



**ENEA**

ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

# RISCALDAMENTO DEI GRANDI EDIFICI CON COMBUSTIBILI LEGNOSI

INFORMAZIONI TECNICHE DI BASE



## RISCALDAMENTO DEI GRANDI EDIFICI CON COMBUSTIBILI LEGNOSI – INFORMAZIONI TECNICHE DI BASE

Questo opuscolo è stato realizzato nell'ambito di un progetto denominato BIOHEAT (contratto n. 4.1030/Z/00-163/2000), con il supporto finanziario della Commissione Europea mediante il programma ALTENER.

Alla realizzazione di questo documento hanno partecipato L. Castellazzi, V. Gerardi, E. Scoditti (ENEA), C. Rakos (EVA), Anders Evald, Jeppe Bjerg (dk-TEKNIK), Fredrik Lagergren (SVEBIO).

## PREMESSA

Questo documento presenta informazioni tecniche di base che dovrebbero essere utili nella preparazione di progetti per la realizzazione di sistemi di riscaldamento con combustibili legnosi come pellets o chips essiccati.

Progetti tipici potrebbero essere o blocchi residenziali o edifici pubblici, come scuole, case per anziani, municipi o altri edifici più grandi con un carico termico tra 50 kW e 800 kW. In questo intervallo di potenza i sistemi di riscaldamento a biomassa presentano spesso considerevoli vantaggi economici e sono abbastanza facili da realizzare, in quanto l'installazione può essere spesso eseguita in una struttura esistente.

Questo opuscolo è stato elaborato nel contesto del progetto denominato BIOHEAT (AL 163/2000), parzialmente finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del programma ALTENER.

Ulteriori informazioni sono disponibili sul sito web [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info).

I partner coinvolti nell'elaborazione del documento sono:

SVEBIO – Associazione svedese sulle biomasse

dk – TEKNIK Energy & Environment

EVA – Agenzia dell'energia austriaca

ENEA – Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

## INDICE

<b>PERCHÉ IL RISCALDAMENTO A LEGNA?</b>	<b>5</b>
Il supporto politico	5
La disponibilità di una tecnologia eccellente	6
La competitività economica	6
I benefici ambientali	8
Un mercato in crescita	10
<b>FATTIBILITÀ DI UN SISTEMA DI RISCALDAMENTO A BIOMASSA</b>	<b>12</b>
Considerazioni generali	12
La disponibilità di spazio	12
Il rifornimento del combustibile legnoso	13
La manutenzione della caldaia	13
Scelta della taglia della caldaia e stima della quantità di combustibile necessaria	13
Le valutazioni economiche	14
<b>LA SELEZIONE DEL COMBUSTIBILE LEGNOSO</b>	<b>15</b>
Le proprietà dei pellets e del cippato di legno	15
La scelta del combustibile idoneo	16
<b>LO STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE LEGNOSO</b>	<b>17</b>
Il dimensionamento dello stoccaggio	18
Lo schema dello stoccaggio e del locale caldaia	18
I dispositivi di sicurezza dei depositi per lo stoccaggio dei pellets	19
La consegna dei combustibili	19
<b>LE CALDAIE A LEGNA AUTOMATICHE</b>	<b>21</b>
La scelta della caldaia	21
Le strategie per seguire le variazioni del carico e per aumentare la sicurezza della fornitura	22
I sistemi di sicurezza	23
Il rumore	24
L'integrazione con i pannelli solari	25
Sistema 1: sistema a doppio tubo con stoccaggio decentralizzato dell'acqua calda	26
Sistema 2: sistema a doppio tubo con produzione diretta dell'acqua calda	26
Punti chiave per pianificare un sistema solare-biomassa combinato	27
<b>L'ESERCIZIO E LA MANUTENZIONE</b>	<b>28</b>
<b>SUSSIDI, PERMESSI E NORMATIVE</b>	<b>29</b>
<b>L'ACQUISTO DEI COMPONENTI</b>	<b>33</b>

## PERCHÉ IL RISCALDAMENTO A LEGNA?

Sono molte le ragioni per cui si può prendere in considerazione il riscaldamento nei grandi edifici con dispositivi alimentati a legna; infatti, oltre rappresentare una soluzione affidabile, tecnologicamente provata e compatibile dal punto di vista ambientale, risulta essere economicamente valida; inoltre, poiché i combustibili legnosi possono essere recuperati localmente, possono garantire una più alta sicurezza nel rifornimento ed una maggiore stabilità del prezzo dell'energia.

### *Il supporto politico*

L'accordo di Kyoto prevede una significativa riduzione delle emissioni dei gas serra. L'uso dei combustibili legnosi per il riscaldamento è tra le misure a minor costo tra quelle che possono contribuire ad ottenere questi risultati. L'aumento dell'uso della biomassa per il riscaldamento è supportato esplicitamente dalla Commissione Europea che, nella sua "Campagna di decollo", ha stabilito l'obiettivo di realizzare 2000 MW<sub>th</sub> di sistemi di riscaldamento per grandi edifici entro il 2003.

Alcuni paesi europei hanno già attivato programmi nazionali di promozione per stimolare le economie regionali in questa direzione e per aprire nuove opportunità per gli agricoltori. Infine la Commissione Europea ha manifestato serie preoccupazioni riguardo l'attuale basso livello di sicurezza nell'approvvigionamento energetico<sup>1</sup>. I combustibili legnosi possono contribuire ad aumentare significativamente tale sicurezza in un'ottica di diversificazione delle fonti di energia.

In tale quadro l'Italia, nell'ambito della Conferenza Nazionale sull'Energia e l'Ambiente del 1998, si è posta diversi obiettivi riguardanti le fonti rinnovabili, e in particolare le biomasse, fissando per queste come obiettivo al 2010 un incremento nel solo settore termico di circa 0,7 Mtep, pari ad oltre 2 milioni di tonnellate di biocombustibili; tale valore risulta essere ulteriormente incrementabile in termini di energia usufruibile se si considera che attualmente nel settore residenziale si ha la predominanza di dispositivi (stufe, caminetti, vecchie caldaie) a bassa efficienza energetica e dall'impatto ambientale<sup>2</sup> non trascurabile.

In questa direzione deve essere considerato anche il *Programma Biocombustibili* (PROBIO) predisposto dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MIPAF), in linea con il precedente *Programma Nazionale per la Valorizzazione delle Biomasse Agricole e Forestali* (PNVBAF), che prevedeva tra l'altro attività di tipo dimostrativo gestite dalle amministrazioni regionali e dalle Province Autonome sulla base di programmi specifici presentati al MIPAF e da questi valutati e finanziati<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Green book on energy security.

<sup>2</sup> Rapporto Tecnico ENEA RT/ERG/2001/7, "I consumi energetici di biomasse nel settore residenziale in Italia nel 1999".

<sup>3</sup> Per ulteriori informazioni vedere il sito [www.politicheagricole.it/AMBIENTE/BIOMASSE/](http://www.politicheagricole.it/AMBIENTE/BIOMASSE/).

Il supporto politico può essere significativo anche a livello locale. Lo stimolo dell'economia locale è una delle tematiche più importanti e più sentite da gran parte delle comunità. Molte di queste sono state coinvolte nel processo di attuazione delle azioni previste dal progetto *Agenda 21 Locale* o partecipano ad altri programmi di tipo ambientale in un'ottica di sviluppo sostenibile. In queste comunità possono essere molto bene accettati ed attivamente supportati progetti innovativi volti al raggiungimento di questi obiettivi.

In tale linea va inserito, per esempio, il bando emesso il 18 dicembre 2000 dal Ministero dell'Ambiente, in cui sono previsti dei finanziamenti per i progetti finalizzati alla diffusione di iniziative di sviluppo sostenibile a livello locale.

#### *La disponibilità di una tecnologia eccellente*

Mentre l'uso della legna da ardere è abbastanza comune in tutto il mondo, solo recentemente si sta diffondendo in molti paesi l'utilizzo di impianti termici automatizzati e tecnologicamente avanzati alimentati con pellets e cippato di legno. I nuovi impianti risultano avere standard molto superiori rispetto alle vecchie tecnologie sia in termini di comfort che di efficienza energetica ed emissioni atmosferiche e hanno raggiunto un livello qualitativo paragonabile a quello delle caldaie alimentate a gasolio o a gas. Si deve comunque sottolineare come esista sul mercato una ampia gamma qualitativa di dispositivi a biomassa che si differenziano molto per prezzo e prestazioni. Gli operatori dell'industria del legno che debbono disfarsi dei propri residui di produzione possono richiedere caldaie a legna di qualità inferiore rispetto a quelle necessarie per le applicazioni residenziali. Una selezione accurata delle caldaie di elevata qualità è quindi essenziale per la realizzazione di progetti di successo nel settore del riscaldamento civile residenziale e degli edifici pubblici.

#### *La competitività economica*

Il riscaldamento con combustibili legnosi può rilevarsi economicamente vantaggioso, in quanto questi risultano essere significativamente più economici dei combustibili fossili. Nella figura 1 vengono messi a confronto i costi dei diversi combustibili a parità di contenuto energetico.

Nel calcolo del costo annuo del calore bisogna considerare che i costi di investimento degli impianti a combustibile legnoso sono più alti rispetto ai sistemi di riscaldamento convenzionali. Comunque, considerando anche i costi di ammortamento degli impianti, il costo complessivo rimane significativamente più basso rispetto a quello di impianti a combustibile fossile come si evince dalla figura 2.

L'economia di sistema migliora ulteriormente se si considera la possibilità di avere contributi in conto capitale, variabili a seconda delle Regioni, dal 30 al 60%.

In figura 3 viene mostrato come i costi di investimento specifici (€/kW) relativi ad impianti di riscaldamento a legna multifamiliari risultino partico-

Figura 1.  
Costi totali del  
combustibile,  
tasse incluse  
(€/GJ)

