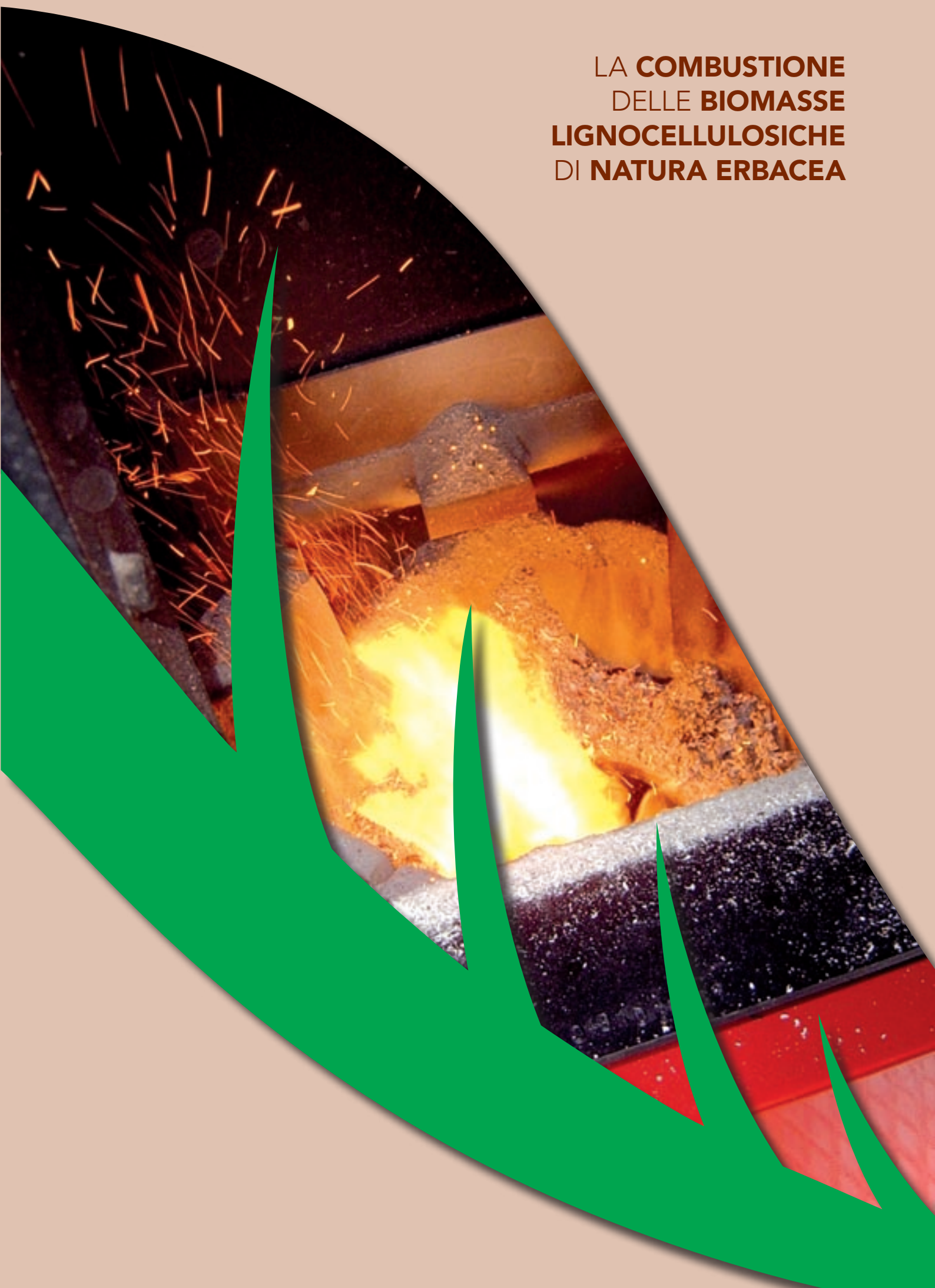


LA **COMBUSTIONE**
DELLE **BIOMASSE**
LIGNOCELLULOSICHE
DI **NATURA ERBACEA**



6. LA COMBUSTIONE DELLE BIOMASSE LIGNOCELLULOSICHE DI NATURA ERBACEA

La valorizzazione energetica delle biomasse lignocellulosiche in questi ultimi anni ha evidenziato un deciso miglioramento tecnologico, in particolare per le caldaie a cippato ed a pellet, che si è espresso sia in un aumento del grado di efficienza degli impianti (negli ultimi 25 anni, il rendimento medio di un impianto a legna è passato dal 50-60% ad oltre il 90% nei modelli più evoluti³), sia in un miglioramento del fattore di emissione (sono state letteralmente abbattute le emissioni di CO e polveri), oltre che ad un incremento del livello di affidabilità e di confort di utilizzo.

