

L'UTILIZZO DEL LEGNO COME FONTE DI CALORE



Assessorato all'Ambiente, Agricoltura e Qualità
Direzione Tutela e Risanamento ambientale – Programmazione gestione rifiuti
Settore Programmazione e Risparmio in Materia Energetica
C.so Stati Uniti, 21 – Torino
Tel. 0114321411 Fax 0114324961
e-mail risparmio.energetico@regione.piemonte.it

A cura di



IPLA. Istituto per le Piante
da legno e l'Ambiente
C.so Casale 476 Torino
Tel 0118998933 Fax 0118989333
Email ipla@ipla.org

É consentita la riproduzione della presente pubblicazione citando la fonte.

Edizione 2003 corretta.

Presentazione

Nella Regione Piemonte il combustibile legno rappresenta, per utilizzo attuale e in prospettiva futura, una fonte di energia rinnovabile rilevante, che può senz'altro contribuire alla soluzione delle attuali e pressanti problematiche ambientali.

Nell'ambito delle attività dirette a sostenere il ricorso a tale fonte rinnovabile, si inserisce il progetto "Promozione e valorizzazione del legno come combustibile nei piccoli generatori di calore" che l'Assessorato all'Ambiente ha affidato all'Ipla, al fine di favorire la diffusione di generatori di calore a legno, il cui utilizzo risulta ridotto rispetto alle potenzialità. Grazie al coinvolgimento di alcuni comuni montani è stato possibile attivare, presso utenze private, numerosi impianti innovativi a legno, in grado di offrire un rendimento termico elevato e oneri di gestione ridotti.

La presente pubblicazione, compendio dell'attività svolta, si rivolge, quindi, agli utilizzatori esistenti e potenziali dei piccoli generatori di calore a legno con lo scopo di orientarli nella scelta del sistema più idoneo alle proprie esigenze e disponibilità e di fornire suggerimenti sulla corretta conduzione dell'impianto in tutte le fasi di gestione.

Ugo CAVALLERA
Assessore regionale all'Ambiente,
Agricoltura e Qualità

Da oltre un decennio va sempre più radicandosi nella coscienza sociale una diffusa attenzione e sensibilità verso le fonti energetiche rinnovabili. Cresce infatti di intensità l'azione dell'Unione Europea, dello Stato e delle Regioni nel sostenere una corretta gestione del patrimonio forestale e l'impiego, a scopi energetici, della materia prima legno, mentre già oltre 4,5 milioni di famiglie italiane utilizzano questa risorsa per il riscaldamento domestico.

In tale contesto emerge tuttavia con forza il bisogno di innovazione e imprenditorialità, ai vari livelli della filiera: dagli interventi selvicolturali alla costruzione di combustori, dall'assistenza tecnica impiantistica alla formazione professionale nel settore forestale.

In Piemonte l'IPLA, sin dai primi anni '80, rispondendo a specifici incarichi dell'Amministrazione regionale, ha condotto indagini sulle utenze e consumi di legno in ambito rurale-montano, ha sviluppato studi per la valorizzazione degli assortimenti minori mediante tecnologie innovative di carbonificazione e combustione diretta, ha in corso di realizzazione sul territorio un vasto processo di pianificazione (Piani Forestali Territoriali) per una gestione e utilizzo ecocompatibile del patrimonio silvano.

Con questo manuale, redatto su mandato dell'Assessorato all'Ambiente, si è inteso offrire, in particolare alle utenze private, un supporto di miglior conoscenza all'uso dei piccoli generatori a legna di moderna concezione, ponendo a frutto gli esiti di specifiche attività di impianto e gestione assistita condotte presso alcune abitazioni campione con finalità sperimentali e dimostrative.

Ettore Broveglio
Presidente IPLA S.p.A.

Indice generale

PRESENTAZIONE	3
INTRODUZIONE.....	7
ENERGIA	7
PRODUZIONE DI ENERGIA	7
PRINCIPALI FONTI ENERGETICHE.....	8
ENERGIE RINNOVABILI	10
UTILIZZO DELLE BIOMASSE NEL MONDO	13
UTILIZZO DELLE BIOMASSA IN ITALIA E IN PIEMONTE.....	14
ATTUALITÀ E PROSPETTIVE DELLE BIOMASSE IN EUROPA.....	15
ARGOMENTI A FAVORE DELL'UTILIZZO DEL LEGNO COME FONTE DI ENERGIA.....	16
<i>Motivi politici</i>	16
<i>Motivi economici</i>	16
<i>Motivi ecologici</i>	16
<i>Motivi pratici</i>	17
FILIERA LEGNO - COMBUSTIBILE.....	18
PRODUZIONE	19
<i>Situazione in Piemonte</i>	20
DEPEZZATURA - SMINUZZAMENTO.....	23
<i>Tronchetto</i>	23
<i>Scaglie o Cippato</i>	23
TRASPORTO.....	24
ESSICAZIONE.....	27
DEPOSITO.....	30
<i>Deposito stagionale</i>	30
<i>Deposito locale</i>	30
UTILIZZO FINALE.....	31
RISCALDAMENTO A LEGNO.....	33
EVOLUZIONE DEI GENERATORI DI CALORE A LEGNO	35
<i>Un po' di storia</i>	35
<i>I combustori innovativi</i>	36
<i>Accumulatori termici</i>	38
COMBUSTIONE DEL LEGNO.....	40

EMISSIONI COMPARATE	44
CONSIGLI PER L'UTENTE	47
SCELTA DELLA CALDAIA	47
<i>Dispersioni termiche nelle abitazioni: fattori di criticità</i>	49
ACCUMULATORE DI CALORE	53
LOCALE CALDAIA	54
AVVERTENZE GENERALI	55
INSTALLAZIONE CALDAIA	55
CANNA FUMARIA - CAMINO.....	56
GESTIONE DELLA CALDAIA	58
<i>Avviamento caldaia</i>	58
<i>Utilizzo della caldaia</i>	61
<i>Pulizia della caldaia</i>	62
NOTE FINALI	62
PROBLEMI E SOLUZIONI – CALDAIA A TRONCHETTO	64
OBBLIGHI DI LEGGE.....	69
APPENDICE	73
CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI A LEGNO E A COMBUSTIBILI FOSSILI.....	73
QUANTO COSTA IL COMBUSTIBILE AD USO RISCALDAMENTO?	74
SCELTA DEL GENERATORE A LEGNO	75
<i>Generatori idonei al riscaldamento a legno come sistema principale</i>	75
<i>Generatori idonei al riscaldamento a legno come sistema complementare</i>	76
PREZZI MEDI DEI DIVERSI TIPI DI GENERATORI A LEGNO.....	77
COME CALCOLARE IL FABBISOGNO ANNUO DI LEGNO?	78
CORRISPONDENZE	79
AIUTI PUBBLICI PER CONVERTIRE I PROPRI GENERATORI	80
UNITÀ DI MISURA DELL'ENERGIA	81
INDICE DELLE FIGURE.....	82
INDICE DELLE TABELLE	83
RINGRAZIAMENTI.....	84

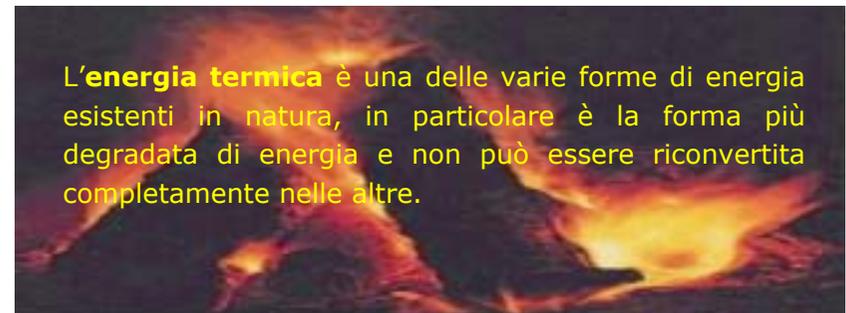
Introduzione

Energia

Per la maggior parte delle attività umane è necessaria energia.

Energia è la capacità di un sistema di compiere un lavoro e si manifesta sotto varie forme tra loro convertibili:

meccanica
elettrica
chimica
termica



L'energia termica è una delle varie forme di energia esistenti in natura, in particolare è la forma più degradata di energia e non può essere riconvertita completamente nelle altre.

Produzione di energia

Sono molti i sistemi attraverso cui si può produrre energia:

- combustione di varie sostanze (petrolio, carbone, gas naturali, biomassa)
- sfruttamento di fenomeni naturali (vento, luce solare, salti d'acqua, calore geotermico)

La maggior parte dell'energia prodotta nel mondo si ricava attraverso la combustione.

La combustione è un processo attraverso cui sostanze complesse vengono trasformate in altre più semplici liberando soprattutto energia termica variamente utilizzabile.

Principali fonti energetiche

Le fonti energetiche si possono distinguere in rinnovabili e non rinnovabili.

Le fonti non rinnovabili sono costituite dai combustibili fossili e dagli isotopi radioattivi (energia nucleare):

- carbone
- derivati del petrolio (gasolio, benzine e altri)
- metano

Le fonti non rinnovabili per riformarsi necessitano di millenni, pertanto, di fatto, sono destinate ad esaurirsi.

Le fonti rinnovabili vengono prodotte o rinnovate in natura a velocità paragonabili a quelle con cui vengono "consumate"; possono perciò essere continuamente reintegrate ed essere considerate virtualmente inesauribili:

- biomassa
- sole
- vento
- salti d'acqua
- geotermia



Immagine tratta da "Noi e lo sviluppo sostenibile" Enea, 1999

L'impiego dei combustibili, in particolare di quelli fossili, provoca l'emissione nell'atmosfera di gas responsabili dell'**EFFETTO SERRA**. I gas serra, di cui il più importante è il biossido di carbonio (CO₂), sono permeabili ai raggi solari, ma impermeabili al calore proveniente dalla Terra: il sole illumina e riscalda la Terra ma le radiazioni termiche possono uscire dall'atmosfera solo in quota ridotta, da cui un aumento della temperatura del Pianeta.

L'aumento della temperatura è causa di gravi squilibri negli ecosistemi del nostro pianeta

L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili in alternativa ai combustibili fossili è vantaggioso per il contenimento dell'effetto serra in quanto

- lo sfruttamento di vento, sole, salti d'acqua, ecc. non prevede processi di combustione;
- la combustione di biomassa ha bilancio neutro della CO₂ poiché i vegetali la sottraggono dall'atmosfera attraverso la fotosintesi, soprattutto in fase di accrescimento, ritrasformandola in biomassa.

Energie rinnovabili

Le energie rinnovabili utilizzate nell'Unione Europea si possono quantificare in oltre 72.300 migliaia di tep⁽¹⁾, di queste le biomasse, pari a 43.600 migliaia di tep, vi contribuiscono per circa il 60%, seguono l'idroelettrico con oltre il 35%, il geotermico con il 3% e poi, nell'ordine, l'eolico e il solare, con meno dell'1% ciascuno.⁽²⁾

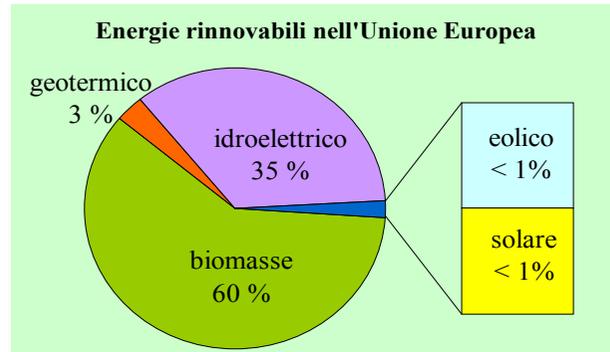


Fig. 1 - Quote percentuali di energia rinnovabile prodotta nell'Unione Europea.

Considerate le gravi ripercussioni dell'effetto serra sul nostro pianeta, molti paesi tra cui l'Italia, ai fini dell'attuazione del Protocollo di Kyoto, si sono impegnati a ridurre le emissioni dei gas responsabili.

La promozione delle fonti energetiche rinnovabili assume valore centrale anche in termine di **sviluppo sostenibile**.

¹ 1 tep = tonnellata equivalente petrolio = 10.000.000 kcal = 11.628 kWh

1 Mtep = 1 milione di tep

² Fonte: Libro Bianco Comunità Europea 1997: "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili"

"Sviluppo sostenibile"



Modello di sviluppo che, diversamente da quello attuale, permette alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la capacità delle future generazioni di fare altrettanto.

E' compito delle istituzioni e dei governi perseguire un determinato modello di sviluppo, ma è indispensabile anche il contributo dei singoli cittadini e delle famiglie che sono responsabili di circa il 27% delle emissioni nazionali di gas inquinante, il 10% del quale proviene dagli impianti di riscaldamento. (Enea "Noi per lo sviluppo sostenibile" 1999)

In quest'ottica, la scelta delle energie rinnovabili sembra diventare qualcosa di più di un'alternativa...

Biomassa

Anche nei dizionari il termine biomassa compare da pochi anni e non tutti ne conoscono ancora bene il significato. Si tratta dell'insieme degli organismi (vegetali o animali) e della materia da loro prodotta durante il ciclo di vita. Parte di tale materia può essere usata come fonte di energia:

- legno
- rifiuti organici
- lolla di riso
- sansa di olive
- gusci di nocciole e di altri frutti secchi
- biogas
- biodiesel
- altri residui agricoli, forestali e agroindustriali.

L'insieme delle biomasse rappresenta la più antica e diffusa delle fonti energetiche per l'umanità che è stata gradualmente sostituita, negli ultimi 200 anni, dai combustibili fossili.

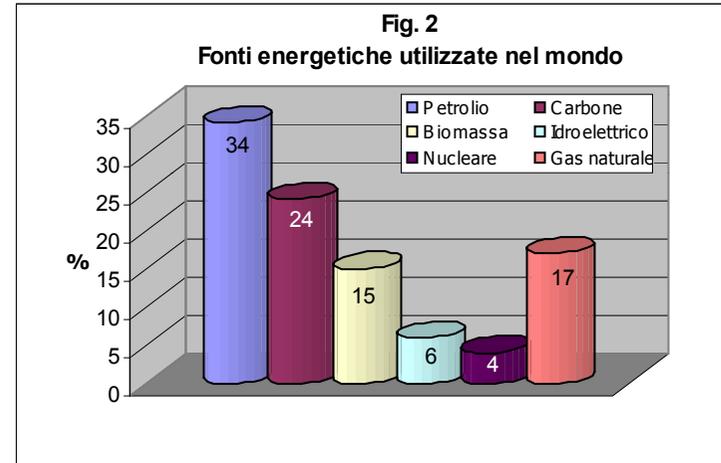
Le crisi del petrolio degli anni settanta e la crescente preoccupazione per il degrado ambientale l'hanno rivalutata come la più significativa fonte energetica rinnovabile per una società sostenibile.

Tra le biomasse, il più noto è **il legno** che è anche oggi sicuramente la fonte energetica rinnovabile più utilizzata e disponibile in Piemonte.

Utilizzo delle biomasse nel mondo

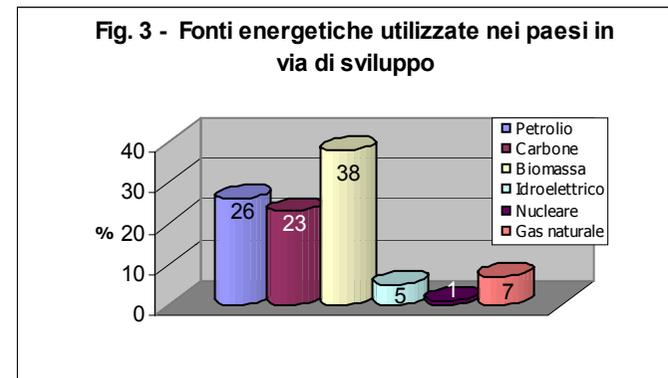
Ad oggi le biomasse soddisfano il 15% circa degli usi energetici primari nel mondo.

Si evidenzia, però, un forte grado di disomogeneità fra i vari Paesi.



I **Paesi in via di sviluppo**, nel complesso, ricavano il 38% della propria energia dalle biomasse con 1.074 Mtep/anno, ma in molti casi

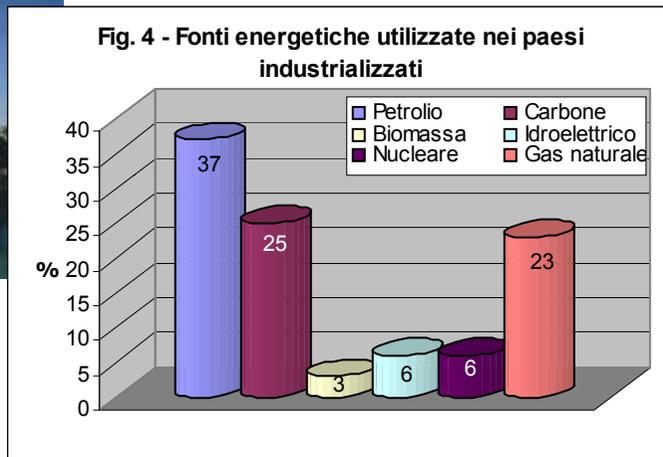
tale risorsa soddisfa fino al 90% del fabbisogno energetico totale mediante la combustione di



legna, paglia e rifiuti animali.



