

RIVISTA TECNICA

ENERGIA RINNOVABILE DALL'AGRICOLTURA E DALLE FORESTE

agriforenergy

BIOMASSE SOLIDE AGROFORESTALI, BIOGAS E BIOMETANO, BIOCARBURANTI AGRICOLI E MATERIE PRIME RINNOVABILI

SPECIALE EMISSIONI

Le proposte di AIEL per dimezzare il PM10 dalla combustione del legno per il riscaldamento residenziale

Le novità del Conto Termico 2.0

AppAIEL, la filiera legno-energia a portata di smartphone

A che punto sono gli incentivi all'energia elettrica rinnovabile

Calendario corsi 2016 per installatori e manutentori

SUPPLEMENTO

MERCATO & PREZZI AGGIORNAMENTI E NOVITÀ

Analisi del ciclo di vita di caldaie a pellet di bassa potenza caratterizzate da alta efficienza e ridotte emissioni

B. Monteleone ⁽¹⁾, M. Chiesa ⁽¹⁾, R. Marzuoli ⁽¹⁾, V. K.Verma ⁽²⁾, M. Schwarz ⁽²⁾, E. Carlon ⁽²⁾⁽³⁾, C. Schmidl ⁽²⁾, A. Ballarin Denti ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Università Cattolica del Sacro Cuore, DMF, Brescia

⁽²⁾ Bioenergy 2020+GmbH, Wieselburg, Austria

⁽³⁾ Free University of Bozen-Bolzano, Italy

L'utilizzo di biomassa legnosa al posto di combustibili fossili per il riscaldamento residenziale comporta una riduzione delle emissioni di CO₂ lungo l'intero ciclo di vita di una caldaia. Le normative europee promuovono l'utilizzo di energie rinnovabili, perciò il consumo di biomassa legnosa per il riscaldamento residenziale sta crescendo in Europa. Esistono però criticità legate alle emissioni di particolato

atmosferico (PM), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e composti organici volatili (COV) da parte delle caldaie a biomassa legnosa, con conseguenti impatti rilevanti sulla salute umana fortemente dipendenti dalla tecnologia di combustione. Con riferimento al particolato atmosferico in particolare, studi epidemiologici e sperimentali concordano nell'evidenziare una correlazione tra l'inhalazione di polveri fini e una

diminuzione della funzionalità polmonare e della resistenza alle infezioni, e un aumento dell'incidenza di fenomeni di asma acuta, oltre a effetti sul sistema cardiocircolatorio. Inoltre i metalli (vanadio, rame, zinco, nickel e ferro) e i composti organici (IPA) presenti nel particolato emesso dalle caldaie aggravano l'impatto sulla salute a causa della tossicità e, in taluni casi, delle proprietà carcinogeniche.

