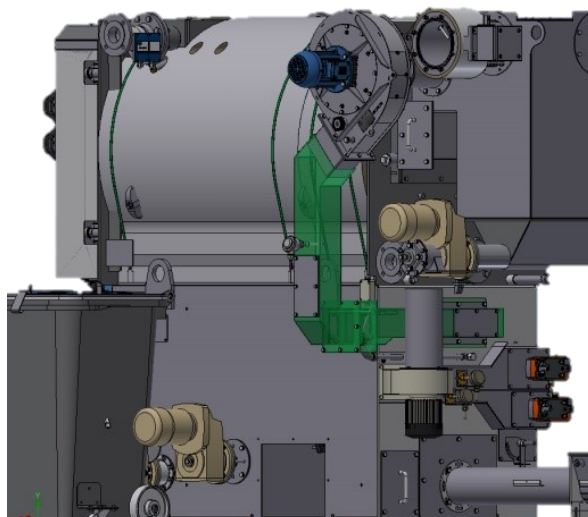
Troppo poca aria primaria:

- potrebbe esserci materiale incombusto/carbone nella cenere. Di conseguenza, le prestazioni non vengono raggiunte e/o i valori di emissione non vengono raggiunti.

Attraverso una buona miscelazione dei gas combustibili con aria comburente e una elevata temperatura di combustione, l'eccesso d'aria può essere mantenuto quanto più basso possibile, per ottenere così un ottimale processo di combustione.

Un più basso eccesso d'aria è anche un presupposto per l'impiego di combustibili umidi. In questo caso il fabbisogno di energia per la vaporizzazione dell'acqua abbassa il livello di temperatura nel focolare e in aggiunta a questo, il vapore formato, aumentando il volume del flusso dei gas di scarico determina un ulteriore prelievo di energia dalla zona calda. Con l'ottimizzazione dell'eccesso d'aria è assicurata una sufficiente temperatura di combustione evitando inutili perdite di calore del focolare.

Il sistema Schmid è studiato e sviluppato per sviluppare una eccellente combustione anche in presenza di combustibili secchi. Per rendere il generatore adatto alla combustione di ogni tipologia di biomassa, viene installato un sistema di ricircolo dei gas combustibili.

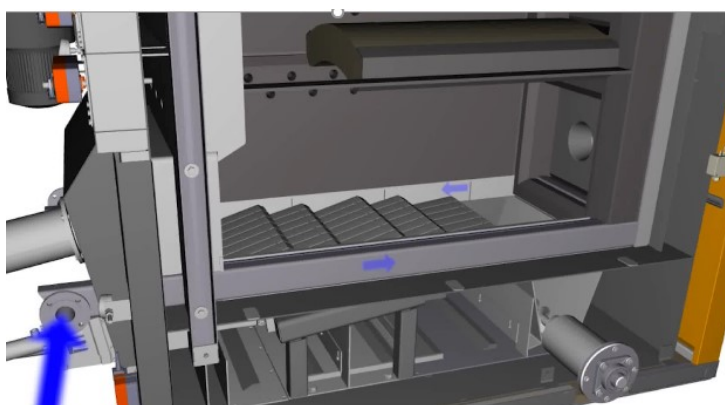


Il sistema ricircola parte dei fumi nella zona dell'aria primaria. Ciò riduce la temperatura della camera di combustione. La quantità di flusso parziale è regolata in funzione della temperatura di combustione e della potenza della caldaia.

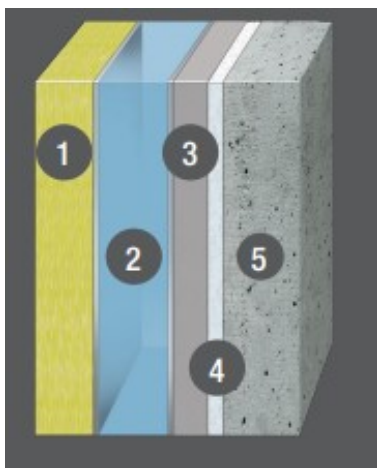
Soluzione ideale per combustibili difficili che tendono a formare clinker a causa del basso punto di fusione delle ceneri e come sistema di protezione delle pareti e di altri componenti da temperature eccessivamente elevate e quindi una maggiore durata

Attraverso il miglioramento dell'ossidazione dei gas nella seconda camera di combustione si riduce anche la formazione di catrami e il deposito di fuliggine sulla superficie di scambio con il vettore termico.