Lo sviluppo tecnologico delle caldaie si è focalizzato nell'utilizzo quale combustibile delle biomasse legnose; a tal scopo sono state sviluppate diverse tecnologie di combustione che hanno permesso di sfruttare efficacemente ed efficientemente le potenziali tipologie di biomasse legnose disponibili sul mercato, le quali si differenziano, in particolare, per il contenuto idrico ed il contenuto in ceneri.

Solo ultimamente sul mercato sono state presentate delle soluzioni tecnologiche certificate per la combustione delle biomasse erbacee (in particolare il miscanto) di piccola e media potenza (al di sotto del MW termico), alla luce della richiesta sempre più elevata di diversificazione delle fonti di approvvigionamento dei biocombustibili, dell'interesse sempre più marcato per le colture energetiche erbacee poliennali e della volontà di sviluppare modelli di filiere agro-energetiche sostenibili alla piccola scala.

La motivazione del ritardo nella presentazione di specifici modelli adatti alla combustione di biomasse più "difficili", quali quelle erbacee, oltre che nell'inerzia del mercato, è da ricercare nella necessità di uno sviluppo tecnologico innovativo degli impianti di piccola e media potenza, legato in particolare alla realizzazione di specifiche camere e griglie di combustione che garantiscono elevate prestazioni in termini di efficienza, automazione e costi di gestione limitati.

Segue una breve ed assolutamente non esaustiva presentazione delle tecnologie di combustione di piccola e media potenza, presenti attualmente sul mercato, e delle potenziali difficoltà operative in cui si può incorrere nel caso di combustione di biomasse erbacee.

³ BLT Wieselburg, 2005.

6.1 Gli impianti per la combustione delle biomasse

La descrizione delle diverse tecnologie di combustione e delle relative soluzioni impiantistiche necessiterebbe di pubblicazioni dedicate. Sinteticamente è possibile suddividere le caldaie a cippato in due categorie: quelle "a griglia fissa" e quelle "a griglia mobile" (e *semimobile*).

Le caldaie a griglia fissa sono generalmente di piccola e media potenza (Figura 6.1), alimentabili con biocombustibili (cippato o pellet) con un contenuto idrico che non può superare il 30-35%: l'utilizzo di cippato umido può comportare malfunzionamenti di vario tipo sino al blocco della caldaia. Questi sistemi, relativamente semplici, sono adatti alla combustione di biomasse con un basso contenuto in ceneri. Inoltre, stante la limitata potenza, questi impianti sono caratterizzati da coclee di alimentazione di dimensioni molto ridotte, quindi deve essere evitato il cippato di grandi dimensioni o filamentoso (si pensi al trinciato di sarmenti di vite), per evitare pericoli di blocchi del sistema.

Figura 6.1: caldaia a cippato a griglia fissa.



Le caldaie a griglia mobile sono generalmente caratterizzate da grandi potenze e da una maggiore complessità tecnologica e strutturale (Figura 6.2). Questi impianti sono alimentabili con biomasse di varia natura, sia per quanto riguarda il contenuto idrico (con valori massimi del 60%, alla luce della graduale essiccazione della biomassa in camera di

combustione) che la pezzatura (può essere grossolana e disomogenea, in relazione al diverso sistema di carico del combustibile, come coclee molto grandi, spintori o nastri trasportatori). Il principio di funzionamento si basa sul movimento delle sezioni della griglia (barre in leghe di acciaio) che comporta lo spostamento della biomassa lungo la griglia e quindi il progressivo essiccamento, sino alla completa combustione; le ceneri vengono rimosse automaticamente dal movimento stesso della griglia.

Figura 6.2: caldaia a cippato a griglia mobile (Uniconfort).



Negli ultimi anni, stante la versatilità del sistema di combustione a griglia mobile, le aziende costruttrici di caldaie si sono cimentate nello sviluppo di modelli anche di piccola potenza, allargando quindi il panorama di biomasse potenzialmente utilizzabili per le piccole utenze, e dando via di fatto al potenziale sviluppo di filiere agro-energetiche locali, basate sulla coltivazione di colture energetiche di natura erbacea o l'utilizzo di biomasse residuali.

Lo sviluppo delle griglie mobili negli ultimi anni ha portato alla ricerca di soluzioni intermedie, dando luogo alla realizzazione di caldaie con sistemi a griglie vibranti e/o ribaltabili (Figura 6.3); questi sistemi consentono una maggiore elasticità di utilizzo dell'impianto termico, in grado di essere alimentato anche con biocombustibili con un contenuto idrico sino al 40% e con elevati contenuti in ceneri, come possono essere le biomasse di natura erbacea. I vantaggi delle griglie vibranti si riscontrano nella miglior

capacità di gestire la biomassa all'interno della camera di combustione rispetto alla griglia fissa, e nelle minori parti in movimento rispetto a quelle mobili (minori costi di manutenzione); la combustione con questa tecnologia è comunque meno efficiente rispetto alla griglia mobile.