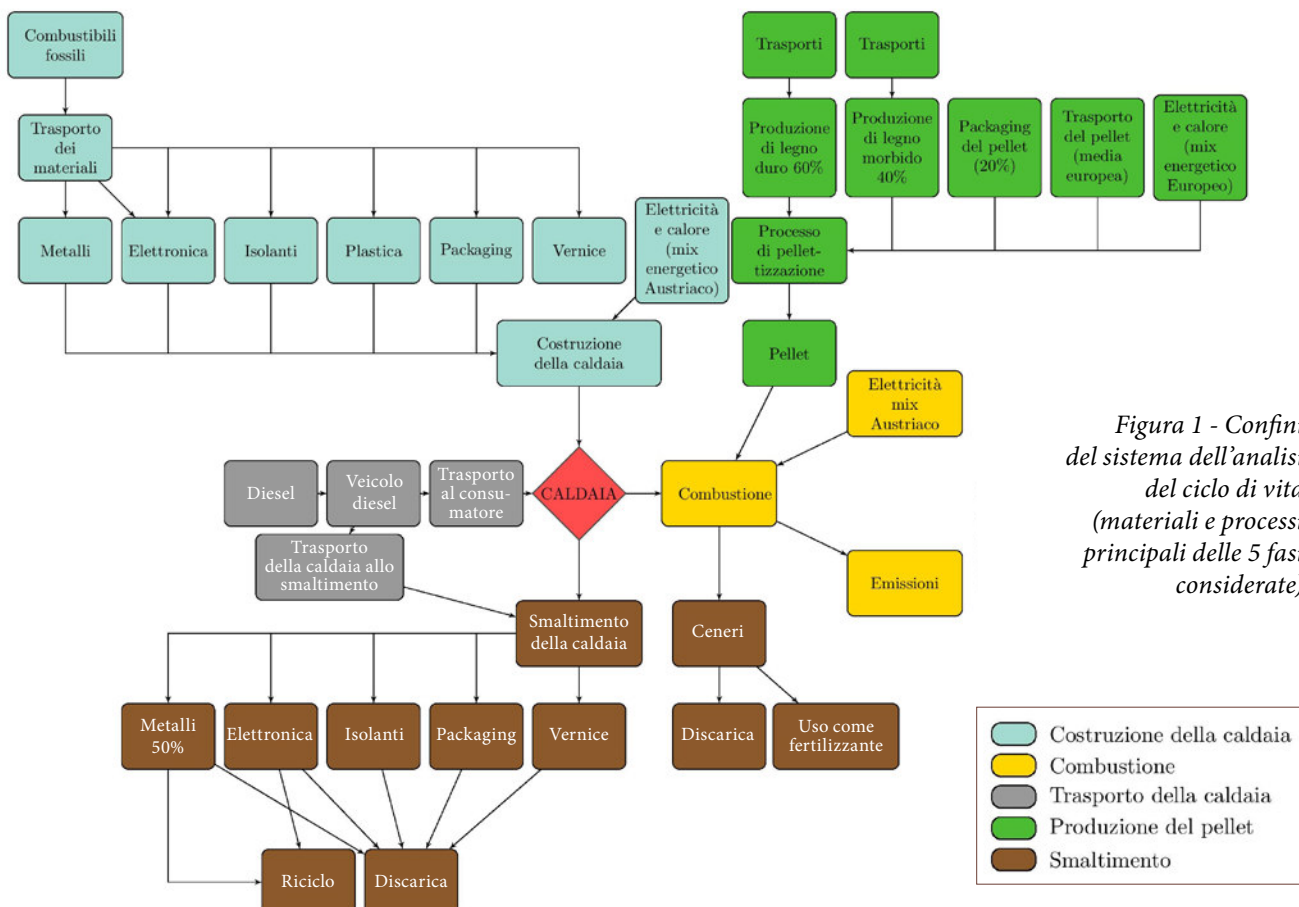


Figura 1 - Confini del sistema dell'analisi del ciclo di vita (materiali e processi principali delle 5 fasi considerate)

Grafico 1 - Risultati dell'analisi del ciclo di vita delle caldaie BW10 e BW10 2. Gli istogrammi mostrano gli impatti sulle singole sottocategorie di danno previste dal metodo ReCiPe Midpoint (con l'esclusione delle sottocategorie OD e WD che presentano impatti trascurabili)



Lo studio presentato di seguito ha avuto per obiettivo la valutazione di impatto ambientale di caldaie a pellet di bassa potenza (10 kW) testate nell'ambito del progetto europeo FP7 «BioMaxEff» attra-

verso l'analisi del ciclo di vita (*Life cycle analysis, LCA*). Lo studio risulta innovativo rispetto ai precedenti a livello internazionale per aver indagato tutte le fasi presenti nel ciclo di vita di una caldaia,

partendo dalla produzione del pellet fino allo smaltimento finale della caldaia (e delle ceneri). In *figura 1* sono riportate tutte le fasi analizzate nel ciclo di vita delle caldaie a pellet. I risultati dell'analisi del ciclo di vita delle due caldaie a pellet testate in BioMaxEff sono stati confrontati con quelli emersi dallo studio di caldaie a pellet tradizionali (dove per «tradizionale» si intende una tecnologia rappresentativa della media europea) e caldaie alimentate a combustibili fossili (gas naturale e olio combustibile).