I sistemi di raffreddamento della griglia consentono di lavorare senza eccessi di aria primaria impiegata come aria di raffreddamento.



Il contenimento delle perdite termiche per radiazione avviene attraverso l'isolamento delle zone di combustione primaria e secondaria con appositi rivestimenti (cemento refrattario).



1 - Isolamento termico della camera di combustione (100 mm) con lamiera di rivestimento esterna

2 - Intercapedine fra le due pareti d'acciaio raffreddata ad aria per ridurre le perdite di irradiazione e preriscaldare l'aria per la combustione

3 - Lastra termoisolante resistente alle alte temperature (60 mm)

4 - Lastra in fibra di ceramica refrattaria rivestita con pellicola di alluminio (13/25 mm)

5 - Muratura in refrattario (115-150 mm)

Il cemento refrattario viene fissato alla struttura di acciaio della camera di combustione mediante ancoraggi resistenti al calore. Il cemento refrattario ha densità e resistenza al calore elevate e viene gettato a sezioni. Giunti di dilatazione fra le sezioni ne compensano l'espansione in caso di oscillazioni della temperatura. La struttura in lamiera di acciaio è protetta dal surriscaldamento mediante una lastra in fibra di ceramica e una lastra termoisolante resistente alle alte temperature poste dietro il cemento refrattario. Il rivestimento pneumatico della caldaia riduce le perdite di irradiazione e le emissioni di rumore.

## **Potere calorifico e gestione delle ceneri**

Il potere calorifico di un combustibile esprime la quantità di energia che può essere ricavata dalla combustione completa di un'unità di peso.

Il contenuto idrico del legno modifica – riducendolo – il potere calorifico del legno.

Parte dell'energia liberata nel processo di combustione è infatti spesa per l'evaporazione dell'acqua e quindi non è disponibile per l'uso termico desiderato.

L'evaporazione dell'acqua «consuma» 2,44 MJ ogni kg di acqua, pertanto si distinguono: potere calorifico inferiore: l'acqua liberata è considerata allo stato di vapore, ovvero è stata sottratta l'energia termica necessaria all'evaporazione dell'acqua (calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 25°C); potere calorifico superiore: nel prodotto della combustione si considera l'acqua allo stato liquido.

Quando non precisato, per “potere calorifico” si intende il potere calorifico inferiore.

Il potere calorifico anidro (pc0) del legno delle diverse specie legnose varia molto poco, tra 18,5 e 19 MJ/kg. Nelle conifere è di circa il 2% superiore a quello delle latifoglie. La differenza è dovuta in particolare al maggiore contenuto di lignina delle conifere e in parte anche al maggior contenuto di resine, cere ed oli. Il potere calorifico (anidro) della lignina (26-27 MJ/kg) è superiore rispetto a quello della cellulosa (17,2-17,5 MJ/kg) e delle emi-cellulose (16 MJ/kg). Una certa variabilità del pc0 è dovuta anche alla lieve variazione del contenuto di idrogeno (H) e da quella più marcata del contenuto di ceneri.

Considerando anche i biocombustibili agricoli, l'intervallo di variazione del pc0 varia invece tra 16,5 e 19 MJ/kg. I combustibili legnosi hanno un pc0 mediamente superiore del 9% rispetto alle erbacee il cui pc0 varia tra 16,5 e 17,5 MJ/kg.

## **Contenuto di cenere e punto di fusione**

Tra i biocombustibili solidi il legno, esclusa la corteccia, è quello che presenta il minor contenuto di cenere, mentre i biocombustibili agricoli sono caratterizzati tipicamente da valori elevati.