Nei **Paesi industrializzati** le biomasse contribuiscono appena per circa il 3% agli usi energetici primari (3,2% nel caso degli USA).



Utilizzo delle biomassa in Italia e in Piemonte

In **Italia** le fonti rinnovabili (all'interno delle quali le biomasse occupano una posizione prevalente) raggiungono la quota del 6,6% in energia rispetto al totale delle fonti utilizzate.

Studi diversi⁽³⁾ mettono in evidenza come a tutt'oggi il legno, tra le biomasse, sia un combustibile molto utilizzato e apprezzato a livello nazionale e regionale.

Il principale utilizzo del legno combustibile è per il riscaldamento domestico nelle prime case in zone collinari e montane, ma, in quota minore, anche in pianura.

Il legno combustibile viene consumato da oltre 18 milioni di italiani, dei quali circa 1,3 milioni sono piemontesi.



³ Enea-Ipla, 1985; Regione Piemonte-Ipla, 1987; ENEA-Cirm, 1998; ENEA 1999

Ogni anno la spesa degli italiani per il legno combustibile è di 1 miliardo di Euro, quella dei piemontesi è indicativamente di 100 milioni di Euro. Il 70% del legno utilizzato in Piemonte è direttamente prelevato dal bosco.

La maggior parte delle famiglie utilizzatrici del combustibile legnoso si dichiara soddisfatta del proprio sistema.

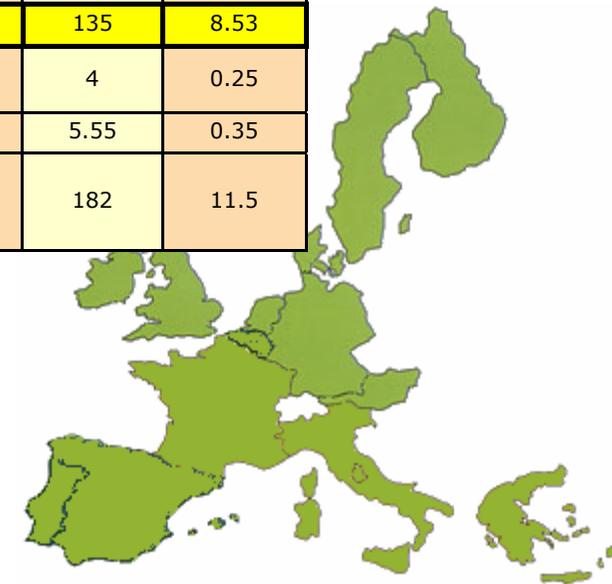
Attualità e prospettive delle biomasse in Europa

L'Europa ha ricavato nel 1995 circa il 3,3% della propria energia dalle biomasse; entro il 2010 se ne prevede l'aumento fino a circa l'8,5%.

Tab. 1 - Consumo lordo di energia rinnovabile attuale e previsto nel 2010 (Mtep)

Tipo di energia	Consumo nel 1995		Consumo previsto nel 2010	
	Convenzione Eurostat	% del totale	Convenzione Eurostat	% del totale
Energia eolica	0.35	0.02	6.9	0.44
Totale energia idroelettrica	26.4	1.9	30.55	1.93
Biomassa	44.8	3.3	135	8.53
Collettori solari termici	0.25	0.02	4	0.25
Altri	2.5	0.2	5.55	0.35
Totale energie rinnovabili	74.3	5.44	182	11.5

Fonte: Libro bianco Commissione UE 1997



Argomenti a favore dell'utilizzo del legno come fonte di energia⁴

Motivi politici

- Costituisce un elemento di diversificazione dell'approvvigionamento energetico
- Non comporta dipendenza dall'estero

Motivi economici (tabella 2)

- Contribuisce positivamente all'economia locale fornendo:
 - occupazione
 - sostegno al miglioramento forestale
- Valorizza le produzioni di combustibile legnoso locale

Tab. 2 - Flusso economico di due combustibili a confronto		
area territoriale	combustibile	
	legno	gasolio
Comune e CM	85 %	5 %
Regione	5 %	
Nazione	10 %	70 %
Estero	0 %	25 %
Ipla 2002		

La tabella mette in evidenza come il flusso economico per l'approvvigionamento dei sistemi a gasolio - preso a modello dei combustibili fossili - sia destinato all'estero per il 25% ed in sede nazionale per il 70%. Diversamente, quello riguardante i sistemi a legno rimangono in regione e soprattutto nel territorio comunale e della comunità montana -CM-(85%).

Motivi ecologici

- L'energia del legno è neutra dal punto di vista delle emissioni di CO₂
- I trasporti sono in genere brevi per la vicinanza fra la sede di raccolta del legno e i luoghi di utilizzo
- L'adozione dei sistemi a legno riduce l'uso di combustibili fossili
- Indirettamente contribuisce a limitare il numero dei grandi disastri ecologici (incidenti agli oleodotti, gasdotti, petroliere, ecc.)

⁴ Fonte: Vademecum "Energia dal legno" Asel - Svizzera, con modifiche Ipla

Motivi pratici

- Elevata affidabilità e comfort raggiunti dai sistemi a legno grazie alla tecnologia più recente ed a soluzioni impiantistiche avanzate (presenza di accumulatore di calore, ecc.)
- Sono disponibili generatori a legno adatti per utenze più diverse: abitazioni isolate (caldaie, caminetti), fabbricati in centri densamente abitati (sistemi con teleriscaldamento) o come completamento ad altri sistemi di riscaldamento (camini, stufe, caldaie, ecc)



Filiera legno - combustibile

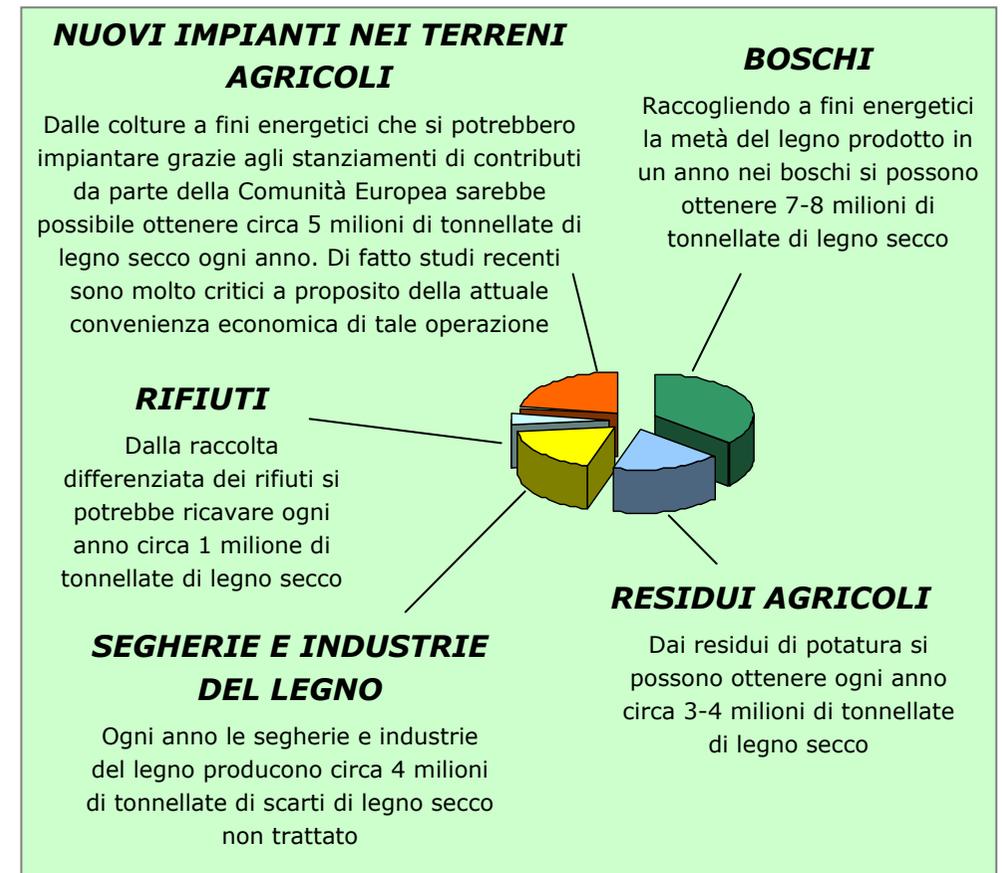
Per “filiera legno – combustibile” si intende la successione delle fasi che collegano la produzione del combustibile al suo utilizzo nel combustore. La successione delle fasi intermedie (depezzatura, trasporto, essiccamento e deposito) può variare notevolmente in relazione a situazioni contingenti e locali di varia natura (disponibilità di materia prima, esigenza del combustore, ecc.).



Produzione

In Italia il combustibile legnoso è poco sfruttato rispetto al suo potenziale produttivo. Con la razionalizzazione della gestione delle risorse disponibili (patrimonio boschivo, attività agricole ed industriali legate al legno, raccolta dei rifiuti) tale potenziale potrebbe accrescersi notevolmente.

Nella figura seguente è rappresentato il possibile contributo delle diverse fonti di legno razionalmente utilizzabile come combustibile in Italia.



Energia dal legno – Fabius - Regione Veneto 2000

Con 20 milioni di tonnellate di legno secco risultanti da quanto indicato nella figura precedente si potrebbero riscaldare ogni anno circa 2 milioni di abitazioni, che in buona quota andrebbero ad accrescere il numero attuale di utenze.

Situazione in Piemonte

Il Piemonte è fra le regioni che più sono attente e aggiornate rispetto alla conoscenza del proprio patrimonio forestale e delle relative potenzialità. Proprio in questi tempi è in corso un'indagine poliennale (terminerà nel 2005) condotta dall'IPLA⁽⁵⁾ sotto l'egida dell'Assessorato Economia Montana e Foreste della Regione Piemonte. In termini essenziali, il lavoro fornirà dati per la pianificazione regionale, ma anche per le attività operative a livello sovra-comunale, attraverso lo strumento del Piano Forestale Territoriale (PFT) con validità di 15 anni. I temi trattati dal PFT sono

⁵ IPLA, Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente, Società pubblica controllata dalla Regione Piemonte.



estremamente vasti; limitandoli agli argomenti più direttamente collegati al legno utilizzabile come combustibile, dai dati delle cartografie e dell'inventario forestale si può affermare che:

- i risultati fin qui ottenuti (comprensivi degli esiti finali riferiti all'85% dei boschi montani, ma anche dei dati che stanno emergendo dalle elaborazioni in corso sulle rimanenti zone) mostrano come rispetto ai valori Istat la superficie boscata sia superiore indicativamente del 30%, da cui discende una incrementata disponibilità di combustibile legnoso;
- delle masse legnose prelevabili con gli interventi previsti dai PFT solo il 40% sono attualmente accessibili con i mezzi di esbosco ordinariamente impiegati;
- di queste circa il 60% proviene da ceduzioni, il resto da tagli di maturità in fustaia e da miglioramenti boschivi (diradamenti, conservazione dei cedui).

Considerati i prelievi risultanti dalle statistiche ufficiali (Istat 1994), si ritiene valida l'ipotesi di una disponibilità annua non ancora utilizzata di quasi 200 mila m³ di legno, ovvero 150 mila tonnellate che se fossero utilizzati per fini energetici corrisponderebbero alla quantità media di combustibile per il riscaldamento stagionale di quasi 20 mila famiglie (tab. 3).

Dal quadro di disponibilità descritto restano ancora fuori le ingenti quantità di combustibile legnoso impiegato per il riscaldamento domestico risultante dalle indagini rivolte al consumatore finale (Indagini Ipla 1989 e Enea 1999, 2000⁶): solo nella nostra regione, hanno mostrato un consumo ben superiore alle disponibilità teoriche derivanti dalle foreste.

⁶ Regione Piemonte, Ipla 1987 Indagine sul legno come combustibile nella regione Piemonte
Enea, Ipla 1988 Il Legno come combustibile per il riscaldamento
Enea, Cirm, 1998, Il consumo di biomassa a fini energetici nel settore domestico
Enea, 2001 I consumi energetici di biomasse nel settore residenziale in Italia nel 1999

Nella maggior parte dei casi, si ritiene che tale combustibile provenga dai prelievi di legno fuori foresta, quali piccole fasce boscate inferiori al limite rilevato dalle indagini forestali, da formazioni lineari, riparie, alberi isolati, residui di potature o da abbattimenti di arboricoltura da frutto, da legno (pioppeti), ornamentale, oltre che da importazioni e piante schiantate. Tali risorse legnose, pur essendo unitariamente di entità modesta sono molto diffuse e, insistendo su terreni con buona fertilità, hanno una produttività elevata e possono giustificare i consumi rilevanti sopra accennati.

Superfici arboree non considerate nelle indagini forestali*:

- estensioni inferiori a 2000 m²
- superfici con larghezza inferiore a 20 m
- indice di copertura boscata inferiore al 20%
- frutteti
- pioppeti
- formazioni legnose ubicate in prossimità di insediamenti urbani

 (*) la definizione completa è contenuta nelle norme tecniche di pianificazione forestale del Settore Economia Montana della Regione Piemonte a cura dell'IPLA, in pubblicazione.

Tab. 3 - Stima della disponibilità di combustibile legnoso dalle foreste piemontesi		
Disponibilità potenziale annua per fini energetici (70% del totale)	23.400.000 m ³ (:15 anni)	= 1.560.000 m ³ annui
di cui accessibili (40%)		624.000 m ³
di cui da ceduzione per uso energetico (60%)		374.400 m ³
Prelievi per uso energetico*(istat 1994)		178.500 m ³
Disponibilità annua accessibile		195.900 m ³

Depezzatura - Sminuzzamento

Per depezzatura viene qui intesa ogni operazione di taglio, spaccatura, cippatura necessaria per ottenere il legno nella dimensione adatta per essere utilizzato come combustibile in un determinato generatore di calore.

Per i tronchetti la depezzatura finale può seguire subito il taglio della pianta in bosco ovvero può essere effettuata dopo un primo trasporto dei tronchi dal bosco nel deposito stagionale o può essere effettuata dopo la stagionatura nel deposito stagionale e subito prima dell'utilizzo finale nel deposito locale. In termini operativi, come per ogni fase intermedia della filiera la soluzione operativa ottimale dipende da fattori contingenti e locali da considerare di volta in volta.

Tipi di pezzatura utilizzata nei piccoli generatori di calore innovativi: tronchetto e scaglie.

Tronchetto

È la pezzatura che più di ogni altra viene utilizzata dalla quasi totalità dei piccoli generatori di calore. La lunghezza del tronchetto varia a seconda della dimensione interna del combustore, in genere 30, 50 o 100 cm. Solitamente il tronchetto è venduto dopo 2 anni di stagionatura con umidità circa del 25%⁽⁷⁾.



Fig. 5 - Tronchetto

Scaglie o Cippato

Il cippato è ottenuto dallo sminuzzamento o cippatura del legno



Fig. 6 - Cippato

⁷ calcolato sul peso umido

solitamente fresco appena tagliato. Si usano preferibilmente gli scarti dei tagli in bosco o dei pioppeti, ma anche le potature delle alberate cittadine.

Il cippato, quando non proviene dall'industria di prima lavorazione del legno, in genere, è commercializzato fresco con contenuto di umidità superiore al 35%⁽⁸⁾.

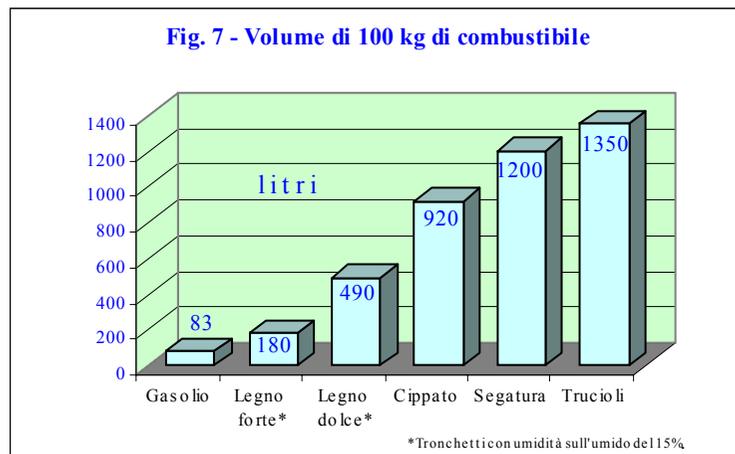
Trasporto

Il trasporto ha lo scopo di assicurare il flusso del legno (tra le differenti sedi di attività della filiera legno-energia) dalla produzione all'utilizzo in caldaia attraverso le tappe della filiera (essiccazione, depezzatura, deposito).