RISULTATI

Il *grafico 1* mostra gli impatti ambientali delle caldaie a pellet BW10 e BW10 2 secondo le sottocategorie del metodo ReCiPe Midpoint. Sono evidenti le migliori prestazioni ambientali del BW10 2 rispetto al precedente BW10. È importante sottolineare la riduzione degli impatti relativamente alle sottocategorie CC, TA, ME, POF, PMF e FD del 20-30% e riduzioni meno importanti ma significative

Materiali e metodi

Le due caldaie a pellet innovative considerate nel presente studio, prodotte dall'azienda austriaca Windhager Zentralheizung Technik GmbH, hanno potenza nominale pari a 10 kW (modelli BioWIN 10 and BioWIN 10 2).

Entrambe presentano una struttura in acciaio con un rivestimento completamente isolato. Possono modulare la potenza erogata nell'intervallo 30-100% rispetto alla potenza nominale. Il bruciatore, in acciaio inox, è equipaggiato con due sistemi automatici di ignizione e rimozione ceneri. Una ventola di aspirazione a velocità variabile regola l'apporto di aria primaria e secondaria. I fumi caldi dovuti alla combustione passano attraverso uno scambiatore di calore verticale che viene automaticamente pulito da un meccanismo a spirale e ha la

funzione di trasferire il calore all'acqua. Il modello BioWIN 10 (BW10) è equipaggiato con un sistema completamente automatico di caricamento del pellet. Il valore aggiunto del BioWIN 10 2 (BW10 2), che rappresenta l'evoluzione tecnologica del BW10, è dato da un nuovo elemento estremamente durevole nel sistema di ignizione e da un design del bruciatore tale da ottimizzare la combustione grazie a una diversa forma e posizione degli ugelli che convogliano l'aria secondaria. Le certificazioni di qualità Blaue Engel ed Ecolabel assicurano il ridotto impatto ambientale.

Le caldaie BW 10 e BW 10 2 sono state testate in laboratorio secondo la normativa EU EN 303.5. Sono stati effettuati più test per determinare i fattori di emissione di CO, COV, NO_x e PM e le efficienze. I fat-

tori di emissione così misurati sono stati utilizzati per confrontare i risultati dell'analisi LCA delle caldaie innovative con quelli delle caldaie tradizionali (a pellet, a gas naturale e a olio combustibile).

La caldaia tradizionale a pellet di riferimento è rappresentativa dello stato dell'arte a livello europeo; la fornitura del pellet è automatica e la fiamma modulabile. La caldaia a olio considerata è il modello JetWIN 155 (JW155), che non è a condensazione ma utilizza un sistema di combustore innovativo e molto efficiente (produttore: Windhager Zentralheizung Technik GmbH).

La caldaia a gas naturale (NG) è a camera aperta con tiraggio naturale ed è provvista del sistema di modulazione di fiamma. Questa tecnologia risulta essere la più diffusa a livello europeo.

Tabella 1 - Specifiche tecniche, efficienze e fattori di emissione delle 5 caldaie

Parametro (a pieno carico)	Modello di caldaia				
	BW10	BW10 2	Pellet tradizionale	Olio	Gas naturale
Potenza nominale (kW)	10	10	15	15,5	15
O ₂ (%)	9,1	14,1	13,0	3,0	3,0
CO (mg/MJ)	65,7	21,2	117,0	16,0	25,0
NO _x (mg/MJ)	107,2	87,9	85,4	150,0	50,0
COV (mg/MJ)	2,2	0,1	2,6	1,0	2,7
PM (mg/MJ)	10,5	10,5	31,7	40,0	0,2
Efficienza (%)	84,7	91,9	75,0	89,5	99,0

La *tabella 1* riporta efficienze e fattori di emissione delle caldaie.