Durante la combustione, sul letto di braci, si hanno delle modificazioni fisiche delle ceneri; con l'aumento della temperatura esse prima rammolliscono fino a giungere alla completa fusione delle particelle. L'uso di combustibili con basse temperature di fusione delle ceneri aumenta il rischio di formazione di scorie di fusione sulla griglia. Le scorie di fusione disturbano il processo di combustione alterando i flussi di aria primaria e favorendo il surriscaldamento della griglia e i fenomeni corrosivi.

Le problematiche legate alla formazione delle scorie possono essere gestite e risolte agendo ad esempio sul raffreddamento della griglia, sul ricircolo dei fumi, inserendo sistemi meccanici di pulizia automatica (griglie autopulenti) o - nel caso dei cereali - con l'uso di additivi a base di calcio\*.

Il legno e la corteccia hanno un punto di fusione relativamente elevato (1.300-1.400°C) mentre nelle erbacee è inferiore ai 1.000°C, perciò possono formarsi facilmente scorie durante la combustione. Nel caso dei cereali (granella) il punto di fusione è inferiore ai 750°C, risultando così particolarmente critico. Per i motivi sopra elencati, i biocombustibili agricoli presentano maggiori criticità rispetto al legno e devono essere impiegati solo in specifici apparecchi di combustione.

## **Caratterizzazione e riferimenti normativi per la gestione delle ceneri**

Le ceneri si distinguono in:

- Ceneri pesanti o sotto griglia (bottom ash)

È la frazione più consistente delle ceneri che si accumulano al di sotto della griglia della caldaia e sono convogliate in un serbatoio di accumulo.

La loro massa volumica è di 1,3 t/m<sup>3</sup>.

- Ceneri fini o volanti (fly ash)

Sono le ceneri che derivano dalla pulizia dei fumi e si possono a loro volta distinguere in:

- ceneri leggere da multiciclone;
- ceneri fini da elettrofiltro, filtro a manica e filtro a condensazione. La massa volumica è 0,8-0,9 t/m<sup>3</sup>

### **Composizione chimica delle ceneri**

componenti che più hanno un impatto ambientale (piombo, cadmio e zinco) sono quelli relativamente più volatili che si accumulano prevalentemente nelle ceneri fini

### **Riferimenti normativi per la gestione**

La gestione delle ceneri da biomassa è disciplinata dalla parte IV del D.lgs. n. 152/2006 (Norme in materia ambientale) che le classifica come “rifiuti speciali non pericolosi” nella categoria rifiuti inorganici provenienti da processi termici.

Il codice CER [10.00.00] è distinto in:

ceneri pesanti [10.01.01]

ceneri leggere [10.01.03]

Possono essere impiegate solamente le ceneri di legna non trattata con vernici o solventi o prodotti chimici in generale. Il concetto di “rifiuto speciale non pericoloso” introduce la possibilità di sottoporre tali materiali a procedure semplificate.

L’attuale orientamento sia della legislazione comunitaria che nazionale nella gestione dei rifiuti prevede, laddove possibile, il recupero di materia ed energia ed impone il conferimento solo come ultima scelta.

Se classifichiamo la cenere non come rifiuto ma come “sottoprodotto”, possiamo considerare di escludere la necessità/obbligo di avviarla allo smaltimento.

### **Recupero del sottoprodotto**

Le possibilità di recupero sono indicate nell’All. 1 e successive modifiche introdotte dal D.M. 186/2006, denominato «Recupero di materia con procedura semplificata» qui di seguito riportate:

- a) produzione di conglomerati cementizi, utilizzo in cementifici o industria dei laterizi (13.2);
- b) Produzione di compost (16.1);
- c) Produzione di fertilizzanti: essi devono, essere conformi alla L. 19 ottobre 1984, n. 748 (18.1);
- d) Recupero ambientali. Il recupero è subordinato all’esecuzione di test di cessione del rifiuto, secondo il modello e le modalità descritte in allegato al D.M. medesimo.

