



ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Ricerca
e innovazione
per un futuro
low-carbon

Le Fonti
Rinnovabili 2010



Scheda tecnologica:

BIOMASSE TERMICHE

Descrizione e stato dell'arte

La produzione di energia da biomasse può avvenire attraverso diversi processi tecnologici, in funzione delle caratteristiche della biomassa utilizzata, dei principi fisici applicati per la conversione energetica e delle potenze installate. Dal punto di vista tecnologico e industriale i processi maturi per la valorizzazione energetica della biomassa sono la combustione diretta, la produzione di biogas da fermentazione anaerobica di reflui zootecnici, civili o agro-industriali e la trasformazione in bio-combustibili liquidi di 1^a generazione. I processi di gassificazione e pirolisi e la produzione di bio-combustibili liquidi di 2^a generazione (derivati da matrice lignocellulosica attraverso processi di Steam Explosion o di gassificazione) sono tecnologie con un livello di maturità tecnologica inferiore e, secondo il tipo di applicazione e di biomassa utilizzata, ancora in fase di sviluppo.

La biomassa, se utilizzata in modo sostenibile in tutte le fasi (accrescimento, raccolta, conferimento e conversione energetica), rappresenta una fonte di energia rinnovabile e disponibile localmente ed il suo impiego può consentire la produzione di energia elettrica e calore limitando le emissioni complessive di CO₂, oltre a rappresentare la possibilità di sviluppare interessanti nicchie di mercato e di specializzazione. **In questa scheda verrà trattato l'utilizzo di biomasse in apparecchi per uso termico basati su processi di combustione diretta, con particolare attenzione al riscaldamento in utenze di tipo domestico (impianti di taglia indicativamente inferiore a 1 MW).**

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.) e fortemente influenzato dal tenore idrico (al crescere del tenore idrico della biomassa il potere calorifico diminuisce). Il potere calorifico inferiore medio su base secca della biomassa legnosa è variabile indicativamente tra 17 e 19 MJ/kg. La quantità di acqua contenuta nella biomassa, indicata come tenore idrico o umidità, influenza non solo il potere calorifico, ma anche le condizioni **all'interno dei generatori di calore, in quanto provoca una diminuzione della massima temperatura di combustione ed un aumento del tempo di residenza necessario per il completamento delle reazioni chimiche.** In questo modo risulta 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 dell'apparecchio.

La biomassa contiene anche una frazione costituita da specie alcaline, metalli pesanti e altri elementi, indicata come cenere. La percentuale di cenere e la sua composizione variano a seconda della tipologia di biomassa. Le ceneri presenti nella biomassa si ritrovano come residuo a valle del processo di combustione e possono dare origine a frazioni del particolato emesso al camino. Le caratteristiche di alcune biomasse sono riportate in tabella 1.

Tabella 1 – Caratteristiche (proximate analysis) di alcune biomasse¹⁰⁴

Biomassa	% in peso su sostanza secca				PCI [MJ/kg] _{ss}
	Umidità intrinseca	Materia volatile	Carbonio fisso	Ceneri	
Legno	20,0	62,0	17,0	1,0	18,6
Paglia di frumento	16,0	59,0	21,0	4,0	17,3
Paglia d'orzo	30,0	46,0	18,0	6,0	16,1

¹⁰⁴ McKendry P. (2002), "Energy production from biomass: Conversion technologies, Bioresource Technology"

Le biomasse combustibili¹⁰⁵ si trovano in commercio generalmente sotto forma di ciocchi o tronchetti di legno, bricchette, cippato di legna e pellet. La classificazione qualitativa dei biocombustibili solidi è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/TS 14961 (Solid biofuels, fuel specification and classes, 2005) sulla base della quale nel 2007 è stata pubblicata in Italia la specifica tecnica UNI/TS 11264 'Caratterizzazione di legna da ardere, bricchette e cippato'.

I pellet sono prodotti aggregando e comprimendo materiali di scarto, quali segatura e polveri, senza uso di colle e vernici e sono caratterizzati da un'alta densità energetica. Essi hanno dimensioni e caratteristiche standardizzate e sono facilmente trasportabili per mezzo di nastri trasportatori, coclee e sistemi di aspirazione.

Il legno cippato è costituito da scaglie di legno di dimensioni variabili standardizzate prodotte con macchine cippatrici dai residui della raccolta e lavorazione del legno o da legname appositamente raccolto. Il cippato può essere trasportato mediante coclee, nastri trasportatori o spintori.

Le bricchette sono ottenute pressando trucioli e segatura e hanno dimensioni simili a quelle della legna in ciocchi. 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.