I test di laboratorio sono stati condotti utilizzando pellet certificato ENplus prodotto dalla società austriaca RZ Pellets GmbH.

METODOLOGIA LCA

L'analisi LCA è stata condotta utilizzando il Software SimaPro (versione 8.0.4.30) e le librerie della versione aggiornata al 2015 del database Ecoinvent (v. 3.1). I metodi impiegati sono il ReCiPe midpoint (Versione European Hierarchist, H) e il ReCiPe Endpoint (European Hierarchist Average, H/A); entrambi valutano gli impatti ambientali su tre macrocategorie di danno: salute umana (Human Health HH), ecosistemi (Ecosystems, ECO) e consumo di risorse (Resources, RD). Il metodo ReCiPe Midpoint è più specifico perché caratterizza gli impatti secondo 18 sottocategorie riportate in *tabella 2*.

Il processo di pellettizzazione considerato è rappresentativo della situazione europea; le materie prime sono scarti di segheria (57%), scarti di biomassa legnosa (15% legno duro e 15% legno dolce) e cippato (13%).

L'unità funzionale scelta per il confronto tra caldaie di diversa potenza nominale è 1 MJ di energia prodotta. La vita media delle caldaie è stata assunta pari a 20 anni. La *figura 1* mostra i confini del sistema dell'analisi LCA condotta sulle

caldaie a pellet.

Le fasi considerate nell'LCA delle caldaie a pellet sono 5:

Costruzione: i dati sui materiali sono stati forniti dal costruttore per le caldaie BW 10, BW 10 2 e JW 155, mentre per le altre sono stati considerati i dati provenienti dal database Ecoinvent (v. 3.1). I mix di elettricità e calore sono quelli austriaci, essendo l'impianto di produzione in Austria.

Pellettizzazione: mix energetico e tecnologie sono quelle medie europee. È stato considerato l'utilizzo di LDPE perché il 20% del pellet viene venduto sul mercato in sacchetti da 15 kg; è incluso il trasporto della biomassa vergine dal campo fino all'impianto di pellettizzazione.

Trasporti della caldaia: sono inclusi il trasporto dal produttore al consumatore e dal cliente al sito di smaltimento finale (ciascuno ha una distanza media di 100 km).

Fase operativa: i fattori di emissione e le efficienze sono stati rilevati sperimentalmente nell'ambito del progetto BioMaxEff per le caldaie BW10 e BW 10 2 (valori in *tabella 1*), mentre per la caldaia a pellet tradizionale e la caldaia a gas naturale si sono utilizzati i dati del database Ecoinvent (v. 3.1). Per la caldaia a olio (JW155) l'efficienza considerata è quella dichiarata dal costruttore mentre i fattori di emissione provengono dal database Ecoinvent (v.3.1).

Tabella 2 - Sottocategorie del metodo Recipe Midpoint

Categoria di impatto	Sigla
Cambiamento climatico	CC
Riduzione dell'ozono troposferico	OD
Acidificazione terrestre	TA
Eutrofizzazione delle acque dolci	FE
Eutrofizzazione delle acque marine	ME
Tossicità per l'uomo	HT
Formazione di ossidanti fotochimici	POF
Formazione di particolato	PMF
Ecotossicità terrestre	TET
Ecotossicità per le acque dolci	FET
Ecotossicità per le acque marine	MET
Radiazione ionizzante	IR
Occupazione di suolo agricolo	ALO
Occupazione di suolo urbano	ULO
Trasformazione di terre naturali	NLT
Diminuzione delle risorse idriche	WD
Riduzione della disponibilità di metalli	MD
Riduzione di combustibili fossili	FD

Smaltimento (caldaia e ceneri di combustione): si è assunto un recupero medio delle parti metalliche delle caldaie pari al 50% mentre il restante 50% è inviato in discarica, insieme a componenti elettroniche, plastica, isolanti e materiali verniciati. Le ceneri vengono inviate in discarica (50%) oppure utilizzate come concime sui campi (per il restante 50%).