Figura 6.3: esempi di caldaie certificate per la combustione del miscanto, con sistema a griglia vibrante (Froling) ed a griglia ribaltabile (ETA).



6.2 Le principali problematiche nella combustione delle biomasse erbacee

Lo sviluppo e la diffusione della filiera "biomasse erbacee – energia" trova nella fase di valorizzazione energetica uno dei suoi principali ostacoli. In particolare, la combustione delle biomasse erbacee presenta alcune difficoltà tecniche correlate alle peculiari caratteristiche chimico-fisiche di biocombustibile, ed in particolare:

1. la bassa densità energetica;
2. l'elevato contenuto in ceneri;
3. la diversa composizione chimica.

Le biomasse erbacee hanno generalmente un potere calorifico più basso rispetto a quelle legnose e quindi una minor densità energetica. Questo aspetto può essere superato mediante la densificazione della biomassa (es. imballatura, pellettizzazione, bricchettatura), operazione che può risultare onerosa in termini economici ed energetici, ma che consente di abbattere decisamente i costi di movimentazione e stoccaggio del biocombustibile.

L'elevato contenuto in ceneri ed il maggior contenuto di alcuni microelementi (N, K, Cl, S, ecc.) possono invece comportare severi problemi nell'impiego in tradizionali sistemi di combustione, specificamente studiati per la combustione di biomasse legnose.

N.B.

La pellettizzazione consente di aumentare notevolmente la densità volumetrica ed energetica del biocombustibile, permettendo una ragguardevole riduzione dei costi correlati allo stoccaggio ed alla movimentazione. Il prodotto densificato si presta, inoltre, all'utilizzo in sistemi automatizzati di carico del biocombustibile in caldaia.

Per contro, una delle condizioni affinché il processo di pellettizzazione sia economicamente sostenibile è la realizzazione nell'ambito di impianti di grandi dimensioni (nell'ordine delle t/h), con cicli produttivi di tipo industriale.

L'elevato contenuto in ceneri della biomassa erbacea rispetto a quella legnosa, anche 10 volte superiore, può determinare problematiche per quanto riguarda la gestione ordinaria ed il confort di utilizzo di un impianto termico. Sono infatti necessari un maggior numero di interventi per l'estrazione delle ceneri dal box di raccolta e per l'aumentato potenziale rischio di formazione di scorie e depositi nella camera di combustione e sugli scambiatori di calore. L'applicazione di una sezione di estrazione automatica delle ceneri dalla camera di combustione e di pulizia automatica

degli scambiatori di calore mediante turbolatori può consentire di superare questa problematica.

Il maggior contenuto in ceneri determina quindi un maggior onere economico da sostenere sia per l'acquisizione di un impianto termico più complesso (in termini di tecnologia necessaria per l'estrazione automatica delle ceneri e pulizia delle varie sezioni dell'impianto), sia per lo smaltimento finale delle ceneri che, ad oggi, sono considerate un "rifiuto speciale non pericoloso".

Riferimenti normativi per la gestione delle ceneri

La gestione delle ceneri da biomassa è disciplinata dalla parte IV del d.lgs. 152/2006 (Norme in materia ambientale) che le classifica come "rifiuti speciali non pericolosi" nella categoria rifiuti inorganici provenienti da processi termici. In quanto tali, il conferimento in discarica è solamente l'ultima scelta attuabile per il loro smaltimento; esistono infatti procedure semplificate che consentono il recupero delle ceneri, classificandole di fatto come un sottoprodotto.

In sintesi, le potenziali possibilità di recupero sono:

- produzione di conglomerati cementizi, utilizzo in cementifici o industria dei laterizi;
- produzione di compost;
- produzione di fertilizzanti;
- recuperi ambientali.

Si rimanda al d.lgs. 152/2006 e al D.M. 186/2006 per maggiori dettagli sulle procedure semplificate. Un ulteriore riferimento normativo nel caso delle ceneri di legno vergine è il d.lgs. 220/95, che ha recepito il reg. CEE 2092/91, e che prevede il riutilizzo delle stesse come concime o ammendante in agricoltura biologica.

La composizione chimica della biomassa e delle ceneri rappresenta il reale limite nell'utilizzo di questa tipologia di biocombustibile su larga scala, in particolare in impianti termici di piccola e media potenza. Tutti i costituenti di un combustibile, oltre a carbonio, idrogeno ed ossigeno, sono da ritenersi indesiderati, in quanto sono generalmente correlati ad una fonte di inquinamento, alla formazione di depositi e ceneri e alla corrosione degli impianti.

