



renerfor

Iniziative di cooperazione per lo sviluppo delle fonti di energia rinnovabili (bosco ed acqua) nelle Alpi Occidentali, il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra



ENERGIA DA BIOMASSE LEGNOSE

alcotra



INSIEME OLTRE
I CONFINI ENSEMBLE
PAR-DELA LES FRONTIÈRES

ENERGIA DA BIOMASSE LEGNOSE

Pubblicazione finanziata da:

Progetto strategico n. III – Renerfor

“Iniziativa di cooperazione per lo sviluppo delle fonti di energia rinnovabili (bosco ed acqua) nelle Alpi Occidentali, il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra”

Progetto finanziato nell’ambito del programma di cooperazione transfrontaliera Alcotra 2007/2013

PARTNER VALDOSTANO DEL PROGETTO RENERFOR

Regione Autonoma Valle d’Aosta

Assessorato Attività Produttive

Dipartimento industria, artigianato ed energia

Risparmio energetico e sviluppo fonti rinnovabili

Responsabile: Mario Sorsoloni

Coordinamento Tecnico: Roger Tonetti

INCARICATO PER LO SVOLGIMENTO DEL PROGETTO PER GLI ASPETTI ENERGETICI

Finanziaria regionale della Valle d’Aosta (Finaosta S.p.A.)

Direzione Studi e Assistenza alle Imprese

Centro Osservazione e Attività sull’Energia (COA energia)

Responsabile: Genny Brunet - Tecnici: Rosalia Guglielminotti, Lucia Maracci

TESTI

Roberta Roberto (ENEA - Unità Tecnica Tecnologie di Saluggia)

Alberto Poggio (Politecnico di Torino - DENERG)

COORDINAMENTO DELLA PUBBLICAZIONE

Genny Brunet, Rosalia Guglielminotti, Lucia Maracci

IMMAGINI NEL TESTO

Alessandra Chiarlo

PROGETTO GRAFICO IMPAGINAZIONE E STAMPA

TIBURTINI
CARATTERE TIPOGRAFICO
tiburtini.it

2013 © Regione Autonoma Valle d’Aosta

Tutti i diritti riservati

SOMMARIO

1.	Cosa sono le biomasse	7
	1.1 Biomasse	7
	<i>BOX - Normative</i>	8
	1.2 ...per l'energia.....	8
2.	Le biomasse legnose: tronchetti, bricchette, pellet e cippato	11
	2.1 Tipologie.....	11
	2.2 Caratteristiche e contenuto energetico del legno.....	13
	2.3 Requisiti qualitativi dei biocombustibili solidi.....	17
	2.4 Stoccaggio e movimentazione	20
	2.5 Le applicazioni:	21
3.	Tecnologie per la produzione di energia termica	25
	3.1 Com'è fatto un generatore di calore a biomassa legnosa?.....	26
	3.2 Apparecchi termici: CAMINETTI, CUCINE E STUFE	29
	3.2.1 <i>Camini e termocamini</i>	29
	3.2.2 <i>Cucine e termo cucine</i>	30
	3.2.3 <i>Stufe e termostufe</i>	30
	3.3 Apparecchi termici : CALDAIE	31
	3.3.1 <i>Caldaie a tronchetti di legna</i>	31
	3.3.2 <i>Caldaie a pellet</i>	32
	3.3.3 <i>Caldaie a cippato</i>	33
4.	Tecnologie per la produzione di energia elettrica e termica (cogenerazione)	35
	4.1 Impianti ORC.....	36
	4.2 Impianti a vapore.....	37
	<i>BOX - Freddo da legno?</i>	37
5.	Teleriscaldamento a biomasse	39
6.	Utilizzo delle biomasse e l'ambiente	41
	6.1 Aspetti ambientali derivanti dalla produzione di energia da biomasse.....	41
	6.2 Emissioni da impianti a combustione di biomassa legnosa	42
	<i>BOX - Emissioni da impianti a biomassa legnosa</i>	43
	6.2.1 <i>Monossido di carbonio</i>	43
	6.2.2 <i>Composti organici volatili (COV)</i>	43
	6.2.3 <i>Ossidi di azoto (NOx)</i>	43
	6.2.4 <i>Particolato totale</i>	43
	6.2.5 <i>Ossidi di zolfo SOx</i>	44

6.2.6	<i>Residui solidi</i>	44
6.3	Produzione energetica da biomasse: l'obiettivo di una produzione Carbon neutral	45
	BOX – Carbon Neutrality.....	46
7.	Indicazioni tecniche e buone pratiche	47
	ESEMPI DI APPLICAZIONI:	51
	Allegato A – Biocombustibili da biomasse	53
	Allegato B – Terminologia e abbreviazioni	55

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Esempi di biomassa utilizzata a scopi energetici	7
Figura 2	Energia da biomasse.....	9
Figura 3	Tronchetti di legno	12
Figura 4	Bricchette di legno.....	12
Figura 5	Pellet	12
Figura 6	Cippato	12
Figura 7	Esempio di variazione del potere calorifico della biomassa in funzione dell' umidità	15
Figura 8	Pellet	18
Figura 9	Tronchetti di legno	19
Figura 10	Cippato	19
Figura 11	Bricchette.....	20
Figura 12	Deposito all'aperto di cippato	21
Figura 13	Catasta di legna	21
Figura 14	Silo in muratura con estrazione automatica	21
Figura 15	Silo in tessuto con estrazione automatica	21
Figura 16	Esempi di impianti di produzione di energia termica	22
Figura 17	Esempio impianto di produzione di energia termica ed elettrica	22
Figura 18	Apparecchio per il riscaldamento domestico (stufa a pellet)	26
Figura 19	Caldaia a cippato a griglia mobile	27
Figura 20	Sezione tipo termo-camino a tronchetti di legno	29
Figura 21	Cucina a tronchetti di legno.....	30
Figura 22	Termo-stufa a pellet.....	30
Figura 23	Caldaia a tronchetti di legno (a fiamma rovescia)	32
Figura 24	Caldaia a pellet.....	32
Figura 25	Caldaia a cippato.....	33
Figura 26	Impianto con caldaia e modulo ORC (produzione di energia termica ed elettrica)	36
Figura 27	Esempio di rete di teleriscaldamento	40
Figura 28	Ciclo del carbonio.....	41

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Composizione elementare tipica di alcune biomasse vegetali.....	11
Tabella 2 Caratteristiche dimensionali di tronchetti, bricchette, cippato, pellet (UNI EN 14961)	13
Tabella 3 Massa volumica media del legno allo stato anidro.....	13
Tabella 4. Confronto poteri calorifici di diversi combustibili	14
Tabella 5 Valori medi di potere calorifico e contenuto idrico dei combustibili legnosi. 15	
Tabella 6 Densità energetica di alcune tipologie di biomasse legnose	16
Tabella 7 Caratteristiche di tronchetti, bricchette, cippato, pellet (UNI EN 14961).....	18
Tabella 8 Configurazioni tipiche di impianti a biomassa (conferimento e stoccaggio) 23	
Tabella 9 Caratteristiche tipiche dei generatori di calore a biomassa legnosa	27



1. Cosa sono le biomasse

1.1 Biomasse

Quando si parla di biomassa si intende un insieme di materiali con caratteristiche molto diverse tra loro.

La biomassa rappresenta una sofisticata forma di accumulo dell'energia solare: mediante il processo di fotosintesi i vegetali sono in grado di convertire l'energia radiante in energia chimica, stoccandola sotto forma di molecole complesse, a elevato contenuto energetico come carboidrati, lignina, proteine e lipidi.

In ambito energetico con il termine biomassa si intende qualsiasi sostanza organica, di origine animale o vegetale, da cui è possibile ricavare energia attraverso un impiego diretto o previa trasformazione in un biocombustibile solido, liquido o gassoso.



A) BIOMASSA LEGNOSA



B) BIOGAS DA REFLUI ZOOTECNICI



C) BIOGAS DA RIFIUTI SOLIDI URBANI



D) BIOCOMBUSTIBILE DA COLTIVAZIONE

Figura 1 Esempi di biomassa utilizzata a scopi energetici

BOX - Normative

La normativa europea (Direttiva 2009/28/CE), recepita a livello nazionale con il D.Lgs. 28/2011¹, definisce come biomasse impiegabili a fini energetici sostanzialmente tutti i materiali biodegradabili, indipendentemente dall'origine e dalla classificazione in base alla normativa rifiuti. Una definizione di biomasse più restrittiva è invece fornita dal D.Lgs 152/2006, nel quale per biomasse si intende materiali di origine forestale o agricola trattati per via esclusivamente meccanica².

Le biomasse impiegate ai fini energetici possono provenire dai comparti: forestale e agroforestale (biomasse legnose), agricolo (residui di attività agricole, colture energetiche dedicate), zootecnico (deiezioni animali), industriale (residui dalle industrie di lavorazione del legno e della carta e dalle industrie agroalimentari) e dal comparto dei rifiuti (scarti e residui di varia natura e frazione organica dei rifiuti solidi urbani) e sono disponibili in varie forme e aggregazioni.

1.2 ...per l'energia

Se utilizzata in modo sostenibile in tutte le fasi (accrescimento, raccolta, conferimento e conversione energetica), la biomassa rappresenta una fonte di energia rinnovabile e disponibile localmente e il suo impiego può consentire la produzione di energia e calore limitando le emissioni complessive di CO₂, oltre a rappresentare la possibilità di sviluppare interessanti settori di mercato e di specializzazione.

Le biomasse, disponibili allo stato solido (ad es. legna) o liquido (ad es. reflui animali), sono trasformate attraverso processi meccanici e/o chimici in biocombustibili utilizzati per la produzione di energia elettrica, termica o per autotrazione (vd. Figura 2).

Per il loro utilizzo come combustibili le biomasse sono classificate secondo lo stato di aggregazione: solido (ad es. legna in ciocchi, cippato), liquido (ad es. bio-diesel) o gassoso (ad es. bio-gas, syn-gas). Lo stato di aggregazione delle biomasse determina il successivo utilizzo in impianti di conversione energetica, quali impianti di combustione, motori a combustione interna, ecc.

1 L'Art. 2 lettera e) del D.Lgs. 28/2011 ("Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE") definisce la biomassa come "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

2 Allegato X alla Parte II del D.Lgs 152/2006, Sezione 4, punto 1. Tipologia e provenienza

- Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;
- Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico, lavaggio con acqua o essiccazione di coltivazioni agricole non dedicate;
- Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura;
- Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica e dal trattamento con aria, vapore o acqua anche surriscaldata di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, reflui e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti;
- Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico, lavaggio con acqua o essiccazione di prodotti agricoli

[lettere f) e g) sansa di oliva e liquor nero ottenuto nelle cartiere se riutilizzati nell'impianto di produzione]"

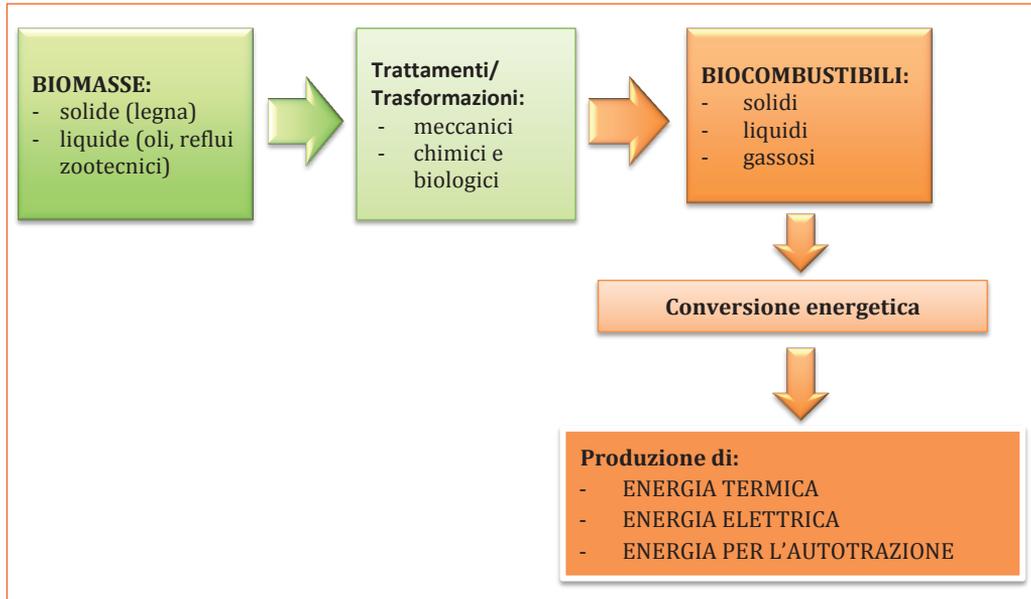


Figura 2 Energia da biomasse

Le **bio-energie** rappresentano le forme di energia ottenute a partire da biomassa allo stato grezzo (tal quale) come per esempio i ciocchi di legna oppure da prodotti derivanti da processi di trattamenti e/o trasformazioni meccaniche, termochimiche, biochimiche quali per esempio pellet, cippato di legna o biogas. In Allegato A sono rappresentati schematicamente i biocombustibili ottenuti dalle biomasse e le varie conversioni energetiche che essi possono subire.

In generale, i processi di conversione in energia delle biomasse possono essere ricondotti a: **processi termochimici** e **processi biochimici**.

I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia termica ed elettrica:

energia termica → ottenuta in impianti (bruciatori, caldaie, motori, ecc...) tramite combustione di biomasse legnose (tronchetti di legna, pellet, cippato, segatura, ecc...), biocombustibili liquidi (oli vegetali) e gassosi (bio-gas da digestione anaerobica, gas da gassificazione);

energia elettrica → ottenuta in impianti basati su cicli termodinamici a combustione esterna (nei quali il ciclo è alimentato con l'energia termica prodotta esternamente al ciclo stesso, mediante un precedente processo di generazione del calore) tipicamente costituiti da una caldaia e da un ciclo Rankine a vapor d'acqua o a fluidi organici (ORC).

I processi di conversione biochimica sono processi biochimici che permettono di ottenere biocombustibile, biogas o bioetanolo sia grazie alle reazioni chimiche prodotte da enzimi, funghi e microrganismi, che si formano nella sostanza trattata sotto particolari condizioni sia attraverso processi di estrazione di oli. Questi consistono in una fase di spremitura a freddo dei semi e in una successiva filtrazione e permettono di ottenere olio vegetale puro che può essere utilizzato come biocombustibile. L'olio vegetale puro e grassi di scarto possono essere anche utilizzati per ottenere biodiesel attraverso un processo di trans esterificazione.

2. Le biomasse legnose: tronchetti, bricchette, pellet e cippato

Dal punto di vista chimico-fisico, i principali costituenti della biomassa vegetale sono: cellulosa, emicellulosa, lignina, estratti e piccole quantità di materiale inorganico indicata come frazione di ceneri.

La composizione della biomassa viene espressa anche in termini di contenuto percentuale di carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto, i quali, insieme a zolfo e cloro costituiscono la parte organica della biomassa. La percentuale dei vari elementi fornisce indicazioni in merito al contenuto energetico della biomassa (percentuali di C e H), all'attitudine alla combustione (rapporto C/N) e alla formazione di inquinanti nei prodotti della combustione (N, S e Cl).

Composti	conifere [% ss [*]]	latifoglie [% ss [*]]	pioppo [% ss [*]]
Ceneri	0,3	0,3	2,0
Carbonio, C	51	49	48
Idrogeno, H	6,3	6,2	6,2
Ossigeno, O	42	44	43
Azoto, N	0,1	0,1	0,4
Zolfo, S	<0,02	0,02	0,03
Cloro, Cl	0,01	0,01	<0,01
[* ss= sul secco]			

Tabella 1 Composizione elementare tipica di alcune biomasse vegetali

2.1 Tipologie

La biomassa legnosa si presenta in varie forme e tipologie commerciali, tra cui le principali sono: legno in varia pezzatura, tronchetti di legno, bricchette, pellet e cippato.