(tra il 9 e il 18%) per le sottocategorie FE, HT, FET, MET, IR, NLT e MD.

L'impatto ambientale del BW10 2, la migliore tecnologia individuata dal progetto, è stato suddiviso rispetto alle singole fasi del ciclo di vita (grafico 2). I risultati mostrano un contributo particolarmente rilevante (pari al 57%) della pellettizzazione, seguito dalla fase operativa (29%) e dalla costruzione della caldaia (14%). Contributi trascurabili sono dati dai trasporti e dallo smaltimento finale di caldaia e ceneri. Il contributo elevato della fase di pellettizzazione è dato principalmente dalla indisponibilità di dati locali per cui si sono considerati dati di input rappresentativi della situazione media europea. Una riduzione dell'impatto di questa fase del 20-30% può essere prevista con dati locali e il solo utilizzo di scarti forestali.

CALDAIE A PELLETT E CALDAIE A COMBUSTIBILI FOSSILI

I risultati dell'LCA delle caldaie BW10 e BW10 2 sono stati confrontati con quelli ottenuti per caldaie tradizionali a pellet, a olio e a gas naturale (rappresentative del parco caldaie medio europeo), considerando sempre come unità funzionale 1 MJ di energia termica prodotta. Le sottocategorie di impatto maggiormente significative dipendono dalla specifica caldaia (grafico 3); mentre gli impatti sulle sottocategorie TA, FE, HT, POF, PMF, FET, MET, NLT, MD sono rilevanti per tutte le tecnologie, le sottocategorie FD e CC presentano contributi significativi solo per le caldaie alimentate a combustibili fossili mentre la sottocategoria ALO è rilevante solo per le caldaie a pellet. Il confronto degli impatti ambientali delle 5 caldaie utilizzando il metodo ReCiPe Endpoint (grafico 4) evidenzia come la caldaia a olio (presa come riferimento) presenti l'impatto ambientale maggiore rispetto alle altre 4 tecnologie. In particolare, le caldaie a pellet mostrano impatti ambientali tra il 14 e il 21% rispetto

Grafico 2 - Impatti ambientali delle singole fasi del ciclo di vita della caldaia BW10 2

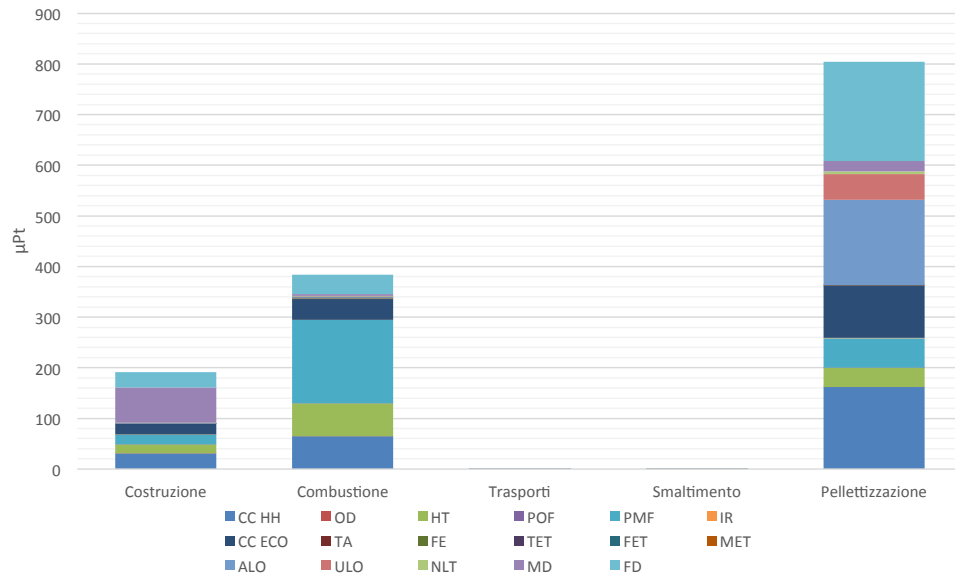


Grafico 3 - Istogrammi rappresentativi degli impatti sulle singole sottocategorie di danno del metodo ReCiPe Midpoint