I ciocchi, opportunamente tagliati, rappresentano la forma tradizionale in cui viene preparato il legno utilizzato a fini energetici. Le lunghezze commercialmente disponibili sono 25, 33, 50 e 100 cm, adatte per essere utilizzate in apparecchi che vanno dai tradizionali caminetti alle moderne caldaie anche di grossa potenza.

Bricchette e ciocchi vengono caricati manualmente in camera di combustione o nel vano di carico, a seconda della tipologia di impianto.

Altri bio-combustibili solidi alternativi al legno, quali sanse, paglie e cereali, presentano caratteristiche particolari (ad esempio granulometria, contenuto in silice, quantità di ceneri e loro punto di fusione ecc.) che possono determinare problemi ed inconvenienti in fase di combustione o nelle emissioni. Per questo motivo essi devono essere utilizzati in apparecchi opportunamente progettati e dedicati.

Sul mercato nazionale sono comunque presenti alcuni modelli di bruciatori, caldaie e stufe di piccola potenza che possono essere alimentate anche con sansa di olive, gusci di nocchie, mais ecc. Occorre innanzitutto sottolineare che la combustione di biomasse con diverse caratteristiche chimico-fisiche nello stesso apparecchio non avviene in modo ottimizzato e porta a processi non efficienti e ad emissioni con alto contenuto di sostanze dannose (in particolar modo ossidi di azoto, monossido di carbonio e particolato), nonché alla formazione di depositi all'interno del crogiuolo e della camera di combustione. Questi problemi si avvertono in maniera maggiore in impianti di piccola taglia, per i quali non vengono utilizzati sistemi di controllo e di automatizzazione del processo di combustione.

La conversione energetica della biomassa mediante combustione diretta avviene all'interno di apparecchi ad uso termico, impianti per la produzione di energia elettrica o impianti cogenerativi (generazione simultanea in un unico processo di energia termica ed elettrica e/o meccanica).

Il processo di combustione della biomassa, durante il quale l'energia chimica contenuta nel combustibile viene liberata sotto forma di calore, coinvolge molti aspetti e fenomeni chimico-fisici di notevole complessità. In condizioni ideali esso avviene attraverso reazioni di ossidazione complete che portano allo sviluppo di calore ed alla formazione di acqua e anidride carbonica. Nelle condizioni reali di funzionamento le

¹⁰⁵ Allegato X alla Parte Quinta del Testo Unico Ambiente DLg 152-2006: "a) materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate; b) materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate; c) materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura; d) materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti; e) materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di prodotti agricoli; f) sansa di oliva disoleata avente le caratteristiche riportate nella tabella seguente, ottenuta dal trattamento delle sanse vergini con esano per l'estrazione dell'olio di sansa destinato all'alimentazione umana, e da successivo trattamento termico, purché i predetti trattamenti siano effettuati all'interno del medesimo impianto; [...]"

reazioni di ossidazione che hanno luogo in un apparecchio alimentato a biomassa non sono complete e portano alla formazione di sostanze indesiderate.

La biomassa inoltre non è costituita solo da carbonio, idrogeno e ossigeno, ma contiene piccole quantità di azoto, potassio, fosforo e zolfo più tracce di altri elementi che prendono parte alle reazioni di ossidazione e formano composti quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo ecc.

Le emissioni al camino di un impianto a biomassa nel caso di combustione completa sono: anidride carbonica (CO₂), ossidi di azoto (NO_x), ossido nitroso (N₂O), ossidi di zolfo (SO_x), acido cloridrico (HCl) e particolato (PM). Nel caso di combustione incompleta viene prodotto monossido di carbonio (CO) e si può avere la formazione di composti organici volatili non metanigeni (NMVOC), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), carbonio organico totale (TOC), particolato, diossine e furani (PCDD/F), ammoniacca (NH₃) e ozono (O₃). A valle del processo di combustione si hanno anche **ceneri (depositate sotto griglia o raccolte in altri punti dell'apparecchio) e**, nel caso di impianti a condensazione, acque reflue.

La combustione di biomassa è di per sé caratterizzata da emissioni piuttosto elevate **di particolato solido e ossidi di azoto. Attraverso un'ottimizzazione della combustione** (che si ottiene principalmente migliorando il rapporto e la distribuzione di aria e combustibile, garantendo un adeguato tempo di permanenza in camera di combustione e controllando la temperatura), **una corretta progettazione dell'impianto, l'utilizzo di biomassa idonea e una corretta gestione e manutenzione** è possibile avere buoni rendimenti ed emissioni contenute.