Il **legno in varia pezzatura** comprende materiale di varia dimensione (alberi o tronchi interi, ramaglie, potature, scarti di lavorazione), e proviene solitamente da attività di gestione forestale e da scarti da viticoltura e frutticoltura.

La legna può essere tagliata e spaccata dove avviene l'esbosco, in piazzali dedicati, oppure presso l'utilizzatore stesso. L'operazione può essere compiuta manualmente o in modo del tutto meccanizzato per ottenere tronchetti.



Figura 3 Tronchetti di legno

I **tronchetti di legno** rappresentano la forma tradizionale in cui viene preparato il legno utilizzato a fini energetici per applicazioni che vanno dalle tradizionali stufe alle moderne caldaie (per riscaldamento di singoli ambienti o interi edifici).



Figura 4 Bricchette di legno

Le **bricchette di legno** sono ottenute pressando trucioli e segatura, con o senza l'ausilio di additivi di pressatura, possono avere varia forma (riconducibile a cilindrica o a forma di parallelepipedo) e hanno dimensioni simili a quelle dei tronchetti di legna. Date le caratteristiche omogenee del materiale e l'elevata densità energetica, sono particolarmente indicate per essere utilizzate in sistemi di potenza non elevata, quali caminetti e stufe.



Figura 5 Pellet

I **pellet di legno** sono prodotti aggregando e comprimendo materiali di scarto, quali segatura e polveri, con o senza l'ausilio di additivi di pressatura. Sono caratterizzati da alta densità energetica e sono facilmente trasportabili e alimentabili. Le dimensioni possono variare da 6 a 8 mm di diametro e da 3,15 a 40 mm di lunghezza a seconda della classe dimensionale.



Figura 5 Cippato

Il **legno cippato** è costituito da scaglie di legno di dimensioni variabili prodotte attraverso lavorazione meccanica con strumenti affilati (macchine cippatrici) dei residui dalla raccolta e lavorazione del legno e da altre attività di potatura o di legname appositamente raccolto. Il cippato di legna ha una forma pseudo rettangolare, con lunghezza delle scaglie per la frazione principale che può variare a seconda della classe dimensionale e spessore ridotto rispetto alle altre dimensioni.

Si distingue inoltre tra cippato e legno in scaglie. Il **legno in scaglie** è costituito da pezzi di varie dimensioni e forme, prodotto tramite lo schiacciamento con utensili non affilati, come martelli. Rispetto al cippato esso può contenere percentuali di frazioni fini più elevate e classi dimensionali che ammettono lunghezza delle scaglie maggiore per la frazione principale.

2.2 Caratteristiche e contenuto energetico del legno

Le principali caratteristiche delle biomasse ai fini del loro utilizzo per la produzione di energia tramite processi termochimici di conversione energetica sono: **le dimensioni, la massa volumica, il potere calorifico, il contenuto idrico e l'umidità, la densità energetica e il contenuto di ceneri.**

Dimensioni

Le dimensioni della biomassa costituiscono una caratteristica molto importante. La dimensione del materiale infatti non solo influenza il processo di combustione all'interno del generatore di calore, ma rappresenta anche un elemento essenziale in base al quale scegliere i sistemi più idonei per le fasi di stoccaggio e di alimentazione ed eventualmente pretrattamento. In tabella sono riassunti gli intervalli tipici di variazione dimensionale di tronchetti, bricchette, pellet e cippato, secondo le notazioni e le specifiche della UNI EN 14961 (vd. Tabella 7), variabili all'interno di classi definite dalla norma stessa.

	tronchetti	bricchette	pellet	cippato
dimensioni caratteristiche	n. 3 classi ³	n. 3 classi ³	n. 3 classi ³	n. 4 classi ³
diametro [mm]	20÷350	25÷125	6÷25	3,15÷100
lunghezza [mm]	200÷1000	50÷400	3,15÷50	

Tabella 2 Caratteristiche dimensionali di tronchetti, bricchette, pellet, cippato (UNI EN 14961)

Massa volumica e massa volumica apparente [kg/m³]

La massa volumica (spesso indicata come densità) di un combustibile è il rapporto tra la massa ed il volume da esso occupato e si esprime in kg/m³. Le biomasse legnose sono caratterizzate da un corpo poroso costituito anche da cavità che possono essere piene di aria o di acqua. Nell'indicare il valore di massa volumica è quindi necessario specificare il tenore idrico corrispondente.

In Tabella 3 è riportato il valore della massa volumica di alcune specie legnose allo stato anidro (M=0) e al 50% di contenuto idrico (M=50%).

	specie	massa volumica ss (M=0) [kg/m ³]	massa volumica tq (M=50) [kg/m ³]
conifere	pino nero	560	780
	larice	550	775
	abete rosso	430	715
latifoglie	robinia	730	865
	faggio	680	840
	nocciolo	560	780
	pioppo	410	705

Tabella 3 Massa volumica media del legno allo stato anidro

³ n. di classi previste dalla norma UNI EN 14961 per ogni tipologia di biomassa legnosa (tronchetti, bricchette, pellet, cippato)

La massa volumica apparente è un altro parametro molto importante per i biocombustibili legnosi. Essa è definita come il rapporto tra la massa del combustibile solido ed il volume da essa occupato (inteso come volume del contenitore riempito con tale massa).

Per i combustibili legnosi il volume effettivamente occupato varia in funzione della forma, della dimensione e della disposizione dei singoli pezzi. Per questo motivo si applica il concetto di “vuoto per pieno”. La massa volumica apparente, spesso indicata anche come **massa volumica sterica** (espressa in **kg/msa** e **kg/msr** a seconda che l’ammasso sia rispettivamente accatastato o riversato), è tipicamente impiegata per la legna in varia pezzatura, i tronchetti di legno ed il cippato.

I rapporti di conversione tra legna tal quale (intesa come tondo), tronchetti e cippato variano a seconda della specie legnosa, in quanto dipendono dalla massa volumica e dal contenuto idrico. A titolo di esempio, si ha che per il faggio con contenuto idrico 35% 1 m³ tondo corrisponde a circa 2 msr di tronchetti e a circa 3 msr di cippato.

Potere calorifico [MJ/kg]

Il potere calorifico di un combustibile è l’energia termica massima sviluppabile dalla sua completa ossidazione ovvero dalla combustione completa di un’unità di peso.

Il potere calorifico della biomassa è sensibilmente inferiore a quello dei combustibili fossili, ed è variabile in funzione del tipo di biomassa (specie legnosa, presenza di corteccia, biomassa erbacea ecc.).

Combustibile	Potere calorifico
Legna secca	18 MJ/kg
Gasolio	42 MJ/kg
Gas naturale	48 MJ/kg
Carbone	29 MJ/kg
Idrogeno	120 MJ/kg

Tabella 4. Confronto poteri calorifici di diversi combustibili

L’evaporazione dell’acqua contenuta nella legna “consuma” 2,44 MJ ogni kg di acqua, pertanto si distingue, a seconda dello stato fisico dell’acqua presente nei prodotti di combustione:

- **potere calorifico superiore** (H_s) si riferisce al caso di completa condensazione del vapore d’acqua contenuto nei fumi;
- **potere calorifico inferiore** (H_i) si riferisce al caso in cui tutta l’acqua è presente nei prodotti della combustione allo stato di vapore, condizione tipica di funzionamento dei generatori di calore alimentati a biomassa di tipo tradizionale.

Il potere calorifico del legno è fortemente influenzato dal contenuto idrico [M], infatti al crescere del tenore idrico della biomassa il potere calorifico diminuisce (Figura 7) in quanto parte dell’energia liberata nel processo di combustione viene spesa per l’evaporazione dell’acqua.

Nel caso delle biomasse occorre prestare particolare attenzione alle condizioni a cui si riferisce il valore di potere calorifico dichiarato: **sul secco [ss]** (*biomassa anidra*) o **sul tal quale [tq]** (*biomassa umida*). In quest’ultimo caso occorre specificare il contenuto idrico a cui il valore del potere calorifico indicato fa riferimento. Il potere calorifico infe-

riore medio su base secca della biomassa legnosa è variabile indicativamente tra 17 e 19 MJ/kg. In Tabella 5 sono riportati i valori tipici del potere calorifico per il legno e i principali bio-combustibili da esso derivati.

Tipologia di biocombustibile legnoso	Contenuto idrico M	Potere calorifico inferiore H_i	
	[% tq]	[MJ/kg]	[kWh/kg]
Legno anidro	0	18,5	5,1
Pellet di legno	10	16,9	4,6
Tronchetti di legno	20	14,4	4,0
Cippato di legno	30	12,2	3,4

*tq= tal quale

Tabella 5 Valori medi di potere calorifico e contenuto idrico dei combustibili legnosi

E' possibile calcolare il potere calorifico inferiore per un dato contenuto idrico, a partire dal potere calorifico relativo alla sostanza secca, attraverso la seguente relazione:

$$H_{tq} = H_{ss} \cdot (1 - M)$$

dove:

H_{tq} : potere calorifico inferiore valutato "sul tal quale";

H_{ss} : potere calorifico inferiore valutato "sul secco";

M : contenuto idrico.

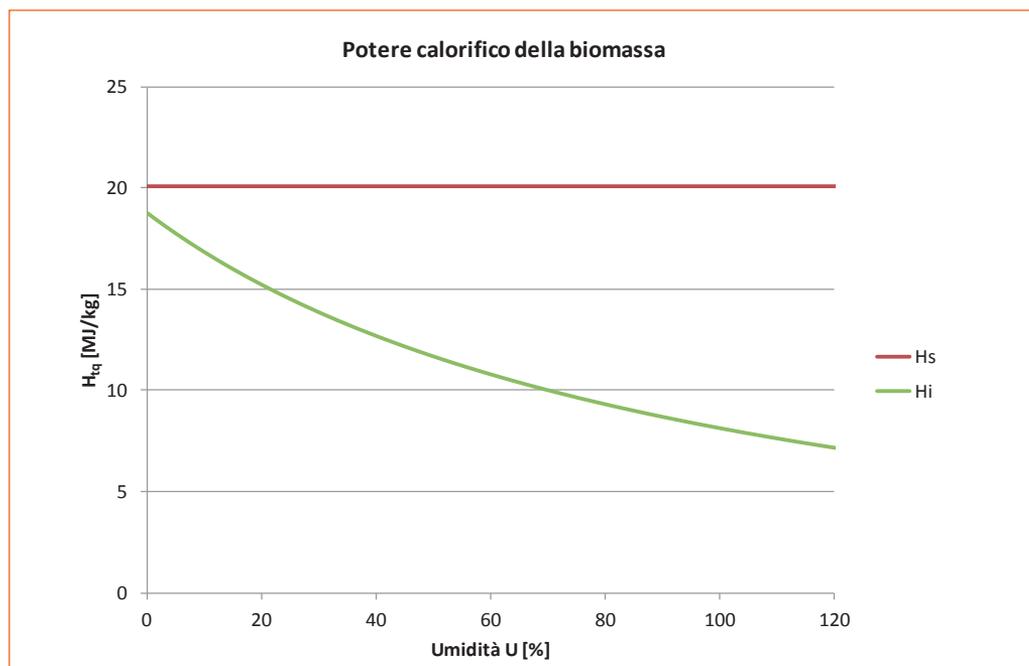


Figura 7 Esempio di variazione del potere calorifico della biomassa in funzione dell' umidità (il grafico si riferisce a biomassa con la seguente composizione [%ss]: C 50%, H 6%, O 43%, ceneri 1%)

Umidità e tenore idrico [%]

Il tenore idrico della biomassa esprime la quantità di acqua in essa presente e può essere

espresso come:

- se riferito alla massa di sostanza anidra (secca) → **umidità U [%]**
ovvero la quantità di acqua espressa in percentuale rispetto alla sostanza essiccata;
- se riferito alla massa di sostanza tal quale → **contenuto idrico M [%]**
ovvero la quantità di acqua espressa in percentuale rispetto alla quantità complessiva

Per passare da contenuto idrico a umidità e viceversa si utilizzano le seguenti relazioni:

$$M[\%] = \frac{U}{1+U} \qquad U[\%] = \frac{M}{1-M}$$

L'umidità ed il tenore idrico sono dei parametri fondamentali per la scelta e la gestione delle fasi di conversione energetica. La quantità di acqua contenuta nella biomassa influenza infatti fortemente il potere calorifico (come indicato nella Figura 7) e più in generale le condizioni all'interno dei generatori di calore, in quanto provoca una diminuzione della massima temperatura di combustione e un aumento del tempo di residenza necessario per il completamento delle reazioni chimiche. Nel caso di biomassa molto umida risulta inoltre difficile contenere le emissioni di sostanze dannose dovute a combustione incompleta, aumenta il volume dei gas prodotti e diminuisce l'efficienza del processo e quindi del generatore di calore nel suo complesso.

Il contenuto idrico del legno non pretrattato tramite essiccazione varia indicativamente tra 60% e 20% in funzione del tipo di legno, della lunghezza del periodo di stagionatura all'aria e della modalità di stoccaggio.

Densità energetica [MJ/ms o kWh/ms]

La densità energetica di un combustibile è misurata come il rapporto tra il suo potere calorifico inferiore e la massa volumica apparente.

La densità energetica è un parametro che influenza sia gli aspetti logistici di trasporto e stoccaggio della biomassa sia aspetti legati alla gestione dell'alimentazione al generatore di calore o al reattore, ed è quindi molto importante nella scelta dei sistemi e dei componenti per le fasi di trasporto, stoccaggio, movimentazione e alimentazione del combustibile.

biomassa	tipologia	quantità	contenuto idrico M [%]	massa	densità energetica	
				[kg]	[MJ]	[kWh]
faggio	tronchetti (33 cm)	1 msa	15	445	6,797	1,888
faggio	cippato	1 msr	15	295	4,505	1,251
faggio	tronchetti (33 cm)	1 msa	30	495	6,018	1,672
faggio	cippato	1 msr	30	328	3,987	1,107
abete rosso	tronchetti (33 cm)	1 msa	15	304	4,753	1,320
abete rosso	cippato	1 msr	15	194	3,032	842
abete rosso	tronchetti (33 cm)	1 msa	30	349	4,339	1,205
abete rosso	cippato	1 msr	30	223	2,768	769
legno generico	pellet	1msr	8	650	11,115	3,088

Tabella 6 Densità energetica di alcune tipologie di biomasse legnose

Ceneri

Le ceneri costituiscono il residuo solido che si ritrova a valle dei processi di trasformazione termo-chimica della biomassa, come deposito nella parte inferiore del generatore o sono trascinate nei fumi prodotti.

La composizione delle ceneri in termini di quantità, composizione e caratteristiche (comportamento alla fusione ecc.) è funzione delle ceneri presenti nella biomassa di partenza e dipende anche delle condizioni operative e di funzionamento che si verificano all'interno del dispositivo.

Le ceneri sono costituite dal materiale inorganico presente nella biomassa. I costituenti inorganici possono essere inerenti alla biomassa o presenti accidentalmente, ad esempio incorporati attraverso le varie fasi di lavorazione, in particolare durante la fase di raccolta. La composizione delle ceneri è variabile in funzione della tipologia di biomassa (con notevoli differenze anche da specie a specie), della parte della pianta, delle condizioni del terreno, dell'eventuale uso di fertilizzanti ecc. Per esempio tra le biomasse solide il legno, esclusa la corteccia, è quello che presenta il minor contenuto di cenere, contrariamente a quanto accade per le biomasse di origine agricola.

2.3 Requisiti qualitativi dei biocombustibili solidi

Rendimenti ed emissioni dei generatori di calore a biomassa sono fortemente influenzati dalla qualità del combustibile utilizzato: tipologia di legno (con o senza corteccia), umidità, pezzatura, ecc.

Non è sufficiente scegliere un generatore di calore con buone caratteristiche, in termini di rendimento, emissioni, ed innovazione tecnologica, occorre utilizzare legna di buona qualità!