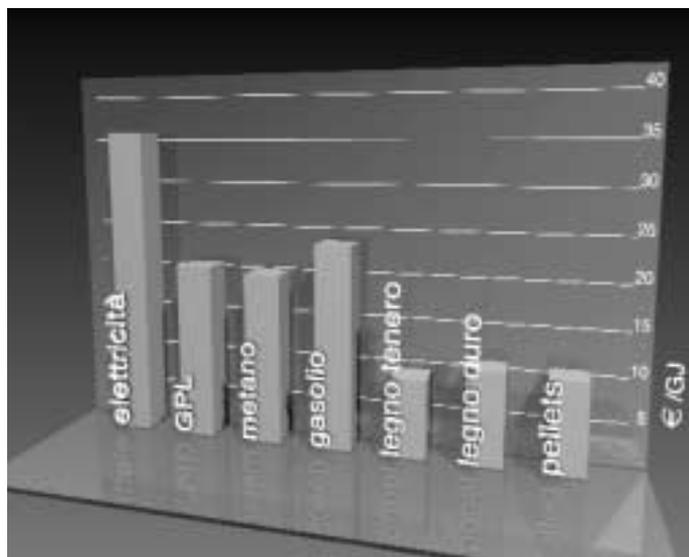
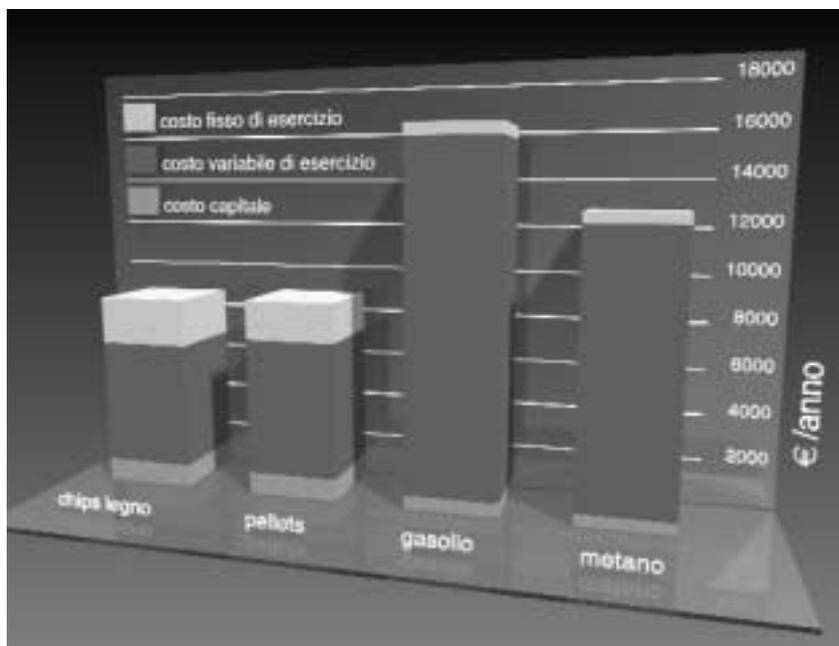


Figura 2.  
Costo annuo  
totale del calore  
(€/anno)



larmente competitivi rispetto a quelli di utenze monofamiliari e delle grandi reti di teleriscaldamento. I costi risultano essere maggiori in quanto generalmente i grossi impianti necessitano della costruzione di un edificio separato per la centrale termica e di una costosa rete di teleriscaldamento.

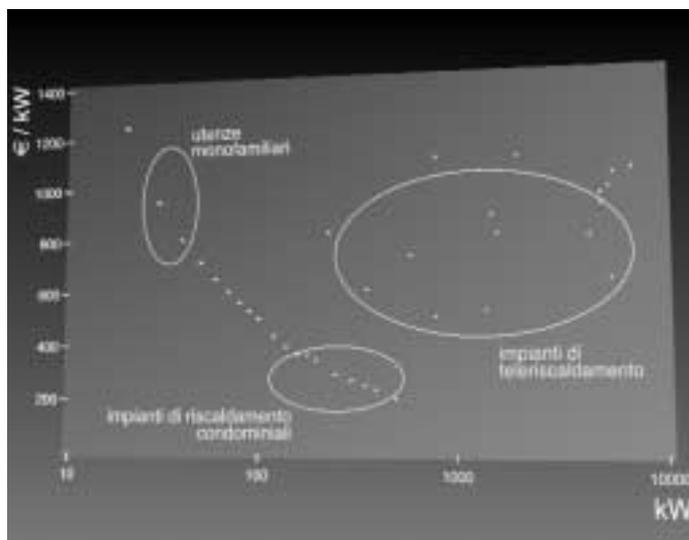


Figura 3. Costi di investimento per sistemi di riscaldamento a biomasse (€/kW)

### *I benefici ambientali*

Si sente spesso dire che il fumo di legna è molto inquinante: questo è vero nel caso si effettui la combustione in condizioni non controllate e non ottimali, come avviene spesso nelle stufe, nei caminetti e nelle cucine economiche tradizionali.

Non è vero, invece, per le moderne caldaie ad alta tecnologia, che sono progettate per ottenere una combustione quasi perfetta della legna e quindi con emissioni simili a quelle di una caldaia a metano. In figura 4 vengono confrontate le emissioni atmosferiche prodotte dalla combustione della legna in caldaie che impiegano diverse tecnologie.

Inoltre bisogna sottolineare come nella combustione della biomassa si può non conteggiare la CO<sub>2</sub> emessa in quanto questa è praticamente pari a quella che è stata sottratta all'atmosfera durante la fase della crescita della pianta (figura 5).

In realtà questo è vero solo se vengono trascurate le spese energetiche relative alla coltivazione, alla raccolta, al trattamento e al trasporto del combustibile legnoso; per cui è necessario considerare tutte le fasi dell'intero ciclo di vita del combustibile per una valutazione più corretta del suo impatto sull'ambiente.

Figura 4.  
 Comparazione  
 delle emissioni  
 gassose di alcuni  
 inquinanti da  
 combustione del  
 legno con diverse  
 tecnologie,  
 (mg/M)

(Fonte: Rapporto  
 sull'energia 1990  
 del Governo  
 austriaco)

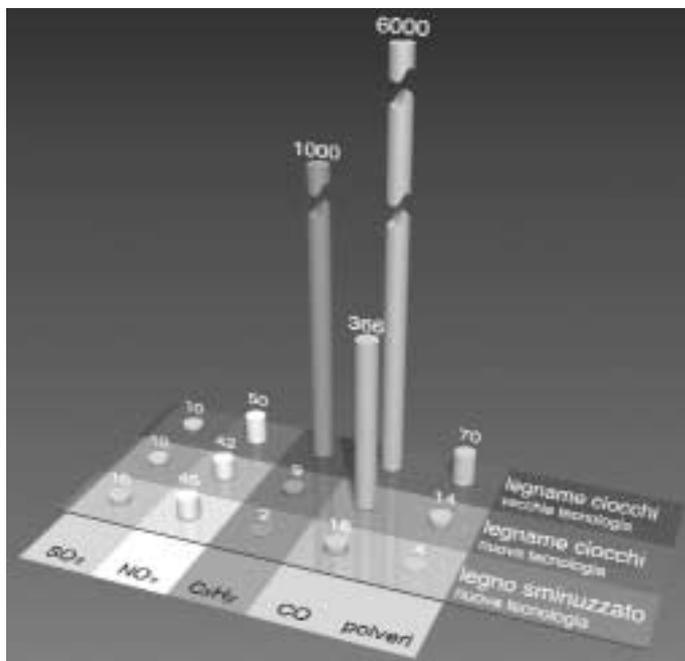
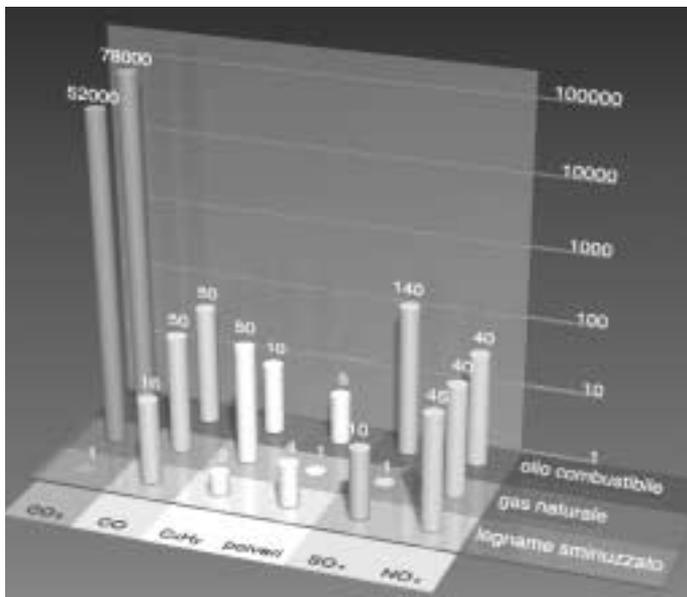


Figura 5.  
 Comparazione  
 delle emissioni  
 gassose di alcuni  
 inquinanti da  
 combustione  
 in impianti  
 alimentati con  
 combustibile  
 fossile e legno  
 cippato (mg/M)

(Fonte: Rapporto  
 sull'energia 1990  
 del Governo  
 austriaco)



Nella figura 6 sono rappresentate le emissioni derivanti dalla combustione di differenti tipologie di combustibili, calcolate secondo il modello GEMIS<sup>4</sup>, sviluppato dall'Öko-Institut, un istituto tedesco di ecologia applicata. I risultati sono stati ottenuti ipotizzando che i pellets vengano trasportati "su gomma" per una distanza di circa 300 km e conteggiando le emissioni relative al processo di produzione e smaltimento delle caldaie.

#### *Un mercato in crescita*

Il riscaldamento degli edifici risulta essere un mercato dell'energia potenzialmente molto grande. In paesi come l'Austria, la Danimarca, la Francia, la Germania e la Svezia l'uso del legno in questo settore sta crescendo rapidamente negli ultimi anni.

Nella figura 7 è riportato a titolo esemplificativo l'incremento del numero di edifici riscaldati a legna dal 1992 al 2000 in Austria.

Anche in Italia si sta assistendo ad un sempre crescente interesse verso questa tipologia di sistemi, e vengono realizzate un numero sempre maggiore di iniziative, soprattutto in alcune Regioni del nord. Del resto l'uso della legna per il riscaldamento civile è una pratica ben nota e consolidata anche nel nostro paese.

Un recente studio dell'ENEA, basato su un'indagine campionaria su tutte le famiglie italiane, ha indicato in oltre 12 milioni di tonnellate il consumo annuo di combustibile legnoso utilizzato per il riscaldamento; bisogna di nuovo sottolineare come circa il 78% dei dispositivi utilizzati risultano essere di basso profilo tecnologico e quindi basse efficienze di conversione, con predominanza di caminetti e stufe tradizionali.

<sup>4</sup> Per ulteriori informazioni sul modello vedi: [www.oeko.de/service/gemis/](http://www.oeko.de/service/gemis/)

Figura 6.  
 Comparazione  
 delle emissioni  
 gassose di alcuni  
 inquinanti da  
 combustione  
 in impianti  
 alimentati con  
 combustibile  
 fossile e legno  
 cippato  
 (in kg/anno e  
 t/anno per la CO<sub>2</sub>)