Poiché questo opuscolo tratta in particolare i piccoli generatori, le soluzioni di trasporto interessano quantità di legno fino a 100 - 300 quintali a stagione per utenza. A seconda del sistema di riscaldamento, ma anche delle fasi operative da collegare, e dell'organizzazione di cantiere adottata, si tratta di movimentare legno in differenti pezzature: tronchi di piante intere, oppure tronchetti o scaglie pronti all'uso come combustibile.

La modalità di trasporto deve essere attentamente valutata anche in riferimento all'incidenza economica, potenzialmente rilevante, che può avere questa operazione sul costo finale del combustibile pronto all'uso. In merito, particolare attenzione va data alla fase di carico e scarico tra "sede di provenienza-vettore e sede di arrivo" utilizzando di volta in volta le soluzioni, manuali o meccaniche (con pinza idraulica, benna, cippatrice ecc.), più opportune.

Per effettuare il trasporto possono essere impiegati trattori con rimorchi agricoli, eventualmente dotati di sponde alte, o comuni mezzi da strada.



⁸ calcolato sul peso umido

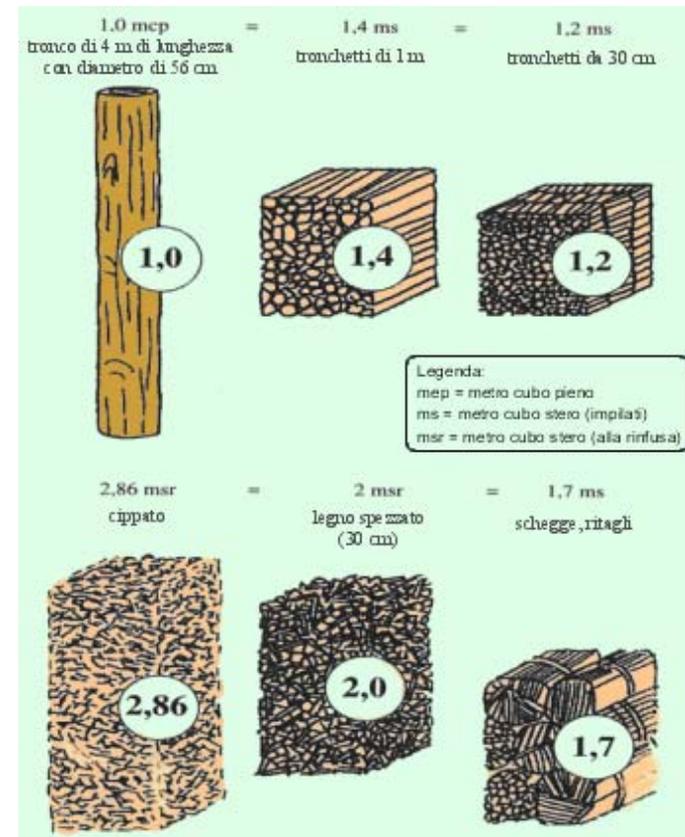


Fig. 8 – Corrispondenza tra il peso di 1 mc di legno pieno e lo stesso peso di legno ridotto in varie pezzature. (Fonte: "Riscaldare con il legno" Aebiom - con modifiche Ipla)

I parametri che incidono maggiormente sulla scelta del vettore e sulla modalità di carico-scarico sono:

- tipo (in base alla pezzatura) e quantità (in peso e volume) del materiale da trasportare all'anno e per singolo viaggio;
- distanza e tipo di viabilità da percorrere;
- spazi disponibili e livello di accessibilità della sede di partenza e di arrivo del materiale;
- macchinari vari: costo/disponibilità;
- manodopera: costo/disponibilità.

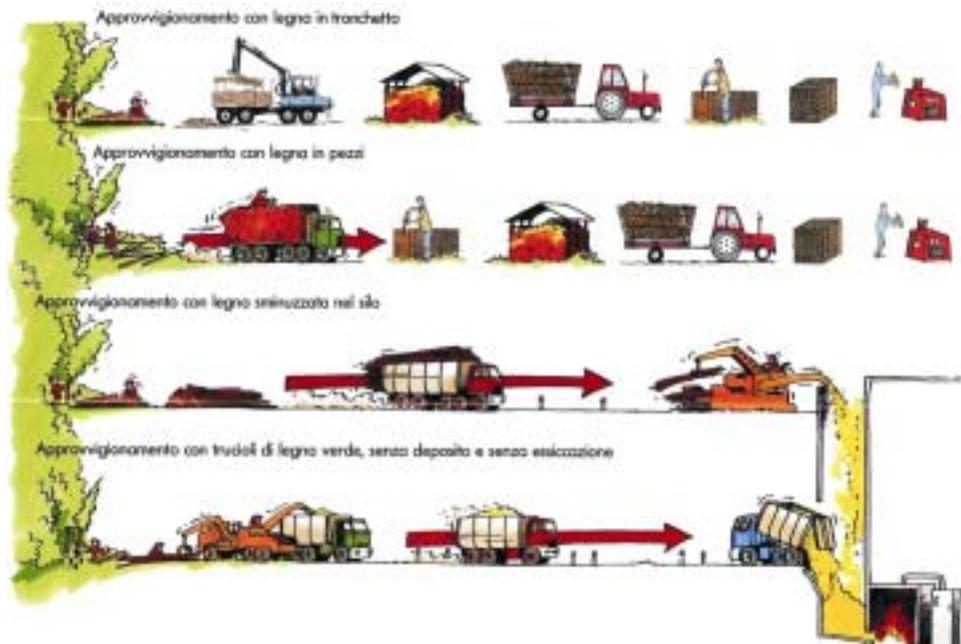


Fig. 9 - Schematizzazione dei diversi sistemi di approvvigionamento del legno combustibile. Fonte Asel con modifiche Ipla.

Essiccazione

Durante l'abbattimento il legno presenta un contenuto d'acqua piuttosto elevato ma anche molto variabile, soprattutto a seconda della specie. Considerato che durante la combustione è importante utilizzare legno con bassa umidità (indicativamente meno del 30% e possibilmente anche meno del 25% calcolato sull'umido) risulta importante effettuare una buona essiccazione.

La sede abituale di essiccazione è il deposito stagionale. Operativamente la riduzione del contenuto d'acqua nel legno viene favorita dal libero passaggio d'aria tra i pezzi di legno. Limitando l'approfondimento al caso dei tronchetti, questi, possibilmente, devono essere posti sollevati da terra (per esempio su assi) ed avere una copertura che li ripari dalle precipitazioni, distanziata alcuni decimetri dal colmo della catasta, vedi figura 11. Sono pertanto da evitare le cataste poggiate direttamente in terra e coperte con un telo a mo' di cuffia, come in figura 10.



Fig. 10 - Cataste di legno ricoperte da telo



Fig. 11 - Cataste di legno con tettoia

Per il cippato le ragioni di un buon essiccamento sono anche legate alla necessità di minimizzare l'insorgenza di muffe sulle particelle di legno,



che ne riducono sia il potere calorifico, sia la "lavorabilità" in ragione dei conseguenti rischi per l'operatore addetto. Durante l'essiccazione del cippato particolarmente umido (per esempio quello ottenuto direttamente dal bosco che raggiunge circa il 50% di contenuto idrico, calcolato sull'umido)



Fig. 12 - Immagine più grande: cumulo di scaglie di legno (cips o cippato). A fianco, immagine al microscopio di spore di microfunghi attive durante la fermentazione del cippato. Tali spore risultano potenzialmente responsabili di reazioni allergiche nei lavoratori addetti.

avvengono contemporaneamente due fenomeni: l'essiccamento dello strato esterno del mucchio e la fermentazione della zona più interna. Nella figura più piccola è mostrato un microrganismo responsabile della fermentazione di cumuli di scaglie legnose in particolari condizioni di umidità. La fermentazione provoca localmente un innalzamento termico, con conseguente ulteriore essiccamento. Parte del vapore, formato in questo modo, raffreddandosi, condensa nella fascia subito superiore. Il fenomeno può essere contenuto con ventilazioni efficienti del cumulo oppure con periodici rivoltamenti.

Nel grafico seguente è descritta l'evoluzione media della perdita di umidità in tronchi di latifoglie variamente preparati:

- 1) tronchi lasciati sul piano di taglio all'aria libera per 6 mesi e poi accatastati su ciglio della strada,
- 2) stoccaggio sottotettoia dei legni dopo tre mesi di giacenza sul piano di taglio,
- 3) stoccaggio sottotettoia di tronchetti da 33 cm preparati dopo tre mesi di giacenza sul piano di taglio,

- 4) stoccaggio sottotettoia di tronchetti da 33 cm depezzati subito dopo il taglio in bosco.

Si osserva come a 2 anni dal taglio il legno lasciato all'aria libera raggiunge circa il 25% di umidità, calcolato sul secco, mentre tutti quelli posti sotto tettoia, pur con preparazioni e tempistiche differenti, raggiungono valori migliori, intorno al 17%.

A un anno dal taglio l'umidità, nei due casi di tronchetti tagliati a 33 cm, raggiunge il 28%, mentre per la catasta lasciata all'aria libera e quella messa sotto riparo, dopo tre mesi, l'umidità è intorno al 34%.

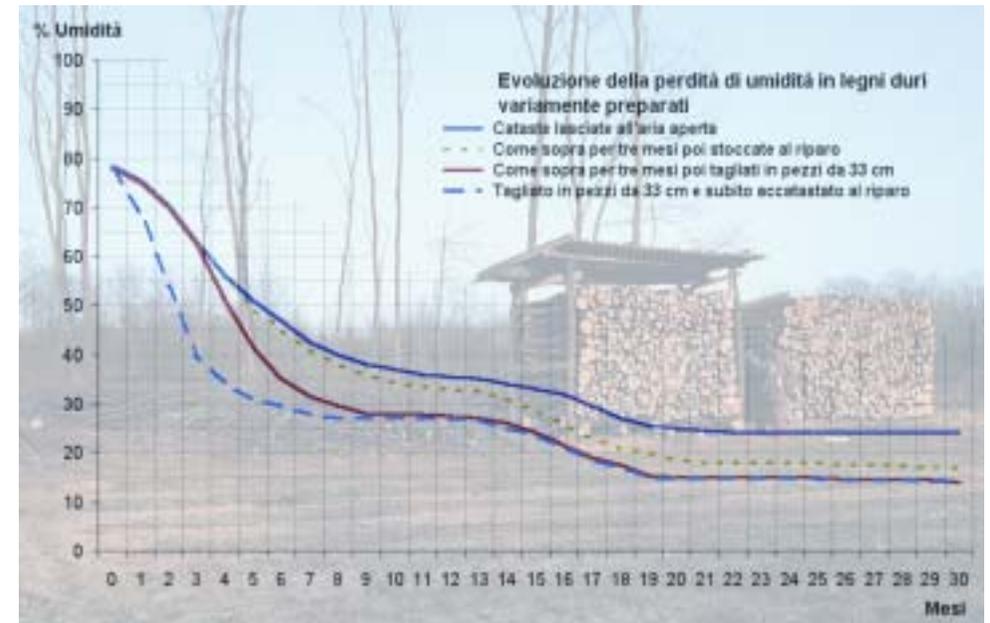


Fig. 13 - Evoluzione della perdita di umidità (calcolata sul peso umido) in legni duri preparati in modi diversi.

A 6 mesi dal taglio l'effetto delle differenti preparazioni é più marcato. In ordine, i tronchetti posti subito al riparo raggiungono un'umidità inferiore al 30%, quelli posti al riparo dopo tre mesi 35%, i legni lunghi e posti al riparo dopo tre mesi, insieme con le cataste lasciate all'aria libera, 45%.

I dati sull'umidità indicati nel presente capitolo sono espressi sul peso secco del legno e non sul legno "umido". Più avanti è mostrata la corrispondenza tra i due valori in ogni caso.

Deposito

Il deposito è la sede di ricovero del combustibile legnoso fino al momento del suo utilizzo. Schematicamente possono essere distinti due tipi di deposito: deposito stagionale e deposito locale.

Deposito stagionale

Si è già accennato alla funzione di essiccamento del legno che il più delle volte si effettua nel deposito stagionale.

In termini di capienza il deposito di tronchetti dovrebbe essere in grado di ospitare il legno necessario per tre annate: quella in corso, con legno stagionato pronto all'uso (due anni di essiccamento); l'anno seguente, con legno al primo anno di stagionatura, e l'anno successivo ancora, con legno fresco di taglio. Il deposito deve essere preferibilmente posto sotto tettoia, all'aperto, in luogo assolato e naturalmente ventilato, vedi anche il paragrafo sull'essiccazione.

Nel caso di scaglie legnose depositate in luogo chiuso o silo, per ridurre il contenuto di umidità nel cippato e la presenza di CO₂ prodotta dalla fermentazione, occorre ventilare forzatamente i cumuli. In alternativa, in presenza di ricambi naturali d'aria, si possono ottenere risultati analoghi di essiccamento con periodici rivoltamenti dei cumuli.

Deposito locale

È la sede di stoccaggio che:

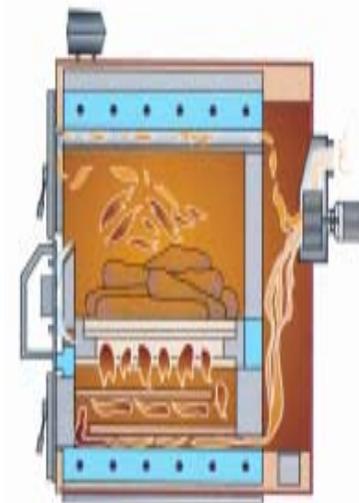
- assicura la disponibilità immediata di combustibile per una o due settimane di pieno funzionamento del generatore di calore;
- rappresenta il luogo di "finissaggio" dell'essiccazione prima dell'utilizzo.

Il deposito locale deve essere posto in luogo riparato e risultare facilmente accessibile ai carichi provenienti dal deposito stagionale e comodo per continui prelievi per l'alimentazione della caldaia (o termocamino). Deve essere possibilmente localizzato in prossimità del locale caldaia e separato da esso da un muro divisorio.

Utilizzo finale

L'utilizzo finale del combustibile legno si identifica con la sua combustione in un idoneo apparecchio che produce calore per il riscaldamento.

Il presente documento, tra tutti i generatori a legno disponibili sul mercato, prende in considerazione unicamente quelli "innova-



Attenzione!!

Ricordarsi che nei piccoli generatori di calore a legno (caldaie, termocamini ecc.) è permesso utilizzare solo legno naturale ("vergine") privo di vernici e additivi chimici. Sono pertanto assolutamente da evitare, anche se disponibili gratuitamente, legno compensato, truciolato e affini, ma anche carta e cartone poiché provocano emissioni particolarmente dannose per l'ambiente.

*La stufa a legna
non è un secchio
della spazzatura*



tivi”, cioè quelli che possiedono rendimento termico elevato e necessitano di un ridotto impegno di gestione.

Schematicamente, in base alla loro potenza nominale, i generatori di calore a legno possono essere distinti in classi di grandezza: piccoli, medi e grandi. Nella classe dei piccoli generatori (potenza fino a 100 kW) è ancora possibile individuare la categoria dei generatori per uso monofamiliare con potenza nominale fino a 35 kW.

L’attenzione del presente opuscolo si limita ai piccoli generatori che, rispetto ad altri, utilizzano quantità maggiori di legno, ed hanno potenzialità importanti di sviluppo nel medio periodo.

I piccoli generatori innovativi a legno possono utilizzare combustibili in pezzature differenti⁹: tronchetto, cippato o pellet.

Le prestazioni termiche dei generatori innovativi sono elevate indipendentemente dal tipo di combustibile utilizzato.

La quasi totalità dei piccoli generatori di calore attivi funziona a tronchetti.



⁹ I sistemi a pellet non sono di interesse del presente documento per i costi elevati del combustibile, per l’odierna mancanza di garanzia che lo stesso sia solo ottenuto da legno “vergine” e per la sua provenienza quasi tutta fuori regione.

Riscaldamento a Legno

I generatori di calore con potenze termiche nominali fino a 35 kW utilizzano l’acqua come fluido termovettore e sono utili per riscaldare abitazioni con superfici indicativamente fino a 200 m², ovvero fino a 300 disponendo di un accumulatore termico (vedi più avanti). In alternativa esistono sistemi ad aria calda, più adatti alle seconde case.

Il caricamento del legno nei generatori viene effettuato soprattutto manualmente utilizzando tronchetti di varia misura (30, 50, 100 cm).

Alcuni piccoli sistemi, meno diffusi, funzionano a scaglie di legno (cippato). In questo caso il caricamento può essere manuale o meccanizzato. Nella seconda modalità viene raggiunta un’autonomia di alimentazione piuttosto elevata: fino a una settimana (e oltre), a piena potenza.