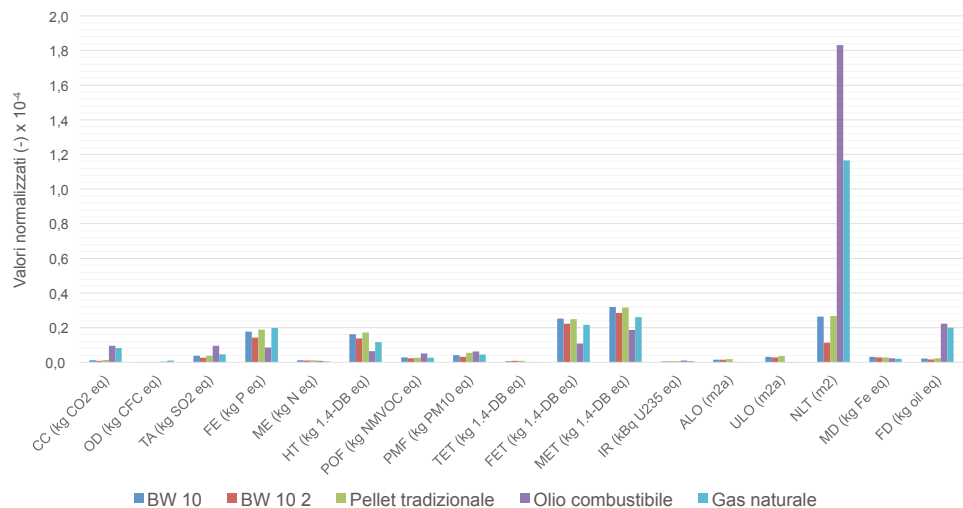
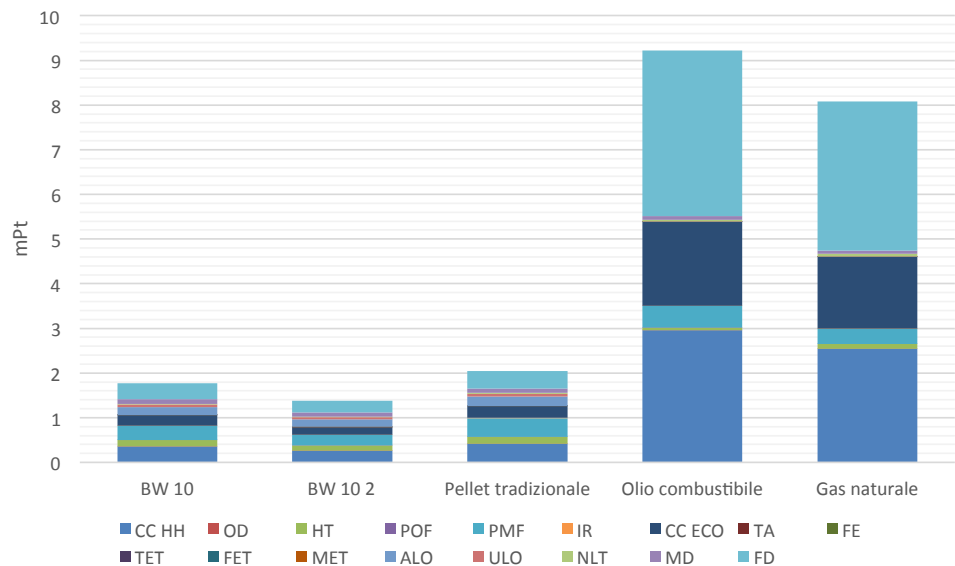


Grafico 4 - Confronto tra i risultati dell'analisi del ciclo di vita (LCA) delle caldaie a pellet (tradizionale, BW10 e BW10 2), a olio e a gas naturale



a quello della caldaia a olio mentre la caldaia a gas naturale presenta un impatto complessivo pari all'87% rispetto alla caldaia di riferimento.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio ha evidenziato come, nonostante i sistemi di combustione a pellet di piccola taglia presentino delle criticità in termini di emissioni atmosferiche (di particolato fine soprattutto), un miglioramento tecnologico può portare a un incremento dell'efficienza e a una riduzione significativa delle emissioni di particolato rispetto alle tecnologie già sul mercato e rappresentative del parco caldaie medio europeo.

Dall'analisi del ciclo di vita applicata a caldaie a pellet innovative immesse sul mercato solo da pochi anni si sono stimati gli impatti ambientali derivanti dalle singole fasi di pellettizzazione,

costruzione, trasporti, funzionamento e smaltimento finale su una vita media di 20 anni. Si sono così evidenziati i contributi maggiormente significativi delle fasi di pellettizzazione (57%, valore medio europeo riducibile di un buon 20-30% considerando una produzione locale e l'utilizzo di scarti forestali) e di funzionamento (29%) oltre al contributo meno rilevante della fase di costruzione (14%). Sono trascurabili i trasporti delle caldaie e lo smaltimento finale. Il confronto dei risultati ottenuti con quelli emersi dall'analisi del ciclo di vita di caldaie a olio e gas naturale ha permesso di stimare un impatto ambientale complessivo particolarmente ridotto delle caldaie a pellet rispetto a quello delle caldaie a olio. In particolare, **le caldaie a pellet innovative studiate all'interno del progetto BioMaxEff mostrano impatti pari solo al 14-21% rispetto**

all'impatto ambientale di una caldaia a olio (presa come riferimento per il confronto tra le diverse tecnologie): valori molto bassi se si considera che la caldaia a gas naturale (molto meno impattante se si guarda alle sole emissioni in atmosfera dovute alla fase operativa della caldaia) mostra un impatto complessivo pari all'87% di quello presentato dalla caldaia di riferimento. ●

Ringraziamenti

La ricerca che ha portato a questi risultati è stata finanziata dal Settimo Programma Quadro dell'Unione Europea (FP7/2007-2013) sotto il *Grant Agreement* n. 268217.

Si coglie l'occasione per ringraziare Juergen Brandt, Werner Granig e Michael Kerschbaum per averci fornito la maggior parte dei dati di input relativi alle fasi di produzione, trasporto e smaltimento delle caldaie a pellet prodotte da Windhager Zentralheizung Technik GmbH.

RIVISTA TECNICA

ENERGIA RINNOVABILE DALL'AGRICOLTURA E DALLE FORESTE

Abbonati per ricevere i prossimi numeri!



Parliamo di • POLITICHE ENERGETICHE, INCENTIVI, NORMATIVA • MONITORAGGIO DEL MERCATO E DEI PREZZI • PRODUZIONE E QUALITÀ DI LEGNA DA ARDERE, CIPPATO E PELLETTI • INNOVAZIONI TECNOLOGICHE: APPARECCHI, CALDAIE E MINICOGENERAZIONE • INSTALLAZIONI INNOVATIVE E CASI STUDIO • BUONE PRATICHE DI INSTALLAZIONE E MANUTENZIONE

La sottoscrizione della quota associativa ad AIEL include l'abbonamento annuale alla rivista. Maggiori informazioni sul sito www.ail.cia.it > Diventa socio

Annuale (4 numeri) € 38,00
Biennale (8 numeri) € 68,00
Studenti annuale € 28,00
Studenti biennale € 45,00

Effettua il **PAGAMENTO CON BONIFICO BANCARIO** senza spese per il destinatario intestato ad Aiel, sede legale via M. Fortuny, 20 - 00196 Roma codice IBAN IT 37 0 01030 03232 000001244262

Invia a segreteria.ail@cia.it la ricevuta del pagamento indicando i dati per la spedizione della rivista: Nome e Cognome, Ditta, Indirizzo, Numero civico, Località, CAP, Provincia, Telefono e Indirizzo email.