I costituenti che presentano maggior rilevanza in termini di problematiche durante il processo di valorizzazione energetica sono:

- l'azoto, come origine di ossidi di azoto (NO_x), è fonte di emissioni nocive in atmosfera, oltre a HCN e N_2O , e contribuisce notevolmente all'effetto serra;

- il potassio, come origine del cloruro di potassio (KCl), viene correlato a problemi di corrosione degli impianti termici e porta alla riduzione del punto di fusione delle ceneri ed alla formazione di aerosol (effetto *fouling*);
- il cloro, come origine del cloruro di potassio (KCl), causa corrosione e porta ad emissioni in atmosfera di acido cloridrico (HCl), diossine e furani;
- lo zolfo, come origine degli ossidi di zolfo (SO_x), contribuisce alla formazione di emissioni nocive in atmosfera (acidificazione dell'atmosfera) e può combinarsi con metalli alcalini a dare solfati corrosivi;
- il sodio viene legato a problemi di corrosione degli impianti termici (scambiatori di calore in particolare) e contribuisce alla riduzione del punto di fusione delle ceneri (provoca *slagging*) e alla formazione di aerosol;
- il silicio, o meglio la silice, provoca problemi legati alla formazione di depositi (*clinker*) nell'unità termica;
- i metalli pesanti, in genere causano problemi di emissioni di inquinanti in atmosfera, di formazione di aerosol e problemi di smaltimento delle ceneri.

Altri microelementi presenti nelle ceneri possono, invece, dare un miglioramento delle qualità della biomassa:

- il magnesio e il calcio, aumentano il punto di fusione delle ceneri e quindi le caratteristiche quale biocombustibile; inoltre, incrementano le caratteristiche qualitative delle ceneri per il riutilizzo agronomico;
- il fosforo, per il riutilizzo agronomico delle ceneri.

Limiti delle biomasse erbacee per l'utilizzo energetico

Elevati contenuti in ceneri, zolfo, azoto, cloro e altri microelementi incidono negativamente su:

- potere calorifico (ogni incremento dell'1% del contenuto in ceneri comporta un decremento del potere calorifico di circa 0,2 MJ/kg);
- temperatura di fusione delle ceneri;
- efficienza del processo di conversione energetica (causa formazione di scorie in caldaia, fenomeni di corrosione, intasamento degli scambiatori di calore, emissioni di particolato).

Problematiche correlate alla composizione chimica delle biomasse erbacee

Le biomasse erbacee sono caratterizzate da elevati contenuti di N, S, K, Cl, ecc. che possono determinare problematiche di vario tipo, quali:

- problemi legati alla temperatura punto di ramollimento e di fusione delle ceneri (*slagging*), il quale risulta essere decisamente inferiore per alcune tipologie di biomasse erbacee, in relazione alle elevate concentrazioni di potassio; da ricordare che la temperatura di inizio deformazione delle ceneri rappresenta quella massima raggiungibile durante il processo di combustione. Le temperature che si raggiungono sulla griglia di combustione con le attuali, ed usuali, tecnologie possono provocare la fusione o il rammollimento delle ceneri, e quindi l'ostruzione della griglia stessa e dei punti di immissione dell'aria primaria in camera di combustione, sino a portare al blocco della caldaia;
- problemi legati alla vetrificazione della silice ed alla formazione di incrostazioni nella camera di combustione e sugli scambiatori di calore, con conseguente diminuzione dell'efficienza dell'unità termica; durante la combustione i metalli alcalini si combinano con la componente silicea a dare problemi di *slagging* e *fouling*, in particolare nei sistemi di combustione prettamente destinati alla combustione di mate-

riali legnosi. Il livello critico di contenuto in Si (espresso come SiO₂) nella biomassa è pari al 20-25% in peso delle ceneri;

- problemi legati alla maggior formazione di depositi nelle sezioni di scambio di calore della unità termica, a seguito della condensazione della biomassa vaporizzata (*fouling*). La formazione di questi depositi sugli scambiatori di calore comporta una riduzione dell'efficienza della unità termica e nel lungo periodo porta a fenomeni di corrosione;
- problemi legati alla corrosione delle varie sezioni dell'unità termica, in particolar modo della sezione di scambio termico, a causa della formazione di cloruro di potassio, solfato di potassio ed altri composti corrosivi, in relazione alla maggior presenza di Cl, S e K nella biomassa; questi composti risultano essere particolarmente aggressivi nei confronti dei materiali che compongono la caldaia;
- problemi legati alle emissioni in atmosfera di particolato, di ceneri volatili e di altri composti dannosi per l'ambiente e per la salute (ad esempio NO_x, SO_x, HCl, ecc.), dovuti alla maggior presenza nella biomassa di composti come N, S, Cl e K.