Efficienza di un generatore di calore

Il raggiungimento dell’efficienza ottimale di un generatore di calore viene ottenuto dalla concomitante presenza dei seguenti elementi essenziali:

- tecnologia avanzata dell’apparecchio (a cura del produttore)
- corretto dimensionamento del generatore rispetto all’utenza (impiantista)
- corretta realizzazione e regolazione dell’impianto (installatore)
- buona qualità del combustibile utilizzato (fornitore)
- corretta gestione dell’impianto (utente finale)

Classificazione dei piccoli generatori a legno

I piccoli generatori di calore a legno sono distinguibili fra loro secondo varie caratteristiche fra cui:

tecnologia con cui sono costruiti:

- tradizionale (stufe, cucine, camini e caldaie a basso rendimento - < 50%)
- innovativa (stufe, cucine, camini e caldaie a rendimento elevato - > 70-80%)

secondo la pezzatura del combustibile utilizzato:

- tronchetti o bricchetti
 - cippato
 - pellets

rispetto al tipo di tiraggio dell'aria comburente:

- a tiraggio naturale
 - con aria soffiata
 - con aria aspirata

rispetto al sistema di distribuzione del calore

- centralizzata: - ad acqua
- ad aria
- singola per irraggiamento



Evoluzione dei generatori di calore a legno

Un po' di storia

Fino all'ultimo conflitto mondiale il legno era uno dei principali combustibili a uso domestico utilizzati in Europa ed in Italia.

In seguito, con la sempre maggior disponibilità di combustibili fossili a prezzi decrescenti, si sono ridotti gli utilizzatori del legno, rimanendo in funzione solo più quelli economicamente marginali e "anziani". Anche l'interesse dell'industria del settore si riduce e vengono meno gli investimenti per le continue innovazioni tecnologiche dei sistemi.

Il declino del legno quale risorsa energetica termina con le crisi petrolifere degli anni 70, quando i Paesi occidentali, per ridurre la loro dipendenza dal petrolio arabo, attivano studi e ricerche rivolti a fonti energetiche alternative.

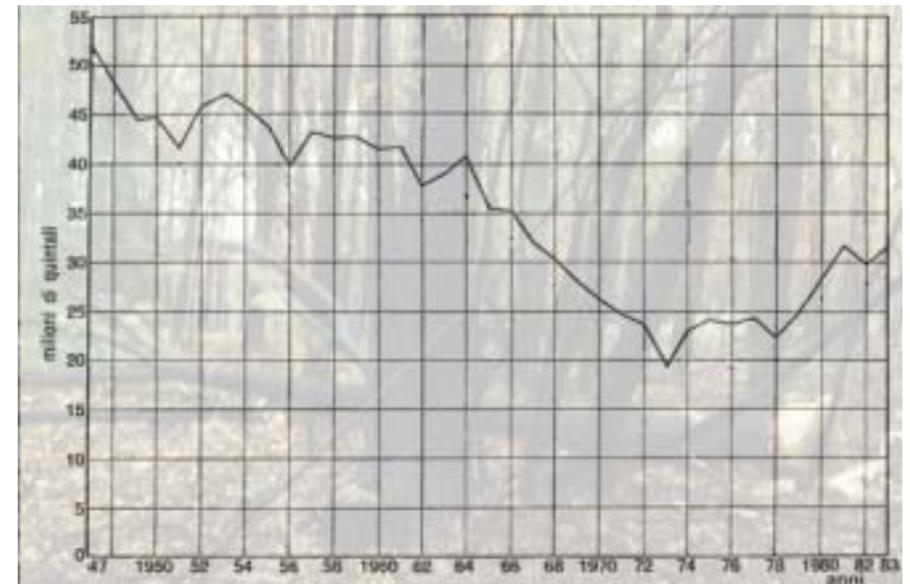


Fig. 14 - Andamento dei prelievi di massa legnosa (espresso in peso) destinata a combustibile dai boschi italiani nel periodo dal 1947 al 1983. Tratto da G. Giordano, Tecnologia del legno Vol III, 1987.

Tra le ipotesi avanzate ritorna in auge l'opzione del legno come combustibile. Le principali motivazioni a sostegno di questa nuova tendenza sono:

- il bosco è una forma di uso del suolo molto diffuso nei paesi occidentali;
- il legno, se prelevato in modo programmato ed equilibrato, può considerarsi materia prima rinnovabile e quindi virtualmente inesauribile;
- su particolari soprassuoli boschivi, esigenze fitosanitarie e di salvaguardia del territorio impongono l'adozione di specifiche operazioni colturali come i tagli periodici (ceduo);
- il legno ricavato dalle operazioni forestali di miglioramento boschivo non è destinabile come materiale da opera, ma pienamente utilizzabile come combustibile;
- la filiera legno-energia può contribuire positivamente all'occupazione delle popolazioni locali.

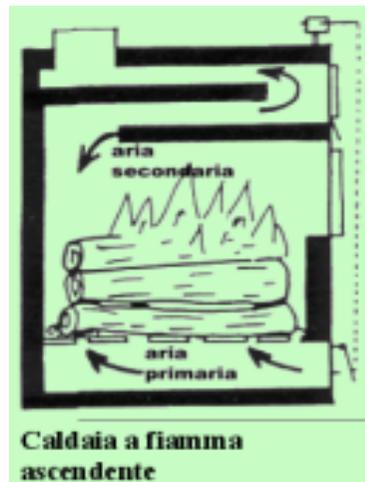
In Italia, la diffusione di sistemi di combustione innovativi a legno ad alto rendimento non ha purtroppo seguito in tempi brevi la fase di studi e di esperienze divulgative iniziali; ancora oggi infatti tra i sistemi applicati prevalgono quelli di tipo non innovativo.

I combustori innovativi

I combustori innovativi sono apparecchi studiati per produrre calore in sicurezza e in pieno comfort, in accordo con le esigenze dell'uomo contemporaneo.

I progressi hanno particolarmente interessato l'autonomia di gestione ed il rendimento termico dei sistemi a legno.

Per quanto riguarda l'autonomia di gestione sono state adottate soluzioni progettuali ed impiantistiche che permettono oggi di

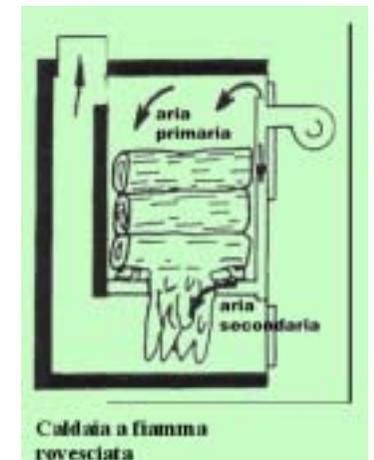


disporre di generatori di calore capaci di funzionare in continuo per tempi lunghi, evitando i frequenti interventi, un tempo usuali, di alimentazione e di rimozione della cenere.

Gli apparecchi alimentati a tronchetto, per esempio, raggiungono autonomie di almeno 8-12 ore, quelli a cippato anche di una settimana e oltre. Per i sistemi a tronchetto il risultato è stato ottenuto, a parità di potenza, con una camera di combustione ampliata capace di ospitare quantità nettamente superiori di combustibile e per questo chiamata correntemente "magazzino". Nei sistemi a cippato, realizzando depositi di legno collegati meccanicamente in modo automatico e programmabile alla camera di combustione.



In termini di rendimento termico, i sistemi innovativi presentano valori di gran lunga migliorati, almeno il doppio, rispetto al passato, grazie a una combustione del legno più completa. Questa è stata ottenuta soprattutto con la separazione e taratura fine dell'aria comburente (ora anche preriscaldata) in due differenti flussi, capaci di ossidare completamente anche la componente volatile del legno, che a 300° C ne costituisce l'85% del peso secco.



Le migliorie hanno inoltre interessato ogni singolo componente del generatore, come la superficie di scambio di calore e i girifumo. Questi ultimi non necessitano più di continue pulizie grazie a nuove soluzioni progettuali e all'impiego di materiali più adeguati.

Una particolare menzione merita la sonda Lambda: dispositivo di ottimizzazione elettronico della combustione e di regolazione della potenza presente nelle caldaie a tecnologia più avanzata.

La regolazione tramite la sonda corregge senza interruzioni l'apporto di aria mantenendo la combustione ottimale in presenza di combustibile di qualità molto diverse.

Nonostante i progressi raggiunti, i generatori di calore sono comunque ancora in continuo miglioramento.

Accumulatori termici

Osservando i paesi all'avanguardia in questo campo si nota in particolare che l'adozione di un accumulatore termico nel circuito idraulico eleva ulteriormente il rendimento del sistema e incrementa sensibilmente la longevità del generatore e il suo comfort di prestazione con positivi risvolti anche dal punto di vista ambientale. L'accumulatore, consistente in un serbatoio chiuso e ben coibentato (con capacità da 500 a 2000 litri secondo la potenza del generatore), ha lo scopo di immagazzinare il calore prodotto dal generatore durante una carica di legno quando non è più richiesto dall'utenza, per restituirlo in un secondo momento, alla necessità. In questo modo si raggiungono diversi risultati positivi:

- si evita lo spreco di carburante durante le soste tecniche e le fasi di riavviamento dei generatori;
- la combustione viene mantenuta più a lungo alle condizioni ottimali di aria con vantaggi molteplici:
 - o minimizzazione delle condense nel circuito dei fumi;
 - o riduzione delle emissioni nell'ambiente;
 - o riduzione della necessità di manutenzione straordinaria all'impianto;
- pronta erogazione del calore immagazzinato;
- minor quantità di legno consumato;
- minor numero di carichi giornalieri.

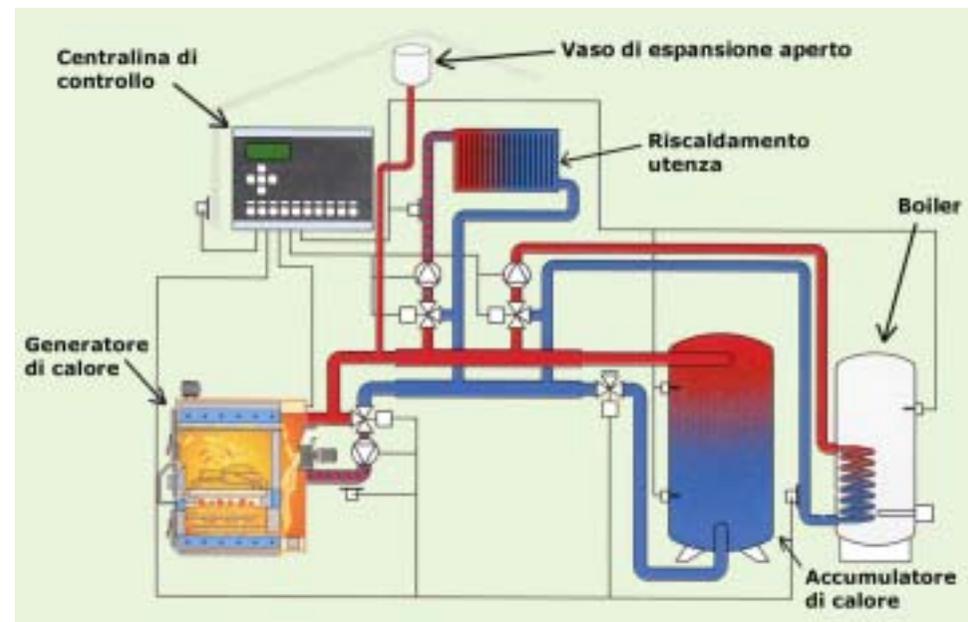


Fig. 15 - Schema tipo di impianto di riscaldamento a combustibile legnoso con accumulatore termico.

L'inserimento di un accumulatore termico rende il sistema utilizzabile anche nella stagione estiva per la produzione di acqua calda sanitaria immagazzinando periodicamente il calore prodotto una tantum dal sistema. Inoltre, gli accumulatori forniscono l'eventuale integrazione del calore prodotto dai generatori di calore a legno con quello ottenuto da pannelli solari, pompe di calore, o altri sistemi alternativi.

Solo da poco gli accumulatori di calore vengono commercializzati e installati in Piemonte. Nei paesi europei più evoluti in questo campo, (Germania, Svizzera, Austria) gli accumulatori rappresentano da tempo un'esigenza primaria: il costo aggiuntivo è infatti ampiamente compensato negli anni dal risparmio di combustibile, dal miglior comfort e da una maggior durata del sistema.

Combustione del legno

Rispetto agli altri combustibili solidi (carbone fossile o carbonella) il legno si differenzia perché, a temperatura relativamente bassa, libera quantità ingenti di sostanze volatili, anch'esse combustibili, in ragione dell'85% della massa anidra.

Disponendo di un tronco di legno assolutamente secco di 100 kg si può immaginare che a temperature di 100 - 350 °C esso si comporti come una bombola a gas, liberando 85 kg di sostanze volatili combustibili. A differenza di una bombola, però, anche il "contenitore" residuo, nella quota di 14 kg, è combustibile. La rimanente parte, 1 kg, è costituita da cenere.

In termini di calore prodotto le sostanze volatili concorrono nella quota del 67%, mentre il carbone fisso contribuisce nella quota del 33%¹⁰.

Perché il legno possa bruciare fornendo energia termica occorre inizialmente somministrargli del calore affinché possano in esso avvenire quei complessi fenomeni di degradazione dai quali si origineranno i

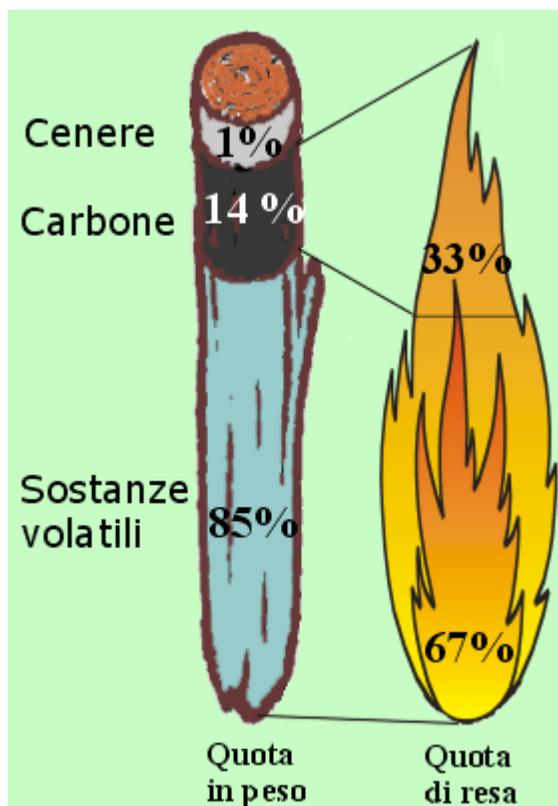
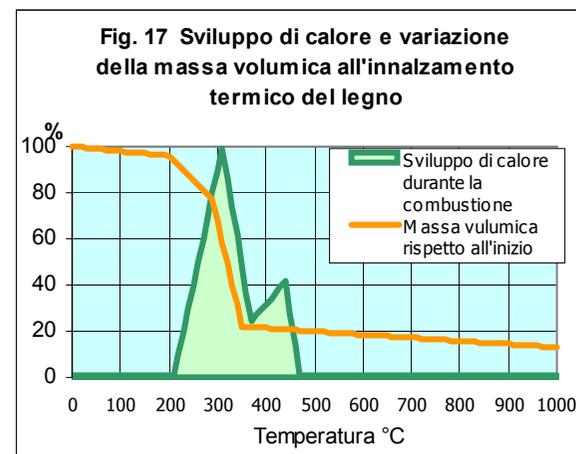


Fig. 16 - Quota in peso e resa energetica delle componenti solide e volatili del legno.

gas combustibili capaci di portare, in definitiva, ad un bilancio energetico positivo (produzione di calore). La condizione massima di produzione di calore avviene in concomitanza con la produzione delle sostanze volatili, figura 17¹¹



Durante la combustione del legno possono distinguersi diverse fasi di processo, dall'essiccamento iniziale, fino 100°C, al termine della combustione, dopo gli 800°C, vedi figura 17. Evidentemente la combustione della "parte gassosa" è molto differente da quella non gassosa. Infatti, mentre

la fiamma dovuta alla combustione dei gas si presenta molto lunga, al contrario quella relativa al carbonio fisso è appena rilevabile. Inoltre, mentre la parte gassosa si libera subito durante le prime fasi di combustione la restante parte è molto persistente.