Una significativa riduzione (fino al 50%) delle emissioni di ossidi di azoto e di particolato si ottiene attraverso la cosiddetta combustione a stadi (staged combustion), in cui **l'aria comburente o la biomassa vengono introdotti in zone diverse della camera di combustione** in modo da realizzare una fase iniziale di gassificazione in difetto **d'aria e di completare la combustione con eccesso d'aria in una seconda sezione dell'apparecchio**, e utilizzando sistemi automatici di controllo (sonda di temperatura, sonda CO e sonda Lambda) e di regolazione (di aria primaria e secondaria) della combustione.

In impianti di potenza indicativamente superiore a 200 kW per ridurre ulteriormente i livelli di sostanze dannose al camino è possibile utilizzare opportuni sistemi di contenimento e riduzione delle emissioni, quali filtri a maniche, precipitatori elettrostatici e cicloni per il particolato e sistemi di riduzione catalitici (SCR) e non catalitici (SNCR) per gli ossidi di azoto. Le misure secondarie di contenimento delle emissioni hanno invece costi ancora troppo alti nel caso di apparecchi di piccola taglia (<150 kW).

Gli apparecchi termici alimentati a biomassa legnosa sono disponibili sul mercato a partire da pochi kW, adatti per il riscaldamento domestico di singole stanze o piccole unità abitative, fino ad arrivare ad impianti di grossa taglia con potenze superiori al MW, impiegati per il riscaldamento di grandi utenze o in reti di teleriscaldamento o per la produzione di calore ad uso industriale.

Gli apparecchi alimentati a biomassa trovano applicazione prevalentemente per la produzione di calore in impianti di piccola e media taglia. Negli ultimi anni si stanno diffondendo anche impianti di teleriscaldamento, con potenze termiche tipiche tra 0,5 MW e 5 MW, anche se alcune applicazioni superano i 10 MW, realizzati utilizzando cicli Rankine a vapore o cicli Rankine a fluido organico (ORC).

Per impianti di taglia molto grande, superiore a 100 MW, si utilizza solitamente co-combustione di biomassa e carbone. Nella tabella 2 sono riassunte le tipologie di combustori alimentati a biomassa diffuse in Europa e di seguito sono illustrate nel dettaglio alcune tipologie.

Gli apparecchi alimentati a biomassa legnosa (in ciocchi, tronchetti pressati o sottoforma di cippato o pellet) utilizzati per il riscaldamento degli ambienti comprendono caminetti, termo-caminetti, stufe, termo stufe e caldaie. Essi possono essere utilizzati, oltre che per il riscaldamento, anche per la produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari. Per ogni tipologia di impianto vi sono diverse soluzioni tecnologiche e possibili configurazioni. Alcuni prodotti hanno un alto grado di innovazione tecnica e di automazione nel controllo della combustione e della rimozione delle ceneri e, di conseguenza, alti rendimenti e basse emissioni.

Tabella 2 – Tipologie di apparecchi e camere di combustione per tipiche applicazioni in Europa¹⁰⁶

applicazione	tipo	potenza tipica	combustibile	contenuto di ceneri	tenore idrico
manuale	stufe a legna	2 kW ÷ 10 kW	ciocchi di legno	< 2%	5% ÷ 20%
	caldaie a legna	5 kW ÷ 50 kW	ciocchi di legno	< 2%	5% ÷ 30%
pellet	stufe e caldaie a pellet	2 kW ÷ 25 kW	pellet	< 2%	8% ÷ 10%
automatica	forni di tipo 'understocker'	20 kW ÷ 2,5 MW	cippato, scarti di legno	< 2%	5% ÷ 50%
	forni a griglia mobile	150 kW ÷ 15 MW	varie tipologie di legno e biomassa	< 50%	5% ÷ 60%
	forni a griglia con preriscaldamento del combustibile	20 kW ÷ 1,5 MW	scarti di legno	< 5%	5% ÷ 35%
	forni di tipo 'understocker' con griglia rotante	2 MW ÷ 5 MW	cippato	< 50%	40% ÷ 65%
	cigar burner	3 MW ÷ 5 MW	balle di paglia	< 5%	20%
	whole bale furnaces	12 kW ÷ 50 kW	balle di paglia	< 5%	20%
	letto fluido stazionario	5 MW ÷ 15 MW	varie tipologie di biomassa, d < 10mm	< 50%	5% ÷ 60%
	letto fluido circolante	15 MW ÷ 100 MW	varie tipologie di biomassa, d < 10mm	< 50%	5% ÷ 60%
	bruciatore a combustibile polverizzato	5 MW ÷ 10 MW	varie tipologie di biomassa, d < 5mm	< 5%	< 20%
co-firing *	letto fluido stazionario	50 MW ÷ 150 MW	varie tipologie di biomassa, d < 10mm	< 50%	5% ÷ 60%
	letto fluido circolante	100 MW ÷ 300 MW	varie tipologie di biomassa, d < 10mm	< 50%	5% ÷ 60%

Note: d: dimensione tipica, ceneri e tenore idrico: percentuale in peso,

- percentuale di biomassa < 10%

Altri prodotti invece non raggiungono standard così elevati, soprattutto per quanto riguarda l'ottimizzazione ed il controllo della combustione.