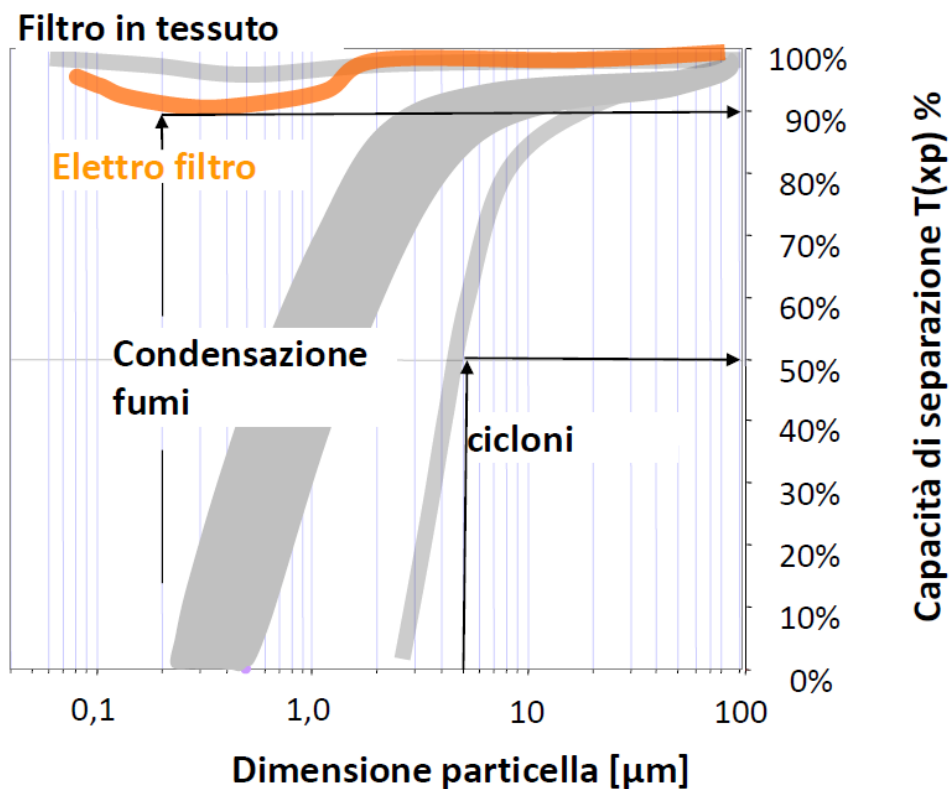
Un ulteriore riferimento normativo per il riutilizzo delle ceneri è il D.lgs. 220/95 che ha recepito il reg. CEE 2092/91 sull’utilizzo di “prodotti per la concimazione e l’ammendamento impiegabili in agricoltura biologica”, il quale indica tra questi l’uso di cenere di legno vergine.



## Distribuzione della massa delle particelle di polvere volatile nei gas di scarico dei sistemi a biomassa

Il precipitatore elettrostatico a secco SaveEnergy è un separatore ad alta capacità sviluppato con l'obiettivo specifico di ottenere costi operativi minimi e la massima efficienza di separazione con una efficienza fino al 99%.