La gran parte degli impianti di combustione di piccola potenza non possiede la tecnologia idonea a bruciare efficacemente ed efficientemente un biocombustibile di natura erbacea; le maggiori problematiche in cui è possibile incorrere sono relative a:

- necessità di adattamento delle coclee di trasporto del biocombustibile alla unità termica;
- necessità di sistemi automatici di estrazione delle ceneri nell'unità di combustione;
- necessità di sistemi automatizzati di movimentazione delle ceneri sulla griglia di combustione (mobili, vibranti o rotanti), al fine di evitare la formazione di scorie fuse ed incrostazioni sulla griglia stessa;
- necessità di sistemi automatizzati di pulizia degli scambiatori di calore, atti ad eliminare i depositi di ceneri fini che riducono l'efficienza termica dell'impianto ;
- corrosione delle diverse sezioni dell'unità di combustione, in conseguenza della maggior formazione di composti potenzialmente corrosivi, visti gli elevati contenuti di particolari microelementi nella biomassa erbacea;
- maggiori emissioni in atmosfera, in particolare di polveri e composti inquinanti (NO_x , SO_x , ecc.), sempre correlate alle caratteristiche chimiche del biocombustibile.

N.B.

Per l'utilizzo quale biocombustibile delle biomasse erbacee in piccoli impianti termici, occorre avvalersi di impianti caratterizzati da un maggiore livello tecnologico.

Lo sviluppo di sistemi innovativi per la valorizzazione energetica delle biomasse lignocellulosiche di natura erbacea risulta essere determinante al fine di incentivare e rendere sostenibile tecnicamente l'intera filiera agro-energetica.

Le soluzioni impiantistiche in grado di valorizzare le

biomasse erbacee attualmente nel mercato o in fase di sviluppo, adottano questi accorgimenti tecnici:

- applicazione di griglie di combustione di tipo mobile, rotante o vibrante, eventualmente raffreddate mediante un sistema di circolazione di acqua interno alle griglie stesse o con immissione dei gas di scarico, al fine di ridurre la temperatura sulla griglia di combustione ed evitare la fusione delle ceneri;
- opportuna regolazione dei flussi di aria primaria e secondaria (eventualmente terziaria), al fine di abbattere le emissioni di NO_x , alle alte temperature, e di CO , a temperature basse, a causa dell'incompleta combustione;
- utilizzo di acciai ed altri materiali resistenti agli agenti corrosivi che si formano durante la combustione;
- utilizzo di sistemi di abbattimento dei fumi e delle polveri adeguati, attraverso tecnologie più complesse e costose, come multicicloni, filtri a maniche e filtri elettrostatici.

6.3 Attività sperimentali del progetto Biocolt – esperienze di combustione dei pellet di canna comune e di miscanto

In relazione a quanto riportato, l'utilizzo delle colture erbacee di canna comune e miscanto in piccole filiere agro-energetiche necessita di una fase di valutazione delle caratteristiche del biocombustibile e del suo comportamento nel corso del processo di combustione in caldaia.

Nell'ambito del progetto Biocolt sono stati realizzati distinti test di combustione del pellet di canna comune e miscanto (Figura 6.4); la finalità della sperimentazione è stata quella di valutare la potenziale applicazione in sistemi di combustione innovativi, disponibili sul mercato e confacenti alle esigenze energetiche di un'azienda agricola, di diverse tipologie di biocombustibile, prontamente producibili nel contesto aziendale.

Figura 6.4: pellet di canna comune (sinistra) e di miscanto (destra) utilizzato nei test di combustione.



Caratteristiche della caldaia utilizzata per i test di combustione

I test di combustione sono stati condotti su di una caldaia innovativa, con una potenza nominale di 15 kW (Figura 6.5), presso l'*Austrian Bioenergy Centre* di Graz, in Austria. Le principali caratteristiche tecniche della caldaia sono:

- la camera di combustione con rivestimento refrattario;
- la regolazione della combustione mediante sonda lambda;
- l'alimentazione laterale del biocombustibile;
- il sistema di alimentazione in continuo, lungo la griglia orizzontale, con spostamento delle ceneri lungo la griglia fino alla caduta nel box di raccolta (i movimenti della griglia possono essere regolati ad intervalli predefiniti in funzione del tipo di biocombustibile impiegato); il sistema di rimozione delle ceneri è assistito da un agitatore che aiuta a distruggere eventuali grumi;
- il sistema di pulizia degli scambiatori di calore mediante turbolatori girevoli.

Figura 6.5: caldaia innovativa utilizzata per i test di combustione presso "*Austrian Bioenergy Centre*" di Graz.



La sonda lambda

La sonda lambda misura l'ossigeno residuo nei fumi e comanda i servomotori delle serrande dell'aria primaria e secondaria. Per mezzo della regolazione lambda si mantiene costantemente controllata la combustione in tutte le condizioni di esercizio e si ottiene una modulazione della potenza tra il 70% e il 100% del valore nominale.

tendenza a formare scorie e la valutazione delle ceneri raccolte. Parallelamente sono stati realizzati analoghi test di riferimento, alimentando l'impianto termico con combustibili tradizionali (pellet di legno) e con altri combustibili di natura erbacea (pellet di paglia).