La scelta della tecnologia da utilizzare dipende dalla potenza dell'impianto da installare e dalla disponibilità e forma del combustibile. La qualità di un impianto di combustione è legata alle sue caratteristiche progettuali e costruttive, alle soluzioni applicate nell'ottimizzare la combustione (ad esempio sonda Lambda) ed al numero e qualità dei vari dispositivi di gestione, controllo e sicurezza dei quali è dotato il generatore (sensori, inverter, PLC, scambiatore di sicurezza ecc.).

Solo con adeguati sistemi di controllo ed opportuni accorgimenti progettuali è possibile parlare di utilizzo energetico sostenibile del legno e rispettare i limiti emissivi imposti a livello nazionale ed europeo.

Occorre inoltre sottolineare che gli apparecchi a biomassa funzionano nelle migliori condizioni solo con un determinato carico 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 ecc.). È 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. Nel caso di caldaie è preferibile prevedere in parallelo un generatore alimentato a combustibili tradizionali ad integrazione, un opportuno accumulatore di acqua calda ed altri accorgimenti a livello impiantistico.

L'accumulatore inerziale (puffer) è costituito da un serbatoio d'acqua termicamente isolato, collegato direttamente alla mandata della caldaia tramite un'apposita pompa.

¹⁰⁶ Biomass Combustion in Europe Overview on Technologies and Regulations, 2008, NYSERDA Report 08-03, NYSERDA 9477.

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. L'accumulatore inerziale viene dimensionato in funzione della quantità di legna contenuta nella caldaia, della potenza termica nominale e del carico termico dell'edificio.**

I *caminetti* hanno potenze nominali indicativamente comprese tra 5 e 10 kW, i termo-camini tra 20 e 35 kW. I caminetti riscaldano sia per irraggiamento che tramite la circolazione di aria calda e vengono solitamente utilizzati per integrare il riscaldamento domestico. I caminetti a *focolare aperto* sono costituiti da focolari tradizionali, quelli a focolare chiuso sono in grado di riscaldare gli ambienti in modo più uniforme e continuo e consentono di ottenere migliori rendimenti termici e minori consumi di legna. Funzionano generalmente a ciocchi o bricchette di legno con alimentazione manuale o, se alimentate a pellet, dispongono di un piccolo serbatoio integrato con sistema di alimentazione automatica. 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 gli ambienti, sono utilizzati per produrre acqua calda sanitaria e per alimentare l'impianto di riscaldamento. **Funzionano a pellet o a legna.**

I camini a focolare aperto hanno efficienze molto basse, inferiori al 30%, 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. I camini a focolare chiuso possono avere rendimenti massimi del 65%.

Le *stufe* vengono utilizzate per il riscaldamento di ambienti: singole stanze, piccoli appartamenti o intere case a basso consumo energetico. Il calore è trasferito per scambio radiativo e convettivo. La potenza termica nominale è indicativamente compresa tra 6 e 15 kW e può essere regolata in modo manuale o automatico in funzione della temperatura desiderata. Le stufe 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. 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 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 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 biomassa possono raggiungere rendimenti massimi del 73%. Le stufe a pellet possono avere anche rendimenti dell'80%.

Le *caldaie* vengono utilizzate per il riscaldamento di singole abitazioni o di complessi di edifici, con potenze che partono da circa 4 kW, e possono essere alimentate a ciocchi di legna, pellet o cippato. Esse possono essere utilizzate anche in impianti cogenerativi in tutti i casi in cui si presenti un'utenza termica a bassa temperatura (ri-

scaldamento di serre, piscine, reti di teleriscaldamento ecc.).

Le caldaie alimentate a biomassa possono essere costituite da due unità distinte (bruciatore a biomassa e caldaia tradizionale) o da un sistema integrato.

I modelli più avanzati di caldaie sono dotati di sistemi di regolazione a microprocessore e sensori, e raggiungono rendimenti termici oltre il 90%. 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.**

Per potenze superiori a 10 MW solitamente si ha la produzione combinata di vapore in impianti cogenerativi mentre gli apparecchi di taglia inferiore producono generalmente solo calore. In alcune applicazioni, accoppiati a impianto a fluido organico (ORC), essi producono anche energia elettrica.

Le caldaie possono essere distinte, secondo la tecnologia di combustione adottata in:

- sistemi a letto fisso (forni a griglia, **underfeed stokers**);
- sistemi a letto fluidizzato (bollente o circolante);
- sistemi a combustibile polverizzato.