¹⁰ "Riscaldare con il legno" Itabia - Aebiom

¹¹ 1981, Guglielmo Giordano, "Tecnologia del legno", volume I

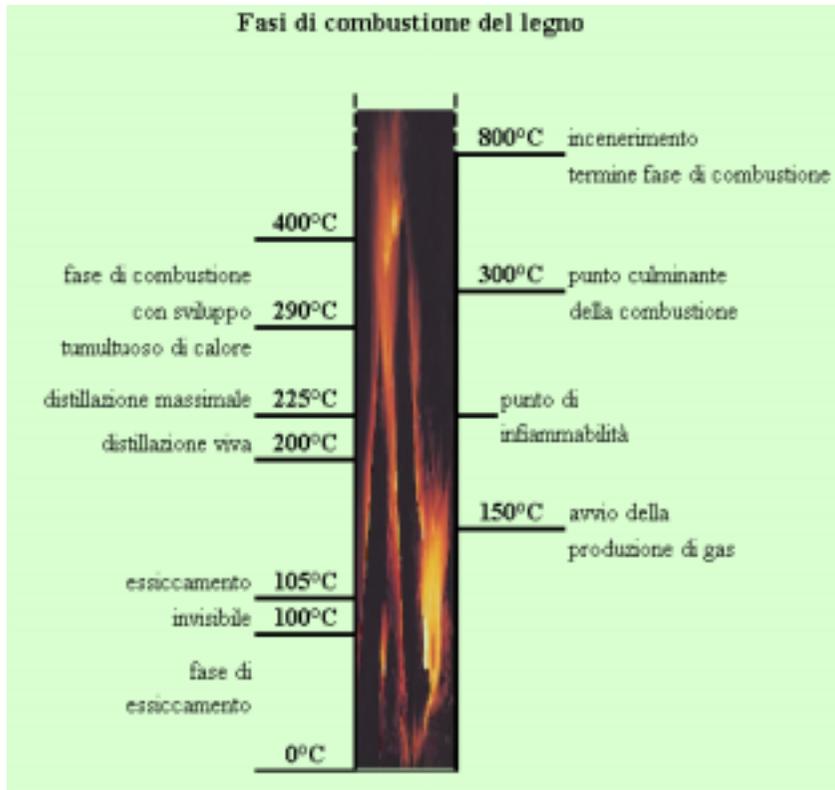


Fig. 18 – Fasi della combustione alle diverse temperature.

Nella camera di combustione di una vecchia stufa, o di alcuni nuovi generatori di concezione superata, il legno immesso nella caldaia, una volta acceso, partecipa completamente e "contemporaneamente" alla combustione: allo stesso momento tutto il legno produce "gas" e successivamente nello stesso momento tutto è ridotto in carbone. Ciò significa che la regolazione dell'aria, quando è adatta alla componente gassosa, non può esserlo per la parte solida e viceversa, con la conseguenza di un rendimento limitato. Lo stesso accade se il sistema è regolato sulla condizione di combustione media (contemporanea presenza di gas e carbone residuo): in questo caso il malfunzionamento si verifica nelle situazioni estreme di avvio e conclusione.

Nei generatori di calore innovativi a tronchetti il problema è stato risolto brillantemente con l'accorgimento, della "fiamma rovesciata", che attiva la combustione unicamente su una porzione limitata del combustibile. La parte combusta, riducendosi in cenere, viene quindi mano a mano sostituita, per caduta, da altro legno fino ad esaurimento della carica. Così facendo, per tutta la durata della carica si presenta la stessa miscela di "combustibile gas - solido", dove il carbone è presente come residuo della quota di legno in fase terminale di combustione e il "gas" è sprigionato dal nuovo legno appena avviato al processo.

L'innaturale direzione, antigravitazionale, della fiamma è permessa dal "risucchio" ottenuto dal circuito dei fumi che genera depressione ("tiraggio") proprio nella parte bassa della camera di combustione.

Nel caso dei combustori a legno cippato, la continua alimentazione del sistema, e quindi la produzione stabile della stessa miscela di "combustibile gas - solido", è regolata dal meccanismo di alimentazione (es. coclea) che assicura il trasporto di cippato dal magazzino fino alla camera di combustione.

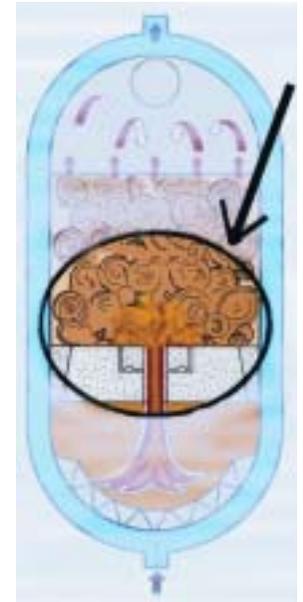


Fig. 19 – La combustione del legno avviene solo in una parte limitata del "magazzino" del generatore di calore.

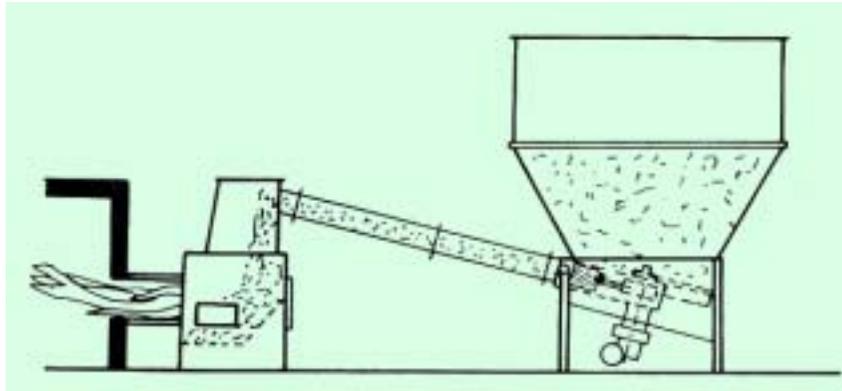


Fig. 20 – Schema di alimentazione e combustione di generatore a scaglie legnose.

In tutti i nuovi apparecchi, per assicurare la completa ossidazione del legno, sono stati studiati percorsi separati di aria comburente:

- aria primaria che avvia la combustione e la completa bruciando totalmente il carbone residuo,
- aria secondaria che ossida tutta la sostanza volatile combustibile liberata durante l'innalzamento termico all'avvio della combustione ("gassificazione").

Per assicurare per intero lo sfruttamento del calore formato, i sistemi sono dotati di percorsi di fumo alquanto sviluppati.

La gassificazione del legno non è prerogativa dei sistemi innovativi; tuttavia nei combustori tradizionali le sostanze volatili prodotte non sono completamente ossidate, né sfruttate poiché sfuggono dal camino ancora calde.

Emissioni comparate

Le emissioni prodotte durante la combustione sono costituite da polveri insieme a gas.

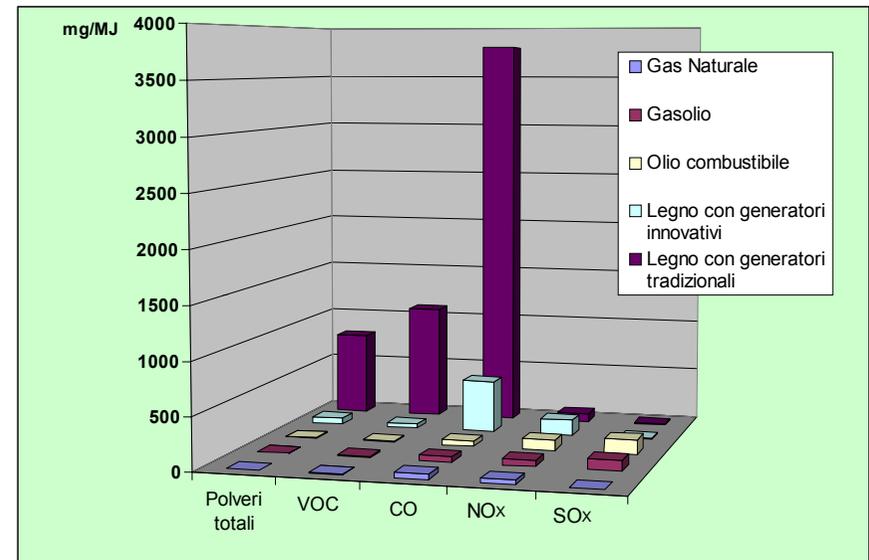


Fig. 21 – Emissioni prodotte dalla combustione di diversi combustibili. Fonte: Comunicazione privata Regione Piemonte Assessorato all'Ambiente Settore Risanamento acustico ed atmosferico. Media di dati rilevati su piccoli generatori di calore, Mussinatto (Regione Piemonte) e Barbero (Politecnico di Torino).

La figura permette di comparare le emissioni prodotte dalla combustione del legno in generatori di calore caratterizzati da due differenti livelli tecnologici: sistemi tradizionali domestici a tronchetto (monofamigliare) e sistemi innovativi a tronchetti e/o cippato. Le due tipologie di generatori di calore sono confrontati con equivalenti generatori alimentati a metano, gasolio e olio combustibile. Si osserva in particolare che i sistemi tradizionali a tronchetto presentano emissioni maggiori per quanto riguarda CO (monossido di carbonio), polveri e VOC (Componenti Organici Volatili - ovvero più genericamente sostanze volatili combustibili). Relativamente alle emissioni di SO_x (ossidi di Zolfo) l'olio combustibile e a seguire il gasolio si pongono tra i combustibili a maggior emissione. Si osserva, inoltre, che, nonostante l'utilizzo di sistemi innovativi, la combustione del legno comporta, a parità di energia sviluppata, emissioni maggiori di quelle prodotte

dall'utilizzo di combustibili fossili, eccezion fatta per gli SO_x e ovviamente per la CO₂.

Nella seguente figura vengono poste in relazione le emissioni di CO₂ da combustione di legno con quelle prodotte dalla combustione di olio combustibile, gasolio e metano.

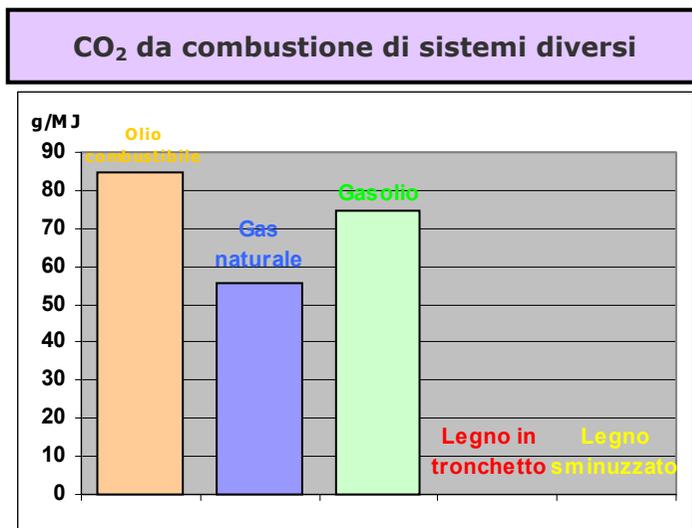


Fig. 22 – Il grafico mostra il livello di emissione di CO₂ prodotta dalla combustione di diversi combustibili. Fonte: Comunicazione privata Regione Piemonte Assessorato all'Ambiente Settore Risanamento acustico ed atmosferico. Media di dati rilevati su piccoli generatori di calore, Mussinatto (Regione Piemonte) e Barbero (Politecnico di Torino).

Consigli per l'utente

Scelta della Caldaia

La scelta della caldaia deve essere effettuata in base alle esigenze termiche dell'utenza considerato il reale fabbisogno di calore. Il dato viene calcolato da un professionista qualificato secondo una metodologia descritta dalle relative Norme UNI, tenendo in considerazione le caratteristiche costruttive del fabbricato (materiali, coibentazione, posizione delle stanze), la destinazione d'uso, l'esposizione e l'ubicazione.



Tab. 4 - Potere calorifico del legno

Specie legnosa	Potere calorifico superiore assoluto teorico kcal/kg	Peso specifico kg/mc	Potere calorico inferiore assoluto effettivo kcal/kg	Potere calorifico inferiore specifico kcal/mc
ABETE BIANCO	4.650	440	3.720	2.046.000
ABETE ROSSO	4.857	450	3.886	2.185.650
ACERO	4.607	740	3.686	3.409.180
BETULLA	4.968	650	3.974	3.229.200
CARPINO NERO	4.640	820	3.712	3.804.800
CASTAGNO	4.599	580	3.679	2.667.420
CERRO	4.648	900	3.718	4.183.200
CIPRESSO	5.920	620	4.736	3.670.400
FAGGIO	4.617	750	3.694	3.462.750
FRASSINO	5.350	720	4.280	3.852.000
LECCIO	4.329	950	3.608	3.427.200
LARICE	4.050	660	3.240	2.673.000
ONTANO	4.400	540	3.520	2.376.000
ORNIELLO	4.059	760	3.382	2.570.000
PLATANO	3.539	690	2.949	2.034.900
PIOPPO CIPRESSINO	4.130	500	3.304	2.065.000
ROBINIA	4.500	790	3.600	3.555.000
ROVERELLA	4.631	880	3.705	4.075.000

Tab. 5 - Dati medi di riferimento

Legno in pezzi	Umidità* %	P.C. kcal/kg
Anidro	0	4500
Essiccato al chiuso	8	4000
Essiccato all'aperto	17	3500
Essiccato in bosco	>30	2700
Fresco di taglio	40-60	2400-1400

*Umidità sul peso umido

Particolarmente importante risulta evitare di sovradimensionare la potenza della caldaia rispetto al fabbisogno energetico dell'edificio fatto che, soprattutto durante le stagioni intermedie, provoca eccessive soste del sistema, causando sensibile riduzione del rendimento termico e aumento del rischio di formazione di condense. La condensa, a sua volta, pregiudica la durata della caldaia stessa.

Stabilito il fabbisogno termico dell'edificio, occorre scegliere la potenza della caldaia da installare. Questa dipende dal fabbisogno ma anche dal combustibile utilizzato. Il potere calorifico inferiore infatti è caratteristico dalla specie legnosa utilizzata e soprattutto dal suo contenuto in umidità.

Definizioni:

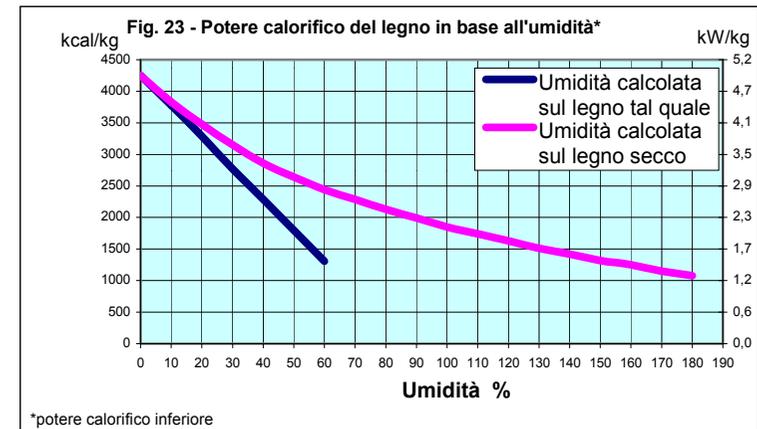
- potere calorifico (pc): esprime la quantità di calore prodotto da un kg di combustibile
- potere calorifico superiore (pcs): pc che comprende il calore ceduto durante la condensazione dell'acqua vapo-rizzata nella combustione
- potere calorifico inferiore (pci): pc che non comprende il calore di condensazione
- pci assoluto: pci espresso rispetto all'unità di peso
- pcs assoluto teorico: equiparabile al pci del legno in condizione di completa secchezza (situazione irraggiungibile nella realtà quotidiana)
- pci effettivo: si riferisce al potere calorifico del legno in condizioni normali di umidità (poco meno del 20% calcolato sull'umido)
- peso specifico: esprime la densità di un materiale ovvero il peso dell'unità di volume, in questo caso il peso di 1 mc di legno
- pci specifico: rappresenta il potere calorifico nell'unità di volume, ovvero il calore prodotto da 1 mc di legno
- anidro: condizione di completa assenza di umidità, pratica-mente irraggiungibile in natura
- peso umido: peso del legno in condizione di umidità "tal quale"

Nell'impossibilità di utilizzare sempre legno con poca umidità è opportuno fare i conti pensando ad un contenuto di umidità più elevato (maggiore di 25 %), da cui l'opportunità di un leggero sovradimensionamento della caldaia.

Rispetto alle caratteristiche termiche di un edificio è utile sapere che una abitazione ben coibentata può richiedere anche metà del calore di un abitazione "normale", a vantaggio della riduzione della potenza della caldaia con conseguente riduzione dei consumi e dell'impegno per la gestione.



Rapporto tra potere calorifico e contenuto di acqua nel legno



Dispersioni termiche nelle abitazioni: fattori di criticità

Nel calcolo delle calorie necessarie per garantire i 20° C indicati dalla legge, molto importante risulta la valutazione dei fattori di criticità.