I test di combustione, della durata complessiva di circa 130 ore, hanno previsto il monitoraggio di vari parametri, quali le *performance* dell'impianto termico, le emissioni gassose (O_2 , CO_2 , CO, NO_x , SO_2 , VOC-composti organici volatili) e di particolato (polveri), la

6.3.1 EMISSIONI

In Tabella 6.1 sono indicate le emissioni gassose mediamente rilevate nel corso del test, mentre in Tabella 6.2 e Tabella 6.3 i valori registrati sono stati riferiti, rispettivamente, alla vigente normativa nazionale (d.lgs. 152/06, per le caldaie con potenza nominale compresa tra 150 kW e 3.000 kW) ed europea (norma EN 303-05 per le caldaie automatiche alimentate a biocombustibile, con una potenza nominale inferiore o uguale a 50 kW, classe 3).

Tabella 6.1: emissioni gassose e polveri medie rilevate durante le prove di combustione.

Parametri	U.M.	Canna comune	Miscanto	Legno (test di riferimento)	Paglia
O_2	(%)	10,6	10,5	10,7	9,7
CO_2	(%)	10,0	10,3	9,7	10,7
CO	(mg/MJ)	38	39	25	186
NO_x	(mg/MJ)	241	148	187	246
SO_2	(mg/MJ)	116	37	13	44
VOC	(mg/MJ)	< 1	< 1	< 1	n.d.
Polveri	(mg/MJ)	61	8	12	139

n.d. = non determinato.

Le concentrazioni di O₂, CO₂ e VOC sono risultate stabili durante l'intera sperimentazione. Le emissioni medie registrate di CO, indicatore della qualità della combustione, sono risultate molto basse per entrambi i pellet erbacei, ampiamente al di sotto delle soglie fissate dalla normativa nazionale ed europea, questo perché i movimenti della griglia mobile hanno impedito la formazione di scorie fuse, che non avrebbero permesso il normale flusso di aria primaria attraverso il letto di combustione.

La canna comune ha evidenziato emissioni di NO_x sensibilmente più elevate rispetto a quelle registrate con il miscanto, rispettivamente 241 e 148 mg/MJ, seppur al di sotto dei limiti di legge. Le emissioni di NO_x registrate nel test di riferimento con il pellet di legno (187 mg/MJ) sono strettamente correlate ai maggiori contenuti di azoto del pellet utilizzato: in ulteriori prove con pellet di legno, dal contenuto di azoto dello 0,2%, le emissioni registrate sono state di 117 mg/MJ. Per quanto attiene le emissioni di SO₂, il pellet di canna comune ha evidenziato un lieve superamento della soglia prevista dalla normativa italiana. Le elevate emissioni di NO_x e SO₂ sono strettamente correlate alle elevate concentrazioni di N e S nel biocombustibile utilizzato; infatti, nel pellet di canna comune i contenuti di azoto (0,7%) e di zolfo (0,18%) sono rispettivamente di 7 e di 45 volte più elevati di quelli del pellet di legno standard.

N.B.

Le emissioni di NO_x e SO₂ sono strettamente correlate alle concentrazioni di N e S presenti all'interno del biocombustibile. Le emissioni di SO_x difficilmente possono essere ridotte, mentre una certa riduzione delle emissioni di NO_x può essere raggiunta migliorando la tecnologia di combustione.

Le emissioni di polveri sono un nodo cruciale per i piccoli impianti alimentati a biomasse erbacee: esperienze di combustione del sorgo da fibra nelle medesime condizioni operative hanno evidenziato valori di emissioni molto elevati, intorno a 130 mg/MJ (Picco e Ferro, 2009a, c). Il valore medio misurato per il miscanto è stato invece di soli 8 mg/MJ, addirittura inferiore a quello riscontrabile mediamente nei sistemi di combustione commerciali del pellet di legno (15 mg/MJ). Il valore medio di polveri totali per la canna comune è stato di 61 mg/MJ, meno della metà di quello riscontrato con la paglia. In entrambe le prove di combustione non sono state superate le soglie di riferimento per le polveri previste dalle normative italiana ed europea, per la tipologia di impianto di combustione utilizzato. Una valutazione visiva macroscopica dei filtri a cartuccia evidenzia che le particelle di polvere raccolte durante il test con il miscanto presentano un colore nero mentre per la canna comune un colore grigio

Problema delle polveri

Le polveri nei fumi sono costituite da composti organici incombusti e da materiale inorganico, come sali condensati e particelle fini di cenere. Per conseguire un abbattimento delle emissioni di polveri è possibile agire solo sulla qualità del biocombustibile in ingresso, mentre i margini di miglioramento sulla caldaia sono modesti, alla luce dei bassi livelli di CO (indicatore di una combustione efficiente).