Le caldaie per la combustione di legna in ciocchi 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 regolazione automatici e possono raggiungere rendimenti anche superiori al 90%.

Le caldaie a ciocchi 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.

Le **caldaie a pellet**, disponibili per potenze che partono da pochi kW a circa 50 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 fino ad 1 MW. Le caldaie a pellet sono adatte al riscaldamento di singoli ambienti e unità abitative e sono caratterizzate da ampia flessibilità e semplicità di utilizzo (accensione/spengimento programmati e con possibilità di tele-gestione ecc.). 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.

Le caldaie a cippato sono alimentate in modo automatico (tramite sistemi a coclea, a nastro o a spintore) e possono raggiungere potenze anche di diversi MW. Sul mercato si trovano modelli di caldaie a cippato a partire da circa 30 kW. Esse sono quindi 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.

Le moderne caldaie, dotate di dispositivi di controllo e regolazione automatici, raggiungono rendimenti superiori al 90%.

Secondo le 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.

In funzione della **taglia dell'impianto e della qualità e pezzatura della biomassa** in ingresso si possono avere, oltre ai forni a griglia fissa e ai forni a griglia mobile, differenti soluzioni tecnologiche: forni rotanti, letti fluidi e bruciatori per polvere di biomassa. In questi tipi di impianti, appositamente progettati, è possibile bruciare biomassa di vario tipo, non solo legnosa, con alti contenuti di ceneri e di acqua.

Sono inoltre stati sviluppati particolari tipi di fornaci per la combustione di paglia di grano, in grado di funzionare in condizioni particolari (alto contenuto di ceneri, tendenza delle ceneri a sinterizzare ecc.) e di essere alimentati direttamente con materiale conferito ad esempio in balle (*cigar burner* e *whole bale furnace*).

Negli *impianti cogenerativi* si ha la generazione simultanea in un unico processo di energia termica ed elettrica e/o meccanica per applicazioni in ambito industriale o a servizio di reti di teleriscaldamento.

Sono disponibili diverse tecnologie a seconda della potenza richiesta:

- < 100 kW_{el}: non sono attualmente disponibili sul mercato tecnologie pienamente mature e affidabili, sono in fase di sperimentazione processi con motori Stirling e microturbine;
- 200÷2000 kW_{el}: motori a vapore a vite, turbine a vapore e processi basati su ciclo Rankine con fluidi organici (ORC);
- 2000 kW_{el}: turbine a vapore.

Gli impianti ORC (Organic Rankine Cycle) sono costituiti essenzialmente da un turbogeneratore operante secondo un ciclo Rankine che utilizza come fluido di lavoro uno specifico fluido organico, **al fine di contenere la pressione massima nell'impianto. Il fluido organico inoltre, essendo caratterizzato da un peso molecolare superiore a quello dell'acqua, provoca una rotazione più lenta della turbina, una minor pressione e di conseguenza una più lenta erosione delle parti metalliche e delle palette. L'impiego di tale tipologia di fluido permette di operare secondo un ciclo termodinamico a pressione tale da non rendere necessaria la presenza di personale specializzato per la sua gestione. L'impiego di fluidi termovettori intermedi e di un fluido di lavoro organico porta però ad avere rendimenti più bassi rispetto a quelli di un ciclo Rankine a vapore d'acqua che operi tra gli stessi estremi di temperatura. Il rendimento elettrico dei moduli ORC è infatti inferiore al 25%, variabile in funzione della taglia e della configurazione d'impianto. La minore efficienza del ciclo è compensata da altri vantaggi, oltre al funzionamento automatico senza supervisione dell'impianto, quali la disponibilità sul mercato di moduli commerciali, la bassa richiesta di manutenzione, la semplicità delle procedure di avviamento e fermata ed il funzionamento fino al 10% del carico nominale.**

Il tipico schema d'impianto per recupero di calore da un flusso di gas caldi comprende: uno scambiatore olio diatermico/gas caldi, utilizzato per trasferire il calore dai gas esausti al modulo ORC, il modulo ORC ed un eventuale sistema di raffreddamento ad aria o ad acqua ([figura 2](#)).