A livello europeo la norma di riferimento per i biocombustibili solidi è la UNI EN 14961 "*Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile*" che definisce le specifiche e le classi di qualità dei biocombustibili solidi ed è suddivisa in 6 parti. La norma, oltre a definire uno schema di classificazione in base alla natura, alla provenienza e alle principali tipologie commerciali delle biomasse solide, stabilisce delle classi di qualità dei biocombustibili, introducendo una distinzione tra uso industriale e uso non industriale. In particolare, per gli usi non industriali (uso in applicazioni di piccola taglia come in edifici residenziali e piccole utenze del settore pubblico e commerciale) si sottolinea l'importanza di utilizzare biocombustibili di migliore qualità con caratteristiche riconducibili alle classi indicate in UNI EN 14961: -2, -3, -4, -5, -6 per pellet di legno, bricchette di legno, cippato di legno e pellet non di legno⁴

In Tabella 2 sono riassunti gli intervalli tipici di variazione delle caratteristiche chimico-fisiche e dimensionali di tronchetti, bricchette, cippato e pellet, secondo le notazioni e le specifiche della UNI EN 14961, variabili all'interno di classi definite dalla norma stessa.

4 Per pellet non di legno di intendono biomasse di origine vegetale raccolte dagli scarti dell'agricoltura e valorizzate come combustibile (ad esempio il così detto "agripellet").

	tronchetti	bricchette	pellet	cippato
	n. 3 classi ³	n. 3 classi ³	n. 3 classi ³	n. 4 classi ³
dimensioni e caratteristiche D <i>diametro [mm]</i>	20÷350	25÷125	6÷25	3,15÷100
dimensioni e caratteristiche L <i>lunghezza [mm]</i>	200÷1000	50÷400	3,15÷50	
contenuto idrico M [%]	M10÷M55+	M 10 ÷ M 15	M 10 ÷ M 15	M 10 ÷ M 55+
Ceneri A [% ss]		A 0,5÷10,0+	A 0,5÷10,0+	A 0,5÷10,0+
Azoto N [% ss]		N 0,3 ÷ N 3,0+	N 0,3 ÷ N 3,0+	N 0,3 ÷ N 3,0+
Cloro Cl [% ss]		Cl 0,02 ÷ Cl 0,10+	Cl 0,02 ÷ Cl 0,10+	Cl 0,02 ÷ Cl 0,10+

Tabella 7 Caratteristiche di tronchetti, bricchette, pellet, cippato (UNI EN 14961)



Figura 8 Pellet

I requisiti qualitativi del PELLETT

Il pellet rappresenta un biocombustibile con caratteristiche molto interessanti (semplicità di movimentazione e di utilizzo, elevato contenuto energetico, etc.) e sempre più diffuso. La qualità del pellet influenza notevolmente il corretto funzionamento dei generatori ed è sempre più sentita l'esigenza di avere garanzie sulla sua qualità.

La **UNI EN 14961-2** introduce 3 classi di qualità:

- Classe A1 che corrisponde alla qualità più elevata, con contenuto di ceneri massimo pari a 0,7% sul secco ss E;
- Classe A2 con contenuto di ceneri massimo pari a 1,5% ss;
- Classe B con contenuto di ceneri massimo pari a 3,5% ss e che può essere prodotta sia da segatura che da corteccia.

La classe B è destinata a impianti di combustione per uso commerciale o industriale, non è adatta ad impianti ad uso domestico o residenziale.

Il sistema di certificazione EN plus si basa sulla UNI EN 14961-2 e garantisce la qualità del prodotto esaminando non solo le caratteristiche del pellet ma anche tutta la catena del biocombustibile (produzione/ricezione della materia prima, stoccaggio del combustibile, consegna del pellet, etc.), trattato da aziende dotate di un sistema interno di qualità basato sulla EN ISO 9001 e la prEN 15234.

A livello nazionale si fa riferimento anche all'attestazione di qualità "Pellet Gold" che oltre a garantire la conformità alla norma europea UNI EN 14961-2, prescrive il rispetto di determinati parametri riguardo al contenuto di formaldeide e di radioattività [Bq/kg].



Figura 9 Tronchetti di legno

I requisiti qualitativi dei TRONCHETTI DI LEGNO

I tronchetti di legno rappresentano la forma di biomassa legnosa tradizionalmente utilizzata in piccole applicazioni e in contesti rurali. Le caratteristiche della biomassa in ingresso influenzano notevolmente le condizioni di funzionamento dei generatori di calore e di conseguenza il rendimento del processo di produzione di energia e le emissioni al camino. A questo proposito, le principali caratteristiche dei tronchetti di legno sono la pezzatura, il contenuto idrico ed il contenuto di ceneri. Spesso la legna in tronchetti viene acquistata senza le opportune garanzie di qualità, portando ad utilizzare nei generatori legna troppo umida o con eccessiva percentuale di corteccia e impurità. La **UNI EN 14961-5** determina le classi di qualità e le specifiche per i tronchetti di legno per usi non industriali, prodotti da legno vergine da attività forestale e arboricoltura, scarti da lavorazioni industriali e legno usato (ad eccezione di rifiuti di legno da costruzioni e demolizioni).

Sono indicate 3 classi di qualità: A1, A2 e B in base a parametri dimensionali e chimico-fisici. Le classi A1 e A2 prevedono un contenuto idrico inferiore al 25% con 2 specifiche (M20 per $M \leq 20\%$ e M25 per $M \leq 25\%$), la classe B prevede un contenuto idrico inferiore al 35% con 2 specifiche (M25 per $M \leq 25\%$ e M35 per $M \leq 35\%$).



Figura 10 Cippato

I requisiti qualitativi del CIPPATO

Il legno cippato è costituito da scaglie di legno di dimensioni variabili prodotte attraverso lavorazione meccanica con strumenti affilati (macchine cippatrici) dei residui dalla raccolta e lavorazione del legno e da altre attività di potatura o di legname appositamente raccolto. L'operazione di cippatura avviene generalmente in campo o in appositi piazzali dotati di impianti fissi o mobili. Il cippato di legna ha una forma pseudo rettangolare, con lunghezza delle scaglie per la frazione principale che può variare a seconda della classe dimensionale e spessore ridotto rispetto alle altre dimensioni.

Si distingue inoltre tra cippato e legno in scaglie. Il **legno in scaglie** è costituito da pezzi di varie dimensioni e forme, prodotto tramite lo schiacciamento con utensili non affilati, come martelli. Rispetto al cippato esso può contenere percentuali di frazioni fini più elevate e classi dimensionali che ammettono lunghezza delle scaglie maggiore per la frazione principale.

La **UNI EN 14961-4** determina le classi di qualità e le specifiche per il cippato di legno per usi non industriali, prodotto da legno vergine da attività forestale e arboricoltura, scarti da lavorazioni industriali e legno usato (ad eccezione di rifiuti di legno da costruzioni e demolizioni). Sono indicate 4 classi di qualità: A1, A2, B1 e B2 in base a parametri dimensionali della frazione principale e della frazione grossa ed alla percentuale di fini presenti.



Figura 11 Bricchette di legno

I requisiti qualitativi delle BRICCHETTE

Le bricchette di legno sono ottenute pressando trucioli e segatura (in genere utilizzando una pressa a pistone), con o senza l'ausilio di additivi di pressatura, possono avere varia forma (riconducibile a cilindrica o a forma di parallelepipedo) e hanno dimensioni simili a quelle dei tronchetti di legna. Date le caratteristiche omogenee del materiale e l'elevata densità energetica, sono particolarmente indicate per essere utilizzate in sistemi di potenza non elevata, quali caminetti e stufe.

La **UNI EN 14961-3** determina le classi di qualità e le specifiche per le bricchette di legno per usi non industriali, prodotte da legno vergine da attività forestale e arboricoltura, scarti da lavorazioni industriali e legno usato (ad eccezione di rifiuti di legno da costruzioni e demolizioni).

Sono indicate 3 classi di qualità: A1, A2 e B in base a parametri dimensionali e chimico-fisici⁵.

2.4 Stoccaggio e movimentazione

Gli impianti alimentati a biomassa necessitano di un sistema di approvvigionamento periodico e di uno stoccaggio di combustibile per assicurarne la continuità del funzionamento, a causa della assenza di una rete diretta di alimentazione del combustibile stesso. A causa della bassa densità energetica della biomassa, il dimensionamento dello stoccaggio è di cruciale importanza!

E' quindi necessario tenere conto delle esigenze connesse alle varie fasi di reperimento della biomassa che precedono la fase di conversione energetica vera e propria:

- conferimento della materia prima;
- stoccaggio presso il sito di utilizzo;
- alimentazione all'impianto.

In base alla biomassa utilizzata, gli stoccaggi variano per tipologia e dimensione: dalla catasta realizzata presso l'utenza privata, al piazzale o alle strutture coperte per il cumulo.

Con il termine "**alimentazione all'impianto**" si intende generalmente il sistema automatico di estrazione automatica che porta il combustibile (pellet o cippato) all'interno della caldaia.

I singoli generatori di calore che non dispongono di uno stoccaggio con estrazione automatica della biomassa (ma solo di uno stoccaggio in deposito) possono essere ad alimentazione manuale o automatica, a seconda che il caricamento della camera di combustione avvenga manualmente da parte dell'operatore o automaticamente da un serbatoio integrato al generatore stesso. In quest'ultimo caso l'operatore deve periodicamente riempire il serbatoio di caricamento integrato. Sono inoltre spesso utilizzati, in aggiunta ai serbatoi integrati laddove ci sia disponibilità di spazio, dei silos in tessuto che per gravità alimentano il serbatoio delle caldaie a pellet o a cippato.

⁵ Natura e provenienza, diametro e lunghezza, contenuto idrico, ceneri, massa volumica, additivi, potere calorifico, N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn

In sintesi, la biomassa può essere accumulata in:

- depositi (al coperto o all'aperto): strutture per il contenimento della biomassa sia sfusa sia confezionata, da cui deve essere estratta con un intervento manuale;



Figura 12 Deposito all'aperto di cippato



Figura 13 Catasta di legna

- silos: strutture per il contenimento della biomassa sfusa, dotate di sistema di estrazione automatica. Il silo devono essere progettato in modo da essere facilmente accessibile dal mezzo di trasporto e deve essere provvisto di una o due aperture che consentano di riempirlo in modo adeguato.



Figura 14 Silo in muratura con estrazione automatica



Figura 15 Silo in tessuto con estrazione automatica

2.5 Le applicazioni

Come visto la biomassa legnose nelle sue varie tipologie può essere utilizzata per produrre energia in vari contesti applicativi e configurazioni impiantistiche molto diverse tra loro, tipicamente riconducibili a:

- produzione di energia termica (singoli locali, abitazioni, condomini, scuole e utenze del terziario, teleriscaldamento, usi industriali, ecc.);

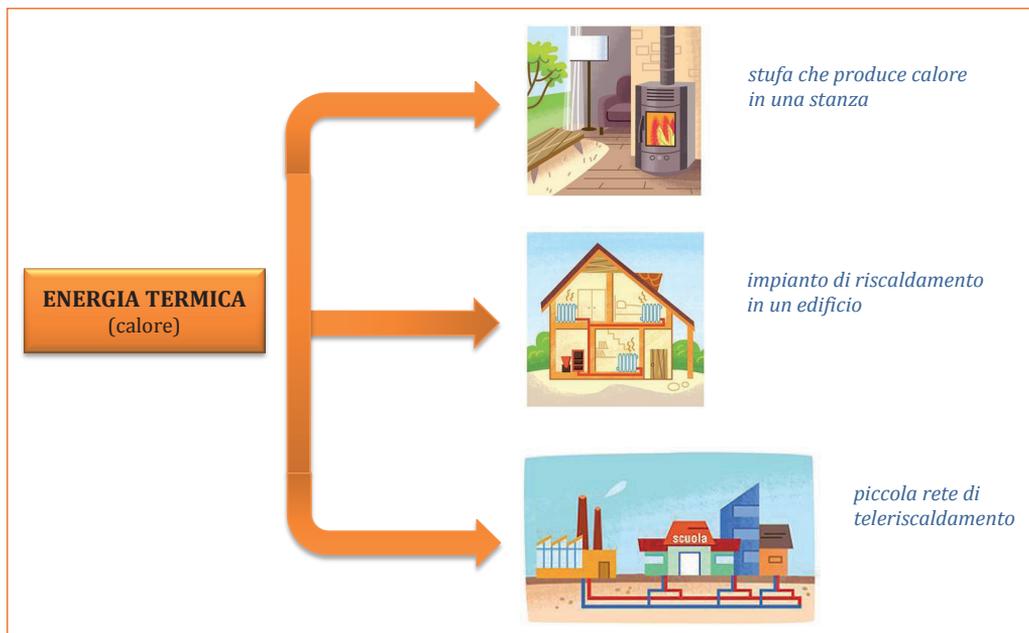


Figura 16 Esempi di impianti di produzione di energia termica

- produzione di energia termica ed elettrica in cogenerazione (per riscaldamento o produzione di vapore ed eventualmente raffreddamento di ospedali, utenze industriali, teleriscaldamento, centrali termoelettriche, etc.).

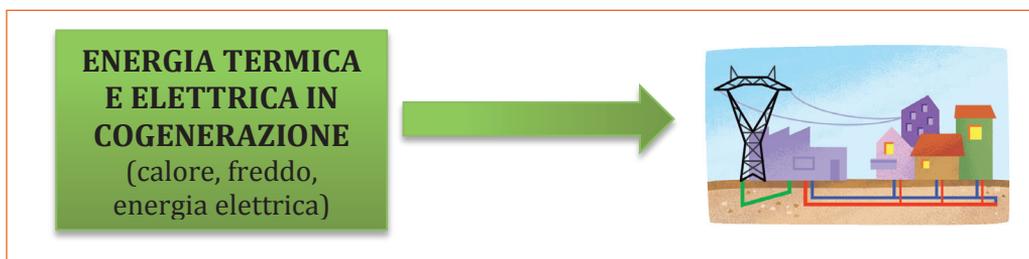


Figura 17 Esempio impianto di produzione di energia termica ed elettrica

Si riportano a seguire delle configurazioni tipiche di impianti a biomassa con indicata la tipologia di generatore, il combustibile in genere utilizzato, la potenza termica tipica, le modalità di conferimento della biomassa e la modalità di stoccaggio.

tipologia di generatore	combustibile	potenza tipica	confezionamento	modalità di conferimento	modalità di stoccaggio
CAMINO CUCINA STUFA (ad aria e/o acqua)	tronchetti di legna	< 30 [kW]	sfuso su bancali	autovettura autocarro trattore con rimorchio	catasta bancali deposito bancali
CAMINO STUFA (ad aria e/o acqua)	pellet	< 30 [kW]	sfuso in sacchi singoli in sacchi su bancali	autovettura autocarro autocisterna	deposito sacchi deposito silo in tessuto silo in muratura
CALDAIA (ad acqua)	tronchetti di legna	< 150 [kW]	su bancali	autocarro trattore con rimorchio	bancali deposito bancali
	pellet	< 300 [kW]	sfuso in sacchi singoli in sacchi su bancali	autovettura autocarro autocisterna	deposito sacchi deposito silo in tessuto silo in muratura
	cippato	< 1 MW	sfuso	autocarro trattore con rimorchio	cumulo all'aperto cumulo al coperto deposito silo in muratura cassone scarrabile
CALDAIA (ad acqua, olio diatermico, vapore)	cippato	> 1 MW	sfuso	autocarro	cumulo all'aperto cumulo al coperto deposito silo in muratura

Tabella 8 Configurazioni tipiche di impianti a biomassa (conferimento e stoccaggio)



3. Tecnologie per la produzione di energia termica

Per produrre energia termica la biomassa legnosa viene bruciata all'interno di un generatore di calore: l'energia chimica contenuta nel combustibile si trasforma in energia termica dei fumi prodotti .