Per la canna comune, le elevate emissioni di polveri rilevate suggeriscono la presenza di un ingente carico di sali condensati (cloruri e solfati) nei fumi, da correlare alle alte concentrazioni di cloro, zolfo, potassio e sodio nel biocombustibile.

Tabella 6.2: emissioni rilevate nelle prove di combustione in relazione alla vigente normativa italiana.

Emissioni (mg/Nm ³ al 11% O ₂)	Canna comune	Miscanto	Limiti posti dal d.lgs. 152/2006 (150-3.000 kW)
Polveri totali	119	16	100 ¹
CO	83	75	350
NO _x	459	288	500
SO _x	228	73	200

¹ per impianti con una potenza nominale tra 35 e 150 kW tale valore è pari a 200

Tabella 6.3: emissioni rilevate nei test di combustione in relazione alla vigente normativa europea.

Emissioni (mg/Nm ³ al 10% O ₂)	Canna comune	Miscanto	EN 303-05 (caldaia automatica, classe 3, potenza < 50 kW)
Polveri totali	131	18	150
CO	91	83	3.000

(Figura 6.6). Il colore nero è tipicamente dovuto a materiale organico incombusto, mentre colori più chiari sono ascrivibili alla maggior presenza di sali inorganici.

N.B.

Il miscanto, stante le migliori caratteristiche qualitative del biocombustibile di partenza, ha evidenziato livelli di emissioni in atmosfera molto contenute rispetto alla canna comune ed altri biocombustibili di natura erbacea. Sul mercato già esistono diversi modelli di caldaie certificate per la combustione di questa coltura erbacea.

6.3.2 PERFORMANCE OPERATIVE

L'efficienza della caldaia nel corso dei test è risultata elevata e costante (Tabella 6.4). Si evidenzia la considerevole influenza della temperatura dei gas di scarico, strettamente correlata alle condizioni dello scambiatore di calore.

La caldaia utilizzata per il test è equipaggiata con un

sistema manuale di pulizia degli scambiatori di calore, mediante turbolatori girevoli. La pulizia è stata eseguita all'inizio di ogni esperimento per assicurare una buona trasmissione del calore. In Figura 6.7 si possono osservare le condizioni della parte inferiore dello scambiatore di calore pulito prima del test di combustione, mentre in Figura 6.8 si può osservare la stessa parte dopo oltre 46 ore operative, rispettivamente con pellet di canna comune e miscanto: si evidenzia la formazione di depositi grigi, facilmente rimovibili dal sistema di turbolatori girevoli.

Efficienza di una caldaia

L'efficienza della caldaia, calcolata per metodo indiretto, è il rapporto tra l'energia contenuta nel biocombustibile e l'energia termica disponibile dal circuito di riscaldamento. L'efficienza della caldaia è influenzata principalmente dalla temperatura dei gas di scarico, ma anche dalle perdite di calore per radiazione e dai materiali incombusti che si possono trovare nei residui di combustione e nei gas di scarico.

Figura 6.6: particelle di polvere raccolte nel filtro, test con il pellet di miscanto (sinistra) e canna comune (destra).



Tabella 6.4: valori medi relativi al consumo di biocombustibile, alla temperatura dei gas di scarico, alla potenza in uscita e all'efficienza della caldaia durante gli intervalli di valutazione.

Pellet	Consumo di biocombustibile (kg)	Temperatura gas di scarico (°C)	Potenza in uscita (kW)	Efficienza (indiretta) (%)
Canna comune	16,61	133	11,0	91,3
Miscanto	18,05	137	11,8	91,3
Legno	16,53	156	11,3	89,2



Figura 6.7: parte inferiore degli scambiatori di calore prima del test di combustione, rispettivamente con pellet di canna comune (sinistra) e miscanto (destra).



Figura 6.8: parte inferiore degli scambiatori di calore dopo il test di combustione, rispettivamente con pellet di canna comune (sinistra) e miscanto (destra).



6.3.3 CENERI

Nonostante le regolazioni apportate al sistema di movimentazione delle ceneri (incremento dei movimenti sequenziali della griglia e della durata dei movimenti), è stato osservato l'accumulo di cenere e di scorie fuse sulla griglia nel corso delle prove di combustione dei pellet di canna comune e miscanto.

La Figura 6.9 riporta la vista dall'alto della griglia di combustione al termine del test con il pellet di canna comune e miscanto, dove si individuano, al centro della stessa, tra i residui di cenere, delle particelle di scorie fuse. In generale, i grumi di cenere ed i pezzi fusi non influenzano il processo di combustione e possono essere rimossi dalla griglia mediante un sistema di pulizia delle ceneri.