Individuazione delle principali cause di dispersione termica e loro rimedi:

- **Infissi:** gli infissi (finestre e porte) costituiscono dei veri e propri scambiatori di calore con l'esterno. Infissi vecchi, fatti in metallo, privi di vetri doppi e magari usurati o deformati, permettono il passaggio di spifferi d'aria con elevata fuoriuscita di calore. Anche il cassettoni dell'avvolgibile, se non opportunamente coibentato, costituisce un elemento di dispersione importante; 
- **posizione degli elementi radianti:** in molti casi, i termosifoni sono correttamente posizionati lungo le pareti esterne dell'edificio all'interno di una nicchia ricavata sotto una finestra. Spesso, però, in corrispondenza della nicchia il muro perimetrale si presenta molto sottile provocando notevoli dispersioni termiche. In questo caso sarebbe utile inserire, tra il termosifone e la parete, un pannello di materiale isolante, possibilmente con una faccia riflettente verso l'interno;
- **tetto e muri perimetrali:** considerata la tendenza del calore a salire è particolarmente importante dotare il tetto o il soffitto di sistemi di coibentazione molto efficienti. E' opportuno, comunque, che anche i muri confinanti con l'esterno siano coibentati; 
- **impianto radiante:** per elevare l'efficienza di un impianto radiante è bene minimizzarne le dispersioni di calore lungo il circuito idraulico, prevedendo sempre una coibentazione delle tubature di trasporto del fluido di riscaldamento;

- **ponti termici:** sono aree, a volte molto circoscritte, che per motivi strutturali costituiscono elementi di forte scambio termico, quindi di dispersione del calore, con l'esterno. L'intelaiatura portante in cemento armato dell'abitazione o gli infissi in metallo ne sono classici esempi.

Come scegliere la potenza ideale del nostro generatore?

In base al fabbisogno energetico dell'edificio da riscaldare che dipende dal:

- numero e dimensioni dei locali
- isolamento dell'edificio
- sistema di regolazione, di distribuzione e di emissione del calore

In ogni caso il generatore a legno non va mai dimensionato oltre il fabbisogno, tenendo conto del combustibile disponibile, poiché l'ottimizzazione del suo funzionamento avviene a pieno regime.

Tab. 6 - Umidità del legno combustibile

Assortimenti	Contenuto d'acqua % ¹²	Umidità del legno % ¹³
Trucioli freschi (dal bosco)	20-50	25-100
Trucioli depositati al coperto (sotto un tetto)	20-30	25-43
Trucioli essiccati all'aria	15-20	18-25
Legno in pezzi proveniente dal bosco	40-50	70-100
Legno spaccato corto, depositato al coperto, dopo 1 anno	30-35	45-55
Legno spaccato corto, depositato al coperto, dopo 2 anni	20-25	25-33
Scarti di segheria	25-60	33-150
Scarti di carpenteria	13-20	15-25
Scarti di falegnameria	7-17	7-20

Fonte ASEL (CH) – Elaborazione IPLA

Tab. 7 - Fabbisogno annuo indicativo di combustibile per m² di riferimento di fabbricato da riscaldare*

combustibili	edifici nuovi	edifici vecchi	Unità di misura
cippato	0,08 – 0,1	0,09 – 0,16	m ³ /m ²
tronchetto	16-20	18-32	kg/m ²
olio	8	9 -14	kg/m ²

* dati riferiti a piccoli generatori di calore

¹² Umidità sul legno umido.¹³ Umidità sul legno secco.

Accumulatore di calore



Fig. 24 - Accumulatore di calore.

L'accumulatore di calore (puffer) è un contenitore, di capienza variabile (500 – 2000 litri e oltre), ben coibentato esternamente e opportunamente costruito per immagazzinare acqua calda prodotta dal generatore quando il calore, momentaneamente, non viene richiesto dall'utenza. E' una soluzione tecnica molto diffusa nei paesi di lingua tedesca, particolarmente avanzati in questo campo. Il volume dell'apparecchio deve essere dimensionato in rapporto alla potenza del generatore (approssimativamente 25 litri di acqua per ogni kW di potenza utile della caldaia). I vantaggi dell'adozione dell'accumulatore ricadono sia sul comfort del sistema in quanto la distribuzione del calore diventa maggiormente programmabile e continua, sia sulla sua efficienza e durata, riducendo le frequenti soste e riavviamenti, negativi per il rendimento termico e la

formazione di condense nel percorso dei fumi.

Alcuni accumulatori sono in grado di accogliere l'acqua calda prodotta da più generatori (pannelli solari) o servire utenze diverse (bollitore per acqua sanitaria, pannelli radianti, ecc.). Indicativamente i prezzi di un accumulatore oscillano dai 500,00 Euro per un serbatoio da 500 litri fino a 4.000,00 Euro per uno da 5.000 litri.

Locale caldaia

(Individuazione/progettazione)

La normativa vigente prescrive un apposito locale caldaia per i generatori di calore con potenza nominale al focolare maggiore di 35 kW. Il locale deve essere provvisto di tutte le disposizioni antincendio e dotato di apertura verso l'esterno di adeguate dimensioni per garantire un ricambio d'aria sufficiente, considerato l'ossigeno consumato nella combustione. Si consiglia anche per i generatori di potenzialità ridotta di seguire le stesse indicazioni.

Per caldaie di potenza superiore a 116 kW è necessario il rilascio del Certificato di Prevenzione da parte dei Vigili del Fuoco.

- È vietata la presenza o la successiva installazione di:
 - Pompe di calore
 - Condotti di ventilazione
- Possono essere presenti apparecchi che funzionano in modo stagno.

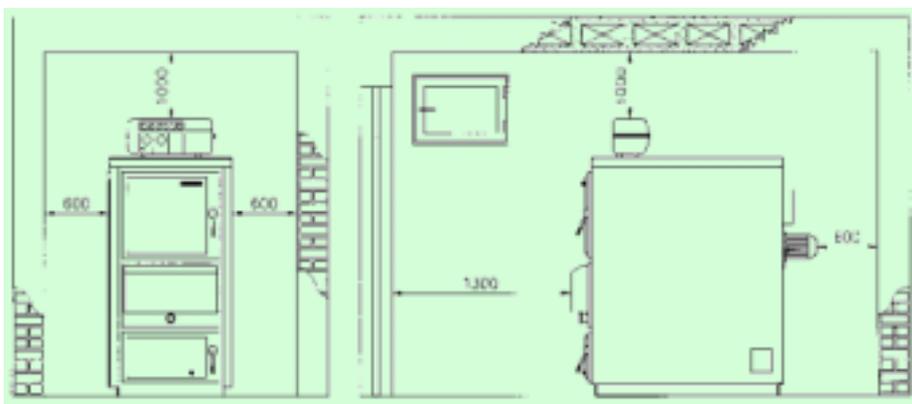


Fig. 25 – Schema di locale caldaia con le distanze minime tra il generatore e le pareti.

Avvertenze generali

Ognuno dei marchi e talvolta dei modelli di generatori di calore presenta avvertenze generali peculiari. L'argomento pertanto è rimandato alla lettura attenta del libretto d'istruzione che accompagna ogni generatore.

Installazione caldaia

L'installazione del generatore di calore deve essere effettuata da un tecnico qualificato in grado di rilasciare il certificato di conformità ai sensi della legge 46/90.

Importanti risultano le indicazioni riportate sul **Libretto di Istruzioni** del costruttore che **devono essere seguite attentamente durante l'installazione della caldaia per garantirne un funzionamento corretto.**

La caldaia a legno produce calore, seppure in quota limitata, anche dopo l'arresto della ventola. Per evitare l'insorgere di problemi dovuti all'inerzia termica (che può elevare la temperatura dell'acqua di 5°C) è consigliabile installare un termostato antinerzia che attiva una pompa di ricircolo verso un accumulatore di calore (puffer) oppure verso un bollitore a.c.s.⁽¹⁴⁾ In questo modo, il calore prodotto in eccesso viene scaricato, ma non perso e non si determinano condense corrosive all'interno della caldaia.

Per agevolare la pulizia del circuito fumo è necessario lasciare davanti alla caldaia uno spazio non inferiore alla lunghezza della caldaia e verificare che lo sportello si apra comodamente senza incontrare ostacoli.

La caldaia può essere appoggiata direttamente sul pavimento anche se è preferibile disporla su uno zoccolo in cemento, appositamente

¹⁴ a.c.s. = acqua calda sanitaria

realizzato, per elevarne la stabilità e ridurre i problemi di formazione di umidità.

Il posizionamento della caldaia deve rispettare le distanze tra caldaia e pareti del locale, secondo le indicazioni del Libretto di Istruzioni (almeno 60 cm per lato ed 1 metro frontale).

La caldaia montata deve risultare perfettamente orizzontale (in bolla) e ben stabile per ridurre eventuali vibrazioni e rumorosità.

I generatori di calore funzionanti con combustibile solido, come il legno, devono essere collegati ad impianti idrici provvisti di vaso di espansione aperto, di cui è importante assicurarsi il mantenimento della funzionalità nel tempo.

Per favorire il lavoro a regime della caldaia anche durante le mezze stagioni, quando sono ridotte le esigenze termiche, è consigliabile installare una valvola miscelatrice capace di regolare in modo ottimale la temperatura di mandata dell'acqua.

Di fondamentale importanza per il buon funzionamento e la sicurezza dell'impianto è, inoltre, la conoscenza della durezza dell'acqua utilizzata nell'impianto: acque molto dure potrebbero provocare incrostazioni sulle superfici di scambio. Le incrostazioni, caratterizzate da una bassa conducibilità termica, riducono l'efficienza termica e, soprattutto, creano surriscaldamenti localizzati che potrebbero indebolire alcune parti strutturali della caldaia. Ove necessario (durezza superiore a 20° francesi o reintegri frequenti di acqua) è consigliabile effettuare un trattamento dell'acqua dell'impianto, con l'aggiunta di prodotti chimici specifici.

Canna fumaria - Camino

La canna fumaria è il condotto collegato al generatore di calore che convoglia i fumi di combustione all'esterno dell'edificio.

Si chiama camino la parte terminale della canna fumaria che sporge oltre il tetto.

La canna fumaria ha il compito di allontanare i gas prodotti dalla combustione e rappresenta una componente essenziale per il buon

funzionamento di ogni generatore di calore. Pertanto, il posizionamento, l'inclinazione, l'adattamento del camino devono seguire regole precise affinché il tiraggio sia adeguato alla caldaia (potenza e tipo di combustibile). È necessario che la canna fumaria sia realizzata con materiali adatti, resistenti alla temperatura ed alla corrosione, (es. acciaio inox); inoltre deve essere impermeabile e ben isolata termicamente, per evitare formazioni di condensa.

Se il camino è già esistente, si dovrà inserire al suo interno una canna metallica e riempire l'intercapedine con materiale coibente. Un'alternativa efficiente, seppur onerosa, è rappresentata dall'utilizzo di una canna fumaria prefabbricata costituita da una doppia struttura metallica, coibentata internamente.

Camini mal dimensionati, con tiraggio insufficiente, provocano spegnimento della caldaia a legno nei periodi di sosta. Al contrario un tiraggio naturale troppo elevato provoca dispersione termica dai fumi con conseguente aumento del consumo di legno.

Il camino dovrà sempre superare il colmo del tetto di almeno 50 cm ed avere la sezione di uscita grande almeno il doppio di quella della canna fumaria. Dovendo inserire curve nel percorso della canna fumaria è importante che non abbiano inclinazione inferiore ai 45°, per favorire l'evacuazione dei fumi caldi prodotti.

Ogni canna fumaria deve evacuare i gas combusti di un unico generatore di calore, per evitare di diffondere negli ambienti i fumi di altri generatori. Solo nel caso di camini appositamente progettati e di

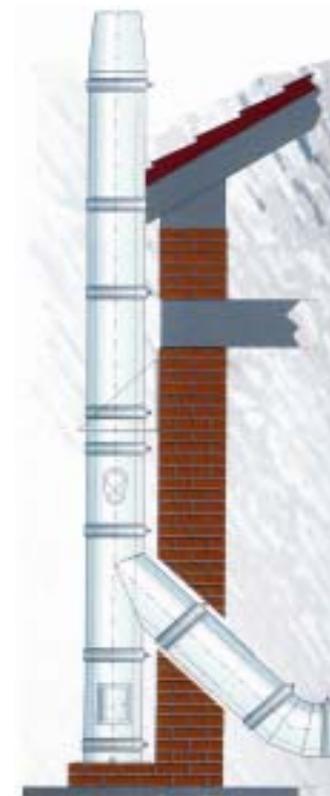


Fig. 26 - Esempio di canna fumaria coibentata.

affiancamento di un generatore di calore a legno con uno a gasolio (non con uno a gas che è tassativamente vietato) è possibile lo scarico nella stessa canna fumaria.

Gestione della caldaia

Con il termine "gestione" si intende l'insieme delle operazioni necessarie per il buon funzionamento della caldaia.

Di seguito sono presentate alcune fasi di gestione comuni ad ogni piccola caldaia innovativa a legno. Ogni marchio e modello però può differenziarsi dagli altri per particolari anche essenziali. Si invita pertanto caldamente ogni utente a seguire attentamente quanto riferito nel Libretto di Istruzione della propria caldaia.

Nonostante la relativa complessità delle singole fasi di gestione, dopo una fase iniziale di apprendimento, queste non richiedono mediamente un tempo superiore a 10-15 minuti al giorno.

Avviamento caldaia

Fasi preliminari:

- accertarsi di aver rispettato durante l'installazione tutte le indicazioni e le precauzioni contenute nel Libretto di Istruzioni (es. impianto ben sfiatato, collegamenti elettrici corretti, corretto posizionamento del catalizzatore superiore, che deve appoggiare alla porta inferiore per garantire i tre giri di fumo);
- dare tensione al quadro comandi;
- tenere aperto solo il portello del vano di caricamento del legno che presenta nella parte inferiore il bruciatore.



Fig. 27 – Operazione di caricamento di una caldaia a tronchetto.

Fasi operative:

- **accensione:** porre sopra il bruciatore carta e alcuni pezzi di legno per produrre braci rapidamente (aprire il by-pass negli apparecchi che ne sono provvisti), quindi accendere e seguire i suggerimenti indicati dal fabbricante. Appena si è formato uno strato di bruce, indicativamente dello spessore di 5 cm, è possibile effettuare il caricamento vero e proprio;
- **caricamento:** distribuita la bruce sopra tutto il bruciatore, si effettua il carico con tronchi di legno della lunghezza del focolare. È molto importante che il legno sia disposto regolarmente senza pezzi inclinati che incastrandosi pregiudicano la discesa e la combustione continua e regolare. Se si inseriscono legni di lunghezza inferiore è necessario riempire la caldaia in ogni sua parte mettendo alcuni pezzi in senso trasversale ad occupare tutti gli spazi, ma sempre in posizione orizzontale in modo da favorire la discesa uniforme.

Gli accorgimenti devono essere rispettati anche per le ricariche successive.

Una nuova ricarica di legno va effettuata solo quando nel focolare sono rimasti circa 5 cm di bruce.⁽¹⁵⁾

Regolazione dell'aria: per ottenere una combustione ottimale è importante regolare l'aria primaria e secondaria, in funzione del tipo di legno (specie, pezzatura e umidità):

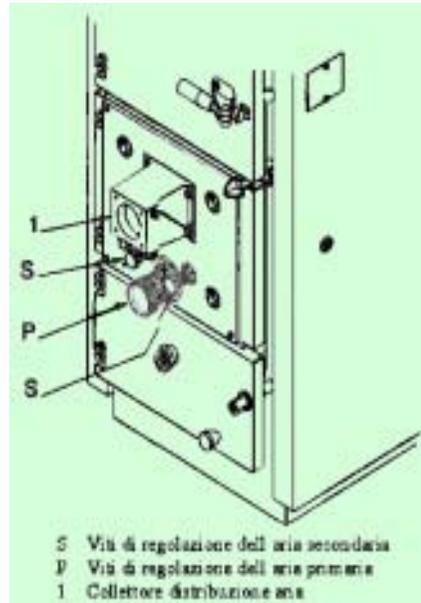
- **aria primaria:** l'aria primaria determina la potenza della caldaia (più è aperta, più la caldaia sviluppa potenza e più legno viene bruciato). Con legno sottile, bene asciutto e molto infiammabile, serve poca aria primaria; con legno umido e grosso necessita più aria primaria;

¹⁵ Secondo l'opinione diffusa dei fabbricanti l'utilizzo di faggio è consigliato solo mescolato con altro legno poiché nella combustione si produce molto acido acetico che riduce la durata della caldaia.

- **aria secondaria:** l'aria secondaria serve a completare la combustione rendendo la fiamma più ossidante. Le conseguenze sono:

- raggiungimento di elevate temperature nel bruciatore
- riduzione delle sostanze incombuste ed inquinanti
- ottenimento di rendimenti più elevati.

La regolazione fine dell'aria secondaria va effettuata quando la caldaia è a regime, circa un'ora dopo l'avviamento.



L'uscita di fumo nero dal camino denuncia una combustione incompleta, ovvero un'insufficiente immissione di aria secondaria.