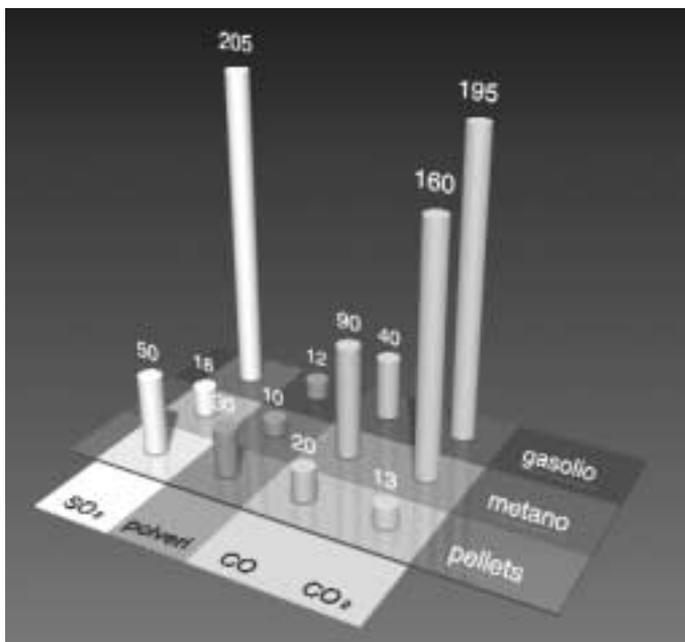
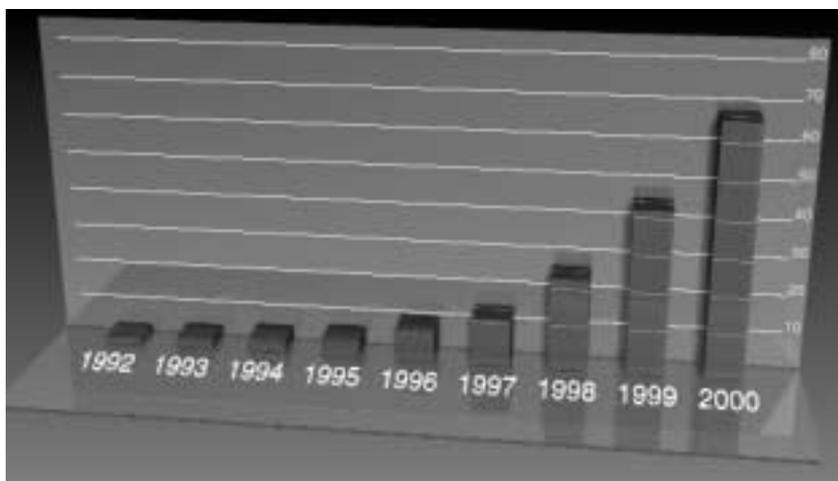


Figura 7.  
 Numero degli  
 edifici riscaldati  
 a legna realizzati  
 in Austria



## FATTIBILITÀ DI UN SISTEMA DI RISCALDAMENTO A BIOMASSA

L'intero iter progettuale, dalla prima idea alla definizione completa del progetto, ricopre diversi aspetti tecnologici ed economici che possono apparire in forma diversa nelle varie fasi della progettazione. È consigliabile effettuare le valutazioni economiche del progetto sia all'inizio che alla fine del processo decisionale.

Prima di realizzare un impianto è sempre consigliabile effettuare uno studio di fattibilità che analizzi tutte le diverse componenti progettuali.

Questo capitolo vuol essere una guida per il lettore in modo da illustrare quali debbano essere gli argomenti principali che uno studio di fattibilità deve considerare quando si vuole realizzare un sistema di riscaldamento a biomassa.

### *Considerazioni generali*

I moderni sistemi di riscaldamento a combustibili legnosi funzionano bene come quelli convenzionali alimentati con gas o con gasolio. Essi sono solo meno comuni e conosciuti ed è quindi importante fornire tutte le informazioni necessarie affinché lo scetticismo verso queste nuove tecnologie non costituisca una barriera alla loro diffusione. Il gruppo di persone che devono essere maggiormente informate include gli investitori, i potenziali utenti, i progettisti, gli installatori e tutte le autorità pubbliche coinvolte nei processi decisionali.

Avviare un progetto di un sistema di riscaldamento a legna dove non è stato mai realizzato qualcosa di simile non è certamente un compito facile e richiede un considerevole sforzo, anche comunicativo.

Tuttavia è un'azione che può dimostrarsi anche molto remunerativa perché, se l'operazione ha successo, può portare alla realizzazione di molti altri impianti: essendo i pionieri in questo settore si sarà poi favoriti nella diffusione di questi sistemi, con ottime possibilità di recuperare gli investimenti effettuati e con buoni margini di guadagno.

### *La disponibilità di spazio*

Un sistema di riscaldamento a legna necessita di spazi decisamente maggiori rispetto a quelli richiesti dai sistemi tradizionali a gas e gasolio sia per la collocazione della caldaia e lo stoccaggio del combustibile che per permettere l'accesso dei mezzi per il rifornimento di pellets o cippato. Nel caso in cui si dispone di uno spazio ridotto non ci si trova nelle condizioni ottimali per la realizzazione di un progetto dimostrativo che funga da esempio per successive realizzazioni. Risulta quindi fondamentale che il progettista dell'edificio tenga conto degli spazi necessari per l'installazione di una caldaia a biomassa e che collabori costantemente con chi progetta il sistema di riscaldamento.

### *Il rifornimento del combustibile legnoso*

Benché in tutta Italia ci sia grande abbondanza di combustibili legnosi, la loro distribuzione e fornitura non è ancora bene organizzata.

I combustibili legnosi possono provenire dalle locali industrie del legno che producono residui secchi di lavorazione (scaglie o segatura), o dai proprietari di boschi che, in seguito ai necessari diradamenti, possono procedere alla cippatura dei tronchi dopo averli lasciati essiccare per un certo periodo.

La comparsa dei pellets di legno, cilindretti di legno compresso caratterizzate da un'alta densità e un alto contenuto energetico, ha allargato considerevolmente il mercato della fornitura di biocombustibili rendendo conveniente il loro trasporto anche per distanze maggiori. Per questo motivo il numero di produttori di pellets sta crescendo molto rapidamente così come i volumi di vendita.

In ogni caso prima di stabilire la tecnologia di sistema di riscaldamento a legna da adottare (caldaia a pezzi di legna, a cippato o a pellets) è importante analizzare le diverse soluzioni di rifornimento del combustibile sul territorio e assicurarsi contratti di fornitura a lungo termine con fornitori affidabili e competenti.

Un inventario dei fornitori di combustibili legnosi è disponibile sul sito internet [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info).

### *La manutenzione della caldaia*

Una delle principali differenze tra l'esercizio una moderna caldaia a legna ed una caldaia a gasolio consiste nella necessità di rimuovere periodicamente le ceneri. Quindi, è importante individuare a priori una persona che abbia la responsabilità di svolgere questo compito, che controlli lo stoccaggio del combustibile e che si occupi del suo approvvigionamento. Se viene utilizzata una caldaia priva di sistemi automatici di pulizia degli scambiatori di calore, è necessario prevedere anche un considerevole lavoro aggiuntivo per la pulizia della caldaia dalle ceneri volanti.

### *Scelta della taglia della caldaia e stima della quantità di combustibile necessaria*

Fin dalle fasi iniziali di progettazione è importante stabilire il più correttamente possibile quale sia la reale richiesta di calore dell'edificio che si deve riscaldare in quanto questo influenzerà pesantemente sia l'economia che il regolare funzionamento dell'impianto.

Se si deve sostituire un sistema di riscaldamento già esistente, il modo più semplice per effettuare una prima valutazione è quello di partire dall'analisi storica dei consumi di combustibili fossili studiandone le relative bollette.

La richiesta di potenza reale può essere calcolata partendo dall'energia termica utilizzata (tempi di richiesta di gasolio, avendo assunto un valore di efficienza di conversione termica della caldaia a gasolio) e dividendola per il numero di ore di pieno carico ipotizzabili a seconda della zona climatica e della destinazione d'uso dell'edificio.

Se la caldaia deve essere installata in un edificio nuovo, il carico termico e l'energia richiesta dovrebbero essere calcolati tenendo conto degli specifici dati sull'isolamento termico dell'edificio, e della reale richiesta di acqua calda sanitaria.

Comunque, in mancanza di informazioni dettagliate relative ai consumi energetici, si possono formulare delle ipotesi preliminari partendo dal numero di appartamenti e dalle volumetrie da riscaldare. Per una valutazione di massima, in funzione dell'area climatica in cui si va ad installare l'impianto, si può ipotizzare un fabbisogno energetico specifico annuo di 30-50 kWh/m<sup>3</sup>, con una potenza da installare variabile tra i 15 ed i 25 W/m<sup>3</sup>.

#### *Le valutazioni economiche*

Il modo più semplice di confrontare le economie di differenti sistemi di riscaldamento è il ricorso al metodo di calcolo standardizzato VDI 2067. Un foglio di calcolo elettronico per calcolare i costi complessivi (ammortamento dell'impianto ed esercizio) del calore prodotto con diversi sistemi di riscaldamento (a legna, a gasolio e a metano) può essere scaricato dal sito internet [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info).

Secondo l'esperienza svedese, circa il 25% del costo di investimento per un sistema di riscaldamento a legna (installato in un edificio esistente) è legato allo stoccaggio ed al sistema di alimentazione del combustibile. Le caldaie a legna automatiche sono fornite di semplici sistemi di pulizia dei gas combusti che incidono per un costo pari a circa il 50% dell'investimento iniziale. La quota restante, pari a circa il 25%, può essere suddivisa in parti uguali tra la canna fumaria, il montaggio, la progettazione e la direzione lavori.

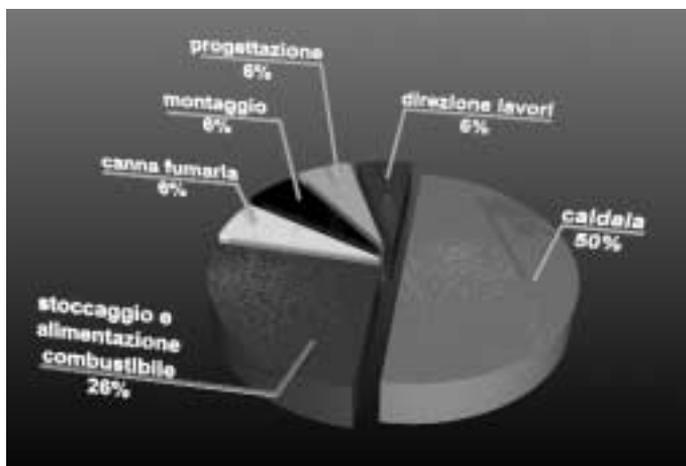


Figura 8. Suddivisione dei costi d'investimento per un impianto di riscaldamento a biomassa

## LA SELEZIONE DEL COMBUSTIBILE LEGNOSO

### *Le proprietà dei pellets e del cippato di legno*

I combustibili legnosi più idonei per il riscaldamento dei grandi edifici in alimentazione automatica sono i pellets ed il cippato di legno essiccato.

I pellets costituiscono un biocombustibile omogeneo di forma cilindrica, con un diametro variabile tra i 5 ed i 10 mm ed una lunghezza di 15÷30 mm. È prodotto mediante compressione a secco di rifili e di materiale fine (segatura) di residui legnosi non contaminati prodotti dalle segherie e dalle industrie di lavorazione del legno. Nel processo produttivo non viene utilizzato nessun collante né additivo chimico, in quanto l'addensamento e la compattazione sono ottenute attraverso la parziale fusione di alcune sostanze naturali presenti nel legno (lignina) che si verifica mediante la sua compressione e conseguente riscaldamento per effetto dell'attrito. In alcuni paesi è consentito l'uso dell'1-3% in peso di additivi collanti biologici per aumentare la coesione come la fecola di patate, la farina di mais o un residuo dell'industria cartaria (black liquor).

Il contenuto energetico minimo dei pellets è di circa 4,7 kWh/kg, per cui 2 chilogrammi di questo biocombustibile corrispondono energeticamente a circa 1 litro di gasolio.

È molto importante che i pellets non contengano sostanze o contaminanti che possano aumentare la quantità delle ceneri prodotte, il che può portare a problemi operativi con la caldaia. È anche importante che abbiano un'adeguata resistenza meccanica e non si sbriciolino facilmente, sia per evitare problemi durante il rifornimento dei silos, sia perché il polverino che si ottiene ha differenti caratteristiche di combustione. Gli standard qualitativi per i pellets sono stati fissati in Svezia, Austria, Germania e Stati Uniti d'America. Uno standard comune europeo (norma CEN) per tutti i combustibili legnosi è tuttora in fase di preparazione.