Le ceneri dei pellet di miscanto e canna comune rac-

colte nel box presentano un colore grigio scuro e sono composte da un miscuglio di particelle fini e materiale grossolano; in Figura 6.10 si possono osservare quelle di miscanto. Nel box delle ceneri è stata riscontrata la presenza di materiale sinterizzato (fuso) miscelato con ceneri sottili.

N.B.

Nel corso di una prova di combustione del pellet di canna comune, la formazione di scorie fuse ha limitato la rimozione automatica delle ceneri, comportando un accumulo del biocombustibile sulla griglia e quindi causando un problema operativo; la rimozione delle scorie fuse è stata quindi effettuata manualmente.

Figura 6.9: ceneri e scorie fuse accumulate sulla griglia al termine del test di combustione, rispettivamente del pellet di canna comune (sinistra) e miscanto (destra).

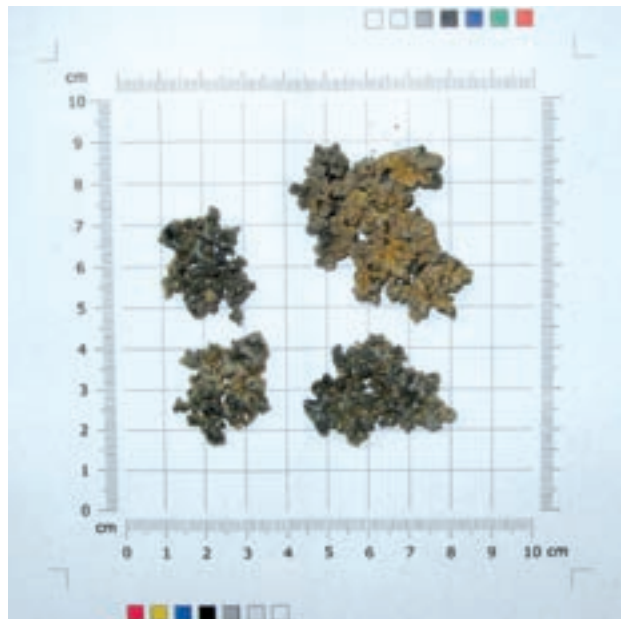


Figura 6.10: box di raccolta delle ceneri fini, con presenza di particelle grossolane e scorie fuse, al termine del test di combustione del pellet di miscanto.



Le caratteristiche basso-fondenti delle ceneri delle biomasse erbacee possono determinare la formazione di scorie fuse in grandi quantità. Al termine dei test di combustione, l'analisi dimensionale delle ceneri, mediante vagliatura, ha mostrato che il 37% delle ceneri presenta particelle con dimensioni superiori a 5,6 mm (nel legno tale frazione è inferiore al 5%): queste particelle sono costituite da scorie o materiale fuso, di colore verde, marrone e grigio, opaco e dalle strutture irregolari e taglienti (Figura 6.11).

Figura 6.11: grumi di materiale e scorie fuse dopo la vagliatura (5,6 mm) delle ceneri di canna comune (sinistra) e di miscanto (destra).



6.3.4 CONSIDERAZIONI FINALI

La caldaia utilizzata durante il test è da considerarsi lo stato dell'arte dell'innovazione dei sistemi di combustione di pellet di legno, grazie alla sonda lambda per il controllo delle emissioni ed il sistema a griglia mobile per la gestione delle ceneri e delle scorie fuse. La strategia di controllo della caldaia mediante sonda lambda è più flessibile rispetto ai sistemi di controllo della temperatura, in quanto permette di utilizzare differenti tipi di combustibile pur mantenendo un buon livello di emissioni.

Dalle risultanze delle prove di combustione si delinea che i pellet di canna comune e miscanto, nonostante l'elevato contenuto in ceneri e le non favorevoli proprietà basso-fondenti, sono idonei ad essere utilizzati in caldaie di questo tipo, dotate di dispositivi per il controllo-gestione dell'eventuale formazione di accumuli di ceneri, scorie ed incrostazioni. Questi pellet, se utilizzati in sistemi di combustione tradizionali, possono causare seri problemi operativi.

In relazione ai depositi formati sugli scambiatori di calore ed in considerazione della composizione elementare del biocombustibile, in particolare per il pellet di canna comune, occorre monitorare nel lungo periodo la comparsa di eventuali effetti corrosivi.

Raccomandazioni

I pellet di canna comune e di miscanto investigati evidenziano un elevato contenuto in ceneri, dalle caratteristiche basso-fondenti se raffrontate con quelle ottenute dal pellet di legno. Di conseguenza questi biocombustibili dovrebbero essere utilizzati in caldaie appositamente sviluppate per la combustione di biomasse con elevati contenuti di ceneri, al fine di evitare problemi operativi durante la combustione e criticità nelle emissioni in atmosfera. In particolare, è raccomandata la presenza di meccanismi automatici, opportunamente regolati, di rimozione e movimentazione delle ceneri e di pulizia degli scambiatori di calore.