Se l'aria primaria è in eccesso:

- nella cenere saranno presenti piccoli pezzi di carbone,
- la fiamma risulterà veloce e rumorosa.

Se la fiamma risulta piccola e lenta significa che l'aria primaria è insufficiente.

L'aria secondaria è in eccesso quando la fiamma si presenta piccola e blu, in difetto quando è arancione e scura

Con l'uso si raggiungerà un'esperienza sufficiente per la corretta regolazione dell'aria.

Utilizzo della caldaia

È importante utilizzare legno ben stagionato e asciutto, conservato in luogo idoneo. L'utilizzo di legno con umidità superiore al 20 - 25% favorisce formazioni di condense. Lo stesso può accadere in caso di carichi eccessivi rispetto al fabbisogno termico del momento.

COME UTILIZZARE CORRETTAMENTE UN SISTEMA DI RISCALDAMENTO A LEGNO

- usare legno secco:
 - sufficientemente stagionato
 - stoccato in locali asciutti e aerati
- mantenere la combustione a piena potenza
- preferire essenze non resinose
- usare pezzature uniformi e delle dimensioni richieste dai vari tipi di caldaia
- mantenere pulita la canna fumaria
- seguire dettagliatamente le indicazioni riportate sul Libretto di Istruzioni del generatore

ATTENZIONE: il generatore a legno non è un inceneritore di spazzatura! Va pertanto utilizzato per bruciare soltanto legno non trattato chimicamente (colle, vernici, ecc.) e carta limitatamente alla fase di accensione.

Le cariche sovrabbondanti causano anche la distillazione del legno (con produzione di catrame che può colare esternamente alla caldaia) e fuoriuscita di quantità significative di gas combustibile dal camino. Per evitare ciò è bene ridurre, soprattutto nelle mezze stagioni, l'entità

delle cariche. L'adeguamento delle cariche alle esigenze termiche si acquisisce facilmente con un po' di esperienza, in questo modo viene massimizzato il rendimento, minimizzata l'emissione di prodotti di combustione nocivi e ridotta la produzione di condense nel circuito dei fumi.

Pulizia della caldaia

I sistemi innovativi sono realizzati in modo tale da ridurre gli interventi di manutenzione. Operativamente i generatori di calore necessitano di pulizie da effettuarsi con periodicità differente a seconda della parte interessata. Per quanto riguarda la cenere sono oggi presenti cinerari molto capienti e scambiatori di calore realizzati in modo tale da ridurre la periodicità di intervento.

E' consigliabile rimuovere giornalmente la cenere accumulata nell'apposito cassetto nel cinerario e settimanalmente dalle superfici di scambio termico all'interno del vano di caricamento. Periodicamente sono da verificare le fessure della griglia, facendo attenzione che non siano otturate.

Ogni due mesi circa è importante rimuovere la polvere dal ventilatore.

Note finali

Come è stato accennato in precedenza l'efficienza dei generatori di calore dipende da diversi fattori che coinvolgono altrettanti soggetti (vedi capitolo *Riscaldamento a legno* a pag. 33).

Da studi effettuati emerge che gli anelli più deboli dell'ideale "catena dell'efficienza", siano soprattutto la realizzazione dell'impianto e la sua gestione.

Manutenzione ordinaria della caldaia

Una manutenzione accurata e regolare mantiene efficiente la caldaia, ne prolunga il funzionamento e contribuisce a ridurre le emissioni e i consumi di legno.

A questo proposito sono numerose le testimonianze di impianti installati senza alcune delle sicurezze indicate dai fabbricanti o addirittura privi dei collegamenti al vaso di espansione aperto, oppure male allacciati alla rete elettrica, oppure, ancora, collegati ad una canna fumaria inefficiente. I rischi non hanno solo rilevanza in termini di efficienza termica, ma anche in termini di pericolo reale per persone e cose.

Si raccomanda pertanto di affidarsi a professionisti seri capaci di eseguire bene il loro lavoro e in grado di rilasciare una dichiarazione di esecuzione "a regola d'arte" del lavoro realizzato, ai sensi della legge 46/90.



Problemi e soluzioni – caldaia a tronchetto

Anomalia	Possibili cause	Rimedi
Difficoltà nell'effettuare il primo avviamento	Brucciato ostruito	Effettuare una pulizia accurata del bruciatore
	Utilizzato legno troppo grosso e/o umido	Usare legno di pezzatura più piccola e meglio stagionata (secca)
	Mancanza di aria di ricambio nell'ambiente	Creare nel locale un'apertura verso l'esterno per assicurare una sufficiente aerazione
	Scarso tiraggio del camino	Modificare il camino fino ad ottenere una depressione di almeno 1 mm di colonna d'acqua
Difficoltà nell'ottenere l'inversione di fiamma durante il funzionamento	Ventilatore fermo	Verificare l'attivazione del ciclo agendo sull'interruttore generale. Verificare il regolare inserimento della spina di alimentazione. Intervenire sul termostato.
	Passaggio dei fumi ostruito	Pulire i tubi del fumo e rimuovere tutta la cenere depositata nel cassetto
	Serrande di regolazione dell'aria troppo chiuse	Aprire le serrande dell'aria primaria e secondaria
	Sistema di regolazione dell'aria ostruito	Smontare il/i pannello/i dove ci sono le serrande di regolazione dell'aria e togliere le eventuali incrostazioni di catrame dal pannello e dai condotti dell'aria. Ripristinare le guarnizioni prima di richiudere.
	Camino ostruito dalla cenere	Rimuovere la cenere dai tubi di collegamento della caldaia al camino ed eventualmente il camino

L'acqua della caldaia tende ad andare in ebollizione	Serranda basculante che non si chiude	Verificare che la serranda non rimanga aperta anche dopo lo spegnimento del ventilatore
	Termostato di regolazione regolato a temperatura elevata	Abbassare la temperatura dell'acqua agendo sul termostato di regolazione
	Pompa mal funzionante	Verificare il funzionamento della pompa di circolazione ed il corretto collegamento elettrico
	Bulbi dei termostati mal inseriti	Controllare che i bulbi dei termostati siano ben inseriti nelle relative guaine e che siano a contatto con le pareti metalliche
	Mancato funzionamento by-pass	Controllare il termostato by-pass ed il corretto collegamento della pompa di circolazione alla morsettiere
Tendenza a generare condensa e catrame	Termostato anti-condensa guasto (dove presente)	Controllare la taratura del termostato anticondensa che deve essere regolato a circa 60°C. Se necessario sostituirlo.
	Caldaia sovradimensionata rispetto all'utilizzo	Può accadere soprattutto nel periodo autunnale e primaverile, quando la caldaia tende ad avere lunghe pause durante le quali il legno distilla lentamente provocando la formazione di catrame e condensa. Ogni volta che si verifica questa situazione è bene fare cariche di legno ridotte secondo le necessità del momento.
	Caldaia carica di legna senza che l'impianto richieda calore	Evitare che la caldaia rimanga carica di legno con il ventilatore fermo. All'occorrenza ridurre l'entità della carica, oppure, per trovare ancora brace al mattino, spegnere manualmente il ventilatore alla sera quando è rimasto uno strato di brace di 5-10 cm.
	Condensazione dei fumi lungo il tratto di congiunzione caldaia-camino	Isolare il tubo di condensazione con materiale isolante idoneo

	Eccessivo tiraggio del camino	Applicare un regolatore di tiraggio sul camino il più vicino possibile alla caldaia
	Intasamento dei passaggi dei fumi che provoca una combustione lenta e con scarsità d'aria	Pulire i tubi del fumo con l'apposito scovolo e togliere successivamente la cenere dal refrattario e dal cinerario
	Uso di legno non stagionato	Procurare legno migliore, o lasciarlo stagionare più a lungo
	Temperatura dell'acqua della caldaia troppo bassa	Alzare il termostato di regolazione in modo da avere una temperatura dell'acqua in caldaia più elevata (75-80° C è l'ideale)
	Mancanza d'aria nel locale caldaia	Creare un'apertura verso l'esterno in modo da garantire una sufficiente aerazione.
	Il ventilatore non si ferma mai	Verificare il funzionamento del termostato di regolazione. Verificare il funzionamento del termostato di fine carica (se presente)
	Eccesso d'aria	Diminuire l'aria primaria
La caldaia non scalda a sufficienza	Uso di legno di pezzatura troppo grossa	Ridurre il legno in pezzi più piccoli
	Cassetto cenere non spinto in fondo	Spingere il cassetto in appoggio contro la parete interna della caldaia
La caldaia tende a spegnersi ed il riavvio è lungo con difficoltà di formazione della fiamma	La griglia è otturata	Pulire la griglia dalla cenere e da ogni altro residuo incombusto
	Il by-pass non è chiuso bene	Controllare la chiusura del by-pass
	Aria primaria insufficiente	Aumentare l'aria primaria

Il ventilatore non si ferma mai e la caldaia non arriva in temperatura	Caldaia intasata	Pulire la caldaia in ogni sua parte (tubo dei fumi, camino, griglia, ecc.)
	Pompe non collegate al quadro	Collegare elettricamente le pompe al quadro dei comandi
	Combustibile non caricato correttamente	Caricare il legno in modo da riempire al massimo il magazzino senza lasciare vuoti, come da istruzioni
Il ventilatore non si ferma mai anche con caldaia in temperatura	La porta di caricamento non è chiusa correttamente	Chiudere la porta di caricamento come indicato nelle istruzioni
	Termostato di esercizio difettoso o guasto	Sostituire il termostato
La fiamma è molto vivace, potenza bassa, produce molta cenere bianca e nera, consuma molto	Eccesso di aria primaria	Diminuire l'aria primaria agendo sull'apposito regolatore
La fiamma è corta e lenta, potenza erogata bassa, refrattario della porta inferiore annerito	Mancanza di aria primaria	Aumentare l'aria primaria agendo sul regolatore

Il ventilatore non funziona	Caldaia in temperatura	Tarare il termostato di esercizio ad una temperatura maggiore
	Temperatura di caldaia troppo alta (>95°C)	Premere il bottone di riarmo manuale (se presente)
	Microinterruttore di by-pass posizionato nel tratto morto	Avvitare ulteriormente il volantino del magazzino legno
	Bassa temperatura in caldaia per un tempo superiore all'intervallo programmato dal relè temporizzato	Aprire il magazzino legno ed effettuare di nuovo l'accensione

Obblighi di legge

Limitando l'attenzione alla normativa legata ai generatori di calore "domestici", bisogna tenere presente che questa rappresenta il risultato di studi e proposte di tecnici impegnati a migliorare la qualità della vita, ovvero ridurre i pericoli, che derivano dall'uso di determinati apparecchi. Nel caso dei generatori di calore, i potenziali rischi legati al malfunzionamento, qualsiasi siano i motivi, possono avere risvolti negativi non solo per il rendimento (con conseguenti costi superiori per il riscaldamento) e per le cose, gli animali e l'ambiente (maggiore inquinamento ecc.), ma soprattutto per le persone. Chi non segue le regole di corretta applicazione e gestione dell'impianto termico in ogni suo singolo componente (generatore di calore, camino, vaso di espansione aperto, collegamenti elettrici, vari sistemi di sicurezza ecc.) mette a rischio la propria salute, quella di tutte le persone che vivono con lui e di tutte le persone che ospita.

Obblighi per gli impianti di potenza inferiore a 35 kW

La caldaia deve avere un "libretto di impianto" dove riportare le operazioni di prima installazione e di manutenzione ordinaria e straordinaria.

La responsabilità dell'impianto è dell'occupante a qualsiasi titolo (proprietario o inquilino) dell'immobile.

Il responsabile dell'impianto deve:

- rispettare il periodo annuale, l'orario di esercizio ed il limite di temperatura (20 + 2 ° C di tolleranza);
- mantenere aggiornato il libretto di impianto;
- effettuare verifiche di combustione almeno una volta ogni due anni;
- garantire una accurata manutenzione ordinaria e straordinaria;

- effettuare le manutenzioni durante il periodo di riscaldamento, normalmente all'inizio. Sostituire la caldaia se gli interventi di manutenzione risultano inefficaci;
- attuare gli interventi necessari al fine di riportare i valori di rendimento e di emissioni entro i limiti consentiti.

La manutenzione deve essere affidata ad una ditta abilitata.

Le operazioni di manutenzione ordinaria prevedono i seguenti interventi:

- verifica visiva per accertare il rispetto delle norme di legge nell'installazione della caldaia;
- verifica dell'aerazione del locale;
- verifica dello scarico dei prodotti della combustione con prova del tiraggio;
- verifica della tenuta dell'impianto gas con ricerca ed eliminazione delle eventuali dispersioni;
- controllo della regolarità di accensione e di funzionamento e dell'efficienza della caldaia;
- verifica della tenuta dei dispositivi di sicurezza;
- verifica generale della caldaia con segnalazione dei componenti da far riparare o sostituire;
- pulizia del bruciatore;
- regolazione della portata termica, taratura e ottimizzazione della combustione;
- pulizia degli scambiatori lato fumi e controllo dell'efficienza dello scambiatore lato acqua;
- verifica dell'efficienza del circuito acqua con eliminazione dei residui di aria dai corpi scaldanti;
- verifica biennale del rendimento di combustione.

Obblighi per gli impianti di potenza superiore a 35 kW ed inferiore a 350 kW

Per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto termico il DPR 412/93, come modificato dal DPR 551/99, individua un unico responsabile che può essere:

- il proprietario dello stabile (se non c'è un amministratore);
- l'amministratore;
- un terzo responsabile da essi designato.

Il responsabile deve apporre la propria firma sul Libretto di impianto e risponde della sua corretta compilazione. Nel caso la responsabilità dell'impianto sia in capo all'amministratore o al proprietario, la manutenzione deve essere in ogni caso affidata ad una impresa abilitata ai sensi della legge 46/90.

Il responsabile dell'impianto deve:

- esporre il cartello indicando il periodo e le fasce orarie di funzionamento dell'impianto;
- rispettare il periodo annuale, l'orario di esercizio ed il limite di temperatura (20° C + 2 di tolleranza);
- mantenere aggiornato il libretto di impianto;
- effettuare verifiche di combustione almeno una volta ogni due anni;
- garantire una accurata manutenzione ordinaria e straordinaria;
- effettuare le manutenzioni durante il periodo di riscaldamento, normalmente all'inizio. Sostituire la caldaia se gli interventi di manutenzione risultano inefficaci;
- attuare gli interventi necessari al fine di riportare i valori di rendimento e di emissioni entro i limiti consentiti;
- far pervenire agli uffici competenti, tramite autocertificazione, i risultati delle verifiche effettuate.

Le operazioni di manutenzione ordinaria prevedono i seguenti interventi:

- prova di avviamento preliminare, con verifica delle apparecchiature della centrale, prima dell'accensione stagionale dell'impianto;
- messa in funzione dell'impianto e controllo del passaggio dei fumi;

- controllo iniziale, ed in seguito periodico, del funzionamento delle apparecchiature della centrale, in particolare termostati, pressostati, valvole di sicurezza, ecc.;
- aggiornamento dei programmi di termoregolazione e modifica degli orari di funzionamento a richiesta;
- ispezione di persona qualificata a regolarmente patentata per verifica del funzionamento di manometro e idrometro;
- spegnimento dell'impianto al termine del periodo contrattuale;
- esecuzione di pulizia intermedia e di fine stagione;
- pulizia al termine della stagione dei raccordi fumari e dei camini, verifica del tiraggio;
- manutenzione ordinaria dei bruciatori mediante pulizia, lubrificazione e controllo degli automatismi, delle parti meccaniche ed elettriche;
- manutenzione ordinaria dei componenti della centrale termica;
- esecuzione delle analisi sui fumi ed eventuale regolazione del bruciatore per ridurre le emissioni e ottenere un risparmio energetico;
- messa a riposo stagionale del generatore e delle apparecchiature della centrale termica.

Per tutti gli impianti

Le imprese che realizzano un impianto termico o lo modificano devono rilasciare una dichiarazione attestante l'effettuazione dei lavori "a regola d'arte" ai sensi della legge 46/90.

Le funzioni di controllo sul rendimento energetico degli impianti termici sono esercitate dalle Province.