Il cippato di legno (chips) è costituito da piccole scaglie di legno lunghe, nella direzione delle fibre, dai 5 ai 50 mm. Spesso contengono anche rametti più lunghi ed una certa frazione di materiale fine.

La qualità del cippato dipende sia dal materiale di provenienza che dalla tecnologia di produzione. In Europa sono comuni tre differenti tipologie di chips:

1. prodotti dai residui forestali come ramaglie e cimature o da tronchi interi derivanti dai diradamenti boschivi. Essi sono predominanti nei paesi nordici. Questi chips presentano un contenuto acquoso di circa il 50% in peso, con una pezzatura molto varia ed un contenuto non trascurabile di cortecce e foglie; sono spesso utilizzati come combustibile nelle caldaie di grande taglia asservite a reti di teleriscaldamento.
2. prodotti nelle segherie con un contenuto in acqua del 40-50%; sono usati, per esempio, nell'industria cartaria. Hanno proprietà combustibili superiori, ma sono troppo umidi per le piccole caldaie, a meno che i residui non siano lasciati essiccare prima della cippatura o che i chips prodotti vengano essiccati, per esempio, in un container ventilato con aria calda;
3. derivanti dai diradamenti, privi di ramaglie e di foglie e lasciati essiccare prima della cippatura per circa 6 mesi. Questi chips, con un contenuto di circa il 30% di acqua e dalle caratteristiche qualitative e di pezzatura abbastanza

uniformi (se viene utilizzato, e ben esercito, un cippatore di buona qualità), sono adatti per le caldaie per il riscaldamento civile. I pezzi di legno più grandi che non vengono cippati opportunamente possono causare gravi avarie durante il funzionamento della caldaia, per cui dovrebbero essere rimossi durante la fase di produzione.

La tabella 1 fornisce alcune indicazioni sulle caratteristiche dei combustibili legnosi adatti al riscaldamento degli edifici. I chips di legno umidi non dovrebbero essere utilizzati per queste utenze. I valori di densità si riferiscono al volume accumulato della biomassa tal quale, definito spesso come m<sup>3</sup> di "volume sciolto".

	Pellets di legno	Chips di legno
Potere Calorifico Netto	17,0 GJ/t	13,4 GJ/t
- per kg	4,7 kWh	3,7 kWh
- per m <sup>3</sup>	3080 kWh	750 kWh
Contenuto acqua (% peso tal quale)	8%	25%
Densità	650 kg/m <sup>3</sup>	200 kg/m <sup>3</sup>
Contenuto ceneri (% peso tal quale)	0,5%	1%

Tabella 1.  
Specifiche tecniche dei combustibili legnosi

In ogni caso è essenziale, per un appropriato funzionamento del sistema di riscaldamento a legna, che la qualità del combustibile risponda alle specifiche indicate dal costruttore della caldaia.

#### La scelta del combustibile idoneo

L'utilizzo del cippato o dei pellets di legno presenta sia vantaggi che svantaggi. È importante considerarli attentamente quando si deve effettuare la scelta del combustibile da adottare e quindi della tecnologia di combustione. Di seguito sono presentate le caratteristiche positive (+) e quelle negative (-) di questi due combustibili.

##### Chips di legno

- + possono essere disponibili localmente
- + la produzione stimola l'occupazione locale
- + sono meno costosi dei pellets
- richiedono un volume di stoccaggio maggiore
- difficile da garantire una elevata ed uniforme qualità del combustibile
- maggiori costi per la gestione e la manutenzione dell'impianto

##### Pellets

- + combustibile più omogeneo e standardizzato: maggiore regolarità di funzionamento
- + richiedono minore volume di stoccaggio
- + maggiore facilità di gestione e di manutenzione dell'impianto
- maggiore costo del combustibile
- minori benefici per l'economia locale

A parità di volume i pellets hanno un contenuto energetico 4 volte maggiore dei chips di legno, per cui i volumi richiesti per lo stoccaggio sono considerevolmente più bassi. Alcune caldaie presenti sul mercato possono essere alimentate sia con il cippato che con i pellets ed hanno sistemi di controllo elettronici che adattano i parametri di combustione al tipo di combustibile selezionato. Questa flessibilità sul combustibile può essere utile ed economicamente vantaggiosa. In questi casi, però, è necessario prevedere un sistema di stoccaggio e di movimentazione che deve essere progettato in maniera adeguata per il trattamento delle due tipologie di combustibile.

## LO STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE LEGNOSO

I biocombustibili possono essere immagazzinati sia all'interno di vani già esistenti e vicino al locale caldaia (figura 9 a) o in un magazzino separato esterno all'edificio, che può essere un silo sopraelevato (figura 9 c) o un locale sotterraneo (figura 9 b) da cui il combustibile alimenta la caldaia mediante una coclea. Un'altra soluzione possibile è l'uso di un sistema di container posizionati su rampe di carico di fianco all'edificio e che vengono sostituiti una volta che il combustibile è esaurito.

Il combustibile può essere movimentato dal magazzino alla caldaia secondo diversi sistemi:

- pavimento piano con rastrelli orizzontali idraulici – costosi ma che consentono il miglior uso del volume disponibile (usato maggiormente per il cippato);
- raschiatoi rotanti – meno costosi, utilizzabili sia per i pellets che per i chips; l'area di stoccaggio dovrebbe essere di forma circolare o quadrata con angoli smussati per evitare o minimizzare gli spazi morti;
- pavimento inclinato con coclea;
- pavimento inclinato con un sistema pneumatico di alimentazione del combustibile – sistema economico, valido solo per i pellets, e che permette di collocare lo stoccaggio in un'area distante fino a 15 m dal locale caldaia. Il locale di stoccaggio dovrebbe essere lungo e stretto per evitare eccessivi spazi morti.



Figure 9.  
Diverse tipologie  
di stoccaggio del  
combustibile

La scelta del sistema di immagazzinaggio condiziona la scelta del sistema di trasporto e di distribuzione.

I silos fuori terra necessitano di veicoli di distribuzione che possano sollevare il combustibile (trasferimento pneumatico, a catena o a coclea), mentre quelli posti sotto il livello del terreno possono essere riempiti con tutti gli automezzi, di uso più comune, dotati di piano ribaltabile. Se l'apertura di riempimento non può essere realizzata nel centro dello stoccaggio, si possono utilizzare dispositivi meccanici come coclee o rastrelli per movimentare il combustibile nel magazzino in modo da evitare ampi spazi vuoti, anche se questa soluzione risulta essere più costosa. Inoltre è molto importante assicurare che l'acqua non possa entrare nei locali posti sotto il livello stradale. L'area di stoccaggio dei chips di legno dovrebbe essere ben ventilata per consentire ai chips di essiccare e di evitare la formazione di muffe.

#### *Il dimensionamento dello stoccaggio*

La dimensione dello stoccaggio del combustibile è influenzato da molti fattori: domanda di combustibile prevista, sua tipologia, affidabilità della distribuzione, spazio disponibile, dimensione dei mezzi di distribuzione ecc.

Per gli edifici già esistenti la soluzione più economica spesso consiste nell'adattare la modalità di fornitura del combustibile al locale di stoccaggio esistente, invece di creare un nuovo magazzino.

Riuscire a riempire più del 70% del volume di stoccaggio disponibile è un compito difficile ed è importante assicurare lo scarico di un carico completo di un autocarro senza dover aspettare che il magazzino sia completamente vuoto. Ne consegue che quando si deve procedere con la costruzione di un nuovo locale per lo stoccaggio del combustibile, questo deve garantire un volume utile che soddisfi le seguenti condizioni:

- 1) volume del 50% maggiore del massimo carico trasportabile da un autocarro;
- 2) volume che garantisca il fabbisogno di combustibile di almeno due settimane.

Se non si è sicuri di poter usufruire di un servizio di fornitura del combustibile sufficientemente affidabile, potrebbe essere preferibile e più conveniente dotarsi di una caldaia di riserva a combustibile convenzionale (da utilizzare anche per la copertura dei picchi massimi di richiesta energetica) piuttosto che dotarsi di un volume di stoccaggio ancora maggiore che garantisca un'autonomia maggiore.

Poiché i pellets risultano essere generalmente più economici durante la stagione estiva piuttosto che in inverno, potrebbe essere economicamente conveniente prevedere, per piccoli progetti, un volume di stoccaggio tale da soddisfare la quantità annuale di pellets necessaria.

Occorre anche prevedere le modalità di svuotamento del deposito in caso di rottura di componenti.

#### *Lo schema dello stoccaggio e del locale caldaia*

Il locale caldaia e lo stoccaggio devono essere sempre separati per ragioni

legate alla protezione dal fuoco. Si deve essere sicuri di disporre di un adeguato spazio intorno ai vari componenti in modo da consentire gli eventuali interventi di manutenzione e di riparazione.

Il progetto del locale caldaia deve includere lo spazio per le normali operazioni sulla caldaia, per la manutenzione e la riparazione dell'impianto. Tra le attività che richiedono maggiore spazio ci sono quelle relative alla sostituzione dei focolari e delle coclee di alimentazione dei pellets. Bisogna anche assicurarsi che ci sia adeguato spazio per la pulizia dei tubi dello scambiatore di calore (a meno che non sia disponibile un sistema automatico).

Le dimensioni idonee di un locale per una caldaia sotto i 350 kW sono di circa 20 m<sup>2</sup>.

#### *I dispositivi di sicurezza dei depositi per lo stoccaggio dei pellets*

I locali per lo stoccaggio dei pellets devono essere dotati di specifici dispositivi di sicurezza per prevenire problemi quali il danneggiamento dei locali, l'esplosione delle polveri e la degradazione del combustibile.

Un magazzino per i pellets deve avere le seguenti caratteristiche:

- essere sempre asciutto;
- essere rivestito con una guaina protettiva di gomma in modo da assorbire l'urto dei pellets e limitarne lo sbriciolamento durante le fasi di scarico;
- avere una porta del magazzino resistente al fuoco ed ermetica con assi di legno che proteggano la porta dalla pressione dei pellets;
- non avere alcuna installazione elettrica all'interno del deposito;
- avere le soffianti dotate di messa a terra per prevenire la formazione di scintille elettrostatiche durante le operazioni di scarico;
- avere pareti abbastanza resistenti da sopportare la pressione dei pellets;
- avere i muri resistenti al fuoco per almeno 90 minuti.

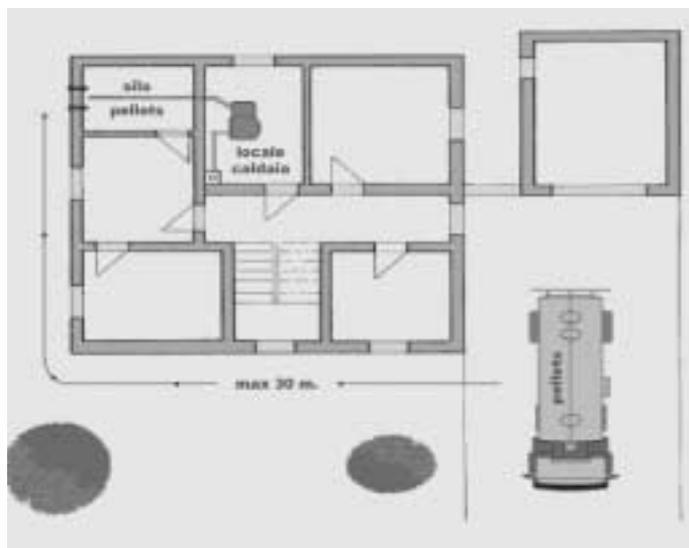
Almeno una volta all'anno bisogna procedere alla rimozione della polvere che si accumula ed alla lubrificazione dei cuscinetti delle coclee di alimentazione.

#### *La consegna dei combustibili*

I combustibili legnosi vengono solitamente distribuiti mediante autocarri o trattori che scaricano il combustibile attraverso l'apertura del magazzino, o mediante autocarri dotati di dispositivi per il trasferimento pneumatico del combustibile. Per lo scarico dei chips è più comune il ribaltamento, mentre lo scarico pneumatico o "a catena" è il metodo più utilizzato per i pellets.

Poiché a parità di volume il pellets ha 4 volte il contenuto energetico dei chips, la consegna di tale combustibile avviene con minore frequenza. Anche per questa ragione gli impianti a pellets sono accettati più facilmente dalla popolazione locale rispetto a quelli a chips, soprattutto nei centri dei paesi. Inoltre non bisogna dimenticare di prevedere in fase progettuale uno spazio sufficiente per le manovre dei veicoli che trasportano il combustibile. Questo aspetto non deve essere trascurato perché spesso è molto difficile per gli autocarri raggiungere i silos di stoccaggio.

Figura 10.  
Il rifornimento  
dei pellets per  
via pneumatica



Quando i combustibili legnosi sono insufflati per via pneumatica devono essere adottate le seguenti misure di sicurezza:

- prima dello scarico, l'autista deve controllare che il magazzino sia dotato di tutti i requisiti in modo che siano rispettati gli standard di sicurezza;
- l'autista deve anche controllare che la caldaia non sia in funzione durante le operazioni di scarico (la depressione nel magazzino può portare ad un ritorno di fiamma);
- durante il carico l'aria deve essere aspirata fuori dal locale di stoccaggio per prevenire che la polvere sia soffiata dentro la casa;
- la pressione di scarico dovrebbe essere limitata per prevenire danni al locale di stoccaggio e lo sbriciolamento dei pellets durante il carico.

Quando i combustibili legnosi vengono scaricati, devono essere inoltre prese le seguenti precauzioni:

- lo scarico deve avvenire quando si reca il minor disturbo possibile ai cittadini residenti (per esempio in tarda mattinata);
- siano presenti accorgimenti per evitare la caduta accidentale di persone nella fossa di stoccaggio del combustibile (una griglia di acciaio è la migliore protezione, ma deve essere abbastanza larga da prevenire problemi di intasamento del combustibile (maglia di almeno 20x20 cm);
- prevedere un sistema di abbattimento delle polveri che si vengono a formare durante le fasi di scarico;
- rimuovere tutto il combustibile rimasto fuori dal magazzino durante le fasi di scarico per evitare problemi con i residenti.

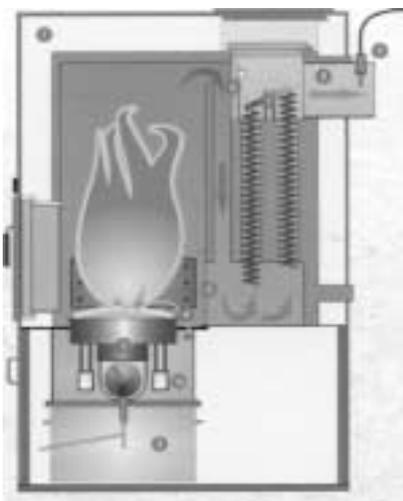
## LE CALDAIE A LEGNA AUTOMATICHE

Con le nuove caldaie a legna automatiche sono stati compiuti notevoli progressi tecnologici sia in termini di efficienze sempre più elevate, che di basse emissioni inquinanti di polveri e di monossido di carbonio (CO). I miglioramenti sono stati ottenuti in particolare nella progettazione della camera di combustione, nella fornitura dell'aria di combustione e nella realizzazione di sempre più sofisticati sistemi di controllo automatico dell'intero processo di combustione. Lo stato dell'arte delle caldaie alimentate automaticamente ha visto un aumento dell'efficienza dal 60% all'85÷92% nel corso dell'ultimo decennio, ed una riduzione dell'emissione di CO da valori medi di circa 5000 mg/m<sup>3</sup> a valori anche inferiori a 50 mg/m<sup>3</sup>.

Un recente studio danese ha misurato l'efficienza annua – definita dal rapporto tra l'energia trasferita alle abitazioni e l'energia contenuta dal combustibile usato nel periodo di un anno – delle caldaie a biomassa per impianti di riscaldamento in grandi edifici e ha trovato un valore medio pari al 78%.

Comunque, tra i prodotti presenti sul mercato esistono significative differenze qualitative. È della massima importanza scegliere caldaie moderne che siano in grado di garantire le alte prestazioni richieste per il riscaldamento residenziale. Le caldaie convenzionali progettate per essere usate nell'industria del legno possono produrre emissioni significative ed avere una bassa efficienza; inoltre necessitano di maggiore manutenzione e sono prive della necessaria affidabilità gestionale. Il modo più sicuro per procurarsi dispositivi di alta efficienza ed affidabilità è quello di richiedere informazioni agli operatori del settore (vedi sito internet [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info)), acquisire referenze su sistemi già realizzati e visitare alcuni impianti funzionanti per valutarne ogni singolo aspetto tecnologico e gestionale.

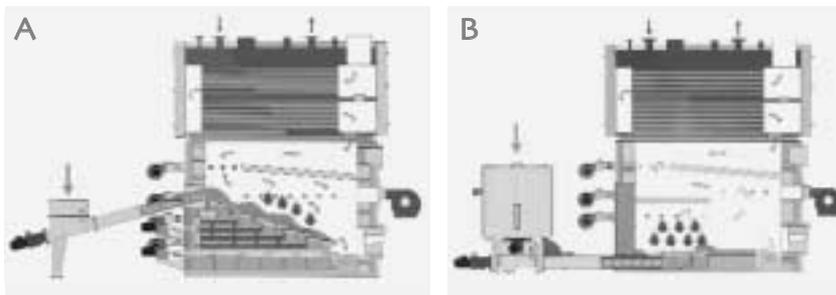
Figura 11.  
Caldaia a pellets



### La scelta della caldaia

Nell'intervallo di potenza tra 50 e 500 kW si possono distinguere differenti tipi di caldaie di combustione automatiche. I tipi più comuni sono:

- le caldaie compatte, versioni potenziate delle caldaie domestiche a pellets – sono relativamente economiche, ma ben adattate poiché sono state progettate per il riscaldamento domestico e non per l'uso nell'industria del legno. Ciò significa che sono dotate di dispositivi per la pulizia automatica delle ceneri, l'accensione elettrica e risultano essere molto affidabili;
- le caldaie con focolare sottoalimentato, adatte per combustibili secchi con basso tenore di ceneri, come i chips o i pellets. È necessario assicurarsi che possano essere usate per il riscaldamento residenziale;



- le caldaie con griglia mobile, più costose, ma che possono trattare combustibile con elevata umidità e contenuto in ceneri. Questa soluzione è usata tipicamente per le caldaie con una potenza superiore a 1.000 kW, anche se di recente sono proposte per taglie più basse (immagine gentilmente concessa dalla società Uniconfort – [www.uniconfort.com](http://www.uniconfort.com));
- le caldaie originariamente a gasolio e modificate con l'aggiunta di un bruciatore per pellets (soluzione comune in Scandinavia). Questa soluzione è significativamente la più economica e presenta pochi svantaggi: la potenza disponibile originariamente è ridotta di circa il 30% a causa della presenza e dello scarico delle ceneri, inoltre la pulizia della caldaia non può essere automatizzata ed è un'operazione piuttosto laboriosa.

Figura 12a.  
Caldaia con  
bruciatore  
sottoalimentato

Figura 12b.  
Caldaia a griglia  
mobile

Tra le varie tipologie di caldaie disponibili, di cui quelle sopra riportate costituiscono solo alcuni esempi, il principio chiave per la scelta è il tipo di combustibile da utilizzare.

Le principali caratteristiche qualitative da valutare nella scelta di una caldaia sono:

1. l'elevata efficienza (superiore all'85%), provata da misurazioni certificate;
2. le basse emissioni di CO e di polveri (entrambi inferiori a 200 mg/m<sup>3</sup>), che devono comunque soddisfare i limiti indicati dalle norme vigenti;
3. la variabilità continua della potenza erogata (non solo regolazione tipo on/off, poiché questo causa elevate emissioni e riduzioni dell'efficienza);
4. l'elevato grado di automazione per poter ridurre il lavoro di manutenzione;
5. la possibilità del controllo a distanza dei parametri della caldaia da parte del costruttore;
6. le referenze che provino che la caldaia sia usata con successo in applicazioni di riscaldamento domestico.

*Le strategie per seguire le variazioni del carico e per aumentare la sicurezza della fornitura*

Durante la stagione invernale qualsiasi sistema di riscaldamento è soggetto ad un'ampia variabilità del carico termico, in funzione delle condizioni climatiche e del comportamento dell'utente. La curva della durata del carico, mostra come il carico possa essere previsto per una certa quantità di tempo. È difficile gestire una caldaia a legna in condizioni di carico molto differenti senza superare i limiti di emissione e l'insorgere di altre problematiche. Ci

sono diverse possibilità che permettono di aumentare la flessibilità di un sistema di riscaldamento in modo da soddisfare i differenti carichi:

1. La caldaia a legna viene integrata da una caldaia convenzionale (a gas o a gasolio) che copra il picco del carico e funga anche come sistema di riserva. La capacità della caldaia a legna è ridotta a circa il 60-70% del massimo carico termico. In questo modo sarà in grado di coprire il 90-95% del fabbisogno energetico poiché la richiesta al massimo carico si verifica solo per periodi brevi (questo dipende comunque dalle condizioni climatiche locali – è necessario calcolare la curva locale di durata del carico per un dimensionamento appropriato). La capacità della caldaia convenzionale dovrebbe coprire il massimo carico per ottenere il 100% di sicurezza della fornitura. Questa soluzione è particolarmente vantaggiosa quando è presente una vecchia caldaia convenzionale che può ancora essere usata per brevi periodi di tempo.
2. La caldaia a legna può coprire il carico massimo, ed un serbatoio di accumulo del calore aiuta a gestire le variazioni di breve durata ed assicurare che la caldaia possa operare durante il basso carico in modo ragionevole. Il serbatoio di accumulo del calore, collegato ad un impianto a pannelli solari termici, può essere usato per immagazzinare l'energia solare durante il periodo estivo. Questa soluzione ha il vantaggio che richiede la presenza di una sola canna fumaria. Si può decidere di inserire nello stesso camino lo scarico di una caldaia di riserva convenzionale, ma solo se questa viene esercitata quando la caldaia a legna è ferma.
3. Due caldaie a legna che operano in parallelo. La seconda caldaia aumenta sia la sicurezza del sistema (per questa ragione dovrebbe disporre di un proprio sistema di recupero del combustibile) ed assicura che le caldaie operino in condizioni ottimali a tutti i carichi. Potrebbe essere più economico installare una seconda caldaia a legna piuttosto che riparare una vecchia caldaia a combustibile convenzionale.

#### *I sistemi di sicurezza*

Una caldaia a biomassa ha una inerzia termica maggiore rispetto alle caldaie a gasolio o a gas. Nel caso di mancanza di erogazione dell'energia elettrica, il combustibile continuerà a bruciare nella caldaia ed a produrre un surplus di calore che deve essere rimosso per evitare scoppi o il danneggiamento dell'impianto.

Una possibilità per risolvere questo problema è la realizzazione di un vaso di espansione aperto che può rilasciare il vapore se la temperatura dell'acqua raggiunge i 100 °C. Un'altra opzione è quella di installare uno scambiatore di calore di sicurezza nella caldaia che è raffreddato da acqua corrente appena la temperatura della caldaia diventa troppo alta. Anche la presenza di un serbatoio di accumulo termico può aumentare la sicurezza del sistema, se la circolazione naturale dell'acqua può essere utilizzata per raffreddare la caldaia. Poiché i controlli elettronici della caldaia possono essere messi fuori uso dall'improvvisa mancanza di tensione elettrica, è importante che le pompe di alimentazione dell'acqua di riscaldamento non siano controllate direttamente dall'elettronica della caldaia, in modo che possano continuare a funzionare.

Un altro importante sistema di sicurezza che deve essere sempre presente è quello che deve prevenire il ritorno di fiamma dalla caldaia al locale di stoccaggio del combustibile. Per assicurare ciò sono necessari almeno due dispositivi: un'interruzione del sistema di alimentazione del combustibile (per esempio una roto-cella, un tubo verticale di interposizione tra due coclee di alimentazione o un tubo attraverso cui il combustibile viene fatto cadere all'interno della caldaia) ed un sistema a spruzzo d'acqua che possa allagare il collettore di trasporto del combustibile nel caso si verifichi un ritorno di fiamma.

Un ulteriore sistema di sicurezza progettato per proteggere la caldaia dalla corrosione è il cosiddetto "sistema di derivazione", che miscela l'acqua fredda di ritorno dal sistema di riscaldamento con l'acqua calda in uscita dalla caldaia, prima che rientri in questa. Ciò assicura che i gas combustibili non possano condensare all'interno della caldaia.

Gli standard sulla sicurezza sono documentati nella norma europea EN 303-5 "Heating boilers. Heating boilers for solid fuels. Hand and automatically fired. Nominal heat output of up to 300 kW. Terminology, requirements, testing and marking", che può essere scaricata dal sito internet [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info).

#### *Il rumore*

I rumori prodotti dagli impianti di riscaldamento a biomasse possono creare problemi con i residenti degli edifici riscaldati, per cui è necessario tener conto di ciò durante la fase di progettazione; alcune semplici ed economiche misure preventive possono evitare problemi successivi alla realizzazione dell'impianto. Le principali sorgenti di inquinamento acustico sono i ventilatori per l'aria di combustione e per l'evacuazione dei fumi di scarico, le pompe e gli altri dispositivi meccanici per l'alimentazione della biomassa.

Per evitare problemi si dovrebbero considerare i seguenti punti:

1. agire sulla scelta del posizionamento della caldaia, evitando che il locale caldaia sia collocato sotto le camere da letto e che queste siano attraversate dalle canne fumarie;
2. scollegare il pavimento in cemento armato del locale della caldaia e dello stoccaggio del combustibile dalle pareti, inserendo adeguati giunti elastici; questa soluzione può rilevarsi molto efficace ed economica;
3. isolare acusticamente qualsiasi punto di contatto tra componenti meccanici ed il pavimento o le pareti (per esempio dove la coclea passa attraverso il muro dal magazzino al locale caldaia, i punti di appoggio della caldaia ecc.);
4. accertarsi che il costruttore della caldaia abbia curato la scelta dei componenti in modo da limitare le emissioni acustiche (selezione accurata dei motori, attività di R&S volte alla soluzione di questo problema, componenti antirumore ecc.);
5. visitare gli impianti già operativi per verificare e confrontare le emissioni acustiche durante la loro gestione, tenendo presente che devono comunque essere rispettate le norme locali e nazionali sull'inquinamento acustico (legge 447 del 26 ottobre 1995 e successive modifiche ed integrazioni);

6. considerare che le canne fumarie in acciaio risultano essere più rumorose di quelle in cemento;
7. per ridurre l'inquinamento acustico, oltre che per altre ragioni tecniche ed organizzative, è buona norma realizzare un locale separato per il locale caldaia ed il silo del combustibile;
8. anche le fasi di scarico e movimentazione del combustibile possono essere molto rumorose e per questo è molto importante scegliere opportunamente il luogo e le modalità di scarico del combustibile (ad esempio un orario o un giorno della settimana nel quale i vicini residenti non sono in casa).

#### *L'integrazione con i pannelli solari*

La combinazione di caldaie a biomassa con sistemi di produzione di acqua calda mediante pannelli solari potrebbe rilevarsi una possibilità particolarmente interessante. Il sistema solare consente di non utilizzare l'impianto a biomassa durante il periodo estivo, con conseguente riduzione dei costi di

manutenzione, delle emissioni e delle perdite energetiche dovute al ridotto ed intermittente utilizzo della caldaia a legna.

Ulteriori vantaggi economici derivano dall'utilizzo di alcuni componenti comuni alle due tecnologie, quali il serbatoio di accumulo termico e le pompe di circolazione.

Con un opportuna scelta progettuale, l'energia solare può essere usata sia per la produzione di acqua sanitaria che per il riscaldamento degli ambienti. Infine in futuro si potrebbe utilizzare l'energia solare per la produzione di freddo con tecnologie innovative ad assorbimento che stanno vedendo il loro ingresso nel mercato (vedere per esempio il sito web [www.solarfrost.com](http://www.solarfrost.com)).

Anche per quanto riguarda la "percezione pubblica" del sistema di riscaldamento,

una serie di pannelli solari è molto visibile e può costituire un valore aggiunto al progetto, se non dal punto di vista puramente economico, in termini di ritorno d'immagine.

In Austria, dove fino ad oggi sono stati realizzati il maggior numero di sistemi integrati di energia solare e biomassa, sono stati sviluppati due schemi che offrono considerevoli vantaggi in termini di semplicità, efficienza energetica e costi. Entrambi sono basati sul concetto di integrazione della distribuzione del calore per soddisfare i fabbisogni di acqua calda e di riscaldamento.

Il "sistema a doppio tubo" ha perdite di calore considerevolmente più basse, richiede l'installazione di meno componenti, può essere facilmente ampliato e permette l'uso di grandi quantità di energia solare assicurando basse temperature del flusso di ritorno.

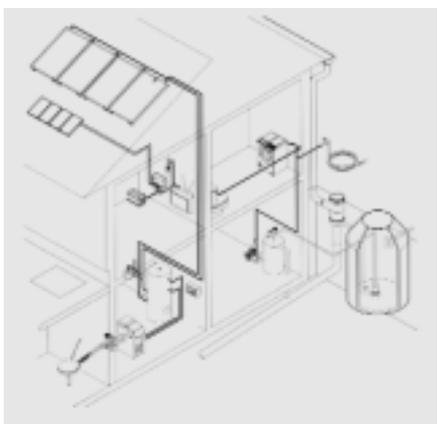


Figura 13.  
*Schema di integrazione sistema di riscaldamento a biomasse e pannelli solari*

*Sistema 1: sistema a doppio tubo con stoccaggio decentralizzato dell'acqua calda*

Il calore, prodotto a seconda del fabbisogno dai collettori solari o da scaldacqua elettrici o a gas, viene messo in circolazione nella casa direttamente nei termosifoni che riscaldano le stanze o mediante uno scambiatore di calore che alimenta il serbatoio di accumulo dell'acqua calda. Questo sistema è indicato, per esempio, nelle case a schiera, dove la distribuzione dell'acqua calda avviene con tubazioni relativamente più lunghe, in modo da permettere di ridurre le perdite dovute alla circolazione durante l'estate, facendo circolare periodicamente la sola acqua calda (per esempio due volte al giorno) per caricare gli accumulatori termici.

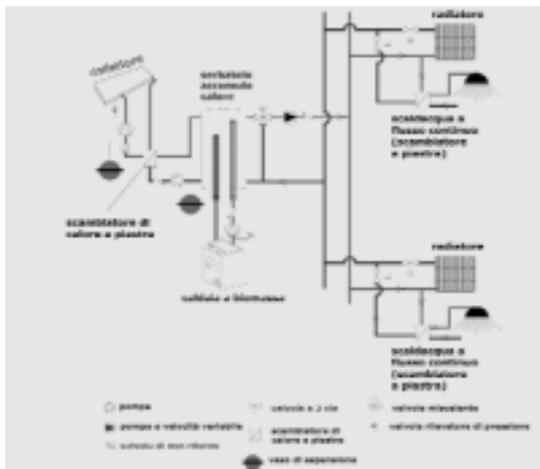


Figura 14. Schema d'impianto con stoccaggio decentralizzato

*Sistema 2: sistema a doppio tubo con produzione diretta dell'acqua calda*

Questo sistema, meno costoso del precedente, consente la produzione diretta dell'acqua calda sanitaria mediante l'uso di scambiatori di calore; lo scambiatore termico è integrato in una stazione di trasferimento che include anche i sistemi di contabilizzazione dell'acqua fredda e del calore, l'interfaccia elettronica di comunicazione con lo scaldacqua della singola unità abitativa, le varie valvole di controllo e di intercettazione, le pompe di circolazione. Ulteriori informazioni sui costruttori e sugli installatori sono reperibili sui siti della ASSOTERMICA ([www.assotermica.it](http://www.assotermica.it)), l'associazione dei costruttori di sistemi di riscaldamento, e della ASSOLTERM ([www.assolterm.it](http://www.assolterm.it)), l'associazione che raggruppa la maggior parte degli operatori del solare termico in Italia.

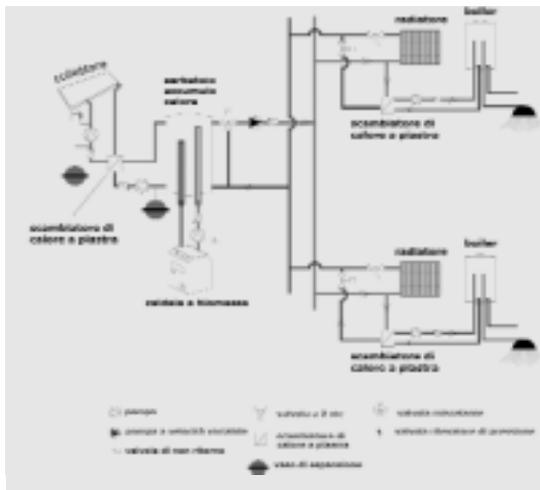


Figura 15. Schema d'impianto con produzione diretta di acqua calda

### *Punti chiave per pianificare un sistema solare-biomassa integrato*

1. *Progettazione:* è molto importante considerare l'integrazione di un sistema solare fin dalle prime fasi del progetto, per ottimizzare al meglio l'impianto. I collettori solari integrati con il tetto risultano essere sia più economici sia più eleganti di quelli che vengono installati sopra il tetto. Gli elementi del collettore dovrebbero formare un unico elemento che non deve essere interrotto da alcun elemento esterno, come la canna fumaria ecc., in modo tale da ridurre i costi.
2. *Temperatura di ritorno:* minore è la temperatura di ritorno dell'acqua che entra nei collettori solari, maggiore è la loro efficienza energetica. È essenziale adottare sistemi di riscaldamento nelle case che soddisfino questi requisiti, per esempio utilizzando i sistemi idraulici sopra proposti ed installando sistemi di riscaldamento a bassa temperatura (per esempio il riscaldamento a pannelli radianti integrati nel pavimento).
3. *Connessioni idrauliche dei collettori:* i collettori solari dovrebbero essere connessi in modo che il flusso di massa dell'acqua non superi i  $10 \div 18 \text{ kg/m}^2$ , in modo da avere maggiori differenze di temperature nei collettori, basse perdite termiche, minori perdite di carico, tubazioni più piccole ed una maggiore stratificazione termica nell'accumulatore. I collettori devono essere collegati in serie e non in parallelo. Bisogna assicurare bassi flussi idrici in modo da mantenere la differenza di temperatura tra la parte superiore e quella inferiore del collettore in modo da aumentarne l'efficienza.
4. *Gestione dell'accumulo termico:* l'accumulo termico dovrebbe essere realizzato con un unico serbatoio, sia per un risparmio economico che per ridurre le perdite termiche, dotato di un ottimo isolamento e posizionato il più vicino possibile ai collettori. Il flusso in uscita dalla caldaia a biomassa dovrebbe essere collegato nella parte centrale della metà superiore del serbatoio di accumulo, in modo da bilanciare le variazioni di carico. Il flusso proveniente dai collettori solari non dovrebbe superare il 10% del volume utile di accumulo, mentre il flusso di ritorno deve uscire da un'altezza leggermente superiore del fondo del serbatoio.
5. *Orientamento dei collettori:* i collettori devono essere rivolti a SUD, con una tolleranza di deviazione verso EST o verso OVEST di 30 gradi, con un'inclinazione di  $30 \div 40$  gradi rispetto al piano orizzontale. L'inclinazione ha un optimum che varia in funzione della latitudine della località di installazione (p.e. nelle regioni meridionali è preferibile avere inclinazioni minori rispetto alle regioni settentrionali) e della stagione in cui si ritiene più importante il suo uso (maggiore inclinazione per l'uso preferenziale nelle stagioni fredde).
6. *Dimensionamento del sistema solare:* è essenziale stimare accuratamente il fabbisogno termico. Per motivi economici, i collettori dovrebbero essere dimensionati in modo da coprire non più del 90% del fabbisogno di acqua calda nel periodo estivo. Per il dimensionamento appropriato della superficie dei collettori e del volume dei serbatoi di accumulo sono indispensabili programmi di calcolo di simulazione. Un nuovo programma di calcolo è stato sviluppato per la progettazione e per la valutazione economica dei sistemi combinati biomasse-solare con il supporto finanziario della Commissione Europea (per ulteriori informazioni contattare il sig. Andreas Helbl, indirizzo e-mail [a.helbl@ic-vienna.at](mailto:a.helbl@ic-vienna.at)).

## L'ESERCIZIO E LA MANUTENZIONE

Una preconditione essenziale per la gestione e la manutenzione ottimale dei sistemi di riscaldamento a biomassa è la scelta corretta della taglia della caldaia. Il corretto dimensionamento porta a condizioni operative ottimali e riduce l'esigenza di rimozione delle ceneri, di pulizia della camera di combustione e del numero di avarie dovute carichi troppo bassi.

Il tempo di lavoro di manutenzione richiesto dipende da diversi fattori di controllo, per esempio se il ricevimento del combustibile può essere svolto senza la presenza di personale, se il combustibile causa interruzioni nel sistema di alimentazione, se parte della supervisione può essere effettuata da sistemi di controllo a distanza, dalla tipologia di combustibile utilizzato. Le attività comprendono:

- controllo visivo della caldaia – due volte a settimana;
- regolazioni e interventi di piccola manutenzione;
- acquisto del combustibile;
- gestione e smaltimento delle ceneri.

Uno studio danese sul tempo impiegato nella manutenzione di impianti per il riscaldamento di edifici ha rilevato i seguenti valori medi, così come sono stati stimati dai custodi: circa 3 ore a settimana per gli impianti a pellets e circa 5 ore per gli impianti a cippato. Naturalmente il tempo necessario per la gestione e la manutenzione dipende dalla taglia dell'impianto e dal consumo del combustibile – meno ore per gli impianti più piccoli. Conoscendo il consumo ed il tipo di combustibile, e la taglia dell'impianto è possibile calcolarne l'ammontare preciso (tabella 2).

Combustibile	Tempo per consumo di combustibile	Tempo per capacità installata
Pellets	4 min/GJ	70 min/sett. per 100 kW
Cippato	5 min/GJ	110 min/sett. per 100 kW

Tabella 2.  
Tempo necessario per la gestione e manutenzione della caldaia

È importante ricordare che un gestore d'impianto spende del tempo anche per la manutenzione di una caldaia a gasolio, per cui i dati sopra riportati non sono al netto del tempo richiesto per sistemi di riscaldamento convenzionale.

Ci sono diverse modalità per limitare la richiesta di lavoro. A titolo di esempio si può:

- affidare la gestione e la manutenzione ad una società di servizio energetico;
- dotarsi di sistemi automatici di rimozione delle ceneri e di pulizia degli scambiatori di calore;
- lasciare ai fornitori di pellets l'approvvigionamento del combustibile con frequenza determinata dalla conoscenza diretta del fabbisogno o mediante la segnalazione automatica indotta da dispositivi elettronici presenti nelle aree di stoccaggio;
- affidare a tecnici specializzati la regolare pulizia dell'impianto.

Con una caldaia di nuova concezione e con l'utilizzo di pellets o di chips di buona qualità, la manutenzione non dovrebbe richiedere più di 30 minuti a settimana, secondo i dati dei costruttori di caldaie compatte altamente automatizzate.

Molti problemi possono essere evitati se la persona responsabile della caldaia riceve adeguate istruzioni dal fornitore dell'impianto, dall'installatore o dal consulente all'avviamento dell'impianto. Queste istruzioni dovrebbero riguardare:

- gli interventi giornalieri
- gli errori più frequenti
- come individuare i guasti
- le persone da contattare per le consulenze
- le modalità di avviamento dell'impianto
- la regolazione della combustione

## SUSSIDI, PERMESSI E NORMATIVE

La normativa energetica vigente per quanto riguarda lo sviluppo delle fonti rinnovabili, in particolar modo per la produzione di calore, è incentrata sulla legge n. 10 del 9 gennaio 1991, "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili d'energia".

Questa legge, concepita nel quadro di attuazione del PEN (Piano Energetico Nazionale) del 1988, prevede norme per lo sviluppo delle fonti rinnovabili ed i relativi incentivi economici in conto capitale.

Con questa legge, le opere relative all'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia sono considerate di pubblica utilità ed interesse, per cui sono equiparate alle opere dichiarate indifferibili e urgenti ai fini dell'applicazione delle leggi sulle opere pubbliche.

Inoltre le Regioni e le Province Autonome hanno l'obbligo di dotarsi di piani energetici in cui:

1. si individuino i bacini che possono costituire le aree più idonee ai fini della fattibilità degli interventi di utilizzo delle fonti rinnovabili di energia in relazione alle caratteristiche, alle dimensioni, alla disponibilità di fonti rinnovabili di energia, al risparmio energetico realizzabile e alla preesistenza di altri vettori energetici;
2. si effettuino il bilancio energetico regionale o provinciale, la localizzazione e la realizzazione degli impianti di teleriscaldamento;
3. si individuino le risorse finanziarie da destinare alla realizzazione di nuovi impianti di produzione di energia, secondo un ordine di priorità relativo alla quantità percentuale e assoluta di energia risparmiata;
4. si elaborino le procedure per l'individuazione e la localizzazione di impianti per la produzione di energia elettrica fino a 10 MW per impianti installati al servizio dei settori industriale, agricolo, terziario, civile e residenziale.

Anche i Piani Regolatori Generali dei Comuni con popolazione superiore a 50.000 abitanti devono prevedere uno specifico piano a livello comunale relativo all'uso delle fonti rinnovabili di energia.

La legge stabilisce anche che le Regioni e le Province Autonome debbano individuare le aree che risultano idonee alla realizzazione di impianti e di reti di teleriscaldamento nonché i limiti ed i criteri nel cui ambito le amministrazioni dello Stato, le aziende autonome, gli enti pubblici nazionali o locali, gli istituti di previdenza e di assicurazione, devono privilegiare il ricorso all'allaccio a reti di teleriscaldamento qualora propri immobili rientrino in tali aree.

Per la realizzazione delle suddette iniziative si prevede la possibilità di concedere contributi in conto capitale tra il 20 ed il 40% della spesa di investimento ammissibile documentata a favore di iniziative che consentano di coprire almeno il 30% del fabbisogno termico mediante l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia o per l'installazione di apparecchiature per la produzione combinata di energia elettrica e calore nell'edilizia ad uso civile, industriale, artigianale, commerciale, turistico, sportivo ed agricolo.

I contributi in conto capitale della spesa ammissibile possono essere concessi anche per studi di fattibilità tecnico-economica fino ad un massimo di circa

25.800 € e per progetti esecutivi di impianti civili, industriali o misti di produzione, di recupero, di trasporto e di distribuzione dell'energia derivante dalle fonti rinnovabili fino a circa 155.000 €.

Alcune Regioni si sono attivate, attingendo risorse economiche da programmi comunitari o da finanziamenti a livello nazionale, per concedere contributi in conto capitale a specifici progetti dimostrativi e di diffusione dell'uso delle biomasse per fini energetici, per cui è consigliabile richiedere informazioni presso gli uffici competenti delle singole Regioni o Province Autonome. A livello nazionale sono inoltre state emanate norme fiscali e di incentivazione in conto esercizio. Tra queste si ricordano:

- il DPR n. 633 del 26 ottobre 1972, che riguarda l'istituzione e la disciplina dell'imposta sul valore aggiunto (IVA), individuando alcuni beni e servizi soggetti all'aliquota del 10%. In particolare tale agevolazione riguarda le prestazioni di servizi relativi alla fornitura e distribuzione di calore-energia per uso domestico (punto 122 della Tabella A-Parte III). Il decreto è stato aggiornato con la risoluzione del Ministero delle Finanze n. 103 del 20 agosto 1998, e con la successiva circolare n. 273 del 23/11/1998.
- la legge n. 388 del 23 dicembre 2000 (Finanziaria 2001), in cui viene istituito un fondo per la riduzione delle emissioni in atmosfera e per la promozione dell'efficienza energetica e delle fonti rinnovabili di energia. Le risorse finanziarie di tale fondo provengono dalle maggiori entrate derivanti dalla rideterminazione delle accise degli oli minerali (Carbon Tax) effettuata con la legge 23 dicembre 1998, n. 448 (Finanziaria 1999). Il Ministero dell'Ambiente, con un decreto, ha destinato questi finanziamenti ai programmi regionali.
- la circolare del Ministero delle Finanze n. 95/E, del 31 ottobre 2001, che fornisce chiarimenti in merito all'applicazione degli incentivi fiscali a favore del teleriscaldamento alimentato con biomasse o con energia geotermica in zone climatiche E ed F, come stabilito dalla legge 23 dicembre 1998, n. 448, (art. 8, comma 10, lettera f) e dalla legge 23 dicembre 2000, n. 388, art. 29 (Finanziaria 2001). In particolare vengono previste per la gestione di reti di teleriscaldamento alimentate con biomassa in Comuni situati nelle zone climatiche E ed F le seguenti agevolazioni fiscali:
  1. un credito d'imposta pari a lire 20 (aumentata dalla circolare n. 95/E di 30 lire per ogni chilowattora di calore fornito, e prorogata con l'art. 4 del DL 452 del 28 dicembre 2001 fino al 30 giugno 2002) per ogni kWh di calore fornito, da trasferire sul prezzo di cessione all'utente finale, con decorrenza dal 1° gennaio 1999;
  2. l'art. 29 della legge n. 388/2000 ha disposto un'ulteriore agevolazione per il settore, concedendo agli utenti che si collegano ad una rete di teleriscaldamento, alimentata con energia geotermica o con biomassa, un contributo "una tantum" pari a lire 40.000 per ogni kW di potenza impegnata con decorrenza 1° gennaio 2001. La norma prevede che "il contributo è trasferito all'utente finale sotto forma di credito d'imposta a favore del soggetto nei cui confronti è dovuto il costo di allaccio alla rete."

Il meccanismo di applicazione dell'agevolazione prevede, quindi, che il gestore della rete di teleriscaldamento anticipi il contributo spettante all'utente che si collega alla rete, scomputandolo dal costo di allaccio e beneficiando di un credito d'imposta di pari importo.

È doveroso ricordare che la classificazione in zone climatiche dei Comuni italiani è quella indicata dal decreto del Presidente della Repubblica del 26 agosto 1993, n. 412. Con questo DPR, in parte modificato dal DPR 551 del 21 dicembre 1999, vengono inoltre definite le norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.

Viene definita come "Gradi Giorno" di una località la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il Grado Giorno (GG).

Nel decreto si suddivide il territorio nazionale in sei zone climatiche in funzione dei Gradi Giorno e per ciascuna zona climatica l'esercizio degli impianti termici è consentito solo nei periodi e con la durata giornaliera indicata.

In particolare si hanno le zone climatiche E ed F per quei Comuni che presentano un numero di GG rispettivamente maggiore di 2.100 e di 3.000 e con durata di attivazione dell'impianto massima di 14 ore giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile per la zona E, mentre per la zona F non si ha alcuna limitazione per le ore giornaliere di funzionamento.

Inoltre gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso e su questa sono definiti i valori massimi della temperatura ambiente da rispettare.

Per quanto riguarda i permessi che occorre acquisire si rammenta che, nel caso si renda necessaria la costruzione di locali che contengano i vari componenti dell'impianto o lo stoccaggio del combustibile, si devono acquisire le relative autorizzazioni, che vengono rilasciate dalle autorità amministrative locali.

Inoltre per impianti di taglia superiore a 116 kW occorre, in base al decreto ministeriale del Ministero dell'Interno del 4 maggio 1998, ottenere il parere di conformità dei Vigili del Fuoco competenti per la Provincia. Nel suddetto decreto sono indicate le modalità ed il contenuto che tali domande devono soddisfare.

Recentemente, inoltre, con il decreto del Presidente del Consiglio dei ministri dell'8 marzo 2002, sono state definite "le caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione" (GU n. 60 del 12 marzo 2002).

Questo decreto indica nell'allegato 3 quali sono le biomasse utilizzabili negli impianti termici, le dotazioni tecnologiche minime richieste e le emissioni gassose limite consentite in funzione della taglia dell'impianto (tabelle 3 e 4). La conversione energetica delle biomasse può essere effettuata attraverso la combustione diretta o previa pirolisi o gassificazione.

Tabella 3.  
Dotazioni minime richieste per gli impianti termici a biomasse dal DPCM del 8 marzo 2002

	Potenza termica nominale (MW)			
	P > 1 <sup>(1)</sup>	P > 3 <sup>(1)</sup>	P > 6 <sup>(1)</sup>	P > 20 <sup>(2)</sup>
Alimentazione automatica combustibile	✓	✓	✓	✓
Misura in continuo di T e O <sub>2</sub> in camera di combustione		✓	✓	✓
Regolazione automatica aria/combustibile		✓	✓	✓
Brucciore pilota			✓	✓
Misura in continuo di T, CO, NO <sub>x</sub> ed H <sub>2</sub> Ovap nell'effluente gassoso <sup>(2)</sup>			✓	✓
Misura in continuo di polveri e COT nell'effluente gassoso				✓

<sup>(1)</sup> Potenza nominale per singolo bruciatore

<sup>(2)</sup> Potenza nominale complessiva

Tabella 4.  
Valori limite delle emissioni di inquinanti in funzione della taglia dell'impianto fissati dal DPCM 8 marzo 2002

	Potenza termica nominale complessiva installata (MW)			
	0,15 < P ≤ 3	3 < P ≤ 6	6 < P ≤ 20	P > 20
	mg/n m <sup>3</sup> <sup>(2)</sup>	mg/n m <sup>3</sup> <sup>(2)</sup>	mg/n m <sup>3</sup> <sup>(2)</sup>	mg/n m <sup>3</sup> <sup>(2)</sup>
Polveri totali <sup>(1)</sup>	100	30	30	30 10 <sup>(3)</sup>
Carbonio Organico Totale (COT)	--	--	30	20 10 <sup>(3)</sup>
Monossido di carbonio (CO)	350	300	250 150 <sup>(3)</sup>	200 100 <sup>(3)</sup>
Ossidi di azoto (espressi come NO <sub>2</sub> )	500	500	400 300 <sup>(3)</sup>	400 200 <sup>(3)</sup>
Ossidi di zolfo (espressi come SO <sub>2</sub> )	200	200	200	200

<sup>(1)</sup> Per gli impianti con potenza termica nominale complessiva  $0,035 < P \leq 0,15$  MW si applica un valore limite di emissione delle polveri totali di 200 mg/n m<sup>3</sup>.

<sup>(2)</sup> I valori limite di emissione, calcolati sulla media oraria di funzionamento dell'impianto esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti, sono riferiti al volume di effluente gassoso secco, con tenore di ossigeno di riferimento pari all'11% in volume, ed alle condizioni normali (0 °C; 0,1013 MPa).

<sup>(3)</sup> Limiti di emissione che devono essere rispettati come valori medi giornalieri.

## L'ACQUISTO DEI COMPONENTI

L'acquisto delle apparecchiature deve essere preferibilmente programmato sin dalle prime fasi della progettazione, ma non prima che il progetto abbia superato lo studio di prefattibilità. Non dovrebbe essere preso alcun contatto con i vari fornitori finché il progetto non abbia superato questo primo vaglio, e i potenziali utenti dell'energia prodotta non risultino interessati alla realizzazione dell'impianto.

Si consiglia di procedere con una prima serie di contatti informali con un certo numero di fornitori ai quali bisogna fornire il maggiore numero possibile di informazioni riguardo il progetto in modo che questi possano formulare l'offerta tecnologica più completa, che comprende anche una prima stima sui costi.

La prima richiesta dovrebbe contenere almeno le seguenti informazioni per consentire al fornitore di fare un'adeguata offerta:

1. la effettiva domanda di calore dell'edificio;
2. il tipo di combustibile che si vuole utilizzare, la sua pezzatura e il contenuto di umidità;
3. lo spazio massimo che si ha a disposizione per lo stoccaggio del combustibile, all'interno o all'esterno dell'edificio;
4. lo spazio a disposizione nell'edificio o all'esterno per la realizzazione del locale caldaia. L'ideale sarebbe riuscire a fornire uno schema o una pianta in scala dell'edificio completa di misure e altezze dei locali;
5. i limiti di emissione che si vogliono raggiungere per i diversi inquinanti (devono comunque essere rispettati i valori indicati dalla normativa vigente).

Di contro la risposta del fornitore deve comprendere almeno le seguenti informazioni:

1. una prima bozza di lay-out d'impianto;
2. una prima stima del prezzo ed i termini di consegna;
3. le referenze che includano i nomi ed i numeri di telefono dei clienti che hanno acquistato impianti simili.

È comunque opportuno contattare almeno tre fornitori di tecnologia già dalle prime fasi di progettazione in modo da avere la possibilità di scegliere tra più offerte.

È inoltre importante tenere costantemente informati i fornitori degli sviluppi del progetto facendogli comunque capire di essere in contatto con più operatori.

Non bisogna dimenticare che l'impianto non è costituito solamente dalla caldaia e che anche gli altri componenti sono ugualmente importanti e fondamentali: la canna fumaria, il silo di stoccaggio del biocombustibili, il sistema di movimentazione ed alimentazione della biomassa, le pompe di circolazione e i circuiti idraulici, il sistema di trattamento dei fumi con il relativo aspiratore, i contenitori delle ceneri e delle polveri, l'impianto elettrico, il sistema automatico di controllo e i sistemi di contabilizzazione del calore.

Tutti questi componenti devono essere scelti con cura e devono essere integrati con cura in un unico impianto per ottenere un buon sistema di riscal-

damento funzionante. Per raggiungere questo obiettivo bisogna sottolineare come sia fondamentale il ruolo della progettazione.

Inoltre è molto importante stabilire da subito i ruoli e le responsabilità di ognuno degli operatori coinvolti nella realizzazione del progetto e per il controllo delle consegne dei materiali.

Per quanto riguarda l'acquisto, esistono diverse tipologie di contratto di fornitura; si può comprare un impianto "chiavi in mano" o acquistare i diversi componenti ed assemblarli autonomamente. La prima soluzione è senza dubbio la più costosa, ma presenta il vantaggio che il fornitore si assume la responsabilità della buona realizzazione dell'impianto garantendone il funzionamento.

Nel secondo caso si rischia di incontrare diverse difficoltà durante le fasi di assemblaggio dei diversi sottosistemi senza poter sempre contare sull'aiuto dei fornitori. Bisogna quindi decidere con molta attenzione la tipologia di contratto da stipulare considerando di volta in volta quali possano essere i vantaggi e gli svantaggi.

Edito dall'ENEA  
Funzione Centrale Relazioni Esterne  
Lungotevere Thaon di Revel 76 - 00196 Roma  
**www.enea.it**

a cura di L. Castellazzi, V. Gerardi, E. Scoditti (ENEA);  
C. Rakos (EVA); A. Evald, J. Bjerg (dk-TEKNIK); F. Lagergren (SVEBIO)

Progetto grafico: FilRouge  
Stampa: Grafiche Ponticelli SpA  
Finito di stampare nel mese di settembre 2002

Questo opuscolo è stato realizzato nell'ambito del programma ALTENER  
(Contratto: 4.1030/C/00-163/2000) finanziato dalla Comunità Europea

Una versione elettronica di questo documento  
• disponibile presso il sito internet  
**www.bioheat.info**