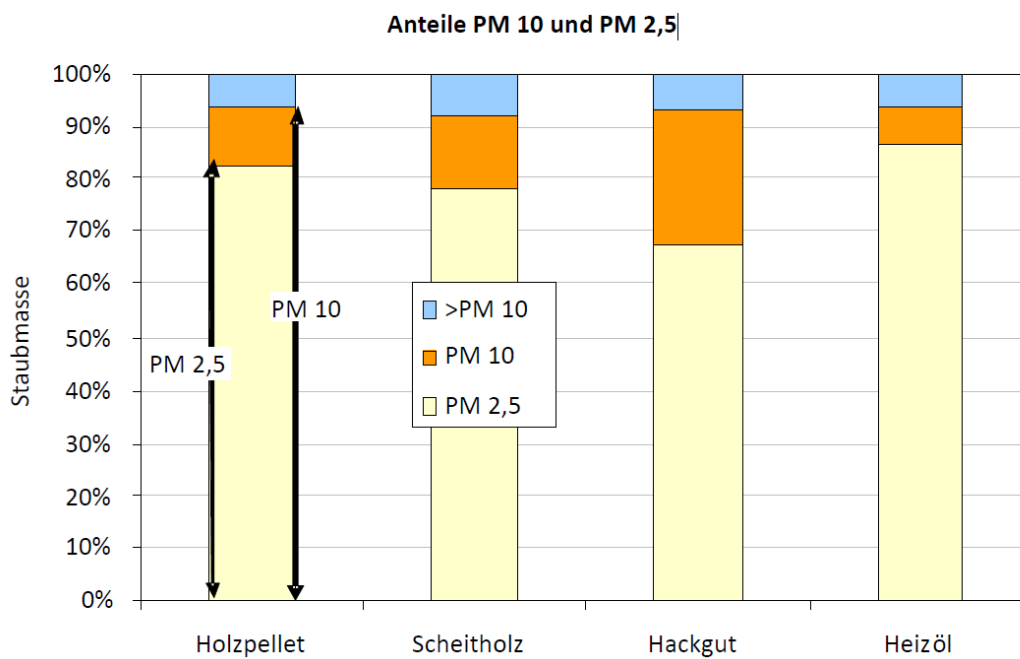
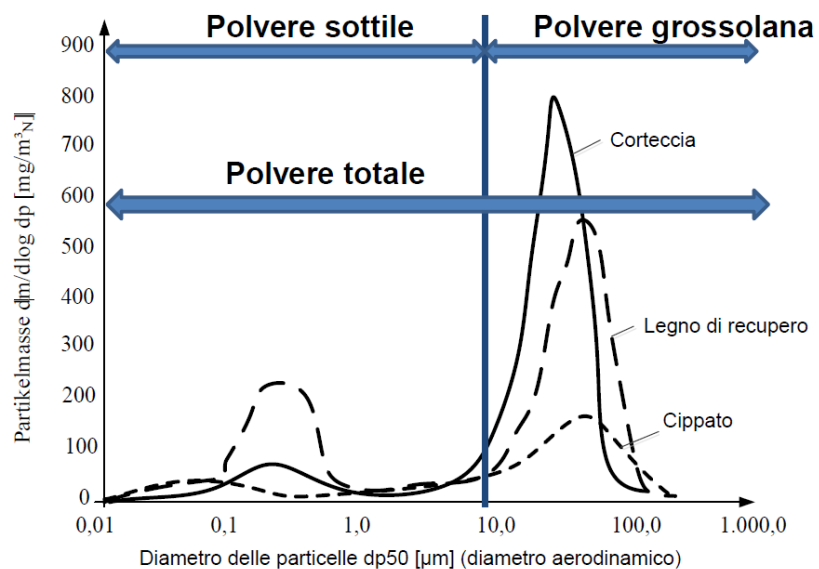
### Separatori della polvere a confronto



Il precipitatore elettrostatico a secco Save Energy è progettato come separatore a piastre. In corrispondenza degli elettrodi di scarica viene generato un campo ad alta tensione. Un'elevata intensità di campo viene creata direttamente attorno agli elettrodi di scarica. In questa zona attiva, gli elettroni liberi sono fortemente accelerati (scarica di gas). Questa cosiddetta ionizzazione è associata a un leggero bagliore, noto come corona. La scarica corona alle estremità degli elettrodi di scarica crea ioni di gas che aderiscono alle particelle di polvere e conferiscono loro una carica elettrica.

Le particelle cariche vengono quindi aspirate nella camera di separazione attraverso la quale scorre il gas e trasportate, attraverso la direzione del flusso di gas, tra gli elettrodi di scarica e di raccolta alle piastre di raccolta elettricamente collegate a terra (anodi), e quindi separate dal gas flusso. Questo flusso, che si sposta dalla zona attiva attraverso la zona passiva all'elettrodo collettore, è noto come "vento elettrico".

Le particelle separate formano uno strato di polvere sulle piastre di raccolta. Poiché le piastre di raccolta sono collegate a terra, le particelle di polvere perdono la loro carica e possono essere rimosse meccanicamente.



Il filtro elettrostatico Save Energy garantisce i migliori valori di emissioni possibili, 15  $\text{mg/Nm}^3$  al 6 % $\text{O}_2$ , ovvero 10  $\text{mg/Nm}^3$  all' 11 % $\text{O}_2$ .