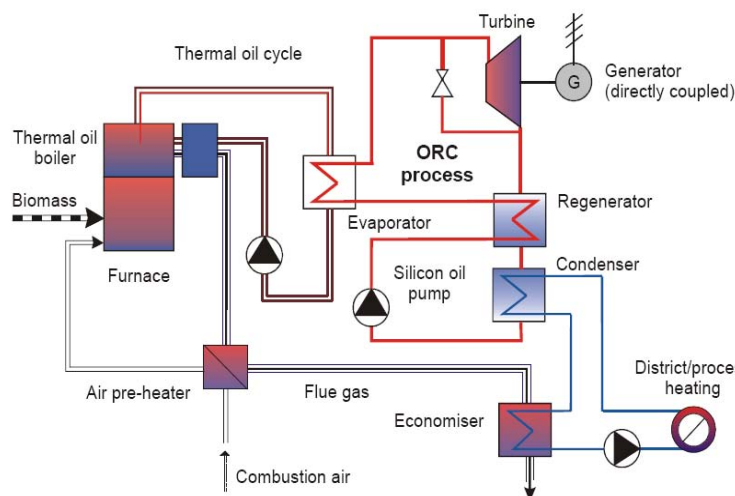
Le tipiche temperature nominali di lavoro del fluido termovettore di alta temperatura (AT) sono 315÷250 °C, ma è possibile operare anche con recupero termico da flussi a temperatura inferiore.

La gamma di potenza dei moduli standard varia da 200 kW_{el} a 2MW_{el}.

In Italia e in Europa sono in funzione numerosi impianti basati sulla tecnologia ORC.

Per quanto riguarda i cicli con turbina a vapore, si tratta di impianti identici alle comuni centrali termoelettriche ad eccezione della sezione di combustione della biomassa. Il calore sviluppato nella combustione della biomassa viene infatti utilizzato per generare vapore surriscaldato che espande in una tradizionale turbina a vapore generando energia elettrica, mentre il calore risultante dal processo può essere utilizzato per alimentare una rete di teleriscaldamento o specifici processi industriali.

Figura 2 – Schema di un impianto cogenerativo per rete di teleriscaldamento con tecnologia ORC¹⁰⁷



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, posto nelle vicinanze del luogo di produzione della biomassa utilizzata (bosco, terreni di coltura, segherie, ...).

Taglie superiori ai 10÷15 MW costringono ad aumentare l'area di fornitura 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, tra cui l'Austria, i piccoli impianti rurali di teleriscaldamento a biomasse (con potenza compresa tra le centinaia di kW e i 10 MW) sono molto diffusi. In Italia gli impianti sono solo alcune decine, ma il settore è di sicuro interesse e sembra essere in espansione.

Prospettive tecnologiche e R&S

Oltre alla più volte citata necessità di ottimizzare il processo di combustione (che consisterebbe in un'attività di supporto alla progettazione), di particolare interesse sono anche altre attività di ricerca e sviluppo, tra cui:

- miglioramento dell'efficienza dei sistemi di produzione del calore;
- miglioramento dell'efficienza di impianti cogenerativi;
- definizione e sperimentazione di idonei sistemi di abbattimento per NO_x e particolato per impianti di piccola taglia (<500 kW);
- ottimizzazione della combustione di biomasse non legnose (paglia, residui agricoli ecc.);
- co-combustione di biomassa e combustibili fossili;
- sviluppo di sistemi efficienti ed economicamente sostenibili di piccola cogenerazione e micro-cogenerazione;
- validazione di modelli di calcolo per la modellizzazione dei fenomeni di combustione della biomassa (CFD).

Parallelamente, può essere interessante definire e promuovere una metodologia di omologazione per gli impianti da proporre a livello europeo, analogamente a quanto previsto ad esempio per i veicoli (ciclo urbano ed extra urbano per la determinazione dei livelli emissivi).

¹⁰⁷ Obernberger I., Biedermann F. 'Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe- state of the art and relevant future developments', 2005.

Si segnala come a livello nazionale ed europeo siano stati avviati numerosi programmi di ricerca, finalizzati soprattutto alla valutazione dell'impatto sulla salute del particolato fine sospeso e di altri inquinanti, all'elaborazione di modelli di calcolo e di previsione per lo studio della diffusione di tali sostanze in atmosfera ed all'analisi dei processi emissivi. Sono state avviate diverse attività di ricerca finalizzate alla definizione di un idoneo sistema di abbattimento del particolato per applicazioni domestiche ma, in base alle informazioni in letteratura e reperibili sul mercato, attualmente non sono disponibili dispositivi per il contenimento del particolato fine ed ultrafine adatti ad applicazioni di piccola taglia.

Sempre nell'ambito della combustione di biomassa in apparecchi di piccola taglia, forte attenzione è stata rivolta al miglioramento delle tecnologie di combustione ed al contenimento delle emissioni, soprattutto in Paesi quali l'Austria e la Germania, anche mediante simulazioni numeriche al computer (analisi CFD Computational Fluid Dynamics).