APPENDICE

Confronto tra le principali caratteristiche degli impianti a legno e a combustibili fossili¹⁶

	Impianti a legno	Impianti a combustibile fossile
Costo dell'impianto	Elevato, soprattutto se impianti con alimentazione automatica (piccoli generatori a pellets o cippato)	Basso per unità di potenza sviluppata
Costo del combustibile	Prezzo di mercato alto per caloria prodotta; prezzo basso o nullo se si utilizzano scarti	Prezzo di mercato basso per caloria prodotta
Alimentazione	1 2 o 3 carichi al giorno per i generatori a carico discontinuo; automatica se si usano impianti a caricamento automatico (solo pellets e cippato)	Automatica
Manutenzione	Più elevata	Ridotta
Approvvigionamento del combustibile	Facile nelle zone in cui è attiva la filiera del legno; c'è molta variabilità nella qualità e nel prezzo	Facile ovunque, prezzi e qualità del prodotto sono standard
Comodità di impiego	Occorre molto spazio per lo stoccaggio del combustibile; è ridotta la possibilità di modulare la potenza	Scarso ingombro; facilità di accensione e di modulazione della potenza
Efficienza	Medio-alta nei sistemi innovativi (fino all'80%), bassa in molti generatori tradizionali (circa 25 - 50%)	Alta, maggiore del 90%
Sicurezza	Bassi livelli di inquinamento; qualche rischio di incendio per la presenza di polveri; nessun rischio di esplosioni	Produzione di ossidi di azoto, carbonio, zolfo e cloro; bassi rischi di esplosioni
Aspetti ambientali e sociali	Utilizza energia rinnovabile, disponibile localmente, miglioramento dei boschi esistenti con riduzione dei rischi di incendio, miglioramento del mercato del legno	Consumo di energia non rinnovabile, importata; dipendenza energetica dall'estero, consumo di fonti inquinanti

¹⁶ Tratto e rielaborato da "Biomasse forestali ad uso energetico" di D. Pettennella e L. Ciccane. AEI n° 22, 1992

Quanto costa il combustibile ad uso riscaldamento?

(prezzi medi riferiti alla stagione 2000-2001, sulla base di dati di alcune province)

Tab. 8 – Costo del combustibile ad uso riscaldamento.				
Tipo di combustibile	Unità di misura	Prezzo €/unità di misura	Fabbisogno di combustibile per produrre 100 kWh di calore*	Costo per produrre 100 kWh €
Gasolio	litri	0.83	12-17	9.96-14.11
Legno da ardere essiccato all'aria e depezzato (faggio, robinia, rovere)	kg	0.07-0.11	38-53	2.66-5.83
Bricchette di legno sminuzzato e compresso	kg	0.19	30-43	5.70-8.17
Legno in pellets	kg	0.19	30-43	5.70-8.17

*Il fabbisogno è calcolato tenendo conto dei rendimenti (fonte ITABIA-AEBIOM, "Riscaldare con il legno")

Scelta del generatore a legno

Generatori idonei al riscaldamento a legno come sistema principale

Tratto da "Vademecum – Energia dal legno" ASEL, Svizzera

Sistema di combustione	Gamma di potenza	Principio di combustione	Caratteristiche	Regolazione della potenza
Cucina con riscaldamento centrale	8-30 kW	Combustione semplice; combustione a fiamma inversa con o senza post-combustione	Funzioni contemporanee di cucina e riscaldamento centrale. Preferibilmente combinare con accumulatore ad acqua	Possibile solo nei modelli innovativi
Caldaia a tronchetti ad alimentazione manuale	10-200 kW	Combustione a fiamma inversa (diversi modelli) con post-combustione	Il ricarica della camera è possibile in ogni momento. Utilizzare tronchetti relativamente uniformi	Possibile in modo efficace solo nei modelli innovativi
		Combustione semplice	La caldaia è a tiraggio naturale e ha gradi di efficienza mediocri. Si possono utilizzare vasti assortimenti di legno	Non possibile
Caldaia a cippato o pellets ad alimentazione automatica	15-1000 kW	Regolazione fine della combustione	Il legno in pezzi viene stoccato in un serbatoio di riserva per essere convogliato automaticamente alla combustione (prezzi molto alti per piccoli sistemi; alta convenienza per il teleriscaldamento)	Possibile in modo efficace
Piccole caldaie a cippato o pellets ad alimentazione manuale	20-100 kW	Combustione semplice con post-combustione	Alimentazione manuale (diminuisce notevolmente il costo)	Possibile in modo efficace
Stufe e camini a circolazione d'aria	6-10 kW	Combustione semplice, modelli innovativi con post-combustione	Legna spaccata corta	Possibile manualmente o automaticamente

Generatori idonei al riscaldamento a legno come sistema complementare

Sistema di combustione	Gamma di potenza	Principio di combustione	Caratteristiche	Regolazione della potenza
Stufa da camera	3-10 kW	Combustione a tiraggio naturale, con o senza camera di post-combustione	Tutti i tipi di stufe a legno non fissi e che si caricano sul posto	Non possibile
Stufa a caminetto	4-12 kW	Combustione semplice	Stufa convenzionale	Non possibile
Caminetto chiuso	5-15 kW	Combustione semplice, modelli innovativi con post-combustione	Con distribuzione del calore per uno o più locali	Non possibile nei modelli tradizionali, possibile in quelli innovativi anche in modo automatico
Stufa ad accumulo, stufa in steatite o maiolica, pigna	2-15 kW	Riscaldamento senza griglia a combustione semplice. Combustione a fiamma inversa con o senza post-combustione	Durante il tiraggio naturale viene fornita solo aria primaria. Lunga durata del tempo di accumulo (10-24 ore)	Non possibile
Stufa-cucina a legno	3-12 kW	Combustione a tiraggio naturale	L'energia termica prodotta viene utilizzata primariamente per cucinare e secondariamente per riscaldare	Non possibile

Prezzi medi dei diversi tipi di generatori a legno

(dai listini delle principali ditte italiane e austriache)

Tipologia	Prezzo medio (€)
Stufe a tronchetti	1.600-4.000
Stufe a pellets	1.600-3.500
Camini tradizionali	400-1.000
Camini a circolazione d'aria	1.200-2.200
Termocamini ad acqua	1.600-3.000
Caldaie a tronchetti a fiamma rovesciata soffiata	3.000-20.000
Caldaie a tronchetti a fiamma rovesciata aspirata	3.500-20.000
Caldaie a cippato o pellets complete di alimentazione automatica da 30 a 60 Kw di potenza	600-1.000 €/Kw
Caldaie a cippato o pellets complete di alimentazione automatica da 60 a 200 Kw di potenza	400-750 €/Kw

Nota:

I prezzi sono riferiti ai soli generatori comprensivi dei circuiti anticondensa, esclusi gli accessori, l'impianto, e i particolari estetici (rivestimenti, smaltature, murature, ecc.).

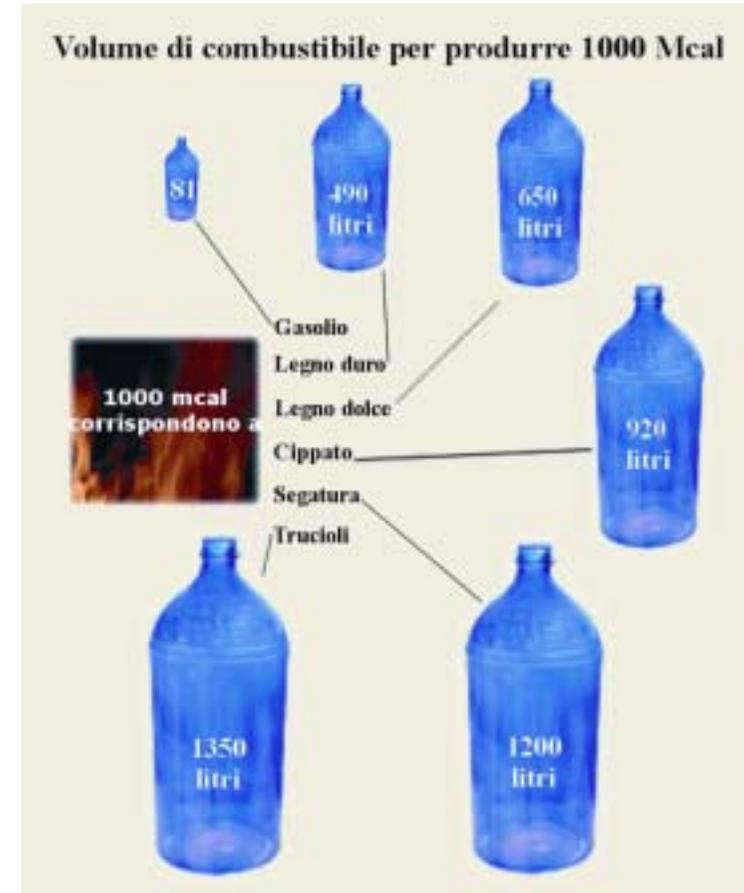
Come calcolare il fabbisogno annuo di legno?

- Determinare il fabbisogno energetico richiesto per riscaldare la nostra abitazione (kWh):
 - caso a** - casa monofamiliare di 5 locali mal coibentata (situazione normale): 15 kWh
 - caso b** - casa monofamiliare di 5 locali ben coibentata: 8 kWh
- Indicare il numero di ore/anno in cui si intende riscaldare i locali: es. 12 ore al giorno per i 3 mesi più freddi, 6 ore al giorno per i 3 mesi autunno-primaverili, per un totale di 1600 ore/anno
- Calcolare il fabbisogno energetico in kWh per il riscaldamento di un anno: kWh (fabbisogno, vedi punto 1) x numero di ore = kWh necessari:
 - caso a** - $15 \times 1600 = 24000$ kWh
 - caso b** - $8 \times 1600 = 12800$ kWh
- La quantità di legno in tronchetto (stagionato 2 anni) necessaria per produrre 100 kWh corrisponde approssimativa-mente a 40-45 kg:

$(40 \text{ kg [di legno]} \times 3.6 \text{ kWh [potere calorifico]} \times 0.60 - 0.70 \text{ [rendimento medio stagionale di un generatore di calore di tipo innovativo]})$

 - caso a** - $24000 \times 45 / 100 = 10800 \text{ kg} = 108 \text{ q di legno} \pm 10 \text{ q}$
 - caso b** - $12800 \times 45 / 100 = 5800 \text{ kg} = 58 \text{ q di legno} \pm 8 \text{ q}$

Corrispondenze



1 tonnellata di olio combustibile corrisponde a:	Legno forte		Legno dolce	
	tronchetti	cippato	tronchetti	cippato
	6 steri	12 m ³	8 steri	16 m ³

Fonte: Aebiom

Aiuti pubblici per convertire i propri generatori

Alla luce dei recenti trasferimenti di competenze dalla Regione agli Enti Locali, le Province hanno assunto il ruolo di soggetti amministrativi promotori di azioni a sostegno di interventi rivolti al risparmio energetico, quali i piccoli generatori di calore a legno di tipo innovativo. Informazioni più dettagliate vanno dunque richieste alla Provincia di riferimento.

Va segnalato che la sostituzione del generatore di calore rientra tra gli interventi che usufruiscono della detrazione del 36% nella dichiarazione dei redditi in quanto intervento di manutenzione straordinaria finalizzato al conseguimento di risparmi energetici. Ulteriori informazioni possono essere richieste direttamente al Ministero alle Finanze oppure ai Centri Autorizzati Assistenza Fiscale (CAAF).

Secondo quanto previsto dalla legge finanziaria per il 2003, il 36% delle spese sostenute per lavori di taglio ed esbosco che producono legno combustibile nel quadro di interventi di manutenzione e salvaguardia di proprietà boschive sono deducibili dalla dichiarazione dei redditi. Anche in questo caso ulteriori informazioni possono essere richieste direttamente al Ministero alle Finanze oppure ai Centri Autorizzati di Assistenza Fiscale (CAAF).

Unità di Misura dell'energia

CALORE = FLUSSO DI ENERGIA

J: JOULE

Kcal: CHILOCALORIA: quantità di calore necessaria a riscaldare un chilogrammo di acqua di un grado centigrado

KWh: CHILOWATTORA: quantità di calore consumata da una piastra da cucina in un'ora

Tep: Tonnellata equivalente di petrolio

Tab. 9 - Energia: unità di misura e conversioni				
	J	kcal	kWh	Tep
J	1	$2,39 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,39/10^{-11}$
kcal	$4,18 \times 10^3$	1	$1,16 \times 10^{-3}$	1×10^{-7}
kWh	$3,6 \times 10^6$	$8,6 \times 10^2$	1	$8,6 \times 10^{-5}$
Tep	$4,18 \times 10^{10}$	1×10^7	$1,16 \times 10^4$	1

Tab. 10 - Multipli e sottomultipli		
prefisso	Simbolo	Fattore moltiplicativo
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	K	10^3

Indice delle figure

Fig. 1 – Quote percentuali di energia rinnovabile prodotta nell'Unione Europea	10
Fig. 2 – Fonti energetiche utilizzate nel mondo.....	13
Fig. 3 – Fonti energetiche utilizzate nei paesi in via di sviluppo	13
Fig. 4 – Fonti energetiche utilizzate nei paesi industrializzati	14
Fig. 5 – Tronchetto	23
Fig. 6 – Cippato	23
Fig. 7 – Volume di 100 kg di combustibile	24
Fig. 8 – Corrispondenza tra il peso di 1 mc di legno pieno e lo stesso peso di legno ridotto in varie pezzature	25
Fig. 9 – Schematizzazione dei vari sistemi di approvvigionamento del legno combustibile	26
Fig. 10 – Cataste di legno coperte da telo	27
Fig. 11 – Cataste di legno con tettoia	27
Fig. 12 – Cumulo di scaglie di legno con immagine al microscopio di spore di microfunghi attive durante la fermentazione del cippato	28
Fig. 13 – Evoluzione della perdita di umidità in legni duri preparati in modi diversi	29
Fig. 14 – Andamento dei prelievi di massa legnosa destinata a combustibile dai boschi italiani nel periodo dal 1947 al 1983	35
Fig. 15 – Schema tipo di un impianto di riscaldamento a combustibile legnoso con accumulatore termico.....	39
Fig. 16 – Andamento della produzione di calore in funzione dell'innalzamento della temperatura durante la combustione all'aria libera	40
Fig. 17 – Sviluppo di calore e variazione della massa volumica all'innalzamento termico del legno	41
Fig. 18 - Fasi della combustione alle diverse temperature.....	42
Fig. 19 - La combustione del legno avviene solo in una parte limitata del magazzino	43
Fig. 20 - Schema di alimentazione e combustione di generatore a scaglie legnose	44
Fig. 21 - Emissioni prodotte dalla combustione di diversi combustibili	45
Fig. 22 - Livello di emissione di CO ₂ prodotta dalla combustione di diversi combustibili.....	46
Fig. 23 – Potere calorifico e contenuto di acqua nel legno	49
Fig. 24 – Accumulatore di calore	53

Fig. 25 - Scheda di locale caldaia con le distanze minime tra il generatore e le pareti.....	54
Fig. 26 – Esempio di canna fumaria coibentata	57
Fig. 27 – Operazione di caricamento di una caldaia a tronchetto.....	58

Indice delle tabelle

Tab. 1 – Consumo lordo di energia rinnovabile attuale e previsto nel 2010 (Mtep)	15
Tab. 2 – Flusso economico di due combustibili a confronto	16
Tab. 3 – Stima della disponibilità di combustibile legnoso dalle foreste piemontesi.....	22
Tab. 4 – Poter calorifico del legno	47
Tab. 5 – Dati medi di riferimento	49
Tab. 6 – Umidità del legno combustibile.....	52
Tab. 7 – Fabbisogno annuo indicativo di combustibile per m ² di riferimento di fabbricato da riscaldare.....	52
Tab. 8 - Costo del combustibile ad uso riscaldamento	74
Tab. 9 – Energia: unità di misura e conversioni.....	81
Tab. 10 – Multipli e sottomultipli	81

La presente pubblicazione è stata curata dalla



IPLA. Istituto per le Piante
da legno e l'Ambiente
C.so Casale 476 Torino
Tel 0118998933 Fax 0118989333
Email ipla@ipla.org

Roberto Ursone
Nicoletta Alliani
Maurizio Quirino



Assessorato all'Ambiente, Agricoltura e Qualità
Settore Programmazione e Risparmio in Materia Energetica
Coordinamento stesura
Bruna Bassignana
Anna Maria Clinco

Ringraziamenti

Hanno collaborato con il progetto Legno-Energia 2002, che è alla base del presente documento:

- i Comuni: Cantalupa (TO), Castelnuovo di Ceva (CN), Cesara (VB), Chiaverano (TO), Prarostino (TO), Revello (CN)

- le società: Arca-Step, Clam Caminetti, Edilkamin, Energia e Ambiente, Nuova MBZ, Tecnobioma, Thermorossi, Unical

Si ringraziano inoltre per il contributo fornito alla stesura del presente documento:

Rinaldo Allio, Giulio Andreoli, Stefano Avondoglio, Aldo Bianchino, Carlo Bianchino, Silvano Boasso, Vittorio Bosser-Peverelli, Francesco Buzzotta, Stefano Carpi, Michele Cavallini, Gian Carlo Cerutti, Aldo Chiariglione, Piero Conti, Mario Crespo, Bruno Druetto, Franco Fornerone, Gallinotti, Emilio e Lorenzo Garrone, Laura Godino, Dina Grafite, Luciano Mattis, Silvio Minazzi, Attilio e Simone Mosca, Adriano Mussinatto, Mario Negri, Raffaele Ostan, Giovanni Padovani, Mauro Rebuffo, Fabio Rossi, Michelangelo Torta, Mauro Tua, Davide e Bruno Zucca