In una caldaia, il calore sviluppato durante la combustione viene utilizzato per riscaldare un fluido termovettore . Il fluido termovettore che può essere costituito da aria, acqua, olio diatermico, vapore, ecc.. può essere impiegato per: riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, produzione di calore e vapore di processo in ambito industriale, teleriscaldamento.

Gli apparecchi termici quali stufe camini ecc .. trasmettono invece il calore sviluppato durante la combustione direttamente all'ambiente per irraggiamento (es: tramite superficie vetrata) e/o convezione (es: tramite circolazione dell'aria calda).

In generale **il processo di combustione** del legno può essere diviso nelle fasi di:

- riscaldamento ed essiccamento del legno con evaporazione dell'acqua in esso contenuto (fase di *essiccazione* avviene a temperature <100°C). In questa fase, di tipo endotermico, viene utilizzata l'energia sviluppata durante la fase di combustione vera e propria. Se la biomassa in ingresso ha un eccessivo contenuto idrico l'energia richiesta nella fase di essiccazione è tale per cui le temperature scendono al di sotto della temperatura minima necessaria a sostenere la combustione ed il processo non riesce ad auto sostenersi;
- pirolisi del legno con il rilascio della frazione volatile (fase di devolatilizzazione) che consiste in una degradazione termica in assenza di ossigeno e avviene a temperature indicativamente comprese tra 200 e 1150 °C con formazione di prodotti gassosi;
- parziale gassificazione della frazione solida che consiste in una degradazione termica in difetto di ossigeno. Una parte della frazione solida volatilizza e reagisce con l'ossigeno e con i gas prodotti nelle altre fasi e si ha la formazione di char(residuo carbonioso);
- combustione primaria della fase gassosa (fase di ossidazione omogenea) e combustione secondaria eterogenea del char (fase di ossidazione eterogenea), durante le quali parte dei prodotti delle fasi intermedie di devolatilizzazione, di gassificazione e il char vengono ossidati completamente, dando origine ad un flusso di fumi ad alta temperatura.

I generatori di calore a biomassa legnosa possono essere distinti in base alle caratteristiche tecnologiche e allo scopo per cui sono preposti in:

- **apparecchi** (caminetti, inserti, cucine, stufe): il cui scopo è il riscaldamento diretto dell'ambiente in cui sono installati, possono anche essere dotati di scambiatore di calore integrato per il riscaldamento del fluido termovettore (apparecchi ad acqua);
- **caldaie**: lo scopo è riscaldare un fluido termovettore ovvero acqua calda che tramite un circuito di distribuzione alimenta i corpi scaldanti dell'ambiente da riscaldare, acqua calda o surriscaldata a servizio di una rete di teleriscaldamento, vapore di processo, ecc...

3.1 Com'è fatto un generatore di calore a biomassa legnosa?

I generatori di calore a biomassa legnosa appartengono alla categoria dei bruciatori a letto fisso con forni a griglia. In termini generali, essi sono costituiti da una camera di combustione di varia geometria (all'interno della quale sono presenti la griglia su cui viene introdotto il combustibile e i punti di immissione dell'aria comburente) e da una serie di superfici di scambio termico che trasferiscono il calore dei fumi al fluido termovettore. A seconda delle caratteristiche del combustibile in ingresso in termini di pezzatura e di contenuto di umidità, della taglia dell'impianto e dell'adozione di particolari soluzioni costruttive e tecnologiche è possibile distinguere molteplici configurazioni.

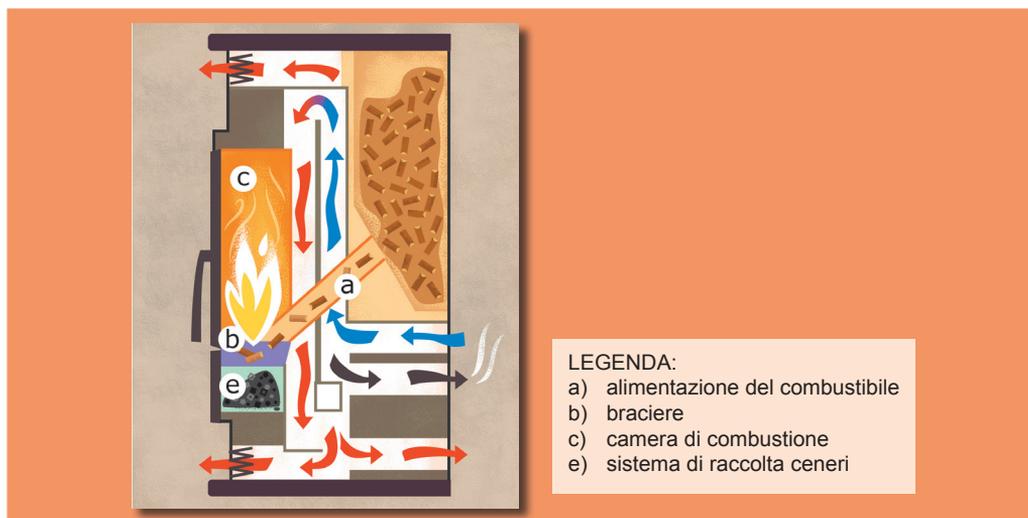
Un tipico generatore di calore a biomassa solida è costituito dai seguenti elementi:

- sistema di alimentazione del combustibile alla camera di combustione (manuale o automatico con coclee, ecc.);
- griglia (fissa o mobile) o braciere;
- camera/e di combustione;
- sistema di immissione di aria comburente (primaria, secondaria e terziaria);
- sistema di raccolta ceneri;
- superfici di scambio termico;
- sistema di evacuazione dei prodotti della combustione (condotto fumario).

I generatori di taglia superiore o quelli di piccola taglia caratterizzati da un buon livello di sviluppo tecnologico hanno anche:

- sistemi di regolazione della potenza termica erogata (in base alla temperatura della caldaia, cronotermostato, ecc.),
- sistemi di controllo e regolazione della combustione (in base a sonda di temperatura, sonda CO, sonda Lambda);
- sistema di contenimento emissioni/trattamento fumi integrato (filtro catalitico, elettro-filtro);
- sistemi automatici di pulizia della griglia e degli scambiatori.

Vediamo qui di seguito un esempio di sezione di un apparecchio domestico ovvero di una stufa a pellet e a seguire di una caldaia a cippato a griglia mobile.



LEGENDA:
 a) alimentazione del combustibile
 b) braciere
 c) camera di combustione
 e) sistema di raccolta ceneri

Figura 18 Apparecchio per il riscaldamento domestico (stufa a pellet)

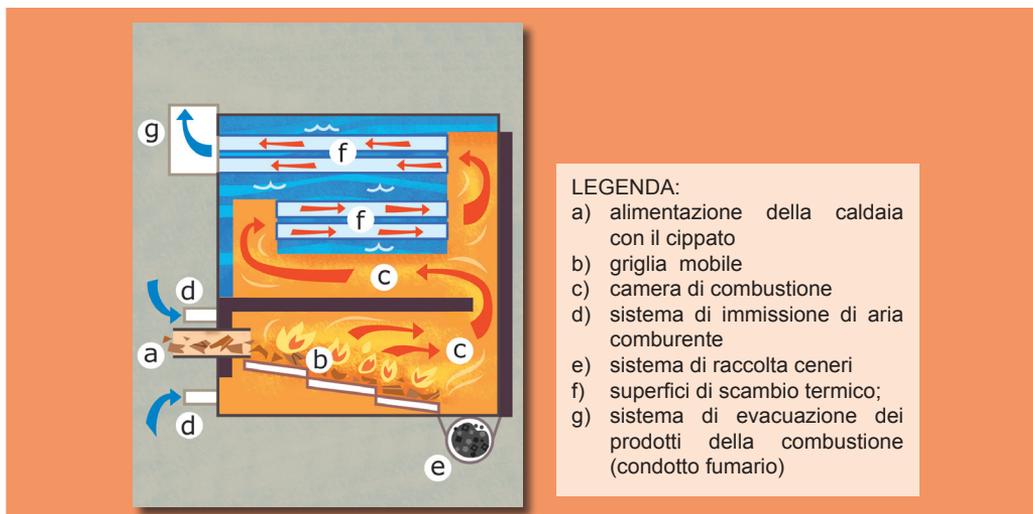


Figura 19 Caldaia a cippato a griglia mobile

Per ogni tipologia di impianto vi sono diverse soluzioni tecnologiche e possibili configurazioni. La scelta della tecnologia da utilizzare dipende dalla potenza dell'impianto da installare e dalla disponibilità e forma del combustibile. Si riportano nella tabella seguente delle applicazioni tipiche per sistemi di produzione di energia termica ed elettrica con indicazione del fluido termovettore generalmente utilizzato, della biomassa e della potenza nominale tipica.

APPLICAZIONI TIPICHE	CAMPO DI UTILIZZO	TIPOLOGIE DI APPARECCHI	FLUIDO TERMOVETTORE	POTENZA NOMINALE TIPICA
	Riscaldamento diretto di ambienti (per esempio di una stanza)	apparecchi a tronchetti	aria	5 ÷ 30 kW
		apparecchi a pellet		5 ÷ 30 kW
 	Riscaldamento diretto di ambienti e riscaldamento di un intero edificio	Apparecchi a tronchetti	Acqua	5 ÷ 30 kW
		Apparecchi a pellet		5 ÷ 30 kW

→ segue tabella

← segue tabella

APPLICAZIONI TIPICHE	CAMPO DI UTILIZZO	TIPOLOGIE DI APPARECCHI	FLUIDO TERMOVETTORE	POTENZA NOMINALE TIPICA
		Caldaie a legna		15 ÷ 150 kW
		Caldaie a pellet		15 ÷ 300 kW
				Caldaie a cippato
				
	Riscaldamento	Caldaie a cippato	acqua	> 100 kW
				
	Produzione di energia termica ed elettrica	Caldaie a cippato	Olio diatermico	> 1.000 kW
	produzione di energia termica ed elettrica	Caldaie a cippato	Vapore	> 5.000 kW
				

Tabella 9 Caratteristiche tipiche dei generatori di calore a biomassa legnosa

3.2 Apparecchi termici: CAMINETTI, CUCINE E STUFE

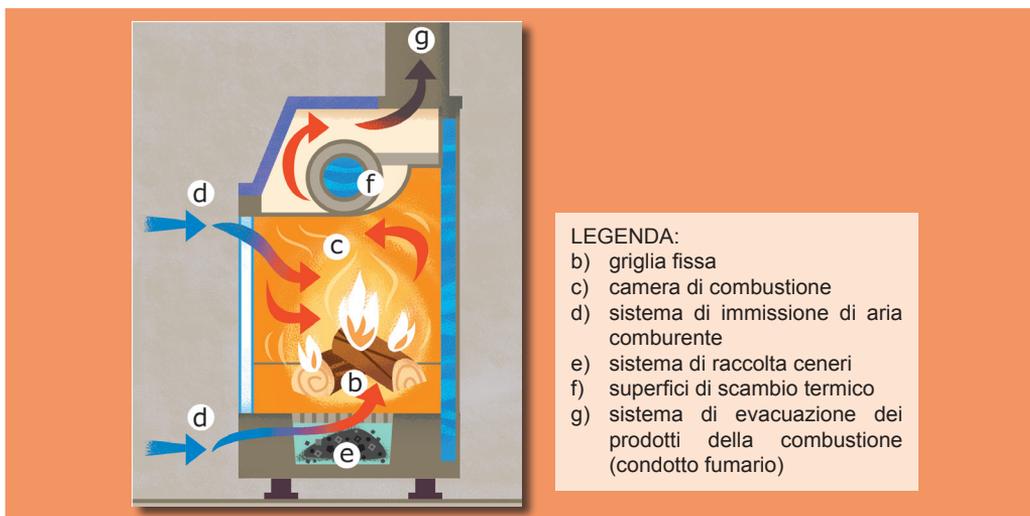
Gli apparecchi termici a biomassa legnosa vengono solitamente utilizzati per riscaldare singoli ambienti in edifici dotati di un altro impianto di riscaldamento (generalmente a fonti fossili), ma possono essere utilizzati anche per riscaldare intere abitazioni a ridotto fabbisogno di energia termica in abbinamento ad altri generatori di calore a fonte fossile o rinnovabile (ad esempio collettori solari).

Gli apparecchi termici possono riscaldare direttamente l'ambiente in cui sono posti mediante irraggiamento e circolazione di aria calda (i cosiddetti apparecchi ad aria) oppure mediante irraggiamento, circolazione di aria calda e produzione di acqua calda che viene inviata al sistema di distribuzione ed ai terminali di riscaldamento (i cosiddetti apparecchi ad acqua o termo).

3.2.1 Camini e termocamini

I **camini** a focolare chiuso hanno potenze nominali tipiche indicativamente comprese tra 5 e 20 kW, utilizzano tronchetti o bricchette di legno con alimentazione manuale o pellet con sistema di alimentazione automatica dal serbatoio integrato. La combustione avviene su di una griglia e la cenere si deposita in un apposito cassetto sottostante. La regolazione dell'aria di combustione può avvenire mediante la movimentazione manuale di serrande. I camini a focolare chiuso di più recente costruzione prevedono l'ingresso di aria primaria (sul piano del fuoco o sotto la griglia), di aria secondaria (entrante dalla sommità del portellone) e di aria di post-combustione (immessa nella parte superiore della camera di combustione). I **termo-camini**, oltre che per riscaldare direttamente gli ambienti, sono utilizzati per produrre acqua calda sanitaria e per alimentare l'impianto di riscaldamento. Funzionano a pellet o a legna, con potenze tipiche tra 15 e 30 kW e rendimenti nominali tipicamente superiori al 70%.

I **camini a focolare aperto** hanno invece efficienze molto basse, tipicamente inferiori al 40%, tanto da non essere considerati sistemi di riscaldamento a tutti gli effetti, ed emissioni decisamente alte (anche 50 volte superiori rispetto a quella da dispositivi più sofisticati) di monossido di carbonio, ossidi di azoto e particolato.



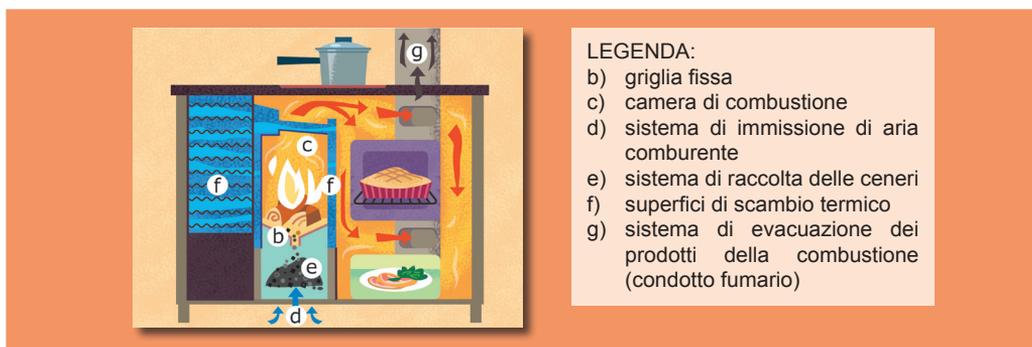
LEGENDA:

- b) griglia fissa
- c) camera di combustione
- d) sistema di immissione di aria comburente
- e) sistema di raccolta ceneri
- f) superfici di scambio termico
- g) sistema di evacuazione dei prodotti della combustione (condotto fumario)

Figura 20 Sezione tipo termo-camino a tronchetti di legno

3.2.2 Cucine e termo cucine

Le cucine (disponibili con potenze nominali tipiche indicativamente comprese tra 5 e 20 kW) sono utilizzate per cucinare e riscaldare l'ambiente in cui sono installate e utilizzano tronchetti di legno con alimentazione manuale. Le termo-cucine permettono, oltre che cucinare e riscaldare direttamente gli ambienti, di produrre acqua calda ad uso sanitario e per alimentare l'impianto di riscaldamento. Funzionano generalmente a tronchetti di legna, con potenze tipiche tra 10 e 30 kW e rendimenti nominali tipicamente superiori al 60%.



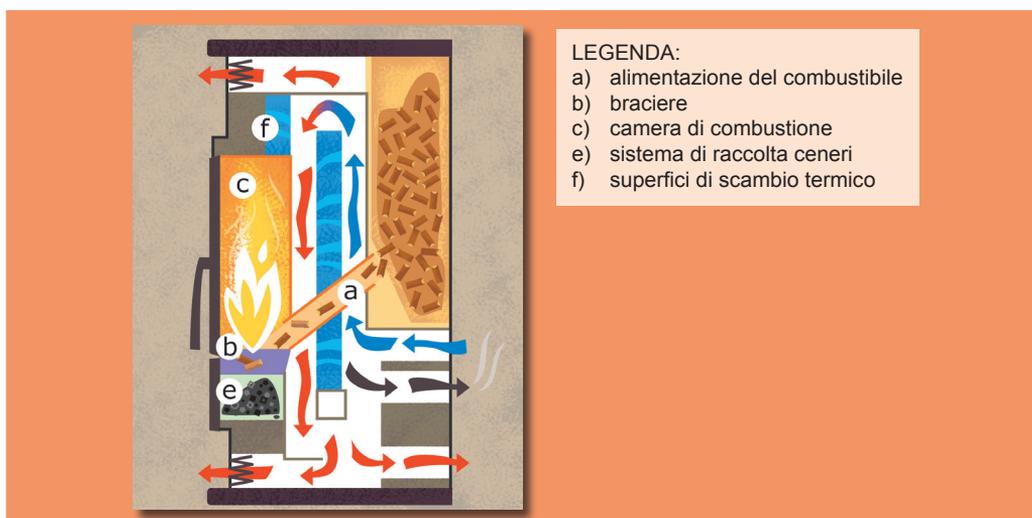
LEGENDA:

- b) griglia fissa
- c) camera di combustione
- d) sistema di immissione di aria comburente
- e) sistema di raccolta delle ceneri
- f) superfici di scambio termico
- g) sistema di evacuazione dei prodotti della combustione (condotto fumario)

Figura 21 Cucina a tronchetti di legno

3.2.3 Stufe e termostufe

Le stufe hanno potenza termica nominale indicativamente compresa tra 5 e 30 kW e possono essere alimentate a legna o a pellet. Nell'ultimo caso la stufa dispone di un sistema di alimentazione automatico che convoglia il pellet da un serbatoio (integrato nella stufa), solitamente sufficiente a garantire un'autonomia di 1-2 giorni. Il pellet viene inviato tramite un canale inclinato o un sistema a coclea o a vite e bruciato in un crogiolo-



LEGENDA:

- a) alimentazione del combustibile
- b) braciere
- c) camera di combustione
- e) sistema di raccolta ceneri
- f) superfici di scambio termico

Figura 22 Termo-stufa a pellet

lo. L'aria di combustione primaria viene alimentata attraverso fori praticati nel crogiolo, l'aria secondaria viene solitamente pre-riscaldata e alimentata attraverso fori ricavati nel mantello della camera di combustione. Nelle stufe alimentate a tronchetti di legna la combustione avviene su di una griglia, l'aria primaria viene inviata radente al piano della griglia o sotto di essa. L'aria di post combustione viene pre-riscaldata e alimentata nella parte superiore della camera di combustione. L'aria secondaria, utilizzata principalmente per la pulizia del vetro del portellone, entra dalla sommità del portellone. La cenere prodotta durante la combustione non trascinata dai fumi si raccoglie in un'apposita vaschetta al di sotto della griglia. Le termo-stufe vengono utilizzate, oltre che per riscaldare direttamente gli ambienti, per produrre acqua calda sanitaria e possono essere collegate ad un sistema di riscaldamento di tipo tradizionale con circolazione di acqua calda. Le stufe a tronchetti di legno hanno rendimenti nominali tipicamente superiori al 70%, quelle a pellet tipicamente superiori all'80%.

3.3 Apparecchi termici: CALDAIE

Le caldaie a biomassa legnosa vengono utilizzate per produrre energia termica, impiegata per:

- il riscaldamento di singole abitazioni o di complessi di edifici, con potenze termiche tipiche a partire da circa 15 kW;
- servire una rete di teleriscaldamento;
- usi industriali e di processo presso utenze che necessitano di riscaldare fluidi termovettori di varia natura destinati ad usi industriali e di processo, tra cui acqua calda (a temperature inferiori a 100°C), acqua surriscaldata (a temperature di circa 120°C), vapore d'acqua saturo o surriscaldato (fino a temperature superiori ai 400°C) e olio diatermico (fino a circa 300°C). Esempi di applicazioni possono essere per esempio negli ospedali, industrie di essiccazione, lavaggi, cosmesi e alimentari;
- produrre energia elettrica e termica in impianti cogenerativi in tutti i casi in cui si presenti un'utenza termica a bassa temperatura come per esempio riscaldamento di serre, piscine, reti di teleriscaldamento, ecc..

3.3.1 Caldaie a tronchetti di legna

Sono disponibili per potenze fino a circa 200 kW e possono essere alimentate con ciocchi aventi pezzature variabili fino ad un metro.

Le moderne caldaie sono progettate per realizzare le condizioni di combustione in più stadi. Esse presentano una zona in cui si ha una prima fase di ossidazione in difetto di aria rispetto a quella stechiometrica, indicata come fase di gassificazione, durante la quale si sviluppa un gas combustibile che viene bruciato nella camera secondaria, in cui viene introdotta aria secondaria in modo da completare le reazioni di ossidazione. Nelle tipologie a fiamma rovesciata, in particolare, la camera di combustione è situata sotto il vano in cui viene caricata la legna e l'aria primaria viene introdotta in caldaia immediatamente sopra la griglia sulla quale è disposta la biomassa. Qui si innesca il processo di gassificazione con conseguente formazione del gas combustibile che, trascinato in basso attraverso la griglia, viene bruciato nella camera sottostante grazie alla presenza di un flusso di aria secondaria. Le caldaie a fiamma rovesciata e gassificazione di moderna concezione sono dotate di sistemi di controllo della combustione (sonda di temperatura, sonda CO e sonda Lambda) e di regolazioni automatiche e possono

raggiungere rendimenti anche superiori al 90%. Le caldaie a tronchetti di legna di tipo tradizionale raggiungono invece rendimenti inferiori. A seconda della taglia della caldaia e delle dimensioni del vano di caricamento la carica di legna deve essere rinnovata ad intervalli che vanno da alcune ore fino a 2-3 giorni.

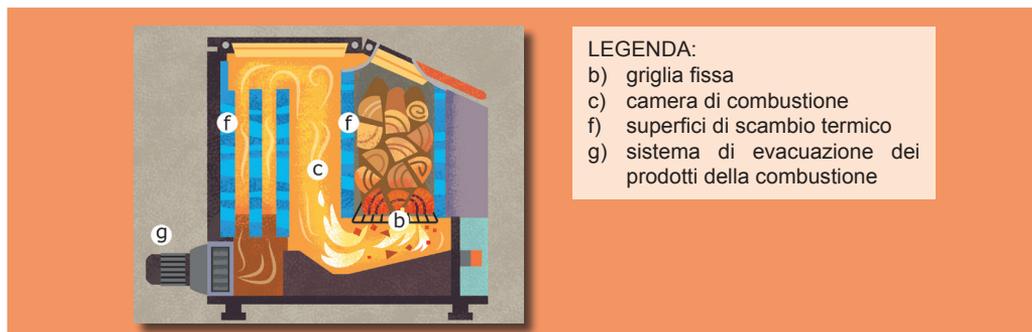


Figura 23 Caldaia a tronchetti di legno (a fiamma rovescia)

3.3.2 Caldaie a pellet

Le caldaie a pellet, disponibili per potenze che partono da pochi kW a circa 300 kW, sono alimentate in modo automatico e hanno caratteristiche funzionali simili a quelle delle caldaie a cippato. In alcuni casi specifici si possono avere impianti di taglia superiore, anche se per taglie elevate è preferibile utilizzare cippato. Le caldaie a pellet sono caratterizzate da ampia flessibilità e semplicità di utilizzo (accensione/spegnimento programmati e con possibilità di tele-gestione, etc.). Essendo il pellet un combustibile di buona qualità con caratteristiche definite standardizzate, anche gli apparecchi di piccola potenza garantiscono alti rendimenti (anche superiori al 90%) e basse emissioni. Gli apparecchi di buona qualità di moderna concezione sono dotati di sistemi di controllo e di regolazione automatici che permettono di contenere ulteriormente le emissioni di particolato ed ossidi di azoto.

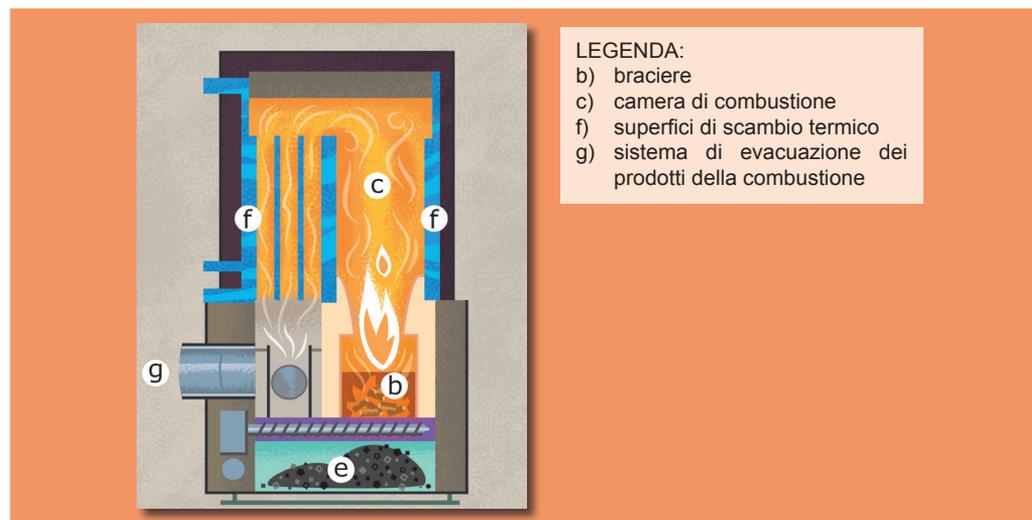
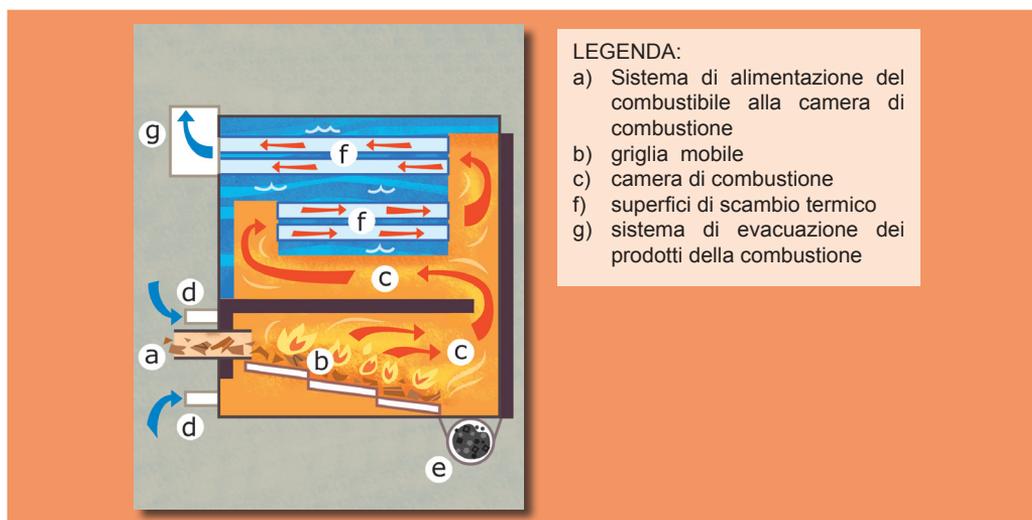


Figura 24 Caldaia a pellet

3.3.3 Caldaie a cippato

Le caldaie a cippato sono alimentate in modo automatico (tramite sistemi a coclea, a nastro o a spintore) e possono raggiungere potenze anche di diverse decine di MW. Sul mercato si trovano modelli di caldaie a cippato a partire da pochi kW di potenza, anche se le applicazioni tipiche partono da circa 50 kW. Esse sono particolarmente indicate per il riscaldamento di edifici di dimensioni medie o grandi, quali condomini, alberghi, scuole, ospedali, centri commerciali, o più utenze termiche collegate insieme da reti di teleriscaldamento. Questo tipo di caldaia, caratterizzato da potenze piuttosto elevate, richiede la progettazione di un adeguato vano di stoccaggio per il cippato. A seconda delle tipologie costruttive, le caldaie si possono suddividere in varie categorie. Facendo riferimento alla tipologia di camera di combustione adottata, le caldaie a cippato si distinguono in sistemi a griglia fissa o a griglia mobile. I primi sono indicati nel caso di cippato di piccole dimensioni, con basso tenore di umidità e contenuto di ceneri inferiori al 2%. I secondi sono invece indicati nel caso di cippato più eterogeneo, di pezzatura maggiore, di umidità fino al 50% e con alto contenuto di ceneri.

I modelli più avanzati di caldaie sono dotati di sistemi di regolazione a microprocessore e sensori, e raggiungono rendimenti termici molto elevati. Anche i modelli di piccola potenza di ultima generazione hanno la regolazione automatica dell'aria di combustione in base al fabbisogno di ossigeno, misurato nei fumi con apposita sonda Lambda, in tutte le fasi di funzionamento dell'apparecchio.



LEGENDA:

- a) Sistema di alimentazione del combustibile alla camera di combustione
- b) griglia mobile
- c) camera di combustione
- f) superfici di scambio termico
- g) sistema di evacuazione dei prodotti della combustione

Figura 25 Caldaia a cippato



4. Tecnologie per la produzione di energia elettrica e termica (cogenerazione)

Per produrre energia elettrica è necessario utilizzare il calore prodotto da un generatore di calore per alimentare un ciclo termodinamico in grado di convertire l'energia termica posseduta dal fluido termovettore impiegato in energia meccanica e successivamente in energia elettrica.

Cogenerazione:

Negli impianti cogenerativi si ha la generazione simultanea in un unico processo di energia termica ed elettrica e/o meccanica, in genere per applicazioni in ambito industriale o a servizio di reti di teleriscaldamento ma anche per utenze nel settore residenziale e terziario.

Gli impianti di tipo cogenerativo permettono un utilizzo migliore del combustibile, con un rendimento globale superiore rispetto a quello della generazione separata delle stesse quantità di energia elettrica e termica. Ai sensi della normativa di settore, le condizioni per il riconoscimento della qualifica di cogenerazione sono definite dalla Del. AEEG 42/02 e s.m.i.. La produzione combinata deve essere contestuale e garantire un significativo risparmio di energia primaria rispetto alla produzione separata delle medesime quantità di energia elettrica e termica.

La progettazione di un impianto cogenerativo richiede particolare attenzione non solo per quanto riguarda le scelte relative alle caratteristiche tecniche dell'impianto energetico ma anche in relazione alla corretta individuazione dell'utenza termica potenziale e del corretto accoppiamento tra i suoi fabbisogni e la potenzialità di generazione. Non da ultimo la localizzazione degli impianti deve essere opportunamente scelta in base alla disponibilità di biomasse ed agli aspetti legati all'impatto ambientale della centrale (condizioni territoriali, meteo-climatiche e di qualità dell'aria).

Trigenerazione:

Tra le ulteriori opzioni possibili per l'utilizzazione energetica delle biomasse si ha la generazione di energia frigorifera a partire da energia termica, attuabile attraverso cicli frigoriferi ad assorbimento. Il calore utilizzato in queste conversioni può derivare da produzione di energia termica, configurando complessivamente una generazione di energia frigorifera o da produzione di energia elettrica e termica in cogenerazione, configurando complessivamente una trigenerazione.

Gli impianti a biomassa per la produzione di energia elettrica sono basati su diverse tecnologie a seconda della potenza richiesta:

- **< 100 kW_{el}**: processi basati su ciclo Rankine con fluidi organici (ORC) e sono in fase di sperimentazione processi con motori a vapore a vite e con motori Stirling;
- **200÷2.000 kW_{el}**: processi basati su ciclo Rankine con fluidi organici (ORC), turbine a vapore, motori a vapore a vite;
- **> 2.000 kW_{el}**: turbine a vapore.

Al fine di massimizzare il rendimento globale (elettrico e termico), di realizzare filiere locali di approvvigionamento della biomassa e contemporaneamente trovare collocazioni di impianti presso utenze in grado di utilizzare il calore prodotto, ci si pone l'obiettivo

di sviluppare sul territorio impianti di piccola potenza in grado di soddisfare le richieste di energia termica ed elettrica di utenze distribuite. Attualmente l'applicazione ottimale per sfruttare biomassa disponibile localmente è rappresentata dal teleriscaldamento di piccole dimensioni (indicativamente < 10 MW), che fornisce calore ad un insieme di abitazioni e/o attività e produce energia elettrica, posto nelle vicinanze del luogo di produzione della biomassa utilizzata (bosco, terreni di coltura, segherie, ...). Taglie superiori ai 10÷15 MW richiedono di ampliare l'area di fornitura della biomassa facendo crescere i costi economici e ambientali del trasporto da un lato, e non permettendo la valorizzazione della filiera del legno locale dall'altro.

In alcune nazioni europee i piccoli impianti rurali di teleriscaldamento a biomasse (con potenza compresa tra le centinaia di kW e i 10 MW) sono molto diffusi e anche in Italia il settore è di sicuro interesse e sembra essere in espansione.

4.1 Impianti ORC

Gli **impianti ORC** (Organic Rankine Cycle) sono costituiti da un turbogeneratore operante secondo un ciclo Rankine che utilizza come fluido di lavoro uno specifico fluido organico con basse temperature di ebollizione, al fine di contenere la pressione massima nell'impianto e di operare tra temperature relativamente basse (tra 70°C e 300°C). Il rendimento elettrico complessivo degli impianti con moduli ORC è infatti inferiore al 22%, variabile in funzione della taglia e della configurazione d'impianto.

La gamma di potenza dei moduli standard varia da 125 kW_{el} a 2 MW_{el}.

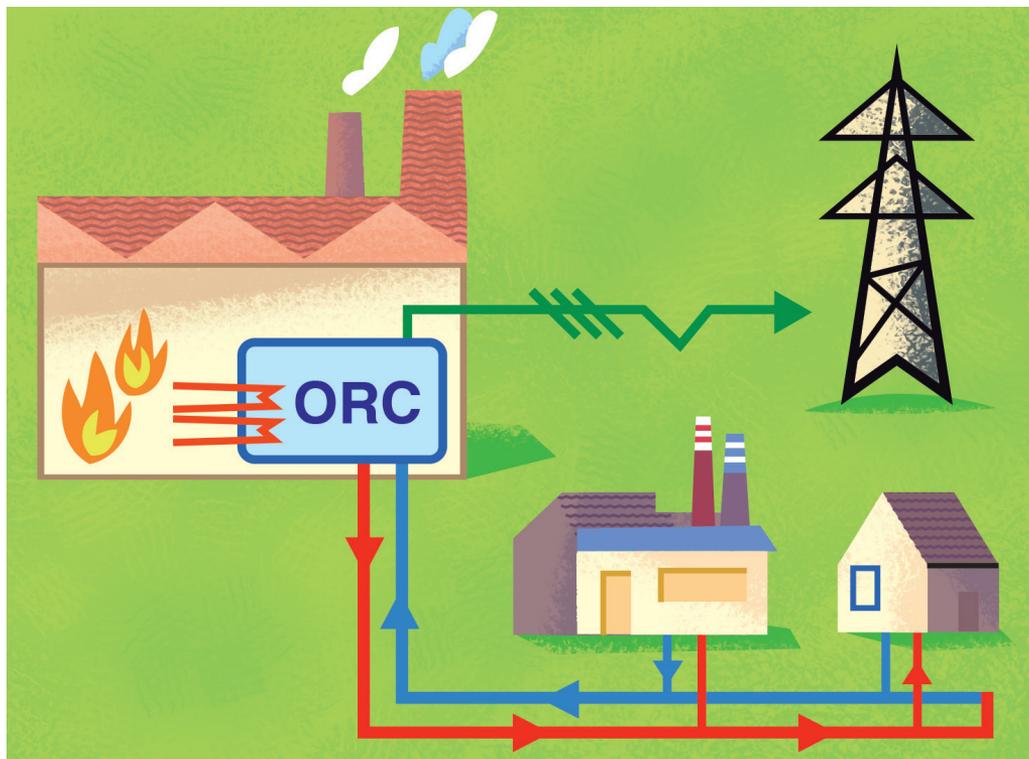


Figura 26 Impianto con caldaia e modulo ORC (produzione di energia termica ed elettrica)

Trovano largo impiego nella produzione di energia da biomasse, in quanto sono disponibili moduli con taglie adatte alle economie di scala legate alle filiere di reperimento della biomassa legnosa, hanno semplicità di gestione e manutenzione ed hanno dimostrato affidabilità e remunerabilità.

4.2 Impianti a vapore

Gli impianti alimentati a biomassa basati sui cicli con **turbina a vapore** si presentano, ad eccezione del sistema di combustione, pressoché identici alle comuni centrali termoelettriche. Il calore generato dalla combustione è utilizzato per produrre vapore in una caldaia a vapore a pressione variabile tra 20 e 400 bar che viene fatto espandere in turbina e fornisce energia meccanica per mettere in moto un generatore elettrico. Il vapore viene successivamente fatto condensare in un condensatore, e per massimizzare l'efficienza elettrica la temperatura del fluido di dissipazione del calore deve essere la più bassa possibile. Se non vi sono sistemi di recupero del calore ed il condensatore è raffreddato con aria ambiente si raggiungono condizioni operative a cui corrisponde una elevata efficienza elettrica. In questo caso si ha però il completo inutilizzo della potenza termica, che deve essere dissipata in aria. In condizioni operative differenti e grazie ad un attento utilizzo del calore di condensazione, si possono abbinare gli impianti termoelettrici a utenze o reti di distribuzione del calore, nelle quali le temperature dell'utenza sono comprese tra i 90°C e i 140°C. Ciò comporta una riduzione dell'efficienza elettrica, ma il fatto di utilizzare il calore che altrimenti sarebbe dissipato porta ad una efficienza complessiva (intesa come la somma della potenza elettrica e della potenza termica rapportata alla quantità di combustibile utilizzato) del sistema a valori prossimi all'80%. I rendimenti elettrici tipici di impianti a biomassa variano ampiamente in funzione di numerosi parametri esterni ed indipendenti dal ciclo, e non sono superiori al 30%. I sistemi termoelettrici a vapore sono soggetti a significativi effetti di scala per quanto riguarda i costi di impianto, questo limita le applicazioni a taglie di potenza tipicamente non inferiori a 3 MW_{el}. Le taglie tipiche di impianto vanno da qualche MW_e a 50 MW_e.

BOX – Freddo da legno?

Per impieghi nel settore industriale o per il condizionamento ambientale in utenze di tipo residenziale è possibile produrre energia frigorifera utilizzando l'energia termica contenuta nel fluido termovettore in uscita dal generatore di calore o dal ciclo termodinamico (disponibile a 70 - 120°C) per alimentare un ciclo frigorifero ad assorbimento. Un ciclo frigorifero è un ciclo termodinamico in grado di trasferire calore da un ambiente a bassa temperatura ad uno a temperatura superiore, utilizzando come fluido di lavoro vapore, acqua surriscaldata o acqua calda. Le taglie tipiche di questi impianti sono generalmente comprese tra qualche centinaio di kW e pochi MW. Le macchine che operano su cicli frigoriferi ad assorbimento sono caratterizzate da elevata affidabilità e bassissimi consumi elettrici e sono una tecnologia consolidata. L'impiego di tale tecnologia potrebbe portare ad un miglior sfruttamento dell'energia termica prodotta da cogenerazione, il cui fabbisogno nella stagione estiva è tipicamente molto basso, a patto di poter garantire una temperatura di mandata (T fredda) costante, a causa della possibile variazione della temperatura di alimentazione, legata al funzionamento del cogeneratore. Al momento sono in esercizio poche unità di impianti trigenerativi alimentati a biomassa, principalmente a causa del fatto che l'investimento richiesto è piuttosto elevato e non è semplice individuare utenze termiche idonee.



5. Teleriscaldamento a biomasse

Il teleriscaldamento è un sistema a rete idoneo al trasporto e alla consegna di energia termica prodotta in una o più centrali di produzione.

Il vettore termico è generalmente acqua calda o surriscaldata, e in alcuni casi vapore d'acqua. La centrale termica è costituita essenzialmente da caldaie principali e di riserva e da accumuli termici localizzate in una determinata area.

La generazione dell'energia termica avviene presso centrali di produzione costituite da una o più unità di generazione (gruppi di cogenerazione, caldaie a biomassa e caldaie di integrazione e riserva). Il trasferimento dell'energia termica è effettuato mediante **una rete di teleriscaldamento** che trasporta il fluido termovettore dalle centrali di produzione alle aree servite e lo distribuisce all'interno di esse. La rete è formata da un insieme di condutture organizzate secondo strutture ad albero e/o ad anello e ciascuna conduttura è costituita da una doppia tubazione (mandata e ritorno) interrata ed opportunamente isolata.

Le utenze di un sistema di teleriscaldamento sono costituite da edifici a destinazione d'uso residenziale, terziario (commercio o servizi) ed eventualmente industriale.

Nei singoli edifici, serviti dalla rete di teleriscaldamento, vengono installate delle sotto centrali costituite da **scambiatori di calore**, che permettono di realizzare lo scambio termico tra l'acqua della rete del teleriscaldamento (circuito primario) e l'acqua del circuito dell'utente servito (circuito secondario).

I principali fabbisogni di energia termica delle utenze che possono essere soddisfatti attraverso il teleriscaldamento sono: il riscaldamento invernale degli ambienti, la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione estiva degli ambienti, qualora siano presenti presso l'utenza macchine frigorifere ad assorbimento i cui fabbisogni siano compatibili con le condizioni di esercizio della rete.

L'aggregazione della domanda termica di un dato territorio permette di sfruttare tecnologie ad alto rendimento, tra cui la cogenerazione, nella centrale termica. Inoltre l'utilizzo di accumuli termici fa sì che si abbia un'ottimizzazione della curva di carico per cui le caldaie possono essere esercite alla potenza nominale, ottenendo generalmente un rendimento più alto. Nel caso di alimentazione a biomasse questo permette di utilizzare le caldaie nelle condizioni che garantiscono il miglior funzionamento sia in termini di rendimento che di contenimento delle emissioni di sostanze inquinanti. A questo proposito occorre sottolineare come l'utilizzo di impianti di teleriscaldamento abbia il vantaggio di permettere complessivamente un maggior contenimento della emissione di inquinanti rispetto a quello che si avrebbe da tanti piccoli punti di emissione come le caldaie domestiche. Questo aspetto è ancora più rilevante nel caso della biomassa, in quanto per impianti domestici non sono disponibili idonei sistemi di contenimento delle emissioni.

Le biomasse impiegate nel teleriscaldamento sono tipicamente costituite da residui della gestione forestale e della filiera del legno, sotto forma di cippato. Talvolta sono ricomprese in questo circuito anche le biomasse da manutenzione del verde privato e/o

pubblico. In genere le caldaie alimentate a biomassa hanno una funzione di unità di generazione principale, affiancate da unità ausiliarie costituite da caldaie di integrazione e riserva alimentate con combustibili fossili.

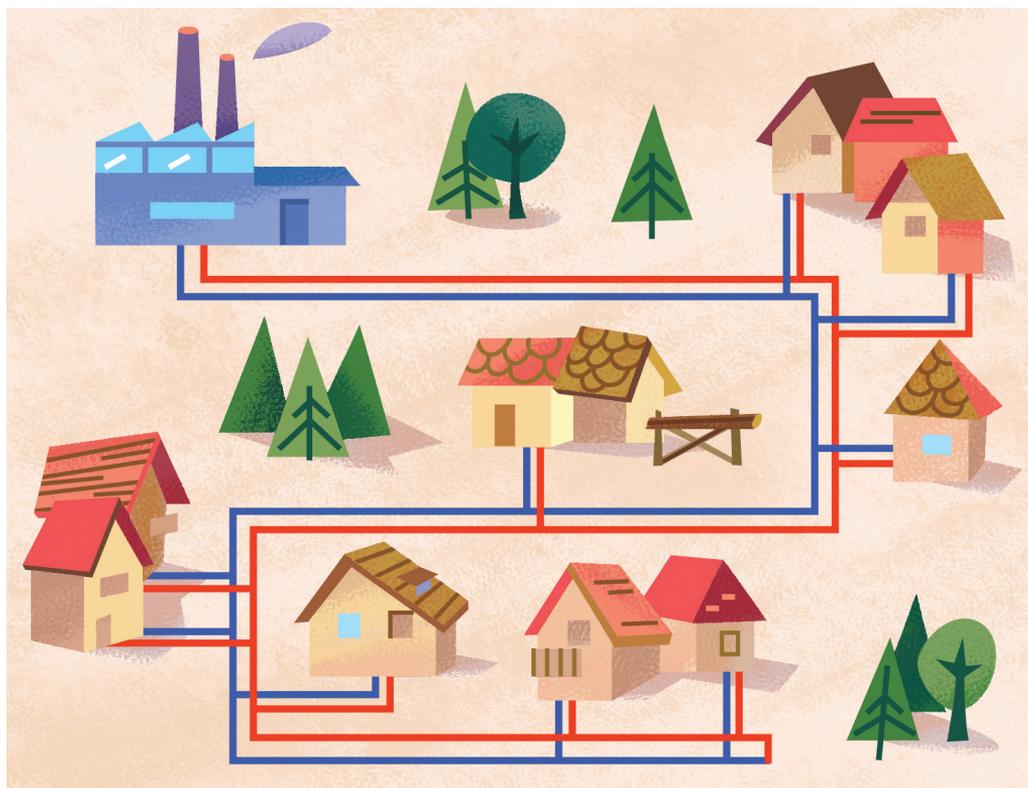


Figura 27 Esempio di rete di teleriscaldamento

6. Utilizzo delle biomasse e l'ambiente

6.1 Aspetti ambientali derivanti dalla produzione di energia da biomasse

La biomassa, utilizzata in modo sostenibile⁶, rappresenta una fonte di energia rinnovabile e disponibile localmente il cui impiego può consentire la produzione di energia limitando le emissioni complessive di gas climalteranti, in particolare CO₂ riducendo al contempo l'utilizzo di risorse di natura fossile che per loro natura sono esauribili.

Le biomasse vengono considerate neutrali rispetto al fenomeno dell'effetto serra in quanto il loro sfruttamento energetico non comporta un incremento della concentrazione in atmosfera di anidride carbonica. Questa infatti, dopo essere stata rilasciata in fase di combustione durante la crescita delle piante attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana viene nuovamente riassorbita e fissata nei tessuti. **Il ciclo della CO₂** per la biomassa può quindi ritenersi chiuso alla condizione che il ritmo di impiego di questa risorsa non superi la capacità di ricrescita della stessa.

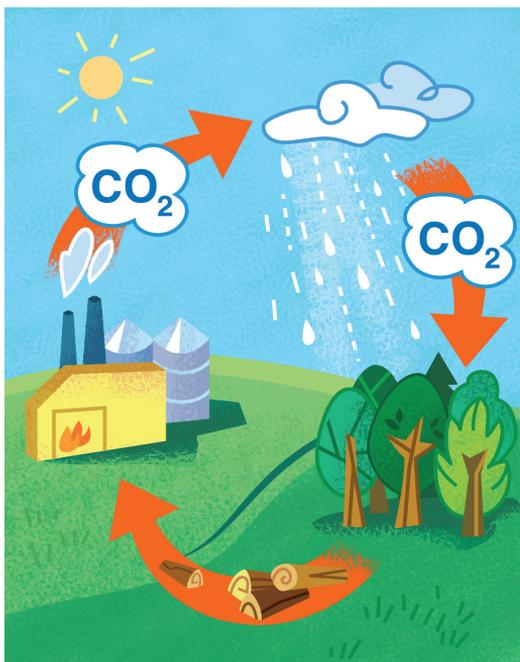


Figura 28 Ciclo del carbonio

combustibile e dalle tecnologie di conversione finale in energia termica e/o elettrica, caratterizzate da diverse efficienze.

Va comunque precisato che se si considera l'intero ciclo di vita dei combustibili da biomassa il bilancio della CO₂ non può considerarsi nullo dato che in generale le varie fasi di coltivazione, conferimento, trasformazione, trasporto, conversione energetica richiedono un consumo di materie prime ed energia producendo scarti e reflui ed inevitabilmente degli impatti negativi sull'ambiente.

Lo strumento che permette di valutare e quantificare gli aspetti e gli impatti ambientali delle varie filiere è l'analisi del **ciclo di vita (LCA- Life Cycle Assessment)**, tramite il quale è possibile stimare il bilancio di emissioni di gas serra e di altri inquinanti dei diversi sistemi bioenergetici. Tale bilancio dipende principalmente dal tipo di materia prima, dagli eventuali cambi d'uso del suolo, dai trasporti, dai processi di trasformazione della materia prima in bio-

⁶ Per la definizione dei criteri di sostenibilità delle biomasse e dei biocarburanti si rimanda alla direttiva europea 28/2009/CE.

La varie filiere di produzione di energia da biomassa si possono dividere in fasi principali:

- coltivazione (o reperimento);
- trasporto;
- trasformazione e uso (conversione energetica).

La fase di coltivazione o reperimento della biomassa include tutte le operazioni necessarie ad ottenere la biomassa, sia essa proveniente da gestione forestale, da coltivazioni dedicate o da scarti e sottoprodotti. **La fase di trasporto** riguarda il trasporto delle biomasse allo stato grezzo o bio-combustibili generalmente su strada o via nave.

La fase di trasformazione comprende la trasformazione meccanica, fisico-chimica, biologica o termochimica della materia prima per la produzione di biocombustibili (legna in varie pezzature, pellet, oli vegetali, biogas, syngas, etc.) o biocarburanti (biodiesel, bioetanolo di prima e seconda generazione, etc.). La successiva **fase di conversione energetica** include le soluzioni tecnologiche ed impiantistiche per la produzione di energia (termica, elettrica e per autotrazione) da biocombustibili e biocarburanti, ognuna delle quali caratterizzata da specifici rendimenti di conversione.

Infine il ciclo si chiude con la **fase di analisi e gestione degli scarti**, dei reflui e delle emissioni in atmosfera. Per valutare e quantificare gli aspetti e gli impatti ambientali devono essere considerati per ciascuna fase i fattori principali che determinano emissioni di gas serra, altri inquinanti e impatti di diverso tipo e confrontati con quelli determinati dall'uso di combustibili di origine fossile secondo lo stesso approccio di analisi dell'intero ciclo di vita.

E' quindi importante tenere conto di come la produzione energetica da fonti rinnovabili quali le biomasse possa generare impatti ambientali non trascurabili, che devono essere opportunamente valutati per una corretta pianificazione energetica e territoriale.

6.2 Emissioni da impianti a combustione di biomassa legnosa

L'utilizzo delle biomasse, fonte di energia rinnovabile di grande interesse per la loro disponibilità in particolare in contesti territoriali di tipo rurale, presenta tuttavia aspetti e impatti ambientali non trascurabili, principalmente legati all'emissione di polveri sottili e ossidi di azoto.

Per limitare l'emissione di sostanze indesiderate al camino e per ridurre i consumi di energia primaria è necessario realizzare all'interno dei generatori una buona combustione della biomassa, mediante l'adozione di adeguate soluzioni tecnologiche ed impiantistiche, l'utilizzo di generatori di elevata qualità, correttamente dimensionati e mantenuti in modo adeguato, mediante l'utilizzo di biomassa di buona qualità e stoccata in modo idoneo.

Le emissioni in atmosfera da un impianto per la combustione di biomasse legnose contengono principalmente: anidride carbonica (CO_2), acqua (H_2O), ossigeno (O_2), azoto (N_2) e una parte di inquinanti, che sono minimi nel caso di buona combustione (combustione completa).

In particolare, dalla combustione controllata di legno vergine non contaminato gli inquinanti presenti nei fumi sono costituiti essenzialmente da monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), una percentuale molto limitata di diossido di zolfo (SO_2) e polveri (indicate come *particolato totale*). In caso di combustione non completa, oltre ad avere percentuali maggiori di monossido di carbonio si può anche avere l'emissione di composti organici volatili (COV).

Altri composti dannosi per la salute umana e/o dell'ambiente, quali acido cloridrico, diossine e furani, si possono formare nel caso in cui il legno sia contaminato da cloro⁷ e in particolari condizioni operative del generatore di calore.

BOX – Emissioni da impianti a biomassa legnosa

Si riporta un approfondimento sui principali componenti chimici delle emissioni da biomassa a seguito della combustione

6.2.1 Monossido di carbonio

Nel caso di combustione diretta di biomassa la quantità di CO presente nei fumi è un buon indicatore della qualità del processo di combustione. Bassi livelli di CO sono solitamente indice di combustione completa e di conseguenza di elevati rendimenti e di basse emissioni di polveri e ossidi di azoto.

6.2.2 Composti organici volatili (COV)

Sono composti ad elevato peso molecolare spesso indicati come idrocarburi carboniosi (C_nH_m), emessi dalla combustione incompleta.

Si possono distinguere principalmente in: metano (CH₄), composti organici volatili non-metanigeni e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Spesso questi tre componenti vengono indicati separatamente, in quanto il metano è un gas a effetto serra mentre gli idrocarburi policiclici aromatici sono classificati come cancerogeni. Generalmente la quantità emessa è molto bassa.

6.2.3 Ossidi di azoto (NO_x)

La produzione di ossidi di azoto nella combustione di biomasse legnose è dovuta quasi totalmente all'azoto presente nel combustibile o a particolari condizioni in cui si hanno elevati eccessi d'aria e temperature molto alte in camera di combustione.

6.2.4 Particolato totale

Con il termine particolato totale si intende l'insieme delle particelle emesse al camino, principalmente costituite da ceneri leggere (note anche come fly ash, ceneri volanti, trasportate dal flusso gassoso e costituite da particelle di diametro >10 μm contenenti principalmente Ca, Mg, Si, K e Al), aerosols (particelle di diametro <10 μm formatesi per successive fasi di evaporazione, nucleazione e condensazione a partire dai composti di S, Na, K, Cl, Ca, Zn presenti nella biomassa) e particelle carboniose incombuste (solitamente indicate come soot e char).

La distribuzione granulometrica delle particelle emesse dipende da molti parametri, tra cui anche le particolari condizioni operative e di funzionamento del generatore stesso.

⁷ Nella biomassa legnosa il cloro si ritrova a concentrazioni molto basse tranne nei casi in cui si faccia uso di biomassa precedentemente utilizzata per altri scopi (edilizia, produzione di mobile, ecc.)

La maggior parte delle particelle emesse durante la combustione di biomassa legnosa ha un diametro inferiore a 10 μm (frazione indicata come PM10) e una frazione significativa ha un diametro inferiore a 2,5 μm (particolato fine, PM2.5).

6.2.5 Ossidi di zolfo SO_x

Gli ossidi di zolfo emessi al camino durante la combustione di biomassa sono costituiti per il 95% da diossido di zolfo (SO₂) e derivano dall'ossidazione completa dello zolfo presente nella biomassa stessa. Durante il processo di combustione lo zolfo forma i composti gassosi SO₂, SO₃ e solfati alcalini, i quali possono in parte condensare sulla particelle di ceneri leggere. Si riscontra una forte variabilità delle percentuali di zolfo emesse in fase gassosa o legate al particolato, in funzione della presenza di elementi alcalini nelle ceneri della biomassa e del regime di funzionamento del generatore di calore. Tipicamente, dello zolfo presente nel combustibile una frazione consistente resta nel residuo solido al termine della combustione (ceneri pesanti), una parte viene emessa come ossidi di zolfo e una piccola parte viene emessa al camino come particolato (sali).

6.2.6 Residui solidi

Un generatore di calore a biomassa legnosa produce, oltre ad emissioni in atmosfera, dei residui solidi, derivanti dal processo stesso di combustione: residuo solido da combustione (solitamente indicato come "ceneri") e residuo solido da depurazione degli effluenti gassosi.

In un generatore di calore a biomassa le quantità relative di ceneri e polveri prodotte dipende dal tipo di legna utilizzata e dalle caratteristiche costruttive e di funzionamento del generatore stesso. Generalmente la parte più consistente è costituita dalle ceneri. Nella combustione di cippato, ad esempio, essi costituiscono il 60÷90% del totale.

Le ceneri sono il residuo che si accumula sotto la griglia della camera di combustione o viene rimosso durante la pulizia degli scambiatori. Esse hanno un aspetto granuloso e sono costituite principalmente dai minerali presenti nel combustibile, da carbonio incombusto e da impurità (terra e sabbia). Qualitativamente si osserva che la presenza di residui di colore bianco è indice di una buona combustione, mentre un colore tendente al nero indica una presenza significativa di incombusti. A seconda delle condizioni di combustione all'interno dell'impianto e delle impurità presenti nella biomassa, nelle ceneri si ritrovano numerosi elementi sotto forma di ossidi, nitrati o silicati. La composizione delle ceneri è inoltre influenzata sensibilmente dalla temperatura di combustione, che aumentando produce generalmente una diminuzione del quantitativo di carbonio incombusto ma al tempo stesso è causa di un aumento di alcuni elementi metallici.

La quantità di residuo solido prodotto dalla combustione varia a seconda del tipo di combustibile legnoso. Ad esempio si ha meno dello 0,1% per segatura di pino senza corteccia fino al 2,8% per la corteccia di pino (% in peso su sostanza secca). Utilizzando cippato misto da albero intero (fusto, rami, aghi etc.) si può assumere un valore dello 0,5%, che sale all'1,3% nel caso di cippato da residui forestali. Di queste, l'85÷95% è generalmente composto da ossidi minerali, mentre il 5÷15% da sostanze incombuste.

Il residuo solido da depurazione degli effluenti gassosi è il residuo solido trattenuto da sistemi di contenimento a secco delle emissioni e rimosso nella sezione di trattamento fumi.

Gli elementi più pericolosi, quali piombo, zinco e cadmio presenti comunque solo in traccia nelle biomasse legnose, sono anche quelli relativamente più volatili e tendono ad accumularsi nelle polveri totali.

Il particolato rimosso ha una consistenza simile al talco e viene generalmente movimentato per via pneumatica e stoccato in sistemi chiusi a causa dell'elevata volatilità.

Le misure adottabili per ridurre l'emissione di sostanze dannose da impianti alimentati da biomassa possono essere suddivise in **misure primarie**, che mirano a migliorare o regolamentare la tecnologia dei generatori, e **misure secondarie**, che si applicano all'abbattimento delle emissioni mediante filtri al camino.

La necessità di ridurre le emissioni tipiche dei generatori di calore a biomassa legnosa ha portato all'adozione di differenti azioni a livello italiano ed europeo.

La normativa italiana prevede, in accordo al D.lgs 152 del 3 aprile 2006 Parte V, Allegato X e s.m.i., limiti di emissione sugli impianti termici alimentati a biomassa solida di potenza superiore ai 35kW. Per gli impianti con potenza inferiore ai 35 kW, il D.Lgs 152/06, all'art. 290 comma 4 prevede l'emanazione di un ulteriore Decreto che disciplini i requisiti, le procedure e le competenze per il rilascio di una certificazione dei generatori secondo una classificazione in base alle prestazioni (rendimento ed emissioni). Tale decreto deve essere allo stato attuale ancora emanato.

La norma UNI EN 303-5/2012 prevede limiti di emissione in relazione al rendimento della caldaia e alla modalità di caricamento della biomassa

6.3 Produzione energetica da biomasse: l'obiettivo di una produzione Carbon neutral

Le motivazioni che indirizzano alla produzione da biomasse sono l'utilizzo di risorse rinnovabili nonché l'abbattimento delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera.

Per soddisfare quest'ultimo fondamentale requisito è necessario che la produzione di energia da biomasse sia Carbon neutral.

La CO₂ contenuta nei combustibili fossili è stata organicata milioni di anni fa, a differenza di questa la CO₂ derivante dalla combustione di biomasse per la produzione energetica è stata organicata nel corso di un tempo infinitamente più breve; ovvero si restituisce, viene restituita in atmosfera CO₂ sequestrata in tempi recenti. Complessivamente si tratta di un ciclo a produzione di CO₂ in pareggio (Carbon Neutral) anche se per produrre energia è sempre richiesta una certa quota di energia fossile (da 1/50 sino a 1/5).

BOX – Carbon Neutrality

Con il termine “Carbon neutral” si intende qualunque attività, processo o prodotto che determina una emissione di CO₂ pari a zero, al netto delle emissioni evitate o del sequestro di questo gas.

Più in generale oggi, il termine “Carbon neutral” trova un significato più esteso ed indica la capacità di evitare le emissioni di gas aventi attività a effetto-serra o di pareggiare le emissioni con interventi che determinino un sequestro di questi gas o di una quantità equivalente di CO₂. Difatti per ogni “gas serra” è stato definito un fattore di conversione per poter equiparare il suo impatto sul riscaldamento globale ad una certa quantità di CO₂.

In campo energetico la “Carbon neutrality” si raggiunge sia bilanciando la CO₂ emessa da combustibili fossili promuovendo l'uso di combustibili e/o energie alternative che a parità di energia prodotta riducano o addirittura evitino tuttavia emissioni di gas serra, sia promuovendo azioni compensative, quali la piantumazione di alberi, o mediante il carbon trading, ovvero la compravendita di crediti per l'emissione di quantità definite di gas serra.

È però importante comprendere come la combustione da biomassa non sia Carbon neutral a prescindere dalla provenienza.

Secondo quanto determinato dal Comitato Scientifico dell'Europe Environmental Agency (EEA) si ha produzione Carbon neutral solo se:

- non è pregiudicato il potenziale di un ecosistema di agire come CARBON SINK;
- la biomassa non deriva da terreni in cui è stato tagliato il bosco;
- la biomassa non deve essere prodotta su terreni che potrebbero sostenere soprassuoli efficaci nel sequestro di CO₂.

Quindi, per valutare se la bionergia prodotta è realmente Carbon Neutral bisogna valutare DOVE e COME la biomassa viene prodotta.

Dal presupposto sbagliato che la biomassa sia sempre e comunque Carbon Neutral derivano problemi di contabilizzazione dei bilanci tra assorbimenti ed emissioni di gas serra.

Sulla base delle determinazioni dell'EEA si possono individuare le produzioni effettivamente Carbon Neutral: ad esempio, è sicuramente Carbon Neutral la produzione di energia da biomassa da sottoprodotti e residui colturali (peraltro a meno che questi non siano necessari per sostenere la fertilità dei suoli).

7. Indicazioni tecniche e buone pratiche

La qualità di un impianto di combustione nel suo complesso è legata alle sue caratteristiche progettuali e costruttive, alle soluzioni applicate nell'ottimizzare la combustione ed al numero e qualità dei vari dispositivi di gestione, controllo e sicurezza dei quali è dotato il generatore.

In termini generali occorre tenere presente che l'installazione di un sistema di produzione di energia a biomasse necessita di spazi maggiori rispetto a quelli richiesti dai sistemi tradizionali, sia per le dimensioni del generatore di calore che per lo stoccaggio ed alimentazione del combustibile.

Le indicazioni di carattere generale relative al corretto dimensionamento ed utilizzo degli impianti a biomassa riportate di seguito sono valide sia per impianti di piccola taglia per riscaldamento sia per impianti di taglia medio-grande per la produzione di energia elettrica e termica. Ovviamente nel caso di impianti di taglia maggiore si ha una maggiore complessità a livello impiantistico e la necessità di progettare accuratamente i vari componenti dell'impianto stesso che in questa sezione non verranno trattati (sistema di alimentazione, sistema di estrazione delle ceneri, linea di trattamento fumi, etc.). Negli impianti di taglia più piccola è invece usuale ricorrere a componenti di taglie standard, data la loro maggiore diffusione.

Un aspetto molto importante degli impianti a biomassa è rappresentato dal sistema di evacuazione dei fumi prodotti dalla combustione, per il quale si rimanda alla specifica letteratura tecnica di settore e alle norme tecniche attualmente in vigore ovvero DM 37/2008 e s.m.i., dlgs 152/06 e s.m.i., DM 192/05 e s.m.i., UNI 10683:2012.

Corretto dimensionamento e funzionamento

Occorre sottolineare che gli apparecchi a biomassa funzionano nelle migliori condizioni solo per il determinato carico per cui sono stati dimensionati e con alte temperature del focolare.

Queste condizioni si raggiungono a regime dopo un periodo di funzionamento più lungo rispetto a quello richiesto dai tradizionali combustibili liquidi o gassosi, variabile in funzione della tipologia e della taglia del generatore, dal tipo di combustibile, ecc. Per questo motivo nel caso degli apparecchi alimentati a biomassa un sovradimensionamento comporta problemi maggiori rispetto al caso degli impianti tradizionali (maggiori emissioni, minori rendimenti, transitori più lunghi, ecc.).

E' quindi auspicabile che ci siano pochi arresti nel funzionamento dell'apparecchio, solo brevi periodi di stand-by ed un funzionamento con il carico più alto e stabile possibile.

Il decadimento delle prestazioni in funzione della modalità di esercizio si ha soprattutto nel caso di impianti che non sono dotati di sistemi di regolazione in continuo della combustione.

Vi sono infatti dispositivi che agiscono in camera di combustione (sulla quantità di aria primaria e secondaria immessa, oppure sulla quantità di aria primaria ed il numero di giri del ventilatore del tiraggio, oppure sull'avanzamento della griglia o la velocità del sistema di alimentazione) sulla base dei parametri rilevati da sensori che misurano le

temperatura dei fumi, la temperatura di combustione oppure il tenore di monossido di carbonio o di ossigeno nei fumi (sonda Lambda), consentendo una maggiore efficienza della combustione stessa.

Gli impianti automatici dotati dei sistemi di controllo e regolazione precedentemente indicati sono in grado di lavorare ad una potenza parziale fino al 30% di quella nominale. Al di sotto di questo valore l'impianto lavora nella cosiddetta modalità di accensione-spegnimento in condizioni di cattiva combustione, con bassi rendimenti, maggiore emissione di sostanze inquinanti e possibile condensazione nei gas di scarico.

In generale per gli impianti a biomassa è opportuno prevedere un accumulatore di acqua calda e altri accorgimenti a livello impiantistico (sensori, inverter, PLC, scambiatore di sicurezza, ecc.) e eventualmente, a seconda della configurazione dell'impianto e della sua destinazione d'uso, un generatore alimentato a combustibili tradizionali in parallelo a integrazione.

Accumulatore inerziale (puffer)

L'accumulatore inerziale (puffer) è costituito da un serbatoio d'acqua termicamente isolato, collegato direttamente alla mandata della caldaia tramite un'apposita pompa. Esso consente alla caldaia di funzionare in modo regolare, evitando interruzioni dovute a insufficiente richiesta di energia da parte dell'impianto di riscaldamento: in queste condizioni, invece di bloccare la combustione o surriscaldare gli ambienti, la caldaia può continuare a funzionare immagazzinando energia nel serbatoio di accumulo. L'accumulatore inerziale costituisce un "volano" termico per l'impianto di riscaldamento che permette di aumentare il comfort di esercizio e di assicurare alcune ore di riscaldamento anche a caldaia spenta. Inoltre permette alla caldaia di funzionare a carico costante, ottimizzandone il rendimento e diminuendo notevolmente le emissioni inquinanti al camino. L'accumulatore inerziale viene dimensionato in funzione della quantità di biomassa contenuta nella caldaia, della potenza termica nominale e dal carico termico dell'edificio.

Qualità della biomassa

Affinché un generatore di calore a biomassa funzioni nelle condizioni ottimali, alle quali corrispondono maggiore rendimento e minori emissioni di sostanze dannose, è necessario che esso sia alimentato con biomassa di buona qualità correttamente stoccata al fine di avere una bassa umidità (vd. Capitolo 2.2 "*potere calorifico*" e "*contenuto idrico*"). Gli impianti di taglia medio-grande vengono progettati per bruciare in modo ottimizzato una biomassa con caratteristiche ben determinate. In queste condizioni l'impianto presenta il massimo rendimento e le minime emissioni. Esso è infatti generalmente in grado di funzionare bene anche con biomassa con caratteristiche diverse, ma in questo caso la combustione e lo scambio termico non sono più ottimizzati.

Gli impianti di taglia più piccola sono invece molto più sensibili all'umidità della biomassa, e richiedono generalmente caratteristiche più stringenti e condizioni omogenee.

Corretto utilizzo e manutenzione

I generatori di calore a biomassa, in particolare quelli di piccola taglia utilizzati in ambito domestico con alimentazione manuale del combustibile, necessitano di alcuni accorgimenti per poter ottenere le prestazioni richieste. Ad esempio è importante effettuare la carica del combustibile in modo appropriato, specialmente per le caldaie a legna, senza caricare eccessivamente la camera di combustione e mantenendo il più possibile un regime di combustione stazionario.

Si raccomanda di leggere attentamente le indicazioni del costruttore riportate sulla documentazione tecnica fornita dal costruttore stesso e/o dall'impresa di installazione.

Data la minore flessibilità degli impianti a biomassa rispetto ai combustibili fossili più diffusi, è opportuno curarne la manutenzione al fine di garantire le prestazioni attese.

Negli impianti di taglia più piccola, che non prevedono la rimozione automatica della cenere, occorre provvedere allo svuotamento periodico del cassetto di raccolta posizionato al di sotto della griglia. A seconda della tipologia di combustibile, delle ore di funzionamento giornaliere, della capienza della camera di combustione e delle caratteristiche del generatore di calore stesso, l'intervallo tra uno svuotamento e il successivo può andare da un periodo di poche ore fino a più giorni.

Il rendimento di combustione è penalizzato da fenomeni di sporco della camera di combustione e dello scambiatore di calore. Pertanto è consigliabile una pulizia periodica, a impianto spento.

Oltre alle operazioni di manutenzione ordinaria, si raccomanda di effettuare un'operazione di controllo e pulizia con cadenza almeno annuale. Essa va affidata ad un tecnico specializzato, e generalmente oltre allo smontaggio e alla pulizia di alcuni componenti prevede un controllo del condotto dei fumi, del tiraggio, della tenuta delle guarnizioni e della qualità della combustione.

Per quanto riguarda le operazioni di manutenzione dei generatori di calore e del sistema di evacuazione dei generatori della combustione si rimanda a quanto stabilito dalla normativa vigente (DM 37/2008 e s.m.i., Dlgs 152/06 e s.m.i., DM 192/05 e s.m.i.), dalle norme tecniche di riferimento (UNI 10683:2012) e dalle indicazioni fornite dal costruttore, dal progettista o dall'impresa di installazione.



ESEMPI DI APPLICAZIONI:

CASO 1: CALDAIA A PELLETT PER RISCALDAMENTO UFFICI COMUNALI

TIPOLOGIA DI INTERVENTO

Caldaia a pellet utilizzata per il riscaldamento di un edificio pubblico, situato in zona climatica F, in classe energetica A.

UTENZA:

L'edificio è un fabbricato di circa 1400 m³, costituito da tre piani di cui al piano terreno sono localizzati un salone polifunzionale e altri locali, al piano primo sono presenti due locali per riunioni e uno studio medico con sala d'aspetto ed infine al piano secondo sono presenti degli uffici comunali.

L'intero edificio è stato oggetto di un intervento di riqualificazione con impiego di un cap-potto termico e installazione di moduli fotovoltaici per complessivi 22 kW con scambio sul posto.

Gli interventi realizzati hanno permesso di raggiungere la classe energetica A, arrivando a più che dimezzare i consumi annuali di pellet e di coprire interamente la richiesta di energia elettrica sia dell'edificio che dell'area sportiva adiacente.

IMPIANTO:

L'impianto è costituito da una **caldaia a pellet di 45 kW** di potenza nominale con alimentazione da un silo esterno per lo stoccaggio pellet da circa 25 q e da un sistema di accumulo inerziale da 200 l che viene alimentato elettricamente nel periodo estivo in cui non è in funzione la caldaia.

La caldaia ha rendimento nominale di 80% e consuma mediamente circa 75 q di pellet all'anno.

CASO 2: CALDAIA A CIPPATO PER RISCALDAMENTO DI EDIFICI ADIBITI AD UFFICI COLLEGATI CON RETE DI TELERISCALDAMENTO

TIPOLOGIA DI INTERVENTO

Caldaia a cippato utilizzata per il riscaldamento di edifici collegati da una piccola rete di teleriscaldamento. Il cippato è autoprodotta, ricavato da manutenzione del bosco adiacente.

UTENZA:

Si tratta di un'utenza del terziario in zona climatica E costituita da 4 edifici isolati, destinati a uso uffici, serra e laboratorio, con in previsione un ampliamento. Complessivamente la volumetria lorda riscaldata è pari a circa 5500 m³.

IMPIANTO:

L'impianto è costituito da due generatori di calore: **una caldaia a cippato da 150 kW** e **una caldaia a metano da 240 kW** (con funzione di riserva e punta prevista per gli aumenti di volumetria che saranno realizzati in futuro e per la produzione di acqua calda sanitaria centralizzata), da un serbatoio di accumulo del calore da 4000 l, e dalla rete di teleriscaldamento dotata di scambiatori di calore terminali presso le utenze per separare i circuiti.

I terminali di impianto sono costituiti da radiatori, termoconvettori, tubi radianti ad acqua calda. Ogni sottostazione è dotata di regolazione di temperatura climatica ed autonoma. L'acqua calda sanitaria è prodotta con boiler elettrici precedentemente presenti nei locali bagni.

La caldaia a cippato di legna, con rendimento nominale inferiore a 90%, è posta in opera come elemento preassemblato, comprendente: involucro esterno in legno, silo di accumulo del cippato, sistema di estrazione a balestre rotanti, generatore, tutti i collegamenti idraulici ed elettrici.

Il consumo di combustibile annuo è stimato in circa 600-700 q.

Allegato A - Biocombustibili da biomasse

Nel presente tabella si riportano i biocombustibili ottenuti dalle biomasse e le varie conversioni energetiche che possono subire:

BIOMASSA	TRASFORMAZIONE	BIOCOMBUSTIBILE	ENERGIA TERMICA	ENERGIA ELETTRICA	ENERGIA PER AUTOTRAZIONE
BIOMASSA LEGNOSA Da: gestione forestale, coltivazioni dedicate, scarti da viticoltura e frutticoltura, scarti da lavorazioni industriali Ad es.: legno, sarmenti, potature, espanti, scarti da segherie	meccanica	Legna in tronchetti Bricchette Pellet Cippato	✓	✓	
	termo-chimica (gas-sificazione)	Syn-gas	✓	✓	
BIOMASSE ERBACEE Da: coltivazioni dedicate, scarti della cerealicoltura Ad es.: granella di cereali, arundo donax, lolla di riso, paglie di cereali, tutoli di mais	meccanica	Tal quale o sminuzzato Agripellet	✓	✓	
	biochimica (steam explotion o idrolisi e fermentazione)	Bioetanolo			✓
	termo-chimica (gas-sificazione)	syngas	✓	✓	
	biochimica (fermentazione anaerobica)	biogas	✓	✓	✓
BIOMASSE DA FRUTTI Da: scarti da frutticoltura Ad es.: gusci di nocciola	meccanica	Tal quale o sminuzzato	✓	✓	
	termo-chimica (gas-sificazione)	syngas	✓	✓	
BIOMASSE OLEAGINOSE Ad es.: palma, soia, girasole, colza	estrazione di oli	Olio vegetale puro	✓	✓	
OLIO VEGETALE PURO E GRASSI DI SCARTO Ad es.: grassi animali e grassi riciclati	biochimica (transesterificazione)	biodiesel			✓
BIOMASSE AMIDACEE E ZUCCHERINE canna da zucchero, barbabietola, sorgo	biochimica (estrazione o idrolisi e fermentazione)	bioetanolo			✓
COLTURE ACQUATICHE, SOTTOPRODOTTI COLTURALI, REFLUI ZOOTECNICI, FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI	biochimica (fermentazione anaerobica)	biogas	✓	✓	✓



Allegato B - Terminologia e abbreviazioni

Apparecchio termico	generatore di calore in cui il calore sviluppato durante la combustione viene trasmesso direttamente all'ambiente per scambio termico radiativo e convettivo
Apparecchio termico ad acqua	apparecchio termico in cui parte del calore sviluppato durante la combustione viene recuperato dai fumi caldi per essere ceduto al un fluido termovettore (acqua)
Biomassa	<p>sostanza organica, di origine animale o vegetale, da cui è possibile ricavare energia attraverso un impiego diretto o previa trasformazione in un biocombustibile solido, liquido o gassoso.</p> <p>Frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani [Dir. 28/2009/CE]</p>
Caldaia	Generatore di calore in cui il calore sviluppato durante la combustione viene recuperato dai fumi caldi per essere ceduto ad un fluido termovettore (aria, acqua, olio diatermico, vapore, etc.) per usi diretti di riscaldamento, di produzione di acqua calda e di produzione di calore e vapore di processo, oppure per la produzione di energia elettrica e termica in un ciclo termodinamico
Caldaia a fiamma inversa o rovesciata	caldaie in cui la camera di combustione è situata al di sotto del vano nel quale viene caricata la legna
Caldaia a gassificazione	caldaie in cui la prima fase della combustione avviene in condizioni di difetto di aria, generalmente in una zona separata della camera di combustione
Combustione	processo termochimico di completa ossidazione che avviene in presenza di un combustibile e di un agente ossidante
Gassificazione	processo di conversione termochimico di ossidazione parziale per mezzo del quale il materiale solido di partenza viene trasformato in un combustibile gassoso (gas di gassificazione)

→ segue tabella

← segue tabella

Generatore di calore	dispositivo all'interno del quale avviene la combustione con trasformazione dell'energia chimica contenuta nel combustibile in energia termica posseduta dai fumi prodotti dalla combustione.
Pirolisi	processo di degradazione termica in assenza di fornitura di un agente ossidante che porta alla formazione di charcoal, bio-olio e gas di pirolisi in proporzione variabile a seconda delle condizioni a cui avviene la trasformazione stessa, in termini di temperatura e velocità di riscaldamento.
Potenza utile	quantità di calore trasferita nell'unità di tempo al fluido termovettore
Potenza al focolare	prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato
Rendimento di un processo energetico	rapporto tra l'energia utile prodotta e l'energia totale consumata