Potenziale di sviluppo e barriere alla diffusione

Diversi studi ed indagini a livello nazionale ed europeo mostrano come i consumi di biomassa per il riscaldamento domestico siano in aumento, soprattutto per quanto riguarda il consumo di pellet, e come il numero di apparecchi installati sia quasi raddoppiato negli ultimi 10 anni.

Per un utilizzo sostenibile delle risorse disponibili si intende in particolare promuovere l'utilizzo delle biomasse per la produzione di calore ad uso civile o industriale, con eventuale produzione combinata di energia elettrica in impianti cogenerativi.

In Italia si ha un buon potenziale di biomassa disponibile da residui della lavorazione del legno, residui agroindustriali e da filiere boschive che permetterebbero uno sviluppo notevole del settore.

In [tabella 3](#) è riportata una stima del potenziale di biomassa in Italia da dati ENEA. I dati fanno riferimento alle quantità di legna direttamente accessibile.

Tabella 3 – Potenziale di biomassa in Italia (disponibilità annuale di sostanza secca)

REGIONE	Paglie [kt/a]	Potature [kt/a]	Sanse + vinaccia [kt/a]	Totale foreste [kt/a]
Piemonte	2.479	110	48	257
Valle D'Aosta	0	2	0	1
Lombardia	3.617	40	17	242
Veneto	1.745	367	75	91
Trentino-Alto Adige	2	65	13	35
Friuli-Venezia Giulia	593	56	11	65
Liguria	4	19	5	96
Emilia-Romagna	1.557	398	63	237
Toscana	724	238	64	365
Marche	539	58	17	32
Lazio	437	248	57	112
Umbria	430	102	14	67
Abruzzo	229	290	55	60
Molise	163	31	29	44
Campania	317	287	66	120
Basilicata	452	50	12	65
Puglia	1.219	814	370	46
Calabria	212	1.012	190	154
Sicilia	732	598	186	26
Sardegna	260	121	29	65
TOTALE	15.711	4.906	1.320	2.181

Da segnalare infatti come sia spesso difficile accedere ai boschi ed ai terreni, a causa della presenza di vincoli di varia natura, delle pendenze dei terreni, della mancanza o non praticabilità delle strade ecc..

Le principali barriere alla diffusione sono di carattere economico ed ambientale (con **riferimento alle problematiche connesse all'emissione di particolato**), ma occorre fare opportune distinzioni in base alla taglia degli impianti ed alla tipologia di applicazioni.

Si segnalano soprattutto le incertezze dovute ai prezzi della biomassa (in particolare le forti oscillazioni nel prezzo del pellet) ed ai regimi di incentivazione. Queste ultime sono in alcuni casi variabili di anno in anno e non garantite a lungo termine. Così come altre tecnologie di sfruttamento delle rinnovabili, anche gli impianti a biomassa spesso non si sostengono economicamente se non sono incentivati a livello nazionale o locale.

Come accennato, recentemente alcuni studi hanno individuato nella combustione della biomassa legnosa una delle principali fonti di particolato in atmosfera (sia PM10 che PM2,5), **portando all'applicazione di disposizioni a livello locale e regionale che limitano l'utilizzo degli apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati a biomassa legnosa.**

A questo proposito si segnala come molti degli apparecchi di piccola taglia per la combustione di biomassa presenti sul mercato nazionale siano progettati in base a criteri ormai obsoleti associando impropriamente il termine biomassa al concetto di **'combustione pulita'** senza prestare la dovuta attenzione alla **fenomenologia della combustione e della formazione di inquinanti e promuovendo l'utilizzo di biomasse** alternative al legno (mais, sansa, gusci ecc.) il cui utilizzo in realtà comporta problemi non ancora completamente risolti in questo tipo di apparecchi.

Analisi economica

Il costo totale di un impianto alimentato a biomassa comprende il costo **dell'apparecchio, della sua installazione, dell'eventuale impiantistica correlata** (sistema di accumulo inerziale, impianto idraulico ecc.), il costo del combustibile ed il costo della gestione e della manutenzione.

In generale gli impianti di riscaldamento a biomassa sono caratterizzati da costi di investimento piuttosto alti e da bassi costi di esercizio.

Non è semplice indicare delle stime di costo, in quanto gli apparecchi presenti sul mercato e le soluzioni impiantistiche adottabili sono molteplici e caratterizzate da parametri variabili a seconda della specifica applicazione e soprattutto della **potenza dell'impianto. Di seguito verranno quindi fornite solo delle indicazioni di massima che non pretendono di essere esaustive della reale offerta del mercato.**

Nella figura 3 sono raffigurati i prezzi indicativi di alcune tipologie di impianti per riscaldamento. **I prezzi sono espressi in €/kW, esclusa l'IVA, ai quali bisogna aggiungere l'installazione, che può incidere in misura variabile, orientativamente dal 20 al 50% del costo delle apparecchiature a seconda delle diverse soluzioni impiantistiche.** I grafici evidenziano per tutte e tre le tipologie di impianto (a legna, a pellet e a cipato) **un calo molto pronunciato dei costi unitari di investimento con l'aumentare della potenza installata, ciò soprattutto sugli impianti a pellet e a legna.** Infatti gli impianti di maggiore potenza sono generalmente più convenienti dei piccoli in termini di rapporto costo/beneficio.

Nella tabella 5 sono riportati i prezzi indicativi per impianti cogenerativi con moduli ORC. I prezzi sono IVA esclusa e comprensivi di: caldaia a biomassa, scambiatore di calore fumi caldi/olio diatermico, modulo ORC, progettazione ed ingegnerizzazione, opere civili, allacciamento alla rete, canone annuo di manutenzione. Il costo di **investimento dell'impianto** è largamente variabile in funzione del tipo di biomassa disponibile e delle soluzioni tecniche adottabili.

Figura 3 – Costi indicativi di un impianto di riscaldamento per uso domestico (€/kW)



Note: asse X=kW e Y=€.

(a) a legna da ardere comprensivo di caldaia, accumulatore inerziale, bollitore per acqua calda sanitaria e centralina di regolazione; b) a pellet comprensivo di caldaia, sistema di estrazione pellet, bollitore per acqua calda sanitaria e centralina di regolazione; c) a cippato comprensivo di caldaia, sistema di estrazione cippato, ciclone e centralina di regolazione), dati al 2003¹⁰⁸

Un altro importante parametro da considerare è il prezzo della biomassa. Nel caso della legna da ardere con tenore idrico 20% il prezzo medio è di circa 130 €/t + IVA. Nel caso del cippato con tenore idrico 30% il prezzo medio è di 70 €/t +IVA. Il pellet è il combustibile più costoso e con maggiori fluttuazioni legate al mercato. Un prezzo indicativo per tenore idrico al 10% e vendita in sacchi da 15 kg è di 200 €/t +IVA.

I prezzi riportati sono da intendersi indicativi, in quanto estremamente variabili in funzione della zona di reperimento della biomassa, dei costi di trasporto e della domanda.

Nella stima di bilancio economico è necessario valutare anche eventuali incentivi pubblici, disponibili come contributi a fondo perduto, prestiti agevolati o come detrazioni d'imposta.

¹⁰⁸ Schenone G., Impianti a biomassa di piccole dimensioni < 0,5 MW_t

Tabella 4 - Costi indicativi di apparecchi alimentati a biomassa legnosa di potenza < 1 MW

Potenza nominale [kW]	Combust.	Tipologia apparecchio	Prezzo apparecchio (IVA esclusa) [€]	Note
< 10	Ciocchi	Caminetto a focolare aperto	400	
10÷15	Ciocchi	Caminetto a focolare aperto	400÷1.800	
< 10	Ciocchi	Caminetto a focolare chiuso	1.000÷1.300	
10÷15	Ciocchi	Caminetto a focolare chiuso	1.000÷4.000	
< 15	Pellet	Caminetto a focolare chiuso/ termocamino	2.000÷4.000	
15÷30	Ciocchi	Termocamino	2.000÷4.000	
< 15	Legna	Stufa ad aria	600÷3.800	
< 15	Legna	Stufa ad acqua	4.000÷5.000	
< 10	Pellet	Stufa ad aria	1.700÷3.200	
10÷15	Pellet	Stufa ad acqua	3.000÷5.000	
10÷20	Pellet	Caldaia	11.000	Con serbatoio pellet adiacente, controllo combustione automatico con sonda lambda
10÷20	Ciocchi	Caldaia	4.000	
20÷50	Ciocchi	Caldaia	11.000	Controllo combustione automatico con sonda lambda
50÷150	Ciocchi	Caldaia	11.000÷22.000	Controllo combustione automatico con sonda lambda
150÷500	Cippato - pellet	Caldaia	60.000÷90.000	Con sistema di estrazione meccanico e coclea, controllo combustione automatico con sonda lambda
500÷1000	Cippato - pellet	Caldaia	90.000÷180.000	Con sistema di estrazione meccanico e coclea, controllo combustione automatico con sonda lambda

Note: costo del solo apparecchio, salvo diversa specifica indicata. Prezzi aggiornati al 2009

Tabella 5 – Costi indicativi impianto cogenerativo con modulo ORC (costi totali)

P _{el} [kW]	P _t [kW]	Costo (IVA escl.) [k€]		
550	2.500	2.800	÷	3.500
1.150	5.500	3.300	÷	4.100
2.000	10.000	5.400	